

Achim Hamann

Klimaschutzstrategien für Nichtwohngebäude in Stadtquartieren

Bestandsmodellierung und CO₂-Minderungsszenarien
am Beispiel Wuppertal





ClimatePartner^o

klimateutral

Verlag | ID: 128-50040-1010-1082

Dieses Buch wurde klimaneutral hergestellt. CO₂-Emissionen vermeiden, reduzieren, kompensieren – nach diesem Grundsatz handelt der oekom verlag. Unvermeidbare Emissionen kompensiert der Verlag durch Investitionen in ein Gold-Standard-Projekt. Mehr Informationen finden Sie unter www.oekom.de.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2014 oekom, München

oekom verlag, Gesellschaft für ökologische Kommunikation mbH,
Waltherstraße 29, 80337 München

Satz: Achim Hamann

Umschlaggestaltung: Elisabeth Fürnstein, oekom verlag

Umschlagabbildung: © PhotoWeges – Fotolia.com

Druck: Bosch-Druck GmbH, Ergolding

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um eine von der Bergischen Universität Wuppertal, Fachbereich D angenommene Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

Titel: CO₂-Emissionen beheizter Nichtwohngebäude in städtischen Gebieten – Bestandsmodellierung und CO₂-Minderungs-Szenarien am Beispiel von Wuppertal-Vohwinkel

Eingereicht: 20.01.2014; Tag der Disputation: 02.07.2014

Mitglieder der Prüfungskommission:

Prof. Dr.-Ing. Felix Huber (Vorsitzender)

Prof. Dr.-Ing. Oscar Reutter (1. Gutachter)

Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus (2. Gutachter)

Prof. Dr.-Ing. Karsten Voss

Dieses Buch wurde auf 100%igem Recyclingpapier gedruckt.

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-86581-699-3

E-ISBN 978-3-86581-899-7



Achim Hamann

Klimaschutzstrategien für Nichtwohngebäude in Stadtquartieren

Bestandsmodellierung und CO₂-
Minderungsszenarien am Beispiel Wuppertal

Wuppertaler Schriften zur
Forschung für eine nachhaltige Entwicklung
Band 5

Vorwort der Herausgeber

Das Wuppertal Institut erforscht und entwickelt Leitbilder, Strategien und Instrumente für Übergänge zu einer nachhaltigen Entwicklung auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene. Im Zentrum stehen Ressourcen-, Klima- und Energieherausforderungen in ihren Wechselwirkungen mit Wirtschaft und Gesellschaft. Die Analyse und Induzierung von Innovationen zur Entkopplung von Naturverbrauch und Wohlstandsentwicklung bilden einen Schwerpunkt seiner Forschung.

In dieser Buchreihe werden herausragende wissenschaftliche Qualifikationsarbeiten der Nachhaltigkeitsforschung vorgestellt. Sie sind in den Forschungsgruppen und im Dissertationsprogramm des Wuppertal Instituts entstanden und wurden in Kooperation mit Hochschulen betreut. Die in dieser Reihe veröffentlichten Schriften wurden als Dissertationen oder Habilitationsschriften an den betreuenden Universitäten angenommen und hervorragend bewertet.

Das Wuppertal Institut versteht die Veröffentlichung als wissenschaftliche Vertiefung des gesellschaftlichen Diskurses um den Übergang in eine nachhaltige Wirtschafts- und Lebensweise.

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH
www.wupperinst.org

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort	11
1 Einleitung und Hintergrund zum Nichtwohngebäudebestand	13
1.1 Ausgangslage und Problemstellung	15
1.2 Stand der Forschung zur Raumwärmeenergie bei Nichtwohngebäuden	16
1.3 Zielsetzung, Abgrenzung und leitende Forschungsfragen	20
1.4 Vorgehensweise	24
1.5 Zusammenfassung	25
2 Modellierung des beheizten Nichtwohngebäudebestandes	26
2.1 Zielsetzung	26
2.2 Methodische Vorgehensweise	27
2.3 Nichtwohngebäudekategorien	33
2.4 Baualtersklassen	38
2.5 Bezugsgröße Bruttogrundfläche	41
2.6 Bestimmung der Heizkennwerte: Top-down- und Bottom-up-Ansatz	41
2.6.1 Top-down-Ansatz: Aufbereitung verbrauchsorientierter Heizkennwerte	42
2.6.2 Bottom-up-Ansatz: Aufbereitung bedarfsorientierter Heizkennwerte	56
2.7 Aufbereitung von GIS-Daten am Beispiel von Wuppertal-Vohwinkel	67
2.7.1 Einführung	67
2.7.2 Allgemeines zur Vorgehensweise	69
2.7.3 GIS-Daten-Analyse	71
2.7.4 Fehlerabschätzung zur örtlichen GIS-Daten-Überprüfung	80
2.8 Rechnerischer Modellansatz	81
2.8.1 Detaillierter Modellansatz zu einem städtischen Teilgebiet	82
2.8.2 Vereinfachter Ansatz zum gesamten Stadtgebiet auf Basis von GIS-Daten	87
2.8.3 Modellansatz für Hochrechnung zum Stadtgebiet ohne GIS-Daten-Analyse und Diskussion zur Übertragbarkeit auf größere Gebiete und Deutschland	92
2.8.4 Modellerweiterung zu Wohngebäuden auf Basis der GIS-Daten zu Vohwinkel	100
3 Anwendung des Modells auf Vohwinkel und die Hochrechnung auf Wuppertal	102
3.1 Allgemeines und Festlegungen zum Leerstand sowie zum Energiemix	102
3.2 Ergebnisse zum Bestandsmodell für den Stadtbezirk Vohwinkel	106
3.3 Bestimmung Modellparameter für vereinfachten Ansatz, Wuppertal	122

3.4	Bestimmung der Modellparameter für Hochrechnungen auf Wuppertal ohne GIS-Daten-Analyse	126
3.5	Hochrechnungsergebnisse für die Stadt Wuppertal	128
3.6	Sensitivitätsanalyse	134
3.7	Zusammenfassung und Diskussion zum Bestandsmodell	139
4	Potenzialanalyse zu kurzfristigen Sanierungsmaßnahmen	142
4.1	Methodische Vorgehensweise	142
4.2	Ermittlungen zu den Potenzialebenen für Vohwinkel	150
4.3	Nichtwohngebäudekategorien mit großem Potenzial	154
4.4	Zusammenfassung	157
5	Befragung von Akteuren in Vohwinkel	159
5.1	Vorgehensweise	160
5.1.1	Erkenntnisleitende Fragestellungen und Grundlagen zum Fragebogen	160
5.1.2	Geplante Vollerhebung zu den kirchlichen Einrichtungen	162
5.1.3	Geplante Stichprobenkonstruktion zu den privaten Büroflächen	162
5.2	Fragebogen	166
5.2.1	Aufbau	166
5.2.2	Durchführung Pretest	168
5.2.3	Durchführung Befragung und Auswertungen zur Stichprobe der Büroflächen	169
5.2.4	Ergebnisse zur Befragung der Akteure	172
5.3	Zusammenfassung der Ergebnisse als Handlungsempfehlungen	183
6	Kohlendioxid-Szenarien bis zum Jahr 2050	186
6.1	Zielsetzung und Kurzbeschreibung zu den gewählten Szenarien	186
6.2	Methodische Vorgehensweise bei der Szenarien-Entwicklung	191
6.3	Abschätzung der Ausgangslage im Jahr 1990, Startbilanz	194
6.4	Aufbereitung der Trendentwicklungen für »business-as-usual-Szenario«	199
6.4.1	Trendentwicklungen zu Baualtersklassen	199
6.4.2	Trendentwicklungen zu Heizkennwerten bei Neubauten	201
6.4.3	Trendentwicklungen zu Heizkennwerten bei Bestandsanierungen	204
6.4.4	Trendentwicklungen zum Energiemix und zu erneuerbaren Wärmeenergien	206
6.4.5	Einschätzungen zum Energiemix gemäß Akteursbefragung zum Teilbestand	210
6.4.6	Trendentwicklungen zu Primärenergiefaktoren und CO ₂ -Emissionsfaktoren	211

6.4.7	Allgemeine Trendentwicklungen zu Neubau-, Abriss- und Sanierungsraten	215
6.4.8	Neubau-, Abriss- und Sanierungsraten gemäß Akteursbefragung	218
6.4.9	Zukünftige Flächenentwicklungen beim beheizten Nichtwohngebäudebestand	219
6.4.10	Zukünftige Flächenentwicklungen gemäß Akteursbefragung zum Teilbestand	222
6.5	CO ₂ -Forecasting-Szenarien bis zum Jahr 2050 für Vohwinkel	224
6.5.1	Ergebnisse zum Ausgangsszenario »Trend-bau-Baupraxis«	225
6.5.2	Ergebnisse zu den Szenarien »Trend-bau-Akteursbefragung«	227
6.5.3	Ergebnisse zum Szenario »Trend-bau-Passivhaus«	231
6.5.4	Ergebnisse zum Szenario »Trend-bau-kein Flächenzuwachs«	233
6.5.5	Zusammenfassung der Ergebnisse zu den Forecasting-Szenarien	236
6.6	Ableiten der Parameter zur Zielerreichung bis 2050 mit CO ₂ -Backcasting-Szenario	237
6.7	Vergleich der CO ₂ -Szenarien für Vohwinkel von 2010 bis 2050	241
6.8	Wirkungsanteile der Effizienz! Konsistenz! Suffizienz! - Strategien	245
6.9	Ergebnisse zu CO ₂ -Szenarien bis 2050 für Wuppertal	247
6.10	Zusammenfassung zu den CO ₂ -Szenarien	249
7	Fazit	251
	Danksagung	257
	Abbildungsverzeichnis	258
	Tabellenverzeichnis	262
	Inhaltsverzeichnis Anhang	268
	Abkürzungsverzeichnis	271
	Glossar	278
	Quellenverzeichnis	280

Im Text wird auf einen Anhang verwiesen. Dieser steht gesondert als Download (PDF-Datei) auf der Verlagsseite www.oekom.de/wi5 zur Verfügung.

Vorwort

Nichtwohngebäude, zum Beispiel Bürogebäude, Fabrikhallen und Werkstätten oder Kirchen, Kindergärten und Kliniken oder Schulen, Universitäten und Rathäuser oder Museen, Theater und Kinos – brauchen eine ausreichende Raumwärme für die Beschäftigten, Kunden, Besucher oder Nutzer, wenn es draußen kalt ist. Dafür werden sie beheizt – bisher im Wesentlichen durch die Verbrennung fossiler Energieträger also Gas, Öl und Kohle. Daraus entsteht das Treibhausgas Kohlendioxid, das maßgeblich zur bislang ungebremst voranschreitenden globalen Klimaerwärmung beiträgt.

Zum Klimaschutz müssen allerdings die weltweiten Kohlendioxidemissionen drastisch gesenkt werden. In einem Industrieland wie Deutschland gilt es, die Kohlendioxidemissionen bis zum Jahr 2050 um 80 bis 95% zu verringern, im Vergleich zum Basisjahr 1990, damit das international angestrebte Zwei-Grad-Ziel eingehalten werden kann. Für dieses ambitionierte wie erforderliche Klimaschutzziel müssen alle Verursachergruppen, wie die Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen, die Kraftwerke, der Verkehr, die Land- und Forstwirtschaft und die privaten Haushalte ihren Beitrag leisten.

An dieser Herausforderung setzt das Promotionskolleg „Nachhaltigkeitsszenarien und Zukunftsfähige Stadtentwicklung“ an. Es wurde im Jahr 2010 am Wuppertal Institut eingerichtet und arbeitet in einem transdisziplinären Ansatz mit der Bergischen Universität Wuppertal (Fachbereich D) und der Stadt Wuppertal eng zusammen. In den Promotionsprojekten werden am Fall der Stadt Wuppertal zentrale Fragen einer zukunftsfähigen, klimaschonenden Stadtentwicklung erforscht, die sich richtungssicher und größenordnungssicher an der erforderlichen Minderung der CO₂-Emissionen in den verschiedenen Verursacherbereichen orientiert.

Achim Hamann hat in diesem Forschungsverbund die hier vorgelegte Untersuchung zu den CO₂-Emissionen beheizter Nichtwohngebäude in städtischen Gebieten als Fallstudie in Wuppertal durchgeführt. Der Raumwärmesektor verursacht rund ein Drittel des Endenergieverbrauches in Deutschland und trägt dem entsprechend zu den deutschen Kohlendioxidemissionen aus der Energieumwandlung bei. Die Nichtwohngebäude beanspruchen dabei über 40 Prozent des Wärmebedarfs des gesamten Gebäudebestandes in Deutschland.

Dabei ist der Raumwärmebedarf der Nichtwohngebäude bisher weniger gut erforscht als derjenige der Wohngebäude. Hier setzt diese Dissertationsschrift von Achim Hamann an. Am Fall Wuppertal wird eine neuartige Methode entwickelt und erprobt, um mit einem vertretbaren Aufwand den Raumwärmebedarf beheizter Nichtwohngebäude auf Stadtteil- bzw. Stadtebene zu erfassen und zu modellieren. Daraus werden Potenzi-

ale für kurzfristige Maßnahmen zur energetischen Sanierung aufgezeigt. Experteninterviews mit Entscheidungsträgern aus den Kategorien kirchliche Gebäude und private Büroflächen eröffnen einen Einblick in deren Problemsicht, Zielvorstellungen und Handlungsweisen.

Auf diesen Grundlagen zeigt Achim Hamann zunächst in Forecasting-Szenarien auf, inwieweit die langfristigen CO₂-Minderungsziele im Business-as-usual-Szenario und in unterschiedlichen Maßnahmenszenarien erreicht bzw. verfehlt werden. Mit einem Backcasting-Szenario wird herausgearbeitet, dass es nur durch eine kluge Kombination von ambitionierten Maßnahmen der Strategien Effizienz, Konsistenz und Suffizienz gelingen kann, die für den Klimaschutz erforderlichen CO₂-Minderungsziele bis 2050 zu erreichen.

Die am Fall Wuppertal erarbeiteten innovativen Forschungsergebnisse sind von hoher Relevanz für die Stadtentwicklung und Stadtplanung genauso wie für die Bau- und Immobilienwirtschaft - in Wuppertal und in anderen Städten. Deshalb wünschen wir dieser sehr gut gelungenen Arbeit eine weite Verbreitung in Wissenschaft und Praxis, um damit eine klimaschonende, zukunftsfähige Stadtentwicklung voran zu bringen.

Prof. Dr.-Ing. Oscar Reutter
Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie
und Bergische Universität Wuppertal, Fachbereich D

Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus
Bergische Universität Wuppertal, Fachbereich D
Lehr und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft

1 Einleitung und Hintergrund zum Nichtwohngebäudebestand

Mit Beginn der Industrialisierung ist der Anstieg der durchschnittlichen globalen Oberflächentemperatur festzustellen. Von 1901 bis 2012 ist die globale Oberflächentemperatur um ca. 0,8 Grad Celsius angestiegen, wobei die Jahre 2001 bis 2012 zu den weltweit wärmsten Jahren seit Beginn der Messungen im Jahr 1861 gehören.¹

Der Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) gibt einen mittleren Temperaturanstieg für den Zeitraum 2090 bis 2099 im besten Fall mit 1,8 Grad Celsius und im schlechtesten Fall mit 4,0 Grad Celsius an, wobei die Bandbreite der Szenarien bis zu einem Temperaturanstieg von 6,4 Grad Celsius reicht und sich der Temperaturanstieg auf den Zeitraum von 1980 bis 1999 bezieht.²

Der »Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderung« (WBGU) zeigt zusammenfassend in seinem Sondergutachten von 2009 folgende klimatische Ausgangssituation auf:³

- die Erderwärmung um mehr als zwei Grad Celsius verursacht gefährliche, irreversible und kaum beherrschbare Folgen für Natur und Gesellschaft,
- viele Staaten haben sich zum Ziel gesetzt, den globalen Mitteltemperaturanstieg auf zwei Grad Celsius oder weniger zu begrenzen,
- das Ziel ist nur erreichbar, wenn die Summe der globalen CO₂-Emissionen bis 2050 limitiert wird,
- bis zum Jahr 2050 sollen sich bei allen Ländern die realen Emissionen auf maximal etwa eine Tonne CO₂ pro Kopf und Jahr beschränken

Das Energiekonzept der Bundesregierung verfolgt daher die Minderung der Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 um 80 Prozent bis 95 Prozent, bezogen auf das Jahr 1990.⁴

Im Bundesland Nordrhein-Westfalen (NRW) ist inzwischen ein Klimaschutzgesetz⁵ in Kraft getreten, welches die Minderungen von Gesamtemissionen um mindestens 25 Prozent bis zum Jahr 2020 und um mindestens 80 Prozent bis zum Jahr 2050⁶, bezogen auf 1990, gesetzlich festgeschrieben hat.

Gemessen an absoluten Kohlendioxid- (CO₂) Emissionen liegt Deutschland im Jahre 2009 im weltweiten Vergleich auf Platz sechs. Die zehn größten Emittenten verursa-

¹ Vgl. [UBA2012a]: Umweltbundesamt (Hrsg.), 2012

² Vgl. [IPCC2007], S. 45-46: Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.): Synthesis Report, 2007

³ Vgl. [Wis2009], S. 1-2: Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderung (Hrsg.), 2009

⁴ Vgl. [BMU2011], S. 5: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.), 2011

⁵ Gesetz zur Förderung des Klimaschutzzieles in Nordrhein-Westfalen (Klimaschutzgesetz NRW), Beschluss Landtag vom 23.01.2013 (GV. NRW., Ausgabe 2013 Nr. 4 vom 06.02.2013, Seite 29-36)

⁶ Vgl. [Kli2013], § 3 Abs. 1

chen zwei Drittel der globalen CO₂-Emissionen.⁷ Die gesamten CO₂-Emissionen betragen in Deutschland 848 Millionen Tonnen im Jahr 2008 bzw. 789 Millionen Tonnen im Jahr 2009.⁸ Werden die CO₂-Emissionen im Ländervergleich pro Kopf betrachtet, rangiert Deutschland mit etwa zehn Tonnen pro Kopf, angegeben für das Jahr 2008, an 22. Stelle.⁹

Aus der zuvor erläuterten klimatischen Ausgangssituation und der politischen Zielstellung ist erkennbar, dass bis zum Jahr 2050 die Treibhausgasemissionen pro Kopf um den Faktor zehn zu verringern sind. Dieser notwendige Transformationsprozess verursacht insgesamt eine enorme gesellschaftliche Herausforderung und zugleich große Anstrengungen hinsichtlich einer zukunftsfähigen Stadtentwicklung.

Der Thematik »zukunftsfähige Stadtentwicklung« stellt sich das Wuppertal Institut in Zusammenarbeit mit der Bergischen Universität Wuppertal im Rahmen des Promotionskollegs »Nachhaltigkeitsszenarien und zukunftsfähige Stadtentwicklung«.

Mehrere Forschungsvorhaben beschäftigen sich aus verschiedenen Blickwinkeln mit diesem Thema. Dabei werden Fragestellungen zur Infrastruktur, Mobilität und zu Gebäuden verfolgt.

Bei Gebäuden wurde seit vielen Jahren insbesondere die energetische Sanierung von Wohngebäuden wissenschaftlich untersucht und praktisch vorangetrieben. Forschungen zu Nichtwohngebäuden finden im Vergleich zu den Wohngebäuden noch keine entsprechende Würdigung.¹⁰

Die Studie zu Wuppertal »Low Carbon City Wuppertal 2050« (Wuppertal Institut), die unter anderem den Raumwärmebedarf der privaten Haushalte berücksichtigt, weist als weiteren Forschungsbedarf Untersuchungen zum Beitrag der Nichtwohngebäude zur Erreichung der Klimaneutralität aus.¹¹ Der Forschungsbedarf wird ergänzend bei der Beurteilung der energetischen Bestandssituation zu den Nichtwohngebäuden sowie zu Sanierungspotenzialen gesehen.

Daher widmet sich diese Arbeit den beheizten Nichtwohngebäuden und analysiert zunächst den Bestand als Grundlage für die im Weiteren aufgezeigten Zukunftsszenarien.

⁷ Vgl. [IEA2011], S. 9, Figure 4: International Energy Agency (Hrsg.), 2011

⁸ Vgl. [DESTATIS2012a], S. 457: Statistisches Bundesamt (Hrsg.), 2012

⁹ Vgl. [DESTATIS2012b]: Statistisches Bundesamt (Hrsg.), 2012: Daten selbst nach pro-Kopf-Emissionen sortiert

¹⁰ Vgl. [Aug2011], S. 34: Auge Johannes, Voßbürger Petra et al., 2011

¹¹ Vgl. [Reu2012a], S. 157: Reutter Oscar, Bierwirth Anja et al., 2012

1.1 Ausgangslage und Problemstellung

Der Raumwärmebereich verursachte in Deutschland im Jahr 2007 einen anteiligen Endenergieverbrauch von 32,8 Prozent.¹² Damit wird deutlich, dass die Emissionen aus der Raumwärme einen wesentlichen Anteil aufweisen. Hinsichtlich des Raumwärmeenergieverbrauchs ist auf der Gebäudeebene zwischen Wohngebäuden und beheizten Nichtwohngebäuden zu unterscheiden. In Deutschland liegen statistische Zahlen als Grundlagen für den Wohngebäudebestand vor. Gemäß Datenbasis zum Jahre 2009 existieren etwa 40 Millionen Wohnungen bzw. etwa 18 Millionen Wohngebäude mit rund 3,4 Milliarden Quadratmeter Wohnfläche.¹³

Die Datengrundlage zum Nichtwohngebäudebestand basiert dagegen auf groben Abschätzungen und ist sehr unvollständig. Es gibt keine offiziellen Zahlen zum Nichtwohngebäudebestand.¹⁴ In amtlichen Statistiken wird der Nichtwohngebäudebestand nicht erfasst, lediglich die Baufertigstellungen und Abgänge.¹⁵ Zuletzt wurden zu bestehenden Nichtwohngebäuden Erhebungen im Jahr 1950 durchgeführt.¹⁶

Eine Studie zum gesamten Gebäudebestand in Deutschland von 1991 beziffert den Nutzflächenanteil der Nichtwohngebäude inklusiv landwirtschaftlicher Betriebsgebäude auf 50,4 Prozent. Der Wärmeenergiebedarf der Nichtwohngebäude wurde für das Jahr 1991 mit 42,6 Prozent errechnet.¹⁷

In einem Bericht zur »Struktur der Bestandsinvestitionen« werden ca. 1,5 Millionen Nichtwohngebäude als Bestand in Deutschland beziffert.¹⁸

Andere Ansätze zu bundesweiten Schätzungen geben beispielsweise den Nichtwohngebäudebestand mit etwa 2,5 bis 3,7 Millionen Gebäuden und ca. 2,2 bis 3,9 Milliarden Quadratmeter Nutzfläche an, wobei der beheizte Anteil auf etwa 1,26 bis 1,89 Millionen Gebäude geschätzt wird.¹⁹

Auf Basis der genannten Schätzungen zeigt ein gemittelter Vergleich, dass mit rund 4 Prozent der Gebäude (Nichtwohngebäude bezogen auf Wohnungsanzahl, $0,04 = 1,575 / 40,0$) bzw. rund 9 Prozent der Gebäude (Nichtwohngebäude bezogen auf Wohngebäudeanzahl, $0,09 = 1,575 / 18,0$) der zuvor genannte Anteil am Wärmeenergiebedarf von 42,6 Prozent abgebildet wird.

¹² Vgl. [UBA2007], S. 25: Umweltbundesamt (Hrsg.), 2007

¹³ Vgl. [BMVBS2011a], S. 15: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), 2011

¹⁴ Vgl. [Hot2011], S. 6: Hotze Susanne, Kaiser Christian et al., 2011

¹⁵ Vgl. [DESTATIS2007], S. 51: Statistisches Bundesamt (Hrsg.), 2012

¹⁶ Vgl. [Gül1994], S. 71: Gülec T., Kolmetz Sven et al., 1994

¹⁷ Vgl. [Koh1999], S. 24, Tab. 2-1 und S. 55 Tab. 3-1: Kohler Niklaus, Hassler Uta, Paschen Herbert (Hrsg.), 1999

¹⁸ Vgl. [BBSR2011a], S. 1: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.), 2011

¹⁹ Vgl. [BMVBS2011b], S. 10 und S. 100-107: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), 2011

Der Endenergieverbrauch im Jahr 2004 wurde in einer weiteren Studie für den Raumwärmebereich in der Industrie sowie bei Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) mit 30,4 Prozent und für Haushalte mit 69,2 Prozent angegeben.²⁰

In ähnlichen Größenverhältnissen bewegte sich im Jahr 2003 das Immobilienvermögen. Der Vermögensanteil der Nichtwohngebäude wird für das Jahr 2003 mit 32,1 Prozent, bezogen auf den gesamten Gebäudebestand, beziffert. Der Transaktionsmarkt lag dagegen im Jahr 2006 mit 89,1 Prozent deutlich auf der Seite der Nichtwohngebäude.²¹

Anhand des geschätzten bundesweiten Anteils der Nichtwohngebäude in Höhe der genannten 42,6 Prozent bei der Raumwärmeenergie und den ermittelten 89,1 Prozent beim jährlichen Transaktionsvolumen kann die Relevanz der beheizten Nichtwohngebäude bei Betrachtungen zu zukunftsfähigen Stadtentwicklungen und zum Reduktionspotenzial bei CO₂-Emissionen verdeutlicht werden.

Als politisches Ziel wurde bis zum Jahr 2050 eine Reduzierung des Primärenergiebedarfs bei Gebäuden um 80 Prozent, bezogen auf das Jahr 1990, definiert. Zusätzlich soll bis zum Jahr 2050 ein klimaneutraler Gebäudebestand entstanden sein, wobei der verbleibende, geringe Energiebedarf überwiegend durch erneuerbare Energien gedeckt werden soll.²²

Die allgemeinen Ziele, bezogen auf 1990 und die Reduzierung der Treibhausgasemissionen, lauten bis zum Jahr 2020 minus 40 Prozent, bis zum Jahr 2030 minus 55 Prozent, bis zum Jahr 2040 minus 70 Prozent und bis zum Jahr 2050 minus 80 Prozent bis minus 95 Prozent.²³

Die schlechte Datenlage zur aktuellen Struktur und Anzahl der Gebäude, zu Flächen, zum Energieverbrauch und zu resultierenden CO₂-Emissionen aus der Beheizung der Nichtwohngebäude in Verbindung mit aktuellen Analysen zu zukünftigen Entwicklungen, die als Grundlagen für ein politisches und kommunales Steuerungsinstrument unverzichtbar sind, werden als Problemstellung dieser Arbeit definiert. Ebenso zukünftige Entwicklungen bei der Anpassung des Nichtwohngebäudebestandes.

1.2 Stand der Forschung zur Raumwärmeenergie bei Nichtwohngebäuden

Zunächst sind mit Blick auf den Raumwärmeenergieverbrauch bzw. -bedarf die »Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien« (IKARUS) hervorzuheben, da viele Literaturstellen darauf verweisen. Das Forschungsprojekt des früheren Bundesministe-

²⁰ Vgl. [UBA2007], S. 25: Umweltbundesamt (Hrsg.), 2007

²¹ Vgl. [Bog2008], S. 7: Bogenstätter Ulrich, 2008

²² Vgl. [BMU2011], S. 22-23: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.), 2011

²³ Vgl. [Kem2011], S. 15: Kempf Heike, Schmidt Peter, 2011

riums für Forschung und Technologie wurde im Jahr 1990 eingerichtet.²⁴ Die in den 1990er Jahren entwickelte Datenbank-CD ist jedoch nur auf Basis des veralteten Windows 3.x lauffähig.²⁵ Das Projekt wurde 2003 beendet und die Software seither nicht aktualisiert.²⁶ IKARUS stellte ein makroökonomisches Informationssystem mit einem Optimierungsmodell und einem Teilmodell zur Raumwärme für die Verbrauchssektoren Haushalt und Kleinverbraucher dar. Allerdings konnte es regionale und lokale Fragestellungen nur bedingt abbilden. Voraussetzung wären Erhebungen zu lokalen Daten gewesen.²⁷ Analysen zur Stadtebene mit Blickrichtung auf eine zukunftsfähige Stadtentwicklung waren mit IKARUS demnach nicht direkt möglich. Das Modell lieferte in Bezug auf Nichtwohngebäude sektorale Ergebnisse zu Kleinverbrauchern und berücksichtigte zunächst für die alten Bundesländer 21 Gebäudetypen. Renovierungen für die damals angesetzten Zeithorizonte wurden auf Grundlage der Wärmeschutzverordnung (WärmeSchutzV) von 1995 abgebildet. Die Gebäudeflächenberechnungen basierten auf Grundlage von Beschäftigtenzahlen und Flächenschlüsseln.²⁸ IKARUS konnte zunächst nur die Jahre 1989, 2005 und 2020 bewerten. Eine externe Modeller-gänzung verhalf zur Abbildung von Reduktionsstrategien bis zum Jahr 2030. IKARUS wäre heute bzw. für die Zukunft nur anwendbar, wenn neue Stützjahre integriert und die Datenbank sowie Software aktualisiert worden wären. Gerade für Betrachtungszeiträume bis zum Jahr 2030 und darüber hinaus sind die inzwischen relevanten Techniken und Entwicklungen im Gebäudebereich nicht in den Datensätzen berücksichtigt.²⁹ Ergänzende Betrachtungen zum sinkenden Wärmemarkt mit einem Zeithorizont bis zum Jahr 2050 lieferten im Jahr 2000 zusätzlich Daten zu Gebäudeflächen und Szenarien zur Raumwärmeenergie.³⁰ Da das Projekt im Jahr 2003 beendet, die Daten nicht aktualisiert wurden und kaum noch ein altes lauffähiges EDV-System existiert, kann IKARUS heute nicht mehr eingesetzt werden.

Weiterhin existieren Forschungsarbeiten, die einzelne Gebäude im Nichtwohnbereich untersuchen. Diese sind im Wesentlichen dem Forschungsprogramm »Energieoptimiertes Bauen (EnOB) mit den Forschungsbereichen »Energieoptimierter Neubau (EnBau)« und »Energetische Verbesserung der Bausubstanz (EnSan)« angegliedert.³¹

²⁴ Vgl. [IKA1991], S. 1: IKARUS - Instrumente für Klimagasreduktionsstrategien, Forschungszentrum Jülich (Hrsg.), 1991

²⁵ Vgl. [Lau1997], S. 3: Laue Hans-Jürgen, Weber Karl-Heinz et al., 1997

²⁶ Vgl. [Web2012]: Weber Karl-Heinz, 2012

²⁷ Vgl. [Mar2003], S. 3-8: Markwitz Peter, Stein Gotthard, 2003

²⁸ Vgl. [Kol1995], S. 5-13 und 66-71: Kolmetz Sven, Rouvel Lothar et al., 1995

²⁹ Vgl. [Wag2000], S. 21-23 und S. 173: Wagner Ulrich, Stein Gotthard, 2000

³⁰ Vgl. [Kle2000], S. 2-22 und 72: Klemann Manfred, Heckler Rainer et al., 2000

³¹ Forschungsinitiative EnOB des Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, <http://www.enob.info/de/forschungsfelder/>, Stand: 26.05.2012, Forschungsbereich »Energieoptimierter Neubau (EnBau)« und »Energetische Verbesserung der Bausubstanz (EnSan)«

Diese Forschungsinitiative ist vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie initiiert.

Bisher wurden durch das Forschungsprogramm EnOB etwa 70 Projekte wissenschaftlich begleitet. Der Schwerpunkt liegt bei Verwaltungsbauten und Schulen.³²

Weitere Studien, die Nichtwohngebäude zum Inhalt haben, bezogen sich bisher beispielsweise auf die Entwicklung von Referenzgebäuden (nur Gebäudehülle) zu 22 Gebäudetypen³³ und Vereinfachungen zu energetischen Bilanzierungsansätzen als Alternative zur DIN V 18599³⁴, die bei Berechnungen zu Nichtwohngebäuden gemäß Energieeinsparverordnung³⁵ (EnEV) einzusetzen ist.

Solche Ansätze werden vom EDV-Tool »EnerCalC«³⁶, dem Teilenergiekennwerte-Projekt³⁷ oder auf Basis einer zu erstellenden Gebäudetypologie für hessische Landesliegenschaften³⁸ verfolgt.

Eine weitere Untersuchung ist zu nennen, die bei Schul- und Verwaltungsgebäuden, mittels Funktionen, die Hüllflächenermittlung vereinfacht.³⁹

Eine Studie zu Gebäuden mit kommunaler und sozialer Infrastruktur beschäftigte sich mit dem energetischen Sanierungs- und Neubaubedarf. Hierin werden auch die Anzahl der beheizten Nichtwohngebäude sowie die kommunalen Gebäude und ihre Flächen abgeschätzt.⁴⁰

Ende 2012 wurde eine Publikation zur Entwicklung eines Referenzszenarios im Gebäudebereich bis 2020 veröffentlicht. Zielsetzung ist hier, eine 40 prozentige CO₂-Einsparung darstellen zu können. In dieser Studie werden Nichtwohngebäude, eingeteilt in vier Gruppen (Büro/Verwaltung/Schule, Krankenhaus/Heime, Handel/Gewerbe und Hotels), berücksichtigt.⁴¹

³² Vgl. [Vos2011a], S. 18: Voss Karsten, Spars Guido et al., 2011

³³ Vgl. [Kla2010], S. 73-161: Klauf Sven, 2010

³⁴ DIN V 18599: 2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwasser und Beleuchtung, Teil 1 bis 11 und Beiblatt 1, Ausgabe 2012, Beuth Verlag Berlin

³⁵ Verordnung über energieeinsparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV), in der Fassung vom 24.7.2007 (BGBl. I S. 1519), letzte Änderung durch Art. 1 ÄndVO vom 29.4.2009 (BGBl. I S. 954)

³⁶ Vgl. [Lic2010]: Lichtmeß Markus, 2010

³⁷ Vgl. [Hoe2013]: Hörner Michael, Jedeck Christoph et al., 2013

³⁸ Vgl. [Hoe2012]: Hörner Michael, 2012

³⁹ Vgl. [Thi2010], S. 10-12 und 20-22: Thiel Dieter, Hempel Andre et al., 2010

⁴⁰ Vgl. [Heb2011], S. 29-32: Hebel von Elisabeth, Jahn Karin et al., 2011

⁴¹ Vgl. [BMVBS2012a], S. 50: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), 2012

Maßnahmen und strategische Ziele bei städtischen bzw. öffentlichen Gebäuden wurden beispielsweise zu Münster⁴², Freiburg⁴³, Bayern⁴⁴, Hannover⁴⁵, Hersfeld⁴⁶, Baesweiler⁴⁷ und Nordfriesland⁴⁸ betrachtet. Zusätzlich existiert ein Forschungsprogramm »Experimenteller Wohnungs- und Städtebau (ExWoSt)«, das unter anderem der Zielsetzung nachgeht, die Synergien von kommunalen und privatwirtschaftlichen Akteuren zu nutzen.⁴⁹ Bezüglich einer klimagerechten Gewerbeflächenentwicklung wurde unter ExWoSt ein Modellvorhaben für Aachen initiiert.⁵⁰

Forschungsprojekte mit sektoralen Betrachtungsrichtungen, bei denen die Raumwärme von Nichtwohngebäuden Berücksichtigung fanden, behandeln verhaltensbezogene Energieeinsparpotenziale⁵¹, den Stellenwert des Gebäudesektors für den Klimaschutz⁵², das Einsparpotenzial durch Einsatz von Gas-Brennwerttechnik und Verbesserungen bei der Wärmedämmung sowie bei Lüftungsanlagen⁵³, Energieszenarien mit definierten Annahmen⁵⁴, siedlungsspezifische Ansätze zum Wärmebedarf inklusive der Darstellung in einem Geografischen Informationssystem (GIS)⁵⁵ und Breitenerhebungen zu Verbrauchsdaten inklusive Hochrechnungen zum Gewerbe, Handel, Dienstleistungs- (GHD) Sektor⁵⁶.

Auf der Stadtebene kommen Ansätze und Software-Tools auf Basis von Geografischen Informationssystemen zum Einsatz. Diese basieren beispielsweise auf aufwändigen Informatikerlösungen mit Webanbindungen und Datenbanksystemen⁵⁷, die entsprechend implementiert und auf einem aktuellen technischen EDV-Stand gehalten werden müssen oder auf einem Energieberaterkonzept für Stadtquartiere gemäß Begleitforschungsvorhaben »EnEff:Stadt«⁵⁸.

Bei »EnEff:Stadt« wird der Energieverbrauch von Nichtwohngebäuden entweder vereinfacht mit Benchmark-Werten oder mit Energieverbrauchskennwerten zu Nicht-

⁴² Vgl. [Lec2003], S. 27-38: Lechtenböhmer Stefan, Wagner Oliver, 2003

⁴³ Vgl. [Tim2007], S. 23, 37, 55-64: Timpe Christof, Seebach Dominik, 2007

⁴⁴ Vgl. [Vei2007], S. 64-67: Veit Bürger, Timpe Christof, 2007

⁴⁵ Vgl. [Bie2008], S. 4: Bierwirth Anja, Fishedick Manfred et al., 2008

⁴⁶ Vgl. [Wag2012]: Wagner Oliver, Berlo Kurt et al., 2012

⁴⁷ Vgl. [Ron2009], S. 18-54: Rongen Ludwig, Dulle Hermann, 2009

⁴⁸ Vgl. [Wag2011], S. 10-11: Wagner Oliver, Irrek Wolfgang et al., 2011

⁴⁹ Vgl. [Mal ohne Datum] S. 4: von Malotki Christian, Birk Ute et al.

⁵⁰ Vgl. [BMVBS2010], S. 44-45: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), 2010

⁵¹ Vgl. [Boe2000], S. 13-110: Böde Ulla, Gruber Edelgard et al., 2000

⁵² Vgl. [Sac2002], S. 53-63: Sachse Michael, Semke Sabine et al., 2000

⁵³ Vgl. [Sch2003], S. 19-22, 45-55 und 196-202: Schmid Christine, Brakhage Anselm et al., 2003

⁵⁴ Vgl. [Schl2007], S. 16 und 75: Schlesinger Michael, Hofer Peter et al., 2007

⁵⁵ Vgl. [Ble2009], S. 8 und 28-32: Blesl M., Kempe S. et al., 2009

⁵⁶ Vgl. [Schl2009], S. 2 und 11: Schломann Barbara, Kleeberger Heinrich et al., 2009

⁵⁷ Vgl. [Ise2012], S. 3: Isele André, Höfker Gerrit et al., 2012

⁵⁸ Vgl. [Erh2013], S. 172: Erhorn-Klutting Heike, Erhorn Hans et al., 2013

wohngebäudetypen aus einer BMVBS-Bekanntmachung zu Energieverbrauchsausweisen⁵⁹ berechnet, wobei auch auf alte Daten aus dem IKARUS-Projekt⁶⁰ verwiesen wird. Das Tool benötigt Flächenangaben zu den einzelnen Gebäudetypen,⁶¹ die wiederum der Anwender aus GIS-Daten oder sonstigen Zusammenstellungen aufbereiten muss.

Eine andere Untersuchung zu Geografischen Informationssystemen dient der Verfahrensentwicklung zur Bestimmung einer digitalen Wärmebedarfskarte mittels Laser-scanning zu den Objekten und Daten aus einem GIS.⁶²

Eine Studie zu Siedlungsstrukturen und Regionen befasst sich mit Analysen zu Klimaschutzpotenzialen, die auf Basis von Geografischen Informationssystemen die statistisch gewonnenen Ergebnisse raumbezogen darstellt. Am Beispiel von Freiburg wurden dabei lediglich Wohngebäude⁶³ weiter betrachtet und in einer Studie zu Ettlingen⁶⁴ Stoffströme zu den beheizten und nichtbeheizten Nichtwohngebäuden analysiert.

Aus dem bisherigen Stand der Forschung lassen sich die Forschungslücken und die Zielsetzung dieser Arbeit eingrenzen. Diese werden bei der Modellierung der energetischen Bestandssituation und bei Szenarien zu weiteren Entwicklungen des Nichtwohngebäudebestandes bis zum Jahr 2050 gesehen und nachfolgend näher erläutert.

1.3 Zielsetzung, Abgrenzung und leitende Forschungsfragen

Ziel der Arbeit ist es, neben modellhaften Betrachtungen zur Bestandssituation auf Basis von örtlich überprüften GIS-Daten, das CO₂-Minderungspotenzial bei beheizten Nichtwohngebäuden zu analysieren. Da bei der energiepolitischen Diskussion dem Wärmesektor im Vergleich zum Stromsektor nicht die ihm zustehende Aufmerksamkeit gewidmet wird,⁶⁵ wird sich in dieser Arbeit dem Energie- und CO₂-Anteil aus der Raumbeheizung zugewendet, da der Raumwärmeenergieverbrauch den größten Anteil darstellt. Daher bleiben die Emissionen aus der Warmwasseraufbereitung oder Beleuchtung unberücksichtigt.

Auf Grund unterschiedlicher Nutzungen und Verwertungslogiken von Akteuren werden die beheizten Nichtwohngebäude in Wirtschaftsbauten von Profit-Organisationen und Gebäuden von Non-Profit-Organisationen differenziert. In den Untersuchungen werden mischgenutzte Gebäude mit ihren anteiligen Nichtwohnnutzungen integriert.

⁵⁹ Vgl. [Erh2013], S. 173-174: Erhorn-Klutting Heike, Erhorn Hans et al., 2013

⁶⁰ Vgl. [Erh2011], S. 35-36: Erhorn-Klutting Heike, Jank Reinhard et al., 2011

⁶¹ Eigene Anwendung des Tools »Quartiers ECA«

⁶² Vgl. [Ses2004], S. 243-261: Sester M., Neidhart H., 2004

⁶³ Vgl. [Fit2009], S. 75-82: Fitz Sven, 2009

⁶⁴ Vgl. [Schw2002], S. 139-150: Schwaiger Bärbel, 2002

⁶⁵ Vgl. [BMU2010], S. 59: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), 2010

Es soll zunächst eine methodische Vorgehensweise zur Modellierung des beheizten Nichtwohngebäudebestands in städtischen Teilgebieten, basierend auf Liegenschaftsdaten aus einem GIS, entwickelt werden. Dabei soll die Methode den Anwender mit Mitteln einer leicht erstellbaren Tabellenkalkulation in die Lage versetzen, die eigenen städtischen GIS-Daten nutzen zu können, ohne ein externes aufwändiges EDV-Tool einsetzen und aktualisieren zu müssen, welches in Zukunft für Evaluierungsprozesse eventuell nicht mehr nutzbar sein wird (vgl. 1.2, IKARUS-Projekt).

Als Grundlage für eine Analyse zum vollständigen Stadtgebiet wird eine detailliertere Vorgehensweise zu einem Stadtteil aufgezeigt, die auf einer örtlichen Überprüfung der GIS-Daten aufbaut. Die örtliche Überprüfung dient dem Datenabgleich, der Zuweisung zu einer Gebäudekategorie und der Einstufung in eine energetische Baualtersklasse. Die Entwicklung eines vereinfachten Ansatzes zwecks Schnellanalyse und Abschätzungen zum gesamten Stadtgebiet auf Basis der Ergebnisse zu einem städtischen Teilgebiet ist ein wichtiges Teilziel. Dabei steht die Reduzierung des Aufwandes bei Betrachtungen zu einem Stadtgebiet im Vordergrund. Die Bestandsmodellierung soll mit Hilfe eines Top-down-Ansatzes und zwecks Vergleichs zusätzlich mit einem Bottom-up-Ansatz erfolgen. Bei der Beurteilung der Ist-Situation mittels Top-down-Ansatz werden ausgehend von wenigen wärmeenergetischen Randbedingungen zur allgemeinen Gebäudeebene (verbrauchsorientierte Heizkennwerte) die Energieverbräuche und die Treibhausgasemissionen ermittelt. Beim Bottom-up-Ansatz wird von einer detaillierteren wärmeenergetischen Gebäudeebene auf die Bestandssituation geschlossen. Es wird dabei von einer bedarfsorientierten Betrachtung anhand von Modellgebäuden ausgegangen.

Die Methode wird mit Hilfe von GIS-Daten, die dankenswerter Weise durch die Stadt Wuppertal zur Verfügung gestellt wurden, auf den Stadtbezirk Wuppertal-Vohwinkel angewendet. Zusätzlich soll eine Bestandsmodellerweiterung einen Hochrechnungsansatz auf Basis der Ergebnisse zum Teilgebiet aufzeigen. Ziel dabei ist es, auf eine GIS-Daten-Analyse zum vollständigen Stadtgebiet verzichten zu können und den Hochrechnungsansatz für eine erste Abschätzung mit noch geringerem Aufwand als beim vereinfachten Ansatz nutzen zu können. Bei der Ermittlung der CO₂-Emissionen bleiben Life Cycle Assessment-Ansätze im Sinne einer Ökobilanz zum gesamten Lebensweg unbeachtet. Vorketten (Produktion und Verteilung im Bereich Energieträger) werden im Modell durch LCA-Faktoren (Life Cycle Assessment) bzw. durch Primärenergiefaktoren berücksichtigt. Durch Anpassung der Eingangsparameter können bei Bedarf auch äquivalente CO₂-Emissionen berechnet werden.

Die Gebäudekategorisierung soll auch Gebäude berücksichtigen, die in der aktuellen Energieeinsparverordnung 2009 unberücksichtigt bleiben. Dies sind zum Beispiel

Gebäude für den Gottesdienst und andere religiöse Zwecke.⁶⁶ Dadurch wird die Gebäudekategorisierung in Anlehnung an aktuelle Betrachtungsweisen, die sich streng an den derzeitigen EnEV-Anwendungsbereich und die EnEV-Auslegungen gemäß Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) orientieren, weiterentwickelt.⁶⁷

Anschließend soll eine Methode zur Potenzialanalyse auf Grundlage der Bestandsmodellierung für einen kurzfristigen Zeithorizont entwickelt werden, welche die relevanten Kombinationen von Nichtwohngebäudekategorien und Akteuren aufzeigt, die am ehesten zu einer Reduzierung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen durch Maßnahmen am Bestand bis zum Jahr 2020 beitragen können.

Neben der zuvor beschriebenen Modellierung der Bestandssituation und der Potenzialanalyse werden auf der Zeitachse bis zum Jahr 2050 Szenarien zur energetischen Fortentwicklung des Nichtwohngebäudebestandes aufgezeigt. Ergänzende Szenarien zu Teilbeständen basieren auf einer Akteursbefragung, die im Stadtbezirk Vohwinkel durchgeführt wird. Die Veränderungen des zukünftigen Nichtwohngebäudebestands infolge von Sanierungsmaßnahmen, Neubauten und dem Einsatz von erneuerbaren Wärmeenergien soll in den Szenarien dargestellt und ein Bezug zu den politischen Zielsetzungen zu CO₂-Minderungen bis zum Jahr 2050 hergestellt werden. Weiterhin sollen Leitparameter zur Zielerreichung aufgezeigt werden, wobei die Teilstrategien »Effizienz: Besser! - Konsistenz: Anders! - Suffizienz: Weniger!«⁶⁸ mit ihren Wirkungsanteilen berücksichtigt werden.

Da bereits verschiedene Dissertationen im Kontext mit einer zukunftsfähigen Stadtentwicklung von der Bergischen Universität Wuppertal und dem Wuppertal Institut, bezogen auf den Stadtbezirk Vohwinkel betreut werden, empfiehlt sich Wuppertal-Vohwinkel auch als Untersuchungsraum bzw. städtisches Teilgebiet für die Betrachtungen zum Nichtwohngebäudebestand. Die Wahl auf Vohwinkel fiel dabei im Jahr 2010 nach einem halbtägigen Workshop mit Vertretern der Stadt Wuppertal und den Stadtwerken.⁶⁹

Vohwinkel ist einer von zehn Stadtbezirken von Wuppertal und besteht aus neun Quartieren. Insgesamt ist Wuppertal in 69 Quartiere eingeteilt.⁷⁰ Bezogen auf das gesamte Stadtgebiet Wuppertal eignet sich der Stadtbezirk Vohwinkel insbesondere auch aus wärmeenergetischer Sicht auf Grund der fehlenden Fernwärmeversorgung im Vergleich zum übrigen Stadtgebiet.

Dadurch kann die Sichtweise auf den Einfluss der Fernwärme beim Energiemix erweitert werden. Zusätzlich ist in Vohwinkel eine Mischung von gewerblichen Flächen,

⁶⁶ Vgl. [EnEV 2009], § 1 (2) Nr. 7, Ausgabe 2009

⁶⁷ Vgl. [BMVBS2011b], S. 10, 17-18: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), 2011

⁶⁸ Vgl. [Reu2012a], S. 120 und S. 135, Tab. 6.5: Reutter Oscar, Bierwirth Anja et al., 2012

⁶⁹ Vgl. [Grö2013]: Gröne Marie-Christine, 2013

⁷⁰ Vgl. [Wup2013]: Stadt Wuppertal (Hrsg.), 2013

mischgenutzten Gebäuden sowie kirchlichen und öffentlichen Einrichtungen vorhanden, was für eine Analyse zum Bestand vorteilhaft ist.

Im Stadtbezirk Vohwinkel leben zum 31.12.2012 etwa 30.500 Einwohner und die Fläche beträgt 20,4 Quadratkilometer². Bei etwa 348.000 Einwohnern (31.12.2012) in Wuppertal entspricht dies rund acht Prozent. In Abbildung 1 ist der ausgewählte Stadtbezirk Vohwinkel und das Gesamtgebiet von Wuppertal zur Verdeutlichung dargestellt.⁷¹

Abbildung 1: Stadtgebiet Wuppertal und Stadtbezirk Vohwinkel



Quelle: [Wup2012]: Stadt Wuppertal und [Hel2013], S. 211

Aus den bisherigen Ausarbeitungen zur Thematik des Raumwärmeenergieverbrauchs und CO₂-Emissionen durch beheizte Nichtwohngebäude lassen sich folgende Forschungslücken skizzieren:

- A. Unvollständige Datengrundlage zum beheizten Nichtwohngebäudebestand.
- B. Fehlende einfache Instrumente zur energetischen Bewertung des beheizten Nichtwohngebäudebestands auf der Stadtebene auf Grundlage von örtlich überprüften GIS-Daten.
- C. Vorgehensweise zur Erstellung eines vereinfachten Ansatzes zwecks Schnellanalyse des beheizten Nichtwohngebäudebestandes zur gesamten Stadt auf Grundlage von Ergebnissen zu einem Stadtteil.
- D. Vorgehensweise zur Ermittlung der relevanten Gebäudetypen, bei denen ein hohes kurzfristiges CO₂-Einsparpotenzial im Raumwärmebereich durch Sanierungsmaßnahmen besteht.
- E. CO₂-Szenarien auf Basis der Ergebnisse zum Bestand zu Weiterentwicklungen bis zum Jahr 2050.

⁷¹ Vgl. [Wup2012]: Stadt Wuppertal (Hrsg.), 2012

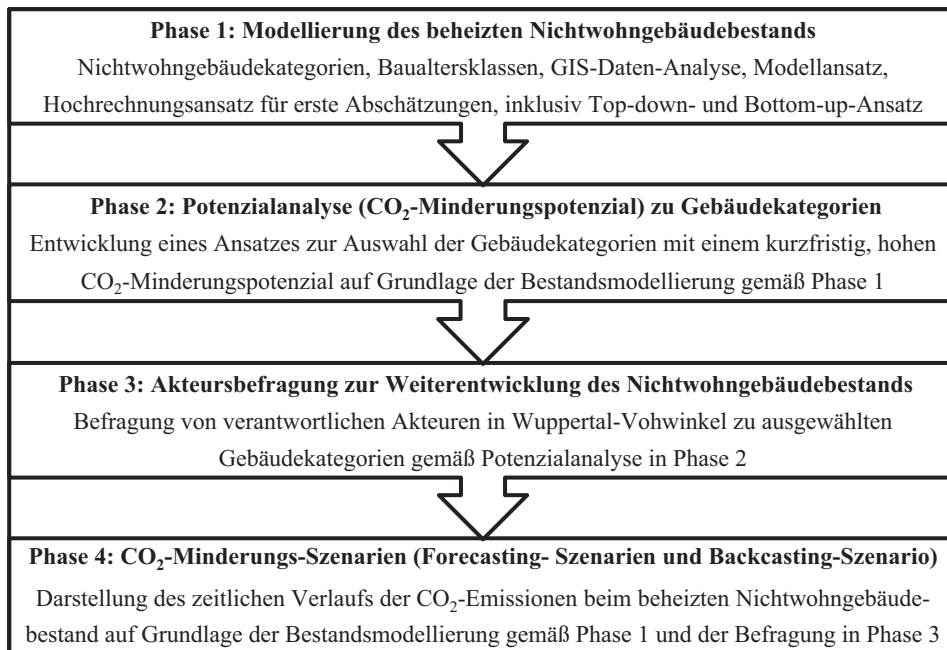
Aus den Forschungslücken lassen sich die Kern-Forschungsfragen zum Bestand der beheizten Nichtwohngebäude für diese Arbeit, bezogen auf CO₂-Emissionen, wie folgt ableiten:

1. Wie kann die Bestandssituation zum städtischen Gesamtgebiet unter Berücksichtigung der Gebäudeebene und des Aufwandes mit Hilfe von örtlich überprüften GIS-Daten zu einem Stadtteil modelliert werden?
2. Welche Nichtwohngebäudetypen weisen in Vohwinkel ein hohes, kurzfristiges Minderungspotenzial durch die Realisierung von Sanierungsmaßnahmen auf?
3. Welche Einschätzungen zur energetischen Weiterentwicklung des Gebäudebestandes liefern verantwortliche Akteure in Vohwinkel?
4. Welchen Beitrag zur zukunftsfähigen Stadtentwicklung (CO₂-Minderungen) können beheizte Nichtwohngebäude in Vohwinkel bis zum Jahr 2050 leisten und welche Leitparameter sind zur Zielerreichung notwendig sowie welchen Anteil haben dabei die Teilstrategien »Effizienz: Besser! - Konsistenz: Anders! - Suffizienz: Weniger!«?

1.4 Vorgehensweise

In Anlehnung an die Zielsetzungen (Modellierung der energetischen Situation zum beheizten Nichtwohngebäudebestand, Analysen zum kurzfristigen CO₂-Minderungspotenzial und CO₂-Minderungs-Szenarien), den zuvor aufgeführten Forschungsfragen sowie dem Stand der Forschung wird die eigene Forschungsleistung und die methodische Vorgehensweise anhand von vier Arbeitsphasen beschrieben.

Diese Arbeitsphasen sind in Abbildung 2 dargestellt. Die eigene Forschungsleistung umfasst die Modellierung des beheizten Nichtwohngebäudebestands auf Basis der örtlich überprüften GIS-Daten zu Vohwinkel, das Aufzeigen einer Bewertungsmethode zum kurzfristigen Sanierungspotenzial, eine Akteursbefragung mit dem Ziel, Einschätzungen zur Weiterentwicklung des Gebäudebestands aufzeigen zu können, sowie das Aufbereiten von Zukunftsszenarien zu CO₂-Minderungen bis zum Jahr 2050.

Abbildung 2: Arbeitsphasen der eigenen Forschungsleistung

Quelle: Eigene Darstellung

1.5 Zusammenfassung

Deutschland verfolgt als klimapolitisches Ziel, die CO₂-Emissionen um 80 Prozent bis 95 Prozent bis zum Jahr 2050, bezogen auf das Jahr 1990, zu mindern. In dieser Arbeit werden der Wärmesektor und hierin der Beitrag des Nichtwohngebäudebestandes an den CO₂-Emissionsminderungen infolge des Energieverbrauchs durch die Raumbeheizung bis zum Jahr 2050 untersucht.

Ebenso wird eine Potenzialanalyse zu kurzfristigen Sanierungsmaßnahmen bis zum Jahr 2020 erstellt. Als Grundlage ist zunächst die Bestandssituation im Bereich der beheizten Nichtwohngebäude auf der Stadtteilebene zu analysieren.

Die CO₂-Szenarien bis zum Jahr 2050 werden auf Grundlage der Bestandssituation, der Befragungsergebnisse und Trendentwicklungen aufbereitet und liefern Leitparameter mit ihren Wirkungsanteilen zur Zielerreichung im Jahr 2050.

Als Untersuchungsraum wird die Stadt Wuppertal und exemplarisch der Stadtbezirk Vohwinkel gewählt, wobei auch ergänzend Abschätzungen zu Wuppertal dargestellt werden.

2 Modellierung des beheizten Nichtwohngebäudebestandes

2.1 Zielsetzung

Ziel ist es, auf Grundlage von örtlich überprüften GIS-Daten zur Steigerung der Genauigkeit die energetische Bestandssituation infolge der Beheizung der Nichtwohngebäude für einen Stadtteil (hier: Wuppertal-Vohwinkel) berechnen zu können. Sowie einen wenig aufwändigen modellhaften Schnellanalyseansatz zum vollständigen Stadtgebiet (hier: Wuppertal) zu entwickeln, mit dessen Hilfe auf die aufwändige örtliche GIS-Daten-Überprüfung zur Berechnung der CO₂-Emissionen verzichtet werden kann. Zusätzlich wird, ohne eine GIS-Daten-Analyse zum gesamten Stadtgebiet durchführen zu müssen, ein Hochrechnungsansatz mit Hilfe der Ergebnisse zum Stadtteil aufgezeigt, wodurch mit noch weniger Aufwand erste Abschätzungen zum vollständigen Stadtgebiet möglich sind. Als weiteres Ziel der Bestandsmodellierung ist zu nennen, dass aufbauend auf den Ergebnissen zum Stadtbezirk Vohwinkel Sanierungspotenziale (vgl. 4) und Zukunftsbilder (vgl. 6) zu CO₂-Minderungen hinsichtlich der Raumwärme bei Nichtwohngebäude dargestellt werden sollen.

Ergänzend werden mit Hilfe einer Abschätzung aus den Ergebnissen zu Vohwinkel auch erste grobe Ergebnisse zum Bestand in Deutschland mit Hilfe von örtlich überprüften GIS-Daten auf der Grundlage der sehr kleinen Stichprobe in Vohwinkel aufgezeigt.

Die hier entwickelte Methode können Kommunen für Klimaschutzkonzepte oder Umweltmanagementsysteme nutzen, indem zunächst ein städtisches Teilgebiet detailliert analysiert und daraus der vereinfachte Modellansatz zum gesamten Stadtgebiet abgeleitet wird. Das Modell zur Stadt- bzw. Stadtelebene kann auf Grundlage von Gebäudeflächendaten auf weitere Umweltbereiche wie zum Beispiel Wasser- und Abwassermengen mit Energieverbrauch, Stromverbrauch und Mobilitäts-Kenngrößen erweitert werden. Die Methode kann auch grundsätzlich im ländlichen Raum, beschränkt auf Quartiere oder Stadtteile oder für komplette Stadtgebiete angewendet werden, da sie auf der Nutzung von Daten aus einem GIS aufbaut. Hier wird sie für ein städtisches Gebiet zwecks Betrachtungen zur zukunftsfähigen Stadtentwicklung genutzt. Als Grundlage kommen GIS-Daten zur Anwendung, da diese inzwischen nahezu bundesweit⁷² vorliegen. Das rechnerische Modell geht zunächst in einem aufwändigeren Ansatz davon aus, dass die Original-GIS-Daten durch eine örtliche Begehung zur Steigerung der Genauigkeit abgeglichen werden und dabei auch Zuordnungen zu Nichtwohngebäudekategorien, Baualtersklassen und Heizkennwerten erfolgen. Das Modell sieht beim vereinfachten Ansatz zum gesamten städtischen Gebiet unter Verwendung der Original-GIS-Daten den Verzicht auf den örtlichen Datenabgleich sowie

⁷² Vgl. [Schw2002], S. 114: Schwaiger Bärbel, 2002

auf den Verzicht der Zuordnungen zu Nichtwohngebäudekategorien, Baualtersklassen und Heizkennwerten vor. Somit ist eine weniger aufwändige Schnellanalyse mit Hilfe der originalen GIS-Daten zum Stadtgebiet möglich (vgl. 2.8.2).

Mangels bestehender Methoden zu einer Schnellanalyse für die bundesdeutsche Ebene soll ergänzend eine erste Abschätzung zum beheizten Nichtwohngebäudebestand für Deutschland aufgezeigt werden, wobei entsprechende Verzerrungen bei den Ergebnissen auf Grund der relativ kleinen Datenausgangslage (Vohwinkel) zu erwarten sind. Die ersten Ergebnisse werden mit Ergebnissen aus anderen Studien verglichen und diskutiert (vgl. Anhang 1.21).

Eine Modellergänzung sieht zur Vervollständigung der Bestandsanalyse zum Raumwärmebereich und zur Schaffung einer Vergleichsmöglichkeit zwischen den Wohn- und Nichtwohngebäuden die Modellierung des Wohngebäudebestandes mit Hilfe der GIS-Daten vor (vgl. 2.8.4).

Liegen keine GIS-Daten vor, kann das Modell nicht eingesetzt werden. Das Modell ist derzeit ebenso wenig für Analysen zur Raumkühlung oder Prozesswärme einsetzbar, jedoch ist eine Modellerweiterung dafür grundsätzlich möglich. Die Methode soll anwendungsorientiert die Nutzung der GIS-Daten mit Hilfe einer einfachen Tabellenkalkulation (Excel-Tool) unterstützen, ohne dass aufwändige Software-Tools inklusive Datenbanksystemen und Webanbindungen angewendet und EDV-technisch auf dem neuesten Stand gehalten werden müssen. Des Weiteren besteht bei aufwändigen Tools eher das Risiko, dass diese nach einer gewissen Zeit nicht mehr zur Verfügung stehen (vgl. IKARUS-Projekt, siehe 1.2), was für Evaluierungsprozesse nicht förderlich ist. Dies soll mit der Excel-Anwendung verhindert werden.

2.2 Methodische Vorgehensweise

Die Schaffung der Datengrundlage ist auf Grund der bestehenden Lücken und fehlenden Erhebungen im Vergleich zum Wohngebäudebestand eine große Herausforderung. Sie muss unter Abwägung des Aufwandes, des EDV-Einsatzes und den damit verbundenen Kosten sowie der Datengenauigkeit erfolgen. Detaillierte Erhebungen zum Nichtwohngebäudebestand in Wuppertal-Vohwinkel oder für das gesamte städtische Gebiet von Wuppertal zur Gebäudehülle, Gebäudetechnik und zu Heizenergieverbräuchen sind mit extrem hohen Aufwendungen verbunden und im Grunde praktisch nicht durchführbar, zumal von vielen Gebäudeeigentümern bzw. -nutzern keine Zustimmung zur Datenerhebung zu erwarten ist. In dieser Arbeit wurde daher ein typologisch orientiertes Bestandsmodell entwickelt, das auf detaillierte und aufwändige Gebäudeerhebungen vor Ort verzichten kann.⁷³ Damit dennoch eine angemessene Genauigkeit erreicht wird, werden Gebäudedaten aus dem Geografischen Informationssystem ver-

⁷³ Vgl. [Hel2013], S. 211: Helmus Manfred, Reutter Oscar, Hamann Achim, 2013

wendet und zur Verbesserung der Genauigkeit mit Hilfe eines örtlichen Abgleichs überprüft (vgl. 2.7), wobei die GIS-Daten bei Bedarf angepasst werden. Durch diese Vorgehensweise und mangels aufwandsbedingter Möglichkeiten, detaillierte Erhebungen durchführen zu können, wird eine Genauigkeit erreicht, die unter Abwägung der relevanten Eingangsparameter und zu treffenden Annahmen der Zielsetzung (Modellierung energetische Bestandssituation) gerecht wird. Insbesondere da das Modell auch für die Szenarien bis zum Jahr 2050 (vgl. 6.2) und für die Abschätzung des Bezugs zum Jahr 1990 (Startbilanz, vgl. 6.3) angewendet wird und bei den prozentualen Betrachtungen zu CO₂-Minderungen bis zum Jahr 2050 daher keine zusätzlichen Fehlerabweichungen auf Grund unterschiedlicher methodischer Ansätze zu erwarten sind.

Hinsichtlich der GIS-Daten treffen zunächst folgende allgemeine Aussagen zu: Das sogenannte »digitale Basislandschaftsmodell« liegt seit November 2001 flächendeckend für Deutschland vor.⁷⁴

Die digitale Datengrundlage basiert in dieser Arbeit auf Gebäudedaten aus dem GIS der Stadt Wuppertal.

Am Beispiel von Ettlingen wurden bereits GIS-Daten zu Gebäuden ausgewertet und Teilbestände (Wohngebäude, Sonstige Nichtwohngebäude, Nicht-Landwirtschaftliche Betriebsgebäude, Landwirtschaftliche Betriebsgebäude, Büro- und Verwaltungs- sowie Anstaltsgebäude) aufgezeigt.⁷⁵

Eine andere Studie mit einer GIS-Datenbetrachtung sagt aus, dass die Brauchbarkeit der vorhandenen Daten nicht generell unterstellt werden kann und die Erfassungstiefe der Daten sehr unterschiedlich ist. Die Zeitaufwendungen werden in der Studie auf Basis von GIS-Daten noch hoch eingeschätzt.

Die Studie sagt weiterhin aus, dass jedoch generell die Daten aus dem Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystem-ATKIS oder dem Amtlichen Liegenschaftskataster-(Informationssystem)-ALK bzw. -ALKIS in Betracht kommen. Die Untersuchungen in der zitierten Studie zu den GIS-Daten beziehen sich auf Objektarten, Flächenbilanzen und allgemeine Beschreibungen zu nutzbaren Attributen mit der grundlegenden Feststellung, dass die Gebäudeanzahl aus den GIS-Daten ermittelt werden kann. In der Studie wurden die Gebäudeanzahl und Flächenverteilungen von Nichtwohngebäuden in Dresden und Chemnitz untersucht. Dies erfolgte auf Basis der GIS-Daten-Attribute »Gebäudefunktion« und »Objektart«, dabei wurde der Schwerpunkt auf öffentliche Gebäude gelegt.⁷⁶

⁷⁴ Vgl. [End ohne Datum], S. 5: Endrullis Manfred, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (Hrsg.)

⁷⁵ Vgl. [Schw2002], S. 139-151: Schwaiger Bärbel, 2002

⁷⁶ Vgl. [BMVBS2011b], S. 70-84: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), 2011

Aufgrund der zuvor aufgeführten Untersuchungen bestätigt sich die eigene Vorgehensweise, die zum einen auf Basis von GIS-Daten zu Gebäudeflächen aufbaut und zum anderen die Genauigkeit und Korrektheit der Daten durch örtliche Überprüfungen inklusive Luftbildauswertungen verbessert. Im Modell soll dabei ein Bezug zur Gebäudekategorisierung, zu Baualtersklassen und zu energetischen Zuständen durch Zuordnung von Heizkennwerten hergestellt werden. Generell erfolgt die Unterscheidung der Gebäude in Profit (P)- und Non-Profit (NP)-Organisationen (vgl. 1.3), wodurch Gebäudetypen und unterschiedliche Verwertungslogiken von Akteuren typologisiert werden.

Die methodische Vorgehensweise sieht zunächst die Anwendung des Verfahrens mit höherem Aufwand am Beispiel von Vohwinkel (Bilanzraum Stadtteil) vor, da die Korrektheit der GIS-Daten hinsichtlich der Nutzung, des energetischen Gebäudealters und die Anzahl der Geschosse vor Ort zu überprüfen ist. Nur dadurch kann eine deutlich verbesserte Ergebnisgenauigkeit und eine Grundlage für das Modell zur vereinfachten Schnellanalyse erreicht werden. Bei der örtlichen Überprüfung werden die Gebäude konkret in beheizte und nicht beheizte Nichtwohngebäude eingeteilt und im Falle des beheizten Zustandes einem Gebäudetyp und einer Baualtersklasse zugewiesen. Bei der Zuordnung der Baualtersklassen ist zu beachten, dass unabhängig von einer eventuell vorliegenden Jahreszahl zum Baujahr die Baualtersklasse aus energetischer Sicht zuzuweisen ist, da bei den Gebäuden bereits Teilsanierungen zum Beispiel durch Fensteraustausch erfolgt sein können. Durch die Zuordnung zu einer Gebäudekategorie und Baualtersklasse wird dem Gebäude automatisch im Excel-Tool ein Heizkennwert (HK) zugewiesen, da diese mit dem Gebäudetyp und der Baualtersklasse verknüpft sind. Die Bruttogrundfläche (BGF) als Berechnungsgrundlage ergibt sich aus Multiplikation der Grundfläche (AN) mit der Geschoszahl (GF).

Für jeden GIS-Datensatz wird demnach die Jahresendenergiemenge zur Raumwärme (End) mit Hilfe der Bruttogrundfläche (BGF) und dem Heizkennwert (HK) berechnet und je Gebäudekategorie oder Baualtersklasse summiert. Daraus ergeben sich die kumulierten Ergebnisse zu den Non-Profit- und Profit-Organisationen zur Bruttogrundfläche ($BGF_{NP,P}$), zur Endenergie ($End_{NP,P}$), zur Primärenergie ($QP_{NP,P}$) und zu den CO₂-Emissionen ($CO_{2NP,P}$). Die Primärenergie und die CO₂-Emissionen je GIS-Datensatz ergeben sich in Abhängigkeit vom Energiemix durch Berücksichtigung der Primärenergie- und CO₂-Emissionsfaktoren. Die rechnerischen Ansätze sind in Abbildung 3 dargestellt.

Je nach Ansatz von Heizkennwerten als Verbrauchs- oder Bedarfswerte können zwei alternative Ergebnisse ermittelt und verglichen werden. Werden Verbrauchskennwerte benutzt, wird diese Vorgehensweise als Top-down-Ansatz definiert, da von der allgemeinen Gebäudeebene auf die Heizkennwerte geschlossen wird. Werden bedarfsorientierte Heizkennwerte angewendet, wird von einem Bottom-up-Ansatz gesprochen, da die Bedarfswerte mit Hilfe von detaillierten Betrachtungen zur modellhaf-

ten Gebäudeebene ermittelt werden. In dieser Arbeit werden zu beiden Ansätzen die Heizkennwerte je Gebäudekategorie und Baualtersklasse bestimmt (vgl. 2.6).

Beim vereinfachten Ansatz (Schnellanalyse) werden zunächst die Ergebnisse zu den einzelnen GIS-Datensätzen zum Stadtteil (hier: Vohwinkel, Bilanzraum Stadtteil) zur Definition von linearen Gleichungen zwecks Berechnung des Endenergie (End-) und Primärenergieverbrauchs (QP) bzw. -bedarfs und der CO₂-Emissionen verwendet.

Die linearen Gleichungen basieren dabei auf einer Regressionsanalyse, wobei die Datengrundlage aus den örtlich abgeglichenen GIS-Daten zu den Bruttogrundflächen und den Heizenergiewerten erstellt wird (vgl. 2.8.2).

Beim vereinfachten Ansatz wird lediglich die Bruttogrundfläche der originalen, ungeprüften GIS-Daten beispielsweise zum gesamten Stadtgebiet (hier: Wuppertal, Bilanzraum Stadt) zum beheizten Nichtwohngebäudebestand aggregiert und in die Gleichungen eingesetzt. Die örtliche Überprüfung mit Zuordnung zu Nichtwohngebäudekategorien, Baualtersklassen und somit zu Heizkennwerten entfällt. Ebenso die Korrektur von Flächenzahlen und Geschossezahlen in den Original-GIS-Datensätzen, die sich aus dem örtlichem Abgleich ergeben würden. Der örtliche Abgleich wird durch einen Korrekturfaktor in den Gleichungen auf Basis der Datenanalyse zum Stadtteil (hier: Vohwinkel) berücksichtigt. In Abbildung 3 ist das Ablaufschema zu den Arbeitsschritten zum detaillierten und vereinfachten Ansatz auf Basis von GIS-Daten dargestellt.

Im Ablaufschema zum detaillierten Ansatz mit höherem Bearbeitungsaufwand sind die Zuordnungsschritte und die Vorgehensweise zum Aggregieren der Gebäudedaten erkennbar. Ebenso die Berechnungsschritte, die zu detaillierten Ergebnissen je Datensatz und den Summenbildungen führen. Dabei werden für das Jahr 2010 die geringen Anteile der erneuerbaren Energien bei der Endenergieberechnung (nicht erneuerbarer Anteile gemäß DIN V 18599⁷⁷) vernachlässigt.

Die Arbeitsschritte beim vereinfachten Ansatz beschränken sich auf das Aggregieren der Original-GIS-Daten zum beheizten Nichtwohngebäudebestand und auf die Anwendung der linearen Gleichungen mit den Steigungsverhältnissen gemäß Regressionsanalyse, die aus den Ergebnisdaten des detaillierten Ansatzes hergeleitet werden.

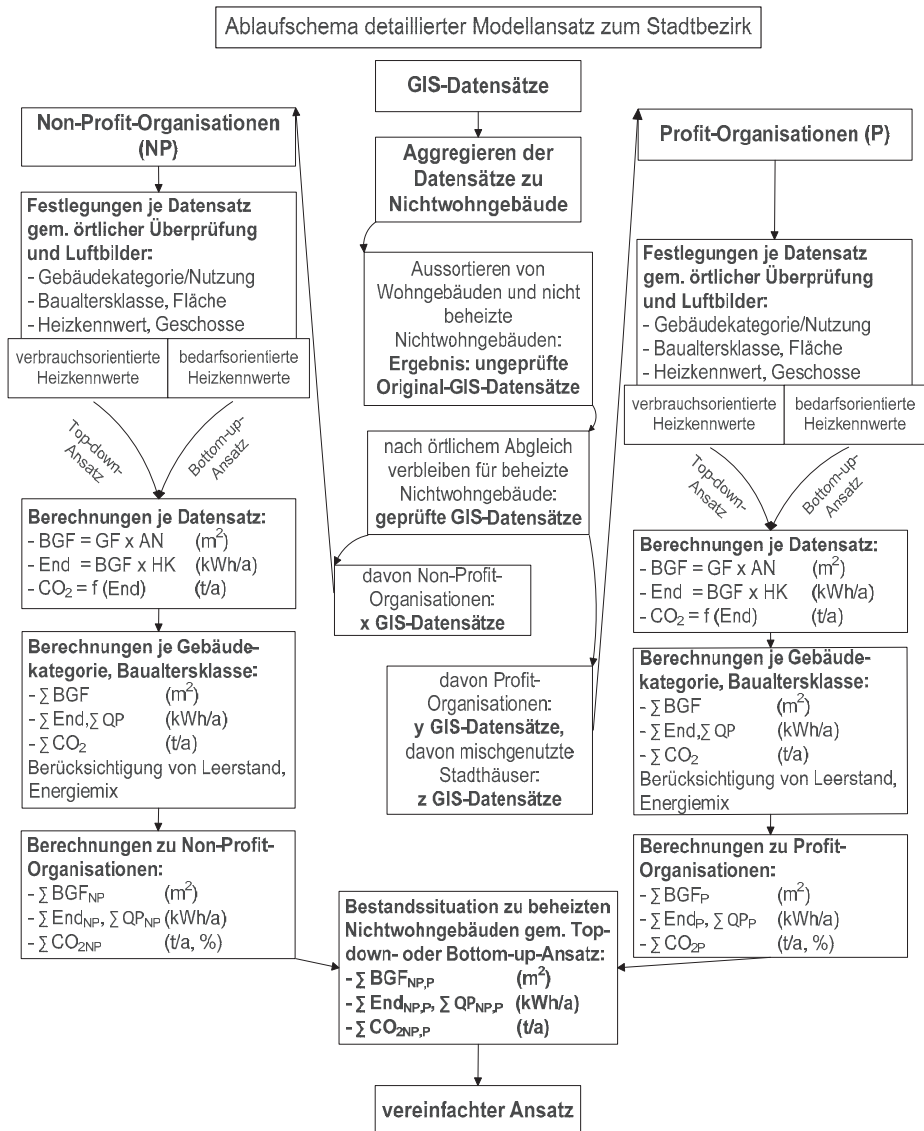
Die Ergebnisse zum Bestand bilden das Jahr 2010 ab, da die von der Stadt Wuppertal Anfang 2012 überlassenen GIS-Daten in etwa dem Zustand im genannten Jahr entsprechen.

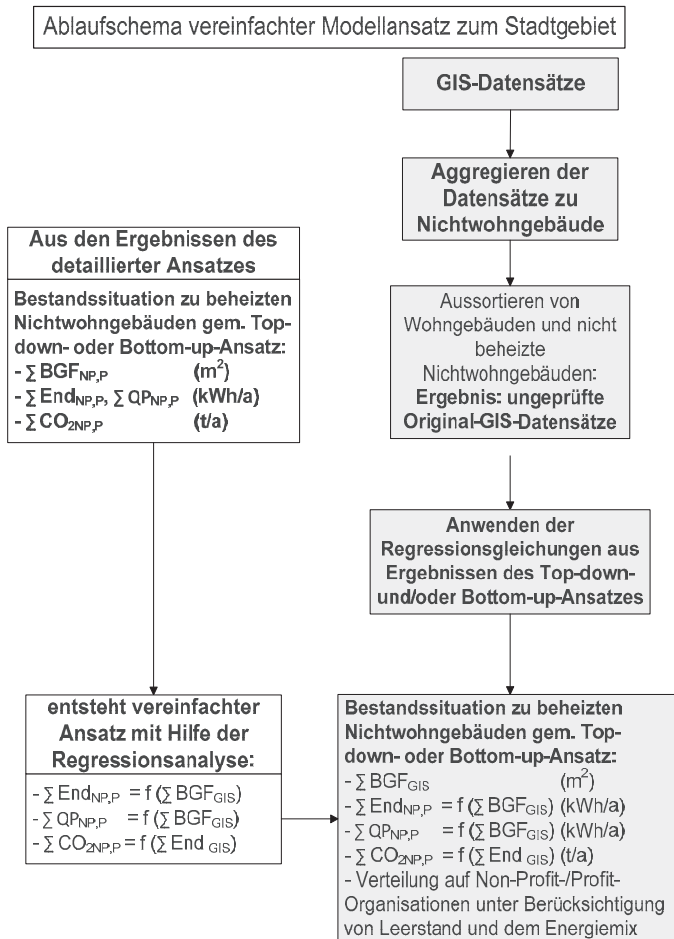
⁷⁷ Vgl. [DINV18599]: Teil 1, Seite 39 und Teil 5, Seite 142

Abbildung 3: Ablaufschema zum detaillierten und vereinfachten Modellansatz, Vergleich der Arbeitsschritte

Legende:

- | | | | |
|-----------------------|---|----------------------|---------------------------|
| GF: | Geschlosszahl | AN: | Gebäudegrundfläche |
| P: | Profit-Organisationen | NP: | Non-Profit-Organisationen |
| End _{NP,P} : | Endenergie | QP _{NP,P} : | Primärenergie |
| CO _{2NP,P} : | CO ₂ -Emissionen | | |
| BGF _{GIS} : | Bruttogrundfläche aus Original-GIS-Daten | | |
| BGF _{NP,P} : | Bruttogrundfläche aus örtlich überprüften GIS-Daten | | |





Quelle: Eigene Darstellung

Nachfolgend wird die Vorgehensweise zunächst zum aufwändigeren Detailmodell und anschließend zum vereinfachten Modell anhand der Teilschritte genauer erläutert und auf Vohwinkel angewendet (vgl. 3). Dazu sind beim aufwändigeren Detailmodell zunächst Betrachtungen zu den Nichtwohngebäudekategorien, zu Baualtersklassen und zu den Heizkennwerten notwendig.

2.3 Nichtwohngebäudekategorien

Verschiedenen Gebäudetypen sind infolge ihrer Nutzung und angepassten Bauweise unterschiedlichen Heizkennwerten zuzuordnen. Daher sind die Gebäudetypen bei wärmeenergetischen Betrachtungen zu kategorisieren. Die Kategorisierung der Nichtwohngebäude orientiert sich an unterschiedlichen privaten und öffentlichen Nutzungen und berücksichtigt somit gleichzeitig unterschiedliche Akteurslogiken.

Die Einteilung in Kategorien lehnt sich an die bereits in der Vergangenheit definierten Nichtwohngebäudetypen an, wobei eine Weiterentwicklung durchgeführt wird.

Tabelle 1: Kategorisierung für beheizte Nichtwohngebäude

Nr. Gebäudekategorie
1 Bildungsgebäude: Weiterbildung, Kindergarten, Forschung, Labor, Schulgebäude, Hochschule, Kindertagesstätten
2 Büro- & Verwaltungsgebäude: Fabrik, Gewerbe, Logistik, Bahn, Polizei, Banken, Versicherungen, Regierungsgebäude, Ämter, Dienstleister, Rechenzentrum
3 Fabrikgebäude mit Büroanteil: Großunternehmen, Fabrikationshallen
4 Werkstattgebäude: Handwerk, Gewerbe, Lebenshilfe, Straßenmeisterei, Betriebsgebäude, Bereitschaftsdienst, Feuerwehr
5 Heilbehandlungsgebäude: Krankenhäuser, Polikliniken, Reha-Zentrum, Pflegeheim, Seniorenbetreuung, Ärztezentrum, Justizvollzugsanstalt
6 Handelsgebäude: Shopping-Center, Lebensmittel, Non-Food, Autohaus mit Ausstellung, Kaufhaus, Baumarkt, Tankstelle, Möbelhaus
7 Lagerhallen: Zentrallager, Versandlager, Lager von Gewerbe/Fabrik
8 Sporthallen: private, Schul- und Hochschulsport, Tennis- u. Sporthallen, Fußballhallen, Fitnesscenter, Stadion, Vereinsheim
9 Schwimmhallen: Spaßbäder, kleine Schwimmsporthallen
10 Kulturgebäude: Oper, Theater, Konzert, Kino, Ausstellungsgebäude, Stadtbücherei, Stadthalle, Veranstaltungsgebäude
11 Beherbergungsgebäude: Hotels, Gaststättengebäude freistehend, Jugendherberge
12 Stadthaus mit Laden/Büros/Handel/Praxen/Gaststätte (nur Nichtwohnanteil)
13 Kirchen: Verwaltung, Pfarrheim, Gemeindezentrum, Kirchen

Quellen: IKARUS-Projekt [Kol1995], S. 163-169 und [BMVBS2011b], S. 21

Die Einteilung zu den Gebäudetypen wird auf Basis des IKARUS-Projektes⁷⁸, eines Forschungsberichtes zu Gebäudegruppen und -arten zur kommunalen Erfassung von Verbrauchskennwerten⁷⁹, einer Studie zur Typologie und Bestand von Nichtwohnge-

⁷⁸ Vgl. [Kol1995], S. 163-169: Kohler Niklaus, Hassler Uta, Paschen Herbert, 1999

⁷⁹ Vgl. [ages2010], S. 4, S. 25-26 und S. 33-36: Forschungsbericht der ages GmbH (Hrsg.), 2010

bäuden in Deutschland⁸⁰ mit Differenzierung der Haupt- und Unterkategorien als erste Entwicklungsstufe einer Typologie sowie der definierten Nutzungen in der DIN V 18599⁸¹ entwickelt. Zunächst wird eine Kategorisierung für Nichtwohngebäude aus der zuvor erwähnten Studie »Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland« von 2011 und dem seit ca. zehn Jahren nicht mehr weiter verfolgten IKARUS-Projekt in Tabelle 1 gebildet, wobei 13 Hauptgruppen mit zugeordneten Gebäudetypen dargestellt sind.

Bei der Fortführung der Kategorisierung ist auch die unterschiedliche Gebäudetechnik (Heizen, Lüften und Kühlen) zu berücksichtigen, da sich Heiz- und Lüftungssysteme aus den Anforderungen zum Gebäudetyp und der Nutzung ergeben.⁸²

Aus den 13 Gruppen der Tabelle 1 werden jeweils zu den Non-Profit- und Profit-Organisationen die Haupt- und Unterkategorien gebildet, die unabhängig vom Vorhandensein in Vohwinkel zu betrachten sind. Die Unterscheidung in Non-Profit- und Profit-Organisationen wird gewählt, da im öffentlichen und privaten Bereich die Verwertungs- und Nutzungslogik der Akteure, der Baustil und somit die Heizkennwerte zu differenzieren sind. Beispielsweise unterscheidet sich eine Gewerbehalle im Baustil deutlich von einem Rathaus. Zusätzlich soll mit der Unterscheidung erreicht werden, dass für die Bestandssituation und die Szenarien (Zukunftsbilder) die unterschiedlich großen Anteile bzw. Potenziale je Organisationsform differenziert werden können. Bei Mischnutzungen innerhalb eines Nichtwohngebäudes (Beispiel: privatbetriebenes Cafe im öffentlichen Hallenbad) erfolgt die Zuordnung zur Hauptnutzung. Im Einzelfall kann die Teilung der Gebäudefläche in unterschiedliche Nutzungseinheiten und Zuweisung entsprechender Heizkennwerte sinnvoll sein. Des Weiteren werden einige Gebäudekategorien beiden Organisationsformen zugewiesen, die privatrechtlich oder öffentlich gebaut und betrieben werden können. Dies wird für Kliniken, Sporthallen sowie Pflege- und Reha-Zentren berücksichtigt. Dadurch werden die CO₂-Emissionen aus dem städtischen Gebiet angemessen auf die Organisationsformen verteilt. Bei den Banken werden alle Gebäude, also beispielsweise auch die der Sparkassen den Profit-Organisationen zugewiesen, auch wenn die Gewinnabsicht bei den Sparkassen nicht im Vordergrund steht. Jedoch ist ein Wirtschaften mit Finanzprodukten nicht zu leugnen. Insofern ist es angemessen, im Rahmen der Betrachtungen zu CO₂-Emissionen diese Gruppierung vollständig den Profit-Organisationen zuzuordnen.

Ziel ist es, dass die Gebäudegruppen nach den wesentlichen Nutzungen unterschieden werden und die Differenzierung nicht zu grob aber auch nicht zu detailliert gewählt wird. Eine zu detaillierte Gebäudeeinteilung ist bei der hier vorgesehenen aufwandsori-

⁸⁰ Vgl. [BMVBS2011b], S. 21: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), 2011

⁸¹ Vgl. [DINV18599], T. 10, S. 22-27, Ausgabe 2012

⁸² Vgl. [Rec2011], S. 1212-1256 und S. 1747-1916: Recknagel, Sprenger, Schramek (Hrsg.), 2011

entierten Vorgehensweise nicht zielführend. Eine zu grobe Unterteilung wird dagegen der Bandbreite der Nutzungen und den damit verbundenen unterschiedlichen Heizenergieverbräuchen nicht gerecht.

Daher werden bei der Differenzierung in Hauptkategorien und Unterkategorien neben den Gruppen in der Tabelle 1 auch Einteilungen gemäß »Forschungsbericht zu Verbrauchskennwerten«⁸³ berücksichtigt. In diesem Forschungsbericht sind diverse Gebäudearten zu Gebäudegruppen zusammengefasst und Verbrauchskennwerte auf Basis von Daten aus öffentlichen Liegenschaften aufbereitet.

Eine weitere Unterteilung der Gebäudetypen zum Beispiel nach dem Flächen-Volumen-Verhältnis, eingesetzten Baumaterialien oder Dachformen wird nicht vorgenommen, da diese gebäudespezifischen Betrachtungen keine direkten Einflüsse auf die Bildung der nutzungsbedingten Hauptkategorien haben. Sollten diese Parameter zusätzlich unterschieden werden, müsste eine dritte Ebene nach den Unterkategorien eingeführt werden, was den Detaillierungsgrad zur Gebäudetypologie weiter anwachsen lässt und damit die ergebnis- und aufwandsorientierte Vorgehensweise erschwert. Ob sich durch eine weitere Ebene relevante Einflüsse auf die Ergebnisse ergeben, wird hier nicht untersucht.

Den Non-Profit-Organisationen werden auf Grund der Zusammenstellung der Tabelle 1 die Gebäude der öffentlichen Bereiche Bildung, Verwaltung, Sportstätten, Bereitschaftsdienste/Werkstätten, Heilbehandlungsgebäude, Kulturbauten, Justizvollzugsanstalten/Kasernen und kirchliche Einrichtungen zugeordnet. Die Unterkategorien berücksichtigen im Weiteren die wesentlichen Differenzierungen der öffentlichen Nutzungen auf der zweiten Ebene.

Die Wirtschaftsbauten der Profit-Organisationen können gemäß Tabelle 1 und unter Berücksichtigung von Sektoren in die Hauptkategorien Büronutzungen, Produktionsgebäude/Werkstätten/Lager, ebenso in Heilbehandlungsgebäude, Handelsgebäude, Vergnügungsstätten und Beherbergungsstätten unterschieden werden. Zur Hauptkategorie »Bürogebäude« gehören neben Dienstleistungsflächen auch Büroflächennutzungen bei gewerblichen Betrieben, die nicht nur als separater Verwaltungsbau oder Anbau vorhanden sind, sondern auch im Gebäudekomplex integriert sein können und bei relevantem Flächenanteil separat betrachtet werden. Bei Produktionsstätten werden großflächige und kleinflächige Betriebe sowie beheizte Lagerflächen unterschieden.

Handelsgebäude werden infolge der Nutzungsvarianten innerhalb der Kategorie 12 in 7 Unterkategorien differenziert. Die Gebäudekategorie 12.7 stellt dabei die mischgenutzten Gebäude (Wohn- und Nichtwohnnutzung) dar, in denen in der Regel neben der Wohnflächennutzung in den Obergeschossen eine Nichtwohnflächennutzung im Erdgeschoss mit schwerpunktmäßiger Nutzung als Einkaufsladen, Shop oder Apotheke

⁸³ Vgl. [ages2010], S. 4 und Anhang 2: Forschungsbericht der ages GmbH (Hrsg.), 2010

vorherrscht. Daher ist diese Kategorie dem Handel zugeordnet. Auch können beispielsweise vereinzelt Büros, Bars, Kinos oder Ärzte in dieser Fläche vorhanden sein. Da am Beispiel von Vohwinkel die überwiegende Nutzung dem Handel zugeordnet werden kann, wird die Zuordnung dieser Gebäude in die Kategorie 12.7 als angemessen angesehen, zumal insgesamt nahezu in allen Fällen von einer Profit-Organisationsnutzung ausgegangen werden kann. Diese Mischtypen zur Wohn- und Nichtwohnnutzung werden zusammengefasst als »Stadthäuser« bezeichnet. Für die energetischen Betrachtungen werden nur die nichtwohngenutzten Flächen im Erdgeschoss berücksichtigt.

Um den Bezug zum bestehenden Bauwerkszuordnungskatalog (BWZ⁸⁴ nach VDI 3807-98⁸⁵), den die »ARGEBAU - Hochbauausschuss der Länder« erstellte, zu gewährleisten, werden BWZ-Ziffern bei der Gebäudekategorisierung ergänzt. Bei Gebäuden der Profit-Organisationen ist dies jedoch nur bedingt möglich, da der BWZ hauptsächlich öffentliche Gebäude berücksichtigt. Gewerbliche Bauten sind im BWZ nur geringfügig differenziert.⁸⁶

Insgesamt wird eine Gebäudekategorisierung gebildet, die inklusive Unterkategorien aus 18 Non-Profit-Typen und 20 Profit-Typen besteht. Die hier definierten Gebäudekategorien sind in Tabelle 2 und 3 aufgeführt. Sie wurden im Rahmen von Vorveröffentlichungen⁸⁷ ausschnittsweise bereits dargestellt. Die 38 Kategorien gemäß Tabelle 2 und 3 stellen nach eigener Einschätzung eine Typologie dar, die einerseits eine angemessene und hinreichende Differenzierung erlaubt und sich an der anzutreffenden Bestandssituation orientiert sowie andererseits eine zu feine Unterteilung, die keine relevanten Ergebnisunterschiede erwarten lässt, verhindert.

Mit dieser Kategorisierung werden im Weiteren die beheizten Nichtwohngebäude entsprechend ihrer privatwirtschaftlichen und öffentlichen Nutzungen differenziert und unterschiedliche Heizkennwerte zugeordnet. Die kommunalen Gebäude gehören dabei den Kategorien der Non-Profit-Organisationen an.

Sondergebäude wie Rechenzentren, Laborgebäude, Wäschereien oder Flughafen-Terminals werden durch das hier vorgestellte Modell nicht erfasst, da sich diese Gebäudestrukturen durch große Lüftungsraten, Klimatechnik und große interne Heiz- bzw. Kühllasten auszeichnen. Eine reine wärmeenergetische Betrachtung über flächenspezifische Heizkennwerte wird diesen Gebäuden nicht gerecht. Zumal sich nicht bei allen Gebäudetypen eine flächenabhängige Bezugsgröße sinnvoll anwenden lässt.⁸⁸

⁸⁴ Vgl. [VDI3807-98], S. 26-35: VDI-Richtlinie, 1998

⁸⁵ VDI-Richtlinie, Energieverbrauchskennwerte für Gebäude, Heizenergie- und Stromverbrauchskennwerte, VDI 3807 Blatt 2, Juni 1998

⁸⁶ Vgl. [Bog2008], S. 97: Bogenstätter Ulrich, 2008

⁸⁷ Vgl. [Ham2013a], S. 50-51: Hamann Achim, Helmus Manfred, Reutter Oscar, 2013 und [Hel2013], S. 212

⁸⁸ Vgl. [Run2008], S. 10: Runge Fritz, Emmrich Frank

Beispielsweise wurden bei der Inbetriebnahme des Frankfurter Flughafens ab Januar 1970 zur Klimatisierung und Belüftung 18 Millionen m³ Luft stündlich bewegt.⁸⁹ Auch ist bei einem Laborgebäude als wesentliche Einflussgröße auf den Energieverbrauch die auszutauschende Raumlufthmenge relevant und daher die Jahresabluftmenge heranzuziehen.⁹⁰ Bei Rechenzentren kann dagegen die Kühlung bis zu 50 Prozent des gesamten Energieverbrauchs ausmachen.⁹¹

Landwirtschaftliche Gebäude, die als Bauernhaus oder Wohnhaus genutzt werden, sind den Wohngebäuden zuzuordnen. Landwirtschaftliche Hallen werden überwiegend als unbeheizte Unterstellhallen bzw. unbeheizte Betriebsgebäude genutzt. Der Anteil an beheizten landwirtschaftlichen Gebäuden beträgt gemäß einer anderen Studie zu Nichtwohngebäuden maximal 10 Prozent⁹².

In Vohwinkel konnten aufgrund der GIS-Daten-Analyse und örtlichen Begehungen 2.752 Quadratmeter Bruttogrundfläche bzw. 10 GIS-Datensätze als beheizte landwirtschaftliche Nichtwohngebäude recherchiert werden. Bezogen auf das Gesamtergebnis (906.843 Quadratmeter, vgl. 2.7.3) kann diese Größenordnung von 0,3 Prozent als untergeordnet bezeichnet werden. Aufgrund dessen wird keine gesonderte Kategorie für beheizte landwirtschaftliche Nichtwohngebäude eingeführt. Die geringen Flächen werden für Vohwinkel vernachlässigt. Soll das Modell für Betrachtungen in überwiegend ländlichem Raum eingesetzt werden, ist dafür entweder eine zusätzliche Kategorie einzuführen, oder die beheizten landwirtschaftlichen Nichtwohngebäude werden ersatzweise der Kategorie 10.2 (Lager) zugeordnet.

Tabelle 2: Gebäudekategorien Non-Profit-Organisationen

Beheizte Nichtwohngebäude, Nichtwohnflächen				
Nr.	Hauptkategorie	Nr.	Unterkategorie	BWZ
	Non-Profit-Organisation			
1	Bildung	1.1	Schulen	4000
		1.2	Hochschulen/Forschung	2000
		1.3	Kindertagesstätten/Kindergarten	4400, 4410
				3700
		1.4	Weiterbildungsstätten	4500
2	Verwaltung	2.1	Regierungs- und Gerichtsgebäude	1200
		2.2	Ämter/Polizeigebäude/Bahn	1300
3	Bereitschaftsdienste/Werkstatt			7700, 7760
				7760
4	Heilbehandlung	4.1	Kliniken	3200

⁸⁹ Vgl. [Die2004], S. 115: Diemel Hans-Liudger, Prandner Eckart, Pühl Matthias

⁹⁰ Vgl. [Run2008], S. 10-11: Runge Fritz, Emmrich Frank

⁹¹ Vgl. [Pri2011], S. 44: PrimeEnergyIT Projektkonsortium (Hrsg.), 2011

⁹² Vgl. [Gru2011], S. 69: Gruhler Karin, Böhm Ruth

		4.2	Pflegeheim/Reha-Gebäude	6420, 3410
5	Sport	5.1	Sporthallen/Tennishallen/Turnhallen	5001, 5110
		5.2	Hallenbad/Spaßbäder	5210
		5.3	Stadien/Vereinsheime	5301
6	Kultur/öffentlicher Zugang	6.1	Ausstellungsgebäude/Bibliotheken	9120, 9130
		6.2	Oper/Theater/Konzertsäle	9100
		6.3	Veranstaltungsgebäude	9140, 5130
7	Justizvollzugsanstalt/Kaserne			9600, 6310
8	kirchliche Gebäude	8.1	Pfarrheim/Gemeindezentrum/Verwaltung	9155
		8.2	Kirchenbauten	9110

Quellen: Eigene Festlegungen auf Basis von: IKARUS-Projekt [Kol1995], S. 163-169 und [BMVBS2011b], S. 21

Tabelle 3: Gebäudekategorien Profit-Organisationen

Beheizte Nichtwohngebäude, Nichtwohnflächen				
Nr.	Hauptkategorie	Nr.	Unterkategorie	BWZ
	Profit-Organisation			
9	Bürogebäude/ Büroflächennutzung	9.1	Dienstleister	
		9.2	Verwaltungsbau Gewerbe/Industrie/Logistik	
		9.3	Banken/Versicherungen/Gesundheit	
10	Produktion/Werkstatt/ Lager	10.1	Produktion/Gewerbe	
		10.2	Lager für Versand/Zentrallager/Logistik	7500
		10.3	Werkstätten/Kleingewerbe	7300
11	Heilbehandlung	11.1	Kliniken	3200
		11.2	Pflegeheim/Reha-Gebäude	6420, 3410
		11.3	Gesundheitswesen/Praxisgebäude	
		11.4	Fitnesscenter/Sporthallen	
12	Einkauf/Handel	12.1	Handel Food	7200
		12.2	Handel Non-Food/Tankstellenshop	
		12.3	Bau- und Gartenmarkt/Möbelhaus/Baustoffe	
		12.4	SB-Warenhaus	
		12.5	Einkaufszentrum mit Ladenpassage/Kaufhaus	
		12.6	Autohaus mit Werkstatt	
		12.7	Laden/Büro im Stadthaus, nur Nichtwohnfläche	
13	Kino/Discothek/Spielothek (freistehend)			
14	Beherbergung	14.1	Hotel/Pension/Jugendherberge	6610, 6611
		14.2	Restaurant/Gaststätte	6510

Quellen: Eigene Festlegungen auf Basis von: IKARUS-Projekt [Kol1995], S. 163-169 und [BMVBS2011b], S. 21

2.4 Baualtersklassen

Mit Hilfe einer Klassifizierung zum Alter bzw. energetischen Alter der beheizten Nichtwohngebäude ist es möglich, eine energetische Einstufung durch Heizkennwerte vorzunehmen, da sich der Heizenergieverbrauch altersabhängig infolge der vorherr-

schenden Bauweise, der eingesetzten Baumaterialien und Heiztechnik sowie Nutzung darstellt. Zur Unterscheidung von altersabhängigen Verbräuchen werden Baualtersklassen definiert. Die hier festgelegten Baualtersklassen zum Bestand der Nichtwohngebäude orientieren sich zunächst ebenfalls an älteren Einteilungen gemäß IKARUS-Projekt. In IKARUS fand bereits das Inkrafttreten von relevanten Richtlinien zum Wärmeschutz im Hochbau eine entsprechende Berücksichtigung.⁹³

- bis 1951 keine Wärmeschutzanforderungen
- 1952 Einführung der DIN 4108⁹⁴
- 1977 Einführung der ersten Wärmeschutzverordnung⁹⁵

Diese Systematik wird durch Berücksichtigung der im Jahr 1995 eingeführten Wärmeschutzverordnung von 1994 (WärmeschutzV 1994)⁹⁶ aus ebenso bereits vorhandenen Untersuchungen⁹⁷ ergänzt. Zusätzlich wird die Einführung der Energieeinsparverordnung (EnEV) im Jahr 2002 berücksichtigt. Dabei war zunächst der Einfluss der EnEV auf die Baualtersklassen bei Änderungen am Bestand zu prüfen, da das geltende Ordnungsrecht die Sanierungstiefe beeinflusst.

Demnach ist festzuhalten, dass erstmals die im Jahr 2009 eingeführte EnEV 2009 und bei Neubauten das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)⁹⁸ deutlich höhere Anforderungen an die Gebäudehülle und die Gebäudetechnik bzw. die einzusetzende Heizenergie stellten. Da Planungs- und Genehmigungsprozesse zu zeitlichen Verschiebungen führen, wirkt sich die Einführung der EnEV 2009 und das EEWärmeG jedoch noch nicht auf den Bestand des Jahres 2010 aus. Seit Einführung des EEWärmeG's sind beispielsweise bei Neubauten Anteile der Heizenergie durch erneuerbare Wärmeenergien sicherzustellen oder die Gebäudehülle muss als Ersatzmaßnahme die EnEV-Anforderungen um mindestens 15 Prozent unterschreiten.⁹⁹

In Tabelle 4 sind zwecks Gegenüberstellung die Anforderungen an die Gebäudehülle seit Einführung der WärmeschutzV 1994 bis zur Einführung der EnEV 2009 für Änderungen an Bestandsgebäude aufgeführt. Es ist erkennbar, dass sich erst mit der Einführung der EnEV 2009 die Anforderungen an die Gebäudehülle relevant erhöht

⁹³ Vgl. [Gül1994], S. 68: Gülec T., Kolmetz Sven et.al., 1994

⁹⁴ DIN 4108 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, 2003-07, DIN V 4108-6, Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs, 2003-06, berichtigt 2004-03

⁹⁵ Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung - WärmeschutzV) vom 11.8.1977

⁹⁶ Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung - WärmeschutzV) vom 16.8.1994

⁹⁷ Vgl. [Sch2003], S. 47: Schmid Christine, Brakhage Anselm et al., 2003

⁹⁸ Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz-EEWärmeG) vom 7.8.2008 (BGBl. I S. 1658); zuletzt geändert durch Art. 2 Abs. 68 Gesetz vom 22.12.2011 (BGBl. I S. 3044)

⁹⁹ Vgl. EEWärmeG, § 3 (1) und § 7 (2) Nr. 2 in Verb. mit Anhang VII

haben. Die Erhöhung der Anforderungen an den Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) bei Außenwänden von im Mittel 0,40 Watt pro Quadratmeter und Kelvin gemäß EnEV 2007 auf 0,24 Watt pro Quadratmeter und Kelvin gemäß EnEV 2009 verursacht eine Reduzierung des Wärmeverlustes um 40 Prozent. Bei Dachflächen reduzieren die aufgeführten Anforderungen in Tabelle 4 nach EnEV 2009 im Vergleich zur EnEV 2007 den Wärmeverlust um 20 Prozent und bei Fensterflächen um 25 Prozent. Insofern führt bei der Klassifizierung des energetischen Baualters die Einführung der EnEV 2009 erst wieder zu einer neuen Baualtersklasse, was für den Bestand bis zum Jahr 2010 jedoch noch keine Auswirkungen hat.

Tabelle 4: Vergleich Gebäudeanforderungen bei Änderungen seit 1995

	k- bzw. U-Werte in $W/(m^2 \cdot K)$ je Bauteil, Gebäude ab 19°C				
Verordnung	Außenwände	Decken, Dächer	Wände gegen Erdreich	Fenster	Quelle in Verordnung
Wärmeschutz V 1994	$\leq 0,40$ bzw. $\leq 0,50$	$\leq 0,30$	$\leq 0,50$	$\leq 1,80$	Tab. 1, Anlage 3
EnEV 2002	0,35 bzw. 0,45	0,25 bzw. 0,30	0,40 bzw. 0,50	1,7	Tab. 1, Anhang 3
EnEV 2007	0,35 bzw. 0,45	0,25 bzw. 0,30	0,40 bzw. 0,50	1,7	Tab. 1, Anlage 3
EnEV 2009	0,24	0,20 bzw. 0,24	0,30	1,3	Tab. 1, Anlage 3

Quellen: WärmeschutzV 1994 und EnEV 2002, 2007, 2009

Der Gebäudebestand wurde demnach bis zum betrachteten Basisjahr 2010 in die Baualtersklassen gemäß Tabelle 5 eingeteilt und diese den beheizten Nichtwohngebäuden in Vohwinkel zugeordnet.

Tabelle 5: Baualtersklassen zum Bestand bis zum Jahr 2010

Baualtersklasse	Jahreszahlen	Anmerkung
A	bis 1951	relevante energetische Baualtersklassen für Ist-Situation in 2010, angelehnt an Jahreszahlen
B	1952 bis 1977	
C	1978 bis 1994	
D	1995 bis 2010	

Quellen: Eigene Festlegungen auf Basis von: [Gül1994], S. 68 und [Schm2003], S. 47, vorveröffentlicht unter [Hel2013], S. 212

Treten Unsicherheiten bei der jeweiligen Gebäudezuordnung hinsichtlich Baualtersklasse A oder B auf, wird die Baualtersklasse B gewählt, da anzunehmen ist, dass in der Regel bereits eine erste Sanierung (zum Beispiel Fensteraustausch und/oder eine Dachsanierung) stattgefunden hat.

2.5 Bezugsgröße Bruttogrundfläche

Der Wärmeenergiebedarf wird bei Nichtwohngebäuden gemäß Berechnungen nach EnEV¹⁰⁰ auf die Nettogrundfläche (NGF) bezogen. Verbrauchswerte sind in der Literatur dagegen mit Bezug auf die Bruttogrundfläche beispielsweise in einem Forschungsbericht¹⁰¹ zu finden. Werden Untersuchungen, wie hier beabsichtigt, auf digitale Kataster- bzw. Liegenschaftsdaten aus einem Geografischen Informationssystem (GIS) bezogen, ist die Bezugsfläche zu definieren. Da die digitalen Liegenschaftsdaten die Gebäudegrundflächen als äußeren Umriss beinhalten, ist als Bezugsgröße die Bruttogrundfläche (BGF) vorgesehen. Die Heizkennwerte mit Nettogrundflächenbezug sind demnach unter Berücksichtigung eines Flächenumrechnungsfaktors bei Anwendung von GIS-Daten in einen Bruttogrundflächenbezug umzurechnen. Die Flächenumrechnung in Bruttogrundfläche ist beispielsweise in Anlehnung an die Ziffern des Bauwerkszuordnungskataloges möglich. Der Faktor zur Umrechnung von Nettogrundflächen in Bruttogrundflächen liegt hier zwischen 0,83 und 0,91.¹⁰² In einer »Benchmarkstudie«¹⁰³ wird anhand von Beispielgebäuden eine lineare Funktion der Form $NGF = 0,9052 \cdot BGF$ bzw. $y = 0,9052 \cdot x$, mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,9994$ angegeben. Zusätzlich wird in der genannten Studie darauf hingewiesen, dass die Flächenumrechnung kein vordringliches Problem darstellt und eine detailliertere Umrechnung nicht sinnvoll ist.¹⁰⁴

Demnach erfolgt für alle Gebäudekategorien, bei denen verbrauchsorientierte Heizkennwerte mit der Bezugsfläche NGF recherchiert werden, eine Umrechnung der Heizkennwerte auf BGF mit Hilfe eines gerundeten Umrechnungsfaktors ($F_{NGF} = 0,9 \cdot BGF$) nach folgender Energiebilanzbetrachtung:

$$\begin{aligned} \text{Heizkennwert}_{BGF} \cdot BGF &= \text{Heizkennwert}_{BGF} \cdot NGF / 0,9 \\ \text{Heizkennwert}_{BGF} \cdot NGF / 0,9 &= \text{Heizkennwert}_{NGF} \cdot NGF \\ \text{Heizkennwert}_{BGF} &= \text{Heizkennwert}_{NGF} \cdot 0,9 \end{aligned}$$

2.6 Bestimmung der Heizkennwerte: Top-down- und Bottom-up-Ansatz

Mit Hilfe von Gebäudeflächen in Quadratmeter und Geschossezahlen gemäß GIS-Datenanalyse und zugeordneten Heizkennwerten in Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr kann die erforderliche Wärmeenergiemenge in Kilowattstunden pro Jahr berechnet werden. Demnach ist die Definition von Heizkennwerten je Nichtwohngebäu-

¹⁰⁰ Vgl. [EnEV 2009], § 2, Satz 15 und § 4 Abs. 1: Ausgabe 2009

¹⁰¹ Vgl. [ages2010]: Forschungsbericht der ages GmbH (Hrsg.), 2010

¹⁰² Vgl. [BMVBS2009], S. 20-21: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), 2009

¹⁰³ Vgl. [BBSR2009], S. 26- 28: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.), 2009

¹⁰⁴ a.a.O.

dekategorie und Baualtersklasse notwendig. Die Heizkennwerte werden für die 38 Nichtwohngebäudekategorien (vgl. 2.3) und differenziert nach den vier Baualtersklassen (vgl. 2.4) ermittelt, was insgesamt 152 Heizkennwerten je Ansatz entspricht. Die Heizkennwerte orientieren sich dabei einerseits an empirischen Verbrauchswerten (Top-down-Ansatz, vgl. 2.6.1) gemäß Literaturanalyse und andererseits an Bedarfswerten (Bottom-up-Ansatz, vgl. 2.6.2), die mit Hilfe von selbst erstellten Modellgebäuden berechnet werden.

Die Verwendung von Heizkennwerten aus Verbrauchswerten wird als Top-down-Ansatz bezeichnet, da die Betrachtungen aus Sicht der allgemeinen Gebäudenutzungsebene erfolgen.

Beim Bottom-up-Ansatz hingegen werden detaillierte Berechnungen zur Gebäudeebene mit Hilfe der jeweils definierten Gebäudehülle und Heiztechnik je nach Nutzung durchgeführt. Nachfolgend werden beide Ansätze zur Definition der Heizkennwerte aufgeführt und das Bestandsmodell als Top-down- bzw. Bottom-up-Modell bezeichnet. Beide Ansätze führen zu einer Ergebnisbandbreite bei den Raumwärmeenergiemengen der Nichtwohngebäude und den resultierenden CO₂-Emissionen sowie zu einer Vergleichsmöglichkeit der Ergebnisse untereinander.

2.6.1 Top-down-Ansatz: Aufbereitung verbrauchsorientierter Heizkennwerte

Vorgehensweise

Bei den verbrauchsorientierten Heizkennwerten mit Bezug auf die Bruttogrundfläche in Kilowattstunden pro Quadratmeter Bruttogrundfläche und Jahr werden Heizkennwerte mit Hilfe einer Literaturrecherche und Mittelwertbildung definiert. Dabei werden aus verschiedenen Literaturquellen statistische Kenngrößen aus empirischen Erhebungen verwendet. Recherchierte Werte mit Bezug auf die Nettogrundfläche werden mit dem Faktor 0,90 (vgl. 2.5) umgerechnet. Als statistische Kenngrößen kommen das arithmetische Mittel und der Modalwert zum Ansatz, wobei teilweise durch die Berücksichtigung von mehreren Heizkennwerten je Gebäudekategorie gewichtete Werte berechnet werden. Die Gewichtung erfolgt mit Hilfe der Anzahl der Datenmenge je Kennwert. In den Tabellen 6 und 7 sind die Größen der jeweiligen Datenmengen sowie der statistische Kennwert angegeben. Modalwerte sind in der Spalte mit den Kennwerten linksbündig und sonstige Mittelwerte, die in der zitierten Literatur nicht näher definiert werden, rechtsbündig dargestellt. Insgesamt erfolgt beim Ansatz von mehreren Literaturquellen durch den gewichteten Mittelwert ein Ausgleich der Schwankungsbreite zum Heizkennwert, was bei dieser Vorgehensweise als sinnvolles Ziel zu bezeichnen ist, da empirisch ermittelte Kennwerte zwangsläufig einer Bandbreite unterliegen. Die statistische Beurteilung zu empfohlenen Kennwerten auf Grund von links- oder rechts-schiefen Häufigkeitsverteilungen wird bereits im Forschungsbericht der ages GmbH, Münster durchgeführt. Die Grundlagen zu den Kennwerten und die angewandte Me-

thode zur Bestimmung eines Mittelwertes können demnach wie folgt zusammengefasst werden:

Unter Variation der Zahl der Klassen zwischen 5 bis 60 wird jeweils ein Modalwert berechnet, aus dem wiederum ein gleitender Modalwert als Mittelwert berechnet wurde. Dieses Verfahren wird angewendet, da sich der Modalwert in der Regel als mittlerer Vergleichswert besser eignet. Das arithmetische Mittel dagegen wird bei linksschiefen Verteilungen durch Ausreißer überhöht. Zusätzlich werden die flächengrößeren Gebäude stärker gewichtet. Beim Modalwert hingegen wird jedes Gebäude unabhängig von der Fläche gleich gewichtet. Bei geringen Stichprobenumfängen und starken Abweichungen von einer Normalverteilung ist der Modalwert nicht unbedingt geeignet. In solchen Fällen sollte eher das arithmetische Mittel als Orientierungswert angewendet werden. Daher ist in diesen Fällen im benannten Forschungsbericht der Modalwert zu Gebäudegruppen oder Gebäudearten nicht angegeben.¹⁰⁵

Dies bedeutet, dass sich die in dieser Arbeit angesetzten Modalwerte gemäß Forschungsbericht der ages GmbH (siehe Tabellen 6 und 7) jedenfalls als Vergleichswerte bei allen dazugehörigen Stichprobenumfängen eignen. Verbrauchswerte aus der VDI 3807 Blatt 2 werden ebenfalls als Modalwerte angegeben.¹⁰⁶ Der jeweilige Stichprobenumfang zu den Kennwerten ist hierin nicht direkt aufgeführt. Er konnte jedoch aus der zugehörigen Häufigkeitsverteilung je Verbrauchswert ermittelt werden. Die mittleren Verbrauchswerte, die der Studie »Benchmarks für die Energieeffizienz von Nichtwohngebäuden« entnommen sind, wurden ebenso gebäudebezogen und nicht flächenbezogen ermittelt.¹⁰⁷

In der Regel konnten, wie bereits erwähnt, zu jeder definierten Gebäudekategorie mehrere empirische Kennwerte aus verschiedenen Literaturquellen zugeordnet werden, was durch eine weitere Gewichtung mit Hilfe des jeweiligen Stichprobenumfangs zu einer zusätzlichen Ausgleichswirkung der Kennwerte führt. Lagen innerhalb einer Literaturquelle mehrere verwendbare Kennwerte je Gebäudetyp vor, wird als Eingangskennwert für die Tabellen 6 und 7 das gewichtete Mittel mit Hilfe des Stichprobenumfangs berechnet. In Anhang 1.1 sind ergänzend zur Darstellung der Tabellen 6 und 7 in der Spalte »Anmerkung« Umrechnungen zur Bruttogrundfläche und die Berechnungen zu den gewichteten Mittelwerten aufgeführt. Dadurch ist die Ermittlung sämtlicher Kennwerte als Eingangswerte für die Tabellen 6 und 7 nachvollziehbar. Nachfolgend werden beispielhaft die Ermittlungen der Heizenergiekennwerte in Kilowattstunden pro Quadratmeter Bruttogrundfläche und Jahr für Kindergärten (Kategorie 1.3) und Kliniken (Kategorie 4.1 und 11.1) mit Bezug zur Bruttogrundfläche aufgeführt. Bei den Kindergärten sind die flächenspezifischen Kennwerte mit dem jeweili-

¹⁰⁵ Vgl. [ages2010], S. 23: Forschungsbericht der ages GmbH (Hrsg.), 2010

¹⁰⁶ Vgl. [VDI3807-98], S. 4: VDI-Richtlinie, 1998

¹⁰⁷ Vgl. [BBSR2009], S. 13: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.), 2009

gen zugehörigen Stichprobenumfang dargestellt. Bei den Kliniken wird bei der Ermittlung der spezifische Energiekennwert und Flächenwert je Bett berücksichtigt:

- Kindergarten: Quelle: [VDI 3807-98], S. 8 und 11, gewichtetes Mittel zu Kindertagesstätten, $HK = (95 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a}) \cdot 107 + 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a}) \cdot 280) / 387 = 113 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a})$
- Kliniken: Quelle: [ages2010], S. 25 in Verbindung mit [Len2010], S. 41, $HK = 22.423 \text{ kWh}/(\text{Bett} \cdot \text{a}) / 80 (\text{m}^2/\text{Bett}) = 280 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a})$

Bei den ermittelten Heizkennwerten wird von spezifischen Energieverbräuchen inklusive Anlagenverlusten ausgegangen. Dies kann damit begründet werden, dass die angegebenen Verbrauchswerte in der Literatur den Energiemengen entsprechen, die für die Beheizung der Gebäude tatsächlich aufgewendet werden mussten. Der Nutzungsgrad der Heizanlage und das Nutzerverhalten sind in diesen Verbrauchswerten bereits berücksichtigt. Zusätzlich sind die standortunabhängigen Heizkennwerte bereits klimabereinigt. Ein relevanter Einfluss durch erneuerbare Energien, der zur Reduzierung der Endenergie (nicht erneuerbarer Anteil) führt, besteht beim Bestand für das Jahr 2010 auf Grund des geringen Anteils nicht. Die Heizenergie für 2010 entspricht somit gleichzeitig der erforderlichen Endenergie. Nachdem die Heizkennwerte je Gebäudekategorie mittels Gewichtung in Abhängigkeit des Stichprobenumfangs vorliegen, müssen diese auf die vier Baualtersklassen umgerechnet werden, da die Literaturwerte aus empirischen Datenerhebungen nicht nach Altersklassen bzw. Baujahren differenziert sind. Die Umrechnung auf die hier definierten Baualtersklassen erfolgt mit Umrechnungsfaktoren, die mit Hilfe von gewichteten Mittelwerten aus baualtersklassenspezifischen Literaturwerten zu berechneten Bedarfswerten abgeleitet werden konnten. Die konkrete Vorgehensweise wird nach der Darstellung der Ergebnisse zur Literaturrecherche erläutert.

Ergebnis der Literaturrecherche je Nichtwohngebäudekategorie

In den Tabelle 6 und 7 sind die Ergebnisse der Literaturrecherche und, soweit in der Literatur Werte vorlagen, Standardabweichungen zusammengestellt. Diese verdeutlichen die Bandbreite zu den Verbrauchsmengen. Zusätzlich wird der Bezug zum Bauwerkszuordnungskatalog (BWZ) beibehalten. Die Literaturquellen werden in den Tabellen in Kurzform angegeben.

Die recherchierten verbrauchsorientierten Kennwerte sind je Gebäudekategorie als Grundlage des Top-down-Ansatzes tabellarisch getrennt nach Non-Profit- und Profit-Organisationen aufgeführt.

Bis auf die Gebäudekategorie 10.1 (Produktion/Gewerbe) und 12.7 (Stadthäuser) konnten Heizkennwerte auf Grund eines angegebenen Stichprobenumfangs zur Anzahl von Objekten dargestellt bzw. als gewichtete Mittelwerte berechnet werden. Der Heizkennwert zur Kategorie 12.7 beruht dagegen auf 25,6 Millionen Quadratmeter

Gebäudeflächen zu Nichtwohngebäudetypen der hessischen Landesliegenschaften¹⁰⁸ (Nummerierung in der Quelle: 1, 2, 4, 5, 6 und 8).

Der Heizkennwert zu Produktionsflächen der Kategorie 10.1 konnte einem Leitfa- den der Deutschen Energie-Agentur (dena) entnommen werden. Hierin wird die Band- breite zum durchschnittlichen Bestandsverbrauch bei Produktionsstätten zwischen 150 und 200 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr angegeben.¹⁰⁹

Demnach wird ein Mittelwert von 175 Kilowattstunden pro Quadratmeter Brutto- grundfläche und Jahr angenommen und auf die Bruttogrundfläche bezogen, da eine Umrechnung zwischen Netto- und Bruttoflächen zum einen im Rahmen der zuvor aufgeführten Bandbreite und zum anderen generell kein vordringliches Problem dar- stellt (vgl. 2.5), da die Ergebnisse zu Hallenbauten nicht relevant durch Flächenunter- schiede zwischen der Netto- und der Bruttogrundfläche beeinflusst werden.

Tabelle 6: Verbrauchsorientierte Heizkennwerte zu Gebäudekategorien von Non-Profit-Organisationen

Beheizte Nichtwohngebäude, Nichtwohnflächen			BWZ	Anzahl Daten	Modalwert Mittelwert	Standard- abweichung	Literaturquelle	
Nr.	Hauptkategorie	Nr. Unterkategorie			kWh/(m ² ·a) BGF			
Non-Profit-Organisation								
1	Bildung	1.1 Schulen	4000	3303	98	45	Vgl. [ages2010], S. 25	
				1134	90		Vgl. [VDI3807-98], S. 8, 11	
		1.2 Hochschulen/Forschung	2000	204	87	80	Vgl. [ages2010], S. 25	
				176	155		Vgl. [VDI3807-98], S. 8, 10	
		1.3 Kindertagesstätten/ Kindergarten	4400	868	116	49	Vgl. [ages2010], S. 25	
				4410	899	129	60	Vgl. [ages2010], S. 26
					387	113		Vgl. [VDI3807-98], S. 8, 11
	Weiterbildungsstätten	4500	35	122	39	Vgl. [ages2010], S. 26		
2	Verwaltung	2.1 Regierungs- und Gerichtsgebäude	1200	175	89	25	Vgl. [ages2010], S. 25-36	
				207	105		Vgl. [VDI3807-98], S. 8, 10	
				2293	150		Vgl. [BBSR2009], S. 52-55	
		2.2 Ämter/Polizeigebäude/ Bahn	1300	1986	79	80	Vgl. [ages2010], S. 25	
				1146	110		Vgl. [VDI3807-98], S. 8, 10	
			2293	150		Vgl. [BBSR2009], S. 52-55		

¹⁰⁸ Vgl. [Die2007], S. 29: Diefenbach Nikolaus, Enseling Andreas, 2007

¹⁰⁹ Vgl. [dena2011], S. 153: Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.), 2011

3	Bereitschaftsdienste/Werkstatt		7700	172	89	81	Vgl. [ages2010], S. 26	
				184	155		Vgl. [VDI3807-98], S. 8, 13	
			7760	588	128	66	Vgl. [ages2010], S. 26	
4	Heilbehandlung	4.1	Kliniken	3200	285	280	112	Vgl. [ages2010], S. 25 i. V. mit [Len2010], S. 41
					243	285		Vgl. [VDI3807-98], S. 8, 11
					248	222		Vgl. [BBSR2009], S. 52-55
					1600	214		Vgl. [Tipp2009], S. 25 und 75 i. V. mit [Rec2011], S. 1238
		4.2	Pflegeheim/Reha-Gebäude	6420	20	115	69	Vgl. [ages2010], S. 35
				3410	17	173	64	Vgl. [ages2010], S. 33
5	Sport	5.1	Sporthallen/Tennishallen/ Turnhallen	5001	141	164	123	Vgl. [ages2010], S. 26
				5110	707	128	64	Vgl. [ages2010], S. 26
					208	140		Vgl. [VDI3807-98], S. 8, 12
					62	153		Vgl. [BBSR2009], S. 52-55
		5.2	Hallenbad/Spaßbäder	5210	23	495		Vgl. [BBSR2009], S. 52-55
		5.3	Stadien/Vereinsheime	5301	73	166	140	Vgl. [ages2010], S. 26
					253	104		Vgl. [BBSR2009], S. 52-55
6	Kultur/öffentlicher Zugang	6.1	Ausstellungsgebäude/ Bibliotheken	9120	127	67	67	Vgl. [ages2010], S. 26
				9130	102	90	72	Vgl. [ages2010], S. 36
		6.2	Oper/Theater/Konzertsäle	9100	29	147	47	Vgl. [ages2010], S. 36
		6.3	Veranstaltungsgebäude	9140	71	141	51	Vgl. [ages2010], S. 26
				5130	303	155	63	Vgl. [ages2010], S. 26
					399	80		Vgl. [VDI3807-98], S. 8,13
					36	119		Vgl. [BBSR2009], S. 52-55
7	Justizvollzugsanstalt/Kaserne		9600	44	155	63	Vgl. [ages2010], S. 26	
			6310	11	124	26	Vgl. [ages2010], S. 35	
8	kirchliche Gebäude	8.1	Pfarrheim/Gemeinde- zentrum/Verwaltung	9155	10217	144		Vgl. [Dah2006], S. 16 i. V. mit [EKD2011], S. 35
		8.2	Kirchenbauten	9110	20665	144		Vgl. [Dah2006], S. 16 i. V. mit [EKD2011], S. 35

Quellen: siehe Angaben in der Tabelle

Mit den Tabelle 6 und 7 liegen zunächst Heizkennwerte für den jeweiligen Gebäudetyp, unabhängig von Baualtersklassen, vor. Damit die gebäudetypspezifischen Werte auch für die Baualtersklassen angewendet werden können, muss eine Umrechnung erfolgen.

Tabelle 7: Verbrauchsorientierte Heizkennwerte zu Gebäudekategorien von Profit-Organisationen

Beheizte Nichtwohngebäude, Nichtwohnflächen			BWZ	Anzahl Daten	Modalwert Mittelwert	Standard- abweichung	Literaturquelle	
Nr.	Hauptkategorie	Nr. Unterkategorie			kWh/(m ² ·a) BGF			
	Profit-Organisation							
9	Bürogebäude/ Büroflächennutzug	9.1 Dienstleister		470	141		Vgl. [Schl2009], S. 13,23,57	
		9.2 Verwaltungsbau Gewerbe/ Industrie/Logistik		1928	140		Vgl. [BBSR2009], S. 50, 53	
		9.3 Banken/Versicherungen/ Gesundheit		1928	140		Vgl. [BBSR2009], S. 50, 53	
10	Produktion/Werkstatt/ Lager	10.1 Produktion/Gewerbe	7100		175		Vgl. [dena2011], S. 153	
		10.2 Lager für Versand/ Zentrallager/Logistik	7500	61	58	68	Vgl. [ages2010], S. 26	
		10.3 Werkstätten/ Kleingewe.	7300	124	79	89	Vgl. [ages2010], S. 26	
				116	108		Vgl. [Schl2009], S. 13,23,57	
11	Heilbehandlung	11.1 Kliniken		248	222		Vgl. [BBSR2009], S. 50, 55	
				243	140		Vgl. [VDI3807-98], S. 8, 11	
			3200	285	280	112	Vgl. [ages2010], S. 25 i. V. mit [Len2010], S. 41	
		11.2 Pflegeheim/Reha-Gebäude	6420	20	115	69	Vgl. [ages2010], S. 35	
			3410	17	173	64	Vgl. [ages2010], S. 33	
		11.3 Gesundheitswesen/ Praxisgebäude	1330	10	113	29	Vgl. [ages2010], S. 33	
				64	257		Vgl. [BBSR2009], S. 50, 55	
		11.4 Fitnesscenter/Sporthallen	5110	62	153		Vgl. [BBSR2009], S. 50, 54	
			49	126		Vgl. [BBSR2009], S. 50, 54		
12	Einkauf/Handel	12.1 Handel Food	7200	408	142		Vgl. [BBSR2009], S. 50, 52	
		12.2 Handel Non-Food/ Tankstellenshop	7200	675	135		Vgl. [BBSR2009], S. 50, 52	
		12.3 Bau- und Gartenmarkt/ Möbelhaus/Baustoffe	7200	246	95		Vgl. [BBSR2009], S. 50, 52	
		12.4 SB- Warenhaus	7200	72	90		Vgl. [BBSR2009], S. 50, 52	
		12.5 Einkaufszentrum mit Ladenpassage/Kaufhaus	7200	72	90		Vgl. [BBSR2009], S. 50, 52	
		12.6 Autohaus mit Werkstatt	7200	246	95		Vgl. [BBSR2009], S. 50, 52	
		12.7 Laden/Büro im Stadthaus (nur NiWo-Fläche)	7210		171		Vgl. [Die2007], S. 29	
13	Kino/Discothek/Spielothek (freistehend)			36	72		Vgl. [BBSR2009], S. 50, 54	
14	Beherbergung	14.1 Hotel/Pension/ Jugendherberge	6611	10	189		Vgl. [ages2010], S. 35	
				6610	21	141		Vgl. [ages2010], S. 35
					430	134		Vgl. [BBSR2009], S. 50, 54
		14.2 Restaurant/Gaststätte	6510	19	200		Vgl. [ages2010], S. 35	
					184	240		Vgl. [BBSR2009], S. 50, 54

Quellen: siehe Angaben in der Tabelle

Umrechnung der verbrauchsorientierten Heizkennwerte auf Baualtersklassen

Aufgrund der beabsichtigten Umrechnung der Heizkennwerte auf die Baualtersklassen A bis D (vgl. 2.4) kann zu jeder Nichtwohngebäudekategorie und Baualtersklasse ein verbrauchsorientierter Heizkennwert hinterlegt werden. Dadurch ist eine Berechnung des Heizenergie- bzw. Endenergieverbrauchs und letztlich der CO₂-Emissionen aus der Raumwärme von Nichtwohngebäuden auch mit Bezug zum energetischen Alter der Gebäude möglich. Zur Umrechnung der Heizkennwerte aus den Tabellen 6 und 7 auf Baualtersklassen ist zunächst bei den Gebäudekategorien, zu denen mehrere Datensätze recherchiert werden konnten, das gewichtete Mittel aus den empirischen Daten mit Bezug auf den Stichprobenumfang zu berechnen (zum Beispiel Kategorie 1.3, Tabelle 6 oder Kategorie 11.1, Tabelle 7). Bei den Kategorien mit nur einem Datensatz entspricht der Mittelwert bereits dem nachfolgend dargestellten gewichteten Mittel (zum Beispiel Kategorie 1.4, Tabelle 6 oder Kategorie 9.1, Tabelle 7).

Die vollständige Vorgehensweise zur Umrechnung auf altersspezifische Heizkennwerte wird nachfolgend inklusive der verwendeten Parameter und Indices aufgeführt. Die Vorgehensweise hinsichtlich der mathematischen Beschreibung und einige umgerechnete Heizkennwerte wurden bereits als Auszug vorveröffentlicht.¹¹⁰

Beim gewichteten Mittelwert $\overline{HK_{v,v}}$ auf Grundlage mehrerer empirischer verbrauchsorientierter Heizkennwerte je Gebäudekategorie wird der Index v als Zähler für die verwendete Anzahl der Stichprobenumfänge eingeführt. Das gewichtete Mittel zu den verbrauchsorientierten Heizkennwerten je Gebäudekategorie ergibt sich wie folgt:

v, y = Zähler zur Anzahl der Stichprobenumfänge

$HK_{v,v}$ = gewichteter Mittelwert zum Heizkennwert je Gebäudekategorie (v) aus Verbrauchswerten (HK_v)

AZ = Stichprobenumfang gemäß Literaturrecherche je Heizkennwert einer Gebäudekategorie

$HK_{v,v}$ = Verbrauchs-Heizkennwert (HK_v) je Gebäudekategorie (v) gemäß Literaturrecherche des Stichprobenumfangs

$$\overline{HK_{v,v}} = \frac{\sum_{v=1}^y AZ_v \cdot HK_{v,v}}{\sum_{v=1}^y AZ_v}$$

oder bei einem Datensatz:

$$\overline{HK_{v,v}} = HK_{v,v}$$

¹¹⁰ Vgl. [Ham2013a], S. 50-51: Hamann Achim, Helmus Manfred, Reutter Oscar, 2013 und [Hel2013], S. 215

Die Verteilung des gewichteten Mittelwertes auf Baualtersklassen erfolgt wiederum auf Basis von Literaturquellen, wobei bedarfsorientierte Kennwerte, die für verschiedene Baualtersklassen vorliegen, herangezogen werden. Diese baualtersspezifischen Bedarfswerte¹¹¹ wurden beispielsweise in der IKARUS-Datenbank¹¹² vorgehalten. Mit Hilfe dieser Bedarfswerte aus der Literatur war die Berechnung von Anpassungsfaktoren je Baualtersklasse möglich. Die Anpassungsfaktoren spiegeln dabei die prozentualen Verhältnisse der Heizkennwerte in Abhängigkeit der Baualtersklassen wider.

Die Berechnung des Anpassungsfaktors je Baualtersklasse ergibt sich aus dem jeweiligen Verhältnis des Bedarfswertes je Baualtersklasse zum Mittelwert der Bedarfswerte aller Baualtersklassen. Die Bedarfswerte selbst sind nicht von Belang. Diese werden lediglich zur Ermittlung der Anpassungsfaktoren als Relationsgröße der Heizkennwerte je Baualtersklasse benötigt. Die angesetzten Bedarfswerte zur Ermittlung der Anpassungsfaktoren und die daraus ermittelten Anpassungsfaktoren sind inklusive der Literaturquellen (Kurzschreibweise) in Anhang 1.1 aufgeführt.

Die Bedarfskennwerte gemäß IKARUS-Projekt werden ab dem Jahr 1995 als Neubau bezeichnet.¹¹³ Insofern passt die Zuweisung der Kennwerte in die hier eingeführte Baualtersklasse D (vgl. 2.4).

Falls in der Literatur nicht für alle Baualtersklassen bzw. die hier definierten Gebäudekategorien Bedarfswerte zu finden sind, werden mangels zitierfähiger Datengrundlage die Bedarfswerte übernommen, die in der benachbarten Baualtersklasse bzw. bei ähnlichen Gebäudekategorien angegeben sind.

Dies trifft zum Teil auf die Baualtersklassen A und B zu. Demnach werden für verschiedene Gebäudekategorien bzw. Baualtersklassen gleiche Anpassungsfaktoren ermittelt, wodurch die Heizkennwerte zu älteren Baualtersklassen mit jüngeren Baualtersklassen gleichgesetzt werden.

Diese Vorgehensweise kann akzeptiert werden, da die ältere Bausubstanz inzwischen durchaus auf Grund von Instandsetzungs- und Sanierungsarbeiten beispielsweise modernere Fenster oder eine verbesserte Dachdämmungen erhalten haben können. Bei folgenden Gebäudekategorien bzw. Baualtersklassen werden hilfsweise die Anpassungsfaktoren und somit die Heizkennwerte gleichgesetzt:

Kategorie 1.1, Schulen,

Bedarfswerte für Baualtersklasse, A wird entsprechend B angesetzt

Kategorie 1.2, Hochschulen, wie Kategorie 1.1

Kategorie 1.3, Kindergarten,

Bedarfswerte für Baualtersklasse, A wird entsprechend B angesetzt

Kategorie 1.4, Weiterbildung, wie Kategorie 1.1

¹¹¹ Vgl. [Sch2003], S. 49-50: Schmid Christine, Brakhage Anselm et al., 2003

¹¹² Vgl. [BBR2005], S. 76-77: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.), 2005

¹¹³ a.a.O.

Kategorie 3, Bereitschaftsdienst, Anpassungsfaktoren wie Kategorie 2.2

Kategorie 5.1, Sporthallen, Anpassungsfaktoren wie Kategorie 1.1

Kategorie 5.3, Vereinsheime, Anpassungsfaktoren wie Kategorie 1.1

Kategorie 6.1, Ausstellung,

Bedarfwerte für Baualtersklasse A, B werden entsprechend C angesetzt

Kategorie 6.2, Theater, Anpassungsfaktoren wie Kategorie 1.1

Kategorie 6.3, Veranstaltung,

Bedarfwerte für Baualtersklasse A, B werden entsprechend C angesetzt

Kategorie 7, Justizvollzugsanstalt, Anpassungsfaktoren wie Kategorie 1.3

Kategorie 8.1, Pfarrheim,

Bedarfwerte für Baualtersklasse A wird entsprechend B angesetzt

Kategorie 9.3, Banken,

Bedarfwerte für Baualtersklasse A wird entsprechend B angesetzt

Kategorie 10.3, Kleingewerbe,

Bedarfwerte für Baualtersklasse A, B werden entsprechend C angesetzt

Kategorie 11.3, Praxisgebäude,

Bedarfwerte für Baualtersklasse A wird entsprechend B angesetzt

Kategorie 11.4, Fitnesscenter, Anpassungsfaktoren wie Kategorie 1.1

Kategorie 12.1, Handel Food,

Bedarfwerte für Baualtersklasse A, B werden entsprechend C angesetzt

Kategorie 12.2, Handel Non Food ,

Bedarfwerte für Baualtersklasse A wird entsprechend B angesetzt

Kategorie 12.3, Baumarkt , Anpassungsfaktoren wie Kategorie 12.2

Kategorie 12.4, SB-Warenhaus,

Bedarfwerte für Baualtersklasse A wird entsprechend B angesetzt

Kategorie 12.5, Kaufhaus ,

Bedarfwerte für Baualtersklasse A wird entsprechend B angesetzt

Kategorie 12.6, Autohaus,

Bedarfwerte für Baualtersklasse A wird entsprechend B angesetzt

Kategorie 13, Kino/Spielothek, Anpassungsfaktoren wie Kategorie 12.1

Kategorie 14.1, Hotel,

Bedarfwerte für Baualtersklasse A, B werden entsprechend C angesetzt

Kategorie 14.2, Restaurant, Anpassungsfaktoren wie Kategorie 12.7

Bei der Kategorie 8.2 (Kirchenbauten) macht eine Anpassung der Heizkennwerte nach Baualtersklassen auf Grund der in der Regel bestehenden historischen Bauweisen keinen Sinn. Hier werden einheitliche Heizkennwerte angesetzt. Ebenso bei der Kategorie 5.2 (Hallenbäder), da der Wärmeenergieverbrauch hauptsächlich infolge der Nutzung (hohe Innenraumtemperatur) verursacht wird.

Zur Anpassung der empirischen Verbrauchswerte auf die Baualtersklassen A bis D je Gebäudekategorie werden der einheitenlose Anpassungsfaktor BK_{A-D} und der Index b als Zähler für die Bedarfswerte aus der Literatur rechnerisch wie folgt eingeführt:

b, z = Zähler zu baualtersklassenspezifischen Heizkennwerten aus
Bedarfsberechnungen

BK_{A-D} = Anpassungsfaktor aus Bedarfskennwerten für die Baualtersklassen A bis D
je Gebäudekategorie

$HK_{B,b}$ = Bedarfs-Heizkennwert je Gebäudekategorie (HK_B) und Baualtersklasse (b)
aus Bedarfsberechnungen

$\overline{HK_{B,b}}$ = Mittelwert zu Heizkennwerten je Gebäudekategorie (HK_B) und
Baualtersklassen (b) aus Bedarfsberechnungen

$$BK_{A-D} = \frac{HK_{B,b}}{\overline{HK_{B,b}}}$$

mit

$$\overline{HK_{B,b}} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{b=1}^z \cdot HK_{B,b}$$

→

$$BK_{A-D} = \frac{HK_{B,b}}{\frac{1}{n} \cdot \sum_{b=1}^z \cdot HK_{B,b}}$$

Für die Ermittlung der Endenergie und CO₂-Emissionen je Gebäudekategorie und Baualtersklasse mit Hilfe von Heizkennwerten werden die Indices i für die Gebäudekategorie und j für die Baualtersklassen eingeführt. Die gesuchten verbrauchsorientierten Heizkennwerte je Gebäudekategorie und Baualtersklasse werden als $HK_{V_{i,j}}$ bezeichnet. $HK_{V_{i,j}}$ ergibt sich letztlich durch Multiplikation der gewichteten Verbrauchswerten $\overline{HK_{V,v}}$ mit den jeweiligen Anpassungsfaktoren BK_{A-D} :

i, j = Zähler für Gebäudekategorie (i) und Baualtersklassen (j) in Bezug
auf umgerechnete verbrauchsorientierte Heizkennwerte

$HK_{V_{i,j}}$ = verbrauchsorientierter Heizkennwert (HK_V) je Gebäudekategorie (i) und
Baualtersklasse (j) aus gewichtetem Mittel der Verbrauchskennwerte so
wie Anpassungsfaktor aus Bedarfskennwerten je Baualtersklasse A bis D

$$HK_{V_{i,j}} = \overline{HK_{V,v}} \cdot BK_{A-D} = \frac{\sum_{v=1}^y AZ_v \cdot HK_{V,v}}{\sum_{v=1}^y AZ_v} \cdot \frac{HK_{B,b}}{\frac{1}{n} \cdot \sum_{b=1}^z \cdot HK_{B,b}}$$

In Tabelle 8 sind beispielhaft die angesetzten Bedarfswerte aus der Literatur und die dazugehörigen bedarfsorientierten Mittelwerte sowie die berechneten Anpassungsfaktoren je Baualtersklasse zu den Gebäudekategorien 1.1 und 2.1 aufgeführt. Die detaillierten Berechnungen zu allen Kategorien sind im Anhang 1.1 dargestellt. Die in Tabelle 8 enthaltenen Mittelwerte beziehen sich auf die in der Literatur angegebenen Bedarfswerte.

Tabelle 8: Beispiele zu Anpassungsfaktoren für Baualtersklassen

Kategorie	Baualtersklasse	A	B	C	D	Mittelwert aus Bedarfswerten
1.1	Bedarfswert in kWh/(m ² ·a)	136	136	97	60	107,33
	Anpassungsfaktor (-)	1,266	1,266	0,906	0,562	
2.1	Bedarfswert in kWh/(m ² ·a)	332	309	247	187	268,75
	Anpassungsfaktor (-)	1,235	1,150	0,919	0,696	

Quellen: Eigene Berechnungen und Angaben in Anhang 1.1

Die Berechnungsergebnisse zu den Anpassungsfaktoren für die Verteilung der verbrauchsorientierten Heizkennwerte auf die Baualtersklassen sind in Anhang 1.2 getrennt nach Non-Profit- und Profit-Organisationen dargestellt. In Anhang 1.2 sind gleichzeitig die Berechnungsergebnisse zu prozentualen Unterschieden der Heizkennwerte aufgeführt.

Zum einen werden die Unterschiede auf eine Basis der Baualtersklasse A = 100 Prozent und zum anderen auf eine Basis der Baualtersklasse B = 100 Prozent bezogen. Die Prozentsätze verdeutlichen das Endenergie- bzw. Heizeinsparpotenzial, wenn Gebäude der Baualtersklasse A auf das energetische Niveau der Baualtersklasse B, C oder D durch Sanierung angehoben werden, wobei mindestens das Sanierungspotenzial mit Blick auf die Baualtersklasse D als zu definierendes erstes Sanierungsziel von Interesse ist.

Mit Fokus auf das erreichbare Sanierungsziel bei Gebäuden der Baualtersklasse B (=100 Prozent) wird ebenso das Minderungsniveau bezogen auf die Baualtersklasse D betrachtet. Die Prozentsätze verdeutlichen mögliche Potenziale bzw. sind Grundlage zu Abschätzungen hinsichtlich möglicher Minderungen im Bereich des Heizenergieverbrauchs und der resultierenden CO₂-Emissionen, wenn alle Gebäude mindestens dem Bestandsniveau der Baualtersklasse D entsprechen würden. In Kapitel 4 wird die Potenzialanalyse auf Basis dieser Vergleichszahlen weiter geführt.

Bei Kirchenbauten wird von keiner relevanten Abweichung der Heizkennwerte innerhalb der Baualtersklassen ausgegangen, da die Gebäudehülle bei historischen Gebäuden in der Regel bisher nicht durch Dämmmaßnahmen verbessert wird. Einsparungen sind dagegen durch den Einsatz einer effizienteren Heiztechnik möglich.

Bei Hallenbädern werden ebenfalls beim Bestand keine differenzierten Heizkennwerte berücksichtigt, da der Wärmeverlust hauptsächlich von der Art der Nutzung verursacht wird. Jedoch sind bei der Heiz- und Lüftungstechnik wiederum Einsparungen möglich. Daher wird als mögliches Minderungspotenzial bei Kirchenbauten und Hallenbädern einheitlich 30 Prozent angenommen und diese Minderung der Baualtersklasse D als Sanierungsziel zugewiesen. Der pauschale Ansatz von 30 Prozent kann mit Energieeinsparungen begründet werden, die infolge eines Umstieges auf modernere Gas-Brennwerttechnik und durch Anpassung der Wärmeüberträger, Vorlauftemperatur und Kesselleistung möglich sind. Dieses Einsparpotenzial kann bei einem Umstieg von einem atmosphärischen Kessel und den genannten Anpassungsmaßnahmen bei etwa 45 Prozent liegen.¹¹⁴ Der reine Umstieg auf Gas-Brennwerttechnik führt zu 12,5 Prozent Einsparpotenzial beim Endenergieverbrauch.¹¹⁵ Auch sind durch den Einbau moderner Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung Einsparpotenziale vorhanden. Auf Grund dieser Bandbreite zu CO₂-Einsparungen ist die gewählte Minderung von 30 Prozent vertretbar.

In den Tabellen 9 und 10 sind die endgültigen Heizkennwerte je Baualtersklasse, die sich aus den Umrechnungen mit Hilfe der zuvor erläuterten Anpassungsfaktoren ergeben, aufgeführt. Ergänzend sind die jeweils zu Grunde liegende Gesamtanzahl der Daten sowie die gewichteten Mittelwerte aus den empirischen Literaturwerten aufgeführt. Mit diesen Tabellenwerten stehen verbrauchsorientierte und baualtersklassenspezifische Heizkennwerte für den Top-down-Ansatz zur Verfügung.

Damit sind verbrauchsorientierte Berechnungen zur Endenergie aus der Raumwärme des Bestandes je Nichtwohngebäudekategorie und Baualtersklasse möglich. In älteren Studien erfolgten bisher die Berechnungen zu Energiewerten mangels anderer Ansätze auf Grundlage von Bedarfswerten zu definierten Gebäudetypen gemäß Typologie des inzwischen eingestellten IKARUS-Projektes¹¹⁶. Der Ansatz von älteren Bedarfskennwerten ist nun durch die hier zur Verfügung gestellten Verbrauchskennwerte je Baualtersklasse in Tabelle 9 und 10 nicht mehr notwendig.

Falls in den Kennwerten Warmwasseranteile integriert waren, konnten diese in Abhängigkeit der Nutzung um einen prozentualen Anteil bereinigt werden.¹¹⁷ Ersatzweise wurde der Warmwasseranteil pauschal mit 5 Prozent und bei Hallenbädern sowie Kliniken mit 50 Prozent angesetzt.¹¹⁸ Es sind somit in den angegebenen Heizkennwerten keine Warmwasseranteile enthalten.

¹¹⁴ Vgl. [Sch2003], S. 21: Schmid Christine, Brakhage Anselm et al., 2003

¹¹⁵ a.a.O., S. 19

¹¹⁶ Vgl. [Gül1994], Anhang A, B und C: Gülec T., Kolmetz Sven et al., 1994

¹¹⁷ Vgl. [Bay2011], S. 23: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (Hrsg.), 2011

¹¹⁸ Vgl. [BMVBS2009], S. 5: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), 2009

**Tabelle 9: Verbrauchsorientierte Heizkennwerte je Baualtersklasse:
Non-Profit-Organisationen**

Beheizte Nichtwohngebäude, Nichtwohnflächen				Anzahl Daten	gew. Mittel	A bis 1951	B 52-77	C 78-94	D 95- 2010
						Baualtersklassen			
Nr.	Hauptkategorie	Nr.	Unterkategorie			kWh/(m ² ·a) BGF			
	Non-Profit-Organisation								
1	Bildung	1.1	Schulen	4437	95,96	121,50	121,50	86,90	53,91
		1.2	Hochschulen/Forschung	380	118,49	150,04	150,04	107,32	66,58
		1.3	Kindertagesstätten/ Kindergarten	2154	120,89	160,11	160,11	112,08	51,24
		1.4	Weiterbildungsstätten	35	122,00	154,48	154,48	110,49	68,55
2	Verwaltung	2.1	Regierungs- und Gerichtsgebäude	2675	138,52	171,12	159,27	127,31	96,39
		2.2	Ämter/Polizeigebäude/ Bahn	5425	115,56	142,92	132,89	106,12	80,31
3	Bereitschaftsdienste			944	126,16	156,03	145,07	115,85	87,67
4	Heilbehandlung	4.1	Kliniken	2376	230,01	265,65	254,31	225,15	174,94
		4.2	Pflegeheim/Reha- Gebäude	37	141,65	208,29	185,97	117,78	54,55
5	Sport	5.1	Sporthallen/Tennishallen/ Turnhallen	1118	136,16	172,41	172,41	123,31	76,50
		5.2	Hallenbad/Spaßbäder	23	495,00	495,00	495,00	495,00	495,00
		5.3	Stadien/Vereinsheime	326	117,88	149,27	149,27	106,76	66,23
6	Kultur/öffentlicher Zugang	6.1	Ausstellungsgebäude/ Bibliotheken	229	77,24	84,83	84,83	84,83	54,48
		6.2	Oper/Theater/ Konzertsäle	29	147,00	161,44	161,44	161,44	103,68
		6.3	Veranstaltungsgebäude	809	105,07	129,46	129,46	129,46	72,34
7	Justizvollzugsanstalt/Kaserne			55	148,80	197,09	197,09	137,96	63,07
8	kirchliche Gebäude	8.1	Pfarrheim/Gemeinde- zentrum/Verwaltung	10217	144,00	185,81	185,81	130,06	74,32
		8.2	Kirchenbauten	20665	144,00	144,00	144,00	144,00	144,00
			Mittelwert			180,53	176,83	145,66	104,65

Quellen: Eigene Berechnungen auf Basis der Quellenangaben in Anhang 1.1, teilweise vorveröffentlicht unter: [Hel2013], S. 214

In Tabelle 9 und 10 sind ergänzend Mittelwerte je Baualtersklasse A bis D zu den angegebenen Non-Profit- und Profit-Organisationen dargestellt, die je nach gebietspezifischer Betrachtungsweise als Hilfsgrößen angesetzt werden können.

In Anhang 1.3 sind die verbrauchsorientierten Heizkennwerte je Baualtersklasse A bis D und Gebäudekategorie gemäß den Werten in den Tabellen 9 und 10 grafisch veranschaulicht.

Tabelle 10: Verbrauchsorientierte Heizkennwerte je Baualtersklasse: Profit-Organisationen

Beheizte Nichtwohngebäude, Nichtwohnflächen			Anzahl Daten	gew. Mittel	A bis 1951	B 52-77	C 78-94	D 95- 2010
			Baualtersklassen					
Nr.	Hauptkategorie	Nr. Unterkategorie	kWh/(m ² ·a) BGF					
Profit-Organisation								
9	Bürogebäude/ Büroflächennutzung	9.1 Dienstleister	470	141,00	171,18	159,68	127,75	105,39
		9.2 Verwaltungsbau Gewerbe/ Industrie/Logistik	1928	139,50	169,36	157,98	126,39	104,27
		9.3 Banken/Versicherungen/ Gesundheit	1928	139,50	185,47	185,47	122,06	64,99
10	Produktion/Werkstatt/ Lager	10.1 Produktion/Gewerbe		175,00	203,13	189,38	168,13	139,38
		10.2 Lager für Versand/ Zentrallager/Logistik	61	58,00	67,32	62,76	55,72	46,19
		10.3 Werkstätten/Kleingewerbe	240	93,02	100,96	100,96	100,96	69,19
11	Heilbehandlung	11.1 Kliniken	776	217,62	251,34	240,61	213,03	165,52
		11.2 Pflegeheim/Reha-Gebäude	37	141,65	208,29	185,97	117,78	54,55
		11.3 Gesundheitswesen/ Praxisgebäude	74	237,54	306,03	306,03	204,02	134,07
		11.4 Fitnesscenter/Sporthallen	111	141,08	178,64	178,64	127,77	79,27
12	Einkauf/Handel	12.1 Handel Food	408	141,75	153,38	153,38	153,38	106,85
		12.2 Handel Non-Food/ Tankstellenshop	675	135,00	174,42	174,42	108,72	82,43
		12.3 Bau- und Gartenmarkt/ Möbelhaus/Baustoffe	246	94,50	122,10	122,10	76,10	57,70
		12.4 SB-Warenhaus	72	90,00	101,47	101,47	86,03	71,03
		12.5 Einkaufszentrum mit Ladenpassage/Kaufhaus	72	90,00	101,47	101,47	86,03	71,03
		12.6 Autohaus mit Werkstatt	246	94,50	105,03	105,03	89,30	78,64
		12.7 Laden/Büro im Stadthaus (nur NiWo-Fläche)		171,00	224,93	210,18	154,87	94,03
13	Kino/Discothek/Spielothek (freistehend)	36	72,00	77,91	77,91	77,91	54,27	
14	Beherbergung	14.1 Hotel/Pension/Jugendherberge	461	135,51	144,03	144,03	144,03	109,97
		14.2 Restaurant/Gaststätte	203	236,26	310,76	290,38	213,97	129,91
		Mittelwert			167,86	162,39	127,70	90,93

Quellen: Eigene Berechnungen auf Basis der Quellenangaben in Anhang 1.1

2.6.2 Bottom-up-Ansatz: Aufbereitung bedarfsorientierter Heizkennwerte

Vorgehensweise

Im Gegensatz zum Top-down-Ansatz, der ohne detaillierte Betrachtungen zur Gebäudeebene die Heizkennwerte zur Bestandssituation auf Basis empirischer, verbrauchsorientierter Daten nutzt, wird beim Bottom-up-Ansatz die Gebäudeebene konkret betrachtet. Dazu sind für jede Nichtwohngebäudekategorie typisierte Modellgebäude zu erstellen und die bedarfsorientierten Heizkennwerte zu berechnen.¹¹⁹ Zur Berechnung der Bedarfswerte wird die DIN V 18599 herangezogen, da dieses Instrument in der Praxis zu energetischen Berechnungen von Gebäuden gemäß EnEV eingesetzt werden muss und hier eine praxisorientierte Vorgehensweise angestrebt wird. Dies lässt sich auch wie folgt erklären: Die aktuelle Anpassung der EnEV¹²⁰ sieht beim Verkauf eines Nichtwohngebäudes die Vorlage eines Energieausweises in Form eines Bedarfsausweises gemäß DIN V 18599 vor, und ab dem 08.07.2015 sind diese für Gebäude mit einem Publikumsverkehr auf mehr als 250 Quadratmeter Nutzfläche auszuhängen.¹²¹ Die Vielzahl der in den nächsten Jahren entstehenden Energieausweise lässt Validierungen der hier berechneten, bedarfsorientierten Heizkennwerte mit Hilfe von Modellgebäuden und somit auch zum Modellansatz zu.

Bei den Modellgebäuden ist die jeweilige Gebäudehülle und Gebäudetechnik für den Bereich der Raumwärme zu definieren und Nutzungszonen festzulegen. Ergänzend wird je Nutzungszone die Beleuchtung berücksichtigt, da diese als interne Wärmequelle die Berechnungsergebnisse zur notwendigen Endenergie für die Raumwärme beeinflusst. Die berechneten Heizkennwerte beinhalten jedoch nur die Wärmeenergie. Elektrische Energieanteile für die Beleuchtung oder als Hilfsenergie sind im jeweiligen betrachteten Heizkennwert nicht enthalten. Die Warmwasserbereitung sowie die Raumkühlung werden ebenso nicht berücksichtigt. Lüftungsanlagen, die den Heizkennwert beeinflussen, werden spezifisch je nach Gebäudekategorie und Baualtersklassen betrachtet. In der Literatur sind bereits definierte Daten zu einigen Modellgebäuden von verschiedenen Nichtwohngebäudekategorien (Einzelhandel, Büro/Verwaltung, Schulen, Hotels, Fertigungshallen, Lager, Turnhallen und Kindergärten) zu finden.¹²² Aufgrund schwieriger Bedingungen bei der Beschaffung von Informationen zu den Nichtwohngebäuden basieren diese Modellgebäude auf einzelnen konkreten Projektdaten oder der Entwurfslehre-Literatur. Auf diesen Grundlagen wurden bisher typische Gebäude innerhalb einer Gebäudetypologie als Modell aufbereitet.¹²³ Beispielsweise

¹¹⁹ Vgl. [Hel2013], S. 218-219: Helmus Manfred, Reutter Oscar, Hamann Achim, 2013

¹²⁰ siehe Referentenentwurf zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 15.10.2012

¹²¹ § 16 (3), Referentenentwurf zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 15.10.2012

¹²² Vgl. [Hel2013], S. 218: Helmus Manfred, Reutter Oscar, Hamann Achim, 2013 in Verbindung mit [Kla2010], S. 71-161: Klaus Swen, 2010

¹²³ Vgl. [Kla2010], S. 61 und S. 71-161: Klaus Swen, 2010

wurde bei Schulen auf zwei einzelne Projekte¹²⁴, bei Kindergärten auf im Internet gefundene Beispiele¹²⁵ und bei Bürogebäuden auf alternative Typen mit Lochfassade bzw. Pfosten-Riegel-Konstruktion¹²⁶ zurückgegriffen.

Zu diesen Modellgebäuden waren zum Zeitpunkt der eigenen Ausarbeitungen zum hier betrachteten Bottom-up-Modell nur die Bauteilflächen, Gebäudeabmessungen und Volumina angegeben sowie Nutzungszonen nach DIN V 18599 definiert. Materialarten bzw. Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) zum Bestand wurden nicht angegeben. Ebenso wenig sind Daten zur Gebäudetechnik von bestehenden Gebäuden aufgeführt, was energetische Bewertungen zum Bestand von Nichtwohngebäuden mit Hilfe von Bedarfsberechnungen unmöglich macht.

Einige Annahmen zu den Modellgebäuden wurden einer eigenen Veröffentlichung entnommen.¹²⁷

Da durch die große Vielzahl und Variabilität der Nichtwohngebäude eine repräsentative Gebäudedefinition mittels Datenerhebungen nur schwierig möglich und der Aufwand als sehr hoch einzuschätzen ist, kam eine eigene Primärdatenerhebung für diese Arbeit nicht in Betracht. Aufgrund dessen wird folgende Vorgehensweise bei der Modellierung der Nichtwohngebäude gewählt:

- Die Bildung der Modellgebäude zu sämtlichen Gebäudekategorien des Bestandes erfolgt durch eigene, vollständige Definitionen zur jeweiligen Gebäudehülle und Gebäudetechnik unter Berücksichtigung der Baualtersklassen (Erläuterungen bei der Erstellung der Modellgebäude folgen).
- Zur Differenzierung der Baualtersklassen werden jeweils zeitgemäße Bauteilmaterialien bzw. U-Werte und die entsprechende Gebäudetechnik festgelegt.
- Die Modellgebäude basieren dabei ebenso auf typischen Gebäuden wie sie für die jeweilige Kategorie vorhanden sind bzw. geplant sein könnten.
- Die energetischen Berechnungen werden mit einem auf dem Softwaremarkt zur Verfügung stehenden Produkt (»Energieberater«, Version 7.3.1, Hottgenroth)¹²⁸ durchgeführt. Die Eingangsparameter für die Berechnungen werden gemäß DIN V 18599 definiert.
- Die mit Hilfe der Modellgebäude aus den Berechnungen ermittelten bedarfsorientierten Heizkennwerte je Gebäudekategorie und Baualtersklasse werden nach DIN V 18599 auf die Nettogrundfläche¹²⁹ bezogen. Daher sind die Werte auf die Bruttogrundfläche umzurechnen.

¹²⁴ Vgl. [Kla2010], S. 120: Klauß Swen, 2010 und [RWE2009], S. 71-84: RWE (Hrsg.), 2009

¹²⁵ Vgl. [Kla2010], S. 158: Klauß Swen, 2010

¹²⁶ a.a.O., S. 95

¹²⁷ Vgl. [Ham2012], S. 110-120: Hamann Achim, 2012

¹²⁸ <https://www.hottgenroth.de>

¹²⁹ Vgl. [DINV18599], T 1, S. 60-61, Ausgabe 2012

- Die Ergebnisse sind nach DIN V 18599 klimabereinigt. Werden klimaangepasste Werte benötigt, können diese mit dem Klimafaktor umgerechnet werden.

Erstellung der Modellgebäude

Bei energetischen Berechnungen auf Basis der DIN V 18599 sind etliche Parameter festzulegen. Daher ist zunächst der Einfluss von allgemeinen Parametern, die insbesondere zur Gebäudetechnik zu definieren sind, zu prüfen. Der Einfluss ausgewählter allgemeiner Parameter auf die Ergebnisse der Berechnungen wird durch Variation dieser Parameter untersucht. In Tabelle 11 sind die prozentualen Abweichungen zu drei Variantenberechnungen am Beispiel der Kategorie 1.1 (Schulen) zum Endenergiebedarf aufgeführt. Gemäß den Ergebnissen in Tabelle 11 werden Parameter mit geringer Ergebnisbandbreite als fixe Größe vorgegeben. Dadurch kann die zu definierende Parameterzahl in Abhängigkeit der Gebäudekategorie und Baualtersklasse eingeschränkt werden.

Tabelle 11: Bewertung des Einflusses der allgemeinen Modellparameter

Variationen zu allgemeinen Parametern	Variante 1 = 100%	Variante 2, $\Delta+/-\%$	Variante 3, $\Delta+/-\%$
Regelung Heizflächen: P-Regler (1 K) / ungeregelt	100,0%	13,0%	
Temperatur Vorlauf/Rücklauf: 55/45°C / 70/55°C / 90/70°C	100,0%	1,0%	4,0%
Heizungsrohre gedämmt: Standard nach 1995/Standard vor 1980	100,0%	ca. 0%	
Heizpumpe: bedarfsgeregelt / überdimensioniert und ungeregelt	100,0%	0,5%	
Hydraulischer Abgleich: ja / nein	100,0%	ca. 0%	
Wochenende-Nachtbetrieb: Absenken / Abschaltung / Dauer	100,0%	-8,0%	17,0%
Pufferspeicher: nein / ja	100,0%	0,5%	
Zuschläge zu Wärmebrücken: 0,05 / 0,10 / 0,15 W/m ² K	100,0%	6,0%	12,0%
Bauart: schwer / mittelschwer / leicht	100,0%	ca. 0%	2,0%
Beleuchtung: VVG / EVG / KVG (verlustarmes/elektronisches/konventionelles Vorschaltgerät)	100,0%	0,5%	-0,3%

Quelle: Eigene Berechnungen

Die Abweichungen sind gemäß Tabelle 11 in der Regel sehr gering und daher für die beabsichtigte Betrachtungsweise nicht relevant. Lediglich bei der Nachtabschaltung, Heizkörperregelung und beim Wärmebrückenzuschlag sind größere Abweichungen festzustellen. Aufgrund der Ergebnisse zu den Varianten werden die Parameter einheitlich gemäß Variante 1 der Tabelle 11 wie folgt festgelegt:

- Regelung Heizflächen (Thermostatventil): P-Regler (1K)
- Vorlauf- und Rücklauftemperatur: 55/45°C
- Dämmung Heizungsrohre: Standard nach 1995
- Heizungsumwälzpumpe: bedarfsgeregelt

- Hydraulischer Abgleich: vorhanden, Pufferspeicher: nicht vorhanden
- Wochenend- und Nachtbetrieb: Temperaturabsenkung
- Bauart: schwer
- Art der Beleuchtung: verlustarme Vorschaltgeräte

Weiterhin werden nachstehende Festlegungen zu den allgemeinen Modellparametern bzw. Randbedingungen in Anlehnung an die DIN V 18599 getroffen:

- Bei Schichtbetrieb erfolgt keine Temperaturabsenkung.
- Der reduzierte, pauschale Wärmebrückenzuschlag von $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ kommt nur bei Gebäuden der Baualtersklasse D zum Ansatz, da bei neueren Gebäuden davon ausgegangen werden kann, dass bereits eine verbesserte Detailplanung und Ausführung hinsichtlich Wärmebrücken erfolgt.
- Die Wahl des oder der Energieträger ist für die Berechnung des Heizenergiebedarfs (Heizkennwert als Bedarfswert) nicht relevant. Die Brennstoffdaten werden jedoch bei der Berechnung des Primärenergiebedarfs und der CO_2 -Emissionen berücksichtigt. Als Energieträger wird daher für die Berechnung des fossilen Endenergiebedarfs und somit des Heizkennwertes Erdgas angenommen, wobei durch die Wahl von unterschiedlichen Typen zu Kesselanlagen mit unterschiedlichen Baujahren altersbedingte Wirkungsgrade berücksichtigt werden. Die so berechnete Endenergie nach DIN V 18599 ist brennwertbezogen¹³⁰, daher sind die Kennwerte als Grundlage zur Berechnung der CO_2 -Emissionen auf den Heizwert umzurechnen, wodurch die bedarfsorientierten Heizkennwerte unabhängig vom Brennstoff ermittelt werden. Der Umrechnungsfaktor Brennwert/Heizwert beträgt bei Erdgas $1,11$ ¹³¹.
- Zonierung: Die Festlegung einer oder mehrerer Zonen erfolgt aufgrund der überwiegenden Nutzungsverhältnisse.
- In der Regel werden Zonenparameter gem. DIN V 18599¹³² übernommen, bei Abweichungen werden diese erläutert (vgl. Anhang 1.6).
- Luftdichtheit zu Gebäude der Bauklasse A-C: Kategorie III - Bestand
- Luftdichtheit zu Gebäude der Bauklasse (Bk) D: Kategorie II - neues Gebäude
- Wärmebrückenzuschlag: Bk A-C = $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$, Bk D = $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Wärmeverlust durch das Erdreich: Berechnung nach DIN EN ISO 13370¹³³ (Erdreich: Sand, Kies / kein fließendes Grundwasser¹³⁴)

¹³⁰ Vgl. [DINV18599], T. 1, S.45, Ausgabe 2012

¹³¹ Vgl. [DINV18599], T. 1, S. 72, Ausgabe 2012

¹³² Vgl. [DINV18599], T. 10, S. 22-27 und S. 31-74, Ausgabe 2012

¹³³ DIN EN ISO 13370: 2008-04, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Wärmeübertragung über das Erdreich - Berechnungsverfahren (ISO 13370:2007); Deutsche Fassung EN ISO 13370: 2007

¹³⁴ Vgl. [DIN13370], S. 10 und S. 12, Ausgabe 2008

- Art der Lüftung: Fenster und Infiltration
- Lage des Gebäudes: halbfreie Lage und mehr als eine windexponierte Fassade
- Aufstellung Wärmeerzeuger: in der Zone
- Heizungsleitungen: in der Zone verlegt

Bei der Gebäudehülle sind neben den Bauteilflächen die U-Werte (Wärmedurchgangskoeffizienten) zu den Bauteilen festzulegen. Zur Beurteilung von U-Werten kann beispielsweise ein Katalog¹³⁵ zu regionaltypischen Materialien und Materialkennwerten herangezogen werden, der die Bauteile bereits in Baualtersklassen differenziert betrachtet. Alternativ existiert speziell für Nichtwohngebäude eine Zusammenstellung zu typisierten Bauteilaufbauten.¹³⁶

Da bei Nichtwohngebäuden im Bestand zusätzlich Bauweisen in Stahlbetonfertigteilen mit Kerndämmung, gedämmte Stahlkassetten und Sandwichelementen zu berücksichtigen sind, werden U-Werte als Modellgrundlage aus der Literatur durch eigene Berechnungen zu diesen Bauteilen ergänzt.

Bei der Zusammenstellung der U-Werte wird berücksichtigt, dass einerseits Stahlbetonfertigteile im Nichtwohnungsbau vermehrt seit den 1970er Jahren¹³⁷ (ab Baualtersklasse C) und Stahlkassetten (zum Beispiel als Trapezprofile) bzw. Sandwichelemente etwa ab dem Jahr 1960¹³⁸ (ab Baualtersklasse B) zum Einsatz kamen. Stahlkassetten wurden seit dieser Zeit insbesondere bei Hallenbauten eingesetzt. Schulen und Verwaltungsgebäude wurden dagegen oftmals in Stahlbetonfertigtbauweise erstellt.

In Tabelle 12 werden auf Basis von eigenen Berechnungen und der Ausgangstabellen¹³⁹ gemäß Literatur, die aus 550 Datensätzen¹⁴⁰ entstanden sind, gemittelte U-Werte für die hier relevanten Baualtersklassen und Bauteiltypen gebildet. In Anhang 1.4 sind die eigenen U-Wert-Berechnungen und die Ausgangstabellen beigelegt. Die Werte der Ausgangstabellen sind aus den angegebenen, verschiedenen Bauteilkonstruktionen bzw. Materialtypen und Baualtersklassen gemittelt. Der jeweilige Mittelwert in Tabelle 12 ergibt sich aus einem arithmetischen Mittel bzw. einem gewichteten Mittel, wobei die angegebenen Jahreszahlen in den Ausgangstabellen in die Gewichtung einfließen. Durch die Mittelwertbildung werden je Bauteiltyp materialunabhängige U-Werte für die Modellgebäude geschaffen. Weitere bauteilspezifische Werte ergeben sich aus den eigenen Berechnungen (vgl. Anhang 1.4) zu Stahlkassetten und Stahlbetonfertigteilen, die bei einigen Gebäudekategorien infolge ihrer Bauweise konkret angesetzt sind, sowie zu Bodenplatten bei großflächigen Hallenbauten.

¹³⁵ Vgl. [Kla2009], S. 7-187: Klauf Swen, Kirchhof Wiebke et al., 2009

¹³⁶ Vgl. [Thi2011], S. 24-72: Thiel Dieter, Riedel Dirk, 2011

¹³⁷ Vgl. [Bac2009], S. 159: Bachmann Hubert, Steinle Alfred et al., 2009

¹³⁸ Vgl. [Möl2011], S. 4-5: Möller Ralf, Pöter Hans et al., 2011

¹³⁹ Vgl. [Thi2011], S. 8 und S. 14: Thiel Dieter, Riedel Dirk, 2011

¹⁴⁰ a.a.O., S. 6

Tabelle 12: U-Werte zur Gebäudehülle in Abhängigkeit von Baualtersklassen und Bauteiltyp

U-Werte: Mittlere Modellparameter je Baualtersklasse und Bauteiltyp					
Bauteiltyp	Baualtersklasse				Anmerkungen zzgl. Wärmebrückenpauschalen
	A bis 1951	B 1952-1977	C 1978-1994	D 1995-2010	
	Wärmedurchgangskoeffizient U in W/(m ² ·K)				
Dach/Decke: Massiv/Holz	1,72	1,15	0,40	0,23	Mittelwert, gewichtetes Mittel über Jahre
Dach (Gewerbe/Handel) Stahlkassette, Sandwichelemente		0,47	0,38	0,32	eigene Berechnungen, Anhang 1.4
Wand (auch gegen unbeheizten Keller)	1,52	1,21	0,59	0,37	Mittelwert, gewichtetes Mittel über Jahre
Wand (Gewerbe) Stahlkassette, Sandwichelemente		0,46	0,37	0,32	eigene Berechnungen, Anhang 1.4
Wand (Gewerbe, Handel) Stahl- betonfertigteile mit Kerndämmung			0,57	0,44	eigene Berechnungen, Anhang 1.4
Wand gegen Erdreich	2,33	1,78	0,66	0,47	Mittelwert, gewichtetes Mittel über Jahre
Boden (auch gegen unbeheizten Keller)	1,08	0,85	0,56	0,46	Mittelwert, gewichtetes Mittel über Jahre, ohne Tiefgaragen
Boden (großflächiges Gewerbe/Handel) tlw. mit Rand- dämmung (Bk D)	2,71	2,71	2,71	2,71/0,54	eigene Berechnungen, Anhang 1.4
Fenster	5,00	5,00	3,07	1,60	Mittelwert, gewichtetes Mittel über Jahre
Türen	3,50	3,50	3,50	3,50	

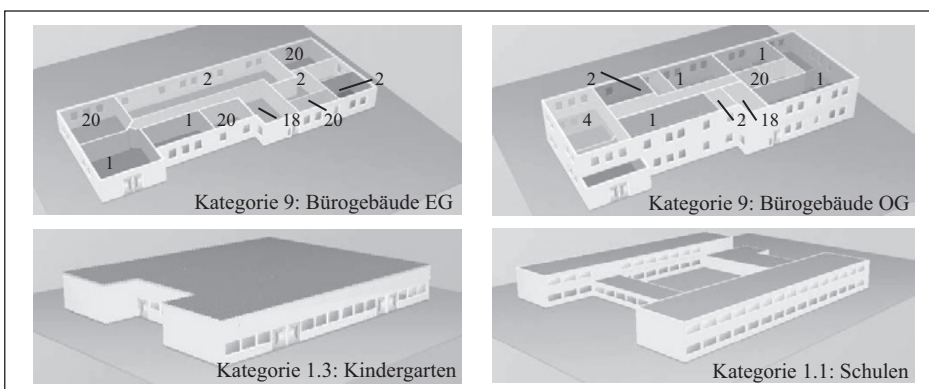
Quellen: Thi2011, S. 8 und 14 sowie eigene Berechnungen

Die Parameterdefinitionen zur Gebäudetechnik sind detailliert in Anhang 1.5 erläutert. Hierin sind die Festlegungen zur Heiztechnik und zu Lüftungsanlagen je Baualtersklasse dargestellt. In Anhang 1.6 sind die wesentlichen Parameter zu den Modellgebäuden zusammengestellt und in Anhang 1.7 tabellarisch aufgeführt. In den Bauteilflächen des Anhanges 1.7 sind die aufgeführten Fensterflächen enthalten. Da einige Gebäudekategorien der Profit- bzw. Non-Profit-Organisationen aus Sicht der konstruktiven Bauweise und Anlagentechnik als vergleichbar zu bezeichnen sind, werden für einige Kategorien gleiche Modellgebäude erstellt. Dies bezieht sich auf folgende Kategorien:

- 1.1 und 1.4 (Schulen, Weiterbildung)
- 2.1 und 2.2 (Regierungs- und Gerichtsgebäude, Ämter/Polizeigebäude/Bahn)
- 3 und 10.3 (Bereitschaftsdienste/Werkstatt, Kleingewerbe)
- 4.2 und 11.2 (Pflege- und Reha-Gebäude)
- 6.2 und 6.3 (Oper/Theater/Konzertsäle, Veranstaltungsgebäude)
- 8.1 und 9.3 (Pfarrheime/Gemeindezentrum/Verwaltung, Banken/Versicherungen/ Gesundheit)
- 9.1 und 9.2 (Dienstleister, Verwaltungsbau Gewerbe/Industrie/Logistik)
- 12.4 und 12.5 (SB-Warenhaus, Einkaufszentrum)

Beispielhaft sind in Abbildung 4 drei Modellgebäude visualisiert dargestellt. Bei den Bürogebäuden der Hauptkategorie 9 sind verschiedene Nutzungszonen gemäß DIN V 18599 angesetzt. Diese sind im Erdgeschoss (EG) und im Obergeschoss (OG) farblich differenziert (Zone 1: Einzelbüro, Zone 2: Gruppenbüro, Zone 4: Besprechung, Zone 18: Nebenfläche, Zone 20: Lager/Technik/Archiv). Zusätzlich ist das Modellgebäude der Kategorie 1.3 (Kindergarten) und zur Kategorie 1.1 (Schulen) abgebildet.

Abbildung 4: Grafische Darstellung der Modellgebäude an Beispielen



Quellen: Eigene Darstellung und RS-Plan AG

Zonennummern gemäß DIN V 18599

Bei den Modellgebäuden¹⁴¹ sind weiterhin zur Vereinfachung mehrerer Modellgebäude gleiche Gebäudestrukturen (Abmessungen zur Gebäudehülle), die grundsätzlich bei verschiedenen Kategorien zur Anwendung kommen können, zugewiesen.

Bei der Kategorie 5.2 (Hallen- und Spaßbäder) wird auf die Verbrauchswerte des Top-down-Ansatzes zurückgegriffen, da zu diesem Typ in der DIN V 18599 kein Nutzungsprofil definiert ist. Dementsprechend kann kein sinnvolles Modellgebäude zur

¹⁴¹ Vgl. [Ham2012], S. 110-120: Hamann Achim, 2012: Einige Modellparameter wurden hier entnommen

Berechnung von Bedarfswerten erstellt werden, was infolge der vernachlässigbaren Häufigkeit dieses Gebäudetyps vertretbar ist. Demnach werden für die definierten 38 Nichtwohngebäudekategorien (vgl. 2.3) insgesamt 28 Modellgebäude für 37 Kategorien erstellt. Differenziert werden dabei beispielsweise die U-Werte der Bauteilflächen, die Raumtemperatur, die Nutzungsprofile sowie die Heiz- und Lüftungstechnik.

Somit sind insgesamt 148 (= 37 · 4) Modellgebäude zwecks Berechnungsgrundlagen zum Bestand der Nichtwohngebäude mit Hilfe bedarfsorientierter Heizkennwerte entstanden.

Die gewählten Eingangsparameter für die 148 Modellgebäude sind in Anhang 1.7 unter Angabe der jeweiligen Gebäudekategorie und Baualtersklasse tabellarisch aufgeführt und werden nachfolgend ausschnittsweise erläutert:

Die Modellgebäude haben bis zu 5 Geschosse und Raumtemperaturen (je nach Zone) von 12°C (10.2: Lager) bis 24°C (4.1 und 11.1: Kliniken, Zone 38: Intensivbereich). Handelsflächen werden in Anlehnung an Ausarbeitungen zu EnEV-Auslegungsfragen mit einer Temperatur von 17°C¹⁴² berechnet. Je nach Nutzung ist dieser Ansatz auch beispielsweise auf Werkstätten übertragbar. Für die Modellgebäude der Kategorie 10.1 (Produktion/Gewerbe) sind 19°C angesetzt. Dadurch soll berücksichtigt werden, dass einerseits je nach Unternehmen eine körperliche Arbeit in Schutzkleidung und andererseits zusätzliche interne Wärmelasten durch Produktionsmaschinen entstehen. Diese reduzieren die notwendige Heizleistung. Kirchen (Kategorie 8.2) werden auf Grundlage von 16°C Raumtemperatur berechnet.

Die Raumhöhen liegen zwischen 2,50 m (12.3: Zone Büro) und 8,80 m (11.4: Sporthallen) und wurden je nach Gebäudetyp mit vorhandenen Untersuchungen¹⁴³ abgeglichen. Bei den Stadthäusern (Kategorie 12.7) ist eine für den Wärmeverlust relevante dreiseitige Außenhülle als wärmeübertragende Fassade berücksichtigt, da die Gebäude in der Regel in einer Reihenbebauung angeordnet sind. Die dreiseitige Hülle berücksichtigt als Mittelwert freistehende und mittige Reihenhäuser sowie Reiheneckhäuser. Des Weiteren wird der Wohnbereich in den Obergeschossen mit einer vergleichbaren Büronutzung angesetzt, da eine Mischnutzung nicht direkt in den Berechnungen nach DIN V 18599 berücksichtigt werden kann. Die Zonendaten zur Kategorie 10.1 (Gewerbe/Industrie) berücksichtigen einen Zwei-Schichtbetrieb.

Bei den U-Werten zu den Dachflächen der Baualtersklassen A und B wird bei den meisten Gebäudekategorien davon ausgegangen, dass das Dach inzwischen einen Sanierungszyklus erfahren hat und somit eine Mindestdämmung vorhanden ist. Dies kann damit begründet werden, dass nichttragende Dachkonstruktionen (Flachdachabdichtungen, Dachentwässerung, Faserzementwellplatten, Dachziegeln usw.) eine mittlere Le-

¹⁴² Vgl. [Ach2009], S. 13: Achelis Justus, 2009

¹⁴³ Vgl. [Gru2011], S. 36: Gruhler Karin, Böhm Ruth, 2011

benserwartung von ca. 20 bis 50 Jahren aufweisen.¹⁴⁴ Bei Fenstern und Lichtbändern der Baualtersklasse A und B wird ebenfalls eine bereits erfolgte Sanierung angenommen, da die Lebensdauer von Fensterrahmen, Verkittungen, Dichtungen bei ca. 10 bis 50¹⁴⁵ Jahren liegt.

Berechnungsergebnisse zu bedarfsorientierten Heizkennwerten und Vergleich mit verbrauchsorientierten Heizkennwerten gemäß Top-down-Ansatz

In den Tabellen 13 und 14 sind die Berechnungsergebnisse zu den bedarfsorientierten Heizkennwerten in grauer Schrift dargestellt. Diese wurden bereits ausschnittsweise¹⁴⁶ vorveröffentlicht. Gleichzeitig sind zum Vergleich die verbrauchsorientierten Heizkennwerte (siehe Tabelle 9 und 10) des Top-down-Ansatzes in schwarz aufgeführt. Die dargestellten Bedarfswerte sind klimabereinigt und wurden mit dem Faktor 0,9 (vgl. 2.5) von der Netto- auf die Bruttogrundfläche sowie mit dem Faktor 1,11 von Brennwert auf Heizwert umgerechnet. In Anhang 1.8 sind die detaillierten Berechnungsergebnisse ausschnittsweise abgebildet. Die Ergebnisdarstellung in Tabelle 13 und 14 zeigt, dass bei etlichen Gebäudekategorien der berechnete Bedarfswert höher liegt. Bei einigen fallen jedoch auch die verbrauchsorientierten Werte höher aus.

Aufgrund der dargestellten Mittelwerte je Ansatz ist jedoch erkennbar, dass die berechneten Bedarfswerte im Mittel höher ausfallen als die Verbrauchswerte und dass die berechneten Bedarfswerte bei älteren Gebäuden größere Abweichungen aufzeigen als in der jüngeren Baualtersklasse D. Das unterstreicht die allgemein bekannte Problematik hinsichtlich Abweichungen zwischen Verbrauchs- und Bedarfswerten.

Dies ist damit begründbar, dass die theoretisch berechneten Bedarfswerte trotz Komplexität der Berechnungsweise und Definition vieler Parameter das tatsächliche Nutzerverhalten und die tatsächlichen Wärmeverluste nur angenähert widerspiegeln können. Des Weiteren kann festgestellt werden, dass in der Regel bei kleineren Datensätzen zur Bestimmung der Verbrauchswerte die Abweichungen zu den berechneten Bedarfswerten größer sind. Eine bessere Übereinstimmung kann sicherlich nach Vergrößerung von Datenmengen durch empirische Erhebungen erzielt werden.

Für modellhafte Betrachtungen und zwecks Abbildung des Bestands bietet die hier angewandte Vorgehensweise und die daraus resultierenden berechneten Heizkennwerte eine anwendungsorientierte Grundlage, zumal mit dem Top-down- und Bottom-up-Ansatz die mögliche Bandbreite zur Bestandssituation bewertet werden kann. Nach Aufbereitung der Nichtwohngebäudekategorien, Baualtersklassen und Heizkennwerte wird im nächsten Schritt die Vorgehensweise bei der GIS-Daten-Analyse dargestellt.

¹⁴⁴ Vgl. [IEMB2006], S. 6: Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V. und Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.), 2006

¹⁴⁵ Vgl. [IEMB2006], S. 4: Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V. und Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.), 2006

¹⁴⁶ Vgl. [Hel2013], S. 219: Helmus Manfred, Reutter Oscar, Hamann Achim, 2013

**Tabelle 13: Vergleich Bedarfs-/Verbrauchs-Heizkennwerte,
Non-Profit-Organisationen**

Beheizte Nichtwohngebäude, Nichtwohnflächen			Anzahl Daten	gew. Mittel	A bis 51	B 52-77	C 78-94	D 95-10		
Nr.	Hauptkategorie	Nr.	Unterkategorie	Baualtersklassen kWh/(m ² ·a) BGF						
Non-Profit-Organisation										
1	Bildung	1.1	Schulen	4437	95,96	121,50	121,50	86,90	53,91	
						194,11	181,38	143,51	77,51	
		1.2	Hochschulen/Forschung	380	118,49	150,04	150,04	107,32	66,58	
						193,14	180,97	143,11	76,05	
		1.3	Kindertagesstätten/ Kindergarten	2154	120,89	160,11	160,11	112,08	51,24	
						190,78	182,03	149,92	83,84	
		1.4	Weiterbildungsstätten	35	122,00	154,48	154,48	110,49	68,55	
						194,11	181,38	143,51	77,51	
2	Verwaltung	2.1	Regierungs- und Gerichtsgeb.	2675	138,52	171,12	159,27	127,31	96,39	
						167,84	153,32	113,92	68,11	
		2.2	Ämter/Polizeigebäude/Bahn	5425	115,56	142,92	132,89	106,12	80,31	
						167,84	153,32	113,92	68,11	
3	Bereitschaftsdienste			944	126,16	156,03	145,07	115,85	87,67	
						255,81	131,59	108,81	76,05	
4	Heilbehandlung	4.1	Kliniken	2376	230,01	265,65	254,31	225,15	174,94	
						286,22	271,30	221,11	131,51	
		4.2	Pflegeheim/Reha-Gebäude	37	141,65	208,29	185,97	117,78	54,55	
						219,32	204,57	159,89	113,68	
5	Sport	5.1	Sporthallen/Tennishallen/Turnh.	1118	136,16	172,41	172,41	123,31	76,50	
						261,00	250,30	183,57	143,59	
		5.2	Hallenbad/Spaßbäder	23	495,00	495,00	495,00	495,00	495,00	
						495,00	495,00	495,00	495,00	
		5.3	Stadien/Vereinsheime	326	117,88	149,27	149,27	106,76	66,23	
						303,57	273,00	190,78	138,24	
6	Kultur/öffentlicher Zugang	6.1	Ausstellungsgebäude/ Bibliotheken	229	77,24	84,83	84,83	84,83	54,48	
						228,65	214,70	171,00	98,76	
		6.2	Oper/Theater/Konzertsäle	29	147,00	161,44	161,44	161,44	103,68	
						332,35	303,97	157,46	121,38	
		6.3	Veranstaltungsgebäude	809	105,07	129,46	129,46	129,46	72,34	
						332,35	303,97	157,46	121,38	
7	Justizvollzugsanstalt/Kaserne			55	148,80	197,09	197,09	137,96	63,07	
						245,59	180,49	135,32	75,08	
8	kirchliche Gebäude	8.1	Pfarrheim/Gemeindezentrum/ Verwaltung	10217	144,00	185,81	185,81	130,06	74,32	
						184,95	170,84	130,14	75,16	
		8.2	Kirchenbauten	20665	144,00	144,00	144,00	144,00	144,00	
						152,84	152,84	132,24	132,24	
						Mittelwert Top-down-Ansatz	180,53	176,83	145,66	104,65
						Mittelwert Bottom-up-Ansatz	244,75	221,39	169,48	120,73
						%-Abweichung	136%	125%	116%	115%

Quelle: Eigene Berechnungen, teilweise vorveröffentlicht unter: [Hel2013], S. 219

Legende Tabelle 13 und 14:

185,81 verbrauchsorientierter Heizenergiekennwert in kWh/(m²·a)

184,95 bedarfsorientierter Heizenergiekennwert in kWh/(m²·a)

Tabelle 14: Vergleich Bedarfs-/Verbrauchs-Heizkennwerte, Profit-Organisationen

Beheizte Nichtwohngebäude, Nichtwohnflächen			Anzahl Daten	gew. Mittel	A bis 51	B 52-77	C 78-94	D 95-10	
			Baualtersklassen						
Nr.	Hauptkategorie	Nr.	Unterkategorie	kWh/(m ² ·a) BGF					
Profit-Organisation									
9	Bürogebäude	9.1	Dienstleister	470	141,00	171,18	159,68	127,75	105,39
					208,78	203,35	154,95	102,57	
		9.2	Verwaltungsbau Gewerbe/Industrie/Logistik	1928	139,50	169,36	157,98	126,39	104,27
					208,78	203,35	154,95	102,57	
		9.3	Banken/Versicherungen/Gesundheit	1928	139,50	185,47	185,47	122,06	64,99
					184,95	170,84	130,14	75,16	
10	Produktion/Werkstatt/ Lager	10.1	Produktion/Gewerbe		175,00	203,13	189,38	168,13	139,38
					288,32	160,38	111,41	79,30	
		10.2	Lager für Versand/Zentrallag./Log.	61	58,00	67,32	62,76	55,72	46,19
					175,78	112,46	94,54	69,65	
		10.3	Werkstätten/Kleingewerbe	240	93,02	100,96	100,96	100,96	69,19
					255,81	131,59	108,81	76,05	
11	Heilbehandlung	11.1	Kliniken	776	217,62	251,34	240,61	213,03	165,52
					286,22	271,30	221,11	131,51	
		11.2	Pflegeheim/Reha-Gebäude	37	141,65	208,29	185,97	117,78	54,55
					219,32	204,57	159,89	113,68	
		11.3	Gesundheitswesen/Praxisgebäude	74	237,54	306,03	306,03	204,02	134,07
					313,30	288,32	218,76	146,35	
		11.4	Fitnesscenter/Sporthallen	111	141,08	178,64	178,64	127,77	79,27
					301,95	290,43	225,97	169,54	
12	Einkauf/Handel	12.1	Handel Food	408	141,75	153,38	153,38	153,38	106,85
					158,68	128,68	108,57	74,84	
		12.2	Handel Non-Food/Tankstellenshop	675	135,00	174,42	174,42	108,72	82,43
					168,41	138,00	98,27	86,51	
		12.3	Bau- und Gartenmarkt/ Möbelhaus/Baustoffe	246	94,50	122,10	122,10	76,10	57,70
					162,32	142,14	123,41	78,16	
		12.4	SB-Warenhaus	72	90,00	101,47	101,47	86,03	71,03
					111,08	108,16	91,30	65,68	
		12.5	Einkaufszentrum mit Ladenpassage/Kaufhaus	72	90,00	101,47	101,47	86,03	71,03
					111,08	108,16	91,30	65,68	
		12.6	Autohaus mit Werkstatt	246	94,50	105,03	105,03	89,30	78,64
					265,14	244,78	175,38	120,24	
		12.7	Laden/Büro im Stadthaus (nur NiWo-Fläche)		171,00	224,93	210,18	154,87	94,03
					269,03	218,43	119,59	82,70	
13	Kino/Discothek/Spielothek (freistehend)			36	72,00	77,91	77,91	77,91	54,27
					311,51	297,73	128,35	81,24	
14	Beherbergung	14.1	Hotel/Pension/Jugendherberge	461	135,51	144,03	144,03	144,03	109,97
					218,84	204,41	159,81	96,73	
		14.2	Restaurant/Gaststätte	203	236,26	310,76	290,38	213,97	129,91
					340,22	309,41	225,24	128,35	
					Mittelwert Top-down-Ansatz	167,86	162,39	127,70	90,93
					Mittelwert Bottom-up-Ansatz	227,98	196,82	145,09	97,33
					%-Abweichung	136%	121%	114%	107%

Quelle: Eigene Berechnungen, teilweise vorveröffentlicht unter: [Hel2013], S. 219

2.7 Aufbereitung von GIS-Daten am Beispiel von Wuppertal-Vohwinkel

2.7.1 Einführung

Die digitalen Daten aus Geografischen Informationssystemen, die nahezu bundesweit (vgl. 2.1) bei Vermessungsämtern oder bei vermessungstechnischen Abteilungen kommunaler Einrichtungen vorliegen, entsprechen den amtlichen Liegenschaftsdaten und enthalten somit Informationen, die für gebäudeabhängige Betrachtungen genutzt werden können. Die wesentlichen Informationen sind dabei die jeweilige Gebäudefläche und die Geschosshöhe zur Ermittlung der Bruttogrundfläche. Weiterhin enthalten die gebäudespezifischen Datensätze Informationen zur Nutzung und evtl. auch zum Baujahr, wodurch erste Einschätzungen zu Gebäudekategorien, zu Baualtersklassen und somit auch zu Heizkennwerten möglich sind. Auf Grundlage der benannten Daten können energetische Analysen zu urbanisierten Flächen durchgeführt werden, was methodisch nachfolgend für beheizte Nichtwohngebäude dargestellt und anschließend angewendet wird. Zunächst ist jedoch auf die Verbesserung der Genauigkeit der GIS-Daten durch einen örtlichen Abgleich einzugehen.

Die in den Original-GIS-Daten enthaltenen Datensätze spiegeln nicht immer den aktuell korrekten Bestand wider oder sind lückenhaft (vgl. 2.2). Eigene örtliche Begehungen in Vohwinkel haben Differenzen im Bereich der Gebäudenutzung und Anzahl der Geschosse aufgezeigt. Des Weiteren kann mit den in den GIS-Daten enthaltenen Nutzungsinformationen nicht immer sicher auf ein beheiztes Nichtwohngebäude geschlossen werden. Beispielsweise kann sich herausstellen, dass es sich nur um eine Überdachung oder eine unbeheizte Halle handelt. Daher ist bei einem höheren Anspruch an die Genauigkeit der Analyseergebnisse ein örtlicher Abgleich der GIS-Daten hinsichtlich Gebäudenutzung, Anzahl der Geschosse und ergänzend zum energetischen Alter vorzunehmen. Der Aufwand, der durch eine örtliche Begehung verursacht wird, ist dabei als vertretbar zu bezeichnen, da es sich nicht um eine aufwändige Datenerhebung handelt, sondern um eine Sichtkontrolle vom öffentlichen Straßenraum aus. Weitere Quellen zur Unterstützung des örtlichen Abgleichs wie internetbasierte Luftbilder, historische Luftbilder, Internetseiten von ansässigen Firmen und von kommunalen Trägerschaften sollten zusätzlich genutzt werden. Der örtliche Abgleich ist auch für die beabsichtigte Zuordnung zu Baualtersklassen notwendig, da die in den GIS-Daten enthaltenen Baujahre (falls enthalten) nicht unbedingt eine Aussagekraft zum energetischen Zustand des Gebäudes haben. Beispielsweise kann die Gebäudehülle oder Teile eines Gebäudes von 1950 bereits saniert sein, so dass das Gebäude aus energetischer Sicht der Baualtersklasse C und nicht A zuzuordnen ist. In den überlassenen GIS-Daten zu Vohwinkel waren generell keine Baujahre enthalten, so dass der energetische Alterszustand jedenfalls mit Hilfe der örtlichen Besichtigung eingeschätzt werden musste.

Die Gebäudegrundfläche kann nicht durch die örtliche Besichtigung kontrolliert werden, bestenfalls kann eine grobe Größenordnung abgeschätzt werden. Die Gebäudeflächen, die in den GIS-Daten enthalten waren, wurden daher stichprobenartig mit Hilfe einer CAD-Software¹⁴⁷ aus geometrischer Sicht überprüft, in dem die Shape-Datei¹⁴⁸ in die CAD eingelesen und die Gebäudeflächen abgefragt wurden. Bei der Stichprobe (20 Gebäude) wurden keine Abweichungen zu den Geometriedaten in der Attributstabelle¹⁴⁹ der GIS-Daten festgestellt.

Die durchgeführte örtliche Besichtigung hat zum Teil bei der eindeutigen Bewertung von unbeheizten oder beheizten Hallenkonstruktionen ihre Grenzen. In einigen Fällen werden die Nutzung oder die Baualtersklasse ebenso falsch eingeordnet. Die Einstufung der Baualtersklasse hängt dabei auch von persönlichen Erfahrungen im Umgang mit Gebäuden sowie von persönlichen Ortskenntnissen ab. Weiterhin können vom öffentlichen Straßenraum je nach Größe und Lage der Liegenschaft nicht alle Gebäude oder Gebäudeteile ausreichend eingesehen werden, wodurch beispielsweise nicht alle Schornsteinanlagen als Indikator erkannt werden. Die zusätzlich hilfswise genutzte internetbasierte Luftbildanalyse hat ihre Grenzen in der Aktualität der Luftbilder und der Luftbildauflösung.

Bei den hier durchgeführten örtlichen Begehungen in Vohwinkel im Zeitraum März bis Juli 2012 konnte festgestellt werden, dass einige jüngere Neubauten bereits fertiggestellt oder kurz vor der Fertigstellung waren. Diese Gebäude waren jedoch noch nicht in den GIS-Daten enthalten, was mit der zeitversetzten katasteramtlichen Gebäudeeinmessung und Übernahme in die digitalen Liegenschaftsdaten begründbar ist. Insofern ist die Zuweisung der GIS-Daten, die von der Stadt Wuppertal¹⁵⁰ am 10. April 2012 bereit gestellt wurden, zum Basisjahr 2010 vertretbar (vgl. 2.2).

Aufwand der GIS-Daten-Analyse

Der Aufwand für die detaillierte GIS-Daten-Analyse inklusive örtlicher Begehung und Vor- sowie Nachbereitung kann mit etwa zehn Minuten je relevanten GIS-Datensatz für die beheizten Nichtwohngebäude angenommen werden, die in Vohwinkel bei rund 2.000 Stück lagen (vgl. 2.7.3). Somit kann der Aufwand für eine detaillierte GIS-Daten-Analyse und Berechnung der CO₂-Emissionen zu einem Stadtbezirk in der Größenordnung wie Vohwinkel und bei einem Ingenieur-Stundensatz von 65 EUR auf etwa 22.000 EUR zuzüglich Mehrwertsteuer beziffert werden, wobei von bau- und EDV-erfahrenen Bearbeitern ausgegangen werden sollte. Wird auf den örtlichen Abgleich verzichtet, kann der Aufwand zur GIS-Datenanalyse zum kompletten Stadtgebiet

¹⁴⁷ AutoCAD MAP 3D, Version 2012 (CAD = computer-aided design)

¹⁴⁸ Shape-Datei (.shp): Enthält die Geometriedaten der GIS-Daten

¹⁴⁹ Attributstabelle: Enthält Sachdaten wie Grundfläche und Gebäudetypbezeichnung

¹⁵⁰ Amtliche Geobasisdaten der Stadt Wuppertal, Ressort Vermessung, Katasteramt und Geodaten (VG-Nr. 12-2012)

auf Basis der Originaldaten mit etwa 20 Prozent je relevanten GIS-Datensatz angegeben werden. Der Aufwand von vier Minuten je relevantem Datensatz beschreibt für die Anwendung des vereinfachten Modellansatzes (vgl. 2.8.2) auf das verbleibende Stadtgebiet die kalkulatorische Ausgangsgröße. Mit dem kalkulatorischen Aufwand von zehn Minuten je relevantem Datensatz bei der detaillierten Betrachtung zu Vohwinkel liegt gleichzeitig die Grundlage für die Anwendung des Hochrechnungsansatzes zur ersten Abschätzung der CO₂-Emissionen aus der Raumwärme der Nichtwohngebäude ohne GIS-Daten-Analyse zum verbleibenden Stadtgebiet (vgl. Zielsetzung unter 2.1) vor. Hierzu entsteht nahezu kein zusätzlicher Aufwand.

2.7.2 Allgemeines zur Vorgehensweise

Generell liegt in Deutschland ein bundeseinheitlicher Standard zum Liegenschaftskataster bzw. zu ATKIS (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem) vor.¹⁵¹ Daher ist die Vorgehensweise, wie sie hier dargestellt wird, auf andere Gebiete übertragbar. Falls die Sachdaten in der jeweiligen Attributstabelle anderer Vermessungsämter nicht mit dem Wuppertaler Aufbau übereinstimmen, ist dies für die Anwendung der Methode nicht von Belang. Dies kann damit begründet werden, dass die hier vorgestellte Vorgehensweise zum Aggregieren der relevanten Daten generell übertragbar ist und nicht von der Struktur der GIS-Daten abhängt. Das untersuchte städtische Gebiet bezieht sich gemäß Abbildung 5 auf den Stadtbezirk Vohwinkel mit seinen 9 Quartieren.

Abbildung 5: Stadtbezirk Wuppertal-Vohwinkel und seine Quartiere



Quartiere:
Vohwinkel-Mitte, Osterholz, Tesche,
Schöller-Dornap, Lüntenbeck, Westring,
Industriestraße, Höhe, Schrödersbusch

Quelle: [Wup2012]: Stadt Wuppertal

Die GIS-Daten des digitalen Liegenschaftskatasters zum Stadtbezirk (hier: Vohwinkel) sind zunächst in eine GIS-Software (hier: Quantum-GIS, Version 1.7.4¹⁵²) einzulesen. Anschließend ist der örtliche Abgleich für alle Gebäude der Profit(P)-Organisationen

¹⁵¹ Vgl. [Lan ohne Datum]: Landesamt für Vermessung und Geoinformation, Freistaat Thüringen (Hrsg.)

¹⁵² Quantum GIS Version 1.7.4: Ein quellenoffenes Geografisches Informationssystem, <http://qgis.org/>, Stand: 28.05.2012

und Non-Profit(NP)-Organisationen durchzuführen. Nach Abgleich mit der Örtlichkeit erfolgt die Anpassung der Original-GIS-Daten und somit Reduzierung der Fehlerbandbreite. Dadurch liegt eine Datengrundlage für einen detaillierten Modellansatz vor. Mit Hilfe der Ergebnisse aus dem detaillierten Modellansatz wird ein vereinfachtes Modell zur Bestandssituation unter Nutzung von ungeprüften Original-GIS-Daten erstellt, was den weiteren Bearbeitungsaufwand zum gesamten städtischen Gebiet stark reduziert. Dabei wird eine Kalibrierung des vereinfachten Modellansatzes mit Hilfe der Ergebnisse aus der detaillierten Vorgehensweise durchgeführt (vgl. 2.8.2).

Der vereinfachte Modellansatz kann dann für die Berechnung der Bestandssituation der beheizten Nichtwohngebäude im Stadtgebiet (hier: Wuppertal) auf Basis von ungeprüften GIS-Daten eingesetzt werden. Bei der Anwendung der Vorgehensweise auf das Stadtgebiet Wuppertal sind die Berechnungen mit dem vereinfachten Ansatz auf Grundlage einer Stichprobe von etwa 10 Prozent des Stadtgebietes (Vohwinkel) möglich (vgl. 2.1).

Es ist zu beachten, dass hier die GIS-Liegenschaftsdaten keinem Clustern (Zusammenführen von mehreren Gebäudeteilen zu einem Gebäude) unterzogen werden. Dies ist deswegen zu erwähnen, da bei Nichtwohngebäuden bzw. Liegenschaften, die aus einem Gebäudekomplex bestehen, im Vergleich zu Wohngebäuden oftmals mehrere GIS-Datensätze existieren. Der Frage, welche Datensätze zu einer Gebäudeeinheit zusammengeführt werden können, wird in dieser Arbeit nicht weiter nachgegangen, da es für die energetischen Betrachtungen zu den Gesamtflächen nicht relevant ist. Relevanter ist die Fragestellung jedoch bei Hochrechnungen zur Gebäudeanzahl, da die Anzahl der Datensätze als Grundlage in die zu ermittelnde Anzahl der Gebäude eingeht.

Wuppertal gilt generell als schrumpfende Stadt. Die Bevölkerungszahl ist von 1992 bis 2008 um rund 40.000 Einwohner zurückgegangen.¹⁵³ Daher ist bei der Beurteilung des Bestands der beheizten Nichtwohngebäude von Non-Profit- und Profit-Organisationen ein Leerstand zu berücksichtigen, wobei dieser auch in Wachstumsregionen relevant ist. Mit Hilfe der örtlichen Begehungen kann grundsätzlich nur eine Abschätzung zum Leerstand der beheizten Nichtwohngebäude erfolgen. Für genauere Daten wäre eine aufwändige Datenerhebung notwendig. Auf Grund der persönlichen Begehungen vor Ort in Vohwinkel von März bis Juli 2012 und der erstellten Bilddokumentation wird der Leerstand bei den beheizten Nichtwohngebäuden auf etwa 10 Prozent abgeschätzt. Der Leerstand wird im Weiteren mit Hilfe von Literaturquellen und einer Einschätzung der Wirtschaftsförderung der Stadt Wuppertal bewertet, die den Leerstand auf ca. acht Prozent¹⁵⁴ eingeschätzt. Zusätzlich wird ein Abgleich mit der im

¹⁵³ Vgl. [Reu2012a], S. 16-18: Reutter Oscar, Bierwirth Anja et al., 2012

¹⁵⁴ Vgl. [Vol2013]: Volmerig Rolf, Wirtschaftsförderung der Stadt Wuppertal, telefonische Auskunft vom 02.04.2013

Jahr 2013 durchgeführten Akteurs-Befragung (vgl. 5.2.4) in Wuppertal-Vohwinkel vorgenommen. Demnach ergibt sich bei kirchlichen Einrichtungen ein Leerstand von nur etwa einem Prozent, was jedoch nicht repräsentativ ist, da in jüngerer Vergangenheit bereits nicht mehr benötigte Flächen abgegeben wurden. Bei den privaten Büroflächen wird ein Leerstand mit Hilfe der Befragung von fünf Prozent festgestellt.

Zwecks Vergleichs des Anteils an CO₂-Emissionen aus dem beheizten Nichtwohngebäudebestand mit dem Wohngebäudebestand wird dieser zusätzlich aus den GIS-Daten aggregiert, wobei die Mischnutzungen bei der Vor-Ort-Begehung und Datenanalyse sowieso zu bewerten sind. Die GIS-Daten zum überwiegenden Teil der Wohngebäude werden dabei ohne Vor-Ort-Prüfung und Nutzung von Luftbildern aggregiert. Ein örtlicher Abgleich zu den reinen Wohngebäuden ist nicht relevant, da bei diesen keine unterschiedlichen Nutzungen bestehen. Differenzierungen zu Baualtersklassen sind für einen überschlägigen Vergleich zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden ebenso wenig erforderlich, da ein mittlerer Heizkennwert zu den Wohngebäuden angesetzt werden kann.

2.7.3 GIS-Daten-Analyse

Die GIS-Daten zum Stadtbezirk Vohwinkel (Bilanzraum Stadtteil) beinhalteten zunächst **15.323** Datensätze zu Wohn- und Nichtwohngebäuden. Das Aggregieren der Datensätze mit dem Ziel, eine erste Vorauswahl zu beheizten Nichtwohngebäuden zu treffen, erfolgte bei der GIS-Datenanalyse auf Grund der Bezeichnungen, die zu den Datensätzen in der zugehörigen Attributstabelle hinterlegt sind. Die Attribut-Bezeichnungen, die am Beispiel von Vohwinkel nicht relevante Datensätze vermuten lassen, sind in Tabelle 15 zusammengestellt. Die Bezeichnungen lassen dabei auf unbeheizte Nichtwohngebäude schließen oder auf Gebäude mit geringen Flächenanteilen, so dass diese im ersten Schritt separiert werden können.

Gebäude mit den Bezeichnungen »Kiosk«, »Gewächshaus« oder »Gebäude im Freibad« können infolge der geringen Flächen vernachlässigt werden. Des Weiteren können diese Gebäude auch teilweise unbeheizt sein. Den Datensätzen zu Empfangsgebäuden konnten Kalthallenflächen der Schwebebahn und des Bahnhofes zugeordnet werden. Gleiches gilt für die Gebäude mit landwirtschaftlicher Nutzung. Die übrigen Gebäudetypen sind auf Grund ihrer Nutzung ebenso als unbeheizt einzustufen. Datensätze zu Gebäudebezeichnungen wie Schuppen, Garagen, Tiefgaragen, Carports und Überdachungen konnten generell separiert werden. Einzelne Gebäude wurden als Stichprobe (20 Stück) vor Ort und mittels Luftbilder geprüft und konnten von ihrer Nutzung her bestätigt werden. Die Nutzungsbezeichnungen in Tabelle 15 sind der Original-Attributstabelle der GIS-Daten zu Vohwinkel entnommen.

Tabelle 15: Nicht relevante GIS-Datensätze am Beispiel von Vohwinkel

Nicht relevante Datentypen für BGF _{GIS} :		
Carport	Betriebsgebäude für Schienenverkehr	offene Halle
Doppelgarage	Gebäude für Abwasserbeseitigung	Betriebsgebäude für Schienenverkehr
Garage	Gebäude der Kläranlage	Empfangsgebäude
Einzelgarage	Gebäude für Wasserversorgung	Parkdeck
Sammelgarage	Gebäude für Elektrizitätsversorgung	Gasometer, Gaswerk
Tiefgarage	Pumpstation	Wasserturm
Überdachung	Wasserbehälter	Speichergebäude
Gartenhaus	Gebäude zur Entsorgung	Bauernhaus
Schuppen, Scheune, Stall	Gebäude zur Versorgung	Wohngebäude
Toilette	Umformer, Umspannwerk	Wohnhaus
Treibhaus, Gewächshaus	Gebäude im Freibad	Wochendhaus
Lokschuppen, Wagenhalle	Wartehalle, Kiosk	
Gebäude für Land- und Forstwirtschaft, Land- und forstwirt. Betriebsgebäude		

Quelle: Eigene GIS-Daten-Analyse auf Basis der amtlichen Geobasisdaten der Stadt Wuppertal, Ressort Vermessung, Katasteramt und Geodaten (VG-Nr. 12-2012)

Einige Gebäudetypen mit Bezeichnungen, hinter denen eventuell doch ein beheiztes Nichtwohngebäude zu vermuten ist, wurden genauer untersucht. Diese Typen sind nachfolgend inklusive ihrer Häufigkeit und Grundfläche aufgeführt, wobei deutlich wird, dass diese bei insgesamt rund 907.000 Quadratmeter (siehe Flächenangabe nach Tabelle 18) ermittelter relevanter Bruttogrundfläche vernachlässigt werden können:

11 Datensätze zu Empfangsgebäuden (von 10 m ² bis 1.849 m ²):	4.451 m ²
1 Datensatz zu Gebäuden für Abwasserbeseitigung:	19 m ²
1 Datensatz zu Gebäuden der Kläranlage:	91 m ²
3 Datensätze zu Gebäuden zur Wasserversorgung:	9+4+4 = 17 m ²
3 Datensätze zu Gebäuden zur Elektrizitätsversorgung:	14+11+3 = 28 m ²
2 Datensätze zu Gebäuden zur Entsorgung:	23+308 = 331 m ²
4 Datensätze zu Gebäuden zur Versorgung:	31+1+17+86 = 135 m ²
15 Datensätze zu Gebäuden mit landwirtschaftlicher Nutzung:	2.101 m ²
20 Datensätze zu Gewächshäuser/Treibhäuser:	3.905 m ²

Nach Aussortieren der reinen Wohngebäude und der als nicht relevant eingestufteten Datensätze bzw. Datentypen gemäß Tabelle 15 (zum Beispiel Garagen und Schuppen) verblieben **1.981** Datensätze, die als Original-GIS-Daten im Zusammenhang mit beheizten Nichtwohngebäuden bezeichnet werden konnten, aber noch nicht mit der Örtlichkeit abgeglichen waren. Die Anzahl von 1.981 Datensätzen entspricht dabei nicht 1.981 Gebäuden, da sich bei Nichtwohngebäuden die Liegenschaften oftmals aus ver-

schiedenen Gebäudeteilen oder Anbauten bzw. Datensätzen zusammensetzen (vgl. 2.7.2).

Nach dem Aggregieren der relevanten Original-GIS-Daten verbleiben in der Attributstabelle die Gebäudebezeichnungen, die beheizte Nichtwohngebäude beinhalten können. Sie sind in Tabelle 16 zusammengestellt. An Hand dieser Tabelle und der örtlichen Begehungen wurden die GIS-Daten weiter aggregiert und so die Datensätze zu den beheizten Nichtwohngebäuden ermittelt. Die Bezeichnungen »Kühlhaus« und »Nach Quellenlage nicht zu spezifizieren« wurden für die örtliche Begehung als relevant eingestuft, da sich hieraus auch beheizte Nichtwohngebäude ergeben können. Die in Tabelle 16 enthaltene Datentypbezeichnung »Nach Quellenlage nicht zu spezifizieren« fasst Gebäude zusammen, denen die Vermessungs- bzw. Liegenschaftsämter keine Nutzung zuordnen konnten. In Vohwinkel traf dies auf 122 Datensätze mit 13.553 Quadratmeter Grundfläche zu.

Aus den relevanten Datensätzen gemäß den Bezeichnungen in Tabelle 16 ergibt sich die Original-GIS-Bruttogrundfläche zum Stadtbezirk Vohwinkel. Diese Datensätze sind im Weiteren mit Hilfe der örtlichen Begehung und der Luftbilder den Nichtwohngebäudekategorien (vgl. 2.3) und den Baualtersklassen (vgl. 2.4) zuzuordnen.

Stellte sich vor Ort heraus, dass ein Gebäude gemäß den Bezeichnungen in Tabelle 16 kein beheiztes Nichtwohngebäude ist, wird der dazugehörige Datensatz gelöscht. Falls vor Ort beheizte Nichtwohngebäude festgestellt werden, deren Datensatz die Bezeichnung gemäß Tabelle 15 enthält, wird der zunächst aussortierte Datensatz beibehalten und ebenso der entsprechenden Kategorie und Baualtersklasse zugeordnet. Diese Vorgehensweise kann bei GIS-Daten zu anderen urbanen Flächen ebenso angewendet werden. Die Anwendung ist möglich, auch wenn die Nutzungsbezeichnungen in der Attributstabelle von den Bezeichnungen in der Tabelle 15 und 16 abweichen sollten. Die allgemeine Vorgehensweise zum Aggregieren der Daten zu beheizten Nichtwohngebäuden und das Zuordnen zu Gebäudekategorien, Baualtersklassen und Heizkennwerten sind entscheidend.

Die zuvor genannten 1.981 Original-GIS-Datensätze zu möglichen beheizten Nichtwohngebäuden enthalten auch Gebäudebezeichnungen, die bei der Gebäudekategorisierung als Stadthäuser zusammengefasst werden (vgl. 2.3). Die Bezeichnungen gemäß Original-Attributstabelle, die auf Stadthäuser hinweisen, sind ebenso in Tabelle 16 zusammengestellt. Bei Stadthäusern wird nur das Erdgeschoss als Nichtwohnflächennutzung berücksichtigt (vgl. 2.3). Aus den Datentypen gemäß Tabelle 16 resultiert die Original-GIS-Bruttogrundfläche (BGF_{GIS}), die sich aus den Geschosshöhen und Grundflächenzahlen vor dem örtlichen Abgleich berechnen lässt und sich aus den oben genannten 1.981 Datensätzen ergeben. Im Weiteren ist BGF_{GIS} für den vereinfachten Modellansatz von Bedeutung (vgl. 2.8.2).

Tabelle 16: Relevante GIS-Datensätze am Beispiel von Vohwinkel

Relevante Datentypen für BGF_{GIS}:	
Allgemeinbildende Schule	Jugendfreizeitheim
Berufsbildende Schule	Justizvollzugsanstalt
Bürogebäude	Kantine
Fabrik	Kapelle
Feuerwehr, Polizei, Fernmelde	Kaufhaus, Handel
Freizeit- und Vergnügungsstätte	Kinderkrippe, Kindergarten,
Gaststätte, Gebäude für Bewirtung	Kino
Gebäude für Grundstoffgewinnung	Kirche
Gebäude für Bildung und Forschung	Kreditinstitut
Gebäude für Erholungszwecke	Krematorium
Gebäude für Gewerbe und Industrie	Kühlhaus
Gebäude für Handel und Dienstleistungen	Laden
Gebäude für öffentliche Zwecke	Lagerhalle, Lagerschuppen, Lagerhaus
Gebäude für öffentliche Zwecke mit Wohnen	Messehalle
Gebäude für Vorratshaltung	Nach Quellenlage nicht zu spezifizieren
Gebäude für religiöse Zwecke	Seniorenheim
Gebäude für soziale Zwecke	Speditionsgebäude, Spielothek
Gebäude für Sportzwecke	Studenten-Schülerwohnheim
Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe	Sport-, Turnhalle
Gebäude zum Sportplatz	Tankstelle
Gebäude zur Freizeitgestaltung	Verwaltungsgebäude
Gemeindehaus	Werkstatt
Geschäftsgebäude: Wohngebäude mit Gemeinbedarf, Wohngebäude mit Gewerbe und Industrie, Wohngebäude mit Handel und Dienstleistungen (=Stadthäuser)	
Hallenbad	Zollamt

Quelle: Eigene GIS-Daten-Analyse auf Basis der amtlichen Geobasisdaten der Stadt Wuppertal, Ressort Vermessung, Katasteramt und Geodaten (VG-Nr. 12-2012)

Die weitere Bearbeitung der Attributstabelle fand in einer Tabellenkalkulation (Excel) statt. Die zur Verfügung gestellte Attributstabelle beinhaltete über 22 Spalten inklusive der Nummerierung des Datensatzes. Sie wurde auf die notwendigen Spalten reduziert. Dadurch erfolgt gleichzeitig eine Anonymisierung der Daten auf Grund des gelöschten Bezuges zur Anschrift. Die Nachvollziehbarkeit der Daten zur Gebäudedarstellung in der grafischen GIS-Oberfläche ist jedoch jederzeit über die beibehaltene Nummerierung des jeweiligen Datensatzes möglich. Etliche Spalten waren nicht ausgefüllt und für die beabsichtigte Analyse nicht von Bedeutung und konnten daher ebenso gelöscht werden. Die Excel-Tabelle wurde gemäß den Ergebnissen aus der örtlichen Begehung

sowie Luftbildanalyse um zwei Spalten mit zugewiesener Nichtwohngebäudekategorie (vgl. 2.3) und Baualtersklasse (vgl. 2.4) erweitert. Zusätzlich wurde eine Spalte eingefügt, die aus den Geschosshöhen gemäß örtlichem Abgleich und den Grundflächenzahlen die Bruttogrundfläche je Datensatz berechnet.

Von den benannten 1.981 Datensätzen, die vor Ort auf Plausibilität hinsichtlich Nutzung und Geschosse zu überprüfen waren, fehlten zu 261 Datensätzen Angaben zur Geschosshöhe und zusätzlich zu 3 weiteren Datensätzen die Grundflächenangaben. Demnach kann zunächst für diese Datensätze keine Bruttogrundfläche berechnet werden. Dieser Umstand bestätigt, dass das Übernehmen von Original-GIS-Daten bei einer detaillierten Betrachtung jedenfalls durch Überprüfungen vor Ort und mit Hilfe von Luftbildern begleitet sein muss und die Daten zu ergänzen sind. Wird die Geschosshöhe bei den 261 unvollständigen Datensätzen mit 1 bzw. 1,5 gemäß dem arithmetischen Mittelwert, der sich aus den übrigen Datensätzen ergibt, angenommen, liegt der Fehler in Vohwinkel zwischen 50.633 Quadratmeter und 75.950 Quadratmeter BGF. Bezogen auf die summierte BGF zu den 1.981 Datensätzen von 1.162.499 Quadratmeter, bei denen die BGF-Fläche aus den unvollständigen 264 Datensätzen fehlen, kann der Fehler zur Bruttogrundfläche bei den Original-GIS-Daten (BGF_{GIS}) alleine durch diesen Umstand auf etwa vier Prozent bis 6,5 Prozent abgeschätzt werden. Auf Grund des örtlichen Abgleichs bzw. der Auswertung der internetbasierten Luftbilder und der perspektivischen Bilddarstellungen¹⁵⁵ konnten die Geschosshöhen bei den relevanten Datensätzen in der Excel-Tabellenkalkulation nachgetragen werden.





Nach örtlichen Begehungen und Luftbilddarstellungen ergaben sich aus den 1.981 Datensätzen letztlich **1.057** Datensätze, die den beheizten Nichtwohngebäuden bzw. Nichtwohngebäudeteilen inklusive Stadthäuser mit Nichtwohnflächennutzungen im Erdgeschoss zugeordnet werden konnten. Bei der Zuordnung erfolgten neben der Korrektur der Geschosshöhen gleichzeitig die Zuweisung einer Gebäudekategorie sowie die Zuweisung einer Baualtersklasse und damit eine Verknüpfung zum jeweiligen Heizkennwert gemäß Top-down- oder Bottom-up-Ansatz (vgl. 2.6). Die Zuweisungen können generell bei vorliegender Ortskenntnis treffsicherer ablaufen und die Genauigkeit verbessern. Insgesamt wurden bei 237 Datensätzen die tatsächliche Nutzung abweichend von der jeweiligen Original-Datensatzbezeichnung angepasst.

Die im März bis Juli 2012 durchgeführte Vor-Ort-Begehung (Ansicht vom öffentlichen Straßenraum) wurde durch Luftbilddarstellungen im Zeitraum April bis August 2012 ergänzt. In Tabelle 17 ist beispielhaft die Zuordnung von Nichtwohngebäuden zu Gebäudekategorien und Baualtersklassen abgebildet. Der unter 2.7.1 bezifferte Aufwand für die Analyse der GIS-Daten inklusiv örtlichen Abgleich ist zur Verbesserung der Datengrundlage gerechtfertigt, da ohne örtlichen Abgleich und Internet-

¹⁵⁵ Google-Maps und bing-KARTEN: Luftbildbetrachtungen im April 2012 bis August 2012, teilweise mit Nutzung der Vogelperspektive

Luftbildauswertungen eine zu große Abweichung entsteht. Für Vohwinkel kann diese auf mindestens 22 Prozent (siehe Angaben nach Tabelle 18) beziffert werden, wobei Fehlerquellen, wie falsche Zuordnungen von Kategorien und Baualtersklassen auch beim örtlichen Abgleich grundsätzlich möglich sind.

Tabelle 17: Beispiele ausgewählter Gebäudekategorien und Baualtersklassen in Vohwinkel

Nr.	Kategorie	Baualtersklasse A bis 1951	Baualtersklasse B 1952 bis 1977
1.1	Schulen		
Nr.	Kategorie	Baualtersklasse C 1978 bis 1994	Baualtersklasse D 1995 bis 2010
1.1	Schulen		

Quelle: Eigene Fotos

Die beheizten Nichtwohngebäude konnten gemäß eigenen Begehungen in **155** Datensätze zu Non-Profit-Organisationen und **902** Datensätze zu Profit-Organisationen differenziert werden, wodurch gleichzeitig öffentliche und privatwirtschaftliche Nichtwohngebäude getrennt bewertet werden konnten. Die Vorgehensweise bei der Analyse und Differenzierung der Daten ist grafisch und tabellarisch in Anhang 1.9 dargestellt. Die Abweichungen zwischen den relevanten Original-GIS-Daten (BGF_{GIS} , Tabelle 16) und den bereinigten GIS-Daten ($BGF_{NP,P}$) nach örtlicher Überprüfung in Bezug auf beheizte Nichtwohngebäude sind ausschnittsweise für einige Datentypen gemäß Attributstabelle der GIS-Daten in Tabelle 18 aufgeführt. Es sind die Bruttogrundflächen vor und nach der Überprüfung und der jeweilige Abweichungsfaktor erkennbar. Zum Beispiel ist bei »Gebäuden für Grundstoffgewinnung« die Abweichung sehr groß, da hier der Anteil der beheizten Nichtwohngebäude klein ist. Andererseits ist beim Attributstyp »Allgemeinbildende Schule« eine hohe Genauigkeit bei den Original-GIS-Daten in Vohwinkel zu erkennen, da nahezu alle Gebäudeteile bzw. Datensätze gleichzeitig auch

beheizte Nichtwohngebäude bzw. beheizte Nichtwohngebäudeteile darstellen. Gemäß den zusammengestellten Abweichungen in Tabelle 18 wird als Konsequenz nochmals deutlich, dass zunächst eine detaillierte GIS-Daten-Analyse mit Hilfe eines örtlichen Abgleichs erfolgen muss, bevor einerseits eine zuverlässigere Zuordnung zu beheizten Nichtwohngebäuden, Gebäudekategorien und Baualterklassen (Heizkennwerten) erfolgen kann und andererseits aus den resultierenden, detaillierten Berechnungsergebnissen ein vereinfachter Modellansatz zum Stadtgebiet mit geringerem Bearbeitungsaufwand auf Basis der nicht überprüften Original-GIS-Daten (BGF_{GIS}) formuliert wird.

Tabelle 18: Abweichungen GIS-Daten nach Überprüfungen in Vohwinkel

Relevante Datentypen in Original-GIS-Datensatz:	BGF_{GIS} in m^2 (Original)	$BGF_{NP,P}$ in m^2 (überprüft)	$BGF_{NP,P}/$ BGF_{GIS}
Allgemeinbildende Schule	66.991	66.028	0,986
Berufsbildende Schule	1.603	1.603	1,000
Bürogebäude	57.179	63.011	1,102
Fabrik	338.797	315.121	0,930
Freizeit- und Vergnügungsstätte	901	850	0,943
Gebäude für Grundstoffgewinnung	13.748	2.399	0,174
Gebäude für Gewerbe und Industrie	13.380	10.481	0,783
Gebäude für Handel und Dienstleistungen	5.763	6.633	1,151
Gebäude für öffentliche Zwecke	1.991	1.671	0,839
Gebäude für Vorratshaltung	36.239	27.724	0,765
Geschäftsgebäude	6.489	5.985	0,922
Hallenbad	1.465	1.465	1,000
Justizvollzugsanstalt	42.999	43.514	1,012
Kantine	1.167	1.100	0,943
Kaufhaus	21.421	17.310	0,808
Kinderkrippe, Kindergarten, Kindertagesstätte	9.622	10.333	1,074
Speditionsgebäude	21.420	12.383	0,578
"Stadthäuser"	243.859	28.526	0,117
Studenten-Schülerwohnheim	4.056	4.056	1,000
Sport-, Turnhalle	20.578	15.102	0,734
Werkstatt	56.498	49.893	0,883
Zollamt	1.164	1.164	1,000

Quelle: Eigene GIS-Daten-Analyse auf Basis der amtlichen Geobasisdaten der Stadt Wuppertal, Ressort Vermessung, Katasteramt und Geodaten (VG-Nr. 12-2012)

Die in Tabelle 18 dargestellten einzelnen Abweichungen für Vohwinkel sind zahlenmäßig nicht direkt auf andere Städte übertragbar. Bis für andere Städte Analysen und vereinfachte Ansätze erstellt sind, kann die GIS-Daten-Analyse zu Vohwinkel mangels sonstiger Analysen als Grundlage zu einer ersten Abschätzung für andere Städte mit

Hilfe des vereinfachten Ansatzes herangezogen werden (vgl. 2.8.2). Folgende summierten Ergebnisse bzw. Abweichungen wurden für Wuppertal-Vohwinkel festgestellt: **BGF_{GIS}** (Bruttogrundfläche beheizter Nichtwohngebäude aus Original-GIS-Daten):

1.162.499 Quadratmeter

BGF_{NP,P} (Bruttogrundfläche beheizter Nichtwohngebäude nach Überprüfung der Original-GIS-Daten): **906.843 Quadratmeter**

Hieraus ergibt sich ein Verhältnis von **0,78** bzw. eine **22 prozentige** Reduzierung der Bruttogrundfläche nach örtlicher Überprüfung, bezogen auf die als beheizte Nichtwohngebäude in Frage kommenden Bruttogrundflächen BGF_{GIS} gemäß den Original-GIS-Daten.

Zusätzlich zu den GIS-Daten stellte die Stadt Wuppertal dankenswerter Weise eine Tabelle zu Nichtwohngebäuden¹⁵⁶ zum gesamten Stadtgebiet zur Verfügung. Hierin sind zu einer unabhängig von den GIS-Daten aufgeführten Nummerierung öffentliche oder gewerbliche Nichtwohngebäude-Datensätze enthalten. Je Datensatz werden die Anschrift, das Baujahr, die Nutzfläche, die Grundfläche, die Wohnfläche und die Anzahl der Geschosse aufgeführt. Auch in dieser Datensammlung fehlen etliche Angaben zu Flächen- und Geschoszzahlen. Insgesamt enthielt die Tabelle 6.107 Datensätzen zum Stadtgebiet von Wuppertal. Aus dieser Datenmenge die beheizten Nichtwohngebäude zum Stadtbezirk Vohwinkel zu filtern, war als Ergänzung zu den GIS-Daten nicht möglich, da die Datensätze nicht über eine einheitliche Nummerierung den GIS-Daten zugewiesen werden konnten und das Eingrenzen des Stadtbezirks Vohwinkel über Straßennamen sich als zu aufwändig herausstellte. Des Weiteren musste die Einstufung in eine Gebäudekategorie und energetischen Baualtersklasse jedenfalls durch örtliche Überprüfung oder Luftbildkarten erfolgen. Diese Daten werden daher zunächst nicht weiter herangezogen. Stattdessen wird ausschließlich mit den analysierten GIS-Daten weiter gearbeitet. Ein Vergleich der eigenen Modellergebnisse mit der städtischen Liste wird dennoch unter 3.2 diskutiert.

Die ebenfalls von der Stadt Wuppertal zur Verfügung gestellten historischen Luftbildkarten¹⁵⁷ der Jahre 1975 und 1999 waren bei der Einstufung in Baualtersklassen sehr hilfreich. Weiterhin stellt das Gebäudemanagement der Stadt Wuppertal Verbrauchs-Energieausweise zu etlichen öffentlichen Gebäuden¹⁵⁸ und zusätzliche Projektinformationen¹⁵⁹ im Internet zur Verfügung. Diese Informationen konnten zum Ab-

¹⁵⁶ Vgl. [Bre2008]: Brendel Cordula, Stadt Wuppertal, Daten von 2008 per E-Mail am 04.05.2012 erhalten

¹⁵⁷ Stadt Wuppertal, Ressort Vermessung, Katasteramt und Geodaten, Luftbildkarten, Kartenübergabe im April.2012

¹⁵⁸ Vgl. [GMW2012a]: Gebäudemanagement der Stadt Wuppertal, 2012

¹⁵⁹ Vgl. [GMW2012b]: Gebäudemanagement der Stadt Wuppertal, 2012

gleichen der Baualtersklassen, auch unter Berücksichtigung von bereits durchgeführten Sanierungsmaßnahmen, herangezogen werden.

Die in Excel importierte und angepasste Attributstabelle wurde schließlich nach Gebäudekategorien und Baualtersklassen gruppiert und sortiert sowie Verknüpfungen zu den Heizkennwerten hergestellt. Je Gebäudekategorie und Baualtersklasse erfolgt eine Summierung der Bruttogrundflächen. Die Sortierung der Daten wurde getrennt für Profit- und Non-Profit-Organisationen durchgeführt. Zur grafischen Unterscheidung der beheizten Nichtwohngebäude, der Wohngebäude und der unbeheizten Nichtwohngebäude werden in der grafischen Oberfläche der GIS-Software die drei Datentypen unterschieden. Die aggregierten Daten gemäß eigener Analyse sind als Ausschnitt in Abbildung 6 erkennbar. Die Datensätze zu beheizten Nichtwohngebäuden sind in hellgrau, zu Wohngebäuden in dunkelgrau und zu unbeheizten Nichtwohngebäuden (zum Beispiel Überdachungen, Garagen) mit einer gepunkteten Füllung abgebildet. Eine vollständige Übersicht zum Untersuchungsraum Wuppertal-Vohwinkel ist grafisch und tabellarisch in Anhang 1.9 beigefügt. In den Tabellen des Anhanges 1.9 sind auch die nach durchgeführter Vor-Ort-Prüfung und mit Hilfe von Luftbildern aggregierten Datensätze zu den beheizten Nichtwohngebäuden enthalten. Je Datensatz können die Geschosszahl, die Grundfläche, die Gebäudekategorie, die Baualtersklasse und die berechnete Bruttogrundfläche entnommen werden. Zusätzlich sind je Gebäudekategorie die Summen zur Bruttogrundfläche je Baualtersklassen und die jeweilige Gesamtsumme erkennbar.

Abbildung 6: Ausschnitt der aggregierten GIS-Daten, Wuppertal-Vohwinkel



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis amtlicher Geobasisdaten der Stadt Wuppertal, Ressort Vermessung, Katasteramt und Geodaten, VG-Nr. 12-2012, Datenübergabe am 10.04.2012

2.7.4 Fehlerabschätzung zur örtlichen GIS-Daten-Überprüfung

Mit Hilfe der im Nachgang durchgeführten Akteursbefragung in Vohwinkel zu kirchlichen Einrichtungen und Bürogebäuden (vgl. 5) konnte gleichzeitig ein Teilabgleich zu den zuvor analysierten GIS-Daten erfolgen. Dazu wurden die Baujahre, die Nutzung und die bereits durchgeführten wärmeenergetischen Maßnahmen zur Einordnung in eine Baualtersklasse abgefragt. Bei den 6 befragten Stellen zu insgesamt 15 kirchlichen Einrichtungen (zum Beispiel Gemeindezentren und Kindergärten) konnte folgendes Ergebnis zusammenfassend festgestellt werden:

- Bei elf Objekten war die Einstufung auf Grund des Baualters und bisheriger Sanierungsmaßnahmen absolut korrekt.
- Ein Objekt blieb infolge verdeckter Sicht (Hinterhofbebauung) in der GIS-Daten-Analyse und somit in der Ergebnisdarstellung unberücksichtigt.
- Drei Objekte wurden älter (1xB statt D wegen schlechter Sicht vom öffentlichen Straßenraum aus und 2xB statt C wegen Unkenntnissen zu bereits erfolgten Sanierungen) eingeschätzt und bei einem Objekt die Nutzung statt in Kindergarten in Schule eingruppiert.

Zu den privaten Büroflächen konnten 9 befragte Stellen mit insgesamt 16 Gebäudeeinheiten herangezogen werden:

- Bei einem Gebäude wurde die Nutzung während der örtlichen GIS-Daten-Aufbereitung falsch deklariert (Büro statt Restaurant infolge einseitig schlechter Sichtverbindung).
- Bei vier von 16 Gebäuden bewegte sich der energetische Zustand im Übergangsbereich zwischen zwei Baualtersklassen, was keine relevante Abweichung darstellt.

Der prozentuale Leerstand wurde ebenso bei der Befragung angesprochen (vgl. 5.2, Frage 39):

- Bei den kirchlichen Einrichtungen wird in Vohwinkel ein Leerstand von nur etwa einem Prozent festgestellt, was damit zu begründen ist, dass in jüngerer Vergangenheit bereits nicht mehr benötigte Flächen abgegeben wurden.
- Bei den Büroflächen ergibt sich ein Leerstand von fünf Prozent, der von den sonstigen Einschätzungen mit acht Prozent bis zehn Prozent abweicht (vgl. 2.7.2).

Daher wird im Rahmen der Sensitivitätsanalyse auch der Parameter »Leerstand« variiert und die Ergebnisbandbreite bewertet (vgl. 3.6).

Aus diesem Datenabgleich wird eine mögliche Fehlerabweichung zur Endenergie und zu CO₂-Emissionen von maximal zehn Prozent abgeschätzt, zumal die energetischen Wirkungen zu den Sanierungsarbeiten nicht weiter bekannt sind. Da einerseits 20 Prozent der Gebäude etwas älter bewertet und rund sechs Prozent der Gebäude, bezo-

gen auf die Anzahl der Gebäudeeinheiten, unberücksichtigt blieben, ist bezogen auf den Heizenergieverbrauch von einer anteiligen Neutralisierung auszugehen. Erfolgt eine Bewertung mit Bezug zur Bruttogrundfläche, ist ein Fehler von etwa sechs Prozent festzustellen.

Bei den befragten 9 Stellen zu privaten Bürogebäuden mit insgesamt 16 (vgl. 5.2.3) Gebäudeeinheiten konnte festgestellt werden, dass die Einstufungen auf Grund der eigenen örtlichen Begehungen und Luftbildauswertungen nahezu korrekt waren. Lediglich bei einem Gebäude wurde die Nutzung falsch deklariert, und bei vier Gebäuden bewegte sich die energetische Baualtersklasse im Grenzbereich zwischen zwei Baualtersklassen, was keinen relevanten Fehler darstellt. Damit kann der Fehlerbereich zu den ausgewählten Gebäudeeinheiten auf unter fünf Prozent abgeschätzt werden.

Insgesamt wird die Fehlerabweichung bei der detaillierten GIS-Daten-Aufbereitung mit etwa **fünf Prozent** als plausibel angenommen. Ohne GIS-Daten-Analyse mit örtlichem Abgleich und Einführung des Korrekturfaktors am Beispiel von Vohwinkel kann die Fehlerquote gemäß Datenanalyse in Kapitel 2.7.3 im Bereich der Bruttogrundflächen auf mindestens **22 Prozent** abgeschätzt werden, wobei auch hier weitere Fehler infolge von falschen Zuordnungen zu Gebäudekategorien und Baualtersklassen hinzukommen.

2.8 Rechnerischer Modellansatz

Das Modell unterscheidet sich gemäß Zielsetzung (vgl. 2.1) in einen detaillierten Ansatz für einen Teilbereich einer städtischen Fläche (hier: Vohwinkel, vgl. 3.2), der auf Basis von überprüften GIS-Daten mit Hilfe von örtlichen Begehungen, Luftbildern und den daraus resultierenden Zuweisungen je Datensatz zur Gebäudekategorie, Baualtersklasse und zum Heizkennwert den Endenergie- und Primärenergieverbrauch bzw. -bedarf sowie die CO₂-Emissionen berechnet. Zum anderen wird aus dem detaillierten Ansatz ein vereinfachtes Modell mit deutlich reduziertem Aufwand bei der Aufbereitung der Datengrundlage und zum Zweck der Schnellanalyse zum gesamten städtischen Gebiet (hier: Wuppertal) auf Basis von GIS-Daten abgeleitet (vgl. 3.3).

Die Ergebnisse aus dem detaillierten Ansatz bestimmen dabei die Modellparameter des vereinfachten Ansatzes. Der vereinfachte Ansatz dient der modellhaften Abschätzung zu einem gesamten städtischen Gebiet unter Anwendung der aggregierten Original-GIS-Daten zu den beheizten Nichtwohngebäuden. Dabei kann die Berechnung unter Variationen zum Energiemix und zum Leerstand erfolgen. Der detaillierte (vgl. 2.8.1) und vereinfachte Modellansatz (vgl. 2.8.2) wird jeweils in einen Top-down- und Bottom-up-Ansatz unterschieden, da zum Vergleich verbrauchsorientierte und bedarfsorientierte Heizkennwerte angesetzt werden können.

Zunächst werden aus den GIS-Daten die erforderlichen Bruttogrundflächen mit Hilfe der Gebäudegrundfläche (GF in Quadratmeter) multipliziert mit der Geschosszahl

(AN) berechnet. Unter Berücksichtigung von weiteren Modellparametern, wie einem Leerstandsfaktor und einem Energieträgerfaktor zu den eingesetzten Energieträgern mit ihren Primärenergie- und CO₂-Emissionsfaktoren sowie einem Faktor zur standortspezifischen Klimaanpassung wird die Bestandssituation berechnet.

Die Berechnungen zum Endenergieverbrauch bzw. -bedarf, zum Primärenergieverbrauch bzw. -bedarf und zu den CO₂-Emissionen von beheizten Nichtwohngebäuden erfolgen in einem erstellten Excel-Tool. Bei zukünftigen Beständen ist die Endenergieberechnung auf den steigenden Anteil erneuerbarer Energien und die dadurch bedingte Endenergiereduzierung abzustimmen und das Modell ist entsprechend anzupassen. Für 2010 ergibt sich der Modellansatz wie folgt.

2.8.1 Detaillierter Modellansatz zu einem städtischen Teilgebiet

In zwei Vorveröffentlichungen wurde die Vorgehensweise zum detaillierten und vereinfachten Top-down-Modell¹⁶⁰ -bzw. Bottom-up-Modell¹⁶¹ bereits in Kurzform für den Bilanzraum zu einem Stadtteil dargestellt. Hier wird nachfolgend die vollständige Beschreibung zum Modell und den Faktoren zum Leerstand (LE), zum Energiemix (FE) und zur Klimaanpassung (Kf) aufgeführt. Nach den Erläuterungen zu den Faktoren werden im Anschluss die Berechnungsansätze zur Endenergie, Primärenergie und zu den CO₂-Emissionen mit Hilfe der GIS-Datensätze dargestellt.

Beschreibung des Leerstandsfaktors LE:

Unabhängig davon, ob eine urbane Fläche wie Wuppertal als schrumpfend (vgl. 2.7.2) gilt, ist der Leerstand angemessen zu berücksichtigen. Für Vohwinkel kann dieser beispielsweise mit 10 Prozent angenommen werden (vgl. 2.7.2). Der einheitenlose Leerstandsfaktor LE berücksichtigt, dass der Endenergieverbrauch bzw. -bedarf von Leerstandsflächen nicht gleich null ist.¹⁶² Ein Vorschlag zur rechnerischen Behandlung von Leerstandsflächen wurde in einer »Benchmark-Studie« aufbereitet.¹⁶³ Diese Berechnungsweise wird nachfolgend für den flächenspezifischen Endenergieverbrauch bzw. -bedarf (End_{sp} in Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr) aufgezeigt. Die Berechnung berücksichtigt die Endenergie $End_{NP,P}$ in Kilowattstunden pro Jahr, die Leerstandsfläche ($Fläche_{leer}$ in Quadratmeter), die Gesamtfläche ($Fläche_{gesamt}$ in Quadratmeter) und die Monate (M) des Leerstands in der Heizperiode. Die Schreibweise lautet in Anlehnung an die genannte Studie wie folgt:

¹⁶⁰ Vgl. [Ham2013a], S. 50-51: Hamann Achim, Helmus Manfred, Reutter Oscar, 2013 und [Hel2013], S. 215, 224-225

¹⁶¹ Vgl. [Hel2013], S. 215-220 und S. 224-225: Helmus Manfred, Reutter Oscar, Hamann Achim, 2013

¹⁶² Vgl. [BBSR2009], S. 11: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.), 2009

¹⁶³ Vgl. [ARGE2007], S. 98: ARGE-Benchmark (Hrsg.), Forschungsprogramm: Zukunft Bau, 2007

$$End_{sp} = \frac{End_{NP,P}}{Fläche_{gesamt} - 0,35 \cdot Fläche_{leer} \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right)}$$

Zur Anpassung der Betrachtungen an die Bruttogrundfläche werden die Flächenansätze durch die Bruttogrundflächen $BGF_{NP,P}$ und BGF_{leer} (in Quadratmeter) für die Non-Profit- und Profit-Organisationen ersetzt, wobei die Leerstandsfläche BGF_{leer} durch Einführung einer mittleren prozentualen Leerstandsquote Le (in Prozent) zum betrachteten Gebiet ausgedrückt wird. Demnach ergibt sich:

$$BGF_{leer} = BGF_{NP,P} \cdot \left(\frac{Le}{100} \right)$$

$$End_{sp} = \frac{End_{NP,P}}{BGF_{NP,P} - 0,35 \cdot BGF_{NP,P} \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right)}$$

Wird die Gleichung umgestellt und die betrachtete Fläche $BGF_{NP,P} = 1$ gesetzt, ergibt sich der Abminderungsfaktor LE in Abhängigkeit der prozentualen Leerstandsquote Le und der Leerstandsmonate in der Heizperiode M wie folgt:

$$\frac{End_{NP,P}}{End_{sp}} = BGF_{NP,P} - 0,35 \cdot BGF_{NP,P} \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right)$$

→

$$LE = 1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right)$$

Damit beträgt der Abminderungsfaktor bei einer mittleren Leerstandsquote von zehn Prozent (vgl. 2.7.2, Beispiel Vohwinkel), 0,93, was einer Endenergieerduzierung durch die Leerstandsflächen von sieben Prozent entspricht.

Beschreibung des Energieträgerfaktors FE:

Die Berücksichtigung von unterschiedlichen Energieträgern, wie zum Beispiel Heizöl, Erdgas, Flüssiggas, Strom, Fernwärme, Hackschnitzel und Solarstrahlung, innerhalb eines Energiemixes zur Ermittlung der CO₂-Emissionen und des Primärenergieverbrauchs bzw. -bedarfs erfolgt mit dem Energieträgerfaktor FE (in Tonnen pro Kilowattstunden). Hierin werden die CO₂-Emissionen mit dem Faktor 1.000 von Kilogramm pro Kilowattstunden auf Tonnen pro Kilowattstunden umgerechnet. Der Energieträgerfaktor ergibt sich durch Summierung der Produkte (p = Zähler) aus den prozentualen Anteilen der jeweiligen Energieträger (E_{Qp} in Prozent), dem dazugehörigen

direkten CO₂-Emissionsfaktor (CO₂F in Kilogramm pro Kilowattstunden) sowie dem jeweiligen einheitenlosen Primärenergiefaktor (PF_p, nicht erneuerbare Anteile), wodurch die Vorketten berücksichtigt werden:

$$FE = \sum_1^p \left(\frac{EQ_p}{100} \right) \cdot \left(\frac{CO_2 F_p}{1000} \right) \cdot PF_p$$

Zur Berechnung der Primärenergie (QP in Kilowattstunden pro Jahr) wird der einheitenlose Energieträgerfaktor (FE_{QP}) eingeführt, der nur den Primärenergiefaktor je Energieträger enthält:

$$FE_{QP} = \sum_1^p \frac{EQ_p}{100} \cdot PF_p$$

Beschreibung des Klimafaktors Kf:

Die rechnerische Klimaanpassung durch den einheitenlosen Klimafaktor Kf berücksichtigt die klimatischen Verhältnisse in der betrachteten Region. Die Anpassung an die regionalen Verhältnisse kann im Vergleich zum langjährigen Mittel oder zu einem Zwölf-Monatszeitraum zum Beispiel für das Jahr 2010 oder 2011 erfolgen. Verbrauchsorientierte Heizkennwerte, die in der Literatur, wie beispielsweise in der VDI 3807 Blatt 2 angegeben werden, sind bereits mit Hilfe des langjährigen Mittels der Heizgradtage von Würzburg = 2.524 Kelvintage pro Jahr in klimabereinigte Kennwerte umgerechnet.¹⁶⁴

Die Heizkennwerte aus den Bedarfsberechnungen nach DIN V 18599 sind ebenso klimabereinigte Kennwerte. Damit Verbräuche von Gebäuden bei unterschiedlichen Standorten vergleichbar sind, werden diese nach VDI 3807 Blatt 1 mit Hilfe der Gradtagzahlen (Gt), bezogen auf den Referenzstandort Würzburg¹⁶⁵ (seit 01.05.2014 Potsdam), umgerechnet, da die Jahresgradtage in Würzburg in etwa dem bundesdeutschen Mittelwert entsprechen. Das langjährige Mittel der Gradtagzahlen für Würzburg beträgt 3.883 Kelvintage pro Jahr.¹⁶⁶

Ein Vergleich, beispielsweise mit Augsburg (4.200 Kelvintage pro Jahr¹⁶⁷) oder Worms (3.430 Kelvintage pro Jahr¹⁶⁸), verdeutlicht die unterschiedlichen, langjährigen Mittelwerte der Gradtagzahlen und somit auch die im Verhältnis regional abhängigen Mehr- oder Minderheizenergieverbräuche.

¹⁶⁴ Vgl. [VDI3807-98], S. 7: VDI-Richtlinie, Ausgabe 1998

(nach Einführung der EnEV 2014 ist Referenzstandort = Potsdam)

¹⁶⁵ Vgl. [VDI3807-07], S. 14-15 : VDI-Richtlinie, Ausgabe 2007 und [ages2010], S. 16 : Forschungsbericht der ages GmbH (Hrsg.), 2010

¹⁶⁶ Vgl. [VDI3807-07], S. 21: VDI-Richtlinie, Ausgabe 2007

¹⁶⁷ a.a.O., S. 21

¹⁶⁸ a.a.O., S. 24

Für Wuppertal beträgt das langjährige Mittel 3.851 Kelvintage pro Jahr¹⁶⁹, was nur rund 0,8 Prozent Abweichung vom bundesdeutschen Mittelwert entspricht. Sollen spezifische Werte zur Heizperiode 2010 oder 2011 durch Umrechnung der langjährigen klimabereinigten Verhältnisse berechnet werden, ist beim Klimafaktor die Gradtagzahl zu 2010 bzw. 2011 zu berücksichtigen.

Diese können einem Excel-Tool vom Institut Wohnen und Umwelt entnommen werden. Demnach beträgt die Gradtagzahl für das Jahr 2010 3.668 Kelvintage pro Jahr¹⁷⁰ und im Vergleich für 2011 nur 2.867 Kelvintage pro Jahr¹⁷¹, was auf unterschiedlich ausgeprägte Heizperioden hinweist.

Die Gradtagzahl, bezogen auf die mittlere Raumtemperatur ($t_i = 20^\circ\text{C}$), ergibt sich rechnerisch unter Ansatz der Heiztage, bei denen die Tagesmitteltemperatur (t_{am}) unter 15°C liegt:¹⁷²

$$Gt = \sum_1^z (t_i - t_{am})$$

Der Klimafaktor wird in dieser Arbeit durch das Verhältnis »langjähriger Mittelwert Gradtagzahl Würzburg / Gradtagzahl Standort für Bezugszeitraum« ausgedrückt:

$$Kf = \frac{Gt_{\text{Würzburg}}}{Gt} = \frac{3883(Kd/a)}{Gt(Kd/a)}$$

Berechnungen zur Endenergie:

Beim Bestandsmodell für das Jahr 2010 wird vereinfacht die Endenergie (nicht erneuerbarer Anteil) mit der Heizenergie gleichgesetzt, da der Anteil der erneuerbaren Wärmeenergien vernachlässigbar ist. Bei den Szenarien wird die Heizenergie berechnet. Der allgemeine, rechnerische Zusammenhang zum Heiz-/Endenergieverbrauch bzw. -bedarf aus der Raumwärme für sämtliche Non-Profit- und Profit-Organisationen ($\text{End}_{\text{NP,P}}$) in Kilowattstunden pro Jahr, bezogen auf die einzelnen Gebäudekategorien (i), Baualtersklassen (j), ergibt sich aus der Grundfläche (GF) und der Geschosszahl (AN) je GIS-Datensatz und den zugeordneten Heizkennwerten ($\text{HK}_{i,j}$) in Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr.

Unter Berücksichtigung der aggregierten und überprüften GIS-Datensätze stellt sich, zunächst ohne Beachtung von Leerstand und ohne Berücksichtigung von geringfügigen Minderungen durch geringe Anteile erneuerbarer Energien (vgl. Tabelle 19)

¹⁶⁹ Vgl. [VDI3807-07], S. 24: VDI-Richtlinie, Ausgabe 2007

¹⁷⁰ Vgl. [IWU2012] : Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt (Hrsg.), 2012

¹⁷¹ a.a.O.

¹⁷² Vgl. [Rec2011], S. 83: Recknagel Sprenger Schramek (Hrsg.) und [VDI3807-07], S. 14, Ausgabe 2007

für das Jahr 2010, die Endenergie (nicht erneuerbarer Anteil) vereinfacht summiert wie folgt dar:

$$End_{NP,P} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n GF_{i,j} \cdot AN_{i,j} \cdot HK_{i,j} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n BGF_{i,j} \cdot HK_{i,j}$$

Als $HK_{i,j}$ werden beim Top-down-Ansatz die jeweiligen verbrauchsorientierten Heizkennwerte HK_{Vij} in Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr aus der Literaturrecherche und umgerechnet auf die Baualtersklasse nach Tabelle 9 und 10 (vgl. 2.6.1) eingesetzt. Beim Bottom-up-Ansatz werden als $HK_{i,j}$ die bedarfsorientierten Heizkennwerte $Hkb_{i,j}$ in Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr gemäß Tabellen 13 und 14 (vgl. 2.6.2) angewendet.

Wird der Einfluss des Leerstandes und des regionalen Klimas im Bezugszeitraum berücksichtigt, sind die Minderung der Endenergie durch den Leerstandsfaktor LE und auch der Faktor Kf wie folgt zu ergänzen:

$$End_{NP,P} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n BGF_{i,j} \cdot HK_{i,j} \cdot LE \cdot \left(\frac{1}{Kf} \right)$$

$$End_{NP,P} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (GF_{i,j} \cdot AN_{i,j} \cdot HK_{i,j}) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12 - M} \right) \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

Berechnungen zur Primärenergie:

Die summierte Primärenergie ($QP_{NP,P}$) in Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr aus den relevanten GIS-Datensätzen ergibt sich unter Ansatz des Energieträgerfaktors FE_{QP} , des Leerstandsfaktors LE sowie bei Bedarf unter Ansatz des Klimafaktors Kf zur Anpassung auf den Standort und die betrachtete Heizperiode wie folgt, wobei der Einfluss der erneuerbaren Energien durch den Faktor FE_{QP} (FE bei CO_2 -Emissionen) berücksichtigt ist:

$$QP_{NP,P} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (GF_{i,j} \cdot AN_{i,j} \cdot HK_{i,j}) \cdot LE \cdot FE_{QP} \cdot \left(\frac{1}{Kf} \right)$$

$$QP_{NP,P} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (GF_{i,j} \cdot AN_{i,j} \cdot HK_{i,j}) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12 - M} \right) \right] \cdot \left[\sum_1^p \frac{EQp}{100} \cdot PFP \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

Berechnungen zu CO_2 -Emissionen:

Die CO_2 -Emissionen ($CO_{2NP,P}$) in Tonnen pro Jahr, die sämtliche beheizte Nichtwohngebäude infolge der Raumwärme im Untersuchungsraum verursachen, werden durch folgenden Zusammenhang beschrieben:

$$CO_{2NP,P} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (GF_{i,j} \cdot AN_{i,j} \cdot HK_{i,j}) \cdot LE \cdot FE \cdot \left(\frac{1}{Kf} \right)$$

Der **detaillierte Modellansatz** bei einer gebäudespezifischen Detailbetrachtung mit Hilfe von örtlich überprüfter GIS-Datensätze zur Ermittlung der CO₂-Emissionen (in Tonnen pro Jahr) aus der Raumheizung der Nichtwohngebäude in einem städtischen Teilgebiet wird demnach getrennt nach Non-Profit (NP)- und Profit (P)-Organisationen sowie Top-down- bzw. Bottom-up-Ansatz wie folgt definiert:

Top-down-Ansatz (verbrauchsorientierte Heizkennwerte HK_v):

$$CO_{2NP} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (GF_{i,j} \cdot AN_{i,j} \cdot HK_{v_{i,j}}) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[\sum_{p=1}^p \left(\frac{EQp}{100} \right) \cdot \left(\frac{CO_2Fp}{1000} \right) \cdot PFp \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

$$CO_{2P} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (GF_{i,j} \cdot AN_{i,j} \cdot HK_{v_{i,j}}) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[\sum_{p=1}^p \left(\frac{EQp}{100} \right) \cdot \left(\frac{CO_2Fp}{1000} \right) \cdot PFp \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

$$CO_{2NP,P} = CO_{2NP} + CO_{2P}$$

Bottom-up-Ansatz (bedarfsorientierte Heizkennwerte HK_b):

$$CO_{2NPb} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (GF_{i,j} \cdot AN_{i,j} \cdot HK_{b_{i,j}}) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[\sum_{p=1}^p \left(\frac{EQp}{100} \right) \cdot \left(\frac{CO_2Fp}{1000} \right) \cdot PFp \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

$$CO_{2Pb} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (GF_{i,j} \cdot AN_{i,j} \cdot HK_{b_{i,j}}) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[\sum_{p=1}^p \left(\frac{EQp}{100} \right) \cdot \left(\frac{CO_2Fp}{1000} \right) \cdot PFp \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

$$CO_{2NP,Pb} = CO_{2NPb} + CO_{2Pb}$$

Aus der Summenbildung der Ergebnisse zu den Datensätzen der Profit- und Non-Profit-Organisationen ergeben sich prozentuale Verteilungen für die Organisationsformen bzw. für jede Gebäudekategorie. Das prozentuale Verteilungsverhältnis kann beispielsweise in Bezug auf Profit- (x1, x1b) und Non-Profit- (x2, x2b) Organisationen wie folgt berechnet werden:

$$\text{Top-down-Ansatz: } x1 = \frac{CO_{2P}}{CO_{2NP} + CO_{2P}} \cdot 100 \quad x2 = \frac{CO_{2NP}}{CO_{2NP} + CO_{2P}} \cdot 100$$

$$\text{Bottom-up-Ansatz: } x1b = \frac{CO_{2Pb}}{CO_{2NPb} + CO_{2Pb}} \cdot 100 \quad x2b = \frac{CO_{2NPb}}{CO_{2NPb} + CO_{2Pb}} \cdot 100$$

2.8.2 Vereinfachter Ansatz zum gesamten Stadtgebiet auf Basis von GIS-Daten

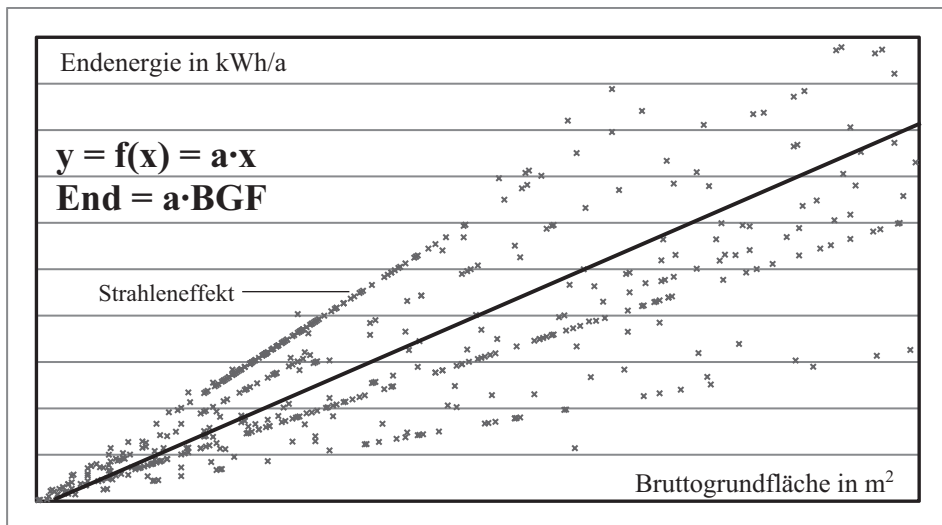
Ziel dieses Ansatzes ist es, ein anwendbares Modell auf Basis der Ergebnisse zu einem Stadtteil (Bilanzraum Stadtteil, hier: Vohwinkel) zur Abschätzung der energetischen Zustände im Sinne einer weniger aufwändigen Schnellanalyse zu den beheizten Nicht-

wohngebäuden zum gesamten Stadtgebiet (Bilanzraum Stadt, hier: Wuppertal) für das Jahr 2010 unter Anwendung der Original-GIS-Daten zum Stadtgebiet, die nicht vor Ort überprüft werden müssen, zur Verfügung zu stellen.

Die zuvor beschriebene Vorgehensweise zum detaillierten Ansatz (vgl. 2.8.1) liefert zu jedem Datensatz zu den Nichtwohngebäuden bzw. Nichtwohngebäudeteilen im ausgewählten Stadtteil, abhängig von der Nichtwohngebäudekategorie und der Baualterklasse, einen Endenergieverbrauch bzw. -bedarf in Kilowattstunden pro Jahr mit Bezug auf die Bruttogrundfläche ($BGF_{N,NP}$ in Quadratmeter).

Dabei wird keine örtliche Klimaanpassung und zunächst auch kein Einfluss von Leerstand berücksichtigt, da diese Parameter auch beim vereinfachten Modellansatz für den Anwender frei wählbar bleiben müssen. Aus den detaillierten Ergebnissen zu den Nichtwohngebäuden lässt sich grafisch und rechnerisch gemäß Abbildung 7 ein linearer Zusammenhang mit einem Steigungsverhältnis (a) aufzeigen, wobei Strahleneffekte durch gleiche Heizkennwerte je Kategorie entstehen:

Abbildung 7: Zusammenhang Endenergie und Bruttogrundfläche



Quelle: Eigene GIS-Daten-Analyse zu Wuppertal-Vohwinkel

Für den klimabereinigten Endenergieverbrauch bzw. -bedarf (in Kilowattstunden pro Jahr) der Non-Profit- und Profit-Organisationen ohne Minderung durch Leerstand kann die lineare Gleichung zunächst wie folgt beschrieben werden:

$$y = f(x) = a \cdot x$$

bzw.

$$End_{NP,P} = a \cdot BGF_{NP,P}$$

bzw. mit Berücksichtigung des Leerstands und der Klimaanpassung:

$$End_{NP,P} = a \cdot BGF_{NP,P} \cdot LE \cdot \left(\frac{1}{Kf} \right)$$

Das Steigungsverhältnis (a) der linearen Gleichung wird durch eine Regressionsanalyse ermittelt, die einseitige stochastische Zusammenhänge untersucht.¹⁷³ Der einseitige Zusammenhang besteht hier durch die Abhängigkeit der Endenergie von der Bruttogrundfläche. Die Regressionsanalyse kann beispielsweise direkt mit Excel durchgeführt werden.

Die folgende, wesentliche Vereinfachung sieht vor, dass mit Hilfe des örtlichen GIS-Datenabgleichs zum ausgewählten Stadtteil und die dabei ermittelte summierte Bruttogrundfläche $BGF_{NP,P}$ aus den überprüften Datensätzen durch die summierte Bruttogrundfläche BGF_{GIS} (vgl. 2.7.3) der Original-GIS-Daten ohne örtlichen Datenabgleich ersetzt wird. Bei der Schnellanalyse sind demnach nur die relevanten Datentypen gemäß Tabelle 16 aus den Original-GIS-Daten zu separieren (vgl. 2.7.3) und mit deren Hilfe die Bruttogrundfläche BGF_{GIS} in Quadratmeter zu bestimmen. Dadurch kann der Aufwand zur Aufbereitung der GIS-Daten mit Hilfe eines örtlichen Datenabgleichs und Luftbildern sowie Zuweisung von Nichtwohngebäudekategorien, Baualtersklassen mit Heizkostenwerten entfallen. Zur Anwendung des vereinfachten Ansatzes, beispielsweise auf die Stadt Wuppertal, ist lediglich das Aggregieren der relevanten GIS-Daten zum verbleibenden Stadtgebiet notwendig (zu Vohwinkel bereits erfolgt).

Diese Methode ist generell auf andere Städte übertragbar und anwendbar. Zu einem städtischen Teilgebiet wird zunächst eine detaillierte Analyse erstellt, und zum Gesamtgebiet wird der vereinfachte Ansatz abgeleitet. Damit der Flächenunterschied zwischen den Original-GIS-Daten und den örtlich überprüften GIS-Daten berücksichtigt wird, ist ein Korrekturfaktor (KO) einzuführen. Dieser drückt das Verhältnis zwischen den überprüften GIS-Daten und den Original-GIS-Daten aus (vgl. 2.7.3). Der rechnerische Ansatz lässt sich wie folgt beschreiben:

Die Bruttogrundfläche BGF_{GIS} ergibt sich durch die Summe der Original-Grundflächen (GF_{GIS}) multipliziert mit der jeweiligen Original-Geschosszahl (AN_{GIS}):

$$BGF_{GIS} = \sum GF_{GIS} \cdot AN_{GIS}$$

Der einheitenlose Korrekturfaktor KO ergibt sich in allgemeiner Schreibweise durch folgende Beziehung:

$$KO = \frac{BGF_{NP,P} (m^2)}{BGF_{GIS} (m^2)}$$

¹⁷³ Vgl. [Stö1999], S. 275: Stöcker Horst (Hrsg.), 1999

Gemäß 2.7.3 lauten die ermittelten Flächenverhältnisse am Beispiel von Wuppertal-Vohwinkel für das Bezugsjahr 2010:

$$BGF_{GIS} = 1.162.499 \text{ Quadratmeter}$$

$$BGF_{NP,P} = 906.843 \text{ Quadratmeter}$$

Bei der Fläche $BGF_{NP,P}$ sind die in Vohwinkel mit Hilfe des örtlichen Abgleichs und der Luftbilder festgestellten Geschosshöhen berücksichtigt und die Datensätze entsprechend angepasst.

Der Korrekturfaktor KO , der die Anpassung der Bruttogrundflächen aus den relevanten Original-GIS-Daten an den örtlichen Abgleich berücksichtigt ($0,78 = 906.843 / 1.162.499$), lautet somit für Wuppertal-Vohwinkel **0,78**. Demnach muss die summierte Bruttogrundfläche aus den relevanten Original-GIS-Daten um **22 Prozent** (vgl. 2.7.3) gemindert werden. Der allgemeine Flächenansatz im vereinfachten Modell ergibt sich demnach wie folgt:

$$BGF_{NP,P} = KO \cdot BGF_{GIS} = KO \cdot \left(\sum GF_{GIS} \cdot AN_{GIS} \right)$$

Der Endenergieverbrauch bzw. -bedarf (in Kilowattstunden pro Jahr) aus den relevanten Original-GIS-Daten ohne Vor-Ort-Überprüfung wird in Anlehnung an die zuvor dargestellte lineare Gleichung inklusive der Berücksichtigung des Leerstandes und der Klimaanpassung wie folgt beschrieben:

$$End_{NP,P} = a \cdot KO \cdot BGF_{GIS} \cdot LE \cdot \left(\frac{1}{Kf} \right) = a \cdot KO \cdot \left(\sum GF_{GIS} \cdot AN_{GIS} \right) \cdot LE \cdot \left(\frac{1}{Kf} \right)$$

Unter Berücksichtigung verschiedener Energieträger mit ihren Primärenergie- und CO_2 -Emissionsfaktoren lässt sich die Bestandssituation für Profit- und Non-Profit-Organisationen bzw. für alle beheizten Nichtwohngebäude zum Primärenergieverbrauch und zu den CO_2 -Emissionen innerhalb des städtischen Gebietes (hier: Wuppertal) mit Hilfe der vor Ort überprüften GIS-Datensätze zu einem Stadtgebiet (hier: Vohwinkel) durch Erweiterung der linearen Gleichung vereinfacht berechnen. Die Primärenergie $QP_{NP,P}$ (in Kilowattstunden pro Jahr) und die CO_2 -Emissionen (in Tonnen pro Jahr) ergeben sich demnach inklusive einer örtlichen Klimaanpassung in Anlehnung an den detaillierten Ansatz wie folgt (vgl. 2.8.1):

$$QP_{NP,P} = a \cdot KO \cdot BGF_{GIS} \cdot LE \cdot FE_{QP} \cdot \left(\frac{1}{Kf} \right) = a \cdot KO \cdot \left(\sum GF_{GIS} \cdot AN_{GIS} \right) \cdot LE \cdot FE_{QP} \cdot \left(\frac{1}{Kf} \right)$$

$$CO_{2NP,P} = a \cdot KO \cdot BGF_{GIS} \cdot LE \cdot FE \cdot \left(\frac{1}{Kf} \right) = a \cdot KO \cdot \left(\sum GF_{GIS} \cdot AN_{GIS} \right) \cdot LE \cdot FE \cdot \left(\frac{1}{Kf} \right)$$

Durch die Regressionsanalyse und dem daraus ermittelten Steigungsverhältnis (a) gemäß Top-down-Ansatz bzw. (a_b) nach dem Bottom-up-Ansatz wird die detaillierte

Berechnung (vgl. 2.8.1) angenähert abgebildet. Die Abweichung, die durch die lineare Näherungsgerade entsteht, wird mit einem Kalibrierungsfaktor (KA) ausgeglichen. Dieser passt die Gerade an die Ergebnisse aus dem detaillierten Ansatz zu Vohwinkel an.

Der vollständige **vereinfachte Modellansatz** für die Berechnung der Endenergie, Primärenergie und die CO₂-Emissionen (CO_{2NP,P} in Tonnen pro Jahr) aus der Beheizung von Nichtwohngebäuden lässt sich in allgemeiner Schreibweise durch Einsetzen der Faktoren KA, LE, FE und Kf wie folgt darstellen. Dabei wird die Anwendung von verbrauchsorientierten Heizkennwerten (Top-down-Ansatz) und bedarfsorientierten Heizkennwerten (Bottom-up-Ansatz) unterschieden, da die Berechnungsansätze verschiedene Zahlenwerte zu den Modellparametern a und KA verursachen.

Top-down-Ansatz (verbrauchsorientierter Ansatz):

$$End_{NP,P} = a \cdot KO \cdot KA \cdot \left(\sum GF_{GIS} \cdot AN_{GIS} \right) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

$$QP_{NP,P} = a \cdot KO \cdot KA \cdot \left(\sum GF_{GIS} \cdot AN_{GIS} \right) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[\sum_{\uparrow} \frac{EQp}{100} \cdot PFp \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

$$CO_{2NP,P} = a \cdot KO \cdot KA \cdot \left(\sum GF_{GIS} \cdot AN_{GIS} \right) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[\sum_{\uparrow} \left(\frac{EQp}{100} \right) \cdot \left(\frac{CO_2Fp}{1000} \right) \cdot PFp \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

Bottom-up-Ansatz (bedarfsorientierter Ansatz):

$$End_{NP,P}b = a_b \cdot KO \cdot KA_b \cdot \left(\sum GF_{GIS} \cdot AN_{GIS} \right) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

$$QP_{NP,P}b = a_b \cdot KO \cdot KA_b \cdot \left(\sum GF_{GIS} \cdot AN_{GIS} \right) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[\sum_{\uparrow} \frac{EQp}{100} \cdot PFp \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

$$CO_{2NP,P}b = a_b \cdot KO \cdot KA_b \cdot \left(\sum GF_{GIS} \cdot AN_{GIS} \right) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[\sum_{\uparrow} \left(\frac{EQp}{100} \right) \cdot \left(\frac{CO_2Fp}{1000} \right) \cdot PFp \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

Die Anteile aus den beheizten Nichtwohngebäuden von Profit- bzw. Non-Profit-Organisationen können mit Hilfe der ermittelten Verhältnisse (x1, x2, x1b, x2b, vgl. 2.8.1) aus den Ergebnissen zum Stadtteil nach dem detailliertem Ansatz als erste Schätzgröße wie folgt berechnet werden:

Top-down-Ansatz: $CO_{2P} = x1 \cdot CO_{2NP,P}$ $CO_{2NP} = x2 \cdot CO_{2NP,P}$

Bottom-up-Ansatz: $CO_{2P}b = x1b \cdot CO_{2NP,P}b$ $CO_{2NP}b = x2b \cdot CO_{2NP,P}b$

2.8.3 Modellansatz für Hochrechnung zum Stadtgebiet ohne GIS-Daten-Analyse und Diskussion zur Übertragbarkeit auf größere Gebiete und Deutschland

Ziel dieses ergänzenden Hochrechnungsansatzes ist es, eine erste Abschätzung zum gesamten Stadtgebiet für das Jahr 2010 auf Basis von Ergebnissen aus einem ausgewählten Stadtteil zu ermöglichen. Dies ist dann von Interesse, wenn der Aufwand zum Aggregieren der relevanten GIS-Daten zum vollständigen Stadtgebiet und die Anwendung des vereinfachten Ansatzes entfallen sollen. Dies traf auch im Rahmen dieser Arbeit zu. Aufwandsbedingt wurden die relevanten Original-GIS-Daten zum gesamten Stadtgebiet von Wuppertal nicht für die Nutzung des vereinfachten Modellansatzes zur Schnellanalyse aggregiert. Daher sollte eine Modellerweiterung für die Übertragung der Ergebnisse vom Stadtteil auf die Stadt (hier: von Vohwinkel auf Wuppertal) entwickelt werden. Diese Hochrechnung soll eine erste Abschätzung ermöglichen. Mit Hilfe der Hochrechnung der Ergebnisse zum Stadtteil aus dem detaillierten Ansatz können die Anzahl der beheizten Nichtwohngebäude, die Endenergie und die Primärenergie zum Heizen sowie die resultierenden CO₂-Emissionen abgeschätzt werden. Die Interpretation der konkreten Hochrechnungsergebnisse bzw. Abschätzungen zur Stadt Wuppertal auf Basis der Datengrundlage zu Vohwinkel wird unter 3.2 diskutiert.

Neben den Hochrechnungen zu Wuppertal ist auch ein erster Blick mit Hilfe von Abschätzungen zu Deutschland für das Jahr 2010 von Interesse, da insbesondere zu den Nichtwohngebäuden Kenntnislücken bestehen und inzwischen Forschungsaufträge durch das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung ausgeschrieben wurden. Ende 2012 wurde zum Beispiel ein Auftrag vergeben, der sich unter anderem mit der Schaffung von Basisdaten auch auf Grundlage von Geo-Daten (GIS) beschäftigen soll.¹⁷⁴ Ende 2013 wurde die Studie veröffentlicht.¹⁷⁵

Allgemeine Diskussion:

Der entwickelte, vereinfachte Modellansatz zur Schnellanalyse ist generell für urbanisierte Flächen anwendbar, wenn zunächst zu einer städtischen Teilfläche eine detaillierte Analyse erfolgt und anschließend aus den Ergebnissen die Modellparameter für den vereinfachten Ansatz zum gesamten Stadtgebiet abgeleitet werden. Dann kann mit Hilfe der relevanten GIS-Daten zum gesamten Stadtgebiet das vereinfachte Modell genutzt werden, und der Aufwand zur Beurteilung der Bestandssituation zu den beheizten Nichtwohngebäuden in großen Stadtgebieten wird vertretbar (vgl. 2.7.1). Insbesondere ist dies bei sich wiederholenden Betrachtungen im Sinne eines Monitorings zu den

¹⁷⁴ Vgl. [BBSR2012], S. 5: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2012

¹⁷⁵ Vgl. [BMVBS2013]: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2013

zukünftigen Entwicklungen von Nutzen. Alternativ kann ein einfacher Hochrechnungsansatz angewendet werden, wenn auch der Aufwand zum Aggregieren der relevanten GIS-Daten entfallen soll. Dies kann dann notwendig werden, wenn der Aufwand zum Aggregieren der relevanten GIS-Daten zum gesamten Stadtgebiet entfallen soll, bzw. wenn eine erste Abschätzung ausreicht. Am Beispiel von Wuppertal wird die Hochrechnung zur Abschätzung angewendet, da die vollständigen GIS-Daten der Stadt Wuppertal in dieser Arbeit aufwandsbedingt nicht analysiert werden und daher der vereinfachte Modellansatz nicht angewendet werden kann.

Allgemeine Diskussion zur Übertragbarkeit am Beispiel der Stadt Wuppertal:

Der detaillierte Modellansatz liefert je Gebäudekategorie und Baualtersklasse Ergebnisse zu den Nichtwohngebäuden in Wuppertal-Vohwinkel. Es ist zu diskutieren, wie diese Ergebnisse für eine erste Hochrechnung bzw. Übertragung auf Wuppertal genutzt werden können. Zusätzlich wird diskutiert, wie die Ergebnisse zu Vohwinkel auf andere städtische Flächen oder Regionen übertragen werden können, bis weitere Untersuchungen zu anderen Stadtgebieten durchgeführt werden. Ebenso ist die Anwendbarkeit des vereinfachten Ansatzes mit den Modellparametern zu Vohwinkel auf eher ländliche Regionen mit einem größeren Anteil von landwirtschaftlichen Gebäuden zu diskutieren. Unter 2.3 wurde bereits zu landwirtschaftlichen Gebäuden ausgeführt, dass diese überwiegend als unbeheizte Unterstellhallen bzw. unbeheizte Betriebsgebäude genutzt werden und der Anteil an beheizten landwirtschaftlichen Gebäuden bei landwirtschaftlichen Einrichtungen maximal zehn Prozent¹⁷⁶ beträgt. Die für Vohwinkel festgestellten 2.752 Quadratmeter (vgl. 2.3) beheizte Bruttogrundfläche zu landwirtschaftlichen Gebäuden entsprechen einer Größenordnung von 0,3 Prozent ($= 2.752 / 906.843 \cdot 100$) bezogen auf die gesamte Bruttogrundfläche der beheizten Nichtwohngebäude in Vohwinkel. Da die beheizten Betriebsgebäude, bezogen auf ihre Nutzung, auch den Lagerhallen (Gebäudekategorie 10.2, vgl. 2.3) zugewiesen werden können und diese in Vohwinkel mit ca. zwölf Prozent an der Bruttogrundfläche beteiligt sind, sind Abweichungen durch einen regional größeren Anteil von beheizten landwirtschaftlichen Hallen als vertretbar für eine erste Abschätzung im Sinne einer Schnellanalyse zu bezeichnen. Alternativ können andere urbane Flächen nur mit Hilfe des detaillierten Ansatzes betrachtet werden, was auf Grund des Aufwandes nicht für jeden Untersuchungsraum für eine erste Abschätzung zur Bestandssituation sinnvoll erscheint.

Die Wahl auf Vohwinkel als Untersuchungsraum fiel im Jahr 2010 im Rahmen eines Workshops¹⁷⁷ mit Vertretern der Stadt und der Stadtwerke (vgl. 1.3). Dabei wurden beispielsweise Merkmale zur Bevölkerung, zu topografischen Verhältnisse und zur Wärmeversorgung diskutiert. Nichtwohngebäude wurden nicht explizit betrachtet.

¹⁷⁶ Vgl. [Gru2011], S. 69: Gruhler Karin, Böhm Ruth, 2011

¹⁷⁷ Vgl. [Grö2013]: Gröne Marie Christine, 2013

Dennoch kann für Vohwinkel festgehalten werden, dass sich dort aus Sicht der Nichtwohngebäude öffentliche Einrichtungen, innerstädtische Strukturen, Dienstleistungen, Gewerbegebiete und industrielle Produktionsbetriebe befinden, die Vohwinkel typisch für eine modellhafte Gesamtbetrachtung zur Stadt Wuppertal erscheinen lassen.

Des Weiteren können infolge der fehlenden Fernwärmeversorgung Vergleichsrechnungen zum Energiemix angestellt werden. Die GIS-Daten zu Vohwinkel stellen in etwa zehn Prozent des gesamten Stadtgebietes von Wuppertal (vgl. 2.1) dar und entsprechen somit einer etwa zehn prozentigen Stichprobe zur Grundgesamtheit. Unter 2.7.4 wird eine etwa fünf prozentige Fehlerabweichung für Vohwinkel bei der detaillierten Vorgehensweise mit Hilfe der örtlich überprüften GIS-Daten abgeschätzt. Bei der Übertragung auf Wuppertal mit Hilfe einer Hochrechnung auf Basis der detaillierten Ergebnisse zu Vohwinkel wird daher der Fehler auf etwa zehn Prozent geschätzt, da Vohwinkel auf Grund der zuvor genannten Wirtschaftsbauten und öffentlichen Einrichtungen als typisch bezeichnet werden kann. Es wird daher ein vertretbares Hochrechnungsergebnis für Wuppertal erwartet, auch wenn keine konkreten Untersuchungen zur Stichprobe »Vohwinkel« vorliegen. Mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse zu Vohwinkel (vgl. 3.6) soll eine Ergebnisbandbreite durch Variation der Energieträgeranteile bewertet werden, die auch eine grobe Einschätzung zu möglichen Abweichungen bei einer Hochrechnung auf Wuppertal zulässt.

Werden zum Vergleich die ergänzenden Modellergebnisse inklusive Hochrechnungen zum Wohngebäudebestand in Deutschland (vgl. Anhang 1.10) herangezogen, ist eine Abweichung zu vorhandenen Statistiken und Studien von sieben Prozent bei der Gebäudeanzahl und neun Prozent bei den CO₂-Emissionen festzustellen. Dieser Vergleich unterstützt die Abschätzungen zur Fehlerabweichung bei der Übertragung auf Wuppertal von etwa zehn Prozent. Dies rechtfertigt auch im Rahmen dieser Arbeit den Verzicht zur Analyse der relevanten GIS-Daten für das gesamte Stadtgebiet von Wuppertal als Vorleistung für die Anwendung des vereinfachten Modellansatzes.

Diskussion zur Vorgehensweise bei der Übertragung auf andere urbane Flächen:

Zur Beurteilung einer eventuellen Übertragbarkeit der Modellergebnisse aus dem detaillierten Ansatz (vgl. 2.8.1) bzw. des vereinfachten Ansatzes (vgl. 2.8.2) von Vohwinkel auf andere städtische Flächen außerhalb von Wuppertal wird eine Betrachtung zum Branchenmix, bezogen auf die sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten herangezogen. Dazu werden in Abbildung 8 der Branchenmix bzw. die Wirtschaftsstruktur und die Beschäftigungsanteile für Wuppertal aufgezeigt.¹⁷⁸ Die Daten können einer Veröffentlichung der Stadt Wuppertal¹⁷⁹ oder der Bundesagentur für Arbeit¹⁸⁰ ent-

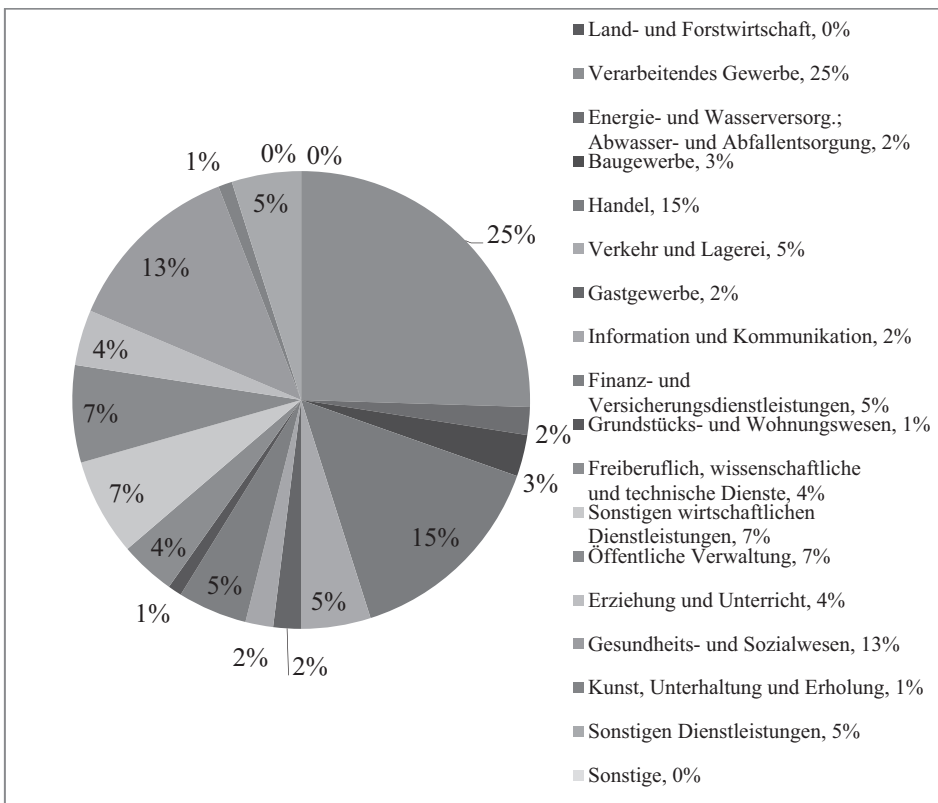
¹⁷⁸ Vgl. [Ham2013a], S. 52: Hamann Achim, Helmus Manfred, Reutter Oscar, 2013

¹⁷⁹ Vgl. [Wer2011], S. 10: Werner Elke, Stadt Wuppertal (Hrsg.), 2011

¹⁸⁰ Vgl. [Bun2010]: Bundesagentur für Arbeit (Hrsg.), 2010

nommen werden. Der aufgeführte Branchenmix stellt dabei die Akteursgruppen der Non-Profit- und Profit-Organisationen dar, die sich in der erstellten Nichtwohngebäudekategorisierung (vgl. 2.3) wiederfinden. Die Beschäftigungszahlen zum Branchenmix gehen mit einer entsprechenden Gebäudestruktur einher, da die Nutzung von Nichtwohngebäuden im Zusammenhang mit den wirtschaftlichen und verwaltungstechnischen Tätigkeiten steht. Mit Hilfe des Branchenmixes kann die Übertragbarkeit abgeschätzt werden, da die anteiligen Beschäftigten als Vergleichsmaßstab für öffentliche und privatwirtschaftliche Gebäudestrukturen herangezogen werden können. Der Vergleich wird nachfolgend am Beispiel zu ersten vorsichtigen Hochrechnungen mit Blick auf Deutschland (vgl. Anhang 1.21) betrachtet und diskutiert.

Abbildung 8: Wirtschaftsstruktur Wuppertal, Stand 30.06.2010



Quellen: Stadt Wuppertal, Statistikstelle, vorveröffentlicht unter: [Hel2013], S. 217

Diskussion zum Blick auf Deutschland:

Da eine erste Abschätzung zur aktuellen Bestandssituation in Deutschland mangels bisheriger Kenntnisse zum aktuellen Bestand von Interesse ist, wird mit Hilfe der Ergebnisse zu Wuppertal-Vohwinkel auch eine Hochrechnung auf die Bundesebene

durchgeführt, wobei hier grundsätzlich mit größeren Abweichungen bei der Übertragung gerechnet werden muss, da Vohwinkel einer sehr kleinen Stichprobe entspricht. Bezogen auf die Einwohnerzahl in Deutschland beträgt die Stichprobe in etwa 0,04 Prozent. Eine alternative bundesweite GIS-Daten-Analyse ist jedoch zu aufwändig, so dass eine Hochrechnung für eine erste Schätzung auf Basis der hier analysierten GIS-Daten eine erste Annäherung liefert. Die erzielten Ergebnisse bei der Übertragung auf Deutschland werden mit Hilfe von vorhandenen Studien unter Anhang 1.21 verglichen. Dabei wird bei den energetischen Werten eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse festgestellt, was die hier dargestellte erste Hochrechnung auf Deutschland mit einer relativ kleinen Datengrundlage rechtfertigen könnte.

Als Basis für eine erste Hochrechnung auf Deutschland wird die Wirtschaftsstruktur zu Deutschland¹⁸¹ jeweils zum gleichen Stichtag (30.06.2010) aufbereitet und in Abbildung 9 dargestellt. Dadurch ist ein Vergleich zwischen Wuppertal und Deutschland auf Grundlage der Wirtschaftsstrukturen möglich. Die Daten zu Deutschland stehen ebenso bei der Bundesagentur für Arbeit zur Verfügung. Es ist erkennbar, dass im Vergleich zur Abbildung 8 die Wirtschaftsstruktur in Wuppertal mit der des Bundesgebietes gut übereinstimmt. Der Vergleich kann wie folgt zusammengefasst werden:

Die prozentualen Beschäftigungsanteile im Bereich »Verarbeitendes Gewerbe« liegen in Wuppertal bei 25 Prozent. In Deutschland liegt dieser Anteil bei 23 Prozent. Der Anteil der »Öffentlichen Verwaltung« liegt bundesweit bei 6 Prozent und in Wuppertal bei 7 Prozent. Der Bereich »Erziehung und Unterricht« liegt jeweils bei vier Prozent und die »Sonstigen wirtschaftlichen Dienstleistungen« jeweils bei sieben Prozent.

Zum jetzigen Zeitpunkt ist festzustellen, dass im Untersuchungsraum Vohwinkel nahezu alle Gebäudekategorien gemäß 2.3 vertreten sind. Von den 38 Kategorien fehlen lediglich Gebäude zu den Kategorien Regierungs- und Gerichtsgebäude, Kliniken, SB-Warenhäuser und Einkaufszentren sowie Oper / Theater / Konzertsäle. Als Ausgleich kann dem gegenüber die in Vohwinkel angesiedelte Justizvollzugsanstalt mit rund 43.500 Quadratmeter BGF, was einem Anteil von rund fünf Prozent an der kompletten Bruttogrundfläche zu den beheizten Nichtwohngebäuden entspricht, aufgeführt werden. Wird diese Fläche mit einem Klinikflächenanteil für Vohwinkel verglichen, kann bei einem Durchschnitt von 615 Betten je 100.000 Einwohner¹⁸², einem Flächenverbrauch von 80 Quadratmeter BGF je Bett¹⁸³ und 30.969 Einwohnern¹⁸⁴ eine anteilige Klinik-Bruttogrundfläche für Vohwinkel von rund 15.200 Quadratmeter berechnet werden. Ein weiterer Vergleich zu einem Flächenanteil für Einkaufszentren mit 196

¹⁸¹ Vgl. [Ham2013a], S. 52: Hamann Achim, Helmus Manfred, Reutter Oscar, 2013

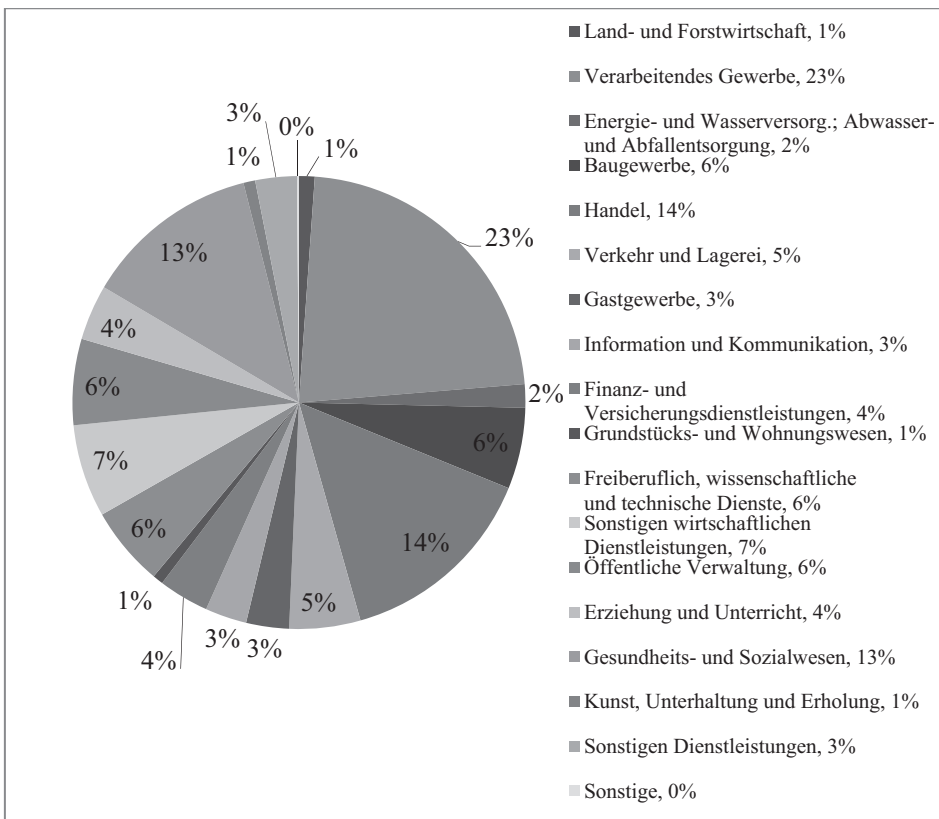
¹⁸² Vgl. [DESTATIS2010], S. 10: Statistisches Bundesamt (Hrsg.),
Gesundheit - Grunddaten der Krankenhäuser 2010

¹⁸³ Vgl. [Len2010], S.41: Lennerts Kunibert, Diez Karin, 2010

¹⁸⁴ Vgl. [Wup2012], Stadt Wuppertal (Hrsg.), Stand 31.12.2010

Quadratmeter Geschäftsfläche je 1.000 Einwohner¹⁸⁵ als bundesdeutscher Durchschnitt ergibt für Vohwinkel eine anteilige Fläche von 6.000 Quadratmeter, wobei hier die Geschäftsfläche als Bruttogrundfläche interpretiert wird. Beide Vergleichszahlen ergeben zusammen ca. 21.000 Quadratmeter. Werden hierzu noch Anteile zu Regierungsgebäuden und zu Konzertsälen sowie zur Justizvollzugsanstalt selbst bewertet, kann auch ohne weitere Zahlenaufbereitung die oben genannte ausgleichende Wirkung durch die Justizvollzugsanstalt in Vohwinkel verdeutlicht werden. Von daher erscheint die Nutzung der Ergebnisse zu Vohwinkel als Grundlage für erste vorsichtige bundesweite Abschätzung als möglich. Unter Kapitel 3.2 wird ergänzend ein Vergleich der Flächen und Gebäudezahlen in Vohwinkel mit den Ergebnissen zu bundesweiten kommunalen und sozialen Nichtwohngebäuden beschrieben. Dieser Vergleich zeigt ebenso Übereinstimmungsmuster auf.

Abbildung 9: Wirtschaftsstruktur Deutschland, Stand 30.06.2010



Quelle: Bundesagentur für Arbeit, vorveröffentlicht unter: [Hel2013], S. 217

¹⁸⁵ Vgl. [IFG2011], Institut für Gewerbezentren (Hrsg.), 2011

Erweiterung des Modellansatzes um die Möglichkeit der Hochrechnung ohne GIS-Daten-Analyse:

Die Ergebnisse zu Wuppertal-Vohwinkel werden mit Hilfe der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten (SVB)¹⁸⁶ auf das Stadtgebiet Wuppertal hochgerechnet. Dieser Vorgehensweise wird infolge der guten Übereinstimmung zum Branchenmix gemäß Abbildung 8 und 9 auch für eine erste vorsichtige bundesweite Betrachtung (vgl. Anhang 1.21) herangezogen. Grundlage sind zum betrachteten Stadtgebiet Vohwinkel die sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten (SVB_{Voh}), die zum Jahresende 2010 mit SVB_{Voh} = 9.896¹⁸⁷ angegeben werden können. Bis jedoch bei der Übertragung auf das komplette städtische Gebiet (hier: Wuppertal) oder auf andere Gebiete vergleichbare Untersuchungen vorliegen, müssen der jeweilige Leerstand, die Energieträgeranteile und bei Bedarf der Klimafaktor variabel bleiben. Daher wird der Hochrechnungsansatz zur Endenergie, zur Primärenergie und zu den CO₂-Emissionen mit Hilfe des vereinfachten Modellansatzes (vgl. 2.8.2) unter Anwendung der Parameter zum Teilgebiet (hier: Vohwinkel) abgebildet. Demnach werden die Hochrechnungsansätze zum Heiz-/Endenergieverbrauch bzw. -bedarf (End_{NP,P}H), zur Primärenergie (QP_{NP,P}H) und zu den CO₂-Emissionen (CO_{2NP,P}H) bei Nichtwohngebäuden der Non-Profit- und Profit-Organisationen unter Beachtung der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten wie folgt beschrieben, wobei die Zahlenwerte für den Korrekturfaktor KO und die Bruttogrundfläche BGF_{GIS} zu Vohwinkel gemäß der GIS-Datenanalyse unter 2.7.3 bereits im allgemeinen Hochrechnungsansatz für Wuppertal eingesetzt werden können:

$$End_{NP,P}H = \frac{a \cdot KO \cdot KA \cdot BGF_{GIS}}{SVB_{Voh}} \cdot SVB \cdot LE \cdot \left(\frac{1}{Kf} \right)$$

$$End_{NP,P}H = \frac{a \cdot 0,78 \cdot KA \cdot 1.162.499}{9.896} \cdot SVB \cdot LE \cdot \left(\frac{1}{Kf} \right)$$

$$End_{NP,P}H = a \cdot 91,628 \cdot KA \cdot SVB \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12 - M} \right) \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

$$QP_{NP,P}H = a \cdot 91,628 \cdot KA \cdot SVB \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12 - M} \right) \right] \cdot \left[\sum_1^p \frac{EQp}{100} \cdot PFP \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

$$CO_{2NP,P}H = a \cdot 91,628 \cdot KA \cdot SVB \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12 - M} \right) \right] \cdot \left[\sum_1^p \left(\frac{EQp}{100} \right) \cdot \left(\frac{CO_2Fp}{1000} \right) \cdot PFP \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

¹⁸⁶ Vgl. [Hel2013], S. 216: Helmus Manfred, Reutter Oscar, Hamann Achim, 2013

¹⁸⁷ Vgl. [Wup2012]: Stadt Wuppertal (Hrsg.), 2012

Hierbei werden die Modellparameter a und KA allgemein bezeichnet, unabhängig davon, ob diese durch den Top-down- oder Bottom-up-Ansatz zu Wuppertal-Vohwinkel ermittelt werden. Die Parameter a und KA können Kapitel 3.3 entnommen werden. Bei Hochrechnungen mit dem Ziel, klimabereinigte Ergebnisse zu erhalten, entfällt der Klimafaktor.

Die Hochrechnung zur Anzahl der Bestandsgebäude bei beheizten Nichtwohngebäuden bzw. Gebäudeteilen ohne den Anteil der Stadthäuser ($Ge_{NP,PostH}$) wird aus der ermittelten Anzahl in Wuppertal-Vohwinkel ($Ge_{NP,Post}$) gemäß detailliertem Ansatz bestimmt. Die Stadthäuser werden als mischgenutzte Gebäude dabei separat (Ge_{stH} , Ge_{st}) betrachtet. Die Brutto- ($BGF_{NP,PostH}$) und Nettogrundflächen ($NGF_{NP,PostH}$) werden ebenfalls ohne den Anteil der Stadthäuser aus den ermittelten Flächen in Wuppertal-Vohwinkel ($BGF_{NP,Post}$) hochgerechnet. Dabei werden die Flächen zu den Stadthäusern (BGF_{stH} , BGF_{st} , NGF_{stH}) wiederum separat berücksichtigt. Zur Umrechnung in Nettogrundflächen wird der Faktor $F_{NGF} = 0,9$ in Anlehnung an 2.5 eingeführt.

Der Hochrechnungsansatz zur Anzahl der Gebäude geht von der Anzahl der GIS-Datensätze in Vohwinkel aus. Dass diese Anzahl nicht der tatsächlichen Gebäudezahl entspricht, wurde bereits unter 2.7.2 erläutert, da ein Nichtwohngebäude zum Teil als Gebäudekomplex durch mehrere GIS-Datensätze in den Liegenschaftsdaten beschrieben wird. Ein Clustern (Zusammenführen) der GIS-Datensätze mit dem Ziel, die Anzahl der Nichtwohngebäude genauer zu bestimmen, wurde in dieser Arbeit nicht untersucht. Daher sind hierzu größere Abweichungen hinzunehmen.

Der Hochrechnungsansatz zur Gebäudeanzahl kann zukünftig verbessert werden, wenn ein ergänzendes Modell zum Clustern der GIS-Datensätze erstellt wird. Der allgemeine Hochrechnungsansatz zur Anzahl der Gebäude und Gebäudeflächen lautet auf Grundlage der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten und der örtlich überprüften GIS-Datensätze zu Vohwinkel wie folgt:

$$Ge_{NP,PostH} = \frac{Ge_{NP,Post}}{9.896} \cdot SVB \quad BGF_{NP,PostH} = \frac{BGF_{NP,Post}}{9.896} \cdot SVB$$

$$NGF_{NP,PostH} = \frac{BGF_{NP,Post}}{9.896} \cdot SVB \cdot F_{NGF} = \frac{BGF_{NP,Post}}{9.896} \cdot SVB \cdot 0,9$$

$$Ge_{stH} = \frac{Ge_{st}}{9.896} \cdot SVB \quad BGF_{stH} = \frac{BGF_{st}}{9.896} \cdot SVB$$

$$NGF_{stH} = \frac{BGF_{st}}{9.896} \cdot SVB \cdot F_{NGF} = \frac{BGF_{st}}{9.896} \cdot SVB \cdot 0,9$$

Unter 3.4 und 3.5 erfolgt die konkrete Hochrechnung zu Wuppertal. Das beheizte Raumvolumen kann bei Bedarf ergänzend unter Ansatz einer mittleren Geschosshöhe bzw. Raumhöhe ermittelt werden.

2.8.4 Modellerweiterung zu Wohngebäuden auf Basis der GIS-Daten zu Vohwinkel

Ohne dass gleichzeitig Aussagen zum Wohngebäudebestand in Vohwinkel vorliegen, kann der prozentuale Anteil der beheizten Nichtwohngebäude, bezogen auf den vollständigen Gebäudesektor, nicht ermittelt werden. Daher ist es Ziel dieser ergänzenden Teilbetrachtung, die energetischen Kennwerte zum Wohngebäudebestand ebenso auf Grundlage der GIS-Daten berechnen zu können.

Die Erweiterung des vereinfachten Modellansatzes zeigt einen Vergleich für Vohwinkel zwischen beheizten Nichtwohngebäuden und Wohngebäuden zum Heizenergieverbrauch und den resultierenden CO₂-Emissionen auf. Zusätzlich werden die Grundlagen zu Hochrechnungen von Gebäudezahlen aus der GIS-Daten-Analyse generiert, damit der Vergleich auch zum Stadtgebiet Wuppertal möglich wird. Der Modellansatz¹⁸⁸, der aus der GIS-Daten-Analyse zu Vohwinkel und Betrachtungen zu einem mittleren Heizkennwert (Hk_m) entwickelt wird, ist in Anhang 1.10 ausführlich erläutert. Nachfolgend werden die Ansätze zur Endenergie (End_w), zur Primärenergie (QP_w) und zu den CO₂-Emissionen (CO_{2w}) zum Beheizen der Wohngebäude in Vohwinkel zusammengefasst, die auf den Grundlagen der GIS-Daten zu Grundflächen (Gf , Gf_{St}) und Geschossen (An , An_{St}) der Wohngebäude und Stadthäuser aufbauen:

$$End_w = Hk_m \cdot \left(\sum Gf \cdot An + b \cdot \sum Gf_{St} \cdot An_{St} \right) \cdot LE \cdot \left(\frac{1}{Kf} \right)$$

$$End_w = 116 \cdot \left(\sum Gf \cdot An + 0,883 \cdot \sum Gf_{St} \cdot An_{St} \right) \cdot LE \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

$$QP_w = 116 \cdot \left(\sum Gf \cdot An + 0,883 \cdot \sum Gf_{St} \cdot An_{St} \right) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[\sum_p \frac{EQp}{100} \cdot PFP \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

$$CO_{2w} = 116 \cdot \left(\sum Gf \cdot An + 0,883 \cdot \sum Gf_{St} \cdot An_{St} \right) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[\sum_p \left(\frac{EQp}{100} \right) \cdot \left(\frac{CO_2Fp}{1000} \right) \cdot PFP \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

Hierin ist der Anteil der Wohnflächen in den mischgenutzten Gebäuden (St=Stadthäuser) mit 88,3 Prozent berücksichtigt, da der Nichtwohnflächenanteil gemäß Anhang 1.11 in Vohwinkel mit 11,7 Prozent festgestellt wurde. Der mittlere Heiz-

¹⁸⁸ Vgl. [Ham2013a], S. 51: Hamann Achim, Helmus Manfred, Reutter Oscar, 2013

kennwert (Endenergiekennwert) ist gemäß Anhang 1.10 mit 116 Kilowattstunden pro Quadratmeter Bruttogrundfläche und Jahr angenommen.

Die reinen Wohngebäude wurden nicht mit Hilfe einer örtlichen Überprüfung mit den GIS-Daten abgeglichen, da keine Wohngebäudekategorien und Baualterklassen unterschieden werden. Des Weiteren entfällt zwangsläufig eine Unterscheidung in beheizte oder unbeheizte Wohngebäude.

Ein Vergleich von Hochrechnungsergebnissen (siehe Anhang 1.10) mit dem eigenen Modellansatz zum Wohnbausektor und zu Trendberechnungen des IWU, welche für das Jahr 2010 rund 130 Millionen Tonnen CO₂-Emissionen¹⁸⁹ angeben, zeigt je nach Energiemix eine Bandbreite von rund 131 bis 142 Millionen Tonnen CO₂ auf, was eine gute Übereinstimmung verdeutlicht. Bei der Abschätzung zur bundesweiten Gebäudeanzahl gemäß Anhang 1.10 werden mit dem vereinfachten Modellansatz zum Wohnbausektor rund sieben Prozent Abweichung zum statistischen Bestand erzielt, was ebenso eine gute Übereinstimmung darstellt.

¹⁸⁹ Vgl. [Die2012], Folie 10 (Trendberechnung ab 2008 bis 2020): Diefenbach Nikolaus, 2012

3 Anwendung des Modells auf Vohwinkel und die Hochrechnung auf Wuppertal

3.1 Allgemeines und Festlegungen zum Leerstand sowie zum Energiemix

Als Grundlage für die Berechnungen sind zunächst die Leerstandsquote, wobei die Monate in der Heizperiode mit sechs angenommen werden, und der Energiemix zu bestimmen. Eine eigene Einschätzung zur Leerstandsquote zu den beheizten Nichtwohngebäuden in Vohwinkel ergab eine Größenordnung von etwa zehn Prozent (vgl. 2.7.2). Die Wirtschaftsförderung der Stadt Wuppertal schätzt den Leerstand zu gewerblichen Bauten und Büros in Vohwinkel auf etwa acht Prozent¹⁹⁰. Eine Studie zum Büromarkt in Wuppertal gibt die Leerstandsquote zu Büroflächen für das Jahr 2009 mit 5,45 Prozent und für 2011 mit nahezu unveränderten 5,68 Prozent an.¹⁹¹

Die durchgeführte Befragung in Vohwinkel zu Büroflächen (vgl. 5.2.4) ergab einen Leerstand von fünf Prozent.

Weiterhin werden zur Abschätzung des Leerstandes Untersuchungen zum Büromarkt der Städte Berlin (8,5 Prozent), Düsseldorf (11,2 Prozent), Frankfurt (13,9 Prozent), Hamburg (8,5 Prozent), Köln (8,1 Prozent), München (9,6 Prozent) und Stuttgart (6,1 Prozent) herangezogen.¹⁹² Die Leerstände im Büromarktsektor sind bei diesen Städten im Vergleich mit der als schrumpfend geltenden Stadt Wuppertal (vgl. 2.7.2) größer. Aufgrund der vorgenannten Quoten, insbesondere der Einschätzung durch die Wirtschaftsförderung der Stadt Wuppertal, des persönlichen Eindruckes vor Ort zu allen vorhandenen Nichtwohngebäudekategorien und unter Berücksichtigung von teilweise unbeheizten Räumen, die in den Bruttogrundflächen enthalten sind, wird für Vohwinkel und Wuppertal eine mittlere Leerstandsquote zum Nichtwohngebäudebestand von zehn Prozent angenommen. Die Leerstandsquote zum Wohngebäudebestand, der gemäß 2.8.4 zur Einordnung des prozentualen Anteils der beheizten Nichtwohngebäude mit untersucht wird, wird für Wuppertal und das Jahr 2010 als Vergleichswert auf 7,5 Prozent¹⁹³ beziffert. Gemäß dem Mikrozensus in Deutschland lag die Leerstandsquote im Bundesgebiet im Jahr 2010 bei 8,6 Prozent¹⁹⁴, wobei der Zustand in der Berichtswoche bewertet wurde. Andere Methoden betrachten eine Mindestzeit von zum Beispiel drei oder sechs Monaten, um umzugsbedingte Leerstände auszuklammern, und geben daher eine geringere Quote an. Zur Bewertung der energetischen Leerstandssitu-

¹⁹⁰ Vgl. [Vol2013]: Volmerig Rolf, Wirtschaftsförderung der Stadt Wuppertal, telefonische Auskunft vom 02.04.2013

¹⁹¹ Vgl. [Wup2011], S. 3: Stadt Wuppertal (Hrsg.), 2011

¹⁹² Vgl. [Jon2012], S. 2-14: Jons Lang Lasalle (Hrsg.), 2010

¹⁹³ Vgl. [Emp2007], S. 8: empirica Qualitative Marktforschung, Stadt- und Strukturforshung GmbH (Hrsg.), 2007

¹⁹⁴ Vgl. [BMVBS2012b], S. 13: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), 2012

ation erscheint die Wahl des Leerstandes gemäß Mikrozensus als sinnvoll, da auch umzugsbedingte Leerstände relevant sind. Unter Berücksichtigung von anteilig unbeheizten Räumen und zur Vereinfachung der Berechnungen wird für den Wohngebäudebestand daher ebenso eine Leerstandsquote von 10 Prozent angenommen.

Des Weiteren sind die Anteile der eingesetzten Energieträger für Vohwinkel und zwecks Hochrechnung auch für das Stadtgebiet von Wuppertal zu ermitteln. Bei den Energieträgern sind die leitungsgebundenen und nichtleitungsgebundenen Energieträger zu differenzieren. Eine Fernwärmeversorgung existiert in Vohwinkel nicht. Der Stadt Wuppertal liegen Erhebungen zu nichtleitungsgebundenen Energieträgern je Kehrbezirk vor.¹⁹⁵ Diese Daten mit Bezug zur installierten Leistung wurden von der Stadt zur Verfügung gestellt und für den Stadtbezirk Vohwinkel ausgewertet. Die Daten beziehen sich auf den gesamten Gebäudebestand und nicht nur auf die Nichtwohngebäude. Die angegebenen prozentualen Leistungsanteile wurden dabei den Anteilen am jährlichen Energieverbrauch gleichgesetzt. Der Anteil Erdgas als leitungsgebundener Energieträger kann dagegen beispielsweise in Anlehnung an den mit Gas versorgten bundesweiten Wohnungsbestand abgeschätzt werden. Der Anteil beträgt demnach rund 50 Prozent.¹⁹⁶ Eine von den Wuppertaler Stadtwerken¹⁹⁷ zur Verfügung gestellte Tabelle zu Ermittlungen des Wärmeenergieverbrauchs in Vohwinkel konnte zusätzlich für die Beurteilungen des Energiemixes zum gesamten Gebäudebestand genutzt werden. Der Anteil Erdgas beträgt hierin etwa 56 Prozent, Heizstrom (Nachtspeicher) etwa 2,5 Prozent und Heizöl rund 38 Prozent. Demnach ist erkennbar, dass der Anteil Erdgas mit 56 Prozent etwas über dem oben genannten Anteil von 50 Prozent liegt. Aus den zuvor genannten Quellen zu den nichtleitungsgebundenen Energieträgern und den Werten der Wuppertaler Stadtwerke werden in Tabelle 19 der Energiemix zu Vohwinkel definiert, wobei der 50 prozentige bzw. 56 prozentige Anteil von Gas zu einer Halbierung bei Holz und Flüssiggas führen. Die zusätzlich in der Tabelle 19 angegebenen Anteile zum Stadtgebiet Wuppertal sind als Vergleichswert für den Energiemix Wuppertal der Studie »Low Carbon City Wuppertal 2050«¹⁹⁸ als Beheizungsstruktur zu den Haushalten im Jahr 2010 entnommen. Eine Beheizungsstruktur der Nichtwohngebäude liegt zu Wuppertal nicht vor. Die Werte sind mit einer bundesweiten Beheizungsstruktur zum Wohnflächenbestand vom Jahr 2005¹⁹⁹ vergleichbar. In Tabelle 19 wird beim Flüssiggasanteil für Wuppertal, der gemäß den Erhebungen in den Kehrbezirken mit vier Prozent an den nichtleitungsgebundenen Energieträgern beteiligt ist, angenommen, dass dieser im Erdgasanteil bereits enthalten ist.

¹⁹⁵ Vgl. [Bre2012]: Brendel Cordula, Stadt Wuppertal, 2012

¹⁹⁶ Vgl. [BDEW2012a]: Bundesverband der Energie- und Wassertechnik e. V. (Hrsg.), 2012

¹⁹⁷ Vgl. [WSW2013a], Wuppertal Stadtwerke, 2013

¹⁹⁸ Vgl. [Reu2012a], S.123 und S. 127 (prozentuale Anteile gem. Tab. 6.1 und 6.3): Reutter Oscar, Bierwirth Anja et al., 2012

¹⁹⁹ Vgl. [ProÖko2009], S. 56: Prognos und Öko-Institut (Hrsg.), 2009

Im 6,4 prozentigen²⁰⁰ Heizstromanteil sind rund 1,4 Prozent²⁰¹ Wärmeenergie durch den Betrieb von Wärmepumpen (WP) enthalten. Zur Bereitstellung der Wärmeenergie mit Hilfe einer Wärmepumpe werden ca. 25 Prozent elektrische Energie notwendig. Dies kann anhand einer Jahresarbeitszahl von 4 erläutert werden. Unter diesen Umständen benötigt eine Wärmepumpe nur $\frac{1}{4}$ der erzeugten Heizenergie als zugeführte elektrische Energie. Der restliche Anteil wird zum Beispiel durch die Nutzung von Abwasserwärme, Geothermie oder Umweltwärme dem Medium entzogen.²⁰² Für Wuppertal wird ein Fernwärmanteil von 9,8 Prozent²⁰³ angegeben. Deutschlandweit beträgt als Vergleich dieser Anteil an der gesamten Wärmeversorgung etwa zwölf Prozent²⁰⁴.

Zwecks Vergleichs des Energiemixes zum gesamten Gebäudebestand und zum Teilbestand der Nichtwohngebäude sind aus eigenen statistischen Auswertungen auf Grundlage von Energiedaten für das Jahr 2010 der Energiemix für Deutschland zu den Sektoren GHD und Industrie²⁰⁵ in Spalte 4 der Tabelle 19 zu diesen Sektoren ohne Wohngebäudebestand angegeben. Die fehlende Differenz zu 100 Prozent entspricht dabei in etwa den eingesetzten erneuerbaren Wärmeenergien (ca. 3,7 Prozent²⁰⁶).

Die Werte wurden durch Gewichtung der Verbrauchswerte aus beiden Sektoren berechnet. Der Anteil der erneuerbaren Wärmeenergien von 3,7 Prozent ist dabei in etwa mit der Summe aus den Anteilen Holz, Heizstrom und Solarthermie in Wuppertal vergleichbar. Zwischen dem Energiemix »Wuppertal« und dem Energiemix »Deutschland zu den Sektoren GHD und Industrie« ergibt sich nach Tabelle 19 eine größere Abweichung bei den Heizöl- und Fernwärmeanteilen. Da in Vohwinkel keine Fernwärme existiert, werden für den Untersuchungsraum Vohwinkel die Anteile gemäß Spalte 2 der Tabelle 19 angesetzt. Zusätzlich werden die Energieträgeranteile auf Grund der möglichen Abweichungen innerhalb des Energiemixes als variable Modellparameter mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse am Beispiel zum Stadtbezirk Vohwinkel und zu Hochrechnungen für Wuppertal variiert (vgl. 3.6). Dadurch wird die Ergebnisbandbreite und somit der Einfluss des Energiemixes erkennbar.

In Tabelle 19 sind die Auswertungen zusammengestellt. Zusätzlich sind die in den Berechnungen zu Grunde gelegten Brennstoffdaten²⁰⁷ für die direkten CO₂-Emissions-

²⁰⁰ Vgl. [Reu2012a], S. 127 (prozentuale Anteile gemäß Tab. 6.1 und 6.3): Reutter Oscar, Bierwirth Anja et al., 2012

²⁰¹ a.a.O.

²⁰² Vgl. [Ham2012], S. 57-58: Hamann Achim, 2012

²⁰³ Vgl. [Reu2012a], S.123 und S. 127 (prozentuale Anteile gem. Tab. 6.1 und 6.3): Reutter Oscar, Bierwirth Anja et al., 2012

²⁰⁴ Vgl. [HIC2012]: Hamburg-Institut Consulting (Hrsg.), 2012

²⁰⁵ Vgl. [BMWI2012a], Excel-Blatt 7 und 7a, eigene Auswertung: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.), 2012

²⁰⁶ a.a.O.

²⁰⁷ Vgl. [KfW2008], S. 10: Kreditanstalt für Wiederaufbau (Hrsg.), 2008, [DINV18599], Teil 1, S. 67, Ausgabe 2012 und [Sei2012], Seifried Dieter, Schaumburg Detmar, 2012

faktoren und Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbare Anteile) aufgeführt. Erläuterungen zu den Faktoren des Heizstroms:

Der CO₂-Emissionsfaktor zum allgemeinen Strommix wird für das Jahr 2010 mit 566 Gramm pro Kilowattstunde²⁰⁸ angegeben. Hierin sind die Vorketten bei der Stromproduktion für den Strommix berücksichtigt. Strom, welcher für Heizzwecke eingesetzt wird, wird bisher von Mittellastkraftwerken geliefert, die einen höheren CO₂-Emissionsfaktor von 865 Gramm pro Kilowattstunde aufweisen.²⁰⁹ Die in einer Studie festgestellte, durchschnittlich erreichte geringe Jahresarbeitszahl bei Luft-Wärmepumpen von 2,74²¹⁰ anstelle von mindestens 3,5²¹¹ ist als zusätzlicher CO₂-erhöhender Faktor dabei noch nicht berücksichtigt. Ebenso können weitere Faktoren wie Kühlmitteleinsatz oder eine nicht optimale Steuerung zum Heizbedarf (auch bei Nachtspeicher) aufgeführt werden. Demnach kann eine entsprechend höhere CO₂-Emission durch Heizstrom im Vergleich zum Strommix angesetzt werden, die hier gemäß Modellansatz (vgl. 2.8.1) aus den Parametern Primärenergiefaktor und direktem CO₂-Emissionsfaktor berechnet wird. Zur Vereinfachung des Ansatzes wurden dem Heizstrom der direkte CO₂-Emissionsfaktor und der Primärenergiefaktor zum Strommix zugeordnet. Insgesamt werden dadurch beim Heizstrom höhere Emissionen angenommen als beim sonstigen Strommix.

Tabelle 19: Energiemix in Vohwinkel und in Wuppertal sowie bundesweit für die Sektoren GHD und Industrie

Installierte Leistung nicht-leitungsgebundener Energieträger (in %): Gebäudebestand Vohwinkel	Energiemix inklusive leitungsgebundener Gasversorgung (in %): Gebäudebestand Vohwinkel		Energiemix (in %): Wohngebäudebestand Stadtgebiet Wuppertal		Energiemix Deutschland: Sektor GHD und Industrie	Energie-träger	direkte CO ₂ -Emissions-faktoren in kg/kWh	Primär-energie-faktor (nicht erneuer-barer Anteil)	
		Erdgas	56,0%	Erdgas	48,4%	51,7%	Erdgas	0,202	1,1
Heizöl	93,0%	Heizöl	38,0%	Heizöl	32,1%	21,9%	Heizöl	0,266	1,1
Flüssiggas	4,0%	Flüssiggas	2,0%	Flüssiggas			Flüssiggas	0,234	1,1
Holz	3,0%	Holz	1,5%	Holz	1,6%		Holz/Pellets	0	0,2
Summe	100,0%	Heizstrom	2,5%	Heizstrom	6,4%	4,5%	Heizstrom	0,566	2,6
		Kohle	0,0%	Kohle	1,6%	2,1%	Kohle	0,355	1,1
		Solarthermie	0,0%	Solarthermie	0,2%		Solar	0	0
		Fernwärme	0,0%	Fernwärme	9,8%	16,2%	Fernwärme	0,207	0,7
		Summe	100%	Summe	100%	96,3%			

Quellen: Stadt/Stadtwerke Wuppertal, BMWI2012a, DIN V 18599, KfW2008, Sei2012, Reu2012

²⁰⁸ Vgl. [UBA2012b], S. 2: Umweltbundesamt, 2012

²⁰⁹ Vgl. [Sei2012]: Seifried Dieter, Schaumburg Detmar, 2012

²¹⁰ a.a.O.

²¹¹ EEWärmeG, Anlage III, 1. b)

3.2 Ergebnisse zum Bestandsmodell für den Stadtbezirk Vohwinkel

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse zu Vohwinkel aufgezeigt und interpretiert. Zusätzlich werden Vergleiche zu den Ergebnissen mit anderen Zahlenmaterialien angestellt.

Ergebnisse zum Top-down-Ansatz

In Anhang 1.12 sind Ausschnitte zu den aggregierten GIS-Datensätzen inklusive der Zuordnung zu Gebäudekategorien und Baualtersklassen sowie Berechnungsergebnisse zur jeweiligen Endenergie und CO₂-Emission je Datensatz nach dem Top-down-Ansatz enthalten. Dabei sind die Ergebnisse zu Non-Profit- und Profit-Organisationen ausschnittsweise getrennt aufgeführt. Die Tabellen in Anhang 1.12 berücksichtigen zunächst bei den einzelnen Datensätzen keinen Leerstand bei der Endenergie. Des Weiteren sind die Werte klimabereinigt. Dies wird damit begründet, dass die variable Größe zum Leerstand und der Klimafaktor für einen Bezugszeitraum (hier 2010) nicht bei den einzelnen GIS-Datensätzen von Belang ist und dieser Einfluss daher anschließend beim Gesamtergebnis zum Siedlungsgebiet eingerechnet wird. In Anhang 1.13 sind die aggregierten bzw. gruppierten Ergebnisse zu den Non-Profit-Organisationen je Gebäudekategorie und Baualtersklasse hinsichtlich ihrer Flächenanteile dargestellt. Zusätzlich ist je Kategorie die Anzahl der Datensätze aufgeführt. Weitere Ergebnistabellen zeigen den klimabereinigten Endenergieverbrauch sowie die klimabereinigten CO₂-Emissionen je Gebäudekategorie und Baualtersklasse, wobei in dieser Darstellung der Leerstandsfaktor bereits bei den CO₂-Emissionen eingerechnet ist, da bei den Teilergebnissen die CO₂-Emissionen als die wichtigste Größe angesehen wird. Bei der Endenergie wird der Leerstand beim summierten Gesamtergebnis berücksichtigt. In Anhang 1.14 sind die aggregierten Daten und Ergebnisse zu den Profit-Organisationen aufgeführt. Die Berechnungsergebnisse lassen sich nach dem detaillierten Top-down-Modellansatz mit höherem Bearbeitungsaufwand wie folgt zusammenfassen und interpretieren:

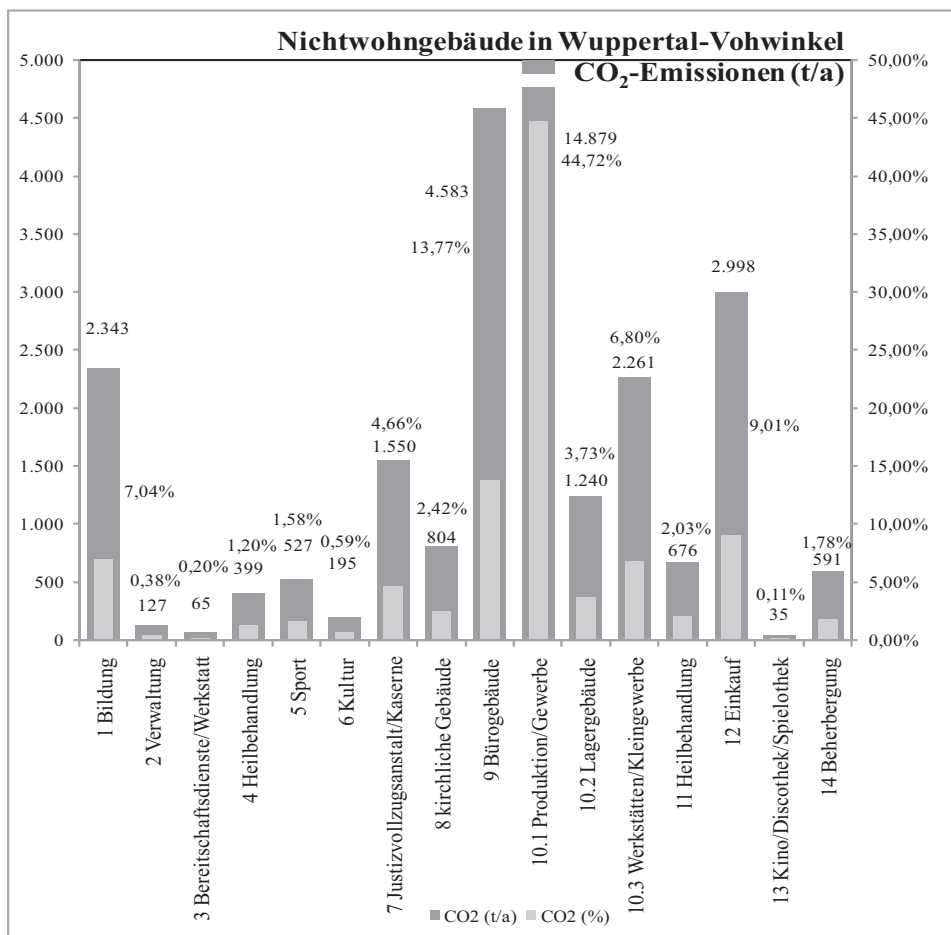
In Abbildung 10 und 11 sind die wesentlichen Ergebnisse und Verteilungen zu den Haupt- und Unterkategorien grafisch und zahlenmäßig für die CO₂-Emissionen in Tonnen pro Jahr und in Prozent (klimabereinigt) dargestellt. Dabei ist der Energiemix »Vohwinkel« gemäß Tabelle 19 zu Grunde gelegt. Demnach werden die CO₂-Emissionen in Vohwinkel innerhalb des Bereiches der Non-Profit-Organisationen von der Hauptkategorie 1 (Bildung, 7,04 Prozent), gefolgt von der Kategorie 7 (Justizvollzugsanstalt/ Kaserne: 4,66 Prozent) und Kategorie 8 (kirchliche Gebäude: 2,42 Prozent, ohne kirchliche Kindergärten, Schulen, Pflegeeinrichtungen usw.) dominiert.

Bei den Profit-Organisationen ist überwiegend die Kategorie 10.1 (Produktion/ Gewerbe) mit 44,72 Prozent für die CO₂-Emissionen und den Raumwärmeenergieverbrauch verantwortlich, gefolgt von der Hauptkategorie 9 (Bürogebäude: 13,77 Prozent)

und der Hauptkategorie 12 (Einkauf: 9,01 Prozent), wobei in der Kategorie 12 die Stadthäuser dominieren. Die Kategorie 10.3 (Werkstätten/Kleingewerbe) hat einen Anteil von 6,80 Prozent. Hieraus lassen sich Erkenntnisse für eine Potenzialanalyse (vgl. 4) ableiten.

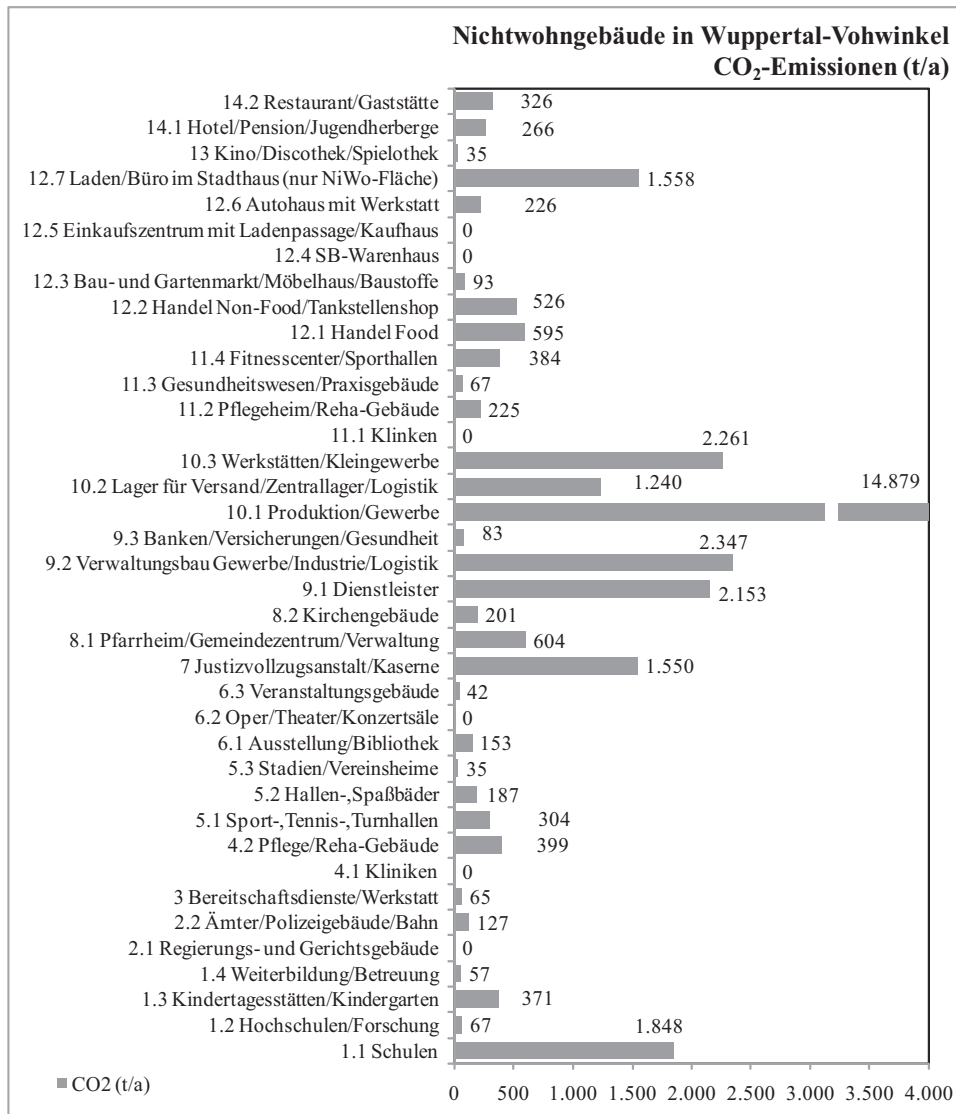
In Abbildung 12 sind die prozentualen Flächenverteilungen nach Baualtersklassen für die Non-Profit- und Profit-Organisationen aufgeführt. Die Baualtersklassen C und D haben bei den Non-Profit-Organisationen mit etwa 53 Prozent einen größeren Anteil als die Baualtersklasse A und B. Bei den Profit-Organisationen dominieren die Baualtersklassen A und B mit 64 Prozent. Dies zeigt, dass in Vohwinkel der energetisch ältere Gebäudebestand bei den Wirtschaftsbauten zu finden ist.

Abbildung 10: CO₂-Emissionen zu Hauptkategorien in Vohwinkel



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 11: CO₂-Emissionen zu allen Kategorien in Vohwinkel

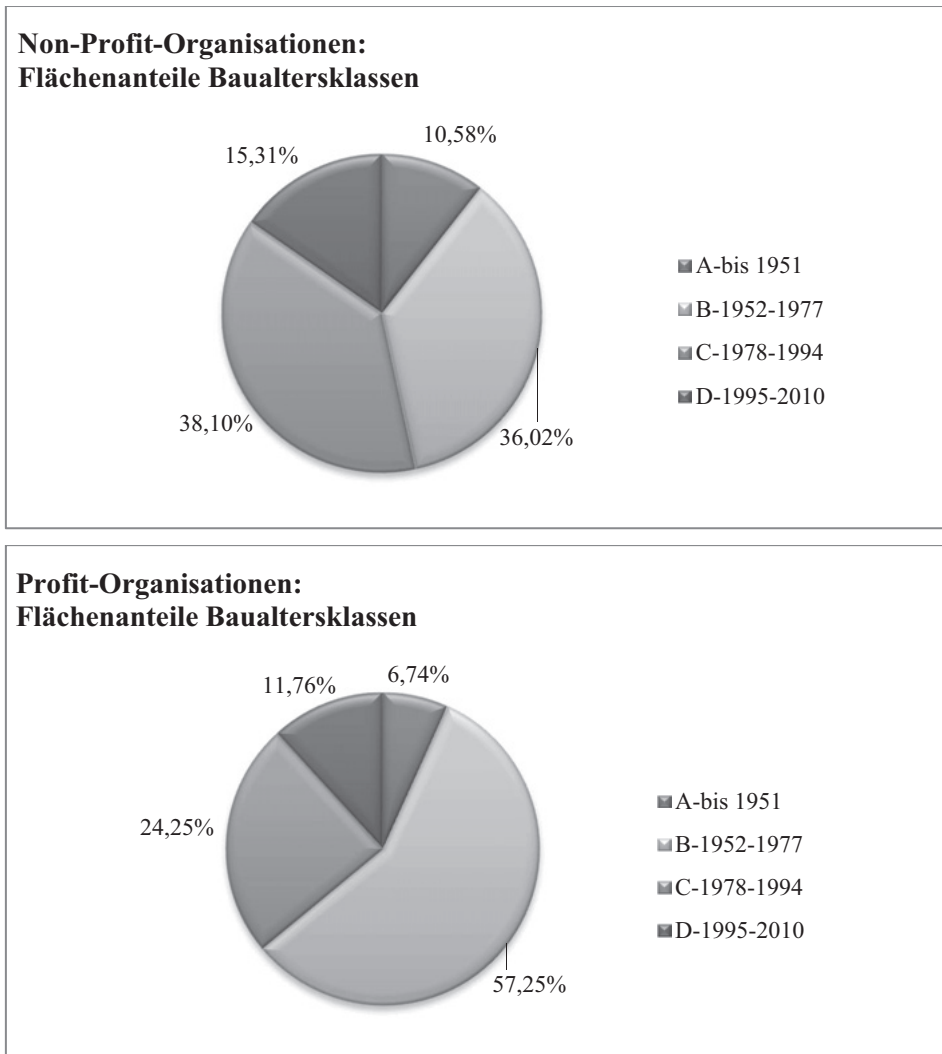


Quelle: Eigene Berechnungen

In Abbildung 13 werden die Flächenanteile nach Hauptkategorien verglichen. Bei den Non-Profit-Organisationen dominieren die Gebäude zur Hauptkategorie 1 (Bildung) mit rund 45 Prozent. Die Kategorie 7 hat infolge der angesiedelten Justizvollzugsanstalt in Vohwinkel einen Anteil von etwa 23 Prozent, gefolgt von kirchlichen Einrichtungen mit ca. zehn Prozent. Hierbei ist zu beachten, dass weitere kirchliche Einrichtungen wie Kindergärten typologisch der Kategorie 1 oder das Seniorenzentrum der

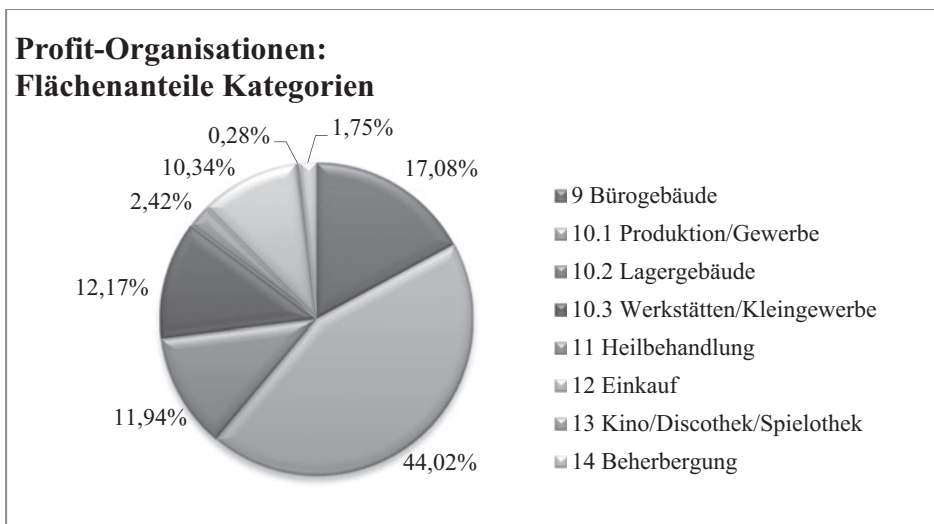
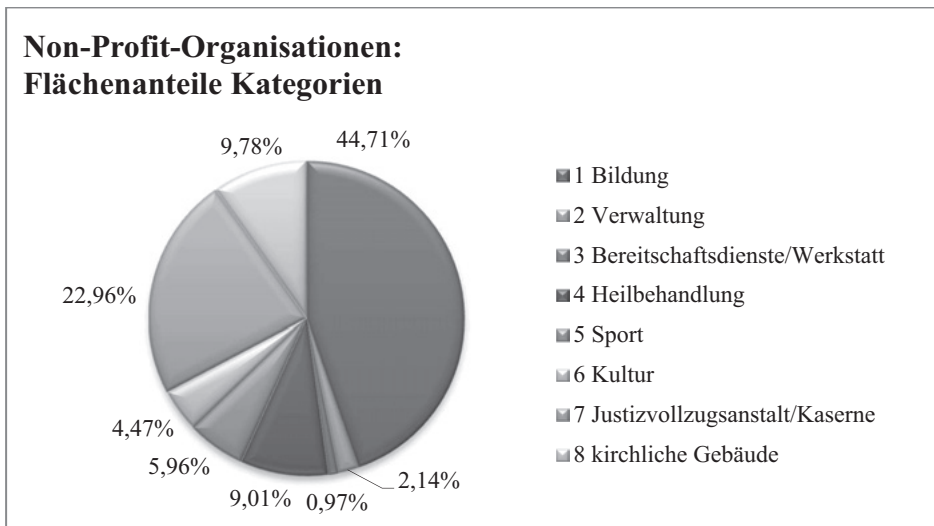
Kategorie 4 zugeordnet sind. Demnach hätten die kirchlichen Einrichtungen bezogen auf eine institutionelle Zuordnung einen größeren Anteil. Bei den Wirtschaftsbauten dominieren die Produktionsflächen mit 44 Prozent, gefolgt von Büroflächen mit 17 Prozent. Hierin sind Büroflächen von Dienstleitern und Gewerbe- bzw. Produktionsbetrieben enthalten.

Abbildung 12: Ergebnisdigramme zur Baualtersklassenverteilung in Vohwinkel



Quelle: Eigene Berechnungen, vorveröffentlicht unter: [Ham2013b], S. 9

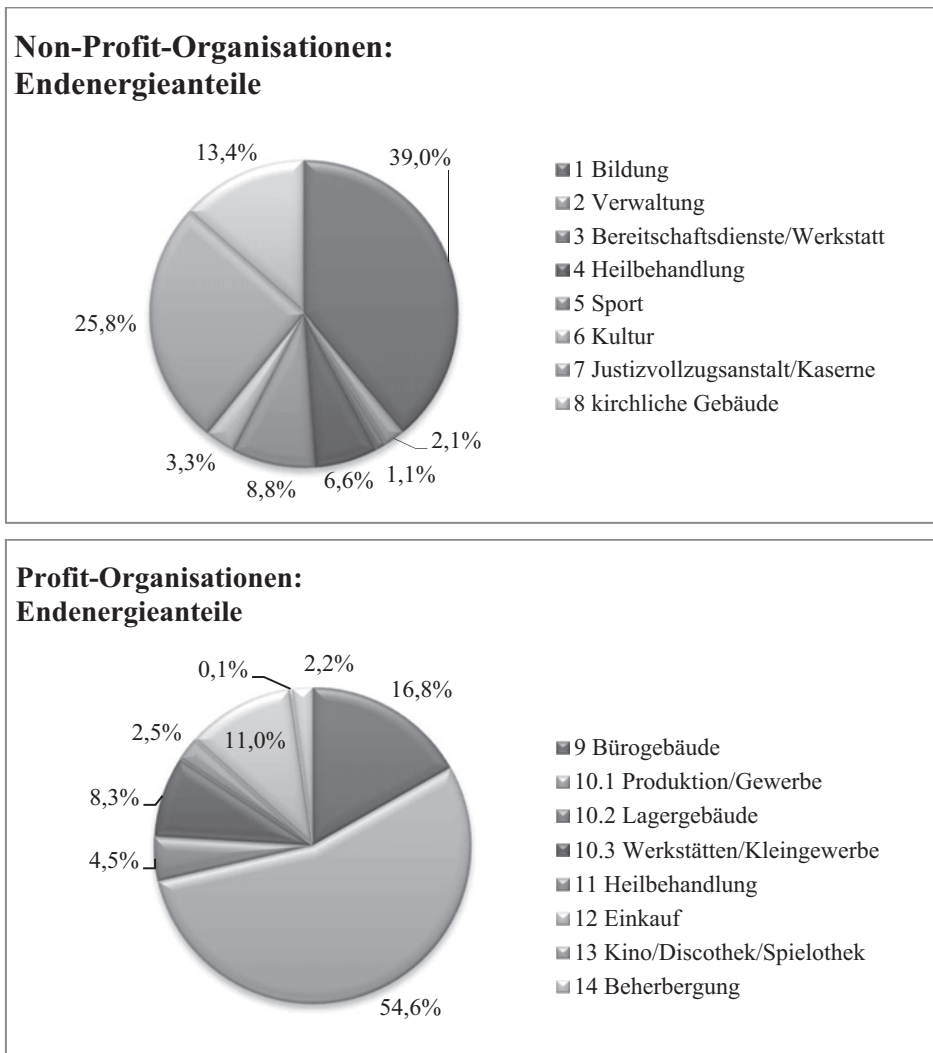
Abbildung 13: Ergebnisdiagramme zur Flächenverteilung in Vohwinkel



Quelle: Eigene Berechnungen

In Abbildung 14 sind die prozentualen Verteilungen zum Endenergieverbrauch zur Raumwärmeerzeugung aufgeführt. Bei den Non-Profit-Organisationen haben die Bereiche Bildung und kirchliche Einrichtungen mit zusammen etwa 52 Prozent ähnliche Anteile wie beim Flächenvergleich gemäß Abbildung 13. Bei den Wirtschaftsbauten haben Produktions- und Büroflächen mit zusammen ca. 71 Prozent einen größeren Anteil als beim Flächenvergleich (ca. 61 Prozent) gemäß Abbildung 16. Dies wird durch höhere Heizkennwerte im Bereich von Produktionsflächen verursacht.

Abbildung 14: Ergebnisdiagramme zur Endenergieverteilung in Vohwinkel



Quelle: Eigene Berechnungen

In Tabelle 20²¹² sind die wesentlichen Ergebnisse zum beheizten Nichtwohngebäudebestand mit Hilfe des Top-down-Ansatzes und ergänzend zu den Wohngebäuden für Vohwinkel aufgeführt.

²¹² [Vgl. Ham2013a], S. 52: Hamann Achim, Helmus Manfred, Reutter Oscar, 2013: Energiewerte und CO₂-Emissionen sind in der Vorveröffentlichung ohne Einfluss von Leerstand bzw. mit einem abweichenden Energiemix berechnet

Tabelle 20: Berechnungsergebnisse zum Top-down-Ansatz für Vohwinkel im Jahr 2010

Legende:

P: Profit-Organisationen NP: Non-Profit-Organisationen W: Wohngebäude
 BGF_{NP,P}: Bruttogrundfläche aus örtlich überprüften GIS-Daten
 BGF_W: Bruttogrundfläche Wohngebäude
 End: Endenergieverbrauch QP: Primärenergieverbrauch CO₂: CO₂-Emissionen

Ergebnisse zum Wohn- und Nichtwohngebäudebestand in Wuppertal-Vohwinkel, 2010, Energiemix Vohwinkel			
BGF _{NP} in m ²	189.544		
BGF _P in m ²	717.299	inkl. 28.526 m ² Stadthäuser	
BGF _{NP,P} in m ²	906.843	inkl. 28.526 m ² Stadthäuser	
BGF Baualtersklasse A in m ² : 68.403	BGF Baualtersklasse C in m ² : 246.157		
BGF Baualtersklasse B in m ² : 478.920	BGF Baualtersklasse D in m ² : 113.363		
BGF _W (ohne Nichtwohnflächen der Stadthäuser) in m ²	1.560.992		
End _{NP} (klimabereinigt) in kWh/a	21.652.125		
End _P (klimabereinigt) in kWh/a	98.230.677		
End _{NP,P} (klimabereinigt) in kWh/a	119.882.802		
End _W (klimabereinigt) in kWh/a	168.399.817		
End _{NP,P} und End _W (klimabereinigt) in kWh/a	288.282.619		
QP _{NP,P} (klimabereinigt) in kWh/a	134.748.269	prozentuale Anteile:	
CO _{2NP} (klimabereinigt) in t/a, %	6.010	7,51%	18,06%
CO _{2P} (klimabereinigt) in t/a, %	27.265	34,07%	81,94%
CO _{2NP,P} (klimabereinigt) in t/a, %	33.274	41,59%	
CO _{2W} (klimabereinigt) in t/a, %	46.741	58,41%	
Anteil Nichtwohngebäude NP,P an BGF in %	36,75		
CO _{2NP,P} und CO _{2W} (klimabereinigt) in t/a, %	80.015	100,00%	100,00%
CO _{2NP,P} (klimabereinigt) in t/(Einwohner · a)	1,07		

Quelle: Eigene Berechnungen, vorveröffentlicht unter: [Hel2013], S. 216 und [Ham2013a], S. 52

Die klimabereinigten CO₂-Emissionen zum gesamten beheizten Gebäudebestand betragen demnach in Vohwinkel unter Berücksichtigung des Leerstandes 80.000 Tonnen pro Jahr. Daran haben die Wohngebäude (W) einen Anteil von 58,41 Prozent²¹³, die Nichtwohngebäude der Profit-Organisationen (P) von **34,07 Prozent** und die Nichtwohngebäude der Non-Profit-Organisationen (NP) von **7,51 Prozent**. Werden nur die CO₂-Emissionen der beheizten Nichtwohngebäude mit etwa 33.000 Tonnen pro Jahr

²¹³ Vgl. [Ham2013b], S.9: Hamann Achim, 2013

betrachtet, sind anteilig die Non-Profit-Organisationen mit **18,06 Prozent** und die Profit-Organisationen mit **81,94 Prozent** beteiligt.²¹⁴

In Tabelle 20 sind weiterhin die einzelnen Bruttogrundflächen (je Baualtersklasse gemäß Anhang 1.13 und 1.14), die Endenergie- und Primärenergieverbräuche zum Gebäudebestand und zu den beheizten Nichtwohngebäuden der Non-Profit- und Profit-Organisationen zusammengestellt (inklusive Berücksichtigung des Leerstands). In Anhang 1.13 und 1.14 sind zusätzlich berechnete Energiekennwerte je Gebäudekategorie aus den Ergebnissen zu Vohwinkel für siedlungsspezifische Betrachtungen aufgeführt. Die CO₂-Emissionen pro Kopf werden mit 1,07 Tonnen pro Jahr²¹⁵ angegeben, wobei von 30.969 Einwohnern²¹⁶ in Vohwinkel ausgegangen wird.

In den Abbildungen 15 und 16 sind die Gebäudezahlen anhand der GIS-Datensätze (ohne Clustern, vgl. 2.7.2), die prozentuale BGF-Verteilung sowie die prozentuale Verteilung der CO₂-Emissionen je Gebäudekategorie innerhalb der Profit(P)- bzw. Non-Profit(NP)-Organisationen in Vohwinkel zusammengefasst. Innerhalb der Profit-Organisationen dominieren bei der Gebäudeanzahl bzw. der Datensätze die Werkstätten/Kleingewerbe (205), Produktion/Gewerbe (193), mischgenutzte Stadthäuser (161) und Verwaltungsbauten der Gewerbetreibenden (100). Bezüglich der Bruttogrundfläche beträgt der Anteil der Kategorie Produktion/Gewerbe 44,02 Prozent (315.775 Quadratmeter), Werkstätten/Kleingewerbe 12,17 Prozent (87.325 Quadratmeter) und beheizte Lagergebäude 11,94 Prozent (85.611 Quadratmeter). Die CO₂-Emissionen werden mit etwa 55 Prozent von der Kategorie Produktion/Gewerbe verursacht. Bei den Non-Profit-Organisationen sind die Schulen (44), kirchliche Gebäude ($\Sigma=28$, ohne kirchliche Kindergärten, Pflegeeinrichtungen usw.), Kindergärten/Kindertagesstätten (16) und die Sporthallen (15) am häufigsten vertreten. Die wesentlichen Bruttogrundflächenanteile innerhalb der Non-Profit-Organisationen verteilen sich in Wuppertal-Vohwinkel auf die Schulen mit 37,21 Prozent (70.525 Quadratmeter), die Justizvollzugsanstalt mit 22,96 Prozent (43.514 Quadratmeter) und die kirchlichen Gebäude mit in Summe 9,78 Prozent ($\Sigma=18.531$ Quadratmeter, ohne kirchliche Kindergärten, Pflegeeinrichtungen usw.). Den größten Anteil an den CO₂-Emissionen tragen die Schulen mit rund 31 Prozent bei. In Anhang 1.15 sind zusätzlich die prozentualen Verteilungen zu den CO₂-Emissionen, zur Gebäudeanzahl (GIS-Datensätze) und zu den Bruttogrundflächen für alle 38 Kategorien der Nichtwohngebäude dargestellt. Insgesamt wurden 155 beheizte Gebäude bzw. Gebäudeteile gemäß GIS-Datensätze für Non-Profit-Organisationen mit 189.544 Quadratmeter BGF und 902 für Profit-Organisationen (davon 161 Stadthäuser mit Nichtwohnflächen im Erdgeschoss) mit 717.299 Quadrat-

²¹⁴ Vgl. [Ham2013b], S.9: Hamann Achim, 2013

²¹⁵ a.a.O.

²¹⁶ Vgl. [Wup2012], Stadt Wuppertal (Hrsg.), Stand 31.12.2010

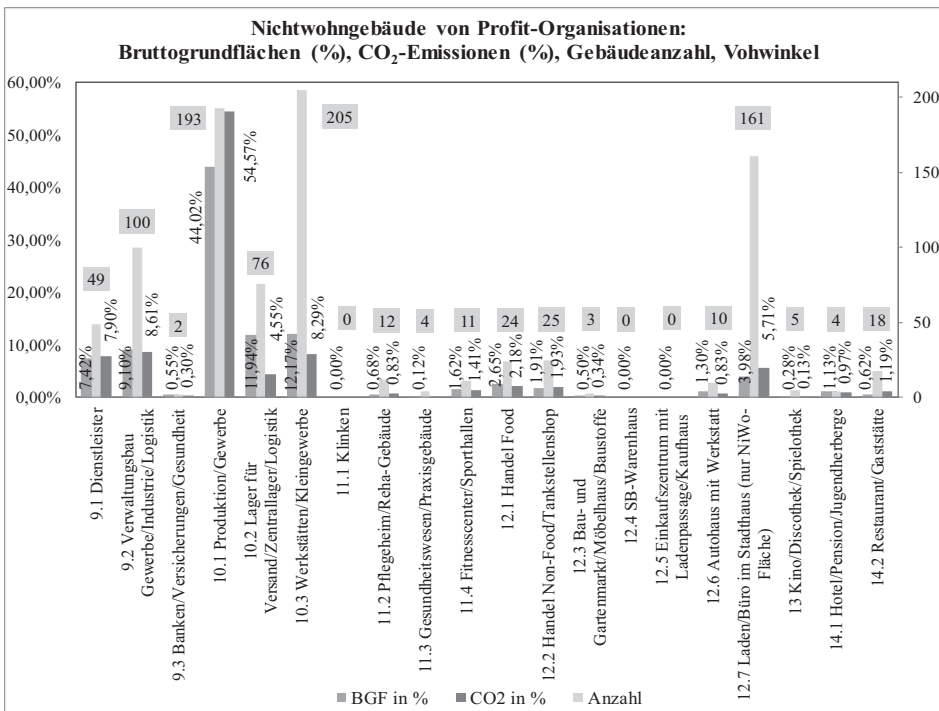
meter BGF identifiziert. Zu den in Vohwinkel nicht vorhandenen Gebäudekategorien entfallen die Angaben.

Interpretation:

Die dargestellten Verteilungen je Organisationsform für die Gebäudekategorien, Baualtersklassen, Endenergie und CO₂-Emissionen verdeutlichen die einzelnen Anteile innerhalb der Siedlungsstruktur und geben bereits Hinweise auf Potenziale, die unter Kapitel 4 weiter untersucht werden. Die Analyse zum Bestand zeigt deutlich, dass der Anteil der Non-Profit-Organisationen mit etwa 7,5 Prozent am gesamten Raumwärmebereich inklusive Wohngebäude eher klein ist. Insbesondere der Anteil der kommunalen Gebäude, die etwa eine Größenordnung von 40 Prozent bei den Non-Profit-Organisationen ausmachen, beträgt somit etwa drei Prozent am gesamten Raumwärmesektor bzw. rund sieben Prozent, bezogen auf die Nichtwohngebäude. Demnach wird deutlich, in welcher Größenordnung sich der Einfluss der Wirtschaftsbauten darstellt.

Abbildung 15: Gebäudezahlen und BGF-/CO₂-Verteilung (Profit-Organisationen) in Vohwinkel

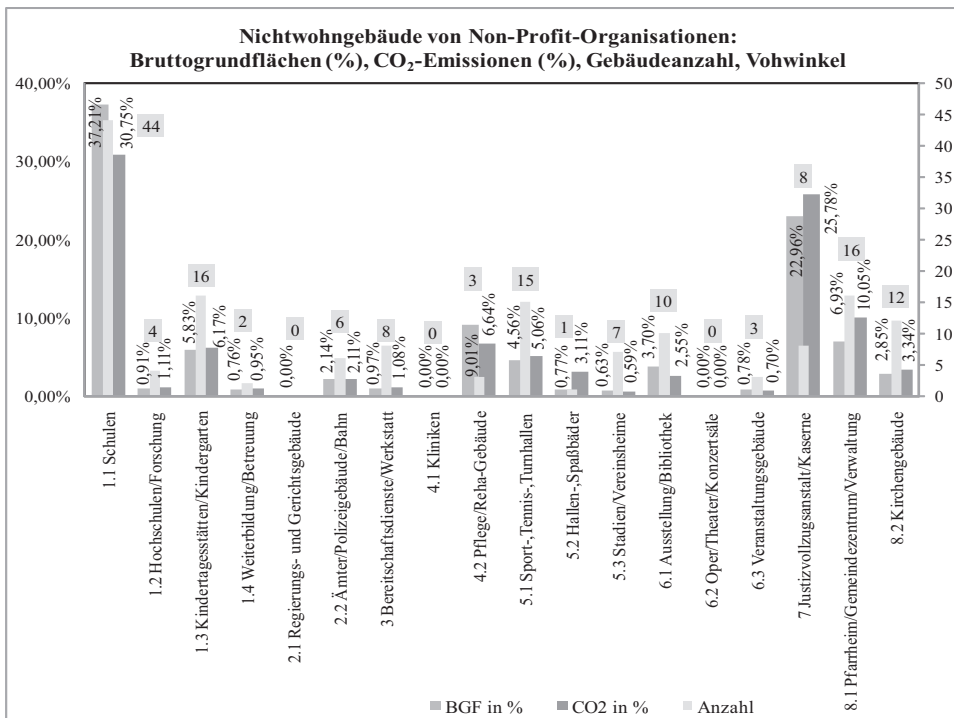
Profit-Organisationen: Gebäudeanzahl/GIS-Datensätze: 100% = 902 Stück
 Bruttogrundfläche: 100% = 717.299 m²
 CO₂-Emissionen: 100% = 27.265 t/a



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 16: Gebäudezahlen und BGF-/CO₂-Verteilung (Non-Profit-Organisationen) in Vohwinkel

Non-Profit-Organisationen: Gebäudeanzahl/GIS-Datensätze: 100% = 155 Stück
 Bruttogrundfläche: 100% = 189.544 m²
 CO₂-Emissionen: 100% = 6.010 t/a



Quelle: Eigene Berechnungen

Die Abbildungen 15 und 16 sowie der Anhang 1.15 sollen die Verteilungen zu Gebäudezahlen, Bruttogrundflächen und CO₂-Emissionen der Gebäudekategorien verdeutlichen. Hierin sind verschiedene Anteile von Nichtwohngebäudetypen innerhalb der städtischen Struktur konkret erkennbar. Mit Hilfe dieser veranschaulichten Datenaufbereitung und einer weiterführenden Potenzialanalyse (vgl. 4) wird es möglich, Gebäudetypen zu identifizieren, die quantitativ besonders relevant sind und zu einer kurzfristigen CO₂-Emissioneneinsparung viel beitragen können. Diese Gebäudetypen sind zunächst in den Fokus zu rücken und gesonderte politische Handlungsmaßnahmen abzuleiten, damit entsprechende Anreize zur Gebäudesanierung geschaffen werden.

Beispielsweise verursacht der Produktionsbereich zwar rund 45 Prozent der Gesamtemissionen (vgl. Anhang 1.15), jedoch verteilt sich dieser Anteil auf 193 (bzw. rund 18 Prozent, vgl. Anhang 1.15) Gebäudeteile, was auf einen entsprechend großen Akteurskreis hinweist. Die Werkstätten verursachen mit etwa 19 Prozent Anteil an der

Gebäudezahl und demnach ebenso vielen Akteuren einen Anteil an den Treibhausgasemissionen von nur rund sieben Prozent. Dies zeigt, dass durch die große Akteurs- und Gebäudeanzahl kein großes Potenzial auf kurzer Sicht realisiert werden kann. Im Gegensatz dazu wird deutlich, dass durch die Sanierung von 44 (ca. vier Prozent) Gebäudeteilen zu Schulen, die 5,5 Prozent (vgl. Anhang 1.15) der Gesamtemissionen verursachen, und den im Verhältnis kleinen Akteurskreis das Reduktionspotenzial kurzfristig einfacher erreicht werden kann. Die Potenzialanalyse zu den Gebäudekategorien wird in Kapitel 4 konkretisiert und daher um die Einflüsse durch Akteure und auch wirtschaftliche Rahmenbedingungen erweitert.

Ergebnisse zum Bottom-up-Ansatz

Die zuvor dargestellten energetischen Werte zu den GIS-Datensätzen mit Hilfe des Top-down-Ansatzes weichen beim Bottom-up-Ansatz hinsichtlich des Energiebedarfs und der resultierenden CO₂-Emissionen ab, da anstelle der Verbrauchskennwerte Bedarfskennwerte (vgl. 2.6.2) zugewiesen werden.

In Anhang 1.16 sind die aggregierten Tabellen zum Bottom-up-Ansatz hinterlegt. Die Energieträgerdaten (vgl. Tabelle 19) und der Leerstand (zehn Prozent) werden wie beim Top-down-Ansatz berücksichtigt. Die detaillierte Ergebnisdarstellung ist analog zum Top-down-Ansatz in Anhang 1.17 hinterlegt. Die Grafiken beinhalten die prozentualen Verteilungen zu den CO₂-Emissionen und zur Endenergie je Gebäudekategorie und je Organisationsform sowie die Verteilungen zu Bruttogrundflächen und zur Gebäudeanzahl (GIS-Datensätze). Die wesentlichen Berechnungsergebnisse²¹⁷ werden in Tabelle 21 für den Energiemix »Vohwinkel« zusammengefasst. Auf Grund eines detaillierten Ergebnisvergleichs können vorab folgende Unterschiede zum Top-down-Ansatz herausgestellt werden:

- Bei den Gebäuden der Kategorie »Bildung«, »Lagergebäude« und »Bürogebäude« vergrößern sich die Anteile an den CO₂-Emissionen um jeweils ca. zwei Prozent, bezogen auf die Gesamtemissionen.
- Der Anteil der Kategorie »Produktion« schwächt sich von rund 45 Prozent auf ca. 35 Prozent ab.

Die Werte gemäß Tabelle 21 zu den Wohngebäuden wurden den Ergebnissen zum Top-down-Ansatz entnommen, da keine Berechnungen zum Wohngebäudebestand auf Basis von Bedarfswerten erfolgten. Die Werte dienen dabei der Abschätzung der prozentualen Verteilung der CO₂-Emissionen zwischen dem Nichtwohngebäude- und Wohngebäudebestand.

²¹⁷ Vgl. [Hel2013], S. 220: Helmus Manfred, Reutter Oscar, Hamann Achim, 2013: an aktualisierten Energiemix und Leerstand angepasste Werte

Tabelle 21: Berechnungsergebnisse zum Bottom-up-Ansatz für Vohwinkel im Jahr 2010

Legende zu Tabelle 21 und 22:

P: Profit-Organisationen NP: Non-Profit-Organisationen W: Wohngebäude
 End: Endenergiebedarf QP: Primärenergiebedarf CO₂: CO₂-Emissionen

Berechnungsergebnisse zum Gebäudebestand in W-Vohwinkel, Energiemix Vohwinkel			
End _{NP} (klimabereinigt) in kWh/a	27.761.763		
End _P (klimabereinigt) in kWh/a	100.851.834		
End _{NP,P} (klimabereinigt) in kWh/a	128.613.597		
End _W (klimabereinigt) in kWh/a	168.399.817		
QP _{NP,P} (klimabereinigt) in kWh/a	144.561.682		
CO _{2NP} (klimabereinigt) in t/a	7.705	9,35%	21,59%
CO _{2P} (klimabereinigt) in t/a	27.992	33,96%	78,41%
CO _{2NP,P} (klimabereinigt) in t/a	35.698	43,30%	
CO _{2W} (klimabereinigt) in t/a	46.741	56,70%	
CO _{2NP,P} und CO _{2W} (klimabereinigt) in t/a, %	82.439	100,00%	100,00%
End _{NP,P} und End _W (klimabereinigt) in t/a	297.013.414		
CO _{2NP,P} (klimabereinigt) in t/(Einwohner · a)	1,15		

Quelle: Eigene Berechnungen, mit abweichendem Energiemix vorherveröffentlicht unter: [Hel2013], S. 220

Vergleich der Ergebnisse zum Top-down- und Bottom-up-Ansatz

Der Vergleich soll die Bandbreite der Ergebnisse infolge variierender Heizkennwerte aufzeigen. Die Variation weiterer Parameter und der Einfluss auf die Ergebnisse werden mit Hilfe der Sensitivitätsanalyse (vgl. 3.6) dargestellt. In Tabelle 22 sind die Ergebnisse zur Endenergie, zur Primärenergie und zu den CO₂-Emissionen des Top-down- und Bottom-up-Ansatzes zu Wuppertal- Vohwinkel gegenübergestellt.²¹⁸

Hierbei ist jeweils der Leerstand mit zehn Prozent und der Energiemix »Vohwinkel« gemäß Tabelle 19 berücksichtigt. Es ist erkennbar, dass beim Bottom-up-Modell die Endenergie, die Primärenergie und die CO₂-Emissionen in Summe ca. sieben Prozent höher ermittelt werden, da die Heizkennwerte je Baualtersklasse im Schnitt höher liegen (vgl. Tabelle 13 und 14).

Zusätzlich ist feststellbar, dass beim Bottom-up-Modell der Anteil der Non-Profit-Organisationen mit 21,59 Prozent etwas höher bewertet wird als beim Top-down-Modell (18,06 Prozent). Der Gesamtanteil der Nichtwohngebäude fällt mit 43,30 Pro-

²¹⁸ Vgl. [Hel2013], S. 221: Helmus Manfred, Reutter Oscar, Hamann Achim, 2013: an aktualisierten Energiemix und Leerstand angepasste Werte

zent im Gegensatz zu 41,59 Prozent ebenso beim Bottom-up-Modell etwas höher aus, wobei der Bezug zu den Wohngebäuden bei beiden Ansätzen gleich ist. Die restlichen 58,41 Prozent bzw. 56,70 Prozent entfallen auf die Raumwärme des Wohngebäudebestands.

Tabelle 22: Vergleich Berechnungsergebnisse Top-down- und Bottom-up-Ansatz, Vohwinkel, 2010

Berechnungsergebnisse zum Nichtwohngebäudebestand in Wuppertal-Vohwinkel						
Energiemix Wuppertal-Vohwinkel	Top-down			Bottom-up		
End _{NP} (klimabereinigt) in kWh/a	21.652.125			27.761.763		
End _P (klimabereinigt) in kWh/a	98.230.677			100.851.834		
End _{NP,P} (klimabereinigt) in kWh/a	119.882.802			128.613.597		
QP _{NP,P} (klimabereinigt) in kWh/a	134.748.269			144.561.682		
CO _{2NP} (klimabereinigt) in t/a, %	6.010	7,51%	18,06%	7.705	9,35%	21,59%
CO _{2P} (klimabereinigt) in t/a, %	27.265	34,07%	81,94%	27.992	33,96%	78,41%
CO _{2NP,P} (klimabereinigt) in t/a, %	33.274	41,59%		35.698	43,30%	
CO _{2NP,P} (klimabereinigt) in t/(Einwohner · a)	1,07			1,15		

Quelle: Eigene Berechnungen, mit abweichendem Energiemix vorveröffentlicht unter: [Hel2013], S. 216, 220-221

Werden die ermittelten Ergebnisse zu den CO₂-Emissionen zum Stadtbezirk Vohwinkel auf die Einwohner (pro Kopf) bezogen, kann festgestellt werden, dass die Beheizung der Nichtwohngebäude derzeit pro-Kopf-Emissionen von 1,07 Tonnen CO₂ pro Jahr bis 1,15 Tonnen CO₂ Jahr verursacht.

Bis zum Jahr 2050 soll ein bevölkerungsspezifischer Emissionswert (Deutschland IST = zehn Tonnen pro Jahr), bei angenommenen zehn Milliarden Menschen, von einer Tonne CO₂ pro Kopf und Jahr für alle Energieverbräuche erzielt werden, da die Aufnahmefähigkeit unserer Welt damit erreicht ist.²¹⁹

Mit Hilfe dieses Vergleichs ist das Ausmaß der zukünftigen gesellschaftlichen Umstrukturierung in der Stadtentwicklung erkennbar und, dass zum Erreichen der Ziele ein entsprechender Beitrag des beheizten Nichtwohngebäudebestandes inklusive Forschungsaufwand geleistet werden muss. Für Vohwinkel können für das Jahr 2010 aus beiden Ansätzen mittlere Energiekennwerte zu den beheizten Nichtwohngebäuden mit Bezug auf Einwohner (E = pro Kopf), auf sozialversicherungspflichtige Beschäftigte (SVB) und die Bruttogrundfläche (BGF) wie folgt aufgezeigt werden:

²¹⁹ Vgl. [Die2008], Folie 4: Diefenbach Nikolaus, 2008

Tabelle 23: Energiekennwerte für Vohwinkel, 2010

Bezug: pro Kopf (Einwohner = E, Stand: 31.12.2010: 30.969 ²²⁰):	
4.048 kWh End _{NP,P} /(a·E),	1,11 t CO ₂ /(a·E)
Bezug: SVB (9.896, vgl. 2.8.3):	
12.555 kWh End _{NP,P} /(a·SVB),	3,48tCO ₂ /(a·SVB)
Bezug: m ² BGF _{NP,P} (906.843 m ² , vgl. 2.7.3):	
137,01 kWh End _{NP,P} /(a·m ² _{BGF}),	0,038 t CO ₂ /(a·m ² _{BGF})

Quelle: Eigene Berechnungen, teilweise vorveröffentlicht unter [Ham2013c]

Vergleich mit Wärmeverbrauchszahlen der Stadtwerke zu Wuppertal-Vohwinkel:

Aus der von den Wuppertaler Stadtwerken (WSW) zur Verfügung gestellten Verbrauchsliste²²¹ lassen sich für das Jahr 2010 in Summe 249.965.175 Kilowattstunden²²² (nicht klimabereinigt) Endenergieverbrauch zum Heizen ableiten. Wird der Verbrauch mit der Gradtagzahl zu Wuppertal für das Jahr 2010 (3.688 Kelvintage pro Jahr²²³) klimabereinigt, ergeben sich 263.181.880 Kilowattstunden pro Jahr zum Wohn- und Nichtwohngebäudebestand.

Gemäß dem eigenen Top-down-Modellansatz werden für den beheizten Nichtwohngebäudebestand 119.882.802 Kilowattstunden pro Jahr (vgl. Tabelle 22) und für die Wohngebäude 168.399.817 Kilowattstunden pro Jahr (vgl. Tabelle 21) berechnet, was in Summe eine Endenergie von 288.282.619 Kilowattstunden pro Jahr ergibt. Demnach besteht bei einer Betrachtung zum gesamten Gebäudebestand in Vohwinkel eine Differenz von ca. zehn Prozent zu den Werten der WSW, wobei die WSW von einer Ungenauigkeit in der Größenordnung von ebenso mindestens zehn Prozent²²⁴ ausgehen. Aus der Zusammenstellung der WSW ergibt sich weiterhin der klimabereinigte Anteil der Nichtwohngebäude mit nur 85.398.785 Kilowattstunden pro Jahr²²⁵ (= 81.110.152 kWh/a / 3.688 Kd/a · 3.883 Kd/a), was eine größere Abweichung zu den berechneten 119.882.802 Kilowattstunden pro Jahr bedeutet. Die Abweichung könnte damit zu tun haben, dass die Zahlen der WSW zum gesamten Gebäudebestand bei über

²²⁰ Vgl. [Wup2012]: Stadt Wuppertal (Hrsg.), 2012

²²¹ Vgl. [WSW2013a], Datengrundlage: interne Tabelle der Stadtwerke Wuppertal, 2013

²²² Vgl. [Wern2013a]: Wernersbach Stefan: Auswertung der internen Tabelle der Stadtwerke Wuppertal am Wuppertal Institut, 2013

²²³ Vgl. [IWU2012]: Institut Wohnen und Umwelt (Hrsg.), 2012

²²⁴ Vgl. [WSW2013b]: Erläuterungen zur internen Tabelle der Stadtwerke Wuppertal, E-Mail vom 17.04.2013

²²⁵ Vgl. [Wern2013a]: Wernersbach Stefan: Auswertung der unveröffentlichten Tabelle der Stadtwerke Wuppertal, 2013

1.000 Gebäuden in Vohwinkel keine Flächenangaben beinhalten und somit keine Verbräuche zugewiesen wurden, wobei teilweise Nichtwohngebäude auch über andere Gebäude versorgt werden.²²⁶

Bei den aufgeführten Nichtwohngebäuden waren von 355 Gebäudeeinheiten 201 ohne Nutzflächenangaben. Wie viele Nichtwohngebäude von anderen Gebäuden unterversorgt werden und wie viele gänzlich unberücksichtigt blieben, ist nicht bekannt. Aus den Zusammenhängen heraus ist eine größere Abweichung als die von den WSW geschätzten mindestens zehn Prozent zu erwarten, was die oben aufgezeigte größere Abweichung zum Bestandsmodell erklären könnte. Des Weiteren bauen die Daten der WSW auf Angaben der Stadt²²⁷ auf, die gemäß 3.5 als unvollständig zu bezeichnen sind und somit weitere Ungenauigkeiten verursachen.

Vergleich zur Verteilung der Flächen und Gebäudeanzahl in Vohwinkel mit der kommunalen und sozialen Infrastruktur in Deutschland (Non-Profit-Organisationen):

Die Ergebnisse zu Vohwinkel sollen gemäß 2.8.3 auch für eine erste Abschätzung zur bundesweiten Bestandssituation (vgl. Anhang 1.21) herangezogen werden. Da Vohwinkel eine Stichprobe in der Größenordnung von nur 0,04 Prozent (vgl. 2.8.3) darstellt, ist ein Ergebnisvergleich mit aktuellen vorhandenen Studien zu dem Themenkomplex sinnvoll. Ziel dieses Arbeitsschrittes ist es daher, die Gebäude- und Flächenverteilungsstrukturen in Vohwinkel mit Strukturen zu einer bundesweiten Untersuchung zu vergleichen. Dadurch können übereinstimmende oder abweichende Muster erkannt werden, was für die ersten Abschätzungen zu Deutschland aus den örtlich überprüften GIS-Daten von Vohwinkel als Ergänzung zur Diskussion unter 2.8.3 nützlich ist.

Es wird dazu nachfolgend die festgestellte Gebäudestruktur der Non-Profit-Organisationen in Vohwinkel mit der kommunalen und sozialen Gebäudeinfrastruktur aus einer Studie zu Deutschland²²⁸ verglichen. Der Vergleich beruht auf der eigenen GIS-Daten-Analyse zu Wuppertal-Vohwinkel und den Untersuchungen²²⁹ zu Gebäudetypen mit Bezug auf die Anzahl der Institutionen bzw. Einheiten. Die eigenen Untersuchungen bewerten keine Nutzungseinheiten oder Institutionen, sondern einzelne Gebäude bzw. Gebäudeteile (GIS-Datensätze). Ein Clustern von mehreren GIS-Datensätzen, die insbesondere bei größeren Gebäudekomplexen vorkommen, zu Gebäudeeinheiten wurde nicht vorgenommen (vgl. 2.7.2). Diese Diskussionsergänzung schließt sich infolge der nun vorliegenden Ergebnisse an.

²²⁶ Vgl. [WSW2013b]: Erläuterungen zur internen Tabelle der Stadtwerke Wuppertal, E-Mail vom 17.04.2013

²²⁷ a.a.O.

²²⁸ Vgl. [Heb2011], S. 31-34: Hebel von Elisabeth, Jahn Karin et al., 2011

²²⁹ a.a.O.

Aus den aufbereiteten Ergebnissen zu Vohwinkel gemäß den relevanten GIS-Daten in Tabelle 16 ist in Anhang 1.18 der Vergleich zu den Bruttogrundflächen und Gebäudezahlen (GIS-Datensätze) mit der Verteilung zur bundesweiten Gebäudestruktur im Non-Profit-Bereich grafisch aufbereitet. In der zitierten Untersuchung wird beispielsweise die Anzahl zu Schulen oder Kindertagesstätten angegeben, unabhängig davon, aus wie vielen Gebäudeteilen die Institution oder Einheit besteht.

Von daher ist hauptsächlich der Vergleich zur Bruttogrundfläche von Interesse. Werden dennoch beispielhaft die Liegenschaftsdaten für die Kategorie 1.1 zu Vohwinkel zu einheitenbasierenden Daten zusammengefasst (clustern), können die festgestellten 44 GIS-Datensätze, die Gebäude und Gebäudeteile zu Schulen darstellen, auf 17 Einheiten reduziert werden. Hochgerechnet auf Deutschland ergeben sich demnach schätzungsweise 47.603 Schulen. Der Vergleich mit den angegebenen 53.500 Schulen²³⁰ zeigt eine Abweichung von rund zwölf Prozent, was bezogen auf die sehr kleine Stichprobe in Vohwinkel dennoch ein plausibles Ergebnis mit akzeptabler Fehlerabweichung liefert.

Die Kategorie 7 und 8.2 (Justizvollzugsanstalt/Kaserne und Kirchengebäude) sind in der Studie nicht enthalten. Dafür werden Jugendherbergen und Sehenswürdigkeiten, die in dieser Arbeit nicht als gesonderte Kategorie ausgewiesen sind, berücksichtigt. Jugendherbergen können jedoch der Kategorie 14.1 zugewiesen werden. Durch die Zuweisung der Einheiten aus der zitierten Literaturstelle zu den hier definierten Gebäudekategorien kann der Vergleich zur Verteilung der jeweiligen Gebäudeanzahl und der Bruttogrundfläche erfolgen. Dabei konnten Verwaltungsgebäude gemäß der zitierten Untersuchung nur der Kategorie 2.2 zugeordnet werden. Der Kategorie 2.1 wurden keine Anteile zugewiesen.

In den beiden Grafiken des Anhanges 1.18 ist die Verteilung zu Vohwinkel und Deutschland gegenübergestellt. Etliche Verteilungsmuster stimmen in Vohwinkel mit der Verteilung zu bundesdeutschen Verhältnissen²³¹ relativ gut überein (Kategorie 1.1, 1.3, 1.4, 4.2, 5.2, 6.3 und 8.1), andere Kategorien sind in Vohwinkel über- bzw. unterrepräsentiert (2.1, 3, 4.1, 5.3, 6.2 und 7).

Insgesamt zeigt diese Gegenüberstellung bei den Non-Profit-Organisationen in Vohwinkel im Vergleich zur bundesweiten Untersuchung tendenziell vergleichbare Verteilungsmuster zu den beheizten Nichtwohngebäudeflächen je Kategorie bzw. Institution. Demnach kann eine Abschätzung mit Hilfe des Modellansatzes und der GIS-Daten-Analyse zu Wuppertal-Vohwinkel eine erste Annäherung an den Nichtwohngebäudebestand der Non-Profit-Organisationen auf bundesdeutscher Ebene liefern.

²³⁰ Vgl. [Heb2011], S. 31: Hebel von Elisabeth, Jahn Karin et al., 2011

²³¹ a.a.O., S. 31-34

3.3 Bestimmung Modellparameter für vereinfachten Ansatz, Wuppertal

Im vorhergehenden Kapitel konnte aufgezeigt werden, dass die detaillierte Vorgehensweise zur Analyse der GIS-Daten inklusive den Berechnungen eine differenzierte Ergebnisdarstellung je Gebäudekategorie, Baualtersklasse, Bruttogrundfläche, Gebäudeanzahl und CO₂-Emissionen ermöglicht und damit eine detaillierte Grundlage beispielsweise für eine ebenso detaillierte Potenzialanalyse geschaffen wird.

Diese Ergebnisse sind jedoch nur durch einen entsprechend großen Aufwand bei der Datenaufbereitung und den Berechnungen zu erzielen und stellen daher für ein gesamtes städtisches Gebiet, wie beispielsweise für Wuppertal, eine kostenintensivere Vorgehensweise dar. Eine angemessene Lösung bietet ein Schnellanalyseansatz, der auf Basis einer detaillierten Analyse zu einem Stadtteil entwickelt wird. Am Beispiel von Wuppertal wird dieser vereinfachte Ansatz zur Abschätzung der Endenergie, der Primärenergie und den CO₂-Emissionen durch die Beheizung der Nichtwohngebäude sowie die prozentuale Verteilung auf Profit- und Non-Profit-Organisationen anhand der Ergebnisse zu Vohwinkel aufgezeigt. Damit wird ein aufwands- und kostenbewusstes Modell den Kommunen zur Verfügung gestellt. Die Vorgehensweise ist in Kapitel 2.8.2 dargestellt. Die Bestimmung der Modellparameter für den Top-down- und Bottom-up-Ansatz wird nachfolgend aufgeführt.

Top-down-Ansatz:

Die Modellparameter a , KO und KA sind für die folgenden linearen Gleichungen gemäß Kapitel 2.8.2 aus der GIS-Daten-Analyse zu Vohwinkel herzuleiten:

$$End_{NP,P} = a \cdot KO \cdot KA \cdot \left(\sum GF_{GIS} \cdot AN_{GIS} \right) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

$$QP_{NP,P} = a \cdot KO \cdot KA \cdot \left(\sum GF_{GIS} \cdot AN_{GIS} \right) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[\sum_1^p \frac{EQp}{100} \cdot PFp \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

$$CO_{2NP,P} = a \cdot KO \cdot KA \cdot \left(\sum GF_{GIS} \cdot AN_{GIS} \right) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[\sum_1^p \left(\frac{EQp}{100} \right) \cdot \left(\frac{CO_2Fp}{1000} \right) \cdot PFp \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

Beim vereinfachten Modellansatz werden die Originalflächen (GF) und Geschosshöhen (AN) aus den nicht überprüften GIS-Daten angesetzt. Hierbei sind nur die relevanten GIS-Datentypen nach Tabelle 16 (vgl. 2.7.3) zu aggregieren. Zunächst ist der Korrekturfaktor KO , der die anzusetzende Bruttogrundfläche auf Grund der fehlenden örtlichen Überprüfung anpasst, zu ermitteln. Der Korrekturfaktor resultiert aus der örtlichen Überprüfung der GIS-Daten in Vohwinkel anhand der aggregierten, relevanten GIS-Datensätze gemäß Tabelle 16. Der Wert ergibt sich aus der detaillierten Vorgehensweise und wurde bereits aus dem Flächenverhältnis » $BGF_{NP,P} / BGF_{GIS}$ « berechnet (vgl. 2.7.3):

$$KO = \frac{BGF_{NP,P}(m^2)}{BGF_{GIS}(m^2)} = \frac{906.843m^2}{1.162.499m^2} = 0,78$$

Statistische Diskussion zum Steigungsverhältnis (a), Top-down-Ansatz:

Der Parameter a stellt das Steigungsverhältnis der linearen Gleichung (ohne Leerstands- und Klimafaktor) zur Endenergie dar, welches aus den 1.057 Datensätzen zu Vohwinkel mit Hilfe einer Regressionsanalyse berechnet werden kann.

$$End_{2NP,P} = a \cdot KO \cdot \left(\sum GF_{GIS} \cdot AN_{GIS} \right)$$

Somit ist der Parameter a ein durch die Regressionsanalyse gewonnener Heizkennwert, der alle Gebäude bzw. Gebäudeteile (GIS-Datensätze) repräsentiert. Die Regressionsanalyse ist grafisch in Anhang 1.19 ausschnittsweise dargestellt. Das berechnete Steigungsverhältnis lautet $a = 149,46$ Kilowattstunden pro Quadratmeter Bruttogrundfläche und Jahr, bei einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,89$. Die 1.057 Werte zum Endenergieverbrauch können demnach auf Grundlage der Bruttogrundfläche durch die Regressionsgeraden zu 89 Prozent erklärt werden.

In der statistischen Analyse der Daten gemäß Anhang 1.19 ist weiterhin die Summenhäufigkeit, die Häufigkeitsverteilung, das arithmetische Mittel mit 146,61 Kilowattstunden pro Quadratmeter Bruttogrundfläche und Jahr, der Modalwert mit 100,96 Kilowattstunden pro Quadratmeter Bruttogrundfläche und Jahr und der Median mit 153,38 Kilowattstunden pro Quadratmeter Bruttogrundfläche und Jahr zum Heizkennwert sowie ein Histogramm angegeben. Durch die Darstellung der Summenhäufigkeit wird insbesondere der Ausreißer zur Gebäudekategorie 5.2 mit 495 Kilowattstunden pro Quadratmeter Bruttogrundfläche und Jahr und die Häufung zwischen 100 und 200 Kilowattstunden pro Quadratmeter Bruttogrundfläche und Jahr deutlich. In der Darstellung der Verteilung zu allen Heizkennwerten wird die Anzahl der einzelnen Werte und der Modalwert mit 100,96 Kilowattstunden pro Quadratmeter Bruttogrundfläche und Jahr, als häufigster Wert²³², verdeutlicht. Er weicht um rund 50 Kilowattstunden pro Quadratmeter Bruttogrundfläche und Jahr vom Steigungsverhältnis gemäß linearer Regression ab, da beim Modalwert die Heizkennwerte der am häufigsten vertretenen Gebäudekategorien überproportional einfließen.

Der Mittelwert und der Median liegen dagegen dicht beim berechneten Steigungsverhältnis und haben daher auch eine nutzbare Aussagekraft. Beispielsweise kann auch der Mittelwert zu den Heizkennwerten der Nichtwohngebäude für eine überschlägige gebietsbezogene Betrachtung herangezogen werden.

²³² Vgl. [Stö1999], S. 259: Stöcker Horst (Hrsg.), 1999

Als Grundlage des Histogramms sind die Klassenbildung und die Klassenbreiten²³³ sowie deren Berechnungsansätze in Anhang 1.19 aufgeführt. Zur grafischen Darstellung werden die Klassenbreite mit 50 und die Klassenzahl mit 9 in Anlehnung an die aufgeführten Berechnungsgrundlagen gewählt. Das Histogramm zeigt gemäß Anhang 1.19 eine Verteilung, die von der Normalverteilung abweicht und als rechtsschiefe Verteilung²³⁴ bezeichnet werden kann.

Auf Grund der Regressionsanalyse und des Korrekturfaktors ergibt sich die lineare Gleichung für die CO₂-Emissionen zum vereinfachten Ansatz zunächst wie folgt:

$$CO_{2NP,P} = 149,46 \cdot 0,78 \cdot KA \cdot \left(\sum GF_{GIS} \cdot AN_{GIS} \right) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[\sum_1^p \left(\frac{EQp}{100} \right) \cdot \left(\frac{CO_2Fp}{1000} \right) \cdot PFP \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

Letztlich ist der Kalibrierungsfaktor zu bestimmen. Dieser passt das Ergebnis, was sich aus der obigen Gleichung zu Vohwinkel mit 34.982 Tonnen pro Jahr ohne Anwendung des Kalibrierungsfaktors ergibt, an das Ergebnis des detaillierten Ansatzes zu Vohwinkel von 33.274 Tonnen pro Jahr gemäß Tab. 20 (vgl. 3.2) an. Werden die Ergebnisse ins Verhältnis gesetzt, wird ein Kalibrierungsfaktor von 0,9512 (= 33.274 / 34.982) ermittelt. Die Bewertung des Leerstandes, der Energieträgeranteile inklusive Brennstoffdaten und des Klimafaktors erfolgt beim vereinfachten Ansatz analog zum detaillierten Ansatz. Somit ergeben sich durch Einsetzen der ermittelten Modellparameter ($a \cdot KO \cdot KA = 149,46 \cdot 0,78 \cdot 0,9512 = 110,89$) folgende Gleichungen zum Endenergieverbrauch, Primärenergieverbrauch und zu den CO₂-Emissionen für Wuppertal:

$$End_{NP,P} = 110,89 \cdot \left(\sum GF_{GIS} \cdot AN_{GIS} \right) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

$$QP_{NP,P} = 110,89 \cdot \left(\sum GF_{GIS} \cdot AN_{GIS} \right) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[\sum_1^p \frac{EQp}{100} \cdot PFP \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

$$CO_{2NP,P} = 110,89 \cdot \left(\sum GF_{GIS} \cdot AN_{GIS} \right) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[\sum_1^p \left(\frac{EQp}{100} \right) \cdot \left(\frac{CO_2Fp}{1000} \right) \cdot PFP \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

Die prozentualen Anteile der Non-Profit- und Profit-Organisationen ergeben sich gemäß Tabelle 20 zu CO_{2NP} = 18,06 Prozent bzw. CO_{2P} = 81,94 Prozent aus den detaillierten Berechnungsergebnissen (vgl. 3.2):

$$CO_{2NP} = 0,1806 \cdot CO_{2NP,P}$$

$$CO_{2P} = 0,8194 \cdot CO_{2NP,P}$$

²³³ Vgl. [Stö1999], S. 253; Stöcker Horst (Hrsg.), 1999

²³⁴ Vgl. [Kro1998], S. 408; Kromrey Helmut, 1998

Bottom-up-Ansatz:

Der Korrekturfaktor ergibt sich, wie beim Top-down-Ansatz, unabhängig von den Heizkennwerten aus den Original-GIS-Daten zur Bruttogrundfläche (BGF_{GIS}) und beträgt ebenso 0,78 (vgl. 2.7.3). Die Modellparameter a_b als Steigungsverhältnis der linearen Gleichung und KA_b als Kalibrierungsfaktor zur Anpassung des vereinfachten Modells an die Ergebnisse aus dem detaillierten Ansatz ergeben sich ebenso aus einer Regressionsanalyse zu den 1.057 Daten zu Vohwinkel und einer Vergleichsberechnung mit dem detaillierten Ansatz. In Anhang 1.20 ist die Regressionsanalyse ausschnittsweise grafisch dargestellt. Zusätzlich sind die Häufigkeitsverteilung zu den Heizkennwerten gemäß Bottom-up-Ansatz und weitere statistische Bewertungen aufgeführt. Diese werden wie folgt diskutiert:

Statistische Diskussion zum Steigungsverhältnis (a_b), Bottom-up-Ansatz:

Auf Grund der linearen Regression ($R^2 = 0,89$) wird der Parameter a_b mit 155,30 Kilowattstunden pro Quadratmeter Bruttogrundfläche und Jahr bestimmt. Zur Häufigkeitsverteilung der Heizkennwerte sind wiederum ergänzend in Anhang 1.20 das arithmetische Mittel mit 163,80 Kilowattstunden pro Quadratmeter Bruttogrundfläche und Jahr, der Modalwert mit 131,59 Kilowattstunden pro Quadratmeter Bruttogrundfläche und Jahr und der Median mit 160,38 Kilowattstunden pro Quadratmeter Bruttogrundfläche und Jahr als statistische Kenngrößen aufgeführt.

Im Histogramm ist erkennbar, dass sich die Verteilung etwas unsymmetrisch verhält und sie ebenso von einer Normalverteilung abweicht. Der Modalwert, als häufigster Wert, nähert sich mit 131,59 Kilowattstunden pro Quadratmeter Bruttogrundfläche und Jahr eher an das Ergebnis der Regressionsanalyse an als beim Top-down-Ansatz, ist aber infolge der Einflüsse aus dem Untersuchungsraum durch die häufig vertretenen Gebäudekategorien bzw. Heizkennwerte nicht als mittlerer Heizkennwert geeignet. Für überschlägige Gebietsbetrachtungen zu Heizkennwerten der Nichtwohngebäude eignet sich auch hier eher das arithmetische Mittel.

Der Kalibrierungsfaktor passt wiederum das Ergebnis zu Vohwinkel von 36.349 Tonnen pro Jahr zum vereinfachten Ansatz ohne Berücksichtigung des Kalibrierungsfaktors an das Berechnungsergebnis des detaillierten Ansatzes zu Vohwinkel in Höhe von 35.698 Tonnen pro Jahr gemäß Tabelle 21 (vgl. 3.2) an. Der Kalibrierungsfaktor ergibt sich demnach mit 0,9821 ($= 35.698 / 36.349$), was zu einem linearen Gesamtparameter von 118,966 ($= 155,30 \cdot 0,78 \cdot 0,9821$) führt. Es ergeben sich folgende Gleichungen zum Endenergiebedarf, Primärenergiebedarf und zu den CO_2 -Emissionen als vereinfachtes Bottom-up-Modell:

$$End_{NP,P} = 118,966 \cdot \left(\sum GF_{GIS} \cdot AN_{GIS} \right) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12 - M} \right) \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

$$QP_{NP,P} = 118,966 \cdot \left(\sum GF_{GIS} \cdot AN_{GIS} \right) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[\sum_1^p \frac{EQP}{100} \cdot PFp \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

$$CO_{2NP,P} = 118,966 \cdot \left(\sum GF_{GIS} \cdot AN_{GIS} \right) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[\sum_1^p \left(\frac{EQP}{100} \right) \cdot \left(\frac{CO_2 Fp}{1000} \right) \cdot PFp \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

Die prozentualen Anteile der Non-Profit- und Profit-Organisationen ergeben sich gemäß Tabelle 21 (vgl. 3.2) mit $CO_{2NP} = 21,59$ Prozent bzw. $CO_{2P} = 78,41$ Prozent:

$$CO_{2NP} = 0,2159 \cdot CO_{2NP,P} \qquad CO_{2P} = 0,7841 \cdot CO_{2NP,P}$$

Mit Hilfe der aufgezeigten, vereinfachten Top-down- oder Bottom-up-Modellansätze wird nur das Aggregieren der relevanten GIS-Daten gemäß Tabelle 16 zum städtischen Gebiet (hier: Wuppertal) notwendig. Örtliche Überprüfungen und Zuweisungen zu Gebäudekategorien, Baualtersklassen und Heizkennwerte entfallen. Die Leerstandsquote und der Energiemix werden angenommen. Anschließend sind die zuvor aufgeführten Gleichungen anwendbar.

3.4 Bestimmung der Modellparameter für Hochrechnungen auf Wuppertal ohne GIS-Daten-Analyse

Eine Hochrechnung zur ersten Abschätzung soll möglich sein, wenn auf das Aggregieren der relevanten GIS-Daten für das Stadtgebiet Wuppertal als Grundlage für das vereinfachte Modell verzichtet werden soll. In dieser Arbeit wurde aufwandsbedingt die Hochrechnung für Wuppertal angewendet. Die vorgestellte Vorgehensweise gemäß Kapitel 2.8.3 kann auf Grund der vorliegenden Ergebnisse zu den energetischen Parametern ebenso in den Top-down- und Bottom-up-Ansatz unterschieden werden.

Top-down-Ansatz:

Gemäß 2.8.3 sind die zuvor ermittelten Modellparameter a und KA bei einer verbrauchsorientierten Betrachtungsweise einzusetzen. Dabei wird ein Gesamtparameter von 13.026,40 berechnet ($= a \cdot 91,628 \cdot KA = 149,46 \cdot 91,628 \cdot 0,9512 = 13.026,4$). Durch die Beibehaltung der Variationsmöglichkeiten zum Leerstand, zu den Energieträgeranteilen und -faktoren sowie zum Klimafaktor können spezifische Einflüsse, unabhängig von den Zuständen in Vohwinkel, berücksichtigt werden. Es ergibt sich demnach für die Stadt Wuppertal folgender Hochrechnungsansatz zur Abschätzung des Endenergie- und Primärenergieverbrauchs sowie zu den CO_2 -Emissionen inklusive Klimaanpassungen auf Basis der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten (SVB):

$$End_{NP,P}H = 13.026,40 \cdot SVB \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

$$QP_{NP,P}H = 13.026,40 \cdot SVB \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[\sum_1^p \frac{EQP}{100} \cdot PFp \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

$$CO_{2NP,p}H = 13.026,40 \cdot SVB \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[\sum_1^p \left(\frac{EQp}{100} \right) \cdot \left(\frac{CO_2Fp}{1000} \right) \cdot PFp \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

Das Modell zur Hochrechnung des Endenergieverbrauchs und der CO₂-Emissionen zu den Wohngebäuden lautet gemäß Anhang 1.10 wie folgt:

$$End_{w,H} = 18.297,804 \cdot SVB \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

$$CO_{2w,H} = 18.297,804 \cdot SVB \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[\sum_1^p \left(\frac{EQp}{100} \right) \cdot \left(\frac{CO_2Fp}{1000} \right) \cdot PFp \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

Bottom-up-Ansatz:

Bei einer bedarfsorientierten Hochrechnung sind die Parameter a_b und KA_b in den Ansatz gemäß 2.8.3 einzusetzen. Dabei wird ein Gesamtparameter von 13.975,13 ermittelt (= $a_b \cdot 91,628 \cdot KA_b = 155,3 \cdot 91,628 \cdot 0,9821 = 13.975,13$). Unter Beibehaltung der Variationsmöglichkeiten zum Leerstand, zu den Energieträgeranteilen, bzw. -faktoren und zum Klimafaktor lautet der Modellansatz wie folgt (vgl. 2.8.3):

$$End_{NP,p}H = 13.975,13 \cdot SVB \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

$$QP_{NP,p}H = 13.975,13 \cdot SVB \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[\sum_1^p \frac{EQp}{100} \cdot PFp \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

$$CO_{2NP,p}H = 13.975,13 \cdot SVB \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[\sum_1^p \left(\frac{EQp}{100} \right) \cdot \left(\frac{CO_2Fp}{1000} \right) \cdot PFp \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

Hochrechnungsansatz zwecks Abschätzung der Gebäudeflächen und Gebäudenzahlen:

Die Hochrechnung zur Anzahl und zu Flächenverhältnissen der beheizten Nichtwohngebäude bzw. Gebäudeteile erfolgt unabhängig von den unterschiedlichen Ansätzen zu den Heizkennwerten (vgl. 2.8.3).

Die Hochrechnung zur Anzahl der GIS-Datensätze, wobei die Gebäudeanzahl ohne Berücksichtigung von Clustern zu Gebäudeeinheiten gemeint ist, und den Flächenverhältnissen der beheizten Nichtwohngebäude basiert ebenso auf den ermittelten Daten zu Vohwinkel. Grundlage sind folgende Parameter (vgl. 2.7.3 und 3.2):

Gebäude Profit-Organisationen:	Ge_{PoSt}	= 741 (ohne Stadthäuser)
	Ge_{St}	= 161 (Stadthäuser)
	BGF_{PoSt}	= 688.773 m ² (ohne Stadthäuser)
	BGF_{St}	= 28.526 m ² (Stadthäuser)

Gebäude Non-Profit-Organisationen:

$$Ge_{NP} = 155$$

$$BGF_{NP} = 189.544 \text{ m}^2$$

Alle Nichtwohngebäude: $BGF_{NP, PoSt} = 878.317 \text{ m}^2$ (ohne Stadthäuser)

Daraus ergeben sich folgende lineare Hochrechnungsansätze zu Abschätzungen auf Basis der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten ($SVB = 9.896$, vgl. 2.8.3):

Profit-Organisationen und mischgenutzte Stadthäuser:

$$Ge_{PoSt} H = \frac{741}{9.896} \cdot SVB = 0,074879 \cdot SVB$$

$$BGF_{PoSt} H = \frac{688.773}{9.896} \cdot SVB = 69,6012 \cdot SVB$$

$$Ge_{St} H = \frac{161}{9.896} \cdot SVB = 0,016269 \cdot SVB$$

$$BGF_{St} H = \frac{28.526}{9.896} \cdot SVB = 2,8826 \cdot SVB$$

$$NGF_{PoSt} H = 69,6012 \cdot SVB \cdot 0,9 = 62,6411 \cdot SVB$$

$$NGF_{St} H = 2,8826 \cdot SVB \cdot 0,9 = 2,5943 \cdot SVB$$

Non-Profit-Organisationen:

$$Ge_{NP} H = \frac{155}{9.896} \cdot SVB = 0,015663 \cdot SVB$$

$$BGF_{NP} H = \frac{189.544}{9.896} \cdot SVB = 19,1536 \cdot SVB$$

$$NGF_{NP} H = 19,1536 \cdot SVB \cdot 0,9 = 17,2382 \cdot SVB$$

Summe Nichtwohngebäude (ohne mischgenutzte Stadthäuser):

$$BGF_{NP, PoSt} H = \frac{878.317}{9.896} \cdot SVB = 88,7547 \cdot SVB$$

3.5 Hochrechnungsergebnisse für die Stadt Wuppertal

Die GIS-Daten-Analyse beschränkte sich auf den Stadtbezirk Vohwinkel. Eine GIS-Daten-Analyse zum gesamten Stadtgebiet von Wuppertal wurde aufwandsbedingt nicht durchgeführt. Somit konnte der vereinfachte Schnellanalyseansatz nicht angewendet

werden und der alternative Hochrechnungsansatz gemäß 2.8.3 kam für die Abschätzung der Bestandssituation in Wuppertal zur Anwendung.

Die Ergebnisse werden nachfolgend dargestellt, wobei der Energiemix zum Stadtgebiet Wuppertal gemäß Tabelle 19 (vgl. 3.1) berücksichtigt ist. Die Ergebnisse zur Nichtwohngebäudestruktur können als Grundlage für Potenzialanalysen und für das städtische Umweltmanagementsystem bzw. für ein Klimaschutzkonzept genutzt werden. Zusätzlich dienen die Werte auch als Basis für Szenarienberechnungen zum Stadtgebiet Wuppertal.

Auf Grund der Stichprobe von etwa zehn Prozent, die die analysierten Daten von Vohwinkel darstellen, ist mit einer Fehlerbandbreite zu rechnen. Dies wurde bereits unter 2.8.3 diskutiert. Die Hochrechnungsergebnisse zum Top-down- und Bottom-up-Ansatz für 2010 sind in Tabelle 24 aufgeführt und werden anschließend mit vorhandenen Studien bzw. dem Zahlenmaterial der Stadt und der Stadtwerke verglichen.

Die Hochrechnungen zu Wuppertal basieren dabei auf 108.306 sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten (Stand: 31.12.2010).²³⁵ Die CO₂-Emissionen sind ergänzend pro Kopf dargestellt, wobei von 348.271 Einwohnern²³⁶ ausgegangen wird.

Die Leerstandsquote ist mit zehn Prozent angenommen.

In Summe werden mit dieser Methode etwa 9,92 Millionen Quadratmeter BGF und 11.568 beheizte Nichtwohngebäude bzw. Nichtwohngebäudeteile als relevante GIS-Datensätze für die beheizten Nichtwohngebäude in Wuppertal abgeschätzt. Nach dem Top-down-Ansatz werden der Endenergieverbrauch für die Raumheizung der Nichtwohngebäude mit 1.312 Gigawattstunden pro Jahr und die CO₂-Emissionen mit rund 394.000 Tonnen pro Jahr (klimabereinigt) ermittelt.

Die pro Kopf-Emissionen können zum Nichtwohngebäudebestand mit 1,13 Tonnen CO₂ pro Jahr angegeben werden. Für die Raumheizung der Wohn- und Nichtwohngebäude ergeben sich rund 3.155 Gigawattstunden pro Jahr (Endenergieverbrauch) und ca. 948.000 Tonnen CO₂ pro Jahr. Beim Bottom-up-Ansatz liegt der Endenergiebedarf für die Raumheizung zu den Nichtwohngebäuden bei 1.408 Gigawattstunden pro Jahr und die CO₂-Emissionen bei rund 423.000 Tonnen pro Jahr (klimabereinigt). Die pro-Kopf-Emissionen liegen bei 1,22 Tonnen CO₂ pro Jahr.

²³⁵ Vgl. [Wup2012]: Stadt Wuppertal (Hrsg.), 2012

²³⁶ a.a.O., Stand 31.12.2010

Tabelle 24: Hochrechnungsergebnisse: Top-down- und Bottom-up-Ansatz für Wuppertal, 2010

Legende:

P: Profit-Organisationen NP: Non-Profit-Organisationen W: Wohngebäude
 BGF_{NP,P}: Bruttogrundfläche aus örtlich überprüften GIS-Daten
 BGF_W: Bruttogrundfläche Wohngebäude
 End: Endenergieverbrauch bzw. -bedarf
 QP: Primärenergieverbrauch bzw. -bedarf CO₂: CO₂-Emissionen

Hochrechnungsergebnisse zum Wohn- und Nichtwohngebäudebestand Wuppertal, Energiemix Wuppertal	
Top-down-Ansatz:	
BGF _{NP} in m ²	2.074.450
BGF _P in m ² (inkl. Stadthäuser)	7.850.423
BGF _{NP,P} in m ² (inkl. Stadthäuser)	9.924.872
BGF _W (ohne Nichtwohnflächen der Stadthäuser) in m ²	17.084.122
End _{NP} (klimabereinigt) in GWh/a	237
End _P (klimabereinigt) in GWh/a	1.075
End _{NP,P} (klimabereinigt) in GWh/a	1.312
QP _{NP,P} (klimabereinigt) in GWh/a	1.462
End _W (klimabereinigt) in GWh/a	1.843
CO _{2NP} (klimabereinigt) in t/a	71.248
CO _{2P} (klimabereinigt) in t/a	323.222
CO _{2NP,P} (klimabereinigt) in t/a	394.470
CO _{2W} (klimabereinigt) in t/a	554.105
Anzahl Gebäude NP (GIS-Datensätze)	1.696
Anzahl Gebäude P (inkl. Stadthäuser mit Nichtwohnnutzung)	9.872
Anzahl Gebäude NP,P (GIS-Datensätze)	11.568
CO _{2NP,P} (klimabereinigt) in t/(Einwohner · a)	1,13
Bottom-up-Ansatz:	
End _{NP} (klimabereinigt) in GWh/a	304
End _P (klimabereinigt) in GWh/a	1.104
End _{NP,P} (klimabereinigt) in GWh/a	1.408
QP _{NP,P} (klimabereinigt) in GWh/a	1.568
CO _{2NP} (klimabereinigt) in t/a	91.353
CO _{2P} (klimabereinigt) in t/a	331.846
CO _{2NP,P} (klimabereinigt) in t/a	423.199
CO _{2NP,P} (klimabereinigt) in t/(Einwohner · a)	1,22

Quelle: [Ham2013b], S. 10, eigene Berechnungen

Vergleich der Ergebnisse zum Top-down- und Bottom-up-Ansatz:

Mit diesem Vergleich soll der Einfluss der Heizkennwerte (Endenergiekennwerte) näher betrachtet werden. Die Tabelle 24 enthält dazu die Ergebnisse zum Stadtgebiet Wuppertal zur Endenergie, Primärenergie und zu den CO₂-Emissionen aus der Beheizung der Nichtwohngebäude aus beiden Modellansätzen. Die Ergebnisse sind jeweils nach Organisationsformen getrennt aufgeführt sowie kumuliert. Die CO₂-Emissionen haben eine Bandbreite von ca. 394.000 Tonnen pro Jahr bis 423.000 Tonnen pro Jahr, was im Mittel rund 410.000 Tonnen pro Jahr ergibt und die Abweichung ca. sieben Prozent beträgt. Insgesamt werden mit dem Bottom-up-Ansatz wiederum etwa sieben Prozent höhere CO₂-Emissionen ermittelt.

Gemäß Sensitivitätsanalyse (vgl. 3.6), in der Modellparameter variiert werden, wird der hier entwickelte Top-down-Ansatz zur Anwendung favorisiert, da dieser die mittlere Ergebnisbandbreite abdeckt.

Zur Darstellung der Energiekennwerte für Wuppertal werden aus den Ergebnissen beider Ansätze gemittelte Werte angegeben:

Tabelle 25: Energiekennwerte für Wuppertal, 2010

Bezug: pro Kopf (Einwohner = E, Stand: 31.12.2010: 348.271 ²³⁷):	
3.905 kWh End _{NP,P} /(a·E),	1,18 t CO ₂ /(a·E)
Bezug: SVB (108.306 ²³⁸):	
12.557 kWh End _{NP,P} /(a·SVB),	3,77 t CO ₂ /(a·SVB)
Bezug: m ² BGF _{NP,P} (9.924.872 m ² , siehe Tab. 23):	
137 kWh End _{NP,P} /(a·m ² BGF),	0,041 t CO ₂ /(a·m ² BGF)

Quelle: Eigene Berechnungen

Bezogen auf die CO₂-Bilanz (direkte und indirekte Emissionen mittels lokaler LCA-Faktoren) der Stadt Wuppertal, die für das Jahr 2009 die gesamten CO₂-Emissionen mit 3.239.710 t²³⁹ angibt, beträgt der Anteil aus der Raumwärme der beheizten Nichtwohngebäude ca. **12,7 Prozent**²⁴⁰. Der Wert bezieht sich auf den Mittelwert von 410.000 Tonnen CO₂ pro Jahr.

Vergleich mit Wärmebedarfszahlen und Gebäudeflächen der Stadt:

Die Ergebnisse zur Endenergie der Nichtwohngebäude der Non-Profit-Organisationen bewegen sich gemäß Tabelle 24 zwischen 237 Gigawattstunden pro Jahr bis 304 Giga-

²³⁷ Vgl. [Wup2012]: Stadt Wuppertal (Hrsg.), 2012

²³⁸ a.a.O.

²³⁹ Vgl. [GER2012a], S. 6: GERTEC (Hrsg.), 2012

²⁴⁰ Vgl. [Ham2013b], S. 10 und [Ham2013c]: Hamann Achim, 2013

wattstunden pro Jahr, wobei hierin neben kommunalen Einrichtungen auch kirchliche Einrichtungen und sonstige öffentliche Bauten berücksichtigt sind. Die CO₂-Emissionen aus der Raumwärme der Non-Profit-Organisationen, die mit Hilfe der verbrauchsorientierten Betrachtungen (Top-down-Ansatz) ermittelt wurden, liegen bei rund 71.000 Tonnen pro Jahr.

Aus der CO₂-Bilanz der Stadt Wuppertal²⁴¹ kann im Vergleich dazu der Endenergieverbrauch zum Heizen der städtischen Gebäude für das Jahr 2009 (Holz, Fernwärme, Heizöl und Erdgas ohne Strom) mit rund 125 GWh und die Emissionen mit etwa 27.500 Tonnen CO₂ angegeben werden. Die Werte beruhen auf Verbrauchsdaten²⁴² und sind ebenso klimabereinigt²⁴³.

Der Anteil der städtischen Gebäude liegt demnach bei rund 40 Prozent (= 27.500 / 71.000 Tonnen pro Jahr). Die Differenz ist durch den Anteil der übrigen Non-Profit-Organisationen begründbar, ohne hier einen genauen zahlenmäßigen Vergleich aufstellen zu können, da die städtischen Gebäude in Vohwinkel innerhalb der Non-Profit-Organisationen nicht separat betrachtet wurden. Die Differenz und somit die Modellergebnisse zu den Non-Profit-Organisationen erscheinen in der Größenordnung jedoch plausibel, da in Vohwinkel alleine der Anteil der kirchlichen Einrichtungen etwa 13,4 Prozent und der Anteil der Justizvollzugsanstalt rund 26 Prozent ($\Sigma \approx 40$ Prozent) beträgt (vgl. 3.2, Abbildung 14).

Aus einer anderen Untersuchung (Klimaschutzteilkonzept) zu erneuerbaren Energien im Bergischen Städtedreieck werden für Wuppertal folgende Wärmebedarfszahlen zur Gebäudebeheizung, die als klimabereinigte Werte interpretiert werden, angegeben.²⁴⁴

Heizwärmebedarf HH (Haushalte)	=	1.942 GWh
Heizwärmebedarf Wirtschaft	=	776 GWh
Summe	=	2.718 GWh

Der Heizenergiebedarf (Endenergie: End_p) zu den Nichtwohngebäuden der Profit-Organisationen wurde zwischen 1.075 Gigawattstunden pro Jahr und 1.104 Gigawattstunden pro Jahr berechnet (vgl. Tabelle 24). Auf Grund dieser Differenz zu den aufgeführten 776 Gigawattstunden pro Jahr ist zu vermuten, dass die Nichtwohngebäude der Profit-Organisationen nur unvollständig bei der oben genannten Untersuchung mangels Datengrundlage bewertet wurden. Der Heizenergieverbrauch zu den Wohngebäuden beträgt nach dem Top-down-Ansatz 1.843 Gigawattstunden pro Jahr (vgl. Tabelle 24) und hat damit eine gute Übereinstimmung (Abweichung ca. fünf Prozent) erzielt.

²⁴¹ Vgl. [GER2012a], S. 13, Bild 9 und S. 14, Bild 10: GERTEC (Hrsg.), 2012

²⁴² a.a.O., S. 3

²⁴³ Vgl. [Gle2013]

²⁴⁴ Vgl. [Ger2012b], S. 10: Gertec (Hrsg.), Essen

Ein weiterer Vergleich wird mit einer von der Stadt Wuppertal überlassenen Excel-Liste zu Nichtwohngebäuden (Statistik 2008)²⁴⁵ versucht. Die Datensätze konnten dabei infolge einer abweichenden Gebäudenummerierung nicht den GIS-Daten zugeordnet werden. Durch Summenbildung werden aus der Liste etwa 5,02 Millionen Quadratmeter Nutzfläche und 6.107 Gebäude ermittelt. In einer Bemerkung zur Excel-Liste wird darauf hingewiesen, dass die Liste den Bestand nicht 100 prozentig abbildet. Weiterhin sind in der Liste etliche Flächen mit null angegeben. Zusätzlich ist davon auszugehen, dass keine Differenzierung zu einzelnen Gebäudeteilen erfolgte, wie es aus den Liegenschaftsdaten hervorgeht. Die Gebäude wurden als Einheit der jeweiligen Anschrift zugeordnet. Eine Differenzierung in verschiedene Gebäude und Nutzung bei größeren, komplexen Einheiten erfolgte nicht. Gemäß Tabelle 24 werden aus den analysierten GIS-Datensätzen zu Vohwinkel 11.568 Datensätze für die Stadt Wuppertal hochgerechnet, die jedoch nicht die Gebäudeeinheiten widerspiegeln. Ein sinnvoller Vergleich zu der Anzahl der beheizten Nichtwohngebäude ist daher nicht ohne zusätzliche Untersuchungen möglich. Werden die Nutzflächen aus der städtischen Liste zwecks Vergleichsmöglichkeit in BGF umgerechnet, sind Umrechnungsfaktoren je Gebäudekategorie von ca. 1,97 bis 1,19 zu berücksichtigen.²⁴⁶

Als Mittelwert wird daher für eine überschlägige Umrechnung ein Faktor von 1,58 gewählt. Demnach ergeben sich ca. 8 Millionen Quadratmeter Bruttogrundfläche aus der städtischen Liste zuzüglich Gebäudeflächen, die mit null angegeben sind. Mit dem eigenen Modellansatz werden für Wuppertal rund 9,9 Millionen Quadratmeter Bruttogrundfläche inklusive der Nichtwohnflächen in den mischgenutzten Stadthäusern (vgl. Tabelle 24) berechnet. Ohne Stadthäuser ergeben sich 7,5 Millionen Quadratmeter. Die Flächendifferenz beträgt demnach etwa plus 24 Prozent bis minus sechs Prozent, wobei eine Einschätzung zur Abweichung hinsichtlich einer Fehlerbandbreite nicht möglich ist. Zusammenfassend ist zu vermuten, dass die Daten der Stadt Wuppertal und der Wuppertaler Stadtwerke (vgl. 3.2) zu Vohwinkel eine unvollständige Datengrundlage zu den beheizten Nichtwohngebäuden hinsichtlich Gebäudenutzungen und Gebäudeflächen darstellen. Daher ist parallel die Berücksichtigung der Ergebnisse aus dieser Arbeit mit Hilfe einer modellhaften Betrachtung zum beheizten Nichtwohngebäudebestand empfehlenswert.

Ergänzend wird in Anhang 1.21 ein Blick mit Hilfe von Abschätzungen aus einer Hochrechnung auf die Bestandssituation in Deutschland geworfen, da hierzu ebenso ein Interesse besteht und bereits Forschungsaufträge initiiert sind, die sich mit GIS-Daten als Grundlage beschäftigen sollen (vgl. 2.8.3). Die Ergebnisse und Vergleiche zu bestehenden Studien können dem Anhang 1.21 entnommen werden.

²⁴⁵ Vgl. [Bre2008]: Brendel Cordula, Stadt Wuppertal, 2008

²⁴⁶ Vgl. [BMVBS2009], S. 20-21: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), 2009

3.6 Sensitivitätsanalyse

Mit Hilfe der Sensitivitätsanalyse soll für den Stadtbezirk Vohwinkel der Einfluss der Modellparameter (Energimix, Heizkennwerte, Leerstandsquote und BGF) durch Variantenberechnungen verdeutlicht werden. Des Weiteren kann am Beispiel von Vohwinkel (keine Fernwärme vorhanden) insbesondere auch der Einfluss der Fernwärme und den prozentualen Verschiebungen innerhalb des Energiemixes aufgezeigt werden. Zusätzlich sollen die Einflüsse der Modellparameter auf die Ergebnisse zu Hochrechnungen für Wuppertal verdeutlicht werden, da bei der Hochrechnung einerseits die gleiche Leerstandsquote wie in Vohwinkel und andererseits ein abweichender Energiemix (vgl. 3.1) berücksichtigt wurde. Die Ergebnisse werden nach Diskussion der Ergebnisse in Abbildung 17 mit Hilfe einer Darstellung zur trichterförmigen Bandbreite der CO₂-Emissionen verdeutlicht.

Insgesamt werden dazu in den Tabellen des Anhanges 1.23 die Ergebnisse zu 24 Varianten aufgezeigt. Die Tabellen stellen 7 Varianten zu Vohwinkel und 17 Varianten zu Wuppertal dar. Dabei basieren 13 Varianten auf dem Top-down- und 11 Varianten auf dem Bottom-up-Ansatz.

Die Varianten V1 (Vohwinkel) und V8 (Wuppertal) stellen dabei jeweils die Bezugsvarianten beim Top-down-Ansatz mit verbrauchsorientierten Heizkennwerten und mit einer angenommenen Leerstandsquote von zehn Prozent dar, zu denen die Modellergebnisse unter 3.2 und 3.5 aufgeführt sind. Mit Hilfe der Varianten V1 bis V7 kann die Bandbreite zu Vohwinkel bewertet werden. Die Ausgangsvariante V8 und die Varianten V9 bis V24 stellen die Grundlage der Analyse zur Bandbreite für Wuppertal dar.

Gemäß den Tabellen in Anhang 1.23 ist erkennbar, dass der Bottom-up-Ansatz mit bedarfsorientierten Heizkennwerten generell zu höheren CO₂-Emissionen führt. Im direkten Vergleich mit sonst gleichen Modellparametern liegen die CO₂-Emissionen der Varianten V3 und V10 rund 7,3 Prozent über denen der Variante V1 und V8 (Top-down-Ansatz).

Nachfolgend werden die einzelnen Variationen beschrieben und die jeweiligen Ergebnisse zum Top-down- und Bottom-up-Ansatz aufgeführt sowie diskutiert:

Variation der Leerstandsquote:

In Kapitel 2.7.2 und 3.1 werden die Grundlagen zur Einschätzung der Leerstandsquote erläutert, die Bandbreite aufgeführt und infolge dessen die Quote auf einheitliche zehn Prozent festgelegt. In Anlehnung an diese Erläuterungen wird hier die Leerstandsquote auf fünf Prozent variiert. Die Halbierung der Leerstandsquote gemäß Varianten V4 und V5 für Vohwinkel sowie V11 und V12 für Wuppertal führt gemäß Anhang 1.23 zu **rund 3,8 Prozent bzw. 11,3 Prozent** Erhöhung der CO₂-Emissionen im Vergleich zur Ausgangsvariante V1 und V8. Die Erhöhung um rund elf Prozent beim Bottom-up-Ansatz stellt für Vohwinkel und für Wuppertal gleichzeitig die maximale Abweichung

der Ergebnisse nach oben dar. Um die Ergebnisbandbreite zu minimieren, sind Erhebungen zum Leerstand empfehlenswert.

Variation der verbrauchsorientierten Heizkennwerte:

Weiterhin sollen im Rahmen der Sensitivitätsanalyse die bisherigen Ergebnisse aus dem Top-down-Ansatz (hier Top-down1 genannt) mit Hilfe einer weiteren Variante bewertet werden. Dem Top-down1-Ansatz liegen keine empirischen Heizkennwerte zu unterschiedlichen Baualtersklassen zu Grunde. Die Literaturwerte konnten generell nur den Gebäudekategorien zugewiesen und mussten daher auf Baualtersklassen umgerechnet werden. Dies erfolgte mit Hilfe von älteren bauklassenspezifischen Bedarfswerten aus dem IKARUS-Projekt (vgl. 2.6.1).

Als Variation soll mit Hilfe der eigenen Ergebnisse zu den Heizkennwerten je Baualtersklasse gemäß Bottom-up-Ansatz (vgl. 2.6.2) das Top-down-Modell im Nachgang zwecks Sensitivitätsanalyse neu bewertet (hier Top-down2 genannt) werden. Der Ansatz der eigenen baualtersklassenspezifischen Bedarfswerte führt zur weiteren Beurteilung der Ergebnisbandbreite. In Anhang 1.22 sind die Grundlagen und die angepassten Umrechnungen der Verbrauchskennwerte gemäß Literatur mit Hilfe der eigenen Bedarfsberechnungen enthalten. Die detaillierte Berechnung zu den 1.057 Datensätzen zu Wuppertal-Vohwinkel wurde mit den neu umgerechneten verbrauchsorientierten Heizkennwerten wiederholt. Statt 33.274 Tonnen CO₂ pro Jahr, entstehen nunmehr in Wuppertal-Vohwinkel in Summe 31.536 Tonnen CO₂ pro Jahr (vgl. Tabelle A1.23-1 in Anhang 1.23, Variante V2) im Jahr 2010. Dies entspricht einer Minderung bzw. Ergebnisabweichung von ca. minus 5,2 Prozent. Die Ergebnisse des Top-down-Modells könnten demnach alternativ zur Ermittlung der Ergebnisbandbreite um einen Minderungsfaktor von 0,9477 variiert werden.

Es wird in den Tabelle des Anhanges 1.23 unter Berücksichtigung der Varianten V1 bis V3 bzw. V8 bis V10 jedoch deutlich, dass der ursprüngliche Top-down-Ansatz (Top-down1) als 100 Prozent-Bezugsmarke sinnvoll gewählt wurde, da die beiden anderen Berechnungsvarianten (Top-down2 und Bottom-up) **ca. minus fünf Prozent bis plus sieben Prozent** abweichen, was die abgeschätzte Fehlerbandbreite von fünf Prozent (vgl. 2.7.4) in etwa bestätigt. Mit dem Top-down-Ansatz (Top-down1) wird dabei ein mittleres Ergebnis innerhalb der Bandbreite erzielt.

Variation des Energiemixes:

Der Energiemix wird insbesondere hinsichtlich der Energieträgeranteile zum Stadtgebiet Wuppertal variiert, da die Werte für das Jahr 2010 der Studie »LCC« entnommen wurden und diese weitestgehend aus Angaben zu einer bundesweiten Beheizungsstruktur²⁴⁷ abgeleitet wurden. Für Vohwinkel ist der Energiemix insofern wenig flexibel, da

²⁴⁷ Vgl. [Reu2012a], S. 123: Reutter Oscar, Bierwirth Anja, 2012 in Verbindung mit [ProÖko2009], S. 56: Prognos und Öko-Institut (Hrsg.), 2009

die Bestandswerte auf Erhebungen der Stadt bzw. der Stadtwerke Wuppertal basieren. Daher erfolgt hierzu keine Variation der Energieträgeranteile, was den höheren Variantenanteil in Anhang 1.23 zu Wuppertal erklärt. Mit Hilfe der Variantenberechnungen soll der prozentuale Einfluss der Energieträgeranteile auf die Ergebnisbandbreite zu Wuppertal verdeutlicht werden. Die Notwendigkeit der Variantenberechnungen ist auch mit den abweichenden Energieträgeranteilen für den beheizten Nichtwohngebäudebestand des Sektors GHD und Industrie im Vergleich zum gesamten Gebäudebestand begründbar (vgl. 3.1, Tabelle 19).

Da die Nichtwohngebäude bis zum Jahr 2010 nur geringfügig bzw. vernachlässigbar mit Wärmepumpen, Holz oder Solarenergie beheizt (vgl. 3.1, Tabelle 19) wurden, können bei diesen Energieträgern nur geringe Anteile für die Bandbreitenbewertung angesetzt werden. Beim Energieträger Strom wird teilweise von 1,4 Prozent Wärmepumpenanteil ausgegangen, wobei der elektrische Energieanteil dabei wiederum nur etwa 25 Prozent beträgt (vgl. 3.1).

Mit Hilfe der Varianten V13 bis V22 wird der Einfluss der verschiedenen Energieträgeranteile analysiert.

Je nach Variante wird der Anteil von Fernwärme, Erdgas oder Heizöl erhöht. Gleichzeitig erfolgen Anpassungen bei den übrigen Energieträgern.

In Tabelle A1.23-2 des Anhangs 1.23 ist erkennbar, dass die Bandbreite zu den Varianten V13 bis V22 in etwa zwischen 94 Prozent und 110 Prozent, bezogen auf die Ausgangsvariante V8 liegt. Werden die Varianten V21 und V22 mit einem erhöhten Heizölanteil von 45 Prozent vernachlässigt, da gemäß Tabelle 19 (vgl. 3.1) der Erdgasanteil dominiert, liegt die Obergrenze der Bandbreite bei etwa 105 Prozent (Variante V16). Demnach liegen die Abweichungen zu den CO₂-Emissionen je nach Energiemix bei **minus sechs Prozent bis plus fünf Prozent**. Dies bestätigt ebenso die abgeschätzte Fehlerbandbreite von fünf Prozent (vgl. 2.7.4).

Variation zur Bruttogrundfläche BGF:

Weiterhin soll mit der Sensitivitätsanalyse der Einfluss der Bruttogrundfläche und insbesondere der Einfluss der kleinen Gebäude/Gebäudeteile gemäß GIS-Daten-Analyse überprüft werden, da diese bei GIS-Daten-Auswertungen zu größeren städtischen Gebieten zwecks Reduzierung des Aufwandes eventuell aussortiert werden könnten. Dazu ist beabsichtigt, die Anteile der Bruttogrundfläche für Gebäudeteile bis 50 Quadratmeter unberücksichtigt zu lassen. Gleichzeitig wird auf dieser Grundlage die Gebäudezahl neu hochgerechnet, um auch diese Ergebnisbandbreite bewerten zu können.

Bleiben kleinere beheizte Nichtwohngebäudeteile bis 50 Quadratmeter BGF bei der Analyse zu Vohwinkel außer Betracht, ergibt sich gemäß den Ergebnissen der Tabelle 26 eine Reduzierung der Bruttogrundfläche von etwa 0,30 Prozent, was vernachlässigbar ist.

Tabelle 26: Einfluss der Gebäudeteile bis 50 Quadratmeter auf die Bruttogrundfläche in Vohwinkel

Einfluss der Gebäudeteile bis 50m ²	mit Gebäude ≤ 50 m ²	ohne Gebäude ≤ 50 m ²
BGF _{NP} in m ²	189.544	189.344
BGF _P in m ²	717.299	714.782
Anzahl Gebäude NP (GIS-Datensätze)	155	148
Anzahl Gebäude P (inkl. Stadthäuser mit Nichtwohnnutzung)	902	830
Summe der Nichtwohngebäude (GIS-Datensätze)	1.057	978
davon Stadthäuser mit Mischnutzung	161	158

Quelle: Eigene GIS-Daten-Analyse

Dagegen reduzieren sich die GIS-Datensätze um etwa 7,5 Prozent, was eine erste Abschätzung zur Größenordnung für die Reduzierung der Gebäudeanzahl darstellt, wenn durch das Clustern die Gebäudeteile zu Gebäudeeinheiten zusammengeführt werden. Gemäß Anhang 1.23, Tabelle A1.23-1 (Variante V6) und Tabelle A1.23-2 (Variante 23) ist weiterhin erkennbar, dass die Abweichungen zu den CO₂-Emissionen in gleicher Größenordnung (0,32 Prozent) wie bei der Bruttogrundfläche liegen. Diese Analyse zeigt, dass die relativ kleinen Gebäudeteile beim Aggregieren und bei der örtlichen Überprüfung der GIS-Daten vernachlässigt werden können.

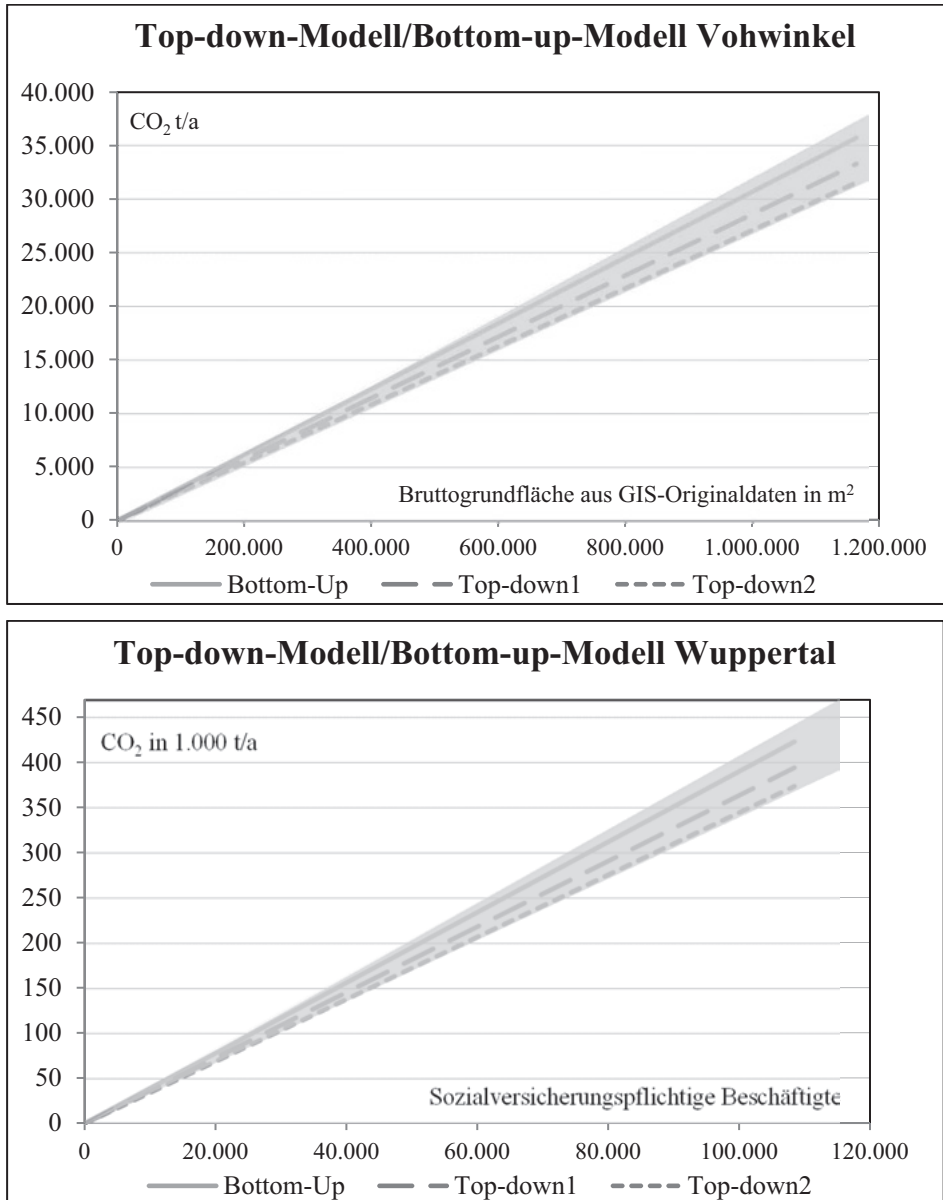
Fazit:

Die Bandbreite der Ergebnisse zum Top-down- und Bottom-up-Modellansatz ist in Abbildung 17 als Korridor grafisch für Wuppertal-Vohwinkel auf Basis der Original-GIS-Daten (BGF_{GIS} in Quadratmeter) zu den beheizten Nichtwohngebäuden und für die Hochrechnungen zu Wuppertal auf Basis der sozialversicherungs-pflichtigen Beschäftigten (SVB) gegenübergestellt. Die Bandbreite wird durch die unterschiedlichen Steigungsverhältnisse der Geraden bestimmt. Damit lässt sich der jeweilige Korridor auf Grund der Ergebnisse zur Sensitivitätsanalyse gemäß den Tabellen in Anhang 1.23 aufzeigen. Es wird deutlich, dass sich die Ergebnisse im Wesentlichen innerhalb der Ergebnisbandbreite zum Top-down- oder Bottom-up-Ansatz und somit innerhalb der Ergebnisse zu den Ausgangsvarianten V1 bis V3 bzw. V8 bis V10 bewegen. Nur die Varianten V5 und V12 mit einer geringeren Leerstandsquote von fünf Prozent und die Variante V22 zum höheren Anteil Heizöl beim Energiemix übersteigen die Ergebnisse zur Ausgangssituation des Bottom-up-Ansatzes (Variante V3 und V10).

Die Sensitivitätsanalyse bestätigte die Einschätzung (vgl. 2.7.4), dass eine Fehlerbandbreite bei der Anwendung des Modells von etwa fünf Prozent möglich ist. Des Weiteren ist auf Grund des dargestellten Korridors zur Bestandssituation die Anwendung des Top-down-Modells (Top-down1) mit Nutzung der verbrauchsorientierten

Heizkennwerten bei der Bestandsanalyse zu empfehlen. Dieser Modellansatz bildet in etwa den mittleren Bereich der Ergebnisbandbreite ab.

Abbildung 17: Ergebnisbandbreite Top-down- und Bottom-up-Modell für Vohwinkel und Wuppertal, 2010



Quelle: Eigene Berechnungen

3.7 Zusammenfassung und Diskussion zum Bestandsmodell

Die Zielsetzung der Bestandsmodellierung zu den beheizten Nichtwohngebäuden besteht aus der Anwendung von GIS-Daten als Grundlage zur Berechnungen von CO₂-Emissionen aus Raumwärme des beheizten Nichtwohngebäudebestandes auf der Stadtebene. Wesentlich ist dabei, dass aus einer detaillierten Analyse zu einem städtischen Teilgebiet mit Hilfe der örtlichen Überprüfung der GIS-Daten zur Steigerung der Genauigkeit ein vereinfachter Ansatz abgeleitet werden kann, der mit relativ wenig Aufwand eine Berechnung zum gesamten Stadtgebiet ermöglicht. Zusätzlich wird ein Hochrechnungsansatz aufgezeigt, der eine noch weniger aufwändige Abschätzung zum gesamten Stadtgebiet erlaubt. Die detaillierte Analyse und die Entwicklung des vereinfachten Modellansatzes zur Schnellanalyse zum gesamten Stadtgebiet mit Hilfe von GIS-Daten werden am Beispiel des Stadtbezirkes Wuppertal-Vohwinkel dargestellt. Der Hochrechnungsansatz ohne Analyse der GIS-Daten zum gesamten Stadtgebiet wird für eine Abschätzung am Beispiel von Wuppertal angewendet.

Die Ergebnisse für das Jahr 2010 zu Vohwinkel sollen im Weiteren die Grundlage für eine detaillierte Potenzialanalyse (vgl. 4) mit zusätzlicher Berücksichtigung von Akteurseinflüssen und einfachen Wirtschaftlichkeitsansätzen bilden. Ebenso stellt die Methode des Bestandsmodells eine Basis für die Erstellung der Startbilanz zum Jahr 1990 für die Szenarien (vgl. 6.3) dar, in dem die Gebäudeflächen und der Energiemix auf den Zustand im Jahr 1990 angepasst werden und eine Neuberechnung mit Hilfe des erstellten Excel-Tools erfolgt. Somit kann der prozentuale Bezug zum Ausgangsjahr 1990 hergestellt werden. Das Bestandsmodell kann weiterhin nach einer Erweiterung als Berechnungsgrundlage zu Szenarien genutzt werden. Mit Hilfe der Szenarien kann der zukünftige Beitrag des beheizten Nichtwohngebäudebestandes bei Betrachtungen zu einer zukunftsfähigen Stadtentwicklung, insbesondere zu CO₂-Minderungen, dargestellt werden. Die Szenarien werden für Vohwinkel und für das gesamte Stadtgebiet Wuppertal aufbereitet (vgl. 6.5, 6.6 und 6.9). Die aufgezeigte Vorgehensweise nutzt bei der Bestandsmodellierung folgende Modellparameter:

- mittlere Leerstandsquote,
- prozentualen Anteile der Energieträger mit CO₂-Emissions- und Primärenergiefaktoren,
- Einteilungen der Gebäude in Nichtwohngebäudekategorien
- und Baualtersklassen,
- Zuordnungen von Heizenergiekennwerten sowie
- GIS-Daten, die unter anderem Gebäudeflächen und Geschossezahlen beinhalten

Die Modellparameter sowie die Ergebnis- und Fehlerbandbreite werden nachfolgend diskutiert, die Genauigkeit abgeschätzt und die Ergebnisse zusammengefasst: Bei den Betrachtungen zu den Heizkennwerten wurden ein verbrauchsorientierter Ansatz (Top-

down) und ein bedarfsorientierter Ansatz (Bottom-up) berücksichtigt. In Abhängigkeit des energetischen Baualters werden Heizkennwerte zu 38 Nichtwohngebäudekategorien mit je vier Baualtersklassen ermittelt. Die Heizkennwerte, die mit Hilfe der Ansätze aufgezeigt werden, sind generell als Mittelwerte je Gebäudekategorie bei nichtwohngebäudespezifischen Fragestellungen nutzbar. Auf Grund der Anwendung beider Ansätze kann die Ergebnisbandbreite zu energetischen Zusammenhängen besser deutlich gemacht und die Bandbreite besser abgeschätzt werden. Mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse wird eine Empfehlung zur Nutzung eines favorisierten Ansatzes (Top-down-Ansatz mit verbrauchsorientierten Heizkennwerten gemäß 2.6.1) ausgesprochen. Somit entfällt die parallele Anwendung des Bottom-up-Modells, wodurch der Aufwand bei der Modellierung des Bestands oder bei Szenarienberechnungen reduziert werden kann.

Bei der Nutzung der GIS-Daten als Datengrundlage ist festzustellen, dass sich diese generell als Grundlage zur Beurteilung der Bestandssituation zu Nichtwohngebäuden eignen. Die Datenüberprüfung mit der örtlichen Situation in Vohwinkel hat jedoch gezeigt, dass die GIS-Daten hinsichtlich ihrer Attribute nicht immer mit dem Bestand übereinstimmen. Für Vohwinkel wird mit Hilfe der örtlichen Überprüfung und mit Hilfe von Luftbildkarten festgestellt, dass die in Frage kommenden Original-GIS-Daten in Summe um etwa 22 Prozent, bezogen auf die Bruttogrundfläche, reduziert werden müssen, was die Ungenauigkeit zu den GIS-Daten-Inhalten verdeutlicht und zunächst die Notwendigkeit des aufwändigeren Ansatzes zu einem Teilgebiet inklusive des örtlichen Abgleiches rechtfertigt. Die erreichbare Genauigkeit zu den Einschätzungen beim örtlichen Datenabgleich kann dabei mit einer Abweichung von fünf Prozent angegeben werden, was die Fehlerbandbreite deutlich reduziert. Der Mehraufwand bei der detaillierten GIS-Daten-Analyse zur Reduzierung der Fehlerbandbreite ist vertretbar, zumal der Nutzen für den vereinfachten Ansatz für das gesamte Stadtgebiet zur Verfügung steht und der Mehraufwand für einen Stadtteil bei der Bewertung des verbleibenden Stadtgebietes mit dem vereinfachten Ansatz jedenfalls wieder eingespart wird.

Das abgeleitete vereinfachte Berechnungsmodell zum vollständigen Stadtgebiet aus der detaillierten Analyse zu einem städtischen Teilgebiet verursacht generell nur noch einen geringen Aufwand bei der Beurteilung der Bestandssituation, da für die Berechnungen zu den Gebäuden von Non-Profit- und Profit-Organisationen keine Festlegungen zur Nutzung (Gebäudekategorie), Baualtersklassen, Heizkennwerten und sonstige GIS-Datenkorrekturen durchgeführt werden müssen. Es sind lediglich die relevanten GIS-Datensätze zu aggregieren und die Leerstandsquote sowie der Energiemix festzulegen.

Der CO₂-Anteil der Nichtwohngebäude von Non-Profit-Organisationen beträgt im Raumwärmesektor in Vohwinkel rund 7,5 Prozent, der Anteil von Profit-Organisationen ca. 34 Prozent (zusammen ca. 41,5 Prozent) und der Wohngebäudeanteil etwa 58,5 Prozent. Die Verteilung der Anteile innerhalb der beheizten Nichtwohn-

gebäude beträgt gemäß dem favorisierten Top-down-Ansatz in etwa 18 Prozent für die Non-Profit-Organisationen inklusive der kommunalen Gebäude und ca. 82 Prozent für die Profit-Organisationen (Wirtschaftsbauten). Insgesamt verursacht der Raumwärmeenergieverbrauch bei Nichtwohngebäuden etwa 13 Prozent der städtischen CO₂-Emissionen.

Durch die Beheizung der Nichtwohngebäude entstand im Jahr 2010 in Vohwinkel gemäß Top-down-Ansatz eine pro-Kopf-Emission von 1,07 Tonnen CO₂ pro Jahr und in Wuppertal 1,13 Tonnen CO₂ pro Jahr. Diese Kennwerte verdeutlichen die Notwendigkeit des gesellschaftlichen Umdenkens und Handelns, da bis zum Jahr 2050 weltweit eine pro-Kopf-Emission aus allen Sektoren von einer Tonne CO₂ pro Jahr erreicht werden soll.

Die Ergebnisse zeigen auch, dass die beheizten Nichtwohngebäude auf Grund ihres hohen Anteils am Raumwärmesektor bei den Zielsetzungen bis 2050 entsprechend zu würdigen sind und hierzu Leitparameter mit Hilfe von Szenarien (vgl. 6) zur Umsetzung von CO₂-Emissionsminderungen aufgezeigt werden müssen.

4 Potenzialanalyse zu kurzfristigen Sanierungsmaßnahmen

Ziel der Potenzialanalyse ist es, mögliche CO₂-Minderungen ausgehend vom Bestand im Jahr 2010 für einen kurzfristigen Zeithorizont (zehn Jahre) bis zum Jahr 2020 aufzuzeigen. Das Potenzial soll sich dabei an praxisnahen Sanierungszielen zu den Gebäuden orientieren. Die Potenzialanalyse zum Bestand am Beispiel von Vohwinkel differenziert dabei die einzelnen Gebäudekategorien, wodurch sich die Gebäudekategorien je Non-Profit- bzw. Profit-Organisationen mit dem größten Potenzial aufzeigen lassen. Zusätzlich lassen sich auch Hinweise für die Szenarien (vgl. 6) zur Sanierungstiefe anhand von Baualtersklassen ableiten.

Die Gebäudekategorien mit den größten Potenzialen sind von besonderem Interesse, da diese zu schnellen Veränderungen bei den CO₂-Emissionen beitragen und somit einen größeren Anteil beim Erreichen von kurzfristigen Zwischenzielen liefern können. Die Potenzialanalyse wird mit einem einfachen Bewertungsschema zur Berechnung des kurzfristigen CO₂-Minderungspotenzials aus der Raumwärme des Nichtwohngebäudebestandes mit Hilfe des theoretischen und des wirtschaftlichen Potenzials sowie dem resultierenden CO₂-Erwartungspotenzial durchgeführt. Diese Potenzialebenen berücksichtigen dabei Akteurs- und Wirtschaftseinflüsse, die nachfolgend erläutert werden. Das Schema kann auf der Stadtgebietsebene als Instrument zur Abschätzung von kurzfristigen Potenzialen auf Basis von Bestandsdaten zu den einzelnen Gebäudekategorien gemäß detailliertem Bestandsmodell (vgl. 2.8.1) angewendet werden.

4.1 Methodische Vorgehensweise

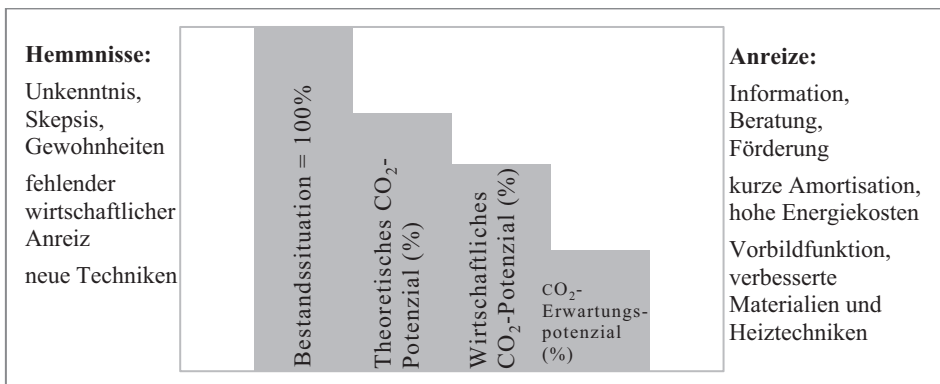
Das Bewertungsschema zum Minderungspotenzial betrachtet neben technischen Randbedingungen, wie die energetische Baualtersklasse, Gebäudeflächen und Nutzungsdauer, Einflussparameter zur Wirtschaftlichkeit und die Bereitschaft von Akteuren. Diese Einflussparameter werden abgeschätzt und daraus folgende Potenzialebenen zum realisierbaren CO₂-Minderungspotenzial abgeleitet:

- Theoretisches CO₂-Minderungspotenzial
- Wirtschaftliches CO₂-Minderungspotenzial
- CO₂-Erwartungspotenzial zu realisierbaren CO₂-Minderungen

Das Bewertungsschema wird am Beispiel von Wuppertal-Vohwinkel angewendet. Das theoretische CO₂-Minderungspotenzial verdeutlicht die Minderungsmöglichkeiten, wenn alle Nichtwohngebäude zu 100 Prozent, unabhängig von hemmenden Einflüssen, auf den energetischen Zustand einer energetisch besseren Baualtersklasse hin saniert würden. Da dies infolge von wirtschaftlichen Aspekten (Hemmnisse) nicht im Selbstlauf eintritt, wird nur ein Teil der Gebäude mit wirtschaftlich darstellbaren Randbedingungen kurzfristig saniert werden, wodurch sich ein sogenanntes wirtschaftliches Minderungspotenzial zu den Sanierungsmaßnahmen ergibt. Zusätzlich beeinflussen weitere

Randbedingungen die Vorgehensweise der Akteure, so dass infolge weiterer Hemmnisse nicht alle wirtschaftlichen Maßnahmen umgesetzt werden und dadurch das sogenannte Erwartungspotenzial zu realisierbaren CO₂-Minderungen verbleibt. Dieses Erwartungspotenzial spiegelt den Anteil wider, welcher nach Berücksichtigung der hemmenden Faktoren tatsächlich zur Umsetzung kommen kann, bzw. welcher Anteil je nach Stärke der Anreize erwartet bzw. realisiert werden kann. Die Potenzialebenen mit ihren prozentualen Abstufungen lassen sich gemäß Abbildung 18 darstellen. Zusätzlich sind Hemmnisse und Anreize aufgezeigt.

Abbildung 18: CO₂-Potenzialebenen bei der Umsetzung von kurzfristigen Sanierungsmaßnahmen



Quellen: Eigene Darstellung und [Ham2012], S. 32

Die Potenzialebenen verdeutlichen, dass ausgehend von einer Bestandsituation (100 Prozent) ein theoretisches Potenzial und nach den Einflüssen von wirtschaftlichen und sonstigen, akteursspezifischen Faktoren nur ein kleinerer Rest als realisierbares Erwartungspotenzial zu den CO₂-Emissionsminderungen verbleibt.

Zu mittel- und langfristigen Einschätzungen, beispielsweise bis zum Jahr 2050, werden in Kapitel 6 Szenarien aufbereitet, die die Entwicklung, insbesondere auch unter dem Einfluss von Neubauten, Flächenveränderungen und Anpassungen beim Energiemix, berücksichtigen.

Bei der Potenzialanalyse zu Auswirkungen von kurzfristigen Sanierungsmaßnahmen auf den Bestand hinsichtlich CO₂-Emissionen wird zunächst von einer Verbesserung der Bestandsgebäude auf ein vergleichbares energetisches Niveau, wie das der Baualtersklasse D (Neubaustandard: 1995-2010), ausgegangen. Es wird dabei angenommen, dass die Gebäude der Baualtersklasse D selbst gemäß ihrem Lebenszyklus noch nicht für kurzfristige Veränderungsmaßnahmen zur Verfügung stehen und diese daher unverändert bleiben. Das so ermittelte theoretische Potenzial zu CO₂-Einsparungen stellt demnach einen Gebäudebestand dar, der aus energetischer Sicht

Neubauten aus dem Zeitraum von 1995 bis 2010 entspricht. Dies kann beispielsweise durch Maßnahmen an Fenster, Fassaden, Dachaufbauten und an der Heiztechnik erreicht werden. Die Wahl des energetischen Zustandes des sanierten Bestandes, bezogen auf die Baualtersklasse D, wird mit den Anforderungen der EnEV 2009 an Bestandsveränderungen begründet. Diese sind erfüllt, wenn geänderte Nichtwohngebäude die Neubauanforderungen um nicht mehr als 40 Prozent²⁴⁸ überschreiten. Des Weiteren können unter Berücksichtigung von praxisnahen Einflüssen infolge der baulich vorhandenen Randbedingungen nicht alle Maßnahmen durch Sanierungen zu optimalen Verhältnissen verhelfen, da beispielsweise mit herkömmlichen Maßnahmen die Wärmebrücken nicht gänzlich beseitigt oder die Luftdichtheit nicht ausreichend hergestellt werden kann.

Deswegen werden die Anpassungsmaßnahmen unter Ansatz der Baualtersklasse D (vgl. 2.4) nicht mit einem aktuellen Neubaustandard gleichgesetzt.

Zusätzlich wird die Potenzialanalyse unter Anwendung eines deutlich verbesserten Sanierungsziels durchgeführt, damit ein Vergleich zum möglichen kurzfristigen Sanierungspotenzial deutlich wird, wenn größere Anstrengungen beispielsweise durch intensivere Planungsprozesse zu Wärmebrücken und zur Luftdichtheit sowie Optimierung bei der baupraktischen Umsetzung unternommen werden, und wenn die verantwortlichen Akteure selbst höhere Anforderungen an die Sanierungsqualität stellen würden.

Dazu werden Heizkennwerte zur Baualtersklasse E²⁴⁹, die bei den CO₂-Szenarien den aktuellen Neubauzustand bis zum Jahr 2020 widerspiegelt, herangezogen. Auch bei dieser Variante wird davon ausgegangen, dass die Bestandsgebäude mit einer Einstufung in die Baualtersklasse D bis zum Jahr 2020 noch nicht zur Sanierung anstehen. Bei der Anwendung auf Vohwinkel stellen die ermittelten CO₂-Emissionen in Abbildung 11 (vgl. 3.2) zu den einzelnen Gebäudekategorien des Nichtwohngebäudebestandes die Ausgangsgrößen für das zu berechnende, realisierbare CO₂-Minderungspotenzial für Vohwinkel dar. Nachfolgend wird die methodische Vorgehensweise zu den einzelnen Potenzialebenen erläutert:

Theoretisches CO₂-Minderungspotenzial:

Zur Einschätzung der theoretischen Minderungspotenzialebene werden sämtliche Gebäudeflächen der Baualtersklassen A bis C (vgl. 2.4) je Nichtwohngebäudekategorie (vgl. 2.3) mit den verbrauchsorientierten Heizkennwerten der Baualtersklasse D ($HK_{Vi,BKD}$) gemäß Top-down-Modellansatz (vgl. 2.6.1) und wie zuvor erwähnt zum Vergleich mit der Baualtersklasse E ($HK_{Vi,BKE}$) verknüpft. Der Top-down-Ansatz kommt zur Anwendung, da dieser gemäß Sensitivitätsanalyse (vgl. 3.6) mittlere Ergeb-

²⁴⁸ Vgl. [EnEV2009], § 9 Abs. 1 Nr. 2, Ausgabe 2009

²⁴⁹ Die Baualtersklasse E wird für die Szenarien (vgl. 6.4.1) eingeführt und bildet Heizkennwerte für Gebäude mit dem Neubaustandard bis zum Jahr 2020 ab.

nisse zur Bestandssituation liefert. Die CO₂-Emissionen je Gebäudekategorie werden wiederum unter Berücksichtigung der sonstigen Parameter des Bestandsmodells wie die mittlere Leerstandsquote, die Primärenergie- und CO₂-Emissionsfaktoren berechnet. Dabei wird angenommen, dass diese bei dem betrachteten kurzfristigen Zeitraum unverändert bleiben. Bei Bedarf können die Werte auch abweichend eingesetzt werden. Der vollständige Ansatz zum theoretischen Minderungspotenzial (ThCO₂ in Tonnen pro Jahr) wird in Anlehnung an das Bestandsmodell je Gebäudekategorie für die Baualterklassen A bis C durch Subtraktion von den berechneten Bestandsemissionen (CO_{2i,j}) wie folgt beschrieben:

$$ThCO_{2i,j} = CO_{2i,j} - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (GF_{i,j} \cdot AN_{i,j} \cdot HK_{Vi,BkD/E}) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[\sum_1^p \left(\frac{EQp}{100} \right) \cdot \left(\frac{CO_2Fp}{1000} \right) \cdot PFP \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$$

Dabei ist HK_{Vi,BkD/E} der jeweilige verbrauchsorientierte Heizkennwert zur Baualterklasse D bzw. E, der mit den Bruttogrundflächen aus den GIS-Datensätze gemäß detaillierten Ansatz multipliziert wird.

Wirtschaftliches CO₂-Minderungspotenzial:

Das wirtschaftliche Minderungspotenzial reduziert das theoretische Minderungspotenzial infolge ökonomischer Randbedingungen. Des Weiteren ist zu beachten, dass auch bei bestehenden Gebäuden das Wirtschaftlichkeitsgebot²⁵⁰ gesetzlich verankert ist und daher in der Regel keine Maßnahmen umgesetzt werden, die über der Wirtschaftlichkeitsgrenze liegen. Zur Ermittlung des Reduktionspotenzials wird auf bereits vorhandenen Modellrechnungen zu Grenzkosten aus dem Jahr 2001 zurückgegriffen. Diese zeigen eine Minderung des theoretischen Potenzials von ca. 50 Prozent²⁵¹, was einem Faktor zur Wirtschaftlichkeitsgrenze von 0,5 entspricht.

Zwecks vereinfachter Anpassung des Faktors zur Wirtschaftlichkeitsgrenze an eine etwa 10 Jahre spätere Situation werden die Steigerungen zum Energiepreisindex und Baupreisindex verglichen. Gemäß der langfristigen Gaspreisentwicklung kam es in diesem Zeitraum zu einer Preiserhöhung um den Faktor von etwa 1,5.²⁵² Die Baupreise sind dagegen für Nichtwohngebäude am Beispiel von Bürogebäuden und gewerblichen Betriebsgebäuden gemäß Preisindex für die Bauwirtschaft im 10-Jahreszeitraum von 2001 bis 2011 nur um den Faktor von etwa 1,22²⁵³ gestiegen. Werden beide Preisindizes ins Verhältnis gesetzt, verbleibt ein relativer Gaspreisanstieg im Verhältnis zum

²⁵⁰ Vgl. [EnEG2013], §§ 4 bis 5, Energieeinspargesetz, letzte Änderung vom 04.07.2013

²⁵¹ Vgl. [Fis2008], S. 216 - 217 und [Fis2002], S. 270: Fischeschick Manfred, Lechtenböhrner Stefan et al., 2008 und 2002

²⁵² Vgl. [BDEW2012b]: Bundesverband der Energie- und Wassertechnik e. V. (Hrsg.), 2012

²⁵³ Vgl. [DESTATIS2012d], S. 23: Statistisches Bundesamt (Hrsg.), 2012

Baupreisanstieg von 1,23 (= 1,5 / 1,22). Dieser Faktor wird hier als Steigerungsfaktor für die Grenzkosten angenommen, da der stärkere Anstieg der Energiekosten und somit der Betriebskosten im Vergleich zu den Investitionskosten die Grenze zur Wirtschaftlichkeit erhöhen sollte. Unter dieser Annahme, dass die Wirtschaftlichkeitsgrenze um etwa die gleiche Relation anzuheben ist, kann für das wirtschaftliche Minderungspotenzial vereinfacht der Anteil mit rund 62 Prozent (= 50 Prozent · 1,23) angenommen werden. Sollte in Relation gesehen der Gaspreis steiler ansteigen, erhöht sich der Wirtschaftlichkeitsfaktor. Diese Betrachtung hat der Anwender im konkreten Fall zu bewerten.

Für diese Arbeit wird die beeinflussende Relation der Indices auf die Grenzkosten mit 1,23 angenommen. Zur Berücksichtigung des wirtschaftlichen Einflusses auf das realisierbare Sanierungspotenzial mit Hilfe der aufgeführten, vereinfachten Grenzkostenanpassung wird ein Wirtschaftsfaktor (WF) eingeführt. Der Wirtschaftsfaktor WF wird dabei dem zuvor ermittelten Faktor von 0,62 gleichgesetzt. Das wirtschaftliche CO₂-Minderungspotenzial (WiCO₂ in Tonnen pro Jahr) je Gebäudekategorie und Baualtersklasse ergibt sich demnach wie folgt:

$$WiCO_{2i,j} = WF \cdot ThCO_{2i,j} = 0,62 \cdot ThCO_{2i,j}$$

Die Non-Profit- und Profit-Organisationen werden weiterhin getrennt betrachtet, da das Potenzial aller Nichtwohngebäudekategorien ermittelt werden soll. Dazu wird angenommen, dass auch die Non-Profit-Organisationen beim Immobilienbestand nach ähnlichen wirtschaftlichen Aspekten handeln, weswegen der gleiche Wirtschaftsfaktor bei allen Nichtwohngebäudekategorien verwendet wird. Dieser Ansatz wird damit begründet, dass beispielsweise landeseigene Immobiliengesellschaften, wie der Bau- und Liegenschaftsbetrieb NRW, über ein sehr großes Anlagenvermögen (8,8 Milliarden Euro²⁵⁴) verfügen und nur gewisse Budgets zur Verfügung stehen, was zu entsprechenden wirtschaftlichen Handlungsansätzen führen muss.

CO₂-Erwartungspotenzial zu realisierbaren CO₂-Minderungen:

Das Erwartungspotenzial im Jahr 2020 könnte beispielsweise direkt mit Hilfe einer Sanierungsrate ausgedrückt werden. Diese liegt bei Wohngebäuden bei ca. einem Prozent und soll als Ergebnis politischer Einflussnahme bis zum Jahr 2020 auf zwei Prozent verdoppelt werden.²⁵⁵ Würde diese Vorgehensweise auf Nichtwohngebäude übertragen werden, wäre in der Sanierungsrate bereits das vollständige Spektrum von Hemmnissen und Anreizen und demnach sämtliche Potenzialebenen enthalten, was einer differenzierten Potenzialanalyse zu Nichtwohngebäudekategorien nicht gerecht wird.

²⁵⁴ Vgl. [BLB2008]: Bau- und Liegenschaftsbetrieb des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), 2008

²⁵⁵ Vgl. [Deu2012] S. 3: Deutscher Bundestag, Drucksache 17/9834, 2012

Daher werden hier als relevante Faktoren die Nutzungsdauer (ND in a) und ein sogenannter Akteursfaktor (AF) zur Beschreibung der gebäudekategorie-spezifischen Erwartungspotenziale eingeführt und die Bewertungsbandbreiten sowie der rechnerische Ansatz nachfolgend erläutert.

Der Akteursfaktor soll dabei das Akteursinteresse und die Bereitschaft der Akteure zum Beispiel wegen einer Vorbildfunktion bei der Umsetzung von gesetzlichen Regelungen, den bereits laufenden Auseinandersetzungen mit Energieeinsparungen im Raumwärmebereich und das aktuelle Mitwirken der Verantwortlichen berücksichtigen. Bei privat-wirtschaftlichen Akteuren besteht oftmals eine geringere Bereitschaft für Investitionen in die Verbesserung der Gebäudequalität. Zusätzlich kommen erschwerend die unterschiedlichen wirtschaftlichen Interessen der Vermieter (Grundstücksgesellschaft) und der Mieter (Betriebsgesellschaft) hinzu, was als Nutzer-Investor-Dilemma²⁵⁶ bekannt ist. Des Weiteren ist die Bereitschaft Energie einzusparen bei Produktionsbetrieben, Werkstätten und dem Handel eher auf der Betriebs- bzw. Produktionsebene anzutreffen, zumal zeitweise in Lager- und Produktionshallen sowie bei Handelsgebäuden nutzungsbedingt Tür- und Toranlagen offen stehen. Somit steht eher das Optimieren von internen Heiz- und Kühllasten im Fokus. Bei einer Bürofläche zu einer Produktionsstätte oder eines Dienstleisters ist dagegen die Bereitschaft der Verantwortlichen höher einzuschätzen, da sich beispielsweise die Verantwortlichen selbst in den Gebäuden aufhalten.

Öffentliche Gebäudebetreiber (Non-Profit-Organisationen) thematisieren dagegen das Energiesparen im Raumwärmebereich seit längerer Zeit und haben bereits verschiedene Sanierungsmaßnahmen umgesetzt. Zusätzlich ist der Zugang zu Förderprogrammen eher vorhanden und es steht Personal zur Bearbeitung von Förderanträgen zur Verfügung. Darüber hinaus ist die Vorbildfunktion für öffentliche Gebäude inzwischen gesetzlich²⁵⁷ festgeschrieben. Des Weiteren wird das öffentliche Gebäude nicht als reines Wirtschaftsgut betrachtet, sondern dient oftmals auch sozialen und kulturellen Zwecken, was die Bereitschaft in energetische Investitionen erhöht.

Der Akteursfaktor AF wird hier generell mit einem Basiswert von 1,0 eingeführt. Höhere Bewertungen stellen ein entsprechend größeres Akteursinteresse (Anreize) dar. Etwaige höhere Bewertungen zum Akteursfaktor sind je betrachteter Gebäudekategorie einzuschätzen. Aus den zuvor aufgeführten qualitativen Zusammenhängen wird eine Bandbreite zur Bereitschaft bei den Akteuren von bis zu 30 Prozent angenommen. Dies wird qualitativ damit begründet, dass die Bestandsgebäude der Profit-Organisationen energetisch älter sind als die der Non-Profit-Organisationen und demnach bei den Non-Profit-Organisationen eine größere Bereitschaft zur Gebäudesanierung oder für Ersatzneubauten vorliegt. Gemäß Abbildung 12 (vgl. 3.2) liegt die quantitative Differenz der

²⁵⁶ Vgl. [Eka2009], S. 56: Ekardt Felix, Heitmann Christian et al., 2010

²⁵⁷ Vgl. [EEWärmeG2009], §§ 1a und 5a, zuletzt geändert am 28.07.2011

Flächenanteile bei älteren Gebäuden der Baualtersklasse A und B etwa 30 Prozent (0,73 = 46,6% / 63,99%)²⁵⁸ bei den Profit-Organisationen höher als bei den Non-Profit-Organisationen, was auf etwa 30 Prozent höheren Modernisierungswillen bei den Akteuren der öffentlichen Gebäuden hindeutet. Daher wird der Akteursfaktor im Bereich von 1,3 bis 1,0 gewählt. In den Tabellen des Anhangs 2.2 sind die angenommenen Akteursfaktoren je Nichtwohngebäudekategorie aufgeführt. Beispielsweise wird der Akteursfaktor zur Gebäudekategorie 1 (Schulen) um 30 Prozent (1,3) höher als der Basiswert eingeschätzt, da Modernisierungsmaßnahmen bei diesem Gebäudetyp in Deutschland steigende Tendenzen²⁵⁹ zeigen.

Auch in Wuppertal sind etliche Schulgebäude inzwischen energetisch saniert²⁶⁰, was den Trend und die Umsetzung durch Akteursentscheidungen belegt. Die öffentlichen Sanierungsmaßnahmen werden unter anderem infolge von Förderprogrammen durchgeführt und führen daher zu einer Erhöhung der Wirtschaftlichkeitsgrenze, was hier ebenso durch die Erhöhung des Akteursfaktors bei den Non-Profit-Organisationen berücksichtigt wird, da Akteure dafür verantwortlich sind. Der Wirtschaftsfaktor bleibt unverändert. Der Einfluss der Fördermittel kann nur einmal berücksichtigt werden.

Anhand der im Nachgang durchgeführten Akteursbefragung (vgl. 5.2.4) zu Büroflächen und kirchlichen Einrichtungen ist beispielweise festzustellen, dass energetische Teilmaßnahmen infolge der Überwachung von Betriebskosten durchgeführt wurden, was verstärkt auf gezielte Maßnahmen durch Akteursentscheidungen hinweist. Daher wird zum Beispiel der AF-Wert bei Bürogebäuden um 20 Prozent und bei kirchlichen Einrichtungen um 30 Prozent höher als der Basiswert angenommen.

Der höhere Ansatz bei kirchlichen Einrichtungen wird mit dem eingeführten kircheneigenen Umweltmanagementsystem »Der Grüne Hahn«²⁶¹ begründet, was ein erhöhtes Engagement widerspiegelt. Bei produzierenden Flächen wird auf Grund der durchgeführten örtlichen Begehungen in Vohwinkel und den daraus gewonnenen Einschätzungen zu bisherigen energetischen Maßnahmen an den Gebäuden der AF-Wert mit 1,0 beibehalten, was keine zusätzlichen Initiativen durch Akteursentscheidungen widerspiegelt. Hier werden Maßnahmen meist erst bei unvermeidbaren Instandsetzungen durchgeführt.

Die Nutzungsdauer (ND) wird in Anlehnung an Nutzungszyklen je nach Akteure bzw. Gebäudekategorie gewählt. Die angenommenen Werte sind ebenso in den Tabellen des Anhangs 2.2 je Gebäudekategorie aufgeführt. Die hier gewählte Nutzungsdauer von 15 bis 30 Jahren entspricht einer energetischen Modernisierungsrate von 6,7 Prozent

²⁵⁸ Vgl. [Ham2013b], S. 9: Hamann Achim, 2013

²⁵⁹ Vgl. [BINE2006], S. 2: BINE Informationsdienst, 2006

²⁶⁰ Vgl. [GMW2009]: Gebäudemanagement der Stadt Wuppertal, 2009

²⁶¹ siehe bspw. kirchliches Umweltmanagement »Der Grüne Hahn«, <http://www.kirchliches-umweltmanagement.de/>, Stand: 31.10.2012

pro Jahr bis 3,3 Prozent pro Jahr, die nicht mit der zuvor genannten allgemeinen Sanierungsrate von einem Prozent vergleichbar ist, da in der Praxis viele Gebäude über mehrere Nutzungszyklen hinweg genutzt werden, bevor eine entsprechende energetische Sanierungstiefe durch Modernisierungsmaßnahmen erreicht wird. Die Betrachtung mit 3,3 Prozent bis 6,7 Prozent bzw. der dazugehörigen Nutzungsdauer in Verbindung mit den Nutzungszyklen wird jedoch zum Aufzeigen des Potenzials berücksichtigt. Nach Ablauf des Nutzungszyklus werden beispielsweise Maßnahmen durch Umbauten und Umnutzungen ausgeführt, die zur Erneuerung der Heiztechnik oder Sanierungen an der Gebäudehülle führen, jedoch keine vollumfängliche Sanierungstiefe erreicht wird.

Für Bürogebäude (Kategorie 9) wird beispielsweise eine Nutzungsdauer von 20 Jahren gewählt, die damit in etwa der wissenschaftlich empirisch ermittelten Nutzungszyklusdauer von durchschnittlich 18,7 Jahren²⁶² entspricht. Auch ohne einen auslösenden Hintergrund wie Umnutzungen oder Umbauten liegt die Nutzungsdauer, beispielsweise von Dachabdichtungen, bei etwa 20 Jahren²⁶³. Nach dieser Zeit ergeben sich im Zuge von notwendigen Dachabdichtungsarbeiten ebenso energetische Modernisierungsmaßnahmen.

Das Erwartungspotenzial ($EwCO_2$ in Tonnen pro Jahr) zu den erreichten CO_2 -Minderungen im Jahr 2020 kann ausgehend von 2010 und über den Betrachtungszeitraum von zehn Jahren sowie unter dem Einfluss der jeweiligen Nutzungsdauer und des Akteursfaktors je Gebäudekategorie wie folgt bestimmt werden:

$$EwCO_{2i,j} = \frac{AF \cdot WiCO_{2i,j} \cdot 10}{ND}$$

Mit dieser Formel wird einerseits berücksichtigt, dass der Akteursfaktor infolge von Anreizen das Erwartungspotenzial erhöhen kann (Faktor 1,0 bis 1,3) und andererseits die Nutzungsdauer das Potenzial bis zum Jahr 2020 weiter abschwächt, da nicht alle Sanierungsmaßnahmen im Betrachtungszeitraum von zehn Jahren erfolgen (Nutzungszyklus = 15 bis 30 Jahre). Mit dem Faktor zehn wird die jährliche Sanierungsrate infolge des angesetzten Nutzungszykluses auf den Zeitraum von 2010 bis 2020 umgerechnet.

Nachfolgend wird die methodische Vorgehensweise zur Ermittlung des Erwartungspotenzials zu den CO_2 -Emissionsminderungen bis zum Jahr 2020 auf Grund der Sanierung des Nichtwohngebäudebestandes als Tabellenausschnitt zur Gebäudekategorie 1 und unter Ansatz des Sanierungsziels (Baualtersklasse D) zusammengefasst. Anhang 2.2 enthält die vollständigen Werte.

²⁶² Vgl. [Off2012], S. 181: Offergeld Berit, 2012

²⁶³ Vgl. [BBSR2011b], S. 13: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.), 2011

Tabelle 27: Ausschnitt Bewertungsschema: Ermittlung des CO₂-Erwartungspotenzials je Gebäudekategorie

Theoretisches Minderungspotenzial:							
$ThCO_{2i,j} = CO_{2i,j} - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (GF_{i,j} \cdot AN_{i,j} \cdot HKv_{i,BkD/E}) \cdot \left[1 - 0,35 \cdot \left(\frac{Le}{100} \right) \cdot \left(\frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[\sum_1^p \left(\frac{EQp}{100} \right) \cdot \left(\frac{CO_2Fp}{1000} \right) \cdot PFp \right] \cdot \left(\frac{Gt}{3883} \right)$							
Wirtschaftliches Minderungspotenzial:							
$WiCO_{2i,j} = WF \cdot ThCO_{2i,j} = 0,62 \cdot ThCO_{2i,j}$							
Erwartungspotenzial zu realisierbaren CO ₂ -Minderungen:							
$EwCO_{2i,j} = \frac{AF \cdot WiCO_{2i,j} \cdot 10}{ND}$							
Nichtwohngebäude, CO ₂ -Potenzialebenen		Theoretisches Minderungspotenzial	WF	Wirtschaftliches Minderungspotenzial	AF	ND	Erwartungspotenzial
Nr.	Gebäudekategorie	jährlich (t/a)	(-)	jährlich (t/a)	(-)	(a)	Jahr 2020 (t/a)
Non-Profit-Organisation							
1.1	Schulen	ThCO _{2 1.1,D}	0,62	WiCO _{2 1.1,D}	1,30	30	EwCO _{2 1.1,D}
	...						
1.4	Weiterbildungsstätten	ThCO _{2 1.4,D}	0,62	WiCO _{2 1.4,D}	1,30	30	EwCO _{2 1.4,D} ΣEwCO _{2 1,D}

Quelle: Eigene Darstellung

4.2 Ermittlungen zu den Potenzialebenen für Vohwinkel

Vorbemerkung:

Zunächst ist zu beachten, dass bei der Potenzialanalyse stärker der Akteurseinfluss relevant ist, als bei der typologisch angelegten Gebäudekategorisierung (vgl. 2.3). Daher sind im Einflussbereich der kirchlichen

Einrichtungen einige Korrekturen bei der Zuweisung der Nichtwohngebäude in die Kategorisierung gemäß 2.3 erforderlich. Nur dann werden die CO₂-Emissionen aus den kirchlichen Einrichtungen nicht nur der Typologisierung, sondern auch der gewollten akteurspezifischen Betrachtung gerecht. In der Kategorie 8 (kirchliche Gebäude) sind bisher infolge der vorgenommenen Typisierung die kirchlichen Einrichtungen, wie zum Beispiel Kindergärten (Kategorie 1.3) und Seniorenheime (Kategorie 4.2), nicht enthalten. Soll dieser Umstand bei der Potenzialanalyse berücksichtigt werden, muss für Vohwinkel eine Verschiebung der CO₂-Emissionen von der Hauptkategorie 1 zur Kategorie 8 um 7,9 Prozent und um 59,4 Prozent von Kategorie 4.2 zu Kategorie 8 beachtet werden. Die Verschiebungsanteile wurden anhand der Bruttogrundflächen gemäß GIS-Daten-Analyse zu Vohwinkel und aus den örtlichen Begehungen ermittelt. Beim Erwartungspotenzial kann demnach die Kategorie 1 um 7,9 Prozent und die Kategorie

4.2 um 59,4 Prozent abgewertet und das Erwartungspotenzial der Kategorie 8 entsprechend aufgewertet werden.

Theoretisches Minderungspotenzial:

In einer Vorveröffentlichung wurden bereits Ausschnitte der Ergebnisse auf Grundlage eines älteren Standes zum Energiemix in Vohwinkel zu den theoretischen Sanierungspotenzialen und den daraus resultierenden Minderungspotenzialen am Beispiel von vier Gebäudekategorien dargestellt. Ebenso wurden die Prozentsätze zu den theoretischen Minderungspotenzialen für den gesamten Nichtwohngebäudebestand, sowie unterteilt in Non-Profit- und Profit-Organisationen, aufgeführt.²⁶⁴

In Anhang 2.1 sind für den aktualisierten Energiemix zu Vohwinkel gemäß Tabelle 19 die CO₂-Emissionen zum Bestand für das Jahr 2010 je Gebäudekategorie und Baualtersklasse sowie der Zustand nach Erreichen der Sanierungsziele (Baualtersklasse D bzw. E) im Jahr 2020 aufgeführt. Demnach ergeben sich je Gebäudekategorie die theoretischen jährlichen Emissionen nach der Sanierung sowie das jährliche Minderungspotenzial in Prozent und als absoluter Wert. Die Werte in Tonnen pro Jahr zum jeweiligen Sanierungspotenzial werden als theoretische Minderungspotenziale in Anhang 2.2 zur Berechnung der weiteren Potenzialebenen, insbesondere für das Erwartungspotenzial bis 2020 weiterverwendet.

Die klimabereinigten Teilergebnisse je Gebäudekategorie können dem Anhang 2.1 entnommen werden. Die Ergebnisse je Organisationsform werden nachfolgend gemäß Anhang 2.1 zusammengefasst:

- Non-Profit-Organisationen:

-Bestand (siehe auch Tabelle 20, 3.2):	6.010 Tonnen pro Jahr
-Nach Sanierung (Ziel Baualtersklasse D):	3.098 Tonnen pro Jahr
-Theoretisches Minderungspotenzial:	48,44 Prozent
-Nach Sanierung (Ziel Baualtersklasse E):	2.667 Tonnen pro Jahr
-Theoretisches Minderungspotenzial:	55,45 Prozent

- Profit-Organisationen:

-Bestand (siehe auch Tabelle 20, 3.2):	27.265 Tonnen pro Jahr
-Nach Sanierung (Ziel Baualtersklasse D):	19.708 Tonnen pro Jahr
-Theoretisches Minderungspotenzial:	27,72 Prozent
-Nach Sanierung (Ziel Baualtersklasse E):	13.062 Tonnen pro Jahr
-Theoretisches Minderungspotenzial:	52,09 Prozent

Demnach können durch Sanierungsmaßnahmen zur Herstellung des Bezugsniveaus der Baualtersklasse D in Vohwinkel die CO₂-Emissionen von Non-Profit- und Profit-Organisationen von rund 33.274 Tonnen pro Jahr um 10.468 Tonnen pro Jahr (=

²⁶⁴ Vgl. [Ham2013a], S. 52-53: Hamann Achim, Helmus Manfred, Reutter Oscar, 2013

2.911,1 t/a + 7.556,6 t/a, theoretisches Minderungspotenzial) auf 22.806 Tonnen pro Jahr (= 3.098 t/a + 19.708 t/a) reduziert werden, was im Mittel für alle Gebäudekategorien einem theoretischen Minderungspotenzial von **minus 31 Prozent**²⁶⁵ entspricht. Dabei weisen im internen Vergleich die Bestandsgebäude zu Non-Profit-Organisationen einen theoretischen Minderungspotenzialanteil von **minus 48 Prozent** und die Gebäude zu Profit-Organisationen von **minus 28 Prozent** auf. Wird das Sanierungsniveau der Baualtersklasse E (Neubaustandard nach EnEV 2009/2014) erreicht, werden lediglich 15.739 Tonnen pro Jahr im Jahr 2020 emittiert, was insgesamt einem theoretischen Minderungspotenzialanteil von ca. **minus 52 Prozent**²⁶⁶ (= $1 - 15.729 / 33.274$) bzw. einer Minderung von 17.534 Tonnen pro Jahr (= $3.331,9 \text{ t/a} + 14.202,5 \text{ t/a}$) entspricht.

Wirtschaftliches Minderungspotenzial:

Das berechnete theoretische Minderungspotenzial von 10.468 Tonnen pro Jahr (Sanierungsziel: Baualtersklasse D) wird in den Tabellen des Anhanges 2.2, unterteilt in jede Gebäudekategorie, mit dem unter 4.1 ermittelten Wirtschaftsfaktor von 0,62 multipliziert. Nach Reduktion des theoretischen Minderungspotenzials durch wirtschaftliche Randbedingungen verbleiben gemäß Anhang 2.2 in Summe rund 6.482 Tonnen pro Jahr (= $1.796,5 \text{ t/a} + 4.685,1 \text{ t/a}$) für Non-Profit- und Profit-Organisationen. Demnach reduziert sich das Minderungspotenzial von minus 31 Prozent auf ca. **minus 20 Prozent** (= $6.482 \text{ t/a} / 33.274 \text{ t/a}$). Bei der Variante zum Minderungspotenzial mit Bezug zum Sanierungsziel »Baualtersklasse E« reduziert sich das Minderungspotenzial durch Berücksichtigung des Wirtschaftsfaktors auf 10.858 Tonnen pro Jahr (= $2.052,1 \text{ t/a} + 8.805,6 \text{ t/a}$), was eine Reduzierung des Minderungspotenzials von minus 52 Prozent auf etwa **minus 33 Prozent** bedeutet.

Erwartungspotenzial zu CO₂-Minderungen:

In Anhang 2.2 ist weiterhin die Berechnung des Erwartungspotenzials je Gebäudekategorie aufgeführt. Das jeweilige Minderungspotenzial ist in Abhängigkeit der gewählten Nutzungsdauer und des gewählten Akteursfaktors auf das Jahr 2020 bezogen.

Die Nutzungsdauer wird infolge der vorangegangenen Ausführungen je nach Gebäudekategorie zwischen 15 und 30 Jahren gewählt, der Akteursfaktor zwischen 1,0 und 1,3. Demnach ergibt sich ein Minderungspotenzial bis zum Jahr 2020 (Sanierungsziel: Baualtersklasse D) von etwa 3.292 Tonnen pro Jahr. Die Non-Profit- und Profit-Organisationen haben dabei jeweils einen Anteil von 742,6 Tonnen pro Jahr bzw. 2.549,6 Tonnen pro Jahr. Insgesamt entspricht dies einem Minderungspotenzial von **minus zehn Prozent** vom Jahr 2010 bis zum Jahr 2020 (= $3.292 \text{ t/a} / 33.274 \text{ t/a}$).

²⁶⁵ Vgl. [Ham2013a], S. 52: Hamann Achim, Helmus Manfred, Reutter Oscar, 2013

²⁶⁶ Vgl. [Ham2013b], S. 4: Hamann Achim, 2013

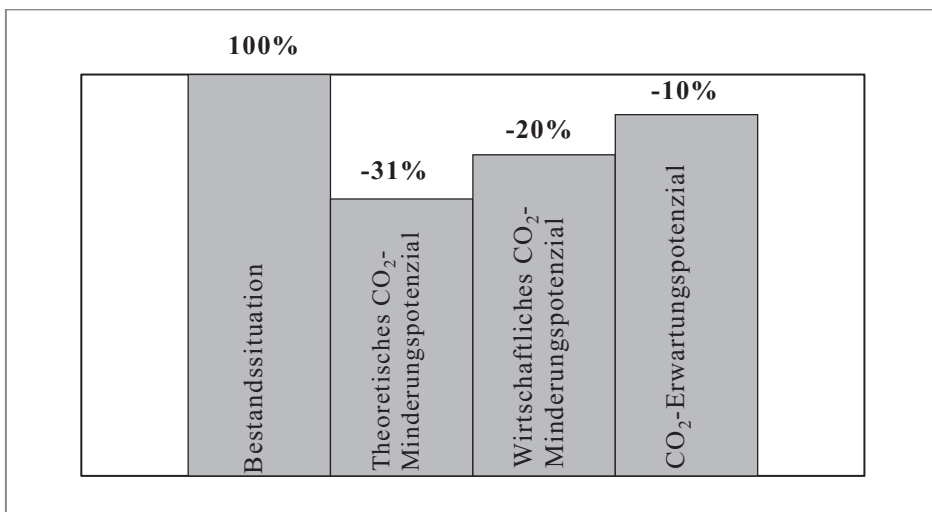
Auf Grund des linearen Hochrechnungsansatzes bei einer Abschätzung zum Stadtgebiet Wuppertal beträgt somit auch für das gesamte Stadtgebiet das kurzfristige Erwartungspotenzial zu Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden der Baualtersklassen A bis C bis zum Jahr 2020 ca. **minus zehn Prozent pro zehn Jahre** bzw. ca. **minus einem Prozent pro Jahr**. Dies wird bei Sanierungsmaßnahmen zu Gebäuden der Baualtersklasse A bis C mit einer Sanierungstiefe, die der Baualtersklasse D entspricht, erreicht.

Dabei sind zusätzliche Neubauten, Ersatzneubauten oder ein sich ändernder Energiemix nicht berücksichtigt. Die Potenzialebenen zu den CO₂-Minderungen sind in Abbildung 19 verdeutlicht.

Bei der Variante mit dem Sanierungsziel »Baualtersklasse E«, und somit der energetischen Anpassung der beheizten Nichtwohngebäude der Baualtersklasse A bis C auf das aktuelle Neubausniveau, betragen die CO₂-Emissionsminderungen im Jahr 2020 in etwa 5.540 Tonnen pro Jahr (= 846,1 t/a + 4.694,3 t/a), was einem Minderungspotenzial von ca. **minus 17 Prozent pro Jahr** bzw. **minus 1,7 Prozent pro Jahr** entspricht und zu etwa **68 Prozent** (= 5.540 t/a / 3.292 t/a) mehr CO₂-Minderungen führt, als wenn das Sanierungsziel der Baualtersklasse D umgesetzt wird.

Von daher ist als Sanierungsziel mindestens die Sanierungstiefe zur Erreichung des aktuellen Neubausniveaus (Baualtersklasse E) anzustreben.

**Abbildung 19: CO₂-Minderungspotenziale beim Sanierungsziel:
»Baualtersklasse D«, Zeitraum 2010 bis 2020**



Quelle: Eigene Berechnungen

Ergebnisinterpretation:

Auf Grund dieser Ergebnisse zu den zwei Potenzialanalysen mit unterschiedlich hohen Anforderungen bei den Sanierungszielen bzw. der Sanierungstiefe wird deutlich, dass das Ziel der Stadt Wuppertal von minus zehn Prozent alle fünf Jahre bis zum Jahr 2030²⁶⁷ zumindest bis zum Jahr 2020 im Teilsektor beheizte Nichtwohngebäude nur annähernd mit **8,5 Prozent pro fünf Jahre** erreicht werden kann, wenn bei den anstehenden Sanierungsmaßnahmen seit 2010 die Gebäude den aktuellen Neubaustandard (Baualtersklasse E) erreichen. Inwiefern bisherige Sanierungen im Bereich Non-Profit- und Profit-Organisationen seit 2010 diesen Standard erreicht haben, wurde nicht weiter untersucht.

Die realistischere Größenordnung auf Grund von Sanierungsmaßnahmen dürfte bei **fünf Prozent pro fünf Jahre** liegen, da das Erreichen eines Neubaustandards durch Sanierungsmaßnahmen nicht vom Ordnungsrecht (EnEV, vgl. 4.1) gefordert wird.

Generell wird auf Basis dieser Betrachtungsweise deutlich, dass zusätzliche Anstrengungen im Teilsektor »beheizte Nichtwohngebäude« notwendig sind, damit die Ziele der Stadt erreicht werden können. Die Potenzialanalyse wird daher im Rahmen von Szenarien-Betrachtungen (vgl. 6) fortgeführt.

Die Szenarien mit Bezug auf einen Zeithorizont bis 2050 berücksichtigen dabei zusätzliche Parameter, wie zum Beispiel Veränderungen beim Energiemix, und sollen Leitparameter für die Zielerreichung liefern.

4.3 Nichtwohngebäudekategorien mit großem Potenzial

Anhand des Sanierungsziels »Baualtersklasse D bzw. E« werden nachfolgend die Gebäudekategorien bzw. die zugehörigen Akteure ermittelt, die das größte kurzfristige Potenzial im Zuge von Sanierungsmaßnahmen aufweisen.

Diese Betrachtung ist von Interesse, da zum Erreichen von schnellen kurzfristigen Sanierungserfolgen die relevanten Gebäudekategorien herauszufiltern sind, bei denen die Umsetzungsmaßnahmen die größten Potenziale versprechen.

Die Identifikation dieser Gebäudetypen und seiner Akteure kann mit Hilfe der tabellarischen Bewertung zu den Non-Profit- und Profit-Organisationen gemäß Anhang 2.2 erfolgen.

Das resultierende Erwartungspotenzial gemäß Anhang 2.2 zu den Gebäudekategorien ist in Tabelle 28 zusammengestellt, wobei die unter 4.2 erläuterte Verschiebungen der CO₂-Emissionen hin zu den kirchlichen Einrichtungen hervorgehoben sind.

²⁶⁷ Vgl. [Bre2013]: Brendel Cordula, Stadt Wuppertal, Telefonat vom 04.07.2013

Tabelle 28: Erwartungspotenzial zu CO₂-Minderungen bis 2020, Gebäudekategorien mit größtem Potenzial

Beheizte Nichtwohngebäude		Erwartungspotenzial 2020 (t/a), Baualtersklasse D		Erwartungspotenzial 2020 (t/a), Baualtersklasse E	
Nr.	Kategorie	vor Verschiebung, kirchlicher Einrichtungen	nach Verschiebung, kirchlicher Einrichtungen	vor Verschiebung, kirchlicher Einrichtungen	nach Verschiebung, kirchlicher Einrichtungen
Non-Profit-Organisation (NP)					
1	Bildung	311,7	287,1	350,3	322,6
2	Verwaltung	11,4	11,4	19,3	19,3
3	Bereitschaftsd./Werkstatt	2,6	2,6	4,3	4,3
4	Heilbehandlung	47,2	19,2	43,9	17,8
5	Sport	50,7	50,7	59,8	59,8
6	Kultur/öffentlicher Zugang	17,1	17,1	7,3	7,3
7	Justizvollzugsan./Kaserne	191,2	191,2	229,7	229,7
8	kirchliche Gebäude	110,7	163,4	131,5	185,3
	Summe NP	742,6	742,6	846,1	846,1
Profit-Organisation (P)					
9	Bürogebäude	487,9	487,9	811,0	811,0
10.1	Produktion/Gewerbe	1090,6	1090,6	2.585,3	2.585,3
10.2	Lager/Logistik	54,3	54,3	75,6	75,6
10.3	Werkstätten/Kleingewerbe	174,1	174,1	273,7	273,7
11	Heilbehandlung	101,1	101,1	94,9	94,9
12	Einkauf/Handel	567,2	567,2	749,5	749,5
13	Kino/Disothek/Spielothek	2,2	2,2	2,8	2,8
14	Beherbergung	72,3	72,3	101,5	101,5
	Summe P	2.549,7	2.549,7	4.694,3	4.694,3
	Summe NP+P	3.292,3	3.292,3	5.540,4	5.540,4

Quelle: Eigene Berechnungen

Die Spalten »vor oder nach Verschiebung« in Tabelle 28 sind wie folgt zu verstehen:

In der Ergebnisspalte »vor Verschiebung« sind verschiedene kirchliche Einrichtungen gebäudespezifisch den Gebäudekategorien 1 und 4 (vgl. 4.2) zugeordnet. Die Spalte »nach Verschiebung« berücksichtigt, dass sich eine Verschiebung des Erwartungspotenzials im Bereich der Kategorie 1 mit 7,9 Prozent und 4 mit 59,4 Prozent zur Gebäudekategorie 8 hin ergibt, wenn alle kirchlichen Einrichtungen der Gebäudekategorie 8 zugeordnet werden (vgl. 4.2).

Damit wird die Einteilung dem Akteurstyp »kirchliche Einrichtungen« gerecht, dem bei der typologischen Betrachtung nicht alle relevanten Gebäudetypen zugewiesen sind.

Interpretation der Ergebnisse zu Wuppertal-Vohwinkel:

In Tabelle 28 ist erkennbar, dass bei den Non-Profit-Organisationen die Gebäudekategorien 1 (Bildung), 7 (Justizvollzugsanstalt/Kaserne) und 8 (kirchliche Einrichtungen) das höchste kurzfristige Erwartungspotenzial aufweisen. Bei den Profit-Organisationen haben die Kategorien 9 (Bürogebäude), 10.1 (Produktion/Gewerbe) und 12 (Einkauf/Handel) das höchste kurzfristige Erwartungspotenzial.

Der Gebäudekategorie 1 sind kommunale Akteure zuzuweisen. Die Kommune (Stadt Wuppertal) betreibt ein Energiemanagement und hat bereits viele Sanierungsprojekte²⁶⁸ veranlasst.

Bei den kirchlichen Akteuren ist hervorzuheben, dass die Bereitschaft zur Energieeinsparung im Gebäudebereich infolge des großen Gebäudebestandes und des bereits bestehenden kirchlichen Umweltmanagementsystems²⁶⁹ grundsätzlich ebenfalls höher einzuschätzen ist und zusätzlich Anteile aus den Nichtwohngebäudekategorien 1 und 4 den kirchlichen Akteuren zuzuordnen sind.

Bei der Gebäudekategorie 7 (Justizvollzugsanstalt/Kaserne) besteht das Erwartungspotenzial in Vohwinkel aus Flächen der Baualtersklasse C. Demnach ist abzuwägen, ob ältere Flächen anderer Gebäudekategorien infolge des notwendigen Sanierungszyklus als vorrangig einzuschätzen sind. Andererseits könnte durch das Mitwirken eines einzigen Akteurs ein großes Potenzial in Vohwinkel realisiert werden.

Damit das Potenzial der Gebäudekategorie 10.1 (Produktion/Gewerbe) kurzfristig genutzt werden kann, müssten relativ viele Gebäude saniert werden und demnach viele gewerbliche Akteure mitwirken, was infolge der Prioritäten der Profit-Organisationen zum Kapitaleinsatz eher als hinderlich bezeichnet werden kann. Gleiches gilt für die Gebäude der Kategorie 12 (Einkauf/Handel), da hier insbesondere die Stadthäuser enthalten sind.

Als Indiz, dass gerade die Akteure im gewerblichen Bereich bei energetischen Themen zu den Gebäuden noch nicht zahlreich mitwirken, kann ein Workshop²⁷⁰ am 29.10.2012 angeführt werden. Hier wurden erneuerbare Energien in Industrie und Gewerbe thematisiert. Gewerbetreibende nahmen jedoch, trotz Einladungen, nicht am Workshop teil. Die Teilnehmer setzten sich aus kommunalen Vertretern, Banken, Stadtwerken, Industrie- und Handelskammer, Energieagenturen usw. zusammen.

Das größte kurzfristige CO₂-Minderungspotenzial wird daher für Wuppertal-Vohwinkel auf Grund der Bewertungen bei folgenden Gebäudekategorien und zugehörigen Akteuren gesehen:

²⁶⁸ Vgl. [GMW2009]: Gebäudemanagement der Stadt Wuppertal, 2009

²⁶⁹ Siehe bspw. kirchliches Umweltmanagement »Der Grüne Hahn«, <http://www.kirchliches-umweltmanagement.de/>, Stand: 31.10.2012

²⁷⁰ Persönliche Teilnahme am Workshop der Bergischen Entwicklungsagentur GmbH am 29.10.2012 in Solingen

- Profit-Organisationen:
 - Kategorie 9, Büroflächen zu 9.1, 9.2 und 9.3
- Non-Profit-Organisationen:
 - Kategorie 1, Bildung: Kommune hat bereits Maßnahmen ergriffen und umgesetzt
 - Kategorie 8, kirchliche Gebäude ohne Kirchenbauten inklusive kirchliche Kindergärten (anteilig Kategorie 1.3) sowie kirchliche Seniorenheime (anteilig Kategorie 4.2)

4.4 Zusammenfassung

Die Vorgehensweise bei der Potenzialanalyse zu verschiedenen CO₂-Potenzialebenen (theoretisches und wirtschaftliches Potenzial sowie Erwartungspotenzial) in Stadtgebieten kann zur Abschätzung von Treibhausgasreduzierungen im Raumwärmebereich von Nichtwohngebäuden mit relativ kurzfristigem Zeithorizont (zehn Jahre) angewendet werden, da in diesem Zeitraum ein sich veränderter Energiemix oder zusätzliche Neubauf Flächen nicht stark ins Gewicht fallen.

Grundlage sind dabei die Kenntnisse zu den Bestandsflächen und Bestandsemissionen je Nichtwohngebäudekategorie, die zum Beispiel aus einer Stichprobe gemäß detailliertem Modellansatz (vgl. 2.8.1) oder dem vereinfachten Ansatz zum gesamten Stadtgebiet (vgl. 2.8.2) mit prozentualen Verteilungen auf die Gebäudekategorien ermittelt werden können.

Als energetisches Sanierungsziel bei Maßnahmen an der Gebäudehülle und der Heiztechnik der Baualtersklassen A bis C wurde der energetische Zustand der Baualtersklasse D und alternativ der Baualtersklasse E angenommen. Es wurden Heizkennwerte gemäß Top-down-Ansatz gewählt. Letztlich sind Abschätzungen zum Wirtschaftsfaktor, zur Nutzungsdauer und zum Akteursfaktor vorzunehmen. Mit der Vorgehensweise sind Abschätzungen zu Gebäudekategorien möglich, die die größten Minderungspotenziale für den Betrachtungszeithorizont aufweisen.

Am Beispiel von Wuppertal-Vohwinkel konnte beispielsweise beim Sanierungsziel »Baualtersklasse D« ein theoretisches Minderungspotenzial von minus 31 Prozent, ein wirtschaftliches Minderungspotenzial von minus 20 Prozent und ein **Erwartungspotenzial zu den CO₂-Minderungen bis zum Jahr 2020 von minus zehn Prozent** abgeschätzt werden.

Wird das Sanierungsziel »Baualtersklasse E« angestrebt, können etwa 68 Prozent mehr CO₂-Minderungen erreicht werden, was 17 Prozent innerhalb zehn Jahre bzw. 8,5 Prozent innerhalb fünf Jahre entspricht.

Damit könnte das städtische Ziel von zehn Prozent alle fünf Jahre unter Berücksichtigung von weiteren Effekten, wie zum Beispiel Anpassungen zum Energiemix, erreicht werden. Je nach prozentualen Bezug zum Jahr 1990 ist eventuell mit der Sanie-

rungstiefe »Baualterklasse E« das gesetzlich festgeschriebene Ziel in NRW (25 Prozent bis 2020, vgl. 1) erreichbar.

Die wesentlichen Gebäudekategorien, die beim Erreichen schneller Sanierungserfolge einen großen Anteil erwarten lassen, sind in Vohwinkel die Gebäudekategorien »Bildung«, »kirchliche Einrichtungen« (ohne Kirchenbauten) und private Büroflächen.

Von daher ist bei diesen Gebäudekategorien und den dazugehörigen Akteuren der Fokus auf Anreize zu kurzfristigen Sanierungsmaßnahmen mit einer Sanierungstiefe, die mindestens dem aktuellen Neubaustandard entspricht, zu legen.

5 Befragung von Akteuren in Vohwinkel

Ziel der Befragung ist es, Einschätzungen von Akteuren zur zukünftigen, energetischen Weiterentwicklung des Nichtwohngebäudebestandes zu gewinnen und diese als Grundlage für Szenarien (vgl. 6.5.2) aufzubereiten. Weiterhin sollen aus der Befragung Hinweise zu Handlungsempfehlungen zu Steigerungen von Sanierungsmaßnahmen abgeleitet werden können.

Die Szenarien sind als Ergänzung zur Potenzialanalyse (vgl. 4) mit kurzfristigem Sanierungsziel notwendig, da diese einen langfristigen Zeithorizont bis zum Jahr 2050 zu Entwicklungen des Nichtwohngebäudebestandes abbilden. Szenarien dienen dabei der Zukunftsforschung und der Darstellung von alternativen Entwicklungswegen.²⁷¹ Die Variablen, die ein Szenario bestimmen, können in vielfältiger Art und Weise ermittelt und für ein qualitatives oder quantitatives Szenario-Writing herangezogen werden. Zwei Szenarien zum sich weiterentwickelnden Nichtwohngebäudebestand werden in dieser Arbeit auf Grund von Akteurseinschätzungen entwickelt. Dafür werden Akteure, die als Entscheider oder Mitentscheider den Zukunftsprozess zum Nichtwohngebäudebestand bestimmen, befragt. Im Vorfeld wurde eine Literaturrecherche und Anfragen bei verschiedenen Institutionen durchgeführt, ob der hier beabsichtigte Erkenntnisgewinn im Nichtwohngebäudebereich in ähnlicher Weise bereits existiert bzw. in einem anderen Untersuchungsraum durchgeführt wurde. Auf Grund der Literaturrecherche können beispielhaft folgende Untersuchungen mit Befragungen aufgeführt werden, die jedoch die hier angestrebte Einbeziehung von Akteuren zu Nichtwohngebäuden nicht widerspiegeln:

- »Analyse zur Umsetzung rationeller Energieanwendungen in kleinen und mittleren Unternehmen des Kleinverbrauchersektors«²⁷²
- »Potenziell treibende Kräfte und potenzielle Barrieren für den Aufbau erneuerbarer Energien aus integrativer Sichtweise«²⁷³
- »Ersatzneubau - Hemmnisse und Anreize«²⁷⁴

Letztlich ergab die Literaturrecherche, dass bisher durchgeführte Befragungen zu Akteuren im Nichtwohngebäudebereich den hier beabsichtigten Erkenntnisgewinn nicht abbilden und somit nicht zusätzlich als Grundlage oder zum Vergleich herangezogen werden können. Auch eine im Januar 2013 gestartete Anfrage bei folgenden Institutionen erbrachte keine weiteren Hinweise:

- Kreditanstalt für Wiederaufbau, KfW-Research
- Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen

²⁷¹ Vgl. [Ste1997], S. 50: Steinmüller Karlheinz, 1997

²⁷² [Her2000]: Hermes Dieter, 2000

²⁷³ [Fis2010]: Fishedick Manfred, Arnold Karin et al., 2010

²⁷⁴ [Pfi2010]: Pfister Marion, Zedi Vinzenz et al., 2010

- Deutsche Bank, DB Research
- Allianz Research
- Wuppertal Institut (verschiedene wissenschaftliche Mitarbeiter)
- Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung
- Deutsche Energieagentur

Da aufwandsbedingt nicht zu allen Nichtwohngebäudekategorien Akteure bei der Befragung eingebunden werden können, wird eine Konzentration auf eine Akteursgruppe je Non-Profit- bzw. Profit-Organisation vorgenommen. Die Auswahl erfolgt in Anlehnung an die Nichtwohngebäudekategorien mit den größten Erwartungspotenzialen gemäß Tabelle 28 (vgl. 4.3), wobei die Kategorie 1 (Bildung) nicht ausgewählt wird, da zum einen insbesondere bei städtischen Schulen bereits etliche Maßnahmen an den Gebäuden ergriffen wurden und zum anderen kirchliche Einrichtungen, wie Kindergärten, von der Kategorie 1 auf die Kategorie 8 bei einer akteursspezifischen Betrachtung umzuverteilen waren (vgl. 4.3, Tabelle 28):

- Non-Profit-Organisationen: Kategorie 8, kirchliche Gebäude, inklusiv der Anteile zur Kategorie 1 und 4
- Profit-Organisationen: Kategorie 9, private Büroflächen

Das Einbeziehen der Akteure erfolgte für den Nichtwohngebäudebestand in Vohwinkel. Die Szenarien auf Basis der Akteurseinschätzungen zu Vohwinkel (vgl. 6.5.2) werden ausschließlich für die beiden benannten Akteurskreise als Teilausschnitt erstellt. Die beiden Zukunftsentwicklungen werden letztlich mit den weiteren Szenarien, die für alle Nichtwohngebäudekategorien aufbereitet werden, verglichen und zur Ableitung von Leitparametern herangezogen.

5.1 Vorgehensweise

5.1.1 Erkenntnisleitende Fragestellungen und Grundlagen zum Fragebogen

Die Akteurseinschätzungen werden mit Hilfe eines entwickelnden Fragebogens und standardisierten Interviews gewonnen. Bei der angewendeten Befragung vor Ort in Vohwinkel handelt es sich prinzipiell um eine Feldforschung.²⁷⁵ Der entwickelnde Fragebogen geht dabei den folgenden erkenntnisleitenden Fragestellungen nach:

- Wie haben die Akteure den Raumwärmeenergieverbrauch und Gebäudeanpassungen im Fokus?
- Wie beurteilen die Akteure zukünftige Veränderungen an der Gebäudehülle und Heiztechnik?

²⁷⁵ Vgl. [Kro1998], S. 95: Kromrey Helmut, 1998

- Welche Hemmnisse und Anreize lassen sich aus der Praxis der Akteure ableiten?

Zu beiden ausgewählten Hauptkategorien wurde ein einheitlicher Fragebogen mit einer 4er-Skalierung, die unter 5.2.1 näher erläutert wird, erstellt. Die Befragung stellt dabei eine qualitative Analyse dar, mit deren Hilfe eine Mustererkennung je Frage möglich ist. Zur Beurteilung der Muster- bzw. Trenderkennung je ausgewählter Gebäudekategorie (private Büroflächen und kirchliche Einrichtungen) wird zur Unterstützung der qualitativen Analyse zusätzlich ein quantitativer Ansatz gewählt. Dazu wird ein Punkteschema herangezogen, mit dem die quantitative Beurteilung der Rangordnung, beispielsweise der Art »ja, eher ja, eher nein, nein«, je Frage über eine Mittelwertbildung zu den Bürogebäuden und kirchlichen Einrichtungen insgesamt möglich ist. Das Schema sieht die Punktezuweisung von 1 bis 4 für die 4er-Skalierung vor. Dabei erhält beispielsweise eine Antwort »ja bzw. sehr wichtig« die Punktzahl 1 und eine Antwort »nein bzw. unwichtig« die Punktzahl 4 zugeordnet. Aus den rechnerischen Mittelwerten ergeben sich demnach für die ausgewählten Kategorien die tendenziellen Ausprägungen je Fragestellung.

Zur abschließenden Beurteilung der Befragungsbefunde wird auf Grund der gewählten Vorgehensweise die qualitative und quantitative Analyse zu den Ergebnissen verglichen und interpretiert (vgl. 5.2.4).

Bei einigen Fragen werden direkt quantitative Grundlagen, beispielsweise zur Neubaurate oder zum Leerstand, erhoben, die für die Szenarienkonstruktion als Variable von Bedeutung sind. Die Auswertung erfolgte anonymisiert. Die Variablen beziehen sich auf Veränderungen zur Gebäudehülle, zur Heiztechnik, zum Energiemix inklusive erneuerbaren Wärmeenergien, zum Flächenzuwachs und zu Abbruch- bzw. Stilllegungsflächen. Diese Variablen werden gewählt, da sie bereits die Bestandssituation beeinflussen und dementsprechend die Veränderungen zu den CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2050 ebenso als Schlüsselfaktoren beeinflussen werden. Im Fragebogen dienen weitere Fragen zum Abgleich mit den eigenen GIS-Daten-Einschätzungen zum Bestand. Diese Fragen werden aufgenommen, da sich nur über die Befragung die Chance bietet, die eigenen Einschätzungen bei der örtlichen Überprüfung als Grundlagen zum Bestandsmodell stichprobenartig zu überprüfen. Diese Fragen beziehen sich auf:

- Nutzung
- Baujahr (Baualterklasse) und energetischem Zustand infolge bereits durchgeführter Sanierungen
- Leerstand

Bevor die Befragung durchgeführt wurde, kam ein Pretest²⁷⁶ (vgl. 5.2.2) zum Einsatz. Nach dem Pretest, der zur Überprüfung des entwickelten Fragebogens notwendig ist,

²⁷⁶ Vgl. [Fri1980], S. 153-154: Friedrichs Jürgen, 1980

ergaben sich Anpassungen im Fragebogen. Die Anpassungen erfolgten beispielsweise im Aufbau des Fragebogens, bei den Antwortmöglichkeiten und Neuformulierungen zum besseren Frageverständnis. Die Befragung wurde jeweils nach erfolgtem telefonischen und/oder E-Mail-Erstkontakt mit entsprechender Terminvereinbarung durchgeführt und fand im persönlichen Gespräch als Interview anhand des Fragebogens bei den Befragten in Vohwinkel bzw. je nach Sitz des Akteurs in Wuppertal statt.

5.1.2 Geplante Vollerhebung zu den kirchlichen Einrichtungen

Bei den kirchlichen Einrichtungen wurde als Ziel eine Vollerhebung zu den Nichtwohngebäuden bzw. Akteuren angestrebt, wobei die historischen Kirchengebäude nicht berücksichtigt werden sollten. Hier waren die kirchlichen Einrichtungen wie zum Beispiel Kindergärten, Gemeindezentren und Verwaltungsgebäude von Interesse. Relevante kirchliche Einrichtungen bzw. religiöse Vereinigungen konnten für Vohwinkel wie folgt recherchiert werden:

- Katholische Kirchengemeinde St. Mariä Empfängnis und St. Ludger
- Evangelische Kirchengemeinde Vohwinkel
- Neuapostolische Kirche Gemeinde Wuppertal-Vohwinkel
- Evangelisch-Freikirchliche Gemeinde Vohwinkel
- Freie evangelische Gemeinde Wuppertal-Vohwinkel e.V.
- Mimar Sinan Camaii Wuppertal-Vohwinkel
- Evangelisches Seniorenzentrum Vohwinkel gGmbH
- Diakonie Wuppertal, Evangelische Kindertagesstätten gGmbH

5.1.3 Geplante Stichprobenkonstruktion zu den privaten Büroflächen

Bei den privaten Büroflächen war die Befragung mit Hilfe einer Stichprobe geplant, die vergleichbare Verhältnisse wie die Grundgesamtheit (GG) aufzeigt. Bei der Stichprobe handelt es sich nicht um eine zufällige Auswahl, sondern um eine gezielte Auswahl mit Hilfe eines Auswahlplanes. Dabei waren bestimmte Kriterien für die Auswahl heranzuziehen, damit die Verzerrung (bias) der Ergebnisse minimal bleibt. Die mögliche Verzerrung kann sich bei der beabsichtigten Befragung durch eine einseitige Auswahl von Akteuren mit ähnlicher Lage in Vohwinkel, ähnlichen Nutzungen, vergleichbarem Gebäudealter oder Flächengrößen ergeben. Daher orientieren sich die ausgewählten Kriterien an den strukturellen Merkmalen, die in Vohwinkel bei den privaten Büroflächen vorherrschen. Die ausgewählten Kriterien zur Stichprobenkonstruktion wurden wie folgt festgelegt:

- Verteilung zu den Bruttogrundflächen,
- Verteilung zu den Baualtersklassen,
- die Lageverteilung im Gebiet des Stadtbezirks Vohwinkel,

- Verteilung zu den Nutzungstypen

Mit Hilfe der aufgeführten Auswahlkriterien zur Stichprobe und der somit gezielten Auswahl der Befragten ist eine geringe Verzerrung zu erwarten, da verschiedene Akteurstypen mit unterschiedlichen privatwirtschaftlichen Tätigkeitsfeldern und Randbedingungen sowie unterschiedlichen Lagen in Vohwinkel befragt werden. Sich wiederholende Aussagen infolge ähnlicher Randbedingungen sind nicht zu erwarten. Nachfolgend werden die ausgewählten Kriterien zur Grundgesamtheit aufbereitet, nach denen die Stichprobe festgelegt werden soll.

Verteilung zur Bruttogrundfläche, Grundgesamtheit:

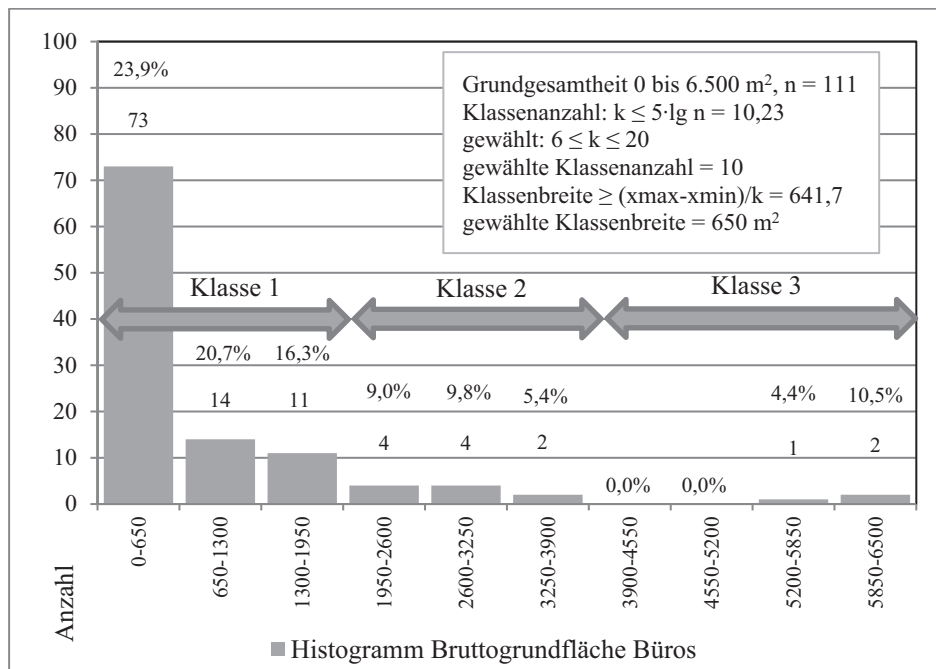
Die Grundgesamtheit zur Bruttogrundfläche lässt sich unter Bildung von Klassen und Klassenbreiten²⁷⁷ zur Bruttogrundfläche darstellen. Es werden aus 151 GIS-Datensätze zur Gebäudekategorie 9.1 bis 9.3 (vgl. 3.2, Abbildung 15) zunächst durch Clustern der Datensätze zu Gebäudeeinheiten insgesamt 111 relevante Büroflächeneinheiten ermittelt. Das Zusammenführen der GIS-Datensätze zu Gebäudeeinheiten ist notwendig, da im digitalen Liegenschaftskataster oftmals die Liegenschaften durch mehrere GIS-Datensätze zu Gebäudeteilen beschrieben werden (vgl. 2.7.2). Das dazugehörige Histogramm zur Grundgesamtheit der Bruttogrundfläche inklusive Angaben zur prozentualen Verteilung auf die Klassen ist in Abbildung 20 dargestellt, wobei in dieser Darstellung auf Grund der in der Literatur gefundenen Berechnungsweise ($k \leq 5 \cdot \lg n = 5 \cdot \lg 111 = 10,23$, siehe Textfeld²⁷⁸ in Abbildung 20) zur Klassenanzahl und Klassenbreite, die Klassenanzahl mit zehn und eine Klassenbreite von 650 Quadratmeter gewählt wird. Zusätzlich erfolgt auf Grund einer zu erwartenden relativ kleinen Stichprobe eine Zusammenfassung der zehn Klassen auf eine Klassenanzahl von drei. Diese beziehen sich auf kleine, mittlere und große Flächen. Dabei wird folgende prozentuale Verteilung zur Bruttogrundfläche und zur Anzahl der Einheiten bei einer gewählten Klassenanzahl von drei berücksichtigt:

Nr.	Klassenbreite	BGF	Anzahl Einheiten
1	0-1.950 m ² :	60,9%	88,3%
2	1.950-3.900 m ² :	24,2%	9,0%
3	3.900-6.500 m ² :	14,9%	2,7%

Die Klassenbreite zur Flächengröße der Dreier-Einteilung wird mit 1.950 Quadratmeter gewählt, wobei die Klassenbreite zu den Flächen ab 3.900 Quadratmeter auf 2.600 Quadratmeter ausgedehnt wird, damit die drei verbleibenden Einheiten zusammengefasst werden können und eine vierte Klasse vermieden wird. In Abbildung 20 wird zusätzlich die Klassenanzahl von drei verdeutlicht.

²⁷⁷ Vgl. [Stö1999], S. 253-254; Stöcker Horst (Hrsg.), 1999
²⁷⁸ a.a.O.

Abbildung 20: Histogramm zur Grundgesamtheit der Bruttogrundfläche zu Büroflächen in Vohwinkel



Quelle: Eigene Ermittlungen auf Basis der GIS-Daten-Analyse, Anzahl Klassen nach [Stö1999], S. 253-254

Verteilung zu Baualtersklassen, Grundgesamtheit:

Die Verteilung der Bruttogrundfläche der Gebäudekategorie 9.1 bis 9.3 auf die Baualtersklassen kann gemäß Datenaufbereitung in Anhang 1.9 in Tabelle 29 wie folgt zusammengefasst werden:

Tabelle 29: Verteilung Grundgesamtheit auf Baualtersklassen der Büroflächen in Vohwinkel

Grundgesamtheit BGF in m ² nach Baualtersklassen verteilt (Büroflächen)	m ²	%
Summe Baualtersklasse A	9.078	7%
Summe Baualtersklasse B	73.623	60%
Summe Baualtersklasse C	21.697	18%
Summe Baualtersklasse D	18.082	15%
Summe	122.480	100%

Quelle: Eigene Ermittlungen auf Basis der GIS-Daten-Analyse

Kriterien zur Lageverteilung und Verteilung von Nutzungstypen in Vohwinkel, Grundgesamtheit:

Im Weiteren sollte bei der Stichprobe berücksichtigt werden, dass diese auch Akteure aus unterschiedlichen räumlichen Lagen innerhalb von Vohwinkel und verschiedene Nutzungstypen beinhaltet. Die gewählten Kriterien für die Lage und die Nutzungstypen sind in Tabelle 30 aufgeführt. Diese orientieren sich hinsichtlich der Lage an der örtlichen städtebaulichen Situation und hinsichtlich der Nutzungen an den vorhandenen Dienstleistungen sowie dem vorhandenen Gewerbe und Handel, die ebenso Büroflächen betreiben.

Tabelle 30: Kriterien zur räumlichen Verteilung und zu Nutzungstypen der Büroflächen in Vohwinkel

Kriterien räumliche Lage zu Gebäudekategorien 9.1 bis 9.3	Kriterien Nutzungstypen zu Gebäudekategorien 9.1 bis 9.3
Gewerbegebiete	Produktion/Gewerbe
alter Bestand entlang Hauptverkehrsachse Vohwinkel	Dienstleister (Ingenieure, Institute, Banken, Anwälte, Steuerberater, Versicherungen, Werbung usw.)
alter Bestand südlich Hauptverkehrsachse Vohwinkel	
alter Bestand nördlich Hauptverkehrsachse Vohwinkel	Handel, Logistik

Quellen: Eigene Festlegungen auf Basis der GIS-Daten-Analyse und örtlichen Begehungen in Vohwinkel

Auf Basis der zuvor aufgeführten Analyse der Grundgesamtheit in Vohwinkel erfolgt zunächst eine Stichprobenauswahl als eine Vorauswahl zu den zu befragenden Akteuren, so dass diese im Anschluss angesprochen werden konnten. Die Vorauswahl wurde anhand der 111 GIS-Datensätze vollzogen.

Dabei waren Gebäude und ihre Akteure in die Stichprobenkonstruktion zu übernehmen, die zur prozentualen Flächenverteilung und Baualtersklassenverteilung passen und die verschiedenen Lage- und Nutzungskriterien erfüllen. Damit sind die Voraussetzungen für eine relativ kleine Verzerrung gegeben.

Die tatsächlichen Stichprobenverhältnisse ergeben sich dann durch die Zustimmungen oder Ablehnungen der Akteure zur Teilnahme an der Befragung. Diese werden unter 5.2.3 dargestellt.

5.2 Fragebogen

5.2.1 Aufbau

Nachfolgend wird der Aufbau der Befragung erläutert. Die Ergebnisse zur Befragung werden unter 5.2.4 aufgeführt. Der Fragebogen ist in Anhang 3.1 dargestellt und besteht neben dem Deckblatt aus vier Seiten mit 39 Fragen. Auf Seite eins wird das Vorhaben inklusiv einer Datenschutzerklärung dargestellt und die persönlichen Daten des Befragten erfasst. Ergänzend wird die zugehörige Gebäudekategorie gewählt und die Lage sowie das Baujahr abgefragt. Die Fragen der Seite zwei (Fragen 1 bis 12, vgl. Anhang 3.1) führen in das Thema ein und beschäftigen sich mit allgemeinem Hintergrundwissen der Akteure und deren Interesse zum umrissenen Thema. Zusätzlich wird zum konkreten Nichtwohngebäudebestand des Akteurs übergeleitet.

Der mögliche Flächenzuwachs bzw. die Flächenstilllegungen werden bis zum Jahr 2030 abgefragt, da sinnvolle Einschätzungen bis zum Jahr 2050 nur schwierig möglich sind. Die allgemeinen Fragen orientieren sich an folgender 4er-Skalierung:

- sehr wichtig, wichtig, eher unwichtig, unwichtig,
- ja, eher ja, eher nein, nein

Zusätzlich zur qualitativen Auswertung der Befragungsbefunde je Fragestellung wird zur Analyse der Ergebnisse zu den ausgewählten Gebäudekategorien ein quantitativer Ansatz mit Hilfe von Mittelwertbildungen gewählt. Dazu wird der 4er-Skalierung gemäß den Erläuterungen unter 5.1.1 ein Punkteschema von 1 bis 4 zugeordnet. Demnach werden neben qualitativen Beurteilungen zu Tendenzen diese auch gleichzeitig quantitativ mit Hilfe der Mittelwerte aus den zugeordneten Punkten bestimmt. Bei der quantitativen Analyse deutet eine mittlere Punktzahl von 1,0 bis 2,0 auf eine Tendenz »wichtig« oder »ja« hin und eine mittlere Punktzahl 2,1 bis 4,0 auf eine Tendenz »unwichtig« oder »nein« hin. In Anhang 3.3 ist die quantitative Analyse und in Anhang 3.4 die Ergebnisauswertung zu den Fragen aufgeführt, wobei in der Ergebnisaufbereitung die quantitative und qualitative Beurteilung einfließt.

Auf Seite drei des Fragebogens (Fragen 13 bis 22, vgl. Anhang 3.1) werden Einschätzungen zum konkreten Bestand des jeweiligen Akteurs hinsichtlich der zukünftigen wärmeenergetischen Maßnahmen abgefragt. Dabei werden Einschätzungen zu Maßnahmen an der Gebäudehülle und zur Heiztechnik erfasst und ergänzend Einschätzungen zum zukünftigen Energiemix erhoben. Der Energiemix kann dabei den Einsatz von mehreren Energieträgern aufzeigen, da beispielsweise eine Verbrennung mit fossilen Energieträgern von der Solarthermie unterstützt sein kann oder auch eine Wärmepumpe solartechnische Unterstützung erhalten kann. Die Einschätzungen zur Gebäudehülle und Heiztechnik werden wiederum auf Basis einer 4er-Skalierung abgefragt und

den Punkten 1 bis 4 zugeordnet, wobei die Befragung sich auf die folgende zukünftige Jahreszahlen für die Szenarienberechnungen bezieht:

- 2020, zugewiesene Punktzahl = 1
- 2030, zugewiesene Punktzahl = 2
- 2040, zugewiesene Punktzahl = 3
- 2050, zugewiesene Punktzahl = 4

Somit kann der Sanierungszeitraum zwischen 2020 und 2050 zu den Bauteilen quantitativ durch Mittelwertbildung zu den Befragungsbefunden beurteilt werden. Liegt der Mittelwert bei 1,0 bis 1,5, werden die Maßnahmen bis zum Jahr 2020 umgesetzt, liegt der Mittelwert bei 1,6 bis 2,5, werden die Maßnahmen bis zum Jahr 2030 umgesetzt, liegt der Mittelwert bei 2,6 bis 3,5, werden die Maßnahmen bis zum Jahr 2040 umgesetzt, und liegt der Mittelwert bei 3,6 bis 4,0, werden die Maßnahmen bis zum Jahr 2050 umgesetzt. Die zukünftigen Energieträger, die gemäß den Befragungsbefunden eingesetzt werden sollen, werden jeweils durch die Häufigkeit der Auswahl durch die Befragten bestimmt. Dabei werden die Anteile je Energieträger für den gesamten zukünftigen Energiemix für die Jahre 2020, 2030, 2040 und 2050 in Prozentsätze umgerechnet. In Anhang 3.3 ist wiederum die quantitative Analyse und in Anhang 3.4 die Auswertung der einzelnen Fragen detailliert aufgeführt und die daraus resultierenden Ansätze für die Szenarien erläutert.

Auf Seite vier des Fragebogens (Fragen 23 bis 38, vgl. Anhang 3.1) werden Hemmnisse und Anreize zu wärmeenergetischen Maßnahmen am Gebäudebestand hinterfragt. Folgende Skalierung wird vorgesehen:

- ja, eher ja, eher nein, nein

Hier werden wiederum der 4er-Skalierung die Punkte 1 bis 4 zugewiesen und daraus die Mittelwerte je Fragestellung zur quantitativen Bewertung berechnet. Die quantitative Zuordnung zu einem »Hemmnis« oder einem »Anreiz« erfolgt je Fragestellung über die tendenzielle Mustererkennung »ja« oder »nein«:

- Mittelwert kleiner 2: tendenzielle Mustererkennung aus Befragungsbefunde = »ja«
- Mittelwert größer 2: tendenzielle Mustererkennung aus Befragungsbefunde = »nein«

Der Fragebogen enthält ergänzend offene Fragen. Die Akteure konnten diese Fragen frei formuliert beantworten. Die Schlussfrage führt zur Bestandsituation zurück und erfasst die Einschätzung zum aktuellen Leerstand, womit stichprobenartig die Einschätzungen zum Leerstand aus den eigenen örtlichen Begehungen abgeglichen werden soll.

Einige Fragen hatten gleichzeitig den Charakter von Kontrollfragen²⁷⁹, damit ein gegensätzliches Antworten bzw. gegensätzliche Grundhaltungen erkannt werden können. Die Ergebnisse zu den Kontrollfragen werden unter 5.2.4 aufgeführt. Nachfolgend sind die Kontrollfragen und ihre Bezüge aufgeführt:

- Nr. 3, Kontrollfrage zu Nr. 1
- Nr. 22, Kontrollfrage zur Systematik der Fragen Nr. 13 bis 21
- Nr. 24, Kontrollfrage zu Nr. 4, Teilfrage Instandhaltungsmanagement und Nr. 10
- Nr. 29, Kontrollfrage zu Nr. 4, Teilfrage Werterhaltungsstrategie
- Nr. 32, Kontrollfrage zu Nr. 2, Teilfrage zu Energieberatungen

5.2.2 Durchführung Pretest

Der Zwischenstand zur Fragebogenentwicklung wurde im Januar 2013 im Rahmen des Promotionskollegs »Nachhaltigkeitsszenarien und zukunftsfähige Stadtentwicklung« am Wuppertal Institut diskutiert. Dabei lieferten drei Doktoranden wertvolle Hinweise im Sinne einer ersten Pretestphase, indem sie den Fragebogen bearbeiteten und ihr Feedback Berücksichtigung fand. Nach Abschluss dieser ersten Entwicklungsstufe wurden im Februar 2013 insgesamt vier Pretests mit Personen aus der Praxis durchgeführt. Jeweils zwei Akteure kamen aus dem Entscheiderumfeld zu privaten Büroflächen und zwei aus dem Bereich von kirchlichen Einrichtungen. Zu der Kategorie der Büroflächen wurden ein Miteigentümer eines Bürogebäudes in Bad Kreuznach und ein Eigentümerversorger eines großen Industrieparks im Rhein-Main-Gebiet zur Durchführung eines Pretests gewonnen.

Die Akteure sind in Anhang 3.2 aufgeführt. Die kirchlichen Vertreter waren ein Pastor aus Bad Kreuznach und eine Pfarrerin aus einer Hunsrückgemeinde, die jeweils wesentliche Entscheider zur Weiterentwicklung beispielsweise ihrer Gemeindezentren sind. Die Pretest-Befragungen wurden analog zur beabsichtigten Vorgehensweise bei der Hauptuntersuchung im persönlichen Gespräch im Rahmen eines Interviews durchgeführt und um eine Nachbesprechung ergänzt.

Auf Grund der Pretestphase entfielen Fragen oder Unterfragen komplett oder es kamen infolge wichtiger Hinweise neue hinzu. Insgesamt reduzierte sich der Fragebogen von 50 auf 39 Fragen. Das Erscheinungsbild zu einigen Fragen und zum gesamten Fragebogen wurde angepasst, wodurch sich das Frageverständnis und die optische Aufbereitung verbesserten. Einige Fragen konnten auf Grund der Rückmeldungen präziser formuliert werden. Ebenso kam es zu einer Reduzierung der Skala von ursprünglich fünf auf vier Antwortmöglichkeiten.

²⁷⁹ Vgl. [Kro1998], S. 359: Kromrey Helmut, 1999

5.2.3 Durchführung Befragung und Auswertungen zur Stichprobe der Büroflächen

Die Befragung zu den ausgewählten Gebäudekategorien in Wuppertal-Vohwinkel fand vom 06.03.2013 bis zum 18.04.2013 statt. Als Interviewpartner wurden Eigentümer und Eigentümerversorger zu Nichtwohngebäuden angesprochen, die zur geplanten Vollerhebung bzw. Stichprobenkonstruktion (vgl. 5.1) passten. Die Ansprechpartner waren zum Teil die direkten Eigentümer bzw. Betriebsleiter, Leiter der Instandhaltung oder ein Architekt als Objektverwalter sowie Mitglieder im Kirchengemeindeverband, in der Kirchengemeinde und ein Kirchenbaumeister. Diese Akteure betreuen die Gebäude und stellen teilweise im Rahmen ihrer Tätigkeit die Experten zu ihrem Nichtwohngebäudebestand dar. Andere Verantwortliche hatten kein spezielles Expertenwissen. Die befragten Personen und die zugehörigen Institutionen sind ebenso in Anhang 3.2 aufgeführt.

Bei den kirchlichen Einrichtungen fand eine Kontaktaufnahme zu allen 8 Einrichtungen statt. Es konnte mit 6 Institutionen ein Interviewtermin vereinbart werden, was insgesamt dem Ziel einer geplanten Vollerhebung (vgl. 5.1.2) hinsichtlich der Institutionen nahe kam. Aus Sicht der relevanten Gebäude kann von einer Vollerhebung gesprochen werden, da sämtliche Gebäude wie Gemeindezentren und kirchliche Kindergärten damit erfasst waren und die reinen Kirchenbauten nicht zum Untersuchungsgegenstand gehörten. Ein Vergleich zur Grundgesamtheit entfällt damit.

Zu den Büroflächen wurde insgesamt zu 19 Akteuren, die generell den Auswahlkriterien zur Grundgesamtheit (vgl. 5.1.3) entsprachen, Kontakt aufgenommen. Mit 9 Akteuren konnte ein Interviewtermin vereinbart und durchgeführt werden, wobei damit 16 Bürogebäude bzw. Büroeinheiten von insgesamt 111 Einheiten (vgl. 5.1.3) erreicht wurden, was einer Stichprobengröße, bezogen auf die Einheitenzahl, von rund 14,5 Prozent entspricht. Die höhere Zahl der Einheiten im Vergleich zur befragten Akteursanzahl ergibt sich, da Akteure zu einem größeren Büroпарк mit mehreren Einheiten und zu einer Produktionsstätte mit zwei Einheiten befragt werden konnten. In einigen Gebäuden waren mehrere Mieter ansässig. Die Mieter in den privaten Büroflächen sind dabei zum Abgleich der Stichprobe mit den Kriterien zu den Nutzungstypen von Interesse.

Die insgesamt 15 durchgeführten Interviews bei kirchlichen Vertretern und zu privaten Büroflächen wurden bis auf zwei innerhalb der relevanten Immobilien in Wuppertal-Vohwinkel abgehalten und dauerten jeweils etwa 30 bis 45 Minuten. Die übrigen zwei Interviews fanden in den Räumlichkeiten des Sitzes der Eigentümer / Eigentümerversorger im Zentrum von Wuppertal statt.

Die erreichte Stichprobe zu den Büroflächen auf Grund der mitwirkenden Akteure wird nachfolgend mit den Kriterien der geplanten Stichprobenkonstruktion bzw. mit der Grundgesamtheit verglichen.

Die Tabelle 31 zeigt zunächst für die Grundgesamtheit im linken Bereich analog zur Abbildung 20 die Zuordnungen der Bruttogrundflächen und die Anzahl der Einheiten, bezogen auf die Klasseneinteilung mit der Klassenanzahl von 10. Zusätzlich ist die Klasseneinteilung mit den drei Klassen »kleinere, mittlere und größere Flächen« gemäß 5.1.3 dargestellt und die Flächenverteilung sowie Einheitenverteilung der Grundgesamtheit in Prozent angegeben. Der mittlere Bereich der Tabelle 31 zeigt die Verteilungen zur Bruttogrundfläche und zur Einheitenanzahl der Stichprobe, bezogen auf die Klasseneinteilung mit der Klassenanzahl von 10.

Es ist erkennbar, dass 2 Klassen der 10er-Einteilung, die in Vohwinkel vorhanden sind, nicht durch die mitwirkenden Akteure erreicht werden konnten. Die prozentuale Verteilung der Stichprobe weicht bei der detaillierteren 10er-Einteilung im Vergleich zur Grundgesamtheit größtenteils ab. Da dies infolge einer geringen Beteiligung zu erwarten war, wurde die 3er-Einteilung ergänzt, wobei durch die Zusammenfassung auf 3 Klassen eine etwas größere Verzerrung zu erwarten ist. Im rechten Tabellenbereich sind die Verteilungen zur Stichprobe für die Klassenanzahl von 3 dargestellt. Demnach ist erkennbar, dass die Verteilungen zur Bruttogrundfläche und zur Anzahl der Gebäudeeinheiten tendenziell mit der Grundgesamtheit übereinstimmen. Die relevanten Spalten der Grundgesamtheit und der Stichprobe sind mit Pfeilen verbunden. Der Vergleich der prozentualen Werte lässt, trotz Reduzierung auf eine 3er-Einteilung, eine akzeptable Verzerrung infolge der tendenziellen Übereinstimmung erkennen.

Tabelle 31: Vergleich Verteilung Grundgesamtheit und Stichprobe zu BGF, private Büroflächen

Klasseneinteilung	Grundgesamtheit in m ² , % und Anzahl,					Stichprobe in m ² , % und Anzahl			Stichprobe in m ² , % und Anzahl, %				
0-650 m ²	29.286	23,9%		73		1.882	6,8%	4					
650-1300 m ²	25.327	20,7%	60,9%	14	88,3%	3.336	12,0%	3	14.943	53,8%	13	81,3%	
1300-1950 m ²	19.994	16,3%		11		9.725	35,0%	6					
1950-2600 m ²	11.032	9,0%		4		0	0,0%	0					
2600-3250 m ²	12.007	9,8%	24,2%	4	9,0%	3.100	11,2%	1	6.394	23,0%	2	12,5%	
3250-3900 m ²	6.599	5,4%		2		3.204	11,9%	1					
3900-4550 m ²	0	0,0%		0		0	0,0%	0					
4550-5200 m ²	0	0,0%		0		0	0,0%	0					
5200-5850 m ²	5.409	4,4%	14,9%	1	2,7%	0	0,0%	0	6.426	23,1%	1	6,3%	
5850-6500 m ²	12.826	10,5%		2		6.426	23,1%	1					
Summe	122.480	100,0%	100,0%	111	100,0%	27.763	100,0%	16	27.763	100,0%	16	100,0%	

Quelle: Eigene Auswertung der Befragung

In Tabelle 32 wird die Stichprobe mit der Grundgesamtheit des Bestandes, bezogen auf die Bruttogrundflächen zu den Baualtersklassen A bis D, verglichen. Die prozentuale

Verteilung der Stichprobe zeigt eine gute Übereinstimmung mit der Grundgesamtheit. Lediglich die Baualtersklasse D ist unterrepräsentiert. Dennoch ist auf Grund der erzielten Übereinstimmung der Stichprobe mit der Grundgesamtheit hinsichtlich der Flächenzuordnung zu den Baualtersklassen nur eine geringe Verzerrung zu erwarten.

Tabelle 32: Vergleich Verteilung Grundgesamtheit und Stichprobe zu Baualtersklassen, private Büroflächen

Baualtersklassen	Grundgesamtheit: BGF nach Baualtersklassen verteilt, in m ² und in %		Stichprobe: BGF nach Baualtersklassen verteilt, in m ² und in %	
	Summe Baualtersklasse A	9.078	7%	1.713
Summe Baualtersklasse B	73.623	60%	21.006	76%
Summe Baualtersklasse C	21.697	18%	4.740	17%
Summe Baualtersklasse D	18.082	15%	304	1%
Summe	122.480	100%	27.763	100%

Quelle: Eigene Auswertung der Befragung

In Tabelle 33 wird deutlich, dass jeweils eine ausreichende Anzahl Akteure/Gebäude in den definierten Lagen bzw. mit der definierten Nutzung erfasst wurden. Die Gebäude sind teilweise von den Akteuren selbst genutzt bzw. an verschiedene Nutzer vermietet. Die Anzahl der befragten Akteure je Lage- und Nutzungskriterium ist an die vorhandene Situation vor Ort angepasst. Dazu wurden jedoch keine statistischen Zahlen oder Verteilungsmuster aufbereitet.

Tabelle 33: Verteilung Stichprobe auf räumliche Lage und Nutzung, private Büroflächen

Kriterien räumliche Lage	befragte Einheiten	Kriterien Nutzungstypen zu Gebäudekategorien 9.1 bis 9.3	befragte Einheiten
Gewerbegebiete	8	Produktion/Gewerbe	7
alter Bestand entlang Hauptverkehrsachse Vohwinkel	3	Dienstleister (Ingenieure, Institute, Bank, Anwälte, Steuerberater, Versicherung, Werbung usw.)	6
alter Bestand südlich Hauptverkehrsachse Vohwinkel	3		
alter Bestand nördlich Hauptverkehrsachse Vohwinkel	2	Handel, Logistik	3
Summe	16	Summe	16

Quelle: Eigene Auswertung der Befragung

Abschließende Wertung zur Stichprobe:

Die Gebäude mit ihren Akteuren zu mittleren und größeren Bruttogrundflächen sind in Bezug auf eine prozentuale Betrachtung etwas überrepräsentiert. Die kleineren Flächen dagegen eher unterrepräsentiert, wobei eine Betrachtung zur absoluten Anzahl der Befragten je Gruppe im Verhältnis angemessen erscheint. Die Baualtersklasse B ist prozentual ebenso etwas überrepräsentiert, allerdings stellt diese Baualtersklasse infolge der Häufigkeit die wesentliche Zielgruppe bei der Sanierung von Gebäuden dar. Insgesamt ist festzustellen, dass die erzielte Stichprobe die Grundgesamtheit zu den privaten Büroflächen in Vohwinkel in etwa abbildet.

Infolge des Vergleichs mit den gewählten Kriterien zwischen der Grundgesamtheit und der Stichprobe kann davon ausgegangen werden, dass etwaige Einzelfall-Besonderheiten die Ergebnisse nicht maßgeblich beeinflussen, wobei im Rahmen der Interviews keine Einzelfall-Besonderheiten auffällig waren. Ebenso ist insgesamt davon auszugehen, dass infolge der aufgeführten relativen Übereinstimmung zwischen der Grundgesamtheit und der Stichprobe die Verzerrungen vertretbar sind. Die Ergebnisse aus der Befragung der Stichprobe werden demnach als verallgemeinerbar für die privaten Büroflächen in Vohwinkel angenommen und für das Szenario zu den privaten Büroflächen genutzt, ohne die Teilergebnisse mit hypothetischen Korrekturfaktoren weiter an eine Verzerrung anpassen.

5.2.4 Ergebnisse zur Befragung der Akteure

Die Befragungsbefunde werden nachfolgend qualitativ und quantitativ ausgewertet. Die quantitative Auswertung erfolgt mit Hilfe der zuvor erläuterten Mittelwertbildung bzw. mit einer prozentualen Häufigkeitsbetrachtung zu den Antwortmöglichkeiten. Es werden beide Ansätze verfolgt, da einerseits die quantitative Auswertung als Abgleich mit der qualitativen Auswertung vorgesehen ist und andererseits einige Fragen direkt Zahlenwerte für die Berücksichtigung bei den Szenarien liefern.

In Anhang 3.3 ist die quantitative Auswertung mit Hilfe der unter 5.1 erläuterten Skalierung und Bewertungsmethoden aufgeführt. In Anhang 3.4 sind die Ergebnisse zu den Befragungsbefunden detailliert dargestellt. Die quantitative und qualitative Auswertung zu den Antworten der Befragten liefert eine Übereinstimmung der beiden Ansätze.

Aus den Fragen, die Erkenntnisse zu den geplanten Szenarien für die zu quantifizierenden Variablen liefern sollten, wurden Zahlenwerte aus den Einschätzungen der Akteure abgeleitet. Dazu werden die Punkte auf Grund der Anzahl der Akteure gewichtet. Eine Gewichtung auf Basis der Bruttogrundfläche oder der Gebäudeanzahl je Akteur wurde nicht durchgeführt. Demnach entstehen akteurspezifische Ergebnisse unabhängig von der Größe des jeweiligen Nichtwohngebäudebestandes des befragten Akteurs. Die Antworten zu den offenen Fragen dienen als Ergänzung zur Mustererken-

nung und zur Interpretation der Ergebnisse. Die Teilergebnisse werden nachfolgend anhand der drei formulierten erkenntnisleitenden Fragen (vgl. 5.1) zu den Akteursinterviews erläutert und interpretiert.

Ergebnisse zur Frage »Wie haben die Akteure das Thema Raumwärmeenergieverbrauch im Fokus?«

Die wesentlichen Teilergebnisse zur Grundsatzfrage »*Wie haben die Akteure das Thema Raumwärmeenergieverbrauch im Fokus?*« können gemäß der Auflistung in Tabelle 34 zusammengefasst werden. In Anhang 3.4 sind die Ergebnisse zu den Fragen (Fragebogen Nr. 1 bis 12) ausführlicher aufgeführt und die Ermittlung des zahlenmäßigen Flächenzuwachses bzw. der Flächenstilllegungen für die geplanten Szenarien erläutert.

Tabelle 34: Befragungsergebnisse zu allgemeinen Sachverhalten

Sachverhalt	Wie haben die Akteure den Raumwärmeenergieverbrauch und die Gebäudeanpassungen derzeit im Fokus?
Wertigkeit bei Klimaschutzziel	Die Akteure sehen ihr Mitwirken und den Beitrag der Nichtwohngebäude als wichtig.
Energieberatung	Die Notwendigkeit der Energieberatung wird erkannt, dabei wird überwiegend die Energieberatung von Architekten und Ingenieuren favorisiert.
Handlungsansätze bei den Akteuren, die energetische Maßnahmen bewirken	Bisher werden nur Einzelkomponenten wärmeenergetisch ertüchtigt und in der Regel nur dann, wenn die Betriebskosten überwacht werden oder Instandhaltungen unvermeidbar sind.
Bekanntheit der politischen Ziele bis zum Jahr 2050	Konkrete politische Ziele zum Klimaschutz sind den Akteuren nicht bekannt.
Nutzung von Förderprogrammen	Förderprogramme haben bei den befragten Akteuren bisher zu keinen wärmeenergetischen Maßnahmen geführt.
Bekanntheit der eigenen flächenspezifischen Heizenergieverbräuche	Die eigenen flächenspezifischen Verbräuche zum Heizen der Nichtwohngebäude sind den Akteuren nicht bekannt. Ebenso wenig die Verbräuche von wärmeenergetisch optimierten Gebäuden.
Bisherige wärmeenergetische Maßnahmen	Wärmeenergetische Maßnahmen wurden bei den kirchlichen Einrichtungen mehrheitlich noch nicht umgesetzt. Bei den Büroflächen sind einzelne Maßnahmen (Instandhaltung) bereits erfolgt.
Flächenzuwachs, Flächenstilllegung	Bei den Kirchen wird insgesamt eher ein Flächenrückgang (-0,33%/a) erwartet. Die Akteure zu den privaten Büroflächen sehen für die Zukunft weitere Flächenzuwächse (1,27%/a).

Quelle: Eigene Auswertung zur Befragung der Akteure

Die Ergebniszusammenstellung gemäß Tabelle 34 wird wie folgt interpretiert:

Obwohl die Akteure keine konkreten Kenntnisse zu den Klimaschutzzielen und den Heizenergieverbräuchen ihrer Gebäude haben sowie bisher in der Regel die Sanierungsmaßnahmen bis zur notwendigen Instandhaltung verzögern, sehen sie ihre Mitwirkung und den Teilbeitrag der Nichtwohngebäude zum Klimaschutz als wichtig an.

Diese positive Grundhaltung und der angestiegene Sensibilisierungsgrad zur Notwendigkeit von Sanierungsmaßnahmen lässt für die Zukunft eine höhere Sanierungsrate vermuten. Dies wird auch durch die Bereitschaft zu Energieberatungen begünstigt werden.

Aufholbedarf ergibt sich aus der Befragung bei der Nutzung von Förderprogrammen, da diese von den Befragten nicht genutzt werden. Förderprogramme können sich jedoch günstig auf die Entwicklung der Sanierungsrate auswirken.

Ergebnisse zur Frage »Wie beurteilen die Akteure zukünftige Gebäudeanpassungen?«

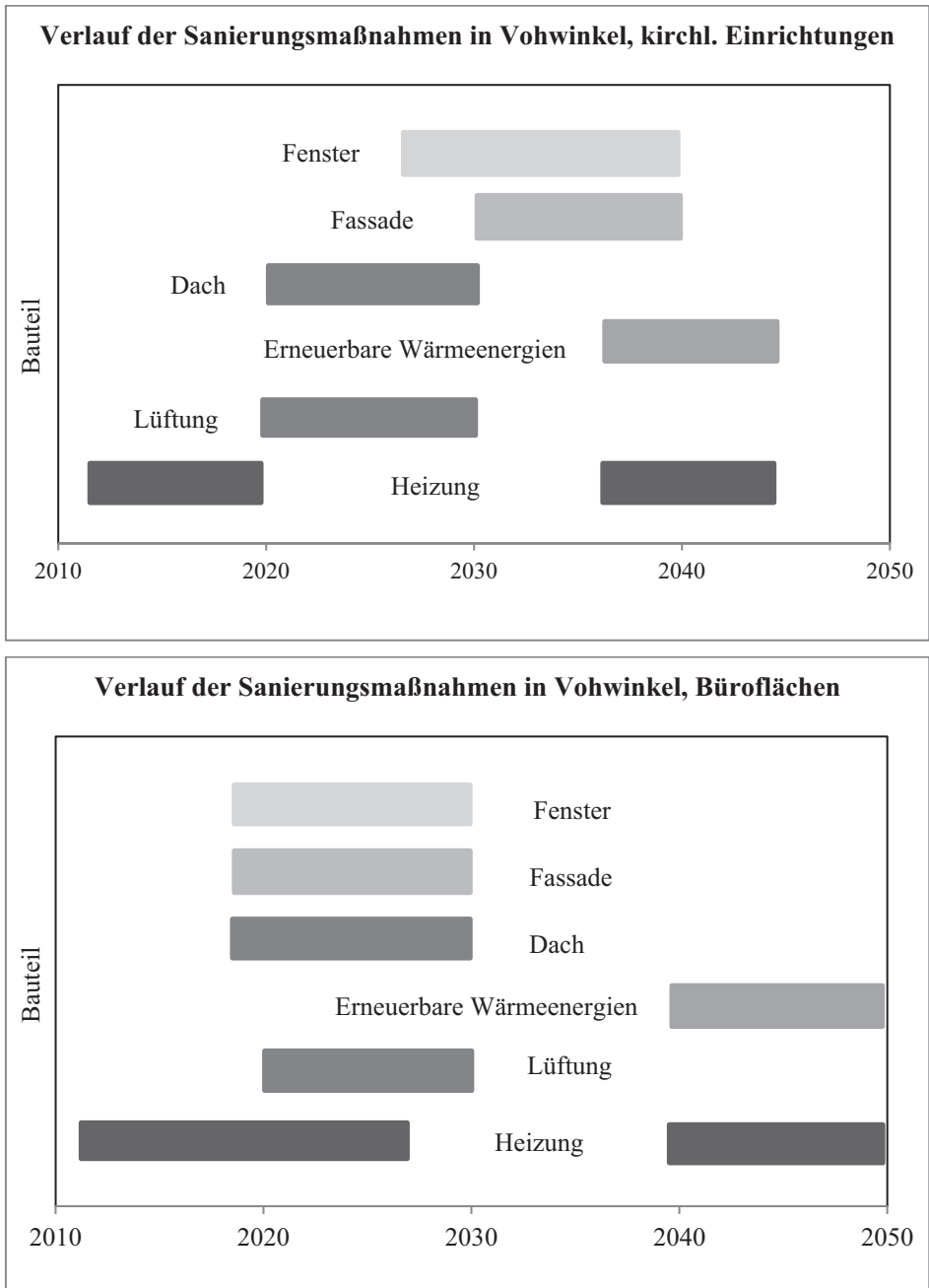
Nachstehend werden die Ergebnisse zur Grundsatzfrage *»Wie beurteilen die Akteure zukünftige Veränderungen an der Gebäudehülle und Heiztechnik?«* bewertet. Mit diesen Fragen sollen auch Grundlagen zu den Szenarien zum Teilausschnitt der kirchlichen Einrichtungen und privaten Büroflächen, indem die Einschätzungen zu den relevanten Variablen abgefragt werden, gewonnen werden. Neben Fragen zu Anpassungen der Gebäudehülle und der Heiztechnik wurden daher ergänzend Fragen zur Einschätzung des zukünftigen Energiemixes gestellt.

In Anhang 3.4 sind die Ergebnisse zu den Teilfragen (Fragebogen Nr. 13 bis 22) wiederum ausführlicher aufgeführt und zusätzlich die Quantifizierung der Variablen als Grundlagen für die Szenarien erläutert.

Aus den Ergebnissen kann insgesamt abgeleitet werden, dass die Akteure mehrheitlich beabsichtigen, die Sanierungsmaßnahmen an den Bauteilen der Gebäudehülle (Dächer, Fassaden, Fenster) und der Heiztechnik sowie Lüftungstechnik (falls vorhanden) weitestgehend bis zum Jahr 2040 abzuschließen und die Nutzung von erneuerbaren Wärmeenergien spätestens mit dem zweiten Sanierungszyklus zur Heiztechnik bis zum Jahr 2050 verstärkt einzusetzen.

Die Einschätzungen der befragten Akteure je Akteurskreis zu den Sanierungsmaßnahmen sind im zeitlichen Verlauf bis zum Jahr 2050 für die Bauteile der Gebäudehülle und die Heiztechnik in Abbildung 21 dargestellt.

Abbildung 21: Einschätzungen der Akteure zum zeitlichen Verlauf der Sanierungsmaßnahmen zur Gebäudehülle und Heiztechnik in Vohwinkel



Quelle: Eigene Auswertung zur Befragung der Akteure

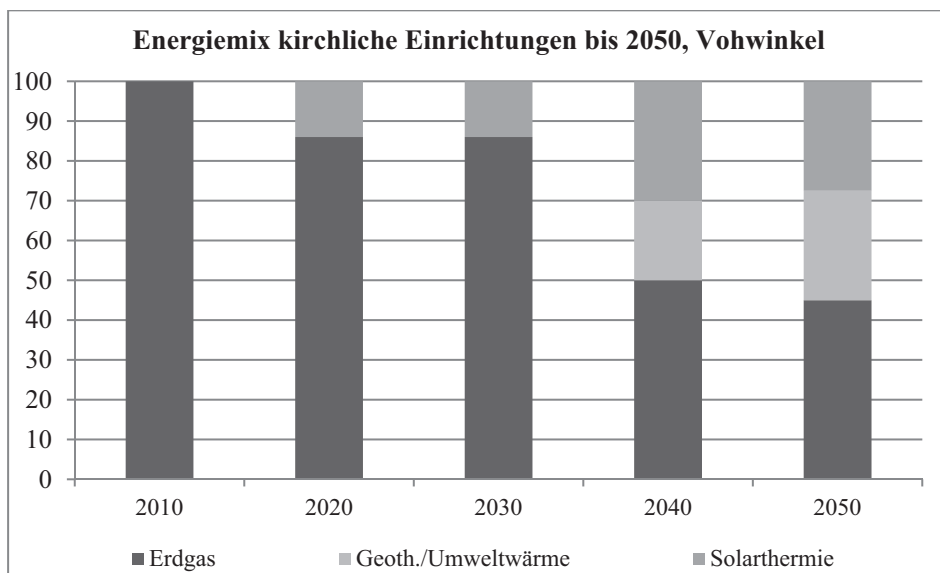
Bei der Heiztechnik wird infolge des Sanierungs- und Erneuerungszyklus von etwa 20 Jahren und dem abgeschlossenen ersten Zyklus im Zeitraum von 2020 bis 2030 im Anschluss eine zweite Erneuerungswelle für den Zeitraum 2040 bis 2050 erwartet. Mit diesem zweiten Zyklus wird von den Akteuren dann der überwiegende Einsatz von erneuerbaren Wärmeenergien angenommen.

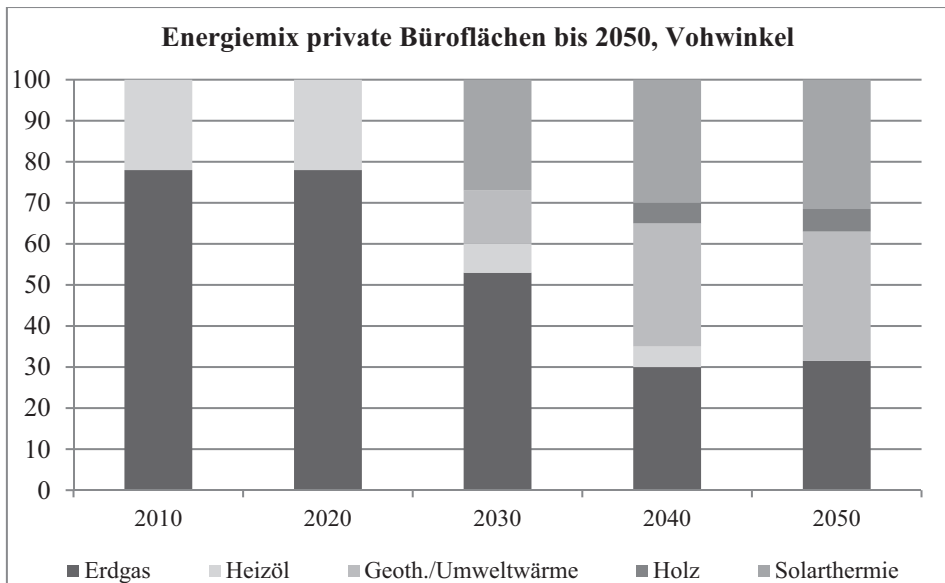
In der Vergangenheit liegende Instandsetzungsmaßnahmen an der Gebäudehülle sind nicht dargestellt, da die in der Zukunft liegenden Maßnahmen die wesentlichen Energieeinsparungen bewirken werden. Für die Bauteile zur Gebäudehülle ist auf Grund der Lebens- und Nutzungsdauer kein zweiter Sanierungs- oder Erneuerungszyklus vor dem Jahr 2050 zu erwarten, was infolge des Betrachtungszeitraums nicht direkt von Interesse ist, jedoch für die Interpretation der Ergebnisse weiter unten wesentliche Hinweise liefert, da in etwa ab dem Jahr 2050 auch für die Bauteile der Gebäudehülle je nach Material und Bauteil wieder Sanierungs- oder Erhaltungsmaßnahmen anstehen.

Für die Lüftungstechnik wird ebenso ab dem Jahr 2050 ein zweiter Zyklus relevant, der hier ebenfalls nicht weiter dargestellt ist, da der Betrachtungszeitraum überschritten wird und bei den Objekten der befragten Akteure aktuell kaum Lüftungstechnik zum Einsatz kommt, was jedoch für die Interpretation gleichwohl verwertbare Ansätze liefert.

Nach der Quantifizierung (siehe Anhang 3.4) der Einschätzungen zum Energiemix ergeben sich gemäß Abbildung 22 die Anteile der Energieträger inklusive der erneuerbaren Wärmeenergien bis zum Jahr 2050, wobei sich auch der Energiemix für 2010 aus den Befragungsbefunden ergibt.

Abbildung 22: Einschätzungen der Akteure zum zukünftigen Energiemix





Quelle: Eigene Auswertung zur Befragung der Akteure

In dieser Darstellung sind die favorisierten Energieträger der Akteure je Akteurskreis aufgeführt. Es ist erkennbar, dass die erneuerbaren Wärmeenergien Umweltwärme / Geothermie und Solarthermie nach Einschätzung der Akteure in etwa ab dem Jahr 2040 einen hohen Anteil haben bzw. überwiegen werden. Die feste Biomasse (Holz) wird keine relevante Rolle spielen. Der Anteil Erdgas wird weiterhin im Jahr 2050 etwa 30 Prozent bis 45 Prozent betragen.

Als Maßstab für die zukünftige Nichtwohngebäudequalität des Bestandes bis zum Jahr 2050 wurden die Akteure zur ihren Einschätzungen zum Erreichen des Niedrigstenergiehausstandards befragt. Dies erfolgte in Anlehnung an die EU-Gebäuderichtlinie²⁸⁰, die für alle EU-Mitgliedsstaaten bindend vorsieht, dass in Europa bis zum 31.12.2020 alle Neubauten sogenannte Niedrigstenergiegebäude²⁸¹ sind. Von daher sind mit zeitlichem Versatz auch die Bestandsgebäude bei Änderungen diesem Standard anzupassen, wenn wesentliche Erfolge im Nichtwohngebäudebereich erzielt werden sollen.

Es ist gemäß Befragung festzustellen, dass die Akteure die Wahrscheinlichkeit zum Erreichen des Niedrigstenergiehausstandards in ihrem Bestand im Zeitraum 2040 bis 2050 mit 75 Prozent einschätzen. Dies korrespondiert mit den zuvor aufgeführten Prognosen zu den Maßnahmen zum Gebäude insgesamt.

²⁸⁰ Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19.05.2010

²⁸¹ Artikel 9, Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19.05.2010

Aufgrund dieser Einschätzungen sowie dem Einsatz von erneuerbaren Wärmeenergien bis zum Jahr 2050 verbleibt ein Restzeitraum von 37 Jahren bis eine umfangreiche Sanierung bzw. Sanierungstiefe des Bestandes vorliegt. Hieraus ergibt sich eine energetische Sanierungsrate von etwa 2,7 Prozent (= 37 / 100). Diese liegt über der derzeitigen Sanierungsrate gemäß Energiekonzept der Bundesregierung von weniger als einem Prozent²⁸² bezogen auf den Gebäudebestand. Die hohe Sanierungsrate ist infolge des Anteils der Befragten zu Gebäuden der Baualtersklasse A und B (vgl. 5.2.3) erklärbar, da bei diesen Gebäuden grundlegende Sanierungen anstehen. Auch wenn die Befragten zur Baualtersklasse B etwas überrepräsentiert sind (vgl. Tabelle 32: 76 Prozent statt 60 Prozent), wird hier keine relevante Verzerrung zur Sanierungsrate angenommen, da die Akteure die angedachten Sanierungsmaßnahmen für den Zeitraum bis zum Jahr 2050 sehen.

Interpretation der Ergebnisse:

Auf Grund der Einschätzungen der Akteure wird sich der Bestand ihrer Nichtwohngebäude energetisch bis zum Jahr 2050 deutlich verbessern und erneuerbare Wärmeenergie eingesetzt werden. Damit die energetischen Verbesserungen optimiert werden, sollte die anstehende Sanierungswelle (bis 2050 erfolgt an der Gebäudehülle nur eine Sanierungswelle) bereits hohe Anforderungen erfüllen, worauf durch Aufklärung beispielsweise durch die Kommune, Planer und Energieberater hingewirkt werden sollte. Bei der Heiztechnik werden sich die erneuerbaren Wärmeenergieträger bis 2050 mit einem Anteil von etwa 55 Prozent bis 70 Prozent durchsetzen, insbesondere ab dem zweiten Erneuerungszyklus zur Heiztechnik.

Eine weitere Optimierung kann nur erreicht werden, wenn bereits ab der ersten Sanierungswelle die erneuerbaren Wärmeenergien überwiegend zum Einsatz kommen, worauf, wie zuvor erwähnt, hingewirkt werden sollte. Grundsätzlich bedingt dies jedoch die zuvor aufgeführten hohen Sanierungsanforderungen an die Gebäudehülle, damit beispielsweise die Umweltwärme unter Einsatz von elektrischer Energie durch Wärmepumpen effizient genutzt werden kann und kein erhöhter Stromanteil infolge des Einsatzes des elektrischen Heizstabes durch schlecht gedämmte und undichte Gebäudebauteile entsteht.

Daher wird auch die Lüftungstechnik nach Verbesserung der Bauteildichtheit verstärkt in den Fokus rücken und zum notwendigen Lüften Wärmerückgewinnungsanlagen effizient zum anteiligen Vorheizen der Frischluft nutzen, was ebenso zu Energieeinsparungen führt. Insgesamt wird sich demnach der Bestand bis zum Jahr 2050 dem Niedrigstenergiehausstandard annähern, wobei Passivhauskomponenten, wie zum Bei-

²⁸² Vgl. [BMU2011], S. 5: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.), 2011

spiel eine sehr gute Gebäudedämmung und Wärmerückgewinnungsanlagen, eingesetzt werden sollten.

Zum Erreichen einer entsprechenden Bestandsgebäudequalität sind qualifizierte Beratungen und Ausführungen notwendig.

Ergebnisse zur Frage »Welche Hemmnisse und Anreize lassen sich aus der Praxis der Akteure ableiten?«

Die Ergebnisse zur Grundsatzfrage »*Welche Hemmnisse und Anreize lassen sich aus der Praxis der Akteure ableiten?*« sind in Tabelle 35 je Akteursgruppe zusammengefasst und basieren auf der Aufbereitung der Ergebnisse in Anhang 3.4. Abgefragte Sachverhalte bzw. Verhaltensweisen der Akteure werden dabei als Hemmnisse interpretiert, wenn diese bisher keine relevanten wärmeenergetische Sanierungsmaßnahmen bewirkt haben.

Gleichwohl lassen sich im Umkehrschluss Anreize daraus ableiten, wenn eine Anpassung der Verhaltensweise beispielsweise durch mehr Informationen und Beratungen erreicht werden kann. Weiterhin wird ein Umstand als Anreiz bezeichnet, wenn dieser generell gemäß Akteure für Sanierungsmaßnahmen förderlich ist. Einige der abgefragten Sachverhalte sind in Tabelle 35 als neutral eingestuft, da sie nicht direkt Hemmnisse oder Anreize darstellen.

Tabelle 35: Befragungsergebnisse zu Hemmnisse und Anreize in Vohwinkel

Sachverhalt / A = Anreiz, H = Hemmnis, N = Neutral	kirchliche Einrichtungen	private Bürofläche
Die Akteure stufen Sanierungsmaßnahmen generell als wirtschaftlich ein	A	A
Eine Sanierung wird frühestens nach Ablauf der Bauteillebensdauer ausgeführt	H	H
Andere Investitionen verhindern tendenziell nicht die Investitionen in wärmeenergetische Maßnahmen	N	N
Das Tagesgeschäft verdrängt bei den meisten Befragten die Thematik infolge organisatorischer Belastungen	H	H
Wirtschaftliche Einsparpotenziale sind den Akteuren eher unbekannt	H	H
Das Wärmeenergie-Contracting fördert aus Sicht der Akteure keine Maßnahmen hinsichtlich einer Erneuerung der Heizungsanlage	H	H
Der Denkmalschutz hindert die Akteure nicht daran Maßnahmen einzuleiten und umzusetzen	N	N
Das Interesse an einer Erstberatung durch Architekten/Ingenieure ist bei Akteuren von privaten Büroflächen wesentlich höher einzuschätzen, bei den kirchlichen Einrichtungen wird die Erstberatung durch Architekten/Ingenieure kritisch gesehen, da hohe Honorare erwartet werden	H	A

Sachverhalt / A = Anreiz, H = Hemmnis, N = Neutral	kirchliche Einrichtungen	private Bürofläche
Zwecks Unterstützung sind die Akteure offen für von außen initiierte Erstberatungen, da das Tagesgeschäft eine Eigeninitiative verhindert	A	A
Eine rückläufige Handwerker- und Ingenieurverfügbarkeit wird bisher nicht als hinderlich bewertet	N	N
Die Vielfalt und Komplexität von möglichen Varianten zum Einsatz von erneuerbaren Wärmeenergien wirkt nicht hinderlich	N	N
Werterhaltungsstrategien werden eher vernachlässigt	H	H
Das Thema Gebäudezertifizierung oder Imagegewinn führt nicht zu wärmeenergetischen Maßnahmen	H	H
Das bisherige Betriebskostenmanagement führt nicht zu umfänglichen wärmeenergetischen Maßnahmen	H	H
Die Akteure empfinden die Umweltpolitik eher als unklar	H	H
Die konkreten politischen Ziele zu den CO ₂ -Emissionsminderungen sind den befragten Akteuren in der Regel unbekannt	H	H
Bisher haben sich die Akteure nicht mit Förderprogrammen zu Sanierungsmaßnahmen beschäftigt	H	H
Die flächenspezifischen Heizenergieverbräuche zu ihren Gebäuden sind den Akteuren nicht bekannt, genauso wenig die Verbräuche von wärmeenergetisch optimierten Gebäuden gleichen Typs	H	H
Die Akteure sehen aktuell keine Anreize durch steuerliche Rahmenbedingungen, die steuerlichen Anreize müssen politische Wechsel	H	H
Ergebnisse zur offenen Fragestellung:		
Die vorhandene Bausubstanz/Architektur fördert zum Teil aus Sicht der kirchlichen Akteure nicht die Umsetzung von wärmeenergetischen Sanierungsmaßnahmen, so dass keine großen Erfolge erwartet werden	H	N
Investitionen in Standorte mit innerstädtischer Lage ohne Erweiterungspotenzial werden von den Akteuren nicht getätigt	N	H
Erzielte Energieeinsparungen infolge von Investitionen kommen dem Mieter zu Gute und werden daher unterlassen, Investor-Nutzer-Dilemma	H	H
Die Akteure sehen als wichtigste finanzielle Anreizform Förderprogramme zur Gebäudesanierung auf Basis von zinsfreien Krediten oder Zuschüssen	A	A
Obwohl die Akteure auf Nachfrage energetische Maßnahmen	H	H
Den Akteuren fehlen Wirtschaftlichkeitsdarstellungen die nachvollziehbar und plausibel sind	H	H

Quelle: Eigene Auswertung zur Befragung der Akteure

Interpretation der Ergebnisse und Konsequenzen für Empfehlungen:

Bei der Interpretation werden nachfolgend die wesentlichen Sachverhalte so zusammengefasst, dass sich aus den Hemmnissen und Anreizen im Weiteren Handlungsempfehlungen (vgl. 5.3) ableiten lassen:

Einerseits stufen die Akteure energetische Maßnahmen als wirtschaftlich ein, obwohl ihnen wirtschaftliche Einsparpotenziale nicht bekannt sind, und andererseits wird bei der ergänzenden offenen Fragestellung die Wirtschaftlichkeit von wärmeenergetischen Maßnahmen nahezu immer von den befragten Akteuren problematisiert. Zusätzlich weisen zum Teil die kirchlichen Vertreter auf die Schwierigkeit der Finanzierbarkeit hin, da der laufende Betrieb bereits finanziell angespannt ist. Allerdings kann eine wirtschaftliche Maßnahme kein Finanzierungsproblem darstellen, da Einsparungen und keine zusätzlich Lasten erzielt werden. Diese gegensätzlichen Aussagen deuten darauf hin, dass sich die Akteure infolge des Tagesgeschäftes nicht mit konkreten Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen beschäftigen oder sich solche nicht aufzeigen lassen. Diese Unsicherheit führt zum Problematisieren des Themenkomplexes »Wirtschaftlichkeit« und hemmt die Umsetzung von wirtschaftlich darstellbaren Maßnahmen. Ziel sollte es daher sein, den Akteuren Wirtschaftlichkeitsdarstellungen zur Verfügung zu stellen, die einfach nachvollziehbar und plausibel sind.

Das Tagesgeschäft lenkt generell von der Thematik »wärmeenergetische Gebäudesanierung« ab, und die Akteure widmen sich nur in den wenigsten Fällen eigenständig dem Thema bzw. hauptsächlich nur bei notwendigen Instandhaltungen in Teilbereichen. Gleichzeitig stehen die Akteure einer von außen initiierten Erstberatung offen gegenüber und sind an Energieberatungsleistungen zum Gebäude sehr interessiert. Energieberatungen sollten daher für den Nichtwohngebäudebereich ausgeweitet werden, da hierüber ein Zugang zu den Akteuren besteht und energetische Gebäudeveränderungen in Kombination mit Wirtschaftlichkeitsberechnungen aufgezeigt werden können.

Das Wärmeenergie-Contracting war bei den Akteuren nur teilweise bekannt und fand wenig Interesse. Allerdings kann diese Vertragsform, die auch zum Energiespar-Contracting²⁸³ ausgebaut werden kann,

Sanierungsmaßnahmen am Gebäude fördern. Die Investitionen und das Risiko entfallen für den Gebäudeeigentümer. Der Contractor finanziert sich beim Energiespar-Contracting über die Energieeinsparungen.²⁸⁴

Das Investor-Nutzer-Dilemma führt dazu, dass je nach Vertragssituation erzielbare Energieeinsparungen dem Mieter zu Gute kommen und der Investor/Vermieter die Finanzierungskosten zu tragen hat. Gemäß Äußerungen von betroffenen Büroflächen-Akteuren mit Kaltmietverträgen werden diese daher erst in wärmeenergetische Maß-

²⁸³ Vgl. [UBA2000], S. 6: Umweltbundesamt [Hrsg.], 2000

²⁸⁴ a.a.O.

nahmen investieren, wenn die Mieter auf Grund von fehlender Attraktivität des Mietobjektes durch zu hohe Heizkosten ausbleiben. Bei Akteuren mit Warmmietverhältnissen liegen die Anreize sofort beim Vermieter bzw. Investor, da er die Einsparung selbst erzielen kann.

Auch wenn bisher die Akteure keine Förderprogramme in Anspruch genommen haben, sehen sie diese als wichtige finanzielle Anreizform, wobei Förderprogramme auf Basis von zinsfreien Krediten oder Zuschüssen favorisiert werden. Dies zeigt, dass angepasste Randbedingungen zu den Förderprogrammen ausgearbeitet und die Förderprogramme mehr bekannt gemacht werden sollten. Zu schaffende steuerliche Anreize, die politische Veränderungen langfristig überdauern, sind den Akteuren für ihre Entscheidungen ebenfalls wichtig und stellen auch einen wichtigen Förderbaustein zur Steigerung der Sanierungsrate dar.

Ergänzt wird ein externer Hinweis zu Förderprogrammen aus einem Fachbericht inklusive Kommentar²⁸⁵ zu kleinen und mittleren Unternehmen (KMU): Es bestehen rund 6.000 Förderprogramme mit entsprechend zu erfüllenden Voraussetzungen, die letztlich niemand überblicken kann. Die richtigen Ratschläge, auch zu Förderprogrammen, erhofft man sich über Energieeffizienzberatungen. Jedoch wird mit der Vielzahl der Förderprogramme und den Zuschüssen zu Fachberatungen nur eine politische Außendarstellung zur Förderung von energetischen Maßnahmen gewollt, da infolge der Leerstände der Fördertöpfe nur wenige Maßnahmen umgesetzt werden können. Dazu werden Hürden bei der Bearbeitung der Anträge aufgebaut, die beim unter Zeitdruck stehenden potenziellen energetischen Sanierer dazu führen, dass er keine Maßnahmen ausführt.²⁸⁶

Insgesamt ist daher ein Umdenken im Umgang mit Förderprogrammen in seiner Vielfältigkeit und als politisches Werkzeug zur Außendarstellung mit dem Ziel herbeizuführen, die Effizienz der Förderprogramme selbst und letztlich die Anzahl der Maßnahmen zu steigern.

Zusätzlich ist den Akteuren die Energiepolitik transparenter darzustellen, da diese derzeit von den Akteuren als unklar bzw. wechselhaft eingestuft wird und dadurch eine Zurückhaltung bei Investitionen in Sanierungsmaßnahmen entsteht.

Bei historisch gewachsenen Lagen von Objekten im innerstädtischen Bereich (Hauptachse von Vohwinkel sowie auch nördlich und südlich davon gelegene Objekte) werden von den betroffenen Akteuren generell Standortinvestitionen kritisch gesehen, da betriebliche Ausdehnungs- und Anpassungsmöglichkeiten fehlen. Die Investitionen in den Standort und somit auch in wärmeenergetische Maßnahmen bleiben aus, da die Zukunft des Standorts als unsicher bewertet wird.

²⁸⁵ Vgl.[Hin2013]: Hinderer Detlef, 2013

²⁸⁶ a.a.O., S. 37

Zur Beseitigung dieser Problemstellung sollten neue städtebauliche Konzepte und eventuell angepasste Rechtsgrundlagen zu innerstädtische Lagen für die notwendige Standortsicherheiten sorgen.

Ergebnisse zu den Kontrollfragen:

Die Auswertung zu den Fragen mit gleichzeitigem Kontrollcharakter (vgl. 5.2.1) ergibt zusammengefasst zu beiden Akteursgruppen folgendes:

Die Frage zum Beitrag der Nichtwohngebäude in Kombination mit der Kontrollfrage zum Mitwirken der Akteure an den Klimaschutzziele zeigt übereinstimmende Muster.

Die Kontrollfrage zur Einschätzung der zukünftigen Gebäudeentwicklungen an Hand eines Niedrigstenergiehausstandards im Vergleich zu konkreteren Fragen zu den Bauteilen, der Heiztechnik und zum Energiemix ergeben ebenso übereinstimmende Muster.

Die Kontrollfrage zur Sanierungsbereitschaft der Akteure bereits vor Ablauf der Bauteillebensdauer im Vergleich zu bisherigen Maßnahmen zeigt übereinstimmend, dass bisher vor Ablauf der Bauteillebensdauer keine Maßnahmen initiiert werden.

Lediglich die Frage Nr. 29 als Kontrollfrage zu Nr. 4 (Teilfrage Werterhaltungsstrategie) zeigt eine Abweichung. Die Akteure stufen zwar eine Werterhaltungsstrategie grundsätzlich als förderlich zur Umsetzung von wärmeenergetischen Maßnahmen ein, haben selbst jedoch bisher auf Grund dieses Handlungsansatzes keine relevanten Maßnahmen realisiert. Auf Grund weiterer hinterfragter Sachverhalte ist dies beispielsweise durch das Abwarten der Bauteillebensdauer, durch die Ablenkung durch das Tagesgeschäft und durch das Problematisieren der Wirtschaftlichkeit begründbar.

Bei der Frage zur Erstberatung im Sinne einer Erst-Energieberatung durch Architekten und/oder Ingenieure weicht die Mustererkennung bei den kirchlichen Vertretern ab. Dies kann mit der Erwartung von höheren Honorarforderungen im Vergleich zu einer Handwerkerberatung begründet werden.

5.3 Zusammenfassung der Ergebnisse als Handlungsempfehlungen

Die Befragung liefert Ansätze für Teilgebäudebestände als Szenariengrundlagen. Diese beziehen sich auf Einschätzungen zur zukünftigen Qualität der Gebäudehülle, zur Heiztechnik, zum Energiemix, zur Sanierungsrate und zu Flächenentwicklungen. Je nach Ergebnis zu den Szenarien für die Teilbestände können diese wertvolle Hinweise zu Festlegungen von Leitparametern zwecks Zielerreichung auch zum gesamten Nichtwohngebäudebestand liefern.

Tabelle 36: Handlungsempfehlungen zur Steigerung der Sanierungsrate und des Sanierungspotenzials

Befragungsergebnisse	Handlungsempfehlungen
Die Notwendigkeit der Energieberatung wird von den Akteuren erkannt.	Die Planungs- und Energieberatungsleistungen zu Nichtwohngebäuden sind stärker als bisher in den Fokus zu rücken.
Die Akteure zeigen kaum Eigeninitiative, sind jedoch interessiert und für von außen eingeleitete Initiativen offen.	Das Zusammenbringen der Akteure mit den Fachleuten sollte verstärkt ins Visier genommen und zum Beispiel von der Kommune, von Kammern und/oder Energieagenturen organisiert werden.
Konkrete politische Ziele zum Klimaschutz sind den Akteuren nicht bekannt. Ebenso wenig die eigenen flächenspezifischen Verbräuche zum Heizen der Nichtwohngebäude und die Einordnung zu möglichen Verbräuchen.	Die Sensibilisierung und Aufklärung kann durch Planer und Energieberater erreicht werden (in Kombination mit vorhergehenden Empfehlungen).
Die Wirtschaftlichkeit wird in der Regel problematisiert, obwohl Einspareffekte nicht bekannt sind und Sanierungsmaßnahmen als wirtschaftlich bewertet werden.	Den Akteuren sind bei den Beratungsleistungen Wirtschaftlichkeitsberechnungen darzustellen, die plausibel und nachvollziehbar sind.
Förderprogramme haben bei den befragten Akteuren bisher zu keinen wärmeenergetischen Maßnahmen geführt.	Überschaubare Förderprogramme sind zu etablieren, zu bewerben, in den Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zu integrieren und müssen letztlich für die Akteure nutzbar sein. Dazu gehören auch steuerliche Anreize.
Für die Gebäudehülle wird sich insgesamt bis zum Jahr 2050 nur eine Sanierungswelle, die im Zeitraum 2030 bis 2040 abgeschlossen sein wird, als Chance bieten.	Die anstehende Sanierungswelle an den Gebäudehüllen sollte für die Umsetzung von hohen Anforderungen genutzt werden. Die Notwendigkeit von Lüftungssystemen mit Wärmerückgewinnung infolge der verbesserten Luftdichtheit sollte verstärkt verdeutlicht werden. Insgesamt sollte auf Passivhauskomponenten hingewirkt werden.
Bei der Heiztechnik wird die erste Sanierungswelle 2020 abgeschlossen sein. Erst die zweite Sanierungswelle wird den Anteil von erneuerbaren Energien bis 2050 erhöhen.	Auf den Einsatz von erneuerbaren Wärmeenergien sollte bereits bei der ersten Sanierungswelle hingewirkt werden.
Die Akteure zeigen eine Zurückhaltung zu Investitionen auf Grund einer langfristig fehlenden Planungssicherheit.	Politische Vorgaben müssen Wahlperioden und Führungswechsel überdauern. Eine stetige Energiepolitik ist den Akteuren zu verdeutlichen.
In innerstädtische Lagen wird nicht investiert, da sich die Zukunft der Standorte und Entwicklungsmöglichkeiten für die Akteure als unsicher darstellen.	Städtebauliche Konzepte sollten die innerstädtischen Lagen stärken und angepasste Lösungen bieten.

Quelle: Eigene Auswertung zur Befragung der Akteure

Auf Grund der Befragungsergebnisse lassen sich weiterhin Handlungsempfehlungen (Tabelle 36) zusammenfassen, die zur Steigerung der energetischen Sanierungsrate hinsichtlich der wärmeenergetischen Maßnahmen bei Nichtwohngebäuden beitragen können. Diese Handlungsempfehlungen sind an den Gesetzgeber, an die Kommunen und an Fachverbände bzw. Fachorganisationen gerichtet.

Die Tabelle 36 enthält in der linken Spalte die wesentlichen Ergebnisse aus der Befragung der Akteure von kirchlichen Einrichtungen und privaten Büroflächen in Vohwinkel. In der rechten Spalte sind den Ergebnissen abgeleitete Handlungsempfehlungen zur Steigerung der Sanierungsrate zugeordnet. Die Handlungsempfehlungen sollen das Voranbringen von energetischen Sanierungsmaßnahmen bei Nichtwohngebäuden unterstützen und zur Steigerung des Erwartungspotenzials beitragen.

In Anlehnung an 4.2 kann beispielsweise das Erwartungspotenzial zu den CO₂-Minderungen von einem Prozent pro Jahr auf 1,7 Prozent pro Jahr gesteigert werden, wenn bei den anstehenden Sanierungen gleichzeitig höhere Sanierungsziele verfolgt werden.

6 Kohlendioxid-Szenarien bis zum Jahr 2050

6.1 Zielsetzung und Kurzbeschreibung zu den gewählten Szenarien

Ziel ist es, mit Hilfe von Szenarien zukünftige Entwicklungen zu CO₂-Emissionen im Bereich der Raumwärme beim Nichtwohngebäudebestand für Vohwinkel aufzeigen zu können. Dabei sollen Leitparameter zur Erreichung von CO₂-Minderungen um mindestens 80 Prozent abgeleitet werden.

Aufbauend auf der Modellierung der Bestandssituation für das Jahr 2010 sollen zu den beheizten Nichtwohngebäuden in Vohwinkel und auch zu Hochrechnungsergebnissen zum Bestand in Wuppertal Szenarien bis zum Jahr 2050 aufbereitet werden. Dabei wird die durchgeführte Befragung bei Akteuren in Vohwinkel zu Teilbeständen (vgl. 5) berücksichtigt. Auf Grund eines unterschiedlichen Energiemixes zu Vohwinkel und Wuppertal (vgl. 3.1) werden die Szenarien für Vohwinkel und für die Hochrechnungen zu Wuppertal getrennt betrachtet. Die Szenarien, als mögliche Zukunftsbilder, sollen dabei für die Jahre 2020, 2030, 2040 und 2050, die als Stützjahre der Berechnungen bezeichnet werden, die Entwicklungen der Gebäudeflächen, des Heizenergie- und Primärenergieverbrauchs für die Raumwärme und der resultierenden CO₂-Emissionen aufzeigen.

Dazu werden mehrere Forecasting-Szenarien²⁸⁷, welche die Gegenwart in die Zukunft hinein verlängern, betrachtet. Zusätzlich wird ein Backcasting-Szenario²⁸⁸ dargestellt, welches ausgehend vom politisch gewollten Zukunftszustand im Jahr 2050 und den gewählten Leitparametern zu den Schlüsselfaktoren den CO₂-Verlauf bis 2050 analysiert. Das Backcasting-Szenario wird dabei als Leitszenario »Backcasting-Leit« bezeichnet.

Die Szenarien werden unter 6.5 und 6.6 näher erläutert und aufbereitet. Mit den verschiedenen Szenarien kann der Raum möglicher Entwicklungen²⁸⁹ infolge der Einflüsse unterschiedlicher Faktoren²⁹⁰ abgebildet werden. Die unterschiedlichen Faktoren werden hier durch die beeinflussenden Variablen (Schlüsselfaktoren) berücksichtigt und variiert.

Variiert werden die Eingangsparameter zum zukünftigen Energiemix (vgl. 6.4.4 und 6.4.5) und die jeweiligen Brennstofffaktoren (vgl. 6.4.6), die Variablen zu den Flächenentwicklungen (vgl. 6.4.8 und 6.4.9) sowie die Heizkennwerte (vgl. 6.4.2 und 6.4.3) der definierten zukünftigen Baualtersklassen E bis G (vgl. 6.4.1). Unverändert

²⁸⁷ Vgl. [Ste2003], S. 11: Steinmüller Karlheinz (Hrsg.), 2003

²⁸⁸ a.a.O.

²⁸⁹ Vgl. [Kos2008], S. 13: Kosow Hannah, Gaßner Robert, 2008

²⁹⁰ a.a.O.

bleibt bei den Szenarien die angenommene Leerstandsquote von zehn Prozent, die zu einer Minderung der Energieverbräuche von sieben Prozent führt (vgl. 3.1).

Bei den Zukunftsbildern können Einflüsse durch prognostizierte ansteigende Temperaturen bis zum Jahr 2050 ebenso berücksichtigt werden. Der Anstieg der mittleren Temperaturen kann den zukünftigen Wärmeenergieverbrauch reduzieren, was grundsätzlich durch die Anpassung der Gradtagzahlen²⁹¹ für die Stützjahre möglich wäre.

In dieser Arbeit bleibt dieser Einfluss jedoch unberücksichtigt, da unter Abwägung der zu treffenden Annahmen zu den relevanten Parametern und der Ergebnisbandbreite dieser Einfluss als gering eingeschätzt wird. Beziffern lässt sich der Einspareffekt auf eine Größenordnung von etwa vier Prozent bis fünf Prozent²⁹² beim zukünftigen Heizwärmebedarf. Hierbei ist der Bezug zu Wetterdaten von 1961 bis 1990 oder von 1988 bis 2007 zu beachten, was hier nicht weiter thematisiert wird.

Dagegen ist mit der Zunahme des Energieverbrauchs durch Raumkühlung zu rechnen, was hier ebenfalls nicht weiter betrachtet wird.

Mit den beabsichtigten Zukunftsbildern, die die Bestandssituation zu den beheizten Nichtwohngebäuden fortführen, sind Vergleiche untereinander und zu politischen Zielsetzungen bis zum Jahr 2050 möglich. Hieraus sollen Handlungsempfehlungen für den Teilssektor »CO₂-Emissionen aus der Raumwärme beheizter Nichtwohngebäude« abgeleitet werden. Auf Bundesebene²⁹³ ist eine Reduzierung der CO₂-Emissionen um minus 40 Prozent bis 2020, um minus 55 Prozent bis 2030, um minus 70 Prozent bis 2040 und um minus 80 Prozent bis 95 Prozent bis 2050 geplant, wobei das Jahr 1990 als Bezugsjahr gilt.

Die aktuelle Beschlusslage der Stadt Wuppertal sieht eine Reduzierung der CO₂-Emissionen von 2005 bis 2030 von zehn Prozent alle fünf Jahre bis zum Jahr 2030²⁹⁴ vor, was einem 50 Prozent-Reduktionsziel²⁹⁵ entspricht. Nach 2030 wird sich nach derzeitigem Stand bis 2050 an den bundesweiten Zielen orientiert.²⁹⁶ Dies bedeutet in Anlehnung an das Energiekonzept der Bundesregierung, dass eine Minderung der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80 Prozent bis 95 Prozent²⁹⁷ (Bezug 1990) vorgesehen ist.

Zunächst wird ein Ausgangsszenario als Forecasting-Szenario »Trendfortschreibung-business as usual« bzw. »Trend-bau« zu allen Nichtwohngebäudekategorien

²⁹¹ Vgl. [BMVBS2012a], S. 58: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), 2012

²⁹² Vgl. [Maas2013], Maas Anton, 2013

²⁹³ Vgl. [BMU2011], S. 5: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.), 2011

²⁹⁴ Vgl. [Bre2013], Telefonat vom 04.07.2013

²⁹⁵ Vgl. [Reu2012a], S. 42: Reutter Oscar, Bierwirth Anja et al., 2012

²⁹⁶ Vgl. [Bre2013], Telefonat vom 04.07.2013

²⁹⁷ Vgl. [BMU2011], S. 5: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.), 2011

aufbereitet. Da die zukünftigen Heizkennwerte auch von baupraktischen Einflüssen abhängen, werden diese beim Trend-Szenario berücksichtigt und das Szenario letztlich »Trend-bau-Baupraxis« benannt.

Der baupraktische Einfluss wird wie folgt erläutert: Durch die baupraktische Beeinflussung während der Bauausführung entstehen höhere Heizenergieverbrauchswerte, als theoretisch bzw. planerisch vorgesehen. Insbesondere führt die baupraktische Ausführung und Komplexität am Bau dazu, dass beispielsweise Wärmebrücken, die dauerhafte Luftdichtheit und/oder regelungstechnische Prozesse bei Heiz- und Lüftungsanlagen nicht optimal bei der Realisierung von Neubauten und Sanierungen umgesetzt werden. Dies ist damit begründbar, dass infolge der qualitativ hochwertigen Sanierungsaufgaben am Gebäudebestand und den damit verbundenen hohen energetischen Zielsetzungen »... die spezifischen Anforderungen an die Konstruktion, die Gebäudetechnik und die thermische Bauphysik ...«²⁹⁸ ansteigen. »... Die Leistungen von Planern und bauausführenden Firmen werden immer komplexer und aufwändiger ...«²⁹⁹. Die Umsetzung der vertraglich vereinbarten Qualität wird in der Baupraxis immer schwieriger, und die Zahl der Baufehler kann sich daher bei energetischen Maßnahmen erhöhen.³⁰⁰

Als Ursachen können beispielsweise der enorme Kosten-, Zeit- und Leistungsdruck in der Baubranche genannt werden.³⁰¹

Wesentlich sind bei der Gebäudehülle die Bereiche zur Optimierung des gesamten Wärmeverlustes inklusive der Wärmebrücken und der Luftdichtheit. Die Zunahme der fehlerhaften Ausführungen in diesen Bereichen ist zu erwarten.³⁰² Diese Umstände können auch auf Neubaumaßnahmen übertragen werden und führen insgesamt als baupraktischer Einfluss zu höheren Verbräuchen als planerisch beabsichtigt.

Das Szenario »Trend-bau-Baupraxis« berücksichtigt Trends, welche auf Daten und Abschätzungen beruhen, die zum Teil seit 1990 vorliegen. Bei den Szenarien werden die Schlüsselfaktoren zu den Zukunftsbildern für die Stützjahre variiert. Die relevanten Schlüsselfaktoren werden anhand der Grundlagen zur Bestandsmodellierung (vgl. 2) nachfolgend aufgeführt. Diese ergeben sich auf Grund von Veränderungen an der Gebäudehülle, bei der Heiztechnik und beim Energiemix:

- Entwicklungen zu weiteren Baualtersklassen bis zum Jahr 2050
- Entwicklungen zu den Heizkennwerten je weiterer Baualtersklasse
- Entwicklungen zum Energiemix und zu den Anteilen der erneuerbaren Wärmeenergien

²⁹⁸ [Böh2011], S. 219: Böhmer Heike, 2011

²⁹⁹ a.a.O.

³⁰⁰ a.a.O., S. 219 und S. 228

³⁰¹ a.a.O., S. 226

³⁰² a.a.O., S. 228

- Entwicklungen zu den Primärenergiefaktoren je Energieträger
- Entwicklungen zu den CO₂-Emissionsfaktoren je Energieträger
- Flächenentwicklungen je Baualtersklasse auf Grundlage von Neubau-, Abriss- und Sanierungsrate

Durch die Variation der Schlüsselfaktoren werden drei weitere Zukunftsbilder als »Trend-bau-Szenarien« aufgezeigt, wobei beschleunigende Einflüsse berücksichtigt werden und die Szenarien danach benannt werden. Diese werden nachfolgend inklusive der Einflussparameter beschrieben:

»Trend-bau-Akteursbefragung« (Einfluss Energiemix und Sanierungsrate) zum Teilbestand

»Trend-bau-Passivhaus« (Einfluss optimierter Heizkennwerte)

»Trend-bau-kein Flächenzuwachs« (Einfluss durch Abrissrate = Neubaurate)

Diese Szenarien spiegeln im Vergleich zur allgemeinen Trendentwicklung positive Hebelwirkungen durch Vermeidung von weiteren Flächenzuwächsen, bei der Umsetzung von optimierten Heizkennwerten, beim Energiemix und der Sanierungsrate wider.

Der beschleunigende Einfluss durch Heizkennwerte wird in Anlehnung an den Passivhausstandard analysiert, wobei ein spezifischer Heizkennwert von bis zu 15 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr³⁰³ erreicht werden soll. Bei den Betrachtungen, dass sich bis zum Jahr 2050 kein Flächenzuwachs mehr ergibt, wird von einer Abrissrate ausgegangen, die die Neubaurate neutralisiert, da die zukünftige Flächenentwicklung als mitentscheidende Einflussgröße angesehen wird.

Zwei weitere »bau-Szenarien« werden auf Grundlage der Akteursbefragung in Vohwinkel zu den Teilbeständen der kirchlichen Einrichtungen und den privaten Büroflächen aufbereitet, wobei hier insbesondere der Einfluss einer höheren Sanierungsrate mit entsprechender Sanierungstiefe und der Einfluss des Energiemixes deutlich wird.

Mit Hilfe der Variationen sollen die Einflüsse einzelner Schlüsselparameter und die Konsequenzen daraus aufgezeigt werden. Beispielsweise kann sich ergeben, dass unter der Annahme von sich reduzierenden Heizkennwerten und Anstieg der Anteile der erneuerbaren Wärmeenergien das Mindestziel noch immer nicht erreichbar wird.

Dann sind weitere Parameter als Konsequenz anzupassen. Dazu werden die Ergebnisse aus den Forecasting-Szenarien (vgl. 6.5) für die Annahmen zu den Schlüsselparametern im Leit-Szenario (Backcasting-Szenario, vgl. 6.6) ausgewertet und diese als Leitparameter zur Zielerreichung angesetzt. Die gewählten Szenarien sind in Tabelle 37 aufgeführt.

³⁰³ Vgl. [Fei20012a], S. 13: Feist Wolfgang [Hrsg.], 2012

Tabelle 37: Untersuchte CO₂-Szenarien bis zum Jahr 2050

	Szenario
A	"Trend-bau-Baupraxis", (vollständiger beheizter Nichtwohngebäudebestand) (Trendannahmen zu: Energiemix, Primärenergiefaktoren, CO ₂ -Emissionsfaktoren, Sanierungsrate, Neubaurate, Abrissrate, Heizkennwerte)
B	"Trend bau-Akteursbefragung" (Teilbestände in Vohwinkel) - Teilbestand private Büros: "Trend-bau-private Büros" - Teilbestand kirchliche Einrichtungen: "Trend-bau-kirchliche Einrichtungen" (Einfluss höhere Sanierungsrate und Energiemix mit größerem Anteil erneuerbaren Energien)
C	"Trend-bau-Passivhaus" (Einfluss optimierter Heizkennwerte)
D	"Trend-bau-kein Flächenzuwachs" (Einfluss Anpassung Abrissrate an Neubaurate)
E	"Backcasting-Leit" (Annahme von zielführenden Leitparametern)

Quelle: Eigene Festlegungen, teilweise vorherveröffentlicht als bundesweite Szenarien unter: [Hel2013], S. 222

In Abbildung 23 wird ausgehend von dem Forecasting-Szenario »Trend-bau-Baupraxis« der aufgefächerte Raum möglicher Entwicklungen durch Variation der Schlüsselfaktoren und der Einfluss der Ergebnisse auf die Leitparameter im Backcasting-Szenario verdeutlicht.

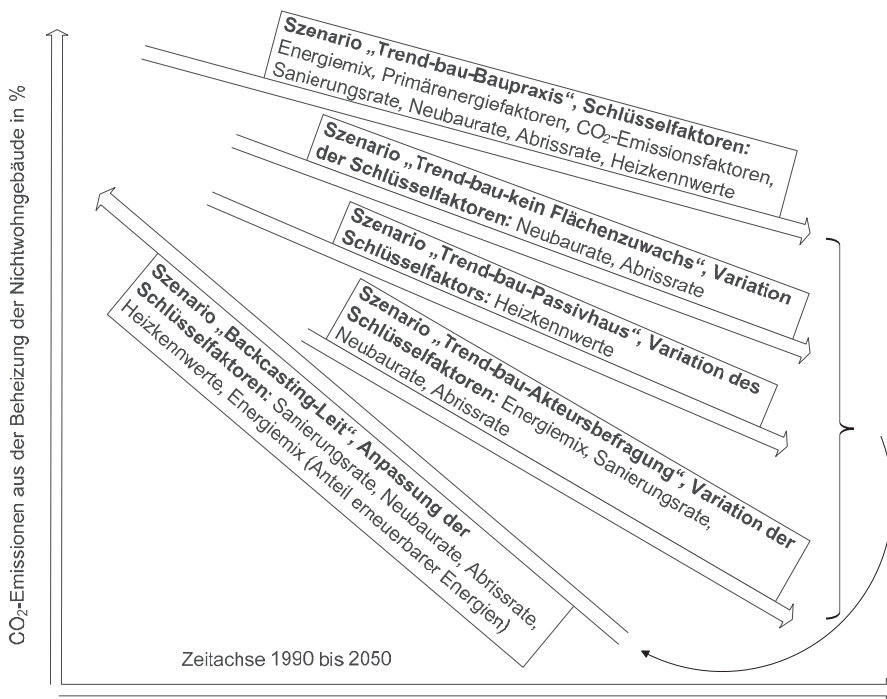
Die untersuchten Szenarien zu Vohwinkel gehen einerseits von einem Energiemix aus, der bis zum Jahr 2050 keine Fernwärme beinhaltet, da nach Aussage der Wuppertaler Stadtwerke³⁰⁴ derzeit keine Fernwärmeversorgung geplant ist.

Andererseits wird ein Energiemix untersucht, der bis zum Jahr 2050 das Vorhandensein von Fernwärme berücksichtigt. Dadurch kann der Einfluss der Fernwärme auf das CO₂-Minderungspotenzial verdeutlicht werden, wenn die Wuppertaler Stadtwerke bis 2050 die Fernwärmeversorgung auf den Stadtbezirk Vohwinkel doch erweitern würden.

Für diese Betrachtung wird der Raum möglicher Szenarien mit Hilfe von linearen Hochrechnungen (vgl. 2.8.3) auf das gesamte Stadtgebiet von Wuppertal ausgedehnt, wodurch gleichzeitig Szenarienergebnisse für die Stadt Wuppertal erzielt werden. Die Ergebnisse zu Wuppertal werden ergänzend im Anhang 4.21 bis 4.23 dargestellt.

³⁰⁴ Vgl. [Sch2013]: Schwarz Frank, 2013: »... derzeit ist keine Fernwärmeversorgung für Vohwinkel geplant ...«

Abbildung 23: Untersuchte CO₂-Szenarien zum Raum möglicher Entwicklungen und Zusammenwirken der CO₂-Szenarien auf Grund der Schlüsselfaktoren



Quelle: Eigene Darstellung, vorveröffentlicht unter: [Ham2013b], S. 12

6.2 Methodische Vorgehensweise bei der Szenarien-Entwicklung

Als Grundlage für die Szenarien bis zum Jahr 2050 finden hier, in Anlehnung an die mögliche Vielzahl von Ansätzen³⁰⁵ mit quantitativem oder qualitativem Charakter³⁰⁶, beide Charaktere Anwendung.

Die quantitativen Analysen zu möglichen Zukunftsbildern werden mit Hilfe der Erweiterung und Anpassung des Bestandsmodells (vgl. 2 und 3) durchgeführt. Dies erfolgt durch Anpassung der Schlüsselfaktoren (vgl. 6.1) zu den Zukunftsbildern und Neuberechnungen zum Bestand.

Zur Definition dieser Faktoren in Abhängigkeit der Stützjahre fließen bei der Quantifizierung auch qualitative Einschätzungen ein, die bei den Erläuterungen zu den einzelnen Schlüsselfaktoren dargelegt werden.

³⁰⁵ Vgl. [Ste2003], S. 4-5: Steinmüller Karlheinz (Hrsg.), 2003

³⁰⁶ a.a.O.

Die Fortentwicklung des beheizten Nichtwohngebäudebestandes bzw. die Flächenentwicklungen werden je Baualtersklasse definiert. Hierbei sind die Flächenveränderungen infolge von Neubauten auch unter Berücksichtigung von zukünftigen energetischen Baualtersklassen, Bestandssanierungen und Abrissmaßnahmen zu berücksichtigen.

Die Flächenentwicklungen zur jeweiligen Baualtersklasse lassen sich durch Ansatz einer Sanierungs-, Neubau- und Abrissrate (RSa, RZu, RAb) analysieren. Bei Szenarien³⁰⁷ und insbesondere im Gebäudesektor³⁰⁸, können zur Abschätzung der zuvor genannten Raten als beeinflussende Faktoren die Entwicklungen zur Wirtschaft und zur Bevölkerung benannt werden. Nachfolgende Entwicklungen werden daher je Dekade bis zum Jahr 2050 auf Basis von Prognosen (vgl. Abbildung 24) abgeschätzt:

- Bevölkerung und sozialversicherungspflichtige Beschäftigte
- Baugewerbe: Anzahl Firmen und Beschäftigte
- Wirtschaftswachstum

Die Abschätzungen lehnen sich dabei an bundesweite Prognosen an, da zu Vohwinkel keine eigenen Abschätzungen zum Wirtschaftswachstum möglich sind. Zusätzlich werden die Trends der Vergangenheit mit Hilfe der statistischen Zahlen des Statistischen Bundesamtes betrachtet.

Mit Hilfe der zuvor genannten Flächenraten wird ein Flächenentwicklungsmodell generiert, womit die zukünftigen Flächen (Fneu) je definierter Baualtersklasse und je Stützjahr bis zum Jahr 2050 abgeschätzt werden. Hierbei sollen je Stützjahr der Flächenzuwachs (FZu), die Sanierungsflächen (FSa) und die Abrissflächen (FAb) ermittelt und die bestehenden Flächen (Falt) je Baualtersklasse und Gebäudekategorie angepasst werden. Dabei fließen zwecks Analyse der Zukunftsbilder die entsprechenden Heizkennwerte je Baualtersklasse und Gebäudekategorie in die Bestandsmodellerweiterung ein.

Die Daten zu den Energieträgern werden je Stützjahr und je Szenario der Berechnung vorgegeben. Die Ergebnisse zu den energetischen Parametern werden für die Jahre 2020, 2030, 2040 und 2050 aufgezeigt.

Durch Variation verschiedener Schlüsselfaktoren können die Szenarienergebnisse interpretiert und Leitparameter abgeleitet werden. Bei der Ergebnisdarstellung wird der Bezug zum Basisjahr 1990 (=100 Prozent) hergestellt, wodurch eine prozentuale Bewertung möglich wird. Neben der Darstellung von Szenarien auf Basis des beheizten Nichtwohngebäudebestandes in Vohwinkel werden Teilszenarien für Vohwinkel zu privaten Büroflächen von Profit-Organisationen und zu kirchlichen Einrichtungen der Non-Profit-Organisationen aufbereitet.

³⁰⁷ Vgl. [Fis2008], S. 168-169: Fishedick Manfred, Lechtenböhrer Stefan et al., 2008

³⁰⁸ Vgl. [Kle2000], S. 3-4: Klemann Manfred, Heckler Rainer et al., 2000

Die Darstellung dieser Zukunftsbilder basiert dabei auf den Ergebnissen der Akteursbefragung (vgl. 5), die methodisch für qualitative Analysen eingesetzt werden kann.³⁰⁹ Die Quantifizierung der Befragungsergebnisse, als Berechnungsgrundlage für die Szenarien, wurde unter 5.2.4 dargestellt.

In Abbildung 23 ist erkennbar, dass die gewonnenen Erkenntnisse aus den Forecasting-Szenarien im »Backcasting-Leit«-Szenario münden. Letztlich werden die Lücken (Differenzen je Stützjahr) zwischen dem Forecasting-Szenario »Trend-bau-Baupraxis« und dem Backcasting-Leit-Szenarien bzw. der Mindestziele aufgezeigt und Handlungsansätze zur Zielerreichung hinsichtlich der Teilbetrachtungen zu den Nichtwohngebäuden formuliert.

6.3 Abschätzung der Ausgangslage im Jahr 1990, Startbilanz

Im Allgemeinen werden die politischen Ziele zur Minderung der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80 Prozent bis 95 Prozent gemäß Energiekonzept der Bundesregierung auf das Jahr 1990 bezogen³¹⁰ (vgl. 1).

Die allgemeinen Zwischenziele zur Minderung der CO₂-Emissionen lauten 40 Prozent bis zum Jahr 2020, 55 Prozent bis zum Jahr 2030 und 70 Prozent zum Jahr 2040³¹¹ (vgl. 1.1). Die Stadt Wuppertal orientiert sich am im Jahr 2006 verabschiedeten Klimaschutzziel und verfolgt als Zwischenziel eine CO₂-Emissionsminderung (zehn Prozent alle fünf Jahre) zwischen 2005 und 2030 um 50 Prozent³¹² (vgl. 6.1).

Die für die Stadt Wuppertal durch GERTEC erstellte CO₂-Bilanz bis 2009 bezieht sich ebenso auf das Ausgangsjahr 1990, wobei die Bewertungen zu den kommunalen Liegenschaften den Bilanzzeitraum 2000 bis 2009 darstellen.³¹³

Eine Startbilanz zu der Gesamtheit der beheizten Nichtwohngebäude liegt nicht vor. Daher sind für Vohwinkel für das Jahr 1990 der Endenergie- und Primärenergieverbrauch sowie die CO₂-Emissionen zu den Nichtwohngebäuden abzuschätzen. Dies kann unter Annahme einer reduzierten Flächensituation und eines angepassten Energiemixes erfolgen. Damit lassen sich die Zustände für das Jahr 1990 mit dem Bestandsmodell berechnen und eine Startbilanz erstellen.

Die Leerstandsflächen im Jahr 1990 werden wiederum mit zehn Prozent (vgl. 3.1) angenommen. Die Situation für das Jahr 2000 und 2005 wird durch Interpolation zwischen 1990 und 2010 abgeschätzt.

³⁰⁹ Vgl. [Böl2009], S. 168: Böllhoff Christian, Barth Hans J. (Hrsg.), 2009

³¹⁰ Vgl. [BMU2011], S. 5: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.), 2011

³¹¹ Vgl. [Kem2011], S. 15: Kempf Heike, Schmidt Peter, 2011

³¹² Vgl. [Reu2012a], S. 41-42: Reutter Oscar, Bierwirth Anja et al., 2012

³¹³ Vgl. [Ger2012a], S. 1-14: Gertec, Essen für die Stadt Wuppertal

Abschätzungen der Flächenveränderungen seit 1990 auf Grund eigener Analysen zu Vohwinkel:

Die Reduzierung der Gebäudeflächenveränderungen zwischen 1990 und 2010 in Vohwinkel werden mit Hilfe einer Einschätzung zur Zuwachsrate abgeschätzt.

Dies erfolgt auf Basis von Luftbildern aus dem Jahr 1991 und 1999³¹⁴ sowie den GIS-Daten zum Bestand. Dazu wurde die Gebäudestruktur in Vohwinkel von 1991 mit der Bestandssituation verglichen und, soweit erkennbar, die Flächenveränderungen gegenübergestellt. Dabei konnten 95.667 Quadratmeter zusätzliche Flächen seit 1991 ermittelt werden.

Der Vergleich zur Bestandsfläche im Jahr 2010 von 906.843 Quadratmeter (vgl. 2.7.3) weist für den Zeitraum von rund 20 Jahren demnach ein Zuwachs von etwa zehn Prozent bzw. etwa 0,5 Prozent pro Jahr aus.

Grundlagen zum Endenergieverbrauch (bei den Szenarien als Heizenergieverbrauch bezeichnet):

Die zuvor abgeschätzte Zuwachsrate führte von 1990 bis 2010 zu einem Flächenzuwachs von etwa zehn Prozent.

Dieser Flächenzuwachs kann vereinfacht der Baualtersklasse D (1995-2010) zugeordnet werden. Der Flächenanteil der Baualtersklasse D beträgt im Jahr 2010 bei den Profit-Organisationen 11,76 Prozent und bei den Non-Profit-Organisationen 15,31 Prozent (vgl. 3.2, Abbildung 12). Demnach wird vereinfacht bei den Flächen der Baualtersklasse D ein Anteil von 85 Prozent (10%/11,76%) bei den Non-Profit-Organisationen bzw. 65,3 Prozent (10%/15,31%) bei den Profit-Organisationen je Gebäudekategorie abgezogen.

Mit diesem Ansatz zur Flächenreduzierung für das Jahr 1990 kann der Endenergieverbrauch für Vohwinkel für 1990 mit Hilfe des eigenen Top-down-Ansatzes abgeschätzt werden. Bei der Endenergie wird der geringe Einfluss der erneuerbaren Energien (vgl. Tabelle 38) vernachlässigt. Es wird der Top-down-Ansatz gewählt, da dieser gemäß Sensitivitätsanalyse (vgl. 3.6) mittlere Ergebnisse innerhalb der Bandbreite lieferte.

Grundlagen zum Energiemix, zum Primärenergieverbrauch und zu CO₂-Emissionen:

Bei den Primärenergiefaktoren (PF) und CO₂-Emissionsfaktoren (CO₂F) sind für das Jahr 1990 Veränderungen bei der Fernwärme und beim Heizstrom zu betrachten, wobei die Fernwärme als Energieträger in Vohwinkel (vgl. 6.1) entfällt. Bei den übrigen Energieträgern bleiben die Faktoren unverändert. Der CO₂-Emissionsfaktor zum allgemeinen Strommix für 1990 liegt bei 743 Gramm pro Kilowattstunde³¹⁵.

³¹⁴ Luftbilder der Stadt Wuppertal, Ressort Vermessung, Katasteramt und Geodaten

³¹⁵ Vgl. [UBA2013], S. 2: Umweltbundesamt (Hrsg.), 2013

Der Primärenergiefaktor zum Strommix wird für das Jahr 1990 mit 3,0 in Anlehnung an die DIN V 4701 Teil 10³¹⁶ angenommen. Auf Basis der unter 3.1 erläuterten Vorgehensweise zum Heizstrom werden für das Jahr 1990 demnach die Emissionen aus Heizstrom weiter erhöht angenommen.

Die hohen Emissionen werden damit begründet, dass der Heizstrom einerseits durch Mittellastkraftwerke (vgl. 3.1) gedeckt wird und für das Jahr 1990 beim Einsatz von Steinkohle als Energieträger ein Emissionsfaktor von 925 Gramm pro Kilowattstunde³¹⁷ (zuzüglich Netzverluste) berücksichtigt werden kann und andererseits weitere Faktoren erhöhend betrachtet werden können.

Diese werden beispielsweise beim Umgang mit Nachtspeicheranlagen oder ineffizienten Wärmepumpenanlagen sowie dem Nutzerverhalten im Jahr 1990 gesehen (höhere Raumtemperatur und offene Fenster, da Heizenergie aus Nachtspeicher an Raum abgegeben wird, geringe Sensibilität der Nutzer infolge niedriger Energiepreise).

Ebenso können zusätzliche Verluste bei zentralen Speicheröfen (Bereitstellungs-, Verteilungsverluste) berücksichtigt werden.

In Tabelle 38 sind der für 1990 zu Grunde gelegte Energiemix und die Energiefaktoren aufgeführt. Dabei wird für Vohwinkel der Anteil Heizöl und Strom-Direktheizung für das Jahr 1990 höher sowie der Anteil Holz reduziert angenommen. Die Vergleichswerte zum Jahr 2010 sind der Tabelle 19 entnommen.

Tabelle 38: Energiemix und Energiefaktoren in Vohwinkel im Jahr 1990

Legende: PF=Primärenergiefaktor CO₂F: CO₂-Emissionsfaktor

Energiemix und Energieträgerfaktoren 1990 und 2010, Vohwinkel						
Energieträger	1990	CO ₂ F kg/kWh	PF	2010	CO ₂ F kg/kWh	PF
Fernwärme	-			-		
Heizöl	42,0%	0,266	1,1	38,0%	0,266	1,1
Erdgas	52,0%	0,202	1,1	56,0%	0,202	1,1
Flüssiggas	2,0%	0,234	1,1	2,0%	0,234	1,1
Kohle	0,0%	0,355	1,1	0,0%	0,355	1,1
Heizstrom	3,0%	0,743	3,0	2,5%	0,566	2,6
Holz	1,0%	0	0,2	1,5%	0	0,2
Solarthermie	-			-		

Quellen: Tabelle 19 und eigene Annahmen sowie [UBA2013], S. 2, [DINV4701-10] Tabelle C.4-1

³¹⁶ Vgl. [DINV4701-10], Tabelle C.4-1, Ausgabe 2003

³¹⁷ Vgl. [Lec2003], S. 3: Lechtenböhrer Stefan, Wagner Oliver, 2003

Ergebnisse:

Der Endenergie- und Primärenergieverbrauch sowie die CO₂-Emissionen zu 1990 sind in Tabelle 39 dargestellt. Die Ergebnisse zum Jahr 2010 gemäß Tabelle 20 (vgl. 3.2) sind zwecks Vergleichs ergänzend aufgeführt.

Für die pro-Kopf-Betrachtung werden für 2010 für Vohwinkel 30.969³¹⁸ Einwohner und für 1990 einen um rund elf Prozent³¹⁹ höheren Einwohnerstand von etwa 34.335 in Anlehnung an die Bevölkerungsentwicklung zu Wuppertal, wie sie in der Studie »LCC« skizziert wurde, angenommen. Die Einwohnerzahl im Jahr 2000 betrug in Vohwinkel 33.329³²⁰.

Es kann festgestellt werden, dass im Jahr 1990 die absoluten CO₂-Emissionen in etwa 4,8 Prozent³²¹ höher lagen als 2010. Die pro-Kopf-Emissionen liegen dagegen trotz eines Rückganges der absoluten CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2010 um 5,6 Prozent höher als 1990.

Der Endenergie- und Primärenergieverbrauch liegen im Jahr 2010 um etwa sechs Prozent bzw. vier Prozent höher als 1990. Die Werte zum Jahr 1990 in der Tabelle 39 werden als Startbilanz angenommen.

Tabelle 39: Berechnungsergebnisse gemäß Top-down-Ansatz für Vohwinkel, 1990 bis 2010

Legende: NP,P: Non-Profit-, Profit-Organisationen CO₂: CO₂-Emissionen
End: Endenergie QP: Primärenergie

Ergebnisse zum Nichtwohngebäudebestand in Vohwinkel (klimabereinigt)	1990	2000	2005	2010	1990-2010
End _{NP,P} in GWh/a (NP,P=Non-Profit- und Profit-Organisationen)	112,6	116,2	118,1	119,9	6,5%
QP _{NP,P} in GWh/a	129,2	132,0	133,4	134,7	4,3%
CO _{2NP,P} in t/a	34.945	34.110	33.692	33.274	-4,8%
CO _{2NP,P} in t/(Einwohner · a)	1,02	1,02		1,07	5,6%

Quelle: Eigene Berechnungen, Ergebnis teilweise vorveröffentlicht: [Ham2013b], S. 5

Vergleicht man die Ergebnisse zu Vohwinkel mit den Ergebnissen in der Studie »LCC« hinsichtlich der Raumwärme von Privathaushalten in Wuppertal, können ähnliche Verhältnisse festgestellt werden.

³¹⁸ Vgl. [Wup2012], Stadt Wuppertal (Hrsg.), Stand 31.12.2010

³¹⁹ Vgl. [Reu2012a], S. 34, Tab. 2.3: Reutter Oscar, Bierwirth Anja et al., 2012 (in Verbindung mit Statistik-Datenbank Wuppertal)

³²⁰ Vgl. [Wup2012], Stadt Wuppertal (Hrsg.), Stand 31.12.2010

³²¹ Vgl. [Ham2013b], S. 5: Hamann Achim

Der Raumwärmeenergieverbrauch der Haushalte stieg gemäß Studie »LCC« von 1990 bis 2010 etwa um 14,5 Prozent, und die CO₂-Emissionen aus der Raumwärme sind nahezu unverändert geblieben. Die pro-Kopf-Emissionen sind bis 2010 ebenso angestiegen und liegen bei der Raumwärme der Haushalte im Jahr 2010 bei zwei Tonnen pro Jahr und somit in etwa doppelt so hoch.³²²

In der CO₂-Bilanz für die Stadt Wuppertal wird ein gesamter witterungsbereinigter CO₂-Rückgang für alle Sektoren von 1990 bis 2009 von 24,1 Prozent³²³ angegeben. Der Rückgang bei den kommunalen Liegenschaften wird seit dem Jahr 2000 auf 20,1 Prozent³²⁴ beim Endenergieverbrauch und auf 21,8 Prozent³²⁵ bei den CO₂-Emissionen beziffert. Der Rückgang von etwa 20 Prozent bei den kommunalen Liegenschaften konnte gemäß Tabelle 39 in Bezug zum gesamten Nichtwohngebäudebestand nicht bestätigt werden.

Der Rückgang wird gemäß Tabelle 39 insgesamt nur auf rund fünf Prozent geschätzt. Die Differenz der Ergebnisse zu den kommunalen Gebäuden und zu allen beheizten Nichtwohngebäuden ist sicherlich darauf zurück zu führen, dass bei den kommunalen Nichtwohngebäuden bereits entsprechende umfangreiche Sanierungsmaßnahmen durchgeführt wurden, da die Kommune Förderprogramme nutzt und sich mit einem eigenen Gebäudemanagement intensiv dem Gebäudebestand widmet. Des Weiteren kann seit dem Jahr 2005 von einem verstärkten Gebäudeabgang bzw. Gebäudeübergang³²⁶ auf andere durch Verkauf ausgegangen werden. Diese Gebäude verursachen zwar auf der städtischen Seite keinen Verbrauch mehr und führen zu CO₂-Minderungen bei den kommunalen Gebäuden, bleiben jedoch dem gesamten Gebäudebestand erhalten.

Der Anteil der CO₂-Emissionen gemäß Bestandsmodell, der durch die Raumwärme der Non-Profit-Organisationen verursacht wird, kann insgesamt auf ca. 18 Prozent beziffert werden (vgl. 3.2, Tabelle 20). Der Anteil der kommunalen Nichtwohngebäude innerhalb der Non-Profit-Organisationen in Vohwinkel liegt etwa bei anteiligen 40 Prozent und damit bei sieben Prozent bezogen auf alle beheizten Nichtwohngebäude (vgl. 3.2), wodurch insgesamt nur ein entsprechend kleiner Einfluss durch kommunale Gebäude auf den Rückgang der gesamten CO₂-Emissionen besteht. Dies wird durch das Verhältnis 20 Prozent Rückgang bei kommunalen Gebäuden und nur fünf Prozent Rückgang insgesamt verdeutlicht. Für die hier betrachteten Szenarien werden daher die Werte der Tabelle 39 als 100 Prozent-Werte (absolute Werte) für das Jahr 1990 zu Grunde gelegt. Bei den Hochrechnungen zu Wuppertal werden die gleichen Relationen

³²² Vgl. [Reu2012a], S. 123, Tab. 6.1: Reutter Oscar, Bierwirth Anja et al., 2012

³²³ Vgl. [Ger2012a], S. 4 und S. 6: Gertec, Essen für die Stadt Wuppertal

³²⁴ a.a.O., S. 13 und S. 14, Bild 10

³²⁵ Vgl. [Kin2012], S. 15: Kinder Rolf, Stadt Wuppertal, 2012

³²⁶ Vgl. [Gle2013]: Gleim Christian, Stadt Wuppertal, Telefonat vom 04.07.2013

für das Jahr 1990 angenommen (4,8 Prozent höhere absolute CO₂-Werte in 1990 als 2010).

6.4 Aufbereitung der Trendentwicklungen für »business-as-usual-Szenario«

Ziel ist es zunächst, sinnvolle Einschätzungen zu den relevanten Schlüsselparametern (vgl. 6.1) aufzubereiten und daraus die Annahmen für das Ausgangsszenario abzuleiten. Dabei wird sich an Trendfortschreibungen aus statistischen Reihen, an ordnungsrechtlichen Prozessen und an gebäudetechnischen sowie energetischen Entwicklungen orientiert. Zusätzlich werden die gewonnenen Einschätzungen der Akteure gemäß Befragung (vgl. 5.2.4) in Vohwinkel berücksichtigt.

Die Datenaufbereitung sowie die Erläuterungen dazu sind zum Teil im Anhang 4 aufgeführt und hier nur ergebnisorientiert zusammengefasst. Nach der Aufbereitung der Annahmen zu den Schlüsselfaktoren werden unter 6.5 die Ergebnisse der Forecasting-Szenarien zum gesamten beheizten Nichtwohngebäudebestand und zu den Teilbeständen gemäß befragter Akteure dargestellt.

6.4.1 Trendentwicklungen zu Baualtersklassen

In Anhang 4.1 sind die in Ergänzung zum Bestand gebildeten energetischen Baualtersklassen erläutert. Ebenso werden die Entwicklungen zu zukünftigen Heizkennwerten in Bezug auf die zukünftigen Baualtersklassen eingeschätzt. Die Zusammenstellung der zukünftigen Heizkennwerte erfolgt für Neubauten unter 6.4.2, und die Annahmen zu Bestandssanierungen werden unter 6.4.3 erläutert.

Als Grundlage zur Bildung der zukünftigen Baualtersklassen werden mögliche ordnungsrechtliche Entwicklungsstufen von zukünftigen Energieeinsparverordnungen, die bisher entstandenen Verzögerungen am Beispiel der ursprünglich geplanten EnEV 2012³²⁷ und die Einführung von Niedrigstenergiegebäuden gemäß EU-Gebäude richtlinie³²⁸ inklusiv der in Frage gestellten fristgerechten Umsetzung³²⁹ diskutiert.

Technisch kann der Niedrigstenergiegebäude-Standard bereits heute durch die Passivhausbauweise abgebildet werden. Insofern erfolgt hier eine Anlehnung an diese Bauweise.

In Tabelle 40 ist das Ergebnis zu den hier definierten Baualtersklassen in Abhängigkeit des bisherigen Bestandes und den Abschätzungen zu technischen sowie ordnungsrechtlichen Entwicklungen in den nächsten Jahrzehnten aufgeführt. Den Baualtersklassen sind dabei die Zeiträume der Neubautentstehungen bzw. des entsprechenden

³²⁷ Vgl. [Fri2012], S. 49: Friedl Werner, 2012

³²⁸ Vgl. Artikel 9, Richtlinie 2010/31/EU vom 19.05.2010

³²⁹ Vgl. [Fri2013], S. 32, Kapitel 2.4.3: Friedl Werner, 2013

energetischen Zustandes nach der Sanierung zugeordnet. Die angegebene mittlere Bandbreite der zukünftigen Heizkennwerte zur Trendentwicklung wird unter 6.4.2 erläutert.

Tabelle 40: Erweiterung der Baualtersklassen für zukünftige Nichtwohngebäudebestände bis 2050

Baualtersklassen	Jahreszahlen	kWh/(m ² ·a) mittlere Heizkennwerte	Anmerkung
A	bis 1951	168 bis 181	relevante energetische Baualtersklassen für Bestand bis 2010, angelehnt an Jahreszahlen, eigener Top-down-Ansatz
B	1952 bis 1977	162 bis 177	
C	1978 bis 1994	128 bis 146	
D	1995 bis 2010	91 bis 105	
E	2011 bis 2020	66 bis 79	Neubaustandard nach EnEV/2009/2014 in Verbindung mit EEWärmeG
F	2021 bis 2030	55 bis 63	Übergang zu Niedrigenergiehäusern, weitere EnEV-Novellen
G	2031 bis 2050	43 bis 46	Niedrigstenergiegebäude in Anlehnung an Passivhausstandard, jedoch Heizkennwerte größer als 15 kWh/(m ² ·a)

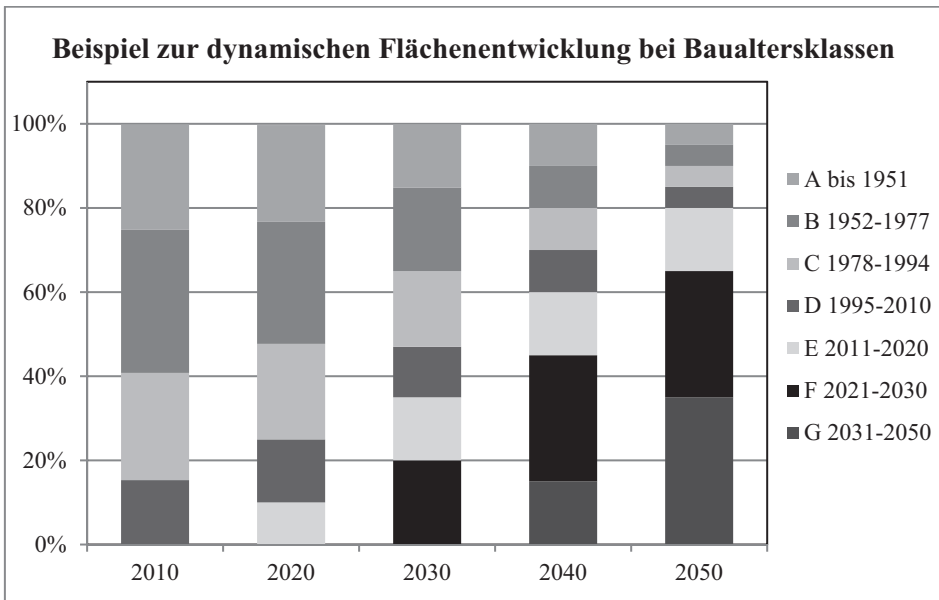
Quellen: Tabelle 13 und 14 zum Bestand, eigene Annahmen sowie [Gül1994], S. 68 und [Sch2003], S. 47

Auf Grund der angenommenen zukünftigen Baualtersklassensituation (A bis G) werden sich die Bestandsflächen bis zum Jahr 2050 von bisher vier Baualtersklassen auf sieben gemäß Tabelle 40 verteilen.

Eine mögliche Flächenverteilung auf die sieben Baualtersklassen bis zum Jahr 2050 ist beispielhaft in Abbildung 25 dargestellt. Es ist erkennbar, dass die älteren Gebäude durch einen moderneren Neubaustandard bzw. Sanierungsstandard schrittweise ersetzt werden. Die genaue Verteilung hängt von der Neubau-, Abriss- und Sanierungsrate ab.

Welche Raten den Szenarien zu Grunde gelegt werden und welche resultierende Flächenverteilung für die Baualtersklassen angenommen wird, wird in den Kapiteln 6.4.7 bis 6.4.10 anhand eines eigenen Flächenentwicklungsmodells erläutert.

Abbildung 25: Beispielhafte Entwicklung der Flächenverteilung auf zukünftige Baualtersklassen A-G



Quelle: Eigene Darstellung

6.4.2 Trendentwicklungen zu Heizkennwerten bei Neubauten

In Anhang 4.1 werden die Grundlagen zu den Einschätzungen hinsichtlich der Entwicklungen der Heizkennwerte bei Neubauten erläutert. Diese werden auf Grund bereits vorhandener Erfahrungen und wissenschaftlich begleiteten Gebäuden sowie in Anlehnung an die Passivhausbauweise für Nichtwohngebäude abgeleitet.

Die Minderungen zu den Heizkennwerten der Baualtersklasse E werden dabei prozentual (vgl. Anhang 4.1) auf die Heizkennwerte der Baualtersklasse D bezogen.

Die Heizkennwerte der Baualtersklasse F stellen Übergangswerte dar, bis zum Erreichen der energetischen Gebäudequalität gemäß Baualtersklasse G, die sich bereits an der Passivhausbauweise für Nichtwohngebäude orientiert, jedoch keine Werte mit der Größenordnung des Heizwärmekriterium von 15 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr³³⁰ vorsieht, da hier nutzungsbedingt (vgl. Anhang 4.1) bei Nichtwohngebäuden der spezifische Heizenergieverbrauch höher eingeschätzt wird als bei Wohngebäuden.

³³⁰ Vgl. [Fei20012a], S. 13: Feist Wolfgang [Hrsg.], 2012

Im Szenario »Trend-bau-Passivhaus« (vgl. 6.5.4) wird der Heizkennwert weiter bis auf 15 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr reduziert, dadurch kann das Potenzial abgeschätzt werden, wenn es zu weiteren Reduzierungen der flächenspezifischen Heizenergieverbräuche kommen könnte. In den Tabellen 41 und 42 sind die abgeschätzten Heizkennwerte zur Baualtersklasse E bis G aufgeführt und um die eigenen Ergebnisse zur Baualtersklasse D gemäß Top-down- und Bottom-up-Ansatz ergänzt.

Zusätzlich sind gerundete Mittelwerte je Baualtersklasse angegeben, wobei die Werte zu Hallenbädern/Spaßbädern den Mittelwert etwas erhöhen. Die abgeschätzten Heizkennwerte sind mit Annahmen zu Untersuchungen von Wärmenetzen vergleichbar. Hierin wurden Wärmebedarfskennwerte von zukünftigen Niedrigenergiegebäuden mit Passivhauskomponenten mit ca. 35 bis 85 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr inklusive Anlagenverlust angegeben.³³¹

Die angenommenen Heizkennwerte sind für neue Gebäude (Bestandsentwicklungen siehe unter 6.4.3 in Vohwinkel, in Wuppertal oder auch für bundesweite Betrachtungen zu beheizten Nichtwohngebäuden anwendbar, da einheitliche Anforderungen bestehen.

Die Heizkennwerte stellen dabei Werte dar, die bei der Planung der Gebäude und durch die theoretischen Ansätze beabsichtigt sind. Zusätzlich werden die baupraktischen Einflüsse berücksichtigt, die die Heizkennwerte von Neubauten oder Bestandsanierungen negativ beeinflussen.

Infolge der qualitativ hochwertigen Sanierungsaufgaben am Gebäudebestand und den damit verbundenen hohen energetischen Zielsetzungen steigen »... die spezifischen Anforderungen an die Konstruktion, die Gebäudetechnik und die thermische Bauphysik ...«. ³³² Die Planungsleistungen und Ausführungen am Bau werden immer komplexer. Die vereinbarte Bauqualität wird in der Praxis immer schwieriger umzusetzen.³³³

Dieser Effekt wird in dem Ausgangsszenario dadurch berücksichtigt, dass die neu berechnete Heizenergie für Neubauten und sanierte Flächen zu den Jahren 2020 bis 2050 um 30 Prozent erhöht wird. Die Annahme einer 30 prozentigen Erhöhung wird insbesondere auch auf eigenen Vergleichsberechnungen mit Hilfe des Bottom-up-Ansatzes und der Modellgebäude der ausgewählten Kategorie 1.1 (Schulen) gestützt.

Bei diesem Vergleich werden die baupraktischen Einflüsse durch ungünstigere Ansätze bei den Wärmebrücken (0,10 statt 0 Watt pro Quadratmeter und Kelvin) und der Luftdichtheit (Luftwechsel: 4 pro Stunde statt 2 pro Stunde) berücksichtigt und Differenzen beim spezifischen Endenergieverbrauch von etwa 30 Prozent festgestellt.

³³¹ Vgl. [Wol2011], S. 17: Wolff/Dieter, Jagnow/Kato, 2011

³³² [Böh2011], S. 219: Böhmer/Heike, 2011

³³³ Vgl. [Böh2011], S. 219: Böhmer/Heike, 2011

Tabelle 41: Szenarien-Annahmen zu Heizkennwerten der Non-Profit-Organisationen bis 2050

Beheizte Nichtwohngebäude, Nichtwohnflächen		D	D	D Mittel	E	F	G
Gebäudekategorie		Top-down, Bottom-up kWh/(m ² ·a) BGF					
		Bestand bis 1995-2010			Neubau bis 2020	Neubau bis 2030	Neubau ab 2031
	Non-Profit-Organisation						
1.1	Schulen	53,91	77,51	66,00	46,00	40,00	30,00
1.2	Hochschulen/Forschung	66,58	76,05	71,00	50,00	40,00	30,00
1.3	Kindertagesstätten/Kindergarten	51,24	83,84	68,00	48,00	40,00	30,00
1.4	Weiterbildungsstätten	68,55	77,51	73,00	51,00	40,00	30,00
2.1	Regierungs- und Gerichtsgebäude	96,39	68,11	82,00	57,00	45,00	35,00
2.2	Ämter/Polizeigebäude/Bahn	80,31	68,11	74,00	52,00	45,00	35,00
3	Bereitschaftsdienste/Werkstatt	87,67	76,05	82,00	57,00	50,00	40,00
4.1	Kliniken	174,94	131,51	153,00	107,00	90,00	60,00
4.2	Pflegeheim/Reha-Gebäude	54,55	113,68	84,00	59,00	52,00	45,00
5.1	Sporthallen/Tennishallen/Turnhallen	76,50	143,59	110,00	54,00	45,00	30,00
5.2	Hallenbad/Spaßbäder	495,00	495,00	495,00	347,00	275,00	200,00
5.3	Stadien/Vereinsheime	66,23	138,24	102,00	71,00	50,00	30,00
6.1	Ausstellungsgebäude/Bibliotheken	54,48	98,76	77,00	77,00	66,00	55,00
6.2	Oper/Theater/Konzertsäle	103,68	121,38	113,00	79,00	60,00	40,00
6.3	Veranstaltungsgebäude	72,34	121,38	97,00	68,00	44,00	30,00
7	Justizvollzugsanstalt/Kaserne	63,07	75,08	69,00	48,00	39,00	30,00
8.1	Pfarrheim/Gemeindezentrum/Verwaltung	74,32	75,16	75,00	53,00	42,00	30,00
8.2	Kirchenbauten	144,00	132,24	138,00	97,00	70,00	40,00
	Mittelwert			113,00	79,00	63,00	46,00

Quelle: Eigene Berechnungen und eigene Annahmen

Die Ergebnisse zu den Vergleichsrechnungen sind in Anhang 4.1 (Abbildungen A4.1-3 und A4.1-4) aufgeführt. In Anhang 4.1 (Abbildungen A4.1-1 und A4.1-2) sind die Heizkennwerte gemäß Tabelle 41 und 42 zu den Nichtwohngebäudekategorien ergänzend grafisch gegenübergestellt.

Tabelle 42: Szenarien-Annahmen zu Heizkennwerten der Profit-Organisationen bis 2050

Beheizte Nichtwohngebäude, Nichtwohnflächen		D	D	D Mittel	E	F	G
Gebäudekategorie		Top-down, Bottom-up			kWh/(m ² ·a) BGF		
		Bestand bis 1995-2010			Neubau bis 2020	Neubau bis 2030	Neubau ab 2031
	Profit-Organisation						
9.1	Dienstleister	105,39	102,57	104,00	73,00	54,00	35,00
9.2	Verwaltungsbau Gewerbe/Industrie/Logistik	104,27	102,57	103,00	72,00	54,00	35,00
9.3	Banken/Versicherungen/Gesundheit	64,99	75,16	70,00	49,00	40,00	30,00
10.1	Produktion/Gewerbe	139,38	79,30	109,00	76,00	70,00	50,00
10.2	Lager für Versand/Zentrallager/Logistik	46,19	69,65	58,00	41,00	38,00	35,00
10.3	Werkstätten/Kleingewerbe	69,19	76,05	73,00	51,00	45,00	40,00
11.1	Kliniken	165,52	131,51	149,00	104,00	85,00	60,00
11.2	Pflegeheim/Reha-Gebäude	54,55	113,68	84,00	59,00	52,00	45,00
11.3	Gesundheitswesen/Praxisgebäude	134,07	146,35	140,00	98,00	60,00	40,00
11.4	Fitnesscenter/Sporthallen	79,27	169,54	124,00	87,00	60,00	30,00
12.1	Handel Food	106,85	74,84	91,00	64,00	60,00	60,00
12.2	Handel Non-Food/Tankstellenshop	82,43	86,51	84,00	59,00	50,00	40,00
12.3	Bau- und Gartenmarkt/Möbelhaus/Baustoffe	57,70	78,16	68,00	48,00	45,00	40,00
12.4	SB-Warenhaus	71,03	65,68	68,00	48,00	48,00	48,00
12.5	Einkaufszentrum mit Ladenpassage/Kaufhaus	71,03	65,68	68,00	48,00	45,00	40,00
12.6	Autohaus mit Werkstatt	78,64	120,24	99,00	69,00	60,00	50,00
12.7	Laden/Büro im Stadthaus (nur NiWo-Fläche)	94,03	82,70	88,00	62,00	60,00	60,00
13	Kino/Discothek/Spielothek (freistehend)	54,27	81,24	68,00	48,00	39,00	30,00
14.1	Hotel/Pension/Jugendherberge	109,97	96,73	103,00	72,00	60,00	50,00
14.2	Restaurant/Gaststätte	129,91	128,35	129,00	90,00	70,00	50,00
	Mittelwert			94,00	66,00	55,00	43,00

Quelle: Eigene Berechnungen und eigene Annahmen

6.4.3 Trendentwicklungen zu Heizkennwerten bei Bestandssanierungen

Zunächst werden Anforderungen an Gebäudeveränderungen gemäß EnEV 2009 bzw. EnEV 2014 zur Abschätzung herangezogen. Demnach können bei Gebäudesanierungen die Werte um 40 Prozent³³⁴ höher als bei Neubauten und somit um 40 Prozent höher als bei der Baualtersklasse E liegen.

³³⁴ Vgl. [EnEV2009], § 9, Abs. 1 Nr. 2, Ausgabe 2009

Aus den Werten der Tabellen 41 und 42 ist nachvollziehbar, dass die 40prozentige Differenz zur Einordnung in die Baualtersklasse D führt. Für den business-as-usual-Ansatz wird daher die Baualtersklasse D als Sanierungsziel bis zum Jahr 2020 angenommen.

Es wird davon ausgegangen, dass die Sanierungen in späteren Ausführungs-Jahrzehnten effizienter ablaufen und demnach die energetische Gebäudequalität der Baualtersklassen E und F erreicht werden. Dies ist damit begründbar, dass bei späteren Sanierungsmaßnahmen eine noch effizientere Heiztechnik eingesetzt wird und die Fachwelt (Planer, Bauleiter, Handwerker) bei baulichen Anpassungen hinsichtlich der Gebäudedämmung, Luftdichtheit und Wärmebrücken den gestiegenen Anforderungen infolge von Weiterbildungen und Erfahrungszugewinn eher gerecht wird.

Es wird weiter angenommen, dass die Baualtersklasse G durch Sanierungsmaßnahmen nicht erreicht wird, da davon auszugehen ist, dass eine Passivhaus-Neubauqualität in der Regel durch Sanierungsmaßnahmen bei Nichtwohngebäuden nicht umfänglich umsetzbar ist, was auch aus den Heizkennwerten zu den Sanierungsprojekten der Tabelle A4.1-3 (vgl. Anhang 4.1) ableitbar ist. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass auch zukünftig das Ordnungsrecht geringere Anforderungen bei Sanierungen stellen wird, was jeweils durch den Rücksprung um eine Baualtersklasse berücksichtigt wird.

Insgesamt werden daher die Zuordnungen zu Baualtersklassen nach Sanierungsmaßnahmen an Bestandsgebäuden wie folgt definiert und in Tabelle 43 vergleichend zu Neubauten verdeutlicht:

Tabelle 43: Annahmen zu Baualtersklassen bei Neubauten und Sanierungen bis 2050

Zuordnung Baualtersklassen bei Neubauten und nach Sanierungsmaßnahmen	energetische Baualtersklasse
Neubau	
2011 - 2020	E
2021 - 2030	F
2031 - 2040	G
2041 - 2050	G
Sanierung	
2011 - 2020	D
2021 - 2030	E
2031 - 2040	F
2041 - 2050	F

Quelle: Eigene Annahmen

Nach durchgeführter Gebäudesanierung werden im Ausgangsszenario »Trend-bau-Baupraxis« den sanierten Gebäudeflächen die Heizkennwerte der Baualtersklassen D (bis 2020), E (bis 2030) und F (ab 2031) gemäß den Tabellen 41 und 42 zugewiesen.

Dabei wird jeweils eine Sanierungstiefe angenommen, die das Erreichen der Heizkennwerte nach der Sanierung gewährleistet. Diese Annahmen begründen sich auf eigenen planerischen sowie baupraktischen Erfahrungen und auf einem wissenschaftlich begleiteten Beispiel eines Bürogebäudes.

Dieses Bürogebäude entstand als Verwaltungsgebäude Anfang der 1960er Jahre und wurde im Jahr 2011 mit Passivhauskomponenten saniert, was zu einer umfangreichen Sanierungstiefe mit entsprechend niedrigem Heizwärmebedarf führte.³³⁵

Die Sanierungstiefe ist dabei unabhängig von der Gebäudelage in Vohwinkel, und daher ist die Vorgehensweise zu Heizkennwerten und Baualtersklassen auf Wuppertal übertragbar.

6.4.4 Trendentwicklungen zum Energiemix und zu erneuerbaren Wärmeenergien

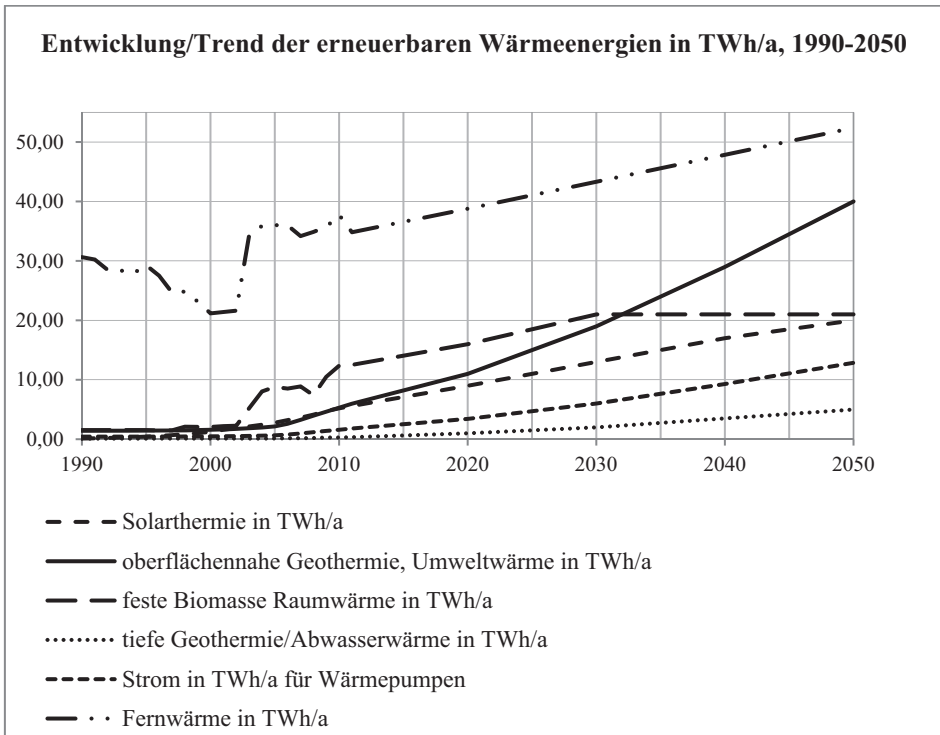
In Anhang 4.2 werden die Trendentwicklungen zum Szenario »Trend-bau-Baupraxis« ausführlich auf Grundlage von bundesweiten Entwicklungen erläutert und anhand von statistischen Zeitreihen in die Zukunft hinein verlängert. Zusätzlich werden die Potenziale zu den erneuerbaren Wärmeenergieträgern aufbereitet.

Aus diesen Grundlagen werden Annahmen zum Energiemix für die Stützjahre der Berechnungen von 2020 bis 2050 getroffen. Der Energiemix enthält neben den erneuerbaren Wärmeenergien wie Solarthermie, feste Biomasse (Holz), Geothermie und Umweltwärme, tiefe Geothermie inklusive Abwasserwärmenutzung auch den Stromanteil der Wärmepumpen und die Energieträger Erdgas, Heizöl, Fernwärme, Kohle sowie Direktstrom.

Die grafische Darstellung zu den Trends der erneuerbaren Wärmeenergien und zur Fernwärme ist in Abbildung 26 dargestellt.

³³⁵ Vgl. [IWU2013], Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2013

Abbildung 26: Trendentwicklungen der erneuerbaren Wärmeenergie, 1990 bis 2050 in Deutschland



Quellen: Eigene Trendberechnungen, [BMWI2012a] und [BMWI2012b], Tabelle 6

Hierin sind die Entwicklungen seit 1990 und die entwickelten Trends als Ergebnis der Ausarbeitung in Anhang 4.2 bis 2050 aufgeführt. Beim Energieträger Holz verläuft der Trend für die beheizten Nichtwohngebäude infolge des erreichten, maximal nutzbaren Potenzials in etwa ab dem Jahr 2030 horizontal.

Es ist erkennbar, dass der gesamte Anteil an erneuerbaren Wärmeenergien nach 2030 hauptsächlich von den Steigerungsraten zur oberflächennahen Geothermie und Umweltwärme und somit vom Energieträger Strom abhängt. Beim Backcasting-Szenario können daher in Anlehnung an die beabsichtigte Vorgehensweise »vom Ziel her« bei Bedarf höhere Anteile dazu angenommen werden (vgl. 6.6).

In der bereits teilweise vorveröffentlichten Tabelle 44³³⁶ ist gemäß den Ausführungen in Anhang 4.2 der Energiemix für die Stützjahre 2020, 2030, 2040 und 2050 für Vohwinkel und Wuppertal aufgeführt. Dieser Energiemix wird dem Ausgangsszenario »Trend-bau-Baupraxis« zu Grunde gelegt. Beim Energiemix für Vohwinkel wurde der

³³⁶ Vgl. [Hel2013], S. 223, Tab. 13: Helmus Manfred, Reutter Oscar, Hamann Achim, 2013

wegfallende Anteil der Fernwärme jeweils gleichmäßig auf Erdgas und Heizöl verteilt. Die Anteile der erneuerbaren Wärmeenergien werden durch das Wegfallen der Fernwärme in Vohwinkel nicht angehoben. Als Vergleich werden nachfolgend die idealisierten Annahmen in der Studie »Leitszenario 2009« zu den Anteilen der fossilen Energieträger aufgeführt.

In dieser Studie wird von einem Ausbau der Nahwärmenetze auf Basis von erneuerbaren Wärmeenergien und von einer umfassenden Gebäudesanierung ausgegangen. Die rückläufigen Anteile zu den fossilen Energieträgern Heizöl und Erdgas von insgesamt 77 Prozent im Jahr 2008 werden in der genannten Studie bis zum Jahr 2050 wie folgt angenommen:³³⁷

- 2020: 65 Prozent
- 2030: 50 Prozent
- 2050: 7 Prozent

Diese Leitwerte aus dem »Leitszenario 2009« können ebenso beim Backcasting-Szenario (vgl. 6.6) berücksichtigt werden, da das Backcasting-Szenario in dieser Arbeit das Leit-Szenario darstellt.

Weiterhin wird in oben genannter Studie der Anteil der erneuerbaren Energien beim Raumwärmebedarf für das Jahr 2030 mit 30 Prozent und bis 2050 mit 70 Prozent angenommen.³³⁸

In Tabelle 44 wird der abgeschätzte Energiemix auch für Wuppertal aufgeführt, da infolge des fehlenden Fernwärmeanteils in Vohwinkel die Szenarien ergänzend für Wuppertal aufbereitet werden. Dadurch ist ein Vergleich zum Wirkungsanteil der Fernwärme möglich. Für Vohwinkel wird der Anteil Erdgas und Heizöl höher mit insgesamt 61,5 Prozent angenommen, da nach Aussage der Wuppertaler Stadtwerke (vgl. 6.1) bis zum Jahr 2050 keine Fernwärmeversorgung in Vohwinkel angenommen werden kann. Für Wuppertal wird der Anteil an Erdgas und Heizöl beim Szenario »Trendbau-Baupraxis« ausgehend von 80,5 Prozent im Jahr 2010 (vgl. 3.1, Tabelle 19) mit in Summe 43,2 Prozent für das Jahr 2050 angenommen.

In Tabelle 44 werden gemäß den Erläuterungen und Annahmen zu den Trendfortschreibungen in Anhang 4.2 die erneuerbaren Wärmeenergieanteile inklusive des Stromanteils für Wärmepumpen für das Jahr 2030 mit rund 20 Prozent und für das Jahr 2050 mit rund 35 Prozent für die beheizten Nichtwohngebäude angenommen. In Anhang 4.2, Tabelle A4.2-2 ist ergänzend ein Vergleich zwischen den in Tabelle 44 angenommenen Energieträgeranteilen zu den Nichtwohngebäuden in Wuppertal und der Beheizungsstruktur für das Referenzszenario zu den Wohngebäuden in der Studie

³³⁷ Vgl. [BMU2009], S. 52-53: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), 2009

³³⁸ a.a.O., S. 52

»Low Carbon City Wuppertal 2050«³³⁹ (LCC) aufgeführt. In diesem Referenzszenario sind die Anteile der fossilen Brennstoffe höher und die Anteile zur Fernwärme und den erneuerbaren Wärmeenergien niedriger angesetzt. Zwecks Vergleichs wird das Szenario »Trend-bau-Baupraxis« zu den Nichtwohngebäuden in Wuppertal alternativ mit diesem Energiemix berechnet (vgl. Anhang 4.21) und für Wuppertal interpretiert (vgl. 6.9).

Tabelle 44: Einschätzungen zum zukünftigen Energiemix im Wärmesektor für Wuppertal und Vohwinkel

Energiemix Wärmesektor in %	Energiemix Wuppertal					Energiemix Vohwinkel					
	2010	2020	2030	2040	2050	1990	2010	2020	2030	2040	2050
feste Biomasse (Holz)	1,6%	4,9%	6,8%	7,1%	7,6%	1,0%	1,5%	4,9%	6,8%	7,1%	7,6%
Solarthermie	0,2%	2,7%	4,2%	5,7%	7,2%			2,7%	4,2%	5,7%	7,2%
oberflächennahe Geothermie, Umweltwärme (ohne Stromanteil für Wärmepumpen)	1,0%	3,3%	6,1%	9,8%	14,4%			3,3%	6,1%	9,8%	14,4%
Tiefengeothermie und Abwasserwärmenutzung (ohne Stromanteil für Wärmepumpen)		0,2%	0,6%	1,2%	1,8%			0,2%	0,6%	1,2%	1,8%
Strom für Wärmeproduktion mit Hilfe von Wärmepumpen (Geothermie, Umweltwärme, Abwasserwärme)	0,4%	1,0%	1,9%	3,0%	4,7%			1,0%	1,9%	3,0%	4,7%
Summe erneuerbare Energieträger (ohne Stromanteil Wärmepumpen)		11,1%	17,7%	23,8%	31,0%			11,1%	17,7%	23,8%	31,0%
Fernwärme	9,8%	11,9%	13,8%	16,2%	18,7%						
Heizöl	32,1%	28,0%	24,4%	21,5%	16,2%	42,0%	38,0%	33,9%	31,3%	29,6%	25,5%
Erdgas	48,4%	42,9%	37,9%	32,3%	27,0%	54,0%	58,0%	48,9%	44,9%	40,3%	36,0%
Kohle	1,6%	1,0%	0,9%	0,9%	0,8%			1,0%	0,9%	0,9%	0,8%
Strom-Direktheizung (ohne Wärmepumpenanteil)	5,0%	4,2%	3,3%	2,5%	1,7%	3,0%	2,5%	4,2%	3,3%	2,5%	1,7%
Summe	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Quellen: Eigene Annahmen sowie Tabelle 19 und 38, teilweise vorveröffentlicht unter: [Ham2013b], S. 13 und [Hel2013], S. 223, in Anlehnung an [BMU2010], S. 62, [Are2007], S. 5-7, [BMWI2012a], Tabelle 20 und 25, [BMWI2012b], Tabelle 6, [ProÖko2009], S. 55-56

³³⁹ Vgl. [Reu2012a], S. 127, Tab. 6.3: Reutter Oscar, Bierwirth Anja et al., 2012

6.4.5 Einschätzungen zum Energiemix gemäß Akteursbefragung zum Teilbestand

Der Energiemix zum Szenario »Trend-bau-Baupraxis« mit Bezug zu den Teilbeständen der Nichtwohngebäude resultiert aus den Befragungsergebnissen gemäß 5.2.4. Die Einschätzungen der Akteure zum zukünftigen Energiemix im Bereich von privaten Büroflächen und Gebäuden der kirchlichen Einrichtungen (ohne Kirchenbauten) ist in Abbildung 22 (vgl. 5.2.4) grafisch bis zum Jahr 2050 dargestellt. Die Zusammenstellung in Tabelle 45 zum Energiemix verdeutlicht nochmals die Grundlage dieser Teilszenarien auf Basis der Einschätzungen der befragten Akteure in Vohwinkel.

In Tabelle 45 ist erkennbar, dass die Akteure in Zukunft die Solarthermie und Wärmepumpentechnik (Geothermie und Umweltwärme) beim Energiemix bevorzugen und die Anteile entsprechend hoch mit bis zu etwa 31,5 Prozent in 2050 einschätzen. Bei den kirchlichen Einrichtungen werden die erneuerbaren Wärmeenergien bis zum Jahr 2050 in Summe auf bis zu 55 Prozent eingeschätzt. Die Akteure bei den Profit-Organisationen mit Büroflächen schätzen den Anteil sogar auf 68,5 Prozent ein. Die restlichen 45 Prozent bis 31,5 Prozent werden jeweils durch Erdgas gedeckt (Fernwärme entfällt weiterhin in Vohwinkel). Der Energiemix zu kirchlichen Einrichtungen wird für das Jahr 2010 mit 100 Prozent Erdgas angenommen, was gemäß Akteursbefragung plausibel ist (vgl. Anhang 3.4). Bei den privaten Büros kam für 2010 der Energiemix für Vohwinkel nach Tabelle 19 zur Anwendung (im Erdgasanteil sind zwei Prozent Flüssiggas enthalten).

Tabelle 45: Energiemix bei privaten Büroflächen und kirchlichen Einrichtungen 2010 bis 2050 gemäß Akteursbefragung in Vohwinkel

Energiemix in %, Vohwinkel	2010 Büros	2010 Kirchen	2020 Büros	2020 Kirchen	2030 Büros	2030 Kirchen	2040 Büros	2040 Kirchen	2050 Büros	2050 Kirchen
feste Biomasse (Holz)	1,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,0%	0,0%	5,5%	0,0%
Solarthermie	0,0%	0,0%	0,0%	14,0%	27,0%	14,0%	30,0%	30,0%	31,5%	27,5%
oberflächennahe Geothermie, Umweltwärme	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	13,0%	0,0%	30,0%	20,0%	31,5%	27,5%
Summe erneuerbare Energieträger (ohne Stromanteil Wärmepumpen) in TWh/a und %	2,5% (Strom)	0,0%	0,0%	14,0%	40,0%	14,0%	65,0%	50,0%	68,5%	55,0%
Heizöl	38,0%	0,0%	22,0%	0,0%	7,0%	0,0%	5,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Erdgas inklusiv Flüssiggas bei Büros 2010	58,0%	100,0%	78,0%	86,0%	53,0%	86,0%	30,0%	50,0%	31,5%	45,0%
Summe	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Quelle: Eigene Befragungen von Akteuren und Aufbereitung der Einschätzungen

Der Energiemix für das Jahr 1990 wurde für die Teilbestände nicht explizit abgeschätzt und auch nicht in Tabelle 45 aufgeführt. Hilfsweise werden die gleichen prozentualen Veränderungen der CO₂-Emissionen wie beim gesamten Nichtwohngebäudebestand bzw. in Anlehnung an eine Studie zum Klimaschutzkonzept der Evangelischen Kirche in Westfalen angenommen. Diese Vorgehensweise wird bei der Darstellung der Szenarienergebnisse unter 6.5.2 erläutert.

6.4.6 Trendentwicklungen zu Primärenergiefaktoren und CO₂-Emissionsfaktoren

Die spezifischen, zukünftigen Faktoren zu den fossilen Brennstoffen und zur Fernwärme sind auch insbesondere zur Stromproduktion zu betrachten, da die erneuerbaren Wärmeenergien Geothermie und Umweltwärme sowie Tiefengeothermie und die Abwasserwärmenutzung überwiegend mit elektrischen Wärmepumpen nutzbar gemacht werden und somit ein Stromanteil als Energieträger bei den Szenarien zu berücksichtigen ist. Zusätzlich verbleibt ein geringer Anteil als Strom-Direktheizung. Die beiden Faktoren zu den Energieträgern Strom und Fernwärme werden sich zukünftig durch größere Anteile von erneuerbaren Energien bzw. durch einen sich ändernden Energiemix reduzieren. Bei den hier getroffenen Einschätzungen zu den Energieträgern werden grundsätzlich nur heute zur Verfügung stehende Techniken betrachtet. Zusätzliche Effekte, die beispielsweise mit Hilfe einer Methanisierung³⁴⁰ entstehen könnten, bleiben unberücksichtigt. Dazu sind im Rahmen dieser Arbeit keine sinnvollen Einschätzungen möglich. Nachfolgend werden die Betrachtungen zu den unterschiedlichen Energieträgern aufgeführt.

Betrachtungen zum Energieträger Strommix bzw. Heizstrom:

Die Faktoren zum Energieträger »Strommix« werden sich durch Zunahme der Windkraft und Photovoltaik weiter verringern. Der Primärenergiefaktor zum »Strommix« soll nach dem Entwurf zur »EnEV 2014« (inzwischen beschlossen und am 01.05.2014 in Kraft getreten) ab dem Jahr 2016 bereits auf 1,8³⁴¹ (nicht erneuerbarer Anteil) gesenkt werden.

Bis zum Jahr 2020 sollen die erneuerbaren Energien gemäß Energiekonzept der Bundesregierung einen Anteil bei der Stromproduktion von 35 Prozent, bis 2030 von 50 Prozent, bis 2040 von 65 Prozent und bis zum Jahr 2050 von 80 Prozent aufweisen.³⁴² Auf Grund des hohen geplanten Anteils an erneuerbaren Energien insgesamt werden diese zukünftige Verhältnisse auch auf den Heizstrom bezogen, der derzeit

³⁴⁰ Vgl. [FVEE2010], S. 32-33: ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (Hrsg.), 2010

³⁴¹ Vgl. [Hot2012]: Hottgenroth (Hrsg.), 2012

³⁴² Vgl. [BMU2011], S.5: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), 2011

noch im Wesentlichen von Mittellastkraftwerken mit insgesamt höheren Emissionen bereitgestellt wird (vgl. 3.1).

Die eigenen Annahmen zum zukünftigen Trend der erneuerbaren Energien beim Heizstrom sind in Anhang 4.3 aufgeführt. Demnach wird der Anteil der erneuerbaren Energien beispielsweise mit 69 Prozent im Jahr 2050 angenommen. Zur Ermittlung der Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbarer Anteil) zum Heizstrom für Wärmepumpen je Stützjahr werden diese auf Basis der Trends und des Ausgangsfaktors zum Jahr 2010 (2,6, vgl. 3.1, Tabelle 19) entsprechend den prozentualen Anteilen der erneuerbaren Energien umgerechnet. Die Umrechnungen sind in Tabelle 46 verdeutlicht und basieren auf dem Verhältnis der Anteile der erneuerbaren Energien im Jahr 2011 (20,44 Prozent, vgl. Anhang 4.3) und den folgenden Stützjahren der Berechnungen.

Die angenommenen gesamten Emissionen je Kilowattstunde sinken bis zum Jahr 2050 unter der Berücksichtigung einer verbesserten Kraftwerkstechnik bzw. infolge steigender Anteile an erneuerbarer Energien, die nach und nach auch den ansteigenden Anteil des Heizstroms erzeugen müssen. Zum Vergleich sind in Tabelle 46 die CO₂-Emissionsfaktoren zur Stromerzeugung gemäß den Untersuchungen »Langfristszenarien 2012«³⁴³, »Leitstudie 2008«³⁴⁴, »Leitszenario 2009«³⁴⁵ und »Langfristszenarien«³⁴⁶ aus dem Jahr 2002 ergänzt. Diese Werte beinhalten ebenfalls bereits die Vorketten.

In einer Studie zu Langfristszenarien von 2012 wurde im Vergleich für das Jahr 2050 ein Primärenergiefaktor zum Strom von 0,5 (nicht erneuerbarer Anteil) unter Berücksichtigung eines Einsatzes von 85,2 Prozent an erneuerbaren Energien angegeben.³⁴⁷

Auf Grund der eigenen Annahme wird der Primärenergiefaktor für das Jahr 2050 mit 0,77 definiert. Für die korrekte Anwendung des Energieträgerfaktors FE auch für den Heizstrom gemäß Modellansatz (vgl. 2.8.1) ist es notwendig die »direkten CO₂-Emissionsfaktoren« je Stützjahr auch zum Heizstrom zu ermitteln, obwohl beim Strom nur vorgelagerte Emissionen entstehen. Diese sind ebenso in Tabelle 46 aufgeführt. Sie werden gemäß der erläuterten Vorgehensweise in 3.1 aus den Werten zum Strommix abgeleitet.

Die ermittelten Werte zum Strommix bzw. Heizstrom können durch Vergleich mit den Werten aus den aufgeführten Studien grundsätzlich plausibilisiert werden. Eine

³⁴³ Vgl. [BMU2012], S. 119 und S. 127: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), 2012

³⁴⁴ Vgl. [BMU2008], S.162 (Anhang 2, Tab. 4) und S.165 (Anhang 2, Tab. 7): Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), 2008

³⁴⁵ Vgl. [BMU2009], S.89 (Anhang 2, Tab. 4) und S. 92 (Anhang 2, Tab. 7): Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), 2009

³⁴⁶ Vgl. [Fis2002], S. 196 (Abb. 5-13), 203 (Tab. 5-8) und S. 280 (Abb. 6-3): Fishedick Manfred, Lechtenböhmer Stefan et al., 2002

³⁴⁷ Vgl. [BMU2012], S. 127: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), 2012

weitere Studie aus dem Jahr 2012 zu einem »Referenzszenario« für das Jahr 2020 beziffert den Primärenergiefaktor zu Strom auf $2,4^{348}$ (für 2020), was angesichts des ausgeführten Vorhabens gemäß »EnEV-2014« bereits überholt ist (ab 2016: Faktor 1,8). Dies macht die Notwendigkeit der eigenen Einschätzungen deutlich und zeigt das die angenommenen Werte am Beispiel der Jahre 2020 (PF=1,71) und 2050 (PF=0,77) im plausiblen Bereich liegen.

Tabelle 46: Primärenergie- und CO₂-Emissionsfaktoren zum Heizstrom bis 2050

Werte je Stützjahr / Heizstrom	Abschätzungen zu CO ₂ -Emissionen (Heizstrom) mit Vorketten	Langfrist-szenarien 2002	Leitstudie 2008	Leitszenario 2009	Leitstudie 2011
Anteil erneuerbare Energien 2011	20,44%	CO ₂ -Emissionsfaktoren Strommix mit Vorketten			
Primärenergiefaktor	2,6				CO ₂ -Emissions-faktoren für fossilen Strom und gesamte Stromerzeugung
CO ₂ -Emissionen Heizstrom	566 g/kWh (Heizstrom: 566·2,6=1472g/kWh)				
Anteil erneuerbare Energien 2020	31%		30,4%	35%	
Primärenergiefaktor	$2,6/31 \cdot 20,44 = 1,71$				
CO ₂ -Emissionen Heizstrom	$566/31 \cdot 20,44 = 373$ g/kWh (Heizstrom: $373 \cdot 1,71 = 638$ g/kWh)	ca. 400 - 340	423,7 g/kWh	401,5 g/kWh	583 und 271 g/kWh
Anteil erneuerbare Energien 2030	44%		50,50%	59,40%	
Primärenergiefaktor	$2,6/44 \cdot 20,44 = 1,21$				
CO ₂ -Emissionen Heizstrom	$566/44 \cdot 20,44 = 263$ g/kWh (Heizstrom: $263 \cdot 1,21 = 318$ g/kWh)	ca. 380 - 290	281,8 g/kWh	231 g/kWh	481 und 173 g/kWh
Anteil erneuerbare Energien 2040	57%		69,10%	77,30%	
Primärenergiefaktor	$2,6/57 \cdot 20,44 = 0,93$				
CO ₂ -Emissionen Heizstrom	$566/57 \cdot 20,44 = 203$ g/kWh (Heizstrom: $203 \cdot 0,93 = 189$ g/kWh)	ca. 340 - 210	146,94 g/kWh	97,4 g/kWh	390 und 89 g/kWh
Anteil erneuerbare Energien 2050	69%	57%	81,8%	84,7%	85,2%
Primärenergiefaktor	$2,6/69 \cdot 20,44 = 0,77$				0,5
CO ₂ -Emissionen Heizstrom	$566/69 \cdot 20,44 = 168$ g/kWh (Heizstrom: $168 \cdot 0,77 = 129$ g/kWh)	ca. 300 - 130	55,2 g/kWh	41,7 g/kWh	271 und 37 g/kWh

Quellen: Eigene Berechnungen, [BMU2008], S. 162 und 165, [BMU2009], S. 89 und 92, [Fis2002], S. 196, 203 und 208, [BMWI2012a], Tabelle 20 der Excel-Datei und [BMU2012], S. 119 und 127

³⁴⁸ Vgl. [BMVBS2012a], S. 57, Tab. 33: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), 2012

Betrachtungen zur Fernwärme, zu Erdgas, Heizöl, Kohle, Flüssiggas und Holz:

Die wachsenden Anteile von Biogas (beispielsweise aus Mais oder Gülle) und flüssiger Biomasse (beispielsweise aus Rapsöl oder Palmöl) werden den Nah- und Fernwärmenetzen zugeschlagen, da der steigende Anteil dieser Biomassennutzung in der Regel für die Kraftwärmekopplung genutzt wird.

Bis zum Jahr 2050 soll sich gemäß »Leitstudie 2010« deren Anteil bundesweit von ca. 16 Terawattstunden pro Jahr (2008) auf rund 32 Terawattstunden pro Jahr³⁴⁹ verdoppeln. Zur Wahl der Faktoren für die Fernwärme werden Untersuchungen zu biogenen Energieträgern, Abwärmequellen und Müllverbrennungsanlagen herangezogen. Demnach werden für Biogase und Bioöle Primärenergiefaktoren von 0,5 und bei Nah- und Fernwärmenetzen je nach Anteil von Kraftwärmekopplung und erneuerbaren Energien 0,1 bis 0,6 empfohlen.³⁵⁰

Für 2050 wird auf dieser Basis ein Primärenergiefaktor (PF) für Nah- und Fernwärme mit Kraftwärmekopplung von 0,4 gewählt und bis zum Jahr 2020 mit Hilfe des Faktors zum Jahr 2010 von 0,7 (vgl. 3.1, Tabelle 19) linear auf die Stützjahre umgerechnet. Ebenso werden die direkten CO₂-Emissionsfaktoren im jeweils gleichen Verhältnis linear umgerechnet, dabei wird von dem Emissionswert von 207 Gramm pro Kilowattstunde für das Jahr 2010 (vgl. 3.1, Tabelle 19) ausgegangen.

Die Faktoren für Erdgas und Heizöl bleiben unverändert, da die steigenden Biomassenanteile, wie erläutert, den Wärmenetzen zugewiesen werden. Geringfügige, sonstige Anteile von Biomassen in den fossilen Energieträgern Erdgas und Heizöl bleiben bei der Direktverbrennung zur Raumwärmeerzeugung bei Nichtwohngebäuden unberücksichtigt.

Die Werte zu Kohle, Flüssiggas, Holz und zur solaren Energiequelle bleiben ebenso unverändert.

In Tabelle 47 sind die umgerechneten Brennstoffdaten für die Jahre 2010 (vgl. 3.1) bis 2050 aufgeführt, wobei auch beim Strom gemäß Modellansatz ein »direkter« Emissionsfaktor und ein Primärenergiefaktor betrachtet werden. Diese Werte sind unabhängig von Szenarienbetrachtungen zu Vohwinkel und Wuppertal verwendbar.

³⁴⁹ Vgl. [BMU2010], S. 62, Tab. 3-8: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), 2010

³⁵⁰ Vgl. [BMVBS2012c], S. 83-84, Tab. 10-1: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), 2012

Tabelle 47: Primärenergiefaktoren und CO₂-Emissionsfaktoren von 2010 bis 2050

Legende: PF = Primärenergiefaktor (nicht erneuerbare Anteile)

Energieträger	2010		2020		2030		2040		2050	
	direkte CO ₂ -Emissionsfaktoren in kg/kWh	PF	direkte CO ₂ -Emissionsfaktoren in kg/kWh	PF	direkte CO ₂ -Emissionsfaktoren in kg/kWh	PF	direkte CO ₂ -Emissionsfaktoren in kg/kWh	PF	direkte CO ₂ -Emissionsfaktoren in kg/kWh	PF
Heizöl	0,266	1,1	0,266	1,1	0,266	1,1	0,266	1,1	0,266	1,1
Erdgas	0,202	1,1	0,202	1,1	0,202	1,1	0,202	1,1	0,202	1,1
Flüssiggas	0,234	1,1	0,234	1,1	0,234	1,1	0,234	1,1	0,234	1,1
Heizstrom, WP	0,566	2,6	0,373	1,71	0,263	1,2	0,203	0,9	0,168	0,8
Fernwärme	0,207	0,7	0,186	0,63	0,163	0,6	0,142	0,5	0,118	0,4
Holz/Pellets	0	0,2	0	0,2	0	0,2	0	0,2	0	0,2
Solar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kohle	0,355	1,1	0,355	1,1	0,355	1,1	0,355	1,1	0,355	1,1

Quelle: Eigene Berechnungen

6.4.7 Allgemeine Trendentwicklungen zu Neubau-, Abriss- und Sanierungsraten

Die Flächenveränderungen zu Wirtschaftsbauten und den öffentlichen Gebäuden bis zum Jahr 2050 werden mit Hilfe von Neubau-, Abriss- und Sanierungsraten beschrieben. Mit diesen Raten soll die Fortentwicklung der Gebäudeflächen zum Szenario »Trend-bau-Baupraxis« berechnet werden. Dazu wird aufbauend auf den Bestandsflächen von 2010 je Gebäudekategorie und Baualtersklasse mit Hilfe der angenommenen Raten ein Flächenentwicklungsmodell (vgl. 6.4.9) erstellt.

Die Raten werden in dieser Arbeit auf Grund verschiedener Ansätze abgeschätzt, wobei Verhältnisse aus der Vergangenheit und Prognosen für die Zukunft berücksichtigt werden. Zum einen werden die Neubau- und Abrissrate der letzten rund 20 Jahre zu Vohwinkel auf Grundlagen von Luftbildern der Stadt Wuppertal von 1991 und von 1999, den GIS-Daten zum Bestand (Jahr 2010) und der eigenen Eindrücke bei den örtlichen Begehungen abgeschätzt (vgl. 6.3).

Zum anderen werden Statistiken zu bundesweiten Verhältnissen zum Flächenzuwachs und Flächenabriss bei Nichtwohngebäuden seit 1991 ausgewertet. Weiterhin werden Veränderungen zu den Flächen der Nichtwohngebäude für das Szenario »Trend-bau-Baupraxis« in Abhängigkeit von volkswirtschaftlichen Randbedingungen abgeschätzt. Ebenso wird die Literatur ausgewertet, in der bisherige Ansätze zu zukünftigen Raten enthalten sind. Diese werden mit den anderen Ansätzen verglichen.

Mit Hilfe der verschiedenen Betrachtungsrichtungen werden letztlich die Raten für das Szenario »Trend-bau-Baupraxis« abgeschätzt. In Anhang 4.4 sind die einzelnen Ansätze zu den Abschätzungen aufbereitet und die Ergebnisse in Tabelle 48 zusammen

mit den daraus resultierenden eigenen Abschätzungen aufgeführt. In Tabelle 48 sind die Beurteilungsgrundlagen zum Rückgang der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten, zum Wirtschaftswachstum, die Ansätze anderer Studien, Auswertungen aus Statistiken und die eigenen Einschätzungen zu Vohwinkel aufgeführt.

Tabelle 48: Annahmen zur Entwicklung der Neubau-, Abriss- und Sanierungsrate bis zum Jahr 2050

Legende: RZu: Neubaurate RAb: Abrissrate RSa: Sanierungsrate

Zeitraum / jährliche Rate	2011-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050
Rückgangsrate sozialversich. Beschäftigte [DESTATIS2009]	0,40%	1,15%	0,82%	0,38%
Wirtschaftswachstum [GoL2007], S. 18	1,30%	0,93%	2,10%	1,90%
Abschätzungen zu Vohwinkel, 1990 bis 2010: Luftbilder zu 1991, 1999 und GIS-Daten der Stadt Wuppertal, vgl. 6.3 und Anhang 4.4	Zuwachsrate = 0,5%/a		Sanierungsrate = 0,6%/a	
Sanierungsrate, Abschätzung mit Hilfe der bundesweiten Investitionen in Sanierungsmaßnahmen, vgl. Anhang 4.4	Sanierungsrate = 0,65%/a			
eigene Auswertung: Statistik 1990-2010 [DESTATIS2012b]	Neubaurate: RZu=1,15%/a		Abrissrate: RAb=0,34%/a	
Studie [Kle2000], S. 4-5 und S. 71	Neubaurate bis 2020 Rzu=1,3% Abrissrate bis 2020 Rab=1,1%		Flächenbestand 2050=2020, Abrissrate verdoppelt	
Leitszenario 2009 [BMU2009], S. 51-52, Leitparameter zur Zielerreichung	nahezu unveränderte Gesamtflächen			
Studie "Low Carbon City Wuppertal 2050" zu Wohngebäuden [Reu2012], S. 127 (Referenzszenario)	RZu=0,7% RAb=0,5% RSa=1,0%	RZu=1,3% RAb=0,5% RSa=1,0%	RZu=1,5% RAb=0,5% RSa=1,0%	RZu=1,6% RAb=0,5% RSa=1,0%
Studie [BMVBS2012a], S. 53-55, Leitparameter zur Zielerreichung	RZu=0,70% RAb=0,35% RSa=1,4%			
Eigene Annahmen:				
Flächenneubaurate je Jahr, RZu	0,9%	0,5%	1,4%	1,1%
Flächenabrissrate je Jahr, RAb	0,4%	0,3%	0,6%	0,5%
energetische Sanierungsrate je Jahr,	0,65%	0,65%	0,65%	0,65%
Nettoflächenzuwachs je Jahr	0,5%	0,2%	0,8%	0,6%

Quellen: Eigene Einschätzungen und Angaben in Tabelle, teilweise vorveröffentlicht unter: [Ham2013b], S. 13

Die Neubau- und Abrissraten ($RZu = 1,15$ Prozent pro Jahr, $RAb = \text{minus } 0,34$ Prozent pro Jahr, Nettozuwachsrate = $0,81$ Prozent pro Jahr) der letzten 20 Jahre von 1990 bis 2010 gemäß statistischer Auswertung entstanden unter dem volkswirtschaftlichen Einfluss von in Summe nahezu gleichbleibenden Beschäftigtenzahlen (vgl. Anhang 4.4.1, Tab. A4.4.1-2) und einem Wirtschaftswachstum von 1992 bis 2010 von im Mittel etwa $1,3$ Prozent pro Jahr (vgl. Anhang 4.4.2, Tab. A4.4.2-1), wie es auch weiterhin bis zum Jahr 2020 prognostiziert wird.

Jedoch werden der Rückgang der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten und der weitere Rückgang der Beschäftigtenzahlen im Baugewerbe in Anlehnung an die Betrachtungen seit 1995 für die Abschätzungen zu den zukünftigen Raten berücksichtigt (vgl. Anhang 4.4.3, Tab. A4.4.3-2).

Daher wird die Neubaurate der letzten 20 Jahre von $1,15$ Prozent pro Jahr für den Betrachtungszeitraum 2010 bis 2020 auf $0,9$ Prozent pro Jahr gemindert. Infolge der beschleunigten Abnahme der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten und des Rückgangs des Wirtschaftswachstums im nächsten Jahrzehnt wird die Neubaurate zwischen 2021 und 2030 auf $0,5$ Prozent gesenkt.

Bis 2040 wird das Wirtschaftswachstum wieder deutlich höher prognostiziert (vgl. Anhang 4.4.2, Tabelle A4.4.2-1), wobei sich die Rückgangsrate zu den sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten abschwächt (vgl. Anhang 4.4.1, Tabelle A4.4.1-2). Daher wird die Neubaurate in Relation zum Wirtschaftswachstum, als wesentlicher Faktor, auf $1,45$ Prozent pro Jahr ($= 0,9 / 1,3 \cdot 2,1$) angehoben. Gleichwohl wird durch den Einfluss des sich abschwächenden Rückgangs der Beschäftigten eine geringfügige Abminderung der Neubaurate auf $1,4$ Prozent pro Jahr angenommen. In den Jahren 2041 bis 2050 wird die Neubaurate auf $1,1$ Prozent pro Jahr geschätzt, da das Wirtschaftswachstum wieder zurückgehen soll.

Die Abrissrate wird bis 2020 mit $0,4$ Prozent pro Jahr angenommen und damit etwas höher als bisher, da infolge des inzwischen großen Gebäudebestands die Anzahl der Maßnahmen auf den bereits erschlossenen Flächen als ansteigend bewertet werden kann und somit Abgänge für Ersatzneubauten unvermeidlich sind. Infolge des sich abschwächenden Wirtschaftswachstums wird sich auch die Abrissrate bis 2030 abschwächen und daher mit $0,3$ Prozent pro Jahr angenommen. In den Jahren 2031 bis 2040 und 2041 bis 2050 werden auf Grund der verbesserten konjunkturellen Aussichten die Abrissraten auf $0,6$ Prozent pro Jahr bzw. $0,5$ Prozent pro Jahr geschätzt.

Aus den eigenen Annahmen ergeben sich Nettozuwachsflächen, die bis auf den Zeitraum 2031 bis 2040 teilweise deutlich unter den statistisch ermittelten $0,81$ Prozent pro Jahr der Jahre 1990 bis 2010 liegen. Die Raten werden grundsätzlich für die Flächenanpassungen auf die Bestandsflächen des Jahres 2010 bezogen.

Die abgeschätzten Raten werden vereinfacht für die Profit- und Non-Profit-Organisationen gleich bewertet, da angenommen wird, dass der Einfluss von verschiedenen Faktoren, wie einem höheren Nutzungsanteil von Förderprogrammen bei Non-

Profit-Organisationen oder der unternehmerische Antrieb bei Profit-Organisationen in Bezug auf unterschiedliche Größenordnungen der Raten vernachlässigbar ist. In den aufgeführten Studien gemäß Literaturlauswertung werden ebenso gleiche Raten für alle Gebäudetypen angewendet.

Die Abschätzung zur Sanierungsrate von 0,65 Prozent pro Jahr bei beheizten Nichtwohngebäuden wird unter Anhang 4.4 erläutert. Dies erfolgt mit Hilfe der bundesweit getätigten Bauinvestitionen in Sanierungsmaßnahmen. Parallel wird eine Einschätzung zur Sanierungsrate in Vohwinkel aufgeführt, die bei den örtlichen Begehungen gewonnen wurde und in einer ähnlichen Größenordnung liegt (vgl. Anhang 4.4).

6.4.8 Neubau-, Abriss- und Sanierungsraten gemäß Akteursbefragung

Die Raten zu den Teilbeständen der Nichtwohngebäude (private Büroflächen und kirchliche Einrichtungen) werden mit Hilfe der Befragung abgeschätzt. Die Befragung zu Einschätzungen des Flächenneubaus und Flächenabrisses erfolgte dabei bis zum Jahr 2030, da Einschätzungen für noch spätere Zeiträume durch die Akteure nicht sinnvoll zu erwarten waren. Die Einschätzungen werden daher in gleicher Größenordnung bis zum Jahr 2050 angenommen, wodurch die Lücke zwischen 2030 und 2050 geschlossen wird.

Gemäß Akteursbefragung (vgl. 5.2.4) konnte die Sanierungsrate für beide Akteursgruppen mit 2,7 Prozent pro Jahr abgeschätzt werden. Die Neubau- und Abrissrate ist in Anhang 3.4, Tabelle A3.4-1 zusammengestellt. Demnach werden bei kirchlichen Einrichtungen die mittlere Neubaurate mit 0,21 Prozent pro Jahr und die Abrissrate mit 0,54 Prozent pro Jahr angenommen. Bei den privaten Büroflächen wird die mittlere Neubaurate mit 1,27 Prozent pro Jahr und die Abrissrate mit 0 Prozent abgeschätzt. Bei den kirchlichen Organisationen wird die Einschätzung zur höheren Abrissrate im Vergleich zur Neubaurate mit dem allgemeinen Mitgliederrückgang erklärt.

Bei den geführten Interviews mit den privatwirtschaftlichen Unternehmen führte die allgemeine positive Grundhaltung zur Weiterentwicklung des eigenen unternehmerischen Handelns dazu, dass sich die Akteure Flächenabgänge nicht vorstellen konnten. Neubaufächen spielen dagegen infolge konzeptioneller bzw. visionärer Strategien eine Rolle. Die Sanierungsraten liegen deutlich höher als bei den Einschätzungen zum gesamten Nichtwohngebäudebestand gemäß 6.4.7, da sich die Akteure die Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen innerhalb eines überschaubaren Zeithorizonts vorstellen.

Andererseits weisen die Flächen vielfach ein entsprechendes Alter auf, so dass notwendige Sanierungen im überschaubaren Zeitraum anstehen. Die Einschätzungen aus der Akteursbefragung werden zwecks Vergleichs mit dem Szenario »Trendbau- Baupraxis« auf Teilbetrachtungen zu kirchlichen Einrichtungen und privaten Bürobauten angewendet. In Tabelle 49 sind die Werte zusammengestellt.

Tabelle 49: Entwicklungen zur Neubau-, Abriss- und Sanierungsrate gemäß Akteursbefragung

Legende: RZu: Neubaurate RAb: Abrissrate RSa: Sanierungsrate

Akteurs- und Gebäudekategorie/ Zeitraum/ Rate	kirchliche Einrichtungen 2011-2050	private Büros 2011-2050
mittlere Flächenneubaurate je Jahr, RZu	0,21%	1,27%
mittlere Flächenabbrissrate je Jahr, RAb	0,54%	0,0%
energetische Sanierungsrate je Jahr, RSa	2,7%	2,7%
Nettoflächenzuwachs je Jahr	-0,33%	1,27%

Quelle: Eigene Befragung

6.4.9 Zukünftige Flächenentwicklungen beim beheizten Nichtwohngebäudebestand

Die zuvor getroffenen Annahmen zu Neubau-, Abriss- und Sanierungsraten (vgl. 6.4.7 und 6.4.8) werden für die Berechnung der neuen Bestandsflächen für die Jahre 2020, 2030, 2040 und 2050 angewendet. Dazu werden mit Hilfe eines eigenen Flächenentwicklungsmodells die Flächenveränderungen je Stützjahr bei den Baualtersklassen A bis G für Vohwinkel berechnet.

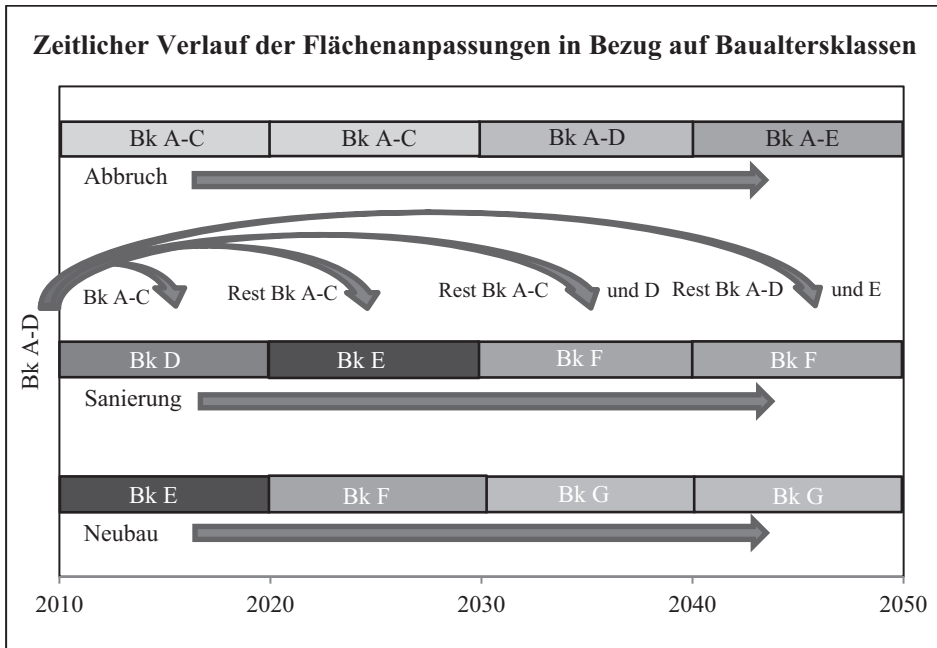
Bei der Vorgehensweise zu den Flächenanpassungen ist der Bezug zu den Bestandsflächen der Baualtersklassen A bis D auf das Jahr 2010 zu beachten. Im Anhang 4.5 wird das Modell zur Berechnung der Flächenveränderungen des Szenarios »Trendbau-Baupraxis« erläutert und die Berechnungsmethodik aufgeführt. Resultierend aus den im Anhang 4.5 erläuterten Zyklen zum Abbruch und zu Sanierungsmaßnahmen wird der entsprechende zeitliche Verlauf in Abbildung 27 verdeutlicht.

Es ist erkennbar, ab welchem Jahrzehnt die älteren Bestands-Baualtersklassen A bis D zum Abbruch bzw. zur Sanierung anstehen und zu welchen neuen Baualtersklassen im Sanierungsfall die Gebäudeflächen zugeordnet werden. Dies führt zur Minderung der Bestandsflächen bei den älteren Baualtersklassen.

Auch wird erkennbar, dass die neuen Flächen der Baualtersklasse E wiederum ab dem Jahr 2041 zur Sanierung anstehen und dabei auf das Niveau der Baualtersklasse F angehoben werden.

Zusätzlich wird die Zuweisung der Neubauten je nach Dekade zu den zukünftigen Baualtersklassen dargestellt.

Abbildung 27: Zeitlicher Verlauf der Flächenanpassungen in Bezug auf Baualtersklassen bis 2050



Quelle: Eigene Darstellung

Legende: Bk=Baualtersklasse

Das Flächenentwicklungsmodell ist in Tabelle A4.5-1 des Anhangs 4.5 mit seinen Randbedingungen und den Berechnungen je Baualtersklasse und Dekade abgebildet. Grundlage zur Berechnung der Flächenveränderungen sind die angenommenen Raten für Vohwinkel gemäß Tabelle 48 (vgl. 6.4.7). In Anhang 4.6 (kirchliche Gebäude) und Anhang 4.7 (private Büroflächen) sind die Anpassungen der Flächenberechnungen an die Raten, die aus der Akteursbefragung abgeschätzt wurden, aufgeführt. Diese werden bei den Szenarien für die Teilbestände der beheizten Nichtwohngebäude (vgl. 6.5.2) zu Grunde gelegt.

Eine Variante zu den Raten in Anlehnung an die Studie »LCC« zu Wuppertal gemäß Tabelle 48 (vgl. 6.4.7) wird in Anhang 4.8 und 4.10 aufgeführt. Das Szenario »Trendbau-Baupraxis« wird mit diesen Ansätzen parallel zwecks Vergleichsmöglichkeit berechnet, wobei dies ergänzend nur für Betrachtungen zum Stadtgebiet von Wuppertal erfolgt (vgl. Anhang 4.21). Generell werden jedoch für diese Arbeit die eigenen Annahmen zu den Nichtwohngebäuden zu den Bestandsflächenveränderungen und zum Energiemix favorisiert und die Vergleiche der Szenarien untereinander auf diese Grundlagen bezogen. Dies wird damit begründet, dass nicht nur die Studie »LCC« herangezogen wurde, sondern auch eine weitere Literaturrecherche erfolgte, aus der

insgesamt eigene Annahmen resultierten. Da die Studie »LCC« (ohne Nichtwohngebäudebetrachtungen) speziell für Wuppertal erstellt wurde, wird jedoch eine Alternativberechnung zum Ausgangsszenario als Vergleich durchgeführt.

Tabelle 50: Gebäudeflächenentwicklung nach Baualtersklassen in Vohwinkel von 2010 bis 2050

Legende: BGF: Bruttogrundfläche NP,P: Non-Profit- und Profit-Organisationen

Gebäudeflächenentwicklung bis 2050, am Beispiel von Wuppertal-Vohwinkel									
in m ²	2010	2020	%/a	2030	%/a	2040	%/a	2050	%/a
BGF _{NP}	189.544	198.943		202.734		217.899		228.804	
BGF _P	717.299	753.164		767.640		825.010		866.734	
BGF _{NP,P}	906.843	952.107	0,50	970.374	0,19	1.042.909	0,75	1.095.538	0,50
A bis 1951	68.403	60.100		52.589		44.040		37.218	
B 1952-1977	478.920	421.831		370.309		310.527		262.884	
C 1978-1994	246.157	216.330		189.343		158.607		133.094	
D 1995-2011	113.363	172.307		172.308		156.480		144.086	
E 2012-2020	0	81.538		140.483		140.483		125.785	
F 2021-2030	0	0		45.342		105.814		164.759	
G ab 2031	0	0		0		126.958		226.711	

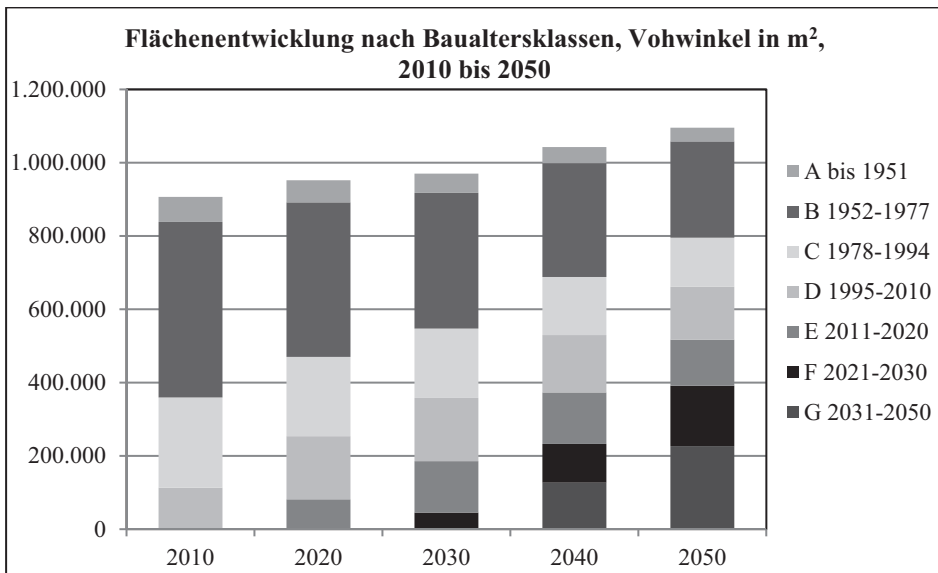
Quelle: Eigene Berechnungen

In Tabelle 50 sind die berechneten neuen Bestandsflächen für Vohwinkel bis zum Jahr 2050 gemäß den in Anhang 4.5 dargestellten Grundlagen, zum einen getrennt für Non-Profit(NP)- und Profit(P)-Organisationen und zum anderen je Baualtersklasse, aufgeführt. Die detaillierten Berechnungen zu den Bestandsflächen mit dem Flächenentwicklungsmodell sind als Anhang 4.9 beigefügt.

In Tabelle 50 sind zusätzlich die Bestandsflächen für das Jahr 2010, als Ausgangsflächen aufgeführt (vgl. 3.2.1, Tabelle 20 und Abbildung 12). Ebenso sind die Nettowachsraten in Prozent pro Jahr der Bruttogrundflächen der Non-Profit- und Profit-Organisationen nach Abzug der Abrissflächen je Dekade dargestellt.

Diese weichen bei einer Betrachtung von Dekade zu Dekade teilweise geringfügig von den Werten der Tabelle 48 ab, da sich der Bezugszeitraum zu diesen Raten von 2010 auf die Jahre 2020, 2030 und 2040 verschiebt.

Die sich ergebenden Flächenverschiebungen in Vohwinkel je Baualtersklasse sind in Abbildung 28 verdeutlicht. Es ist der weitere Anstieg der Flächen beim Szenario »Trend-bau-Baupraxis« erkennbar. Auch werden die Restflächenanteile im Jahr 2050 zur Baualtersklasse A bis D des aktuellen Bestandes deutlich.

Abbildung 28: Gebäudeflächenentwicklung nach Baualtersklassen bis 2050

Quelle: Eigene Berechnungen

In Anhang 4.11 sind ergänzend die Bestandsflächenverteilungen bis zum Jahr 2050 nach den eigenen Annahmen (vgl. 6.4.7) und nach den Ansätzen der Studie »LCC«³⁵¹ für Wuppertal aufbereitet. Die Ergebnisse basieren auf den linearen Flächenhochrechnungen (vgl. 2.8.3) zu den Ergebnissen von Vohwinkel.

Dieser Schritt wird zusätzlich erarbeitet, damit ergänzend auch ein Szenario für Wuppertal auf Basis der Studie »LCC« darstellbar ist. Insgesamt werden parallel die sonstigen Szenariengrundlagen auch auf Wuppertal übertragen und die Szenarien ergänzend in Anhang 4.21 bis 4.23 aufbereitet.

6.4.10 Zukünftige Flächenentwicklungen gemäß Akteursbefragung zum Teilbestand

Mit Hilfe des Flächenentwicklungsmodells werden zusätzlich die zukünftigen Nichtwohngebäudeflächen der kirchlichen Einrichtungen und der privaten Büroflächen gemäß Befragungsergebnisse berechnet. Dabei werden die Neubau-, Abriss- und Sanierungsraten nach Tabelle 49, die aus der Akteursbefragung abgeleitet werden konnten, berücksichtigt. In Tabelle 51 und 52 sind die Ergebnisse zu den kirchlichen Einrichtungen (Gebäudekategorie 8) und zu den privaten Büroflächen (Gebäudekategorie 9) für

³⁵¹ Vgl. [Reu2012a], S. 127, Tab. 6.3 : Reutter Oscar, Bierwirth Anja et al., 2012

Vohwinkel dargestellt. Die Flächenberechnungen in Tabelle 51 enthalten nur die Kategorie 8, da es beabsichtigt ist, die Flächenverschiebungen bis 2050 lediglich beispielhaft aufzuzeigen. Von daher ist die Vervollständigung der Flächen durch kirchliche Kindergärten (Kategorie 1.3) oder kirchliche Seniorenzentren (Kategorie 4.2) nicht von Bedeutung.

Im Anhang 4.12 sind die detaillierten Berechnungsergebnisse aufgeführt. Die Zusammenfassungen ergeben sich zu den Teilbeständen auf Grundlage der Akteurseinschätzungen wie folgt:

Tabelle 51: Gebäudeflächenentwicklungen zu kirchlichen Einrichtungen in Vohwinkel von 2010 bis 2050

Legende: BGF: Bruttogrundfläche

Gebäudeflächenentwicklung bis 2050, Wuppertal-Vohwinkel, kirchliche Einrichtungen									
in m ² / %	2010	2020	%/a	2030	%/a	2040	%/a	2050	%/a
BGF	18.531	17.919	-0,33	17.308	-0,34	16.696	-0,35	16.246	-0,27
A bis 1951	4.985	3.370		1.755		139		0	
B 1952-1977	11.483	7.763		4.042		322		0	
C 1978-1994	2.063	1.395		726		58		0	
D 1995-2011	0	5.003		5.003		5.003		3.748	
E 2012-2020	0	389		5.392		5.393		4.039	
F 2021-2030	0	0		389		5.392		7.681	
G ab 2031	0	0		0		389		778	

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 52: Gebäudeflächenentwicklungen zu privaten Büroflächen in Vohwinkel von 2010 bis 2050

Legende: BGF: Bruttogrundfläche

Gebäudeflächenentwicklung bis 2050, private Bürobauten/Büroflächen									
in m ² / %	2010	2020	%/a	2030	%/a	2040	%/a	2050	%/a
BGF	122.480	138.035	1,27	154.662	1,20	170.217	1,01	185.594	0,90
A bis 1951	9.078	6.359		3.639		1.188		0	
B 1952-1977	73.623	50.706		28.453		8.754		0	
C 1978-1994	21.697	14.672		7.647		1.789		0	
D 1995-2011	18.082	50.743		50.743		41.802		36.213	
E 2012-2020	0	15.555		48.625		48.625		42.902	
F 2021-2030	0	0		15.555		52.504		75.370	
G ab 2031	0	0		0		15.555		31.110	

Quelle: Eigene Berechnungen

6.5 CO₂-Forecasting-Szenarien bis zum Jahr 2050 für Vohwinkel

Ziel ist es, mit Hilfe der Forecasting-Szenarien die Leitparameter zahlenmäßig bestimmen zu können, die bei einer Betrachtung vom Ziel her (Backcasting-Szenario) im Jahr 2050 die Einhaltung der politischen Vorgaben ermöglicht.

Ebenso sollen die Wirkungsanteile benannt werden können. Die Forecasting-Szenarien bauen dabei auf den zuvor genannten Grundlagen zu Trendfortschreibungen nach einem Ansatz »business as usual = bau« auf und sehen Variationen der Schlüsselfaktoren vor, wobei auch zukünftige Flächenentwicklungen zu Vohwinkel berücksichtigt werden. Neben dem **Ausgangsszenario »Trend-bau-Baupraxis«** mit den betrachteten Schlüsselfaktoren Heizkennwerte (Tabelle 41-43), Energiemix (Tabelle 44), Primärenergie- und CO₂-Emissionsfaktoren (Tabelle 47), Sanierungs-, Neubau- und Abrissrate (Tabelle 48) sowie den baupraktischen Einflüssen werden folgende Forecasting-Szenarien und Einflussparameter zusätzlich untersucht (vgl. 6.1):

- »Trend-bau-Akteursbefragung« (Einfluss Energiemix und Sanierungsrate, Tabelle 45 und 49)
- »Trend-bau-Passivhaus« (Einfluss optimierter Heizkennwerte)
- »Trend-bau-kein Flächenzuwachs« (Einfluss Neubau- und Abrissrate)

Die Ergebnisse sind in Prozent und in absoluten Werten in den nachfolgenden Tabellen sowie in Prozent in den Abbildungen dargestellt. Die Prozentwerte beziehen sich jeweils auf die Startbilanz gemäß Tabelle 39 (vgl. 6.3). Die Abbildungen zeigen den zeitlichen Verlauf von 1990 bis 2050 zur Heizenergie, Primärenergie und zu den CO₂-Emissionen. Zusätzlich sind die bundesweiten prozentualen Ziele und die Ziele der Stadt Wuppertal zur CO₂-Reduzierung aufgeführt.

Tabelle 53: Einwohnerentwicklung in Wuppertal und Vohwinkel bis 2050

Einwohnerentwicklung	Wuppertal	Vohwinkel
1990	387.719	34.335 (vgl. 6.3)
2009	349.713	31.229
2010	348.271	30.696
2020	330.421	29.506
2030	318.872	28.475
2040	292.670	26.135
2050	271.468	24.242

Quellen: [Wup2012], [Reu2012a], S. 34 auf Basis der Statistik-Datenbank und Prognosen der Stadt Wuppertal

Für die pro-Kopf-Betrachtung geht die Prognose zum Rückgang der Einwohner von den Entwicklungen in Wuppertal gemäß Studie »LCC«³⁵² aus, wobei sich hierin der letzte Bestandswert auf das Jahr 2009 bezieht. Der Rückgang der Einwohner in Vohwinkel wird im gleichen Verhältnis wie beim gesamten Stadtgebiet Wuppertal angenommen (Tabelle 53). Die Einwohnerzahl in Vohwinkel betrug im Jahr 2009 31.229³⁵³.

6.5.1 Ergebnisse zum Ausgangsszenario »Trend-bau-Baupraxis«

Dieses Szenario beinhaltet alle zuvor unter Kapitel 6.4 aufbereiteten Annahmen zu den berücksichtigten Schlüsselfaktoren. Welche Wirkungen damit erzielt werden, wird nachfolgend erläutert. Das Ausgangsszenario »Trend-bau-Baupraxis« wird jedoch zunächst ohne den zusätzlichen Einfluss durch die Komplexität am Bau bzw. der Baupraxis analysiert. Dies erfolgt, damit der Einfluss der Baupraxis und der Wirkungsanteil bei den Effizienzstrategien auf die CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2050 gesondert abgeschätzt werden können. Die Ergebnisse sind in Anhang 4.15 enthalten. Bis zum Jahr 2050 ergibt sich demnach ein absoluter Rückgang der CO₂-Emissionen auf minus 53,4 Prozent und pro Kopf auf minus 34 Prozent.

Tabelle 54: Ergebnis Szenario »Trend-bau-Baupraxis« in Vohwinkel, 1990-2050

Berechnungsergebnisse zum Nichtwohngebäudebestand											
Vohwinkel (klimabereinigt)	1990	2010	%	2020	%	2030	%	2040	%	2050	%
Heiz _{NP} in GWh/a		21,7		21,1		20,2		19,2		18,4	
Heiz _P in GWh/a		98,2		97,4		94,1		90,5		87,3	
Heiz _{NP,P} in GWh/a	112,6	119,9	6,5	118,5	5,2	114,3	1,5	109,7	-2,6	105,6	-6,2
QP _{NP,P} in GWh/a	129,2	134,7	4,3	120,9	-6,4	105,7	-18,2	92,6	-28,3	79,2	-38,7
politisches Ziel, Primärenergiebedarf											-80,0
CO _{2NP} in 1000t/a		6,0		5,2		4,3		3,7		3,0	
CO _{2P} in 1000t/a		27,3		23,9		19,9		17,2		14,5	
CO _{2NP,P} in 1000t/a	34,9	33,3	-4,8	29,0	-17,0	24,2	-30,9	20,9	-40,3	17,5	-49,8
politisches Ziel, CO ₂ in %	100%				-40,0		-55,0		-70,0		-80/-95
pro Einwohner, t CO ₂ /(a·E)	1,02	1,07		0,98		0,85		0,80		0,72	
pro Einwohner, % CO ₂ /E	100		5,6		-3,4		-16,6		-21,6		-28,9

Quelle: Eigene Berechnungen

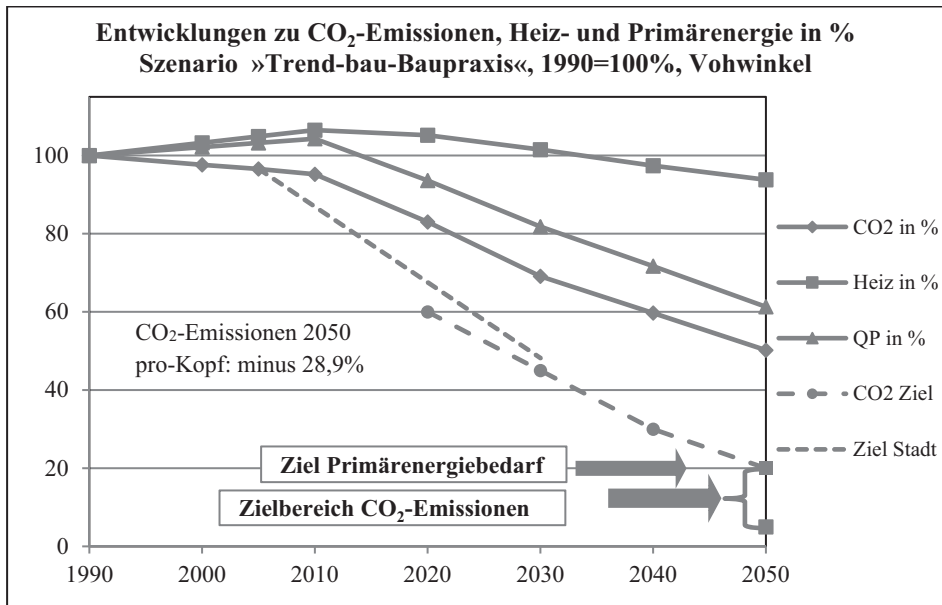
Wird der Einfluss der Baupraxis (vgl. 6.4.2) mit berücksichtigt, ergeben sich aus allen Annahmen zu den Schlüsselfaktoren (vgl. 6.4) die Ergebnisse nach Tabelle 54 und Abbildung 29, wobei sich die CO₂-Reduzierung bis 2050 pro Kopf um etwa 5 Prozent

³⁵² Vgl. [Reu2012a], S. 34, Tab. 2.3: Reutter Oscar, Bierwirth Anja et al., 2012

³⁵³ Vgl. [Wup2012], Stadt Wuppertal (Hrsg.), Stand 31.12.2010

geringer darstellt (= 34% - 28,9%). Die pro-Kopf-Werte sinken in Vohwinkel von 1,07 Tonnen CO₂ pro Einwohner und Jahr in 2010 (vgl. 3.2) auf 0,72 Tonnen CO₂ pro Einwohner und Jahr bis 2050. Die CO₂-Emissionen mindern sich von 1990 bis zum Jahr 2050 um 49,8 Prozent bzw. der pro-Kopf-Wert nur um 28,9 Prozent. Der Zielbereich für 2050 von minus 80 Prozent bis minus 95 Prozent³⁵⁴ wird demnach deutlich verfehlt. Der Heizenergieverbrauch für die Raumwärme der Nichtwohngebäude sinkt bis zum Jahr 2050 nur um 6,2 Prozent. Der Primärenergiebedarf sinkt um 38,7 Prozent. Somit wird das allgemeine Ziel von minus 80³⁵⁵ Prozent beim Primärenergiebedarf ebenso verfehlt. Die Zielsetzung der Stadt Wuppertal bis zum Jahr 2030 (minus 50 Prozent ab 2005) wird gemäß Abbildung 29 ebenso deutlich verfehlt (minus 30,9 Prozent, absoluter Wert bezogen auf 1990).

Abbildung 29: Szenario »Trend-bau-Baupraxis« bis 2050



Legende:

CO₂: CO₂-Emissionen in % Heiz: Heizenergie in % QP: Primärenergie in %

CO₂ Ziel: bundesweite CO₂-Zielvorstellung in %

Ziel Stadt: Wuppertaler CO₂-Zielvorstellung in %

Quelle: Eigene Berechnungen

³⁵⁴ Vgl. [BMU2011], S. 5: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.), 2011

³⁵⁵ a.a.O., S. 22-23

Interpretation der Ergebnisse:

Auf Basis der Prognosen zum »business-as-usual-Trend« sind die Ziele nicht erreichbar. Demnach müssen Leitparameter für die zukünftigen Flächenentwicklungen, zur Sanierungsrate, zum Energiemix und den Heizkennwerten ermittelt werden.

Mit Hilfe der folgenden Forecasting-Szenarien werden die Schlüsselfaktoren variiert, damit die Leitparameter abgeleitet werden können. Die praktische Umsetzung der Leitparameter erfordert zusätzliche Anstrengungen, da der zu erwartende Trend keine ausreichenden Ergebnisse liefert.

Die Einflüsse aus der Baupraxis auf die CO₂-Emissionsminderungen (pro-Kopf-Betrachtung, Beitrag Optimierung Baupraxis: ca. 5 Prozent) erscheinen auf Grund der Ergebnisse hinsichtlich des angestrebten Reduzierungshorizonts von untergeordneter Bedeutung³⁵⁶, da der relativ große Restbestand den Heizenergieverbrauch weiterhin dominiert. Priorität haben daher grundsätzlich die Umsetzungen von Ersatzneubauten und Sanierungen, und zusätzlich sollte das Potenzial bis zum Jahr 2050 durch Optimierung der Auswirkungen infolge der Komplexität am Bau genutzt werden.

6.5.2 Ergebnisse zu den Szenarien Trend-bau-Akteursbefragung«

Abweichend werden hier Schlüsselfaktoren berücksichtigt, die sich zu den Flächenentwicklungen und zum Energiemix (vgl. 6.4.5 und 6.4.10) auf Grund der Akteursbefragung ergeben (vgl. 5), wobei Teilbestände betrachtet werden und die Ergebnisinterpretation für die Bestimmung der Leitparameter auf den gesamten Nichtwohngebäudebestand übertragen werden.

Die nachfolgenden Szenarien beziehen sich auf kirchliche Einrichtungen und auf private Büroflächen und somit auf die Gebäudekategorien 8 und 9 (vgl. 2.3).

Es werden »bau-Zukunftsbilder« auf Basis der gewonnenen Akteurseinschätzungen gemäß den Ergebnissen aus der durchgeführten Befragung (vgl. 5) skizziert. Der jeweilige Energiemix zu den Stützjahren ist der Tabelle 45 (vgl. 6.4.5) und die Raten zu den zukünftigen Flächenentwicklungen der Tabelle 49 (vgl. 6.4.8) entnommen.

In Anhang 4.6 und 4.7 ist die rechnerische Anpassung des Flächenentwicklungsmodells auf Grund der abweichenden Neubau- und Abrissrate sowie der energetischen Sanierungsrate aufgeführt. Im Anhang 4.12 sind die Ergebnisse des Flächenentwicklungsmodells zu den ausgewählten Gebäudekategorien dargestellt.

Die prozentuale Ausgangslage des Jahres 1990 wird entsprechend den Ergebnissen der Startbilanz zum gesamten Nichtwohngebäudebestand im Verhältnis der Jahre 1990 und

³⁵⁶ Vgl. [Hel2013], S. 223: Helmus Manfred, Reutter Oscar, Hamann Achim, 2013 (in der Vorveröffentlichung wurden 20% Aufschlag infolge der Baupraxis auf die Heizkennwerte angenommen)

2010 gemäß Tabelle 39 (CO₂-Emissionen: minus 4,8 Prozent, Heizenergie: plus 6,5 Prozent, Primärenergie: plus 4,3 Prozent, vgl. 6.3) angenommen.

Zusätzlich wird bei den kirchlichen Einrichtungen alternativ die Startbilanz an den Ergebnissen einer Studie zum Klimaschutzkonzept der Evangelischen Kirche in Westfalen angelehnt. Hierin werden prozentuale Entwicklungen von 1990 (=100 Prozent) bis 2009 angegeben. Die CO₂-Emissionen zur Raumwärme von Kirchengebäuden liegen demnach im Jahr 2009 bei 101,7 Prozent, von Gemeindehäusern bei 78,2 Prozent, von Kindergärten bei 62 Prozent und im Mittel zu allen Gebäuden bei 79,9³⁵⁷ Prozent, was einem Startwert im Jahr 2010 (2009 wird 2010 gleichgesetzt) von minus 20,1 Prozent entspricht.

Die betrachtete Variante zur Startbilanz wird nachfolgend in Tabelle 55 und Abbildung 31 als V2 bezeichnet. In Tabelle 55 sowie in den Abbildungen 30 und 31 sind die Ergebnisse mit einem Bezug auf die absoluten Werte dargestellt.

Tabelle 55: Ergebnisse zu »bau-Szenarien« auf Basis der Akteurseinschätzungen, Teilbestände kirchliche Einrichtungen und private Büroflächen in Vohwinkel

Berechnungsergebnisse zum Gebäudebestand in Wuppertal-Vohwinkel											
(klimabereinigt)	1990	2010	%	2020	%	2030	%	2040	%	2050	%
kirchliche Einrichtungen											
Heiz in MWh/a	2.721	2.898	6,5	2.260	-16,9	1.913	-29,7	1.293	-52,5	1.293	-52,5
QP in MWh/a	3.057	3.188	4,3	2.299	-24,8	1.809	-40,8	780	-74,5	717	-76,5
politisches Ziel, Primärenergiebedarf											-80,0
CO ₂ in t/a	676	644	-4,8	464	-31,4	366	-45,9	158	-76,6	126	-81,4
CO ₂ in t/a, V2	806	644	-20,1	464	-42,4	366	-54,6	158	-80,4	126	-84,4
politisches Ziel, CO ₂ in %	100				-40,0		-55,0		-70,0		-80/-95
pro Einwohner, kg CO ₂ /(a·E)	19,7	20,8		15,7		12,9		6,0		5,2	
pro Einwohner, % CO ₂ /E	100		5,5		-20,2		-34,8		-69,3		-73,6
private Büroflächen											
Heiz in MWh/a	15.505	16.513	6,5	16.375	5,6	15.702	1,3	13.928	-10,2	13.332	-14,0
QP in MWh/a	17.795	18.560	4,3	18.013	1,2	11.069	-37,8	6.612	-62,8	5.690	-68,0
politisches Ziel, Primärenergiebedarf											-80,0
CO ₂ in t/a	4.814	4.583	-4,8	3.818	-20,7	2.176	-54,8	1.172	-75,7	902	-81,3
politisches Ziel, CO ₂ in %	100				-40,0		-55,0		-70,0		-80/-95
pro Einwohner, kg CO ₂ /(a·E)	140,2	148,0		129,4		76,4		44,8		37,2	
pro Einwohner, % CO ₂ /E	100		5,5		-7,7		-45,5		-68,0		-73,5

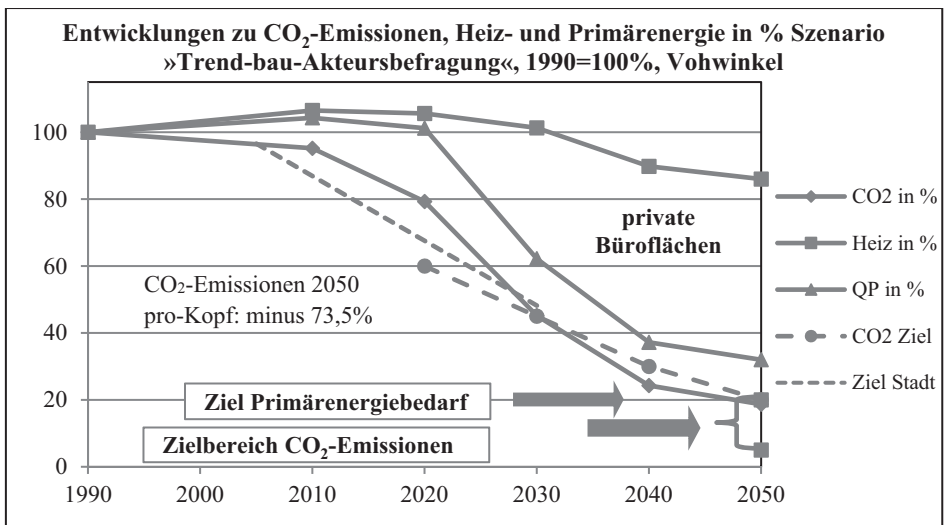
Quelle: Eigene Berechnungen

Wenn die Akteure der kirchlichen Einrichtungen und der privaten Büroflächen an dem beabsichtigten Einsatz von erneuerbaren Wärmeenergien und Sanierungsmaßnahmen inklusiv der energetischen Sanierungsrate von 2,7 Prozent pro Jahr gemäß Befragungsergebnis festhalten, wird die Zielsetzung im Jahr 2050 bei den kirchlichen Einrichtungen bezogen auf die absoluten Werte mit minus 81,4 Prozent bzw. minus 84,4 Prozent (Variante V2) je nach Startbilanz erreicht.

Die Teilziele werden ab dem Jahr 2040 eingehalten. Der pro-Kopf-Wert erreicht eine Minderung von minus 73,6 Prozent und verfehlt damit den Zielbereich nur knapp. Wird bei den kirchlichen Einrichtungen sogar eine bereits erzielte Reduzierung (siehe oben) der CO₂-Emissionen zum Jahr 2010 mit minus 20,1 Prozent aus dem Jahr 2009 (wird 2010 gleichgesetzt) angenommen, werden die Ziele bereits ab dem Jahr 2020 erreicht. Diese Variante ist in Abbildung 31 als CO₂-V2 bezeichnet.

Die privaten Büroflächen werden das Ziel mit einer pro-Kopf-Minderung von minus 73,5 Prozent ebenso knapp verfehlen. Bezogen auf die absoluten Werte werden hier minus 81,3 Prozent erreicht.

Abbildung 30: Szenario »Trend-bau-Akteursbefragung«, private Büros bis 2050

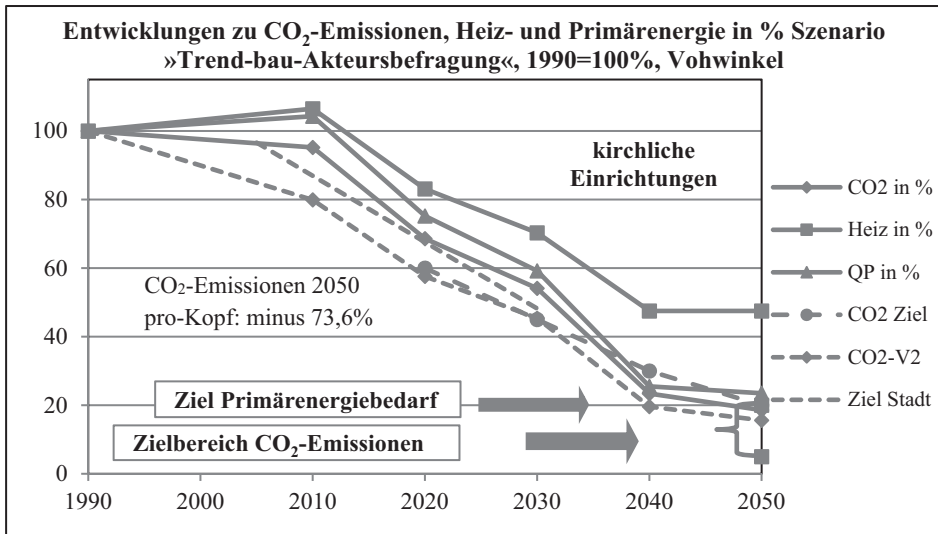


Legende Abbildung 30 und 31:

CO₂: CO₂-Emissionen in % Heiz: Heizenergie in %
 QP: Primärenergie in % CO₂ Ziel: bundesweite CO₂-Zielvorstellung in %
 Ziel Stadt: Wuppertaler CO₂-Zielvorstellung in %
 CO₂ V2: CO₂-Verlauf mit Variante zur Startbilanz für 1990 in %

Quelle: Eigene Berechnungen und Auswertungen zur Akteursbefragung

Abbildung 31: Szenario »Trend-bau-Akteursbefragung«, kirchliche Einrichtungen bis 2050



Quelle: Eigene Berechnungen und Auswertungen zur Akteursbefragung

Interpretation der Ergebnisse:

Die Ergebnisse zu den beiden Szenarien veranschaulichen grundsätzlich die ambitionierten Einschätzungen der Akteure, die jedoch prinzipiell einen möglichen Zielerreichungspfad aufzeigen. Die Akteure gehen gemäß Befragung davon aus, dass sie in den kommenden Jahren ihre Gebäude umfangreich sanieren und auch erneuerbare Wärmeenergien einsetzen.

Diese positiven Ansätze, die gleichzeitig eine Vorbildfunktion darstellen, hängen jedoch von der tatsächlichen Umsetzungskraft innerhalb der alltäglichen Ablenkungen und Zwänge ab. Die tatsächliche Realisierung sollte durch ein unterstützendes Monitoring und Reflektieren der Zwischenstände begleitet werden.

Der Netto-Flächenrückgang bei den kirchlichen Einrichtungen (vgl. 6.4.10, Tabelle 51) wirkt sich, trotz eines höheren Restanteils von fossilen Brennstoffen beim Energiemix im Jahr 2040 und 2050 (vgl. 5.2.4, Abbildung 22), positiv auf die Zielerreichung aus. Mit dem Flächenrückgang liegt zwangsläufig ein stärkerer Rückgang des Heizenergieverbrauchs im Vergleich zu den privaten Büroflächen vor.

An den unterschiedlichen Rückgängen zur Heizenergie lässt sich der Teileffekt des Flächenrückganges von minus 0,33 Prozent pro Jahr anstelle einer Zunahme von 1,27 Prozent pro Jahr (vgl. 6.4.8, Tabelle 49) abschätzen, da der Heizenergieverbrauch unabhängig vom Energiemix nur in Abhängigkeit der Flächenverhältnisse und der Heizkennwerte entsteht (vgl. 2.8.1).

Der Teileffekt des jährlichen Flächenrückgangs bei den kirchlichen Einrichtungen liegt demnach bei etwa 35 Prozent ($38,5\% = 52,5\% - 14\%$, vgl. Tabelle 55, Heizenergie-rückgänge im Jahr 2050 bei Teilbeständen), unter der Annahme, dass die zukünftigen Heizkennwerte beider Kategorien ähnlich sind, was gemäß Tabellen 41 und 42 angenommen werden kann.

Der Einfluss des Bevölkerungsrückgangs wirkt sich bei einer pro-Kopf-Betrachtung bei beiden Teilbeständen insofern aus, dass im Vergleich zu den absoluten Werten sich diese auf etwa minus 74 Prozent verschlechtern und somit knapp unterhalb des Zielbereiches liegen. Demnach führt der beabsichtigte hohe Anteil von erneuerbaren Wärmeenergien und insbesondere der Solarthermie sowie die anvisierte Sanierungsrate von 2,7 Prozent und teilweise der Flächenrückgang zur Annäherung an das Mindestziel von minus 80 Prozent im Jahr 2050.

Die Parameter geben Hinweise für die Gestaltung eines Zielszenarios. Insbesondere, da die Sanierungsrate von 2,7 Prozent pro Jahr mit der Annahme von bis zu 2,6³⁵⁸ Prozent pro Jahr in der Studie »LCC« beim 95 Prozent-Szenario zu den Haushalten vergleichbar ist. Auch bleiben bei dem 95 Prozent-Szenario (»LCC«) die Flächenverhältnisse³⁵⁹ in etwa gleich, bzw. entwickeln sich bis zum Jahr 2030 durch eine größere Abrissrate zurück.

6.5.3 Ergebnisse zum Szenario »Trend-bau-Passivhaus«

Bis auf variierte Heizkennwerte (keine baupraktischen Einflüsse) berücksichtigt dieses Szenario die gleichen Schlüsselfaktoren wie das Szenario »Trend-bau-Baupraxis«.

Dieses Szenario zu Vohwinkel lehnt sich an das Erreichen von noch geringeren Heizkennwerten an, die beim Passivhausstandard (vgl. 6.4.1) erreicht werden sollen. Die variierten Heizkennwerte werden daher für Neubauten ab dem Jahr 2031 (Baualtersklasse G) mit 15 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr³⁶⁰ angenommen, wobei der Flächenbezug weiterhin zur Bruttogrundfläche hergestellt wird, da es hier nur auf die Größenordnung des Heizenergieverbrauchs ankommt und nicht auf die Definition von Energiebezugsflächen.

Lediglich die Hallenbäder werden nutzungsbedingt höher angesetzt, und die Heizkennwerte zu den Kirchen bleiben unverändert. In Anlehnung an ein öffentliches Hallenbad in Lippe mit Passivhauskomponenten und einem 17,4 prozentigen Endenergieanteil durch die Raumluft ($549 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) \cdot 0,174 = 95,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$)³⁶¹ wird der Heizenergiezielwert mit 100 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr angenommen.

³⁵⁸ Vgl. [Reu2012a], S. 131, Tab. 6.5: Reutter Oscar, Bierwirth Anja et al., 2012

³⁵⁹ a.a.O.

³⁶⁰ Vgl. [Fei20012a], S. 13: Feist Wolfgang [Hrsg.], 2012

³⁶¹ Vgl. [Ahr2011], S. 104, Abb. 54: Ahrens Olaf, Beckert Stefan et al., 2011

Die Heizkennwerte der Baualtersklassen F werden beim Übergang auf den Passivhausstandard ebenso im Vergleich zum Szenario »Trend-bau-Baupraxis« reduziert.

Die Heizkennwerte der Baualtersklasse E bleiben unverändert, da sich im Zeitraum bis zum Jahr 2020 die Umsetzung solcher Tendenzen (Passivhausstandard bei Neubauten) im Ordnungsrecht infolge der gültigen und beabsichtigten Anpassung der Energieeinsparverordnung nicht abzeichnen.

Die sanierten Nichtwohngebäude erreichen bis zum Jahr 2050 unverändert gemäß Abbildung 27 (vgl. 6.4.9) die Qualität der Baualtersklasse F und damit nicht das Neubauziel von 15 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr.

Die angenommenen Heizkennwerte sind in Anhang 4.16 aufgeführt. Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle 56 und in Abbildung 32 für die absoluten Werte und für die pro-Kopf-Werte bis zum Jahr 2050 dargestellt.

Tabelle 56: Ergebnis Szenario »Trend-bau-Passivhaus«, 1990-2050

Berechnungsergebnisse zum Nichtwohngebäudebestand											
Vohwinkel (klimabereinigt)	1990	2010	%	2020	%	2030	%	2040	%	2050	%
Heiz _{NP} in GWh/a		21,7		20,8		19,5		17,5		15,9	
Heiz _P in GWh/a		98,2		96,2		90,5		80,9		72,7	
Heiz _{NP,P} in GWh/a	112,6	119,9	6,5	117,0	3,9	110,0	-2,3	98,4	-12,6	88,6	-21,3
QP _{NP,P} in GWh/a	129,2	134,7	4,3	119,4	-7,6	101,7	-21,3	83,1	-35,7	66,4	-48,6
politisches Ziel, Primärenergiebedarf											-80,0
CO _{2NP} in 1000t/a		6,0		5,1		4,1		3,3		2,6	
CO _{2P} in 1000t/a		27,3		23,6		19,1		15,4		12,1	
CO _{2NP,P} in 1000t/a	34,9	33,3	-4,8	28,7	-18,0	23,3	-33,5	18,7	-46,5	14,7	-57,9
politisches Ziel, CO ₂ in %	100%				-40,0		-55,0		-70,0		-80/-95
pro Einwohner, t CO ₂ /(a·E)	1,02	1,07		0,97		0,82		0,72		0,61	
pro Einwohner, % CO ₂ /E	100		5,6		-4,6		-19,8		-29,7		-40,4

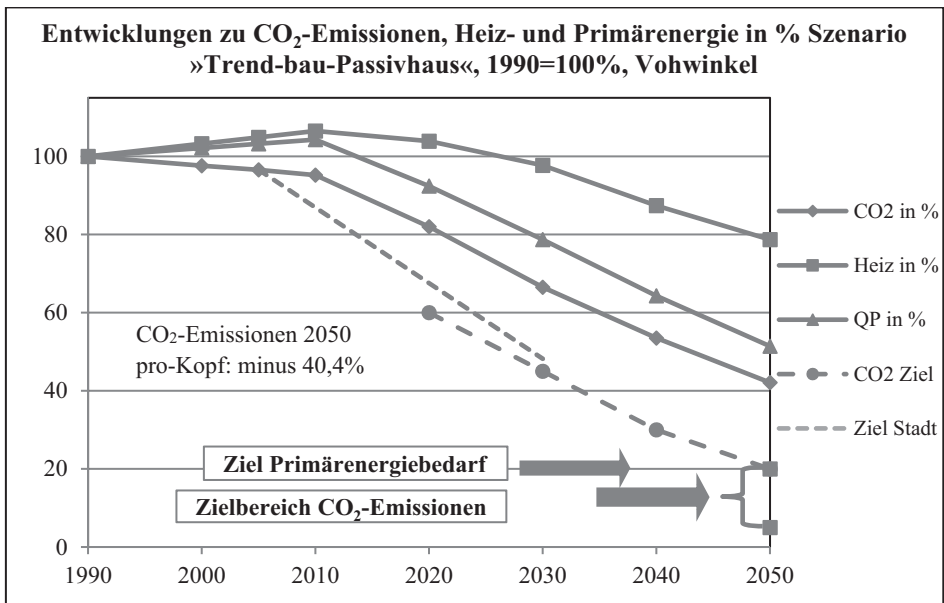
Quelle: Eigene Berechnungen

Als Ergebnis lässt sich feststellen, dass sich, bezogen auf das Jahr 2050, die CO₂-Minderungen von minus 49,8 Prozent beim Szenario »Trend-bau-Baupraxis« (siehe Tabelle 54, absoluter Werte) auf minus 57,9 Prozent in Vohwinkel steigern lassen. Das zusätzliche CO₂-Minderungspotenzial liegt somit bei etwa 8 Prozent.

Trotz der Annahme von Heizkennwerten gemäß Passivhausstandard bei Neubauten ab dem Jahr 2031 und verbesserten Heizkennwerten bei Sanierungen und Neubauten ab dem Jahr 2021 (Baualtersklasse F) nehmen die CO₂-Emissionen nicht signifikant ab und das Ziel im Jahr 2050 wird weiterhin verfehlt.

Bei einer pro-Kopf-Betrachtung weichen die Ergebnisse mit minus 40,4 Prozent noch weiter vom Zielbereich ab.

Abbildung 32: Szenario »Trend-bau-Passivhaus« bis 2050 in Vohwinkel



Legende: CO₂: CO₂-Emissionen in % Heiz: Heizenergie in %
 QP: Primärenergie in % CO₂ Ziel: bundesweite CO₂-Zielvorstellung in %
 Ziel Stadt: Wuppertaler CO₂-Zielvorstellung in %

Quelle: Eigene Berechnungen

Interpretation:

Dieses Szenario verdeutlicht das Potenzial von etwa acht Prozent durch die weitere Reduzierung der Heizwärmeverbräuche infolge der minimierten Heizkennwerte bei Neubauten, wenn auch die hohen Anforderungen an die Baupraxis beim Passivhausstandard für den Nichtwohngebäudebestand eingehalten werden können.

Infolge der bereits angenommenen Heizkennwerte in Anlehnung an den Passivhausstandard (vgl. 6.4.2 und 6.4.3) zur Trendfortschreibung und unter Berücksichtigung von Nutzungsbedingungen (zum Beispiel Effekte wie Heizen gegen Kühlen oder offene Türen und Tore) werden der zukünftige Energiemix und höhere Sanierungsraten entscheidend für das Erreichen der Minderungspotenziale sein, was beim Backcasting-Szenario berücksichtigt wird.

6.5.4 Ergebnisse zum Szenario »Trend-bau-kein Flächenzuwachs«

Bei diesem Szenario wird angenommen, dass zukünftig der Flächenabriss und der Flächenneubau zu keiner resultierenden Flächenerhöhung führen. Sonst bleiben die Annahmen zu den Schlüsselfaktoren wie beim Szenario »Trend-bau-Baupraxis«.

Die Abriss- und Neubaurate wird jeweils mit einem Prozent pro Jahr angenommen, damit der Einfluss der Flächenverschiebungen innerhalb der Baualtersklassen abweichend vom ursprünglichen Trend-Szenario mit Flächenzuwachs beurteilt werden kann.

Die Sanierungsrate wird unverändert mit 0,65 Prozent pro Jahr zu Grunde gelegt (vgl. 6.4.7, Tabelle 48). In Tabelle 57 sind die Raten aufgeführt, und in Abbildung 33 wird das Ergebnis der Flächenverschiebungen bei gleichbleibenden Gesamtflächen verdeutlicht. Die detaillierten Ergebnisse zu den Flächen gemäß angepasstem Flächenentwicklungsmodell (vgl. Anhang 4.13) sind in Anhang 4.14 hinterlegt.

Tabelle 57: Flächenraten Szenario »Trend-bau-kein Flächenzuwachs«

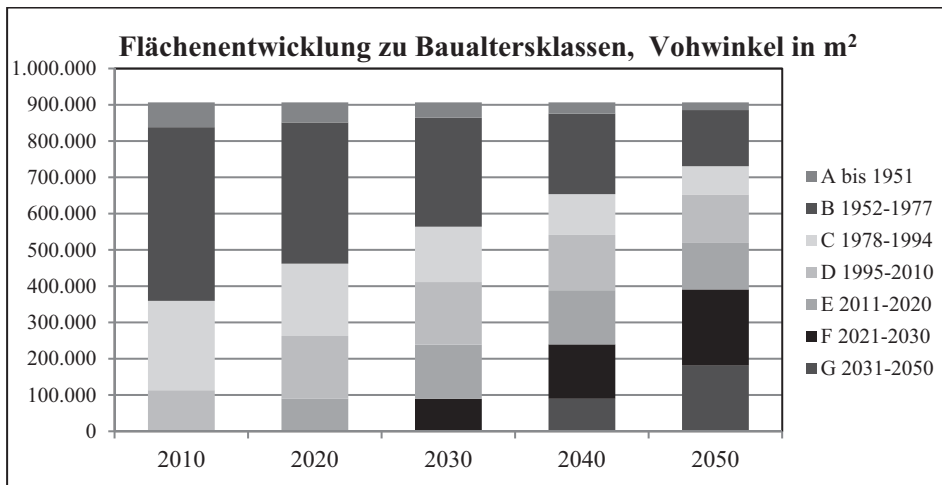
Legende: RZu: Neubaurate RAb: Abrissrate RSa: Sanierungsrate

Zeitraum/ jährliche Rate	2011-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050
Flächenneubaurate je Jahr, RZu	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%
Flächenabrissrate je Jahr, RAb	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%
energetische Sanierungsrate je Jahr, RSa	0,65%	0,65%	0,65%	0,65%
Nettoflächenzuwachs je Jahr	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Quelle: Eigene Annahmen

Die Abbildung 33 zeigt im Vergleich zur Abbildung 28 (vgl. 6.4.9) bzw. zum ursprünglichen Szenario »Trend-bau-Baupraxis«, dass bis zum Jahr 2050 die Flächenanteile der Baualtersklasse A bis C stärker abnehmen und die Flächenanteile der Baualtersklassen E bis F größer werden, was den energetischen Qualitätsstandard der Nichtwohngebäude insgesamt anhebt und die CO₂-Emissionen stärker reduziert.

Abbildung 33: Flächenverteilung Szenario »Trend-bau-kein Flächenzuwachs«,



Quelle: Eigene Berechnungen

Die Ergebnisse sind in Tabelle 58 und Abbildung 34 aufgeführt. Das Beibehalten der Gesamtflächen ohne Flächenzunahme führt in Vohwinkel zu einer CO₂-Minderung seit 1990 von minus 62,1 Prozent bzw. bei einer pro-Kopf-Betrachtung zu minus 46,3 Prozent.

Tabelle 58: Ergebnis Szenario »Trend-bau-kein Flächenzuwachs«, 1990-2050

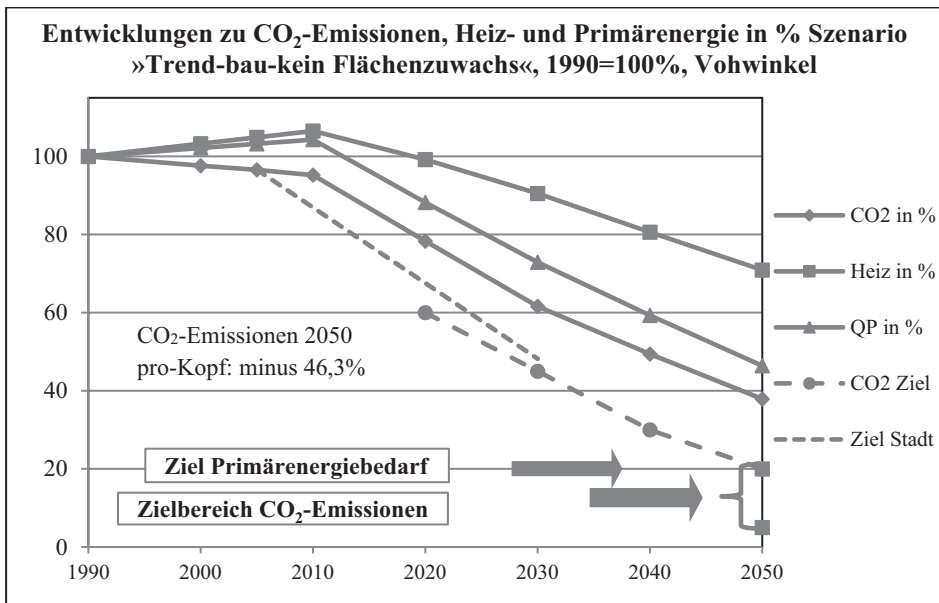
Berechnungsergebnisse zum Nichtwohngebäudebestand											
Vohwinkel (klimabereinigt)	1990	2010	%	2020	%	2030	%	2040	%	2050	%
Heiz _{NP} in GWh/a		21,7		19,8		17,8		15,6		13,7	
Heiz _P in GWh/a		98,2		91,9		84,1		75,1		66,1	
Heiz _{NP,P} in GWh/a	112,6	119,9	6,5	111,7	-0,8	101,9	-9,5	90,7	-19,4	79,8	-29,1
QP _{NP,P} in GWh/a	129,2	134,7	4,3	114,0	-11,8	94,2	-27,1	76,6	-40,7	59,9	-53,6
politisches Ziel, Primärenergiebedarf											-80,0
CO _{2NP} in 1000t/a		6,0		4,8		3,8		3,0		2,3	
CO _{2P} in 1000t/a		27,3		22,5		17,8		14,3		11,0	
CO _{2NP,P} in 1000t/a	34,9	33,3	-4,8	27,4	-21,7	21,5	-38,4	17,2	-50,6	13,3	-62,1
politisches Ziel, CO ₂ in %	100%				-40,0		-55,0		-70,0		-80/-95
pro Einwohner, t CO ₂ /(a·E)	1,02	1,07		0,93		0,76		0,66		0,55	
pro Einwohner, % CO ₂ /E	100		5,6		-8,9		-25,7		-35,2		-46,3

Quelle: Eigene Berechnungen

Interpretation:

In Vohwinkel können demnach die pro-Kopf-CO₂-Minderungen im Vergleich zum ursprünglichen Szenario »Trend-bau-Baupraxis« (minus 28,9 Prozent, vgl. 6.5.1) um 17,4 Prozent (absolut um rund zwölf Prozent) auf minus 46,3 Prozent reduziert werden, was einem Teileffekt entspricht. Insgesamt wird dennoch weiterhin der Zielbereich im Jahr 2050 verfehlt, was nur mit einer zusätzlichen Anhebung der Sanierungsrate und der weiteren Erhöhung der Anteile von erneuerbaren Wärmeenergien beim Energiemix vermeidbar ist.

Abbildung 34: Szenario »Trend-bau-kein Flächenzuwachs« bis 2050



Legende: CO₂: CO₂-Emissionen in % Heiz: Heizenergie in %
 QP: Primärenergie in % CO₂ Ziel: bundesweite CO₂-Zielvorstellung in %
 Ziel Stadt: Wuppertaler CO₂-Zielvorstellung in %

Quelle: Eigene Berechnungen

6.5.5 Zusammenfassung der Ergebnisse zu den Forecasting-Szenarien

Die Variationen zu einzelnen Schlüsselfaktoren führen gemäß den zuvor aufgeführten Szenarien nicht zur Zielerreichung. Die Szenarien auf Basis der Einschätzungen der befragten Akteure in Vohwinkel zeigen die Orientierungsrichtung auf, da der Zielbereich (pro-Kopf-Betrachtung) annähernd erreicht wird. Eine Kombination der Schlüsselfaktoren zur Erreichung der Ziele bis zum Jahr 2050 wird nachfolgend im Backcasting-Szenario aufgezeigt. Dieses Szenario wird daher auch als Leit-Szenario bezeichnet. Insgesamt ist auf Grund der Variationen bei den Forecasting-Szenarien feststellbar, dass folgende Randbedingungen zum Ziel führen können:

- eine Sanierungsrate von mindestens zwei Prozent pro Jahr,
- kein oder nur geringer Flächenzuwachs,
- Heizkennwerte, die auch nach baupraktischen Lösungen die theoretischen Ansätze einhalten,
- ein Energiemix mit entsprechend hohen Anteilen von erneuerbaren Wärmeenergien

6.6 Ableiten der Parameter zur Zielerreichung bis 2050 mit CO₂-Backcasting-Szenario

Ziel dieses Szenarios ist es, Leitparameter für den beheizten Nichtwohngebäudebestand aufzuzeigen, mit denen die absoluten und pro-Kopf-CO₂-Emissionen im Jahr 2050 den Zielbereich von minus 80 Prozent bis minus 95 Prozent gemäß Energiekonzept der Bundesregierung bzw. von mindestens minus 80 Prozent gemäß § 3 des Klimaschutzgesetzes von NRW erreicht werden können.

Die Eingangsdaten zu diesem Szenario sind daher ein Energiemix mit entsprechend hohen Anteilen zu erneuerbaren Wärmeenergien, eine Sanierungsrate von zwei Prozent pro Jahr sowie eine Neubau- und Abrissrate von jeweils einem Prozent pro Jahr, wodurch kein weiterer Flächenzuwachs entsteht.

Der gewählte Energiemix zum Jahr 2020 bis 2050 ist in Anhang 4.17 abgebildet. Für Vohwinkel wird auch für die Zukunft keine Fernwärmeversorgung angenommen. Der Anteil der erneuerbaren Wärmeenergien steigt bis zum Jahr 2050 auf 56 Prozent. Der Stromanteil zum Antrieb von Wärmepumpen beträgt zusätzlich 8,5 Prozent, wobei für den Strommix ebenso ein weiterer Anstieg von erneuerbaren Energien angenommen wird. Dies wird beim Primärenergiefaktor und beim CO₂-Emissionsfaktor berücksichtigt (vgl. 6.4.6). Die Grundlagen zur Flächenentwicklung sind in Anhang 4.18 und die Ergebnisse in Anhang 4.19 aufgeführt.

Die Sanierungsrate von zwei Prozent pro Jahr entspricht dabei bis zum Jahr 2020 einer Sanierungstiefe »Baualtersklasse D« und nicht dem Neubaustandard, was alternativ bei der Potenzialanalyse (Baualtersklasse E, vgl. 4.2) betrachtet wurde, da die Umsetzung eines Neubaustandards aus Sicht des Jahres 2014 bis zum Jahr 2020 nicht mehr realistisch erscheint.

Bei den Heizkennwerten werden die spezifischen Verbräuche gemäß Szenario »Trend-bau-Baupraxis« (vgl. 6.4.2 und 6.4.3) beibehalten, wobei der baupraktische Einfluss durch verbesserte Prozessabläufe bei der Planung und Bauausführung im Backcasting-Leit-Szenario entfällt. Dieser Ansatz wird gewählt, da zukünftig die am Bau Beteiligten sich weiter intensiv mit den steigenden Anforderungen auseinandersetzen müssen und dadurch den Anforderungen gerecht werden, was gerade beim Bauen in Anlehnung an den Passivhausstandard oder an Passivhauskomponenten eine Voraussetzung ist.

Die theoretisch optimierten Bedarfswerte von Passivhäusern (vgl. 6.5.3) von 15 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr werden beim Backcasting-Leit-Szenario nicht angesetzt, da durch die gewählten Heizkennwerte bereits insgesamt von einer energetisch sehr guten Neubauqualität und Sanierungstiefe ausgegangen wird.

Des Weiteren wird durch den Einfluss der optimierten Heizkennwerte gemäß Szenario »Trend-bau-Passivhaus« und dem Wirkungsanteil von zusätzlichen minus acht Prozent der Zielbereich nicht erreicht (vgl. 6.5.3). Ebenso sind nutzungsbedingte

Unterschiede (Heizen gegen Kühlen, offene Tore und Türen usw.) im Vergleich zum Wohnungsbau zu beachten, wodurch die Passivhausverbrauchskenwerte bei Nichtwohngebäuden im Durchschnitt höher liegen können als die theoretischen Bedarfs-werte.

Dennoch sollte grundsätzlich der Passivhausstandard das Ziel darstellen, zumal bis zur Umsetzung einer Sanierungsrate von zwei Prozent pro Jahr und der Vermeidung von Flächenzuwachs noch ein zeitlicher Verzug zu erwarten ist und bereits das Jahr 2014 angebrochen ist.

Als Vergleich zu den selbst gewählten Leitparametern werden nachfolgend Ein-gangsdaten des 95 Prozent-Szenarios beim Wohngebäudebestand gemäß Studie »LCC« aufgeführt. In dieser Studie wurde der Anteil von erneuerbaren Energie mit 60,8 Pro-zent angenommen. Die Sanierungsrate lag im Mittel bei 2,15 Prozent und die Abrissra-te sowie die Neubaurate gleichen sich in etwa aus. Die Heizkennwerte bei Neubauten wurden ab dem Jahr 2020 mit 15 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr ange-setzt, und die sanierten Gebäude erreichen einen Heizkennwert bis 60 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr im Jahr 2050.³⁶²

Insgesamt werden demnach vergleichbare Leitparameter festgestellt, wobei als we-sentlicher Unterschied bei den Nichtwohngebäuden keine 15 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr für Neubauten beim Nichtwohngebäudebestand angenommen werden, was zuvor begründet wurde.

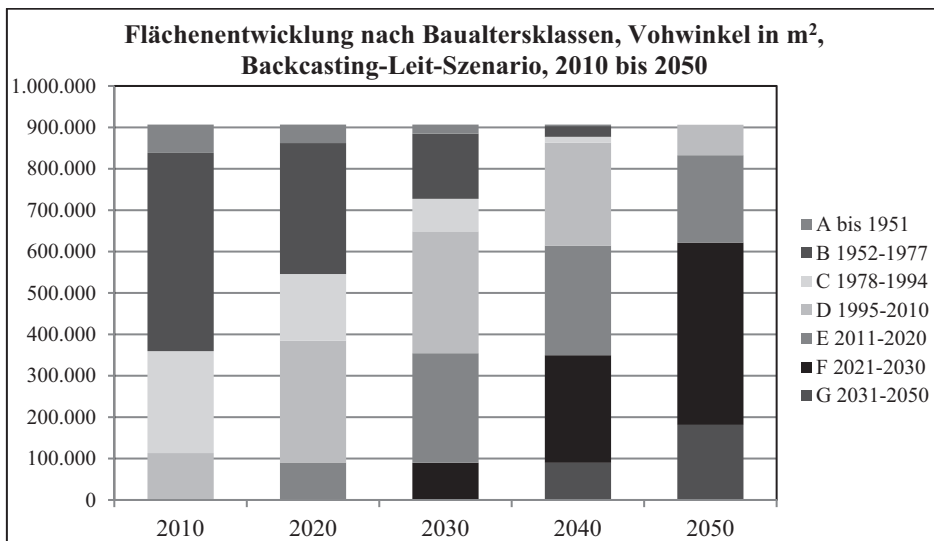
Die weiteren Berechnungen und Darstellungen beziehen sich auf die eigenen Leit-parameter, die für den beheizten Nichtwohngebäudebestand abgeschätzt wurden. In Ab-bildung 35 ist zunächst die Flächenentwicklung in Vohwinkel infolge der ange-nommenen Raten dargestellt.

Die Abbildung basiert auf der Anpassung des Flächenentwicklungsmodells gemäß Anhang 4.18 und der Detaildarstellung zu den zukünftigen Flächen gemäß Anhang 4.19. Es ist erkennbar, dass im Jahr 2050 die älteren Baualtersklassen A bis C ver-schwunden sind.

Es verbleibt ein kleiner Anteil von etwa acht Prozent zur Baualtersklasse D. Domi-niert wird der Bestand im Jahr 2050 von der Baualtersklasse F.

³⁶² Vgl. [Reu2012a], S. 130-131, Tab. 6.5: Reutter Oscar, Bierwirth Anja et al., 2012

Abbildung 35: Flächenverteilung Szenario »Backcasting-Leit« in Vohwinkel, 2010-2050



Quelle: Eigene Berechnungen

Ergebnisse:

In Tabelle 59 sind die Berechnungsergebnisse zu Vohwinkel aufgeführt und in Abbildung 36 mit Bezug zu den absoluten Werten veranschaulicht.

Tabelle 59: Ergebnis Szenario »Backcasting-Leit« in Vohwinkel, 1990 bis 2050

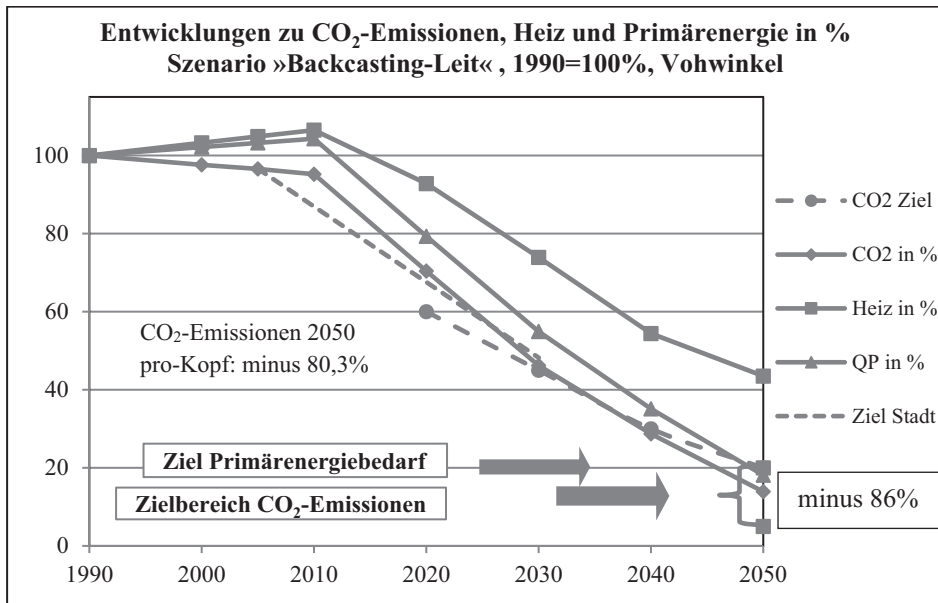
Berechnungsergebnisse zum Nichtwohngebäudebestand: Vohwinkel											
(klimabereinigt)	1990	2010	%	2020	%	2030	%	2040	%	2050	%
Heiz _{NP} in GWh/a		21,7		17,9		13,6		9,8		8,1	
Heiz _P in GWh/a		98,2		86,6		69,6		51,5		40,8	
Heiz _{NP,P} in GWh/a	112,6	119,9	6,5	104,4	-7,2	83,2	-26,1	61,3	-45,6	48,9	-56,5
QP _{NP,P} in GWh/a	129,2	134,7	4,3	102,5	-20,7	70,9	-45,1	45,3	-64,9	23,3	-81,9
politisches Ziel, Primärenergiebedarf											-80,0
CO _{2NP} in 1000t/a		6,0		4,2		2,6		1,6		0,8	
CO _{2P} in 1000t/a		27,3		20,4		13,5		8,4		4,0	
CO _{2NP,P} in 1000t/a	34,9	33,3	-4,8	24,6	-29,6	16,1	-53,8	10,0	-71,3	4,9	-86,1
CO ₂ -Minderung in %, 1990=100%	100				-40,0		-55,0		-70,0		-80/-95
pro Einwohner, t CO ₂ /(a·E)	1,02	1,07		0,83		0,57		0,38		0,20	
pro Einwohner, % CO ₂ /E	100		5,6		-18,1		-44,3		-62,3		-80,3

Quelle: Eigene Berechnungen

Es ist erkennbar, dass die CO₂-Emissionenminderungen in Vohwinkel in etwa ab dem Jahr 2030 die bundesweiten bzw. in etwa ab dem Jahr 2025 die städtischen Zielvorgaben einhalten und im Jahr 2050 der Zielbereich mit minus 86,1 Prozent (absoluter Wert) erreicht wird.

Der pro-Kopf-Wert beträgt minus 80,3 Prozent pro Kopf. Der Zielwert von minus 40 Prozent im Jahr 2020 wird jedoch in Vohwinkel deutlich verfehlt.

Abbildung 36: Szenario »Backcasting-Leit« bis 2050 in Vohwinkel



Quelle: Eigene Berechnungen

Aus Sicht des bereits angebrochenen Jahres 2014 und der verschleppten Einführung der EnEV 2014, die bereits seit 2012 eingeführt sein sollte, ist das Zwischenziel 2020 für Vohwinkel nicht weiter relevant zu betrachten, da bis zum Jahr 2020 nur noch geringfügige Auswirkungen nach der Einführung der EnEV 2014 zu erwarten sind.

Die Zielerreichung muss demnach für Vohwinkel ab dem Jahre 2030 anvisiert werden, da auch eine weitere Erhöhung der Sanierungsrate auf über zwei Prozent pro Jahr bis zum Jahr 2020 als Ausgleichsmaßnahme nicht als realistisch eingeschätzt wird.

Der Heizenergieverbrauch fällt bis zum Jahr 2050 auf minus 56,5 Prozent. Der Primärenergiebedarf reduziert sich auf minus 81,9 Prozent.

Demnach wird in Bezug auf die absoluten Werte das Ziel von minus 80 Prozent beim Primärenergiebedarf bis zum Jahr 2050 ebenso erreicht.

Bis zum Erreichen einer Sanierungsrate von zwei Prozent pro Jahr ist ein eventuelles Defizit durch eine entsprechend höhere Sanierungsrate in den nachfolgenden Jahren bis 2050 auszugleichen.

Eine solche ausgleichende Wirkung kann die Novelle zum Baugesetzbuch (BauGB)³⁶³ bewirken, da die Kommunen nun das Rückbaugeschäft von sogenannten »Schrottimmobilien«³⁶⁴ gemäß § 179 BauGB leichter anwenden können. Dadurch kann die Erhöhung der Sanierungsrate, Abrissrate oder die Ersatzneubauten begünstigt werden.

6.7 Vergleich der CO₂-Szenarien für Vohwinkel von 2010 bis 2050

In Anlehnung an eine bereits dargestellte CO₂-Szenariengegenüberstellung in zwei Vorveröffentlichungen³⁶⁵ auf Basis von ersten Hochrechnungen (Abschätzungen) zu Deutschland und zu Wuppertal werden hier die Szenarien zu Vohwinkel verglichen.

In der nachfolgenden Abbildung 37 werden die zuvor aufgeführten CO₂-Szenarien (vgl. 6.5 und 6.6) mit Bezug zu den absoluten Werten dargestellt. Die Szenarien, die auf Grund der Akteursbefragung entstanden sind, werden als Teilausschnitte zu den Nichtwohngebäudekategorien und als Vorbildfunktion ebenso für Vohwinkel aufgeführt.

Die zusätzlich farblich gekennzeichnete Fläche verdeutlicht die Lücke zwischen dem Szenario »Trend-bau-Baupraxis« und dem Zielverlauf bis minus 80 Prozent im Jahr 2050, die sich aus dem politischen Mindestziel gemäß Energiekonzept der Bundesregierung bzw. dem Klimaschutzgesetz in NRW ergibt.

Die beiden Verläufe werden hier als obere und untere Grenze angenommen, da einerseits damit das Mindestziel für den Klimaschutz und andererseits nach dem business-as-usual-Ansatz der zu erwartende Trend mit deutlich geringeren CO₂-Reduzierungen berücksichtigt wird.

Die Zielsetzung gemäß der Beschlusslage der Stadt Wuppertal wird bei der Betrachtung zur Lücke nicht berücksichtigt, da diese nur bis zum Jahr 2030 definiert ist. Die Farbfläche stellt demnach die zu viel emittierten Treibhausgase dar, die durch andere Sektoren aufgefangen werden müsste, wenn weitere strukturelle Maßnahmen unterbleiben und das Leit-Szenario nicht umgesetzt wird.

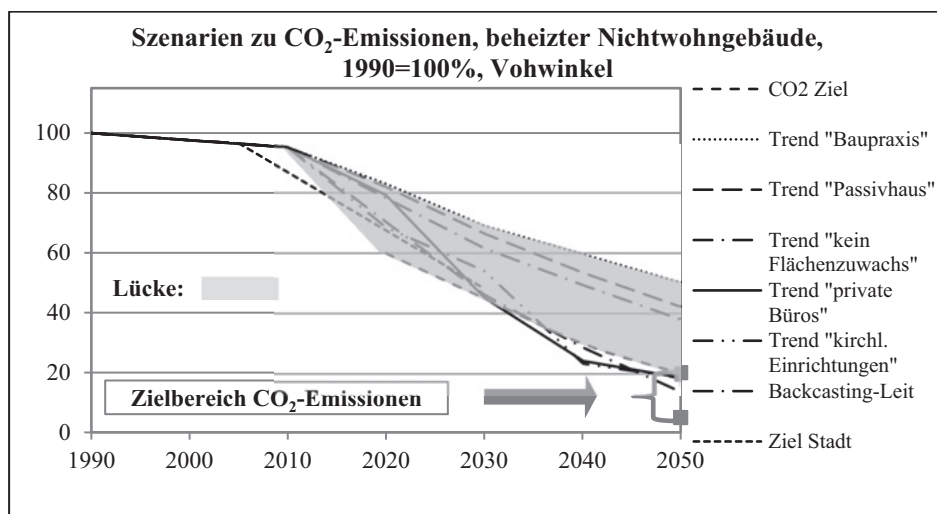
³⁶³ Baugesetzbuch (BauGB) in der Fassung der Bekanntmachung vom 23.09.2004 (BGBl. I S. 2414), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 22.07.2011 (BGBl. I S. 1509)

³⁶⁴ Vgl. [Hof2013], S. 8; Hoffmann Klaus, 2013 mit Verweis auf Bundesrat Drucksache 17/11468 und 17/10846

³⁶⁵ Vgl. [Hel2013], S. 221-223; Helmus Manfred, Reutter Oscar, Hamann Achim, 2013 und [Ham2013b], S. 15

Die zu viel emittierten Treibhausgase bis zum Jahr 2050 werden in Tabelle 60 berechnet und betragen rund 183.000 t, was bezogen auf den Bestand im Jahr 2010 (vgl. 3.2, Tabelle 20, 33.274 Tonnen pro Jahr) einem Faktor von 5,5 entspricht. Dies bedeutet, dass die 5,5-fache Jahresmenge des Jahres 2010 aus der Raumwärme der Nichtwohngebäude bis 2050 bei anderen Sektoren eingespart werden müsste, wenn das Szenario »Trend-bau-Baupraxis« eintritt.

Abbildung 37: Vergleich CO₂-Szenarien bis 2050 in Vohwinkel



Quellen: Eigene Berechnungen in Anlehnung an Vorveröffentlichung zu bundesweiten Szenarien: [Hel2013], S. 222

Tabelle 60 : Zu viel emittiertes CO₂, Vohwinkel von 2010 bis 2050, Szenario »Trend-bau-Baupraxis«

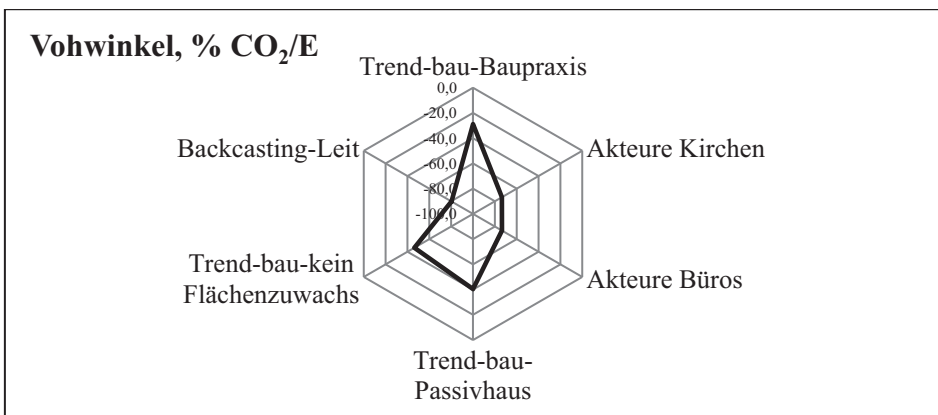
zu viel emittiertes CO ₂ in 1.000t	1990	2010		2020		2030		2040		2050
Szenario "Trend-bau-Baupraxis"		33,3		29,0		24,2		20,9		17,5
Werte gem. Zielsetzungen	34,9	33,3		20,9		15,7		24,4		7,0
Differenz		0,0		8,1		8,5		-3,5		10,5
Mittelwert			4,0		8,3		2,5		3,5	
Mittelwert über Zeitraum von 10 Jahren			40,3		82,8		24,8		35,0	
Summe 2010 bis 2050 in 1.000t										183

Quelle: Eigene Berechnungen

Die pro-Kopf-CO₂-Emissionen bewegen sich in Vohwinkel im Jahr 2050 zwischen 0,72 Tonnen CO₂ pro Jahr bzw. minus 28,9 Prozent pro Kopf (Trend-bau-Baupraxis) und 0,20 Tonnen CO₂ pro Jahr bzw. minus 80,3 Prozent pro Kopf (Backcasting-Leit).

In Abbildung 38 sind zur Verdeutlichung die erreichbaren prozentualen Minderungen als pro-Kopf-Werte für Vohwinkel je Szenario für das Jahr 2050 dargestellt. In Tabelle 61 sind dazu die Annahmen je Szenario markiert und die resultierenden Auswirkungen auf CO₂-Minderungen zusammengestellt. Die angegebenen Prozentsätze beziehen sich auf Minderungen seit 1990 (100 Prozent) gemäß Startbilanz (vgl. 6.3).

Abbildung 38: Vergleich pro-Kopf-Minderungen in Prozent bis 2050, Vohwinkel



Quelle: Eigene Berechnungen

Der Zielwert für sämtliche CO₂-Emissionen aus allen Sektoren im Jahr 2050 liegt, bezogen auf eine globale Betrachtung und unter Berücksichtigung von zehn Milliarden Menschen, bei einer Tonne CO₂ pro Kopf und Jahr³⁶⁶ (vgl. 3.2).

Da die Raumwärme der Nichtwohngebäude im Jahr 2010 im Stadtgebiet von Wuppertal einen Anteil von etwa 12,7 Prozent (vgl. 3.5) hat, müsste demnach der pro-Kopf-Wert im Jahr 2050 in etwa 0,13 Tonnen CO₂ pro Jahr erreichen.

Wird nur der Stadtbezirk Vohwinkel betrachtet, müssen zusätzliche Anstrengungen unternommen werden, damit der Wert im Jahr 2050 von 0,20 Tonnen CO₂ pro Kopf und Jahr auf etwa 0,13 Tonnen CO₂ pro Kopf und Jahr gesenkt werden kann.

Inwiefern die Fernwärme mit dazu beitragen kann, wird in den ergänzend aufbereiteten Szenarien zum Stadtgebiet Wuppertal untersucht (vgl. 6.9).

³⁶⁶ Vgl. [Die2008], Folie 4: Diefenbach Nikolaus, 2007

Tabelle 61: Zusammenstellung Szenarienannahmen und resultierende Auswirkungen auf CO₂-Minderungen

1	Parameter bis zum Jahr 2050 / Szenarien	Szenario "Trend-bau"	Szenario "Trend-bau-Baupraxis"	Szenario "Trend-bau-Akteursbefragung - Kircheneinrichtungen"	Szenario "Trend-bau-Akteursbefragung - private Büros"	Szenario "Trend-bau-Passivhaus"	Szenario "Trend-bau-kein Flächenzuwachs"	Szenario "Backcasting-Leit"
2	Verringerung Heizkennwerte bis 30 kWh/(m ² ·a) (Verbesserung Gebäudehülle und Heiztechnik in Anlehnung an Passivhausstandard), Sanierungsrate=0,65%/a, Flächenzuwachsrate im Mittel=0,53%/a			Flächen-raten nach Zeile 6	Flächen-raten nach Zeile 7			
3	Baupraktischer Einfluss, Komplexität am Bau: Abweichung Heizendenergieverbrauch um plus 30% bei Neubau und Sanierungen							
4	Weitere Verringerung der Heizkennwerte bis 15 kWh/(m ² ·a) auf Passivhausstandard							
5	Steigerung Anteil erneuerbare Wärmeenergien beim Energiemix auf 31% zzgl. 4,7% Heizstrom für Wärmepumpen (Verbesserung Primärenergie- und CO ₂ -Emissionsfaktoren bei Strommix bis 0,77/168g/kWh)							
6	Steigerung Anteil erneuerbare Wärmeenergien beim Energiemix auf 55% zzgl. 8% Heizstrom für Wärmepumpen gemäß Aktuersbefragung zu Kirchen (Verbesserung Primärenergie- und CO ₂ -Emissionsfaktoren bei Strommix bis 0,77/168g/kWh), Sanierungsrate=2,7%/a, Flächenzuwachsrate=-0,33%/a							
7	Steigerung Anteil erneuerbare Wärmeenergien beim Energiemix auf 68,5% zzgl. 9% Heizstrom für Wärmepumpen gemäß Aktuersbefragung zu Büros (Verbesserung Primärenergie- und CO ₂ -Emissionsfaktoren bei Strommix bis 0,77/168g/kWh), Sanierungsrate=2,7%/a, Flächenzuwachsrate=1,27%/a							

	Parameter bis zum Jahr 2050 / Szenarien	Szenario "Trend-bau"	Szenario "Trend-bau-Baupraxis"	Szenario "Trend-bau-Akteursbefragung - Kircheneinrichtungen"	Szenario "Trend-bau-Akteursbefragung - private Büros"	Szenario "Trend-bau-Passivhaus"	Szenario "Trend-bau-kein Flächenzuwachs"	Szenario "Backcasting-Leit"
8	Steigerung Anteil erneuerbare Wärmeenergien beim Energiemix auf 56% zzgl. 8,5% Heizstrom für Wärmepumpen (Verbesserung Primärenergie- und CO ₂ -Emissionsfaktoren bei Strommix bis 0,77/168g/kWh)							
9	Steigerung Sanierungsrate von 0,65%/a auf 2%/a							
10	Vermeidung des mittleren Flächenzuwachses von 0,53%/a							
11	Ergebnis: CO₂-Minderungen in % (pro-Kopf)	minus 34,0	minus 28,9	minus 73,6	minus 73,5	minus 40,4	minus 46,3	minus 80,3

Quelle: Eigene Annahmen und Berechnungen

6.8 Wirkungsanteile der Effizienz! Konsistenz! Suffizienz! - Strategien

Die Szenarien zeigen, dass nur eine Kombination der drei Teilstrategien »Effizienz: Besser! - Konsistenz: Anders! - Suffizienz: Weniger!«³⁶⁷ mit entsprechenden Maßnahmen, die die »... drei richtungssicheren Basisstrategien ...«³⁶⁸ einer zukunftsfähigen Stadtentwicklung zur Reduzierung der CO₂-Emissionen aus der Raumwärme der Nichtwohngebäude unterstützen, zum Ziel führt. Dies wurde bereits in der Studie »LCC« zu Wuppertal für die Wohngebäude aufgezeigt³⁶⁹ und gilt auch für die CO₂-Minderungen von mindestens 80 Prozent bei der Beheizung der Nichtwohngebäude.

In Tabelle 62 werden die Maßnahmen und ihre prozentualen Wirkungsanteile, bezogen auf 100 Prozent Gesamtwirkung (minus 86,1 Prozent absolute Minderung seit 1990) je Maßnahme abgeschätzt. Die Maßnahmen entsprechen den berücksichtigten Eingangsparametern bei den Szenarien. Grundlage zur Abschätzung der Wirkungsanteile waren die Vergleiche zwischen den untersuchten Szenarien für das Jahr 2050 und die Vergleichsrechnungen in Anhang 4.20. Mit den Wirkungsanteilen werden die »Wenn-Dann-Beziehungen« verdeutlicht. Wenn eine Maßnahme realisiert wird, dann entsteht die angegebene Größenordnung von CO₂-Minderungen. Können die Heizkennwerte bei Neubauten darüber hinaus weiter auf ca. 15 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr als optimierter Passivhauswert reduziert werden, würden weitere acht

³⁶⁷ Vgl. [Reu2012a], S. 120 und S. 135, Tab. 6.5: Reutter Oscar, Bierwirth Anja et al., 2012

³⁶⁸ [Reu2012b], S. 9: Reutter Oscar, 2012

³⁶⁹ Vgl. [Reu2012a], S. 120 und S. 135, Tab. 6.5: Reutter Oscar, Bierwirth Anja et al., 2012

Prozent (vgl. 6.5.3) CO₂-Emissionen eingespart werden. Dieses Potenzial sollte ebenso angestrebt werden, da sich die Berechnungen auf das Bestandsjahr 2010 stützen und inzwischen das Jahr 2014 angebrochen ist, ohne dass eine Sanierungsrate von zwei Prozent pro Jahr bereits erreicht wird und die aktualisierte Energieeinsparverordnung neue Anforderungen erst ab 2016 vorsieht.

Tabelle 62: Strategieansätze und CO₂-Wirkungsanteile in Prozent, Vohwinkel

Maßnahmen zur zukunftsfähigen Stadtentwicklung (beheizte Nichtwohngebäude) und ihre Wirkungsanteile: Wuppertal-Vohwinkel bis 2050			
Strategie	Maßnahme	Wirkungsanteil	Bemerkung
Effizienz: Besser!	Reduzierung Heizkennwerte, Sanierungsrate = 0,65%/a: ausgehend vom Bestand (2010) und von im Mittel 146,61 kWh/(m ² ·a) auf im Mittel 44,5 kWh/(m ² ·a) bei Neubauten und auf 59 kWh/(m ² ·a) bei Sanierungen (Faktor 3 bis 5)	21%	Ergebnis "Trend-bau-Baupraxis" (6.5.1) abzgl. "Trend-bau mit Heizkennwerte Baualterklasse E bis G wie D" (Anhang 4.20) zzgl. Effekte aus Vermeidung von Flächenzuwachs (siehe unten, mittlere Zuwachsrate von 0,53%/a eliminiert)
	Steigerung der Sanierungsrate auf mindestens 2%/a	28%	
	Vermeidung von baupraktischen Effekten auf den Raumwärmeenergieverbrauch	4%	
Konsistenz: Anders!	Energiemix: Erreichen der Anteile an erneuerbaren Wärmeenergien von mindestens 31% (Holz, Solarthermie, Geothermie, Umweltwärme, Abwasserwärme) zzgl. 4,7% Stromanteil für Wärmepumpen	24%	Ergebnis "Trend-bau-Baupraxis" (6.5.1) abzgl. Effekte aus Heizkennwerte/Sanierungsrate = 0,65%/a (siehe oben), Baupraxis (siehe oben) und Vermeidung von Flächenzuwachs (siehe unten)
	Energiemix: Steigerung des Anteils erneuerbarer Wärmeenergien auf mindestens 56% (Holz, Solarthermie, Geothermie, Umweltwärme, Abwasserwärme) zzgl. 8,5% Stromanteil für Wärmepumpen	11%	
Suffizienz: Weniger!	Vermeidung eines weiteren Flächenzuwachses: Abrissrate = Neubaurate	12%	Ergebnis "Trend-bau-kein Flächenzuwachs" (6.5.4) abzgl. Ergebnis Trend-bau-Baupraxis (vgl. 6.5.1)

Quellen: Eigene Berechnungen, in Anlehnung an [Ham2013b], S. 16 und [Reu2012b], S. 9

6.9 Ergebnisse zu CO₂-Szenarien bis 2050 für Wuppertal

Die Szenarien zum Stadtbezirk Vohwinkel berücksichtigen beim Energiemix keine Fernwärme, da nach Aussage der Wuppertaler Stadtwerke (vgl. 6.1) der Ausbau der Fernwärme in Vohwinkel derzeit nicht angenommen werden kann.

Zur Abschätzung des Einflusses der Fernwärme als zusätzliche Ersatzenergiequelle für fossile Brennstoffe und ob der Ausbau in Vohwinkel generell empfohlen werden soll, werden daher ergänzend Szenarien für Wuppertal (vgl. Anhang 4.21 bis 4.23) mit angepasstem Energiemix berechnet (vgl. 6.4.4, Tabelle 44). Die Abschätzung erfolgt mit Hilfe einer Hochrechnung (vgl. 2.8.3) zum Stadtgebiet von Wuppertal auch deswegen, da insgesamt auch die Szenarien zum gesamten Stadtgebiet von Interesse sind. Die Abschätzungen aus den Hochrechnungen zu Wuppertal für die Stützjahre 2020 bis 2050 basieren auf dem gleichen Verhältnis zu den sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten wie für das Jahr 2010, da ähnliche Verhältnisse zwischen Vohwinkel und der Stadt Wuppertal zum Zeitpunkt der Stützjahre angenommen werden.

In Tabelle 63 sind die Ergebnisse zu den abgeschätzten Wirkungsanteilen, bezogen auf 100 Prozent Gesamtwirkung (minus 92,1 Prozent absolute Minderung seit 1990, Szenario »Backcasting-Leit«, vgl. Anhang 4.22) für die Stadt Wuppertal aufgeführt.

Die detaillierten Darstellungen und Ergebnisse zu den Szenarien inklusive dem angenommenen Energiemix von 2020 bis 2050 ist als Anhang 4.21 bis 4.23 beigelegt. Die Grundlagen und Ergebnisse zu den Flächenanpassungen für das Stadtgebiet Wuppertal auch unter einer alternativen Berücksichtigung der Annahmen gemäß Studie »LCC« für Wuppertal sind in Anhang 4.8, 4.10 und 4.11 aufgeführt.

Gemäß den Ergebnissen ist erkennbar, dass der Energiemix mit Fernwärmeanteil einen um etwa zehn Prozent größeren Wirkungsanteil aufweist als in Vohwinkel (vgl. Tabelle 62 und 63: 45% - 35% = 10%). Die Ziele im Jahr 2050 werden in Vohwinkel grundsätzlich auch ohne Fernwärme erreicht, wenn die Anteile der erneuerbaren Energien umgesetzt werden. Insofern ist die Umsetzung der Fernwärme keine absolute Notwendigkeit und sollte daher auch unter wirtschaftlichen Aspekten entschieden werden. Jedoch wird beim pro-Kopf-Wert in Vohwinkel das Mindestziel von minus 80 Prozent im Jahr 2050 gerade erreicht.

Generell ist die Fernwärme jedoch empfehlenswert, da für die Stadt Wuppertal infolge des Energiemixes die Ziele bereits ab dem Jahr 2020 erreichbar sind und in Vohwinkel ohne Fernwärme dagegen erst ab dem Jahr 2025 bzw. 2030 (vgl. 6.6). Zusätzlich müssen als Ausgleich für die fehlende Fernwärme in Vohwinkel die Sanierungsrate von zwei Prozent pro Jahr und die verbesserten Heizkennwerte durch energetische Anpassungen der Gebäudehülle und Heiztechnik größere Wirkungsanteile (53 Prozent statt 45 Prozent, vgl. Tabelle 62 und 63) leisten, was insgesamt als schwieriger eingeschätzt wird, da die Umsetzung vom Mitwirken vieler Akteure abhängig ist.

Tabelle 63: Strategieansätze und CO₂-Wirkungsanteile in Prozent, Wuppertal

Maßnahmen zur zukunftsfähigen Stadtentwicklung (beheizte Nichtwohngebäude) und ihre Wirkungsanteile: Wuppertal bis 2050			
Strategie	Maßnahme	Wirkungsanteil	Bemerkung
Effizienz: Besser!	Reduzierung Heizkennwerte, Sanierungsrate = 0,65%/a: ausgehend vom Bestand (2010) und von im Mittel 146,61 kWh/(m ² ·a) auf im Mittel 44,5 kWh/(m ² ·a) bei Neubauten und auf 59 kWh/(m ² ·a) bei Sanierungen (Faktor 3 bis 5)	20%	Ergebnis "Trend-bau-Baupraxis" (Anhang 4.21) abzgl. "Trend-bau mit Heizkennwerte Baualtersklasse E bis G wie D" (Anhang 4.23) zzgl. Effekte und Vermeidung von Flächenzuwachs (siehe unten, mittlere Zuwachsrate von 0,53%/a eliminiert) Ergebnis "Backcasting-Leit" (Anhang 4.22) abzgl. Effekte aus Heizkennwerte/ Sanierungsrate=0,65%/a (siehe oben), kein Flächenzuwachs (siehe unten) sowie abzgl. Effekte Energiemix mit 54% Anteil erneuerbarer Wärmenergien (siehe unten) Ergebnis "Trend-bau" abzgl. Ergebnis "Trend-bau-Baupraxis" (Anhang 4.21)
	Steigerung der Sanierungsrate auf mindestens 2%/a	22%	
	Vermeidung von baupraktischen Effekten auf den Raumwärmeenergieverbrauch	3%	
Konsistenz: Anders!	Energiemix: Erreichen der Anteile an erneuerbaren Wärmeenergien von mindestens 31% (Holz, Solarthermie, Geothermie, Umweltwärme, Abwasserwärme) zzgl. 4,7% Stromanteil für Wärmepumpen und 18,7% Fernwärme	34%	Ergebnis "Trend-bau-Baupraxis" (Anhang 4.21) abzgl. Effekte aus Heizkennwerte/ Sanierungsrate=0,65%/a (siehe oben), Baupraxis (siehe oben) und Vermeidung von Flächenzuwachs (siehe unten) Ergebnis "Backcasting-Leit" (Anhang 4.22) abzgl. Ergebnis "Backcasting-Leit inkl. Energiemix Trend-bau-Baupraxis (Anhang 4.23)
	Energiemix: Steigerung des Anteils erneuerbarer Wärmeenergien auf mindestens 54% (Holz, Solarthermie, Geothermie, Umweltwärme, Abwasserwärme) zzgl. 8% Stromanteil für Wärmepumpen und 21% Fernwärme	11%	
Suffizienz: Weniger!	Vermeidung eines weiteren Flächenzuwachses: Abrissrate = Neubaurate	10%	Ergebnis "Trend-bau-kein Flächenzuwachs" abzgl. "Trend-bau-Baupraxis" (Anhang 4.21)

Quellen: Eigene Berechnungen in Anlehnung an [Reu2012b], S. 9, vorveröffentlicht unter: [Ham2013b], S. 16

Für das Stadtgebiet Wuppertal liegen die pro-Kopf-Emissionen zwischen 0,54 Tonnen CO₂ pro Jahr bzw. minus 49,2 Prozent pro Kopf (Szenario »Trend-bau-Baupraxis«)

und 0,12 Tonnen CO₂ pro Jahr³⁷⁰ bzw. minus 88,7 Prozent pro Kopf (Szenario »Backcasting-Leit«). Beim Szenario »Backcasting-Leit« werden in Wuppertal infolge des Fernwärmeanteils bei sonst gleichen Randbedingungen pro Kopf 8,4 Prozent höhere CO₂-Minderungen, bezogen auf das Jahr 1990, erzielt als in Vohwinkel, was dem zuvor gerundeten Wirkungsanteil der Fernwärme von zehn Prozent entspricht.

6.10 Zusammenfassung zu den CO₂-Szenarien

Bei der Szenarienerstellung werden folgende Schlüsselfaktoren bis 2050 abgeschätzt und variiert:

- zukünftige Baualtersklassen E bis G mit zukünftigen Heizkennwerten je Gebäudekategorie
- Energiemix mit Anteilen von erneuerbaren Wärmeenergien inklusive Strommix für Wärmepumpenantrieb
- Primärenergiefaktoren und CO₂-Emissionsfaktoren
- Neubau- und Abrissrate sowie energetische Sanierungsrate

Als Ausgangssituation zum Raum möglicher Szenarien wird ein Forecasting-Szenario betrachtet, welches durch Entwicklungen nach einem »business as usual-Ansatz« gekennzeichnet ist und dabei auch den Einfluss der baupraktischen Komplexität berücksichtigt.

Die übrigen Forecasting-Szenarien mit verschiedenen beschleunigenden Einflüssen (Erhöhung der Sanierungsrate und Anteile der erneuerbaren Energien, verbesserte Heizkennwerte sowie kein Flächenzuwachs) werden mit diesem Ausgangsszenario verglichen, wobei auch die Teilbestände »private Büroflächen« und »kirchliche Einrichtungen« auf Grundlage einer Akteursbefragung in Vohwinkel betrachtet werden.

Die Ergebnisse aus diesen Forecasting-Szenarien werden zur Bestimmung der Leitparameter für das Backcasting-Szenario genutzt. Das Backcasting-Szenario erreicht den Zielbereich. Zu den Leitparametern werden die CO₂-Wirkungsanteile aufbereitet.

Mit der Variation der Schlüsselfaktoren bei den Szenarien stellt der Raum möglicher Zukünfte gleichzeitig eine Sensitivitätsanalyse dar. Die Szenarien beziehen sich dabei generell auf eine Abschätzung zur Ausgangssituation im Jahr 1990.

Diese Ausgangssituation wird der 100 Prozent-Startbilanz gleichgesetzt, wodurch die prozentualen Minderungen abgeschätzt werden können. Nachfolgend sind die Szenarien nochmals zusammengestellt:

Forecasting-Szenarien:

Szenario »Trend-bau-Baupraxis«, vollständiger Nichtwohngebäudebestand

³⁷⁰ Vgl. [Ham2013b], S. 16: Hamann Achim, 2013

Szenario »Trend-bau-Akteursbefragung«, Teilbestände kirchliche Einrichtungen und private Büroflächen

Szenario«Trend-bau-Passivhaus«, vollständiger Nichtwohngebäudebestand

Szenario«Trend-bau-kein Flächenzuwachs«, vollständiger

Nichtwohngebäudebestand

Backcasting-Szenario:

Szenario«Backcasting-Leit«, vollständiger Nichtwohngebäudebestand

Die prozentualen Minderungen gemäß Leitszenario »Backcasting-Leit« liegen im Jahr 2050 in Vohwinkel, bezogen auf die absoluten Ergebnisse bei minus 86,1 Prozent. Die pro-Kopf-Werte liegen bei minus 80,3 Prozent.

Im gesamten Stadtgebiet Wuppertal liegen die absoluten Minderungen bei minus 92,1 Prozent und die pro-Kopf-Minderung bei 88,7 Prozent. Die Differenzen ergeben sich infolge des Fernwärmeeinflusses, der in Vohwinkel nicht vorhanden ist und auch bis zum Jahr 2050 nicht berücksichtigt wurde. Insgesamt sprechen die Ergebnisse für die Umsetzung der Fernwärme in Vohwinkel, auch wenn der Ausbau der Fernwärme in Vohwinkel derzeit nicht vorgesehen ist.

Die prozentualen pro-Kopf-Werte fallen im Gegensatz zu den absoluten Werten geringer aus, da der Einfluss des Bevölkerungsrückgangs in Wuppertal spürbar wird. Um den Zielbereich in Vohwinkel mit einem pro-Kopf-Wert von minus 80,3 Prozent zu erreichen, sind beim beheizten Nichtwohngebäudebestand folgende **Maßnahmen**³⁷¹ notwendig:

- 1 die energetische Sanierungsrate ist kurzfristig auf mindestens zwei Prozent pro Jahr zu steigern und bis 2050 beizubehalten, bezogen auf die Bestandssanierungsrate von 0,65 Prozent pro Jahr, ist somit bei der Sanierungsrate eine Erhöhung um den Faktor drei erforderlich,
- 2 die erneuerbaren Wärmeenergien sind bis 2050 auf 56 Prozent anzuheben, zuzüglich 8,5 Prozent Heizstrom für Wärmepumpen mit einem CO₂-Emissionsfaktor von insgesamt 129 Gramm pro Kilowattstunde, was mindestens einen 69 prozentigen Anteil bei den erneuerbaren Energien beim Heizstrom bis zum Jahr 2050 voraussetzt,
- 3 der Flächenneubau ist mit einer gleichgroßen Abrissrate auszugleichen, damit ein weiterer Flächenzuwachs vermieden wird,
- 4 die baupraktische Komplexität sollte nicht weiterhin zu höheren Verbräuchen führen, als diese planmäßig angedacht sind,
- 5 die Heizkennwerte müssen mindestens um den Faktor drei bis fünf reduziert werden.

³⁷¹ Vgl. [Ham2013b], S. 14: Hamann Achim, 2013 (in Anlehnung an Vorveröffentlichung zu Szenarien für Wuppertal)

7 Fazit

Die unter 1.3 aufgezeigten Kern-Forschungsfragen konnten beantwortet werden. Dazu wurde zur Bestimmung der Ist-Situation ein Bestandsmodell auf Basis von örtlich überprüften GIS-Daten zum Bilanzraum eines Stadtteils erstellt.

Das Bestandsmodell wurde für Hochrechnungen bzw. Abschätzungen zu einem gesamten Stadtgebiet (Bilanzraum Stadt) erweitert und auf den Stadtbezirk Vohwinkel sowie die Stadt Wuppertal angewendet.

Insgesamt wird festgestellt, dass die CO₂-Emissionen aus der Erzeugung der Raumwärme für Nichtwohngebäude in etwa bei 13% der CO₂-Gesamtemissionen liegen. Bezogen auf den gesamten Raumwärmesektor (inklusive Wohngebäude) liegt der Anteil der CO₂-Emissionen aus beheizten Nichtwohngebäuden bei etwa 42%. Der Anteil der CO₂-Emissionen der Wirtschaftsbauten beträgt beim beheizten Nichtwohngebäudebestand rund 80%. Die Non-Profit-Organisationen verursachen die übrigen rund 20%.

Zugleich konnten die Nichtwohngebäudetypen mit einem großen Sanierungspotenzial bis zum Jahr 2020 ermittelt werden. Am Beispiel von Wuppertal-Vohwinkel kann ein CO₂-Minderungspotenzial von 2010 bis zum Jahr 2020 von 10% bis 17% je nach Sanierungstiefe der Sanierungsmaßnahmen abgeschätzt werden. Die entwickelte Potenzialanalyse bewertet die einzelnen Nichtwohngebäudekategorien, wodurch die Größenordnung je Gebäudekategorie deutlich wird.

Dadurch werden die Kategorien bzw. Akteure identifiziert, die kurzfristig zu einem großen CO₂-Minderungspotenzial beitragen können.

Die Einschätzungen von verantwortlichen Akteuren im Stadtbezirk Vohwinkel konnten mit einer Befragung ausschnittsweise zu Teilbeständen gewonnen werden. Die Ergebnisse zum Bestand machten weitere Betrachtungen zur Ausgangssituation im Jahr 1990 und für zukünftige Entwicklungen sowie zu Leitparametern zwecks Zielerreichung möglich.

Mit Hilfe des Bestandsmodells wurde die Startbilanz zum Jahr 1990 erstellt und CO₂-Szenarien bis zum Jahr 2050 berechnet, indem die Schlüsselfaktoren entsprechend variiert wurden. Im Vergleich zum Jahr 1990 liegen die CO₂-Emissionen aus der Raumwärme von Nichtwohngebäuden im Jahr 2010 in Vohwinkel erst bei etwa minus fünf Prozent.

Der sich abzeichnende Trend lässt eine Minderung bis zum Jahr 2050 auf etwa 50 Prozent erwarten. Um eine mindestens 80prozentige CO₂-Reduzierung bis zum Jahr 2050 zu erreichen, sind zusätzliche Anstrengungen notwendig (siehe Maßnahmen unter 6.10). Daher werden in Tabelle 64 Ansatzpunkte zur Umsetzung der zuvor aufgeführten fünf notwendigen Maßnahmen (vgl. 6.10) aufgezeigt.

Auf Grund der durchgeführten Akteursbefragung in Wuppertal-Vohwinkel kann davon ausgegangen werden, dass ein grundsätzliches Interesse an einer wirtschaftli-

chen, energetischen Sanierung des Nichtwohngebäudebestandes und an energieeffizienten Neubauten bei den Entscheidern vorhanden ist. Die Thematik wird jedoch infolge des Tagesgeschäftes vernachlässigt.

In Abbildung 39 sind die relevanten Akteure dargestellt, die bei Umsetzung der Leitparameter von Bedeutung sind und grundsätzlich etwas zur anstehenden gesellschaftlichen Herausforderung beitragen können. In Tabelle 64 werden den Akteuren die Ansatzpunkte für Umsetzungsstrategien zugeordnet und damit dargestellt, was die einzelnen Akteursbereiche dazu beitragen können.

Abbildung 39: Mitwirkende Akteure bei Umsetzungsstrategien



Quelle: Eigene Darstellung, vorheröffentlicht unter: [Ham2013b], S. 18

Die nachfolgenden Handlungsempfehlungen und Ansatzpunkte in Tabelle 64 können zur Umsetzung der fünf notwendigen Maßnahmen (vgl. 6.10) und zum Erreichen der CO₂-Ziele im Sektor »Raumwärme bei Nichtwohngebäuden« beitragen.

Das Erreichen von stark reduzierten CO₂-Emissionen im Raumwärmebereich der Nichtwohngebäude stellt sich als eine große gesellschaftliche Herausforderung dar. Die Befragung der Akteure in Wuppertal-Vohwinkel macht Mut, da der Wille der Akteure erkennbar ist.

Darauf aufbauend ist nun die Zeit für alle Beteiligte gekommen, die notwendigen Maßnahmen einzuleiten und umzusetzen.

Tabelle 64: Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der Leitparameter

Akteure	Ansatzpunkte für Umsetzungsstrategien
Immobilienverantwortliche / Eigentümer:	anstehende Sanierungswelle zur umfänglichen Sanierung nutzen
	sich intensiver mit Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und Lebenszyklen beschäftigen
Kommune / Energieagenturen	Energieberater und Planer mit Gebäudeverantwortliche der Profit-Organisationen zusammenbringen
	für langfristige Planungssicherheit sorgen (Konzepte zu innerstädtischen Lagen), löst derzeitigen Investitionsstau wegen Unsicherheiten auf
	Vollzug bei „Schrottimmobilien“ gemäß § 179 BauGB durchführen
	Bauqualität durch Prüfvollzug der Bauämter sicherstellen
	andere Akteure sollten für Umsetzungsmaßnahmen mit Hilfe der vorbildlichen Einschätzungen der befragten Akteure gewonnen werden
	direkte Kommunikation mit den Profit- und Non-Profit-Organisationen zur Notwendigkeit des Klimaschutzes und der Gebäudesanierung betreiben
	die Entwicklungsschritte mit dem Zielpfad vergleichen und den Akteuren den Zwischenstand aufzeigen
	die Bestandsuntersuchungen sollten auf das vollständige Stadtgebiet von Wuppertal ausgedehnt werden
Bundespolitik	Förderprogramme zu KfW-Effizienzhäuser zur Gebäudehülle und Heiztechnik wie im Wohnungsbau einführen
	für langfristige Planungssicherheit sorgen (Umwelt- und Energiepolitik, politische Zielvorgaben müssen Legislaturperioden überdauern)
	Randbedingungen zum Steigern der Anteile der erneuerbaren Wärmeenergien sicherstellen
	Ordnungsrecht zu Anforderungen an Gebäudehülle und Gebäudetechnik zeitnah gemäß Zielsetzung anpassen
	Sanierungsverpflichtungen sollten vertretbar eingeführt werden, dazu sind Anreize zum Beispiel durch steuerliche Instrumente zu schaffen

Akteure	Ansatzpunkte für Umsetzungsstrategien
Schule / Hochschule	Ausbildung und Weiterbildung im Themenbereich Bauen im Bestand und Nichtwohn-Effizienzhäuser in folgenden Bereichen weiter intensivieren: Baukonstruktion, Bauphysik, Projektmanagement, Gesetzes- und Normengrundlagen, Kalkulation und Preisbildung, Bauablauf- und Terminplanung (für Architekten und Bauingenieure im Planungs- und Bauleitungsbereich sowie für Handwerker)
	Ausbildung und Weiterbildung für zukunftsfähige Städteplanung (innerstädtische Konzepte und energieeffiziente Gewerbegebiete und Quartiere) weiter intensivieren (für Raum- und Stadtplaner)
Wissenschaft	nachvollziehbare Instrumente zu Wirtschaftlichkeitsberechnungen den Energieberatern und Planern zur Darstellung bei den Akteuren an die Hand geben
	Entwicklung von Umsetzungsstrategien zum Erreichen der Leitparameter für den Bereich der beheizten Nichtwohngebäude
Stadtwerke	Ausbau der Fernwärmeversorgung im Stadtbezirk Wuppertal-Vohwinkel
	Wärme-Contracting: Bekanntheitsgrad und Anlagenzahl vergrößern

Quelle: Eigene Darstellung

Gebäude, die klimaneutral existieren,
sind als zukunftsfähig zu honorieren.

Nicht länger richtungsblind,
denn Suffizienz gewinnt.

Ressourcen effizienter nutzen,
die Umwelt weniger verschmutzen.

Die Wirtschaft kann florieren,
ohne Gletschereis zu verlieren.

(Kerstin Hamann, 2012)

Danksagung

Das Interesse an energetischen Betrachtungen zu Immobilien und insbesondere an zukünftigen Weiterentwicklungen beim Nichtwohngebäudebestand hat mich berufsbeleitend zu dieser Arbeit angetrieben. Dabei konnte ich mich als planender und bauleitender Bauingenieur sowie Umweltwissenschaftler während der Bearbeitung des Forschungsprojektes parallel weiter in der konkreten Projektwelt bewegen. Diese Parallele gelingt nur, wenn ein unterstützendes Umfeld vorhanden ist. Ich bin allen sehr dankbar, die mir dazu verholfen haben und dass ich diese Zeit genießen durfte.

Insbesondere gilt mein Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. Oscar Reutter, der mich seit unserem Erstkontakt zur Weiterentwicklung des Themas antrieb und mich zusammen mit Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus bei meinem Weg mit sehr großem Engagement unterstützte. Herr Prof. Dr.-Ing. Oscar Reutter und Herr Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus widmeten sich sehr intensiv meinem Forschungsvorhaben und der wissenschaftlichen Betreuung. Ich danke beiden, dass sie jederzeit zu Betreuungsgesprächen zur Verfügung standen. Dabei schufen sie jedes Mal eine überaus angenehme Gesprächsatmosphäre. Aus den Gesprächsrunden nahm ich immer sehr viele wertvolle Hinweise und Ratschläge mit.

Zusätzlich danke ich allen Personen, die sich im Rahmen dieser Arbeit meinen Fragen und Gesprächen stellten und Interesse zeigten. Mein Dank gilt insbesondere den Doktoranden vom Promotionskolleg »Nachhaltigkeitsszenarien und Zukunftsfähige Stadtentwicklung« am Wuppertal Institut, die mir durch ihr Feedback ebenso hilfreiche Impulse gaben. Hier möchte ich mich insbesondere bei Stefan Wernersbach bedanken.

Darüber hinaus danke ich allen Akteuren, die an der Befragung in Wuppertal-Vohwinkel und am Pretest teilgenommen haben, sowie der Stadt Wuppertal und den Wuppertaler Stadtwerken für ihre Kooperation.

Last but not least danke ich meiner lieben Frau Kerstin und unseren drei Mädels Helena, Martina und Céline für ihre Unterstützung.

Ich widme diese Arbeit meiner Familie und meinen Eltern Ingrid und Willi† Hamann, die zeitgleich den schwierigsten Lebensabschnitt beschritten.

Achim Hamann

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Stadtgebiet Wuppertal und Stadtbezirk Vohwinkel	23
Abbildung 2: Arbeitsphasen der eigenen Forschungsleistung	25
Abbildung 3: Ablaufschema zum detaillierten und vereinfachten Modellansatz, Vergleich der Arbeitsschritte	31
Abbildung 4: Grafische Darstellung der Modellgebäude an Beispielen	62
Abbildung 5: Stadtbezirk Wuppertal-Vohwinkel und seine Quartiere	69
Abbildung 6: Ausschnitt der aggregierten GIS-Daten, Wuppertal-Vohwinkel.....	79
Abbildung 7: Zusammenhang Endenergie und Bruttogrundfläche	88
Abbildung 8: Wirtschaftsstruktur Wuppertal, Stand 30.06.2010	95
Abbildung 9: Wirtschaftsstruktur Deutschland, Stand 30.06.2010	97
Abbildung 10: CO ₂ -Emissionen zu Hauptkategorien in Vohwinkel	107
Abbildung 11: CO ₂ -Emissionen zu allen Kategorien in Vohwinkel	108
Abbildung 12: Ergebnisdiagramme zur Baualtersklassenverteilung in Vohwinkel.....	108
Abbildung 13: Ergebnisdiagramme zur Flächenverteilung in Vohwinkel	110
Abbildung 14: Ergebnisdiagramme zur Endenergieverteilung in Vohwinkel.....	111
Abbildung 15: Gebäudezahlen und BGF-/CO ₂ -Verteilung (Profit-Organisationen) in Vohwinkel	114
Abbildung 16: Gebäudezahlen und BGF-/CO ₂ -Verteilung (Non-Profit-Organisationen) in Vohwinkel	115
Abbildung 17: Ergebnisbandbreite Top-down- und Bottom-up-Modell für Vohwinkel und Wuppertal, 2010	138
Abbildung 18: CO ₂ -Potenzialebenen bei der Umsetzung von kurzfristigen Sanierungsmaßnahmen.....	143
Abbildung 19: CO ₂ -Minderungspotenziale beim Sanierungsziel: »Baualtersklasse D«, Zeitraum 2010 bis 2020.....	153
Abbildung 20: Histogramm zur Grundgesamtheit der Bruttogrundfläche zu Büroflächen in Vohwinkel	164
Abbildung 21: Einschätzungen der Akteure zum zeitlichen Verlauf der Sanierungsmaßnahmen zur Gebäudehülle und Heiztechnik in Vohwinkel.....	175
Abbildung 22: Einschätzungen der Akteure zum zukünftigen Energiemix	176
Abbildung 23: Untersuchte CO ₂ -Szenarien zum Raum möglicher Entwicklungen und Zusammenwirken der CO ₂ -Szenarien auf Grund der Schlüsselfaktoren.....	191
Abbildung 24: Ablaufschema zur Erweiterung des Bestandsmodells zur Anwendung für Szenarien	192

Abbildung 25: Beispielhafte Entwicklung der Flächenverteilung auf zukünftige Baualtersklassen A-G	201
Abbildung 26: Trendentwicklungen der erneuerbaren Wärmeenergie, 1990 bis 2050 in Deutschland	207
Abbildung 27: Zeitlicher Verlauf der Flächenanpassungen in Bezug auf Baualtersklassen bis 2050.....	220
Abbildung 28: Gebäudeflächenentwicklung nach Baualtersklassen bis 2050.....	222
Abbildung 29: Szenario »Trend-bau-Baupraxis« bis 2050.....	226
Abbildung 30: Szenario »Trend-bau-Akteursbefragung«, private Büros bis 2050	229
Abbildung 31: Szenario »Trend-bau-Akteursbefragung«, kirchliche Einrichtungen bis 2050.....	230
Abbildung 32: Szenario »Trend-bau-Passivhaus« bis 2050 in Vohwinkel.....	233
Abbildung 33: Flächenverteilung Szenario »Trend-bau-kein Flächenzuwachs«	234
Abbildung 34: Szenario »Trend-bau-kein Flächenzuwachs« bis 2050.....	236
Abbildung 35: Flächenverteilung Szenario »Backcasting-Leit« in Vohwinkel, 2010-2050	239
Abbildung 36: Szenario »Backcasting-Leit« bis 2050 in Vohwinkel.....	240
Abbildung 37: Vergleich CO ₂ -Szenarien bis 2050 in Vohwinkel	242
Abbildung 38: Vergleich pro-Kopf-Minderungen in Prozent bis 2050, Vohwinkel	243
Abbildung 39: Mitwirkende Akteure bei Umsetzungsstrategien.....	252

Anhang (siehe gesonderte PDF-Datei auf www.oekom.de)	
Abbildung A1.3-1: Verbrauchsorientierte Heizkennwerte Profit-Organisationen	12
Abbildung A1.3-2: Verbrauchsorientierte Heizkennwerte Non-Profit-Organisationen.....	13
Abbildung A1.4-1: Eigene U-Wert-Berechnungen	14
Abbildung A1.4-2: U-Werte zu Bauteilen aus Literatur.....	15
Abbildung A1.8-1: Ergebnis Kategorie 1.1, 1.4, Baualtersklasse A	23
Abbildung A1.8-2: Ergebnis Kategorie 1.1, 1.4, Baualtersklasse B.....	23
Abbildung A1.8-3: Ergebnis Kategorie 1.1, 1.4, Baualtersklasse C.....	24
Abbildung A1.8-4: Ergebnis Kategorie 1.1, 1.4, Baualtersklasse D	24
Abbildung A1.9-1: Aggregieren der GIS-Datensätze, beheizte Nichtwohngebäude	25
Abbildung A1.9-2: Darstellung aggregierter GIS-Datensätze in Vohwinkel in GIS-Software.....	26
Abbildung A1.15-1: Verteilung CO ₂ -Emissionen auf Nichtwohngebäude- kategorien, Top-down-Ansatz.....	56
Abbildung A1.16-1: Zusammenfassung aggregierte Daten nach Bottom-up-Ansatz	57
Abbildung A1.17-1: Verteilung CO ₂ -Emissionen auf Nichtwohngebäude- kategorien, Bottom-up-Ansatz	59
Abbildung A1.17-2: Verteilung der Endenergie nach Bottom-up-Ansatz	60
Abbildung A1.17-3: Verteilung BGF, CO ₂ -Emissionen und Gebäudeanzahl nach Bottom-up-Ansatz.....	61
Abbildung A1.18-1: Vergleich Verteilung zu Vohwinkel mit bundesweiten Strukturen zu Non-Profit-Organisationen, 3-dimensional	62
Abbildung A1.18-2: Vergleich Verteilung zu Vohwinkel mit bundesweiten Strukturen zu Non-Profit-Organisationen, 2-dimensional	63
Abbildung A1.19-1: Ausschnitt lineare Regression, Top-down-Ansatz	64
Abbildung A1.19-2: Summenhäufigkeit Heizkennwerte, Top-down-Ansatz	64
Abbildung A1.19-3: Häufigkeitsverteilung Heizkennwerte, Top-down-Ansatz.....	65
Abbildung A1.19-4: Histogramm zu Heizkennwerte, Top-down-Ansatz	65
Abbildung A1.20-1: Ausschnitt lineare Regression, Bottom-up-down-Ansatz	66
Abbildung A1.20-2: Summenhäufigkeit Heizkennwerte, Bottom-up -Ansatz.....	66
Abbildung A1.20-3: Häufigkeitsverteilung Heizkennwerte, Bottom-up -Ansatz	67
Abbildung A1.20-4: Histogramm zu Heizkennwerte, Bottom-up -Ansatz	67
Abbildung A4.1-1: Heizkennwerte zu den Baualtersklassen E bis G, Non-Profit- Organisationen	112
Abbildung A4.1-2: Heizkennwerte zu den Baualtersklassen E bis G, Profit- Organisationen	113

Abbildung A4.1-3: Ergebnis Kategorie 1.1, Baualtersklasse E mit höherer Luftdichtheit und Wärmebrückenpauschale.....	114
Abbildung A4.1-4: Ergebnis Kategorie 1.1, Baualtersklasse E ohne »Einflüsse aus Baupraxis«.....	114
Abbildung A4.2-1: Entwicklung der Wärmeerzeugung und erneuerbarer Wärmeenergien, 1990-2011 in Deutschland.....	116
Abbildung A4.2-2: Entwicklung der erneuerbaren Wärmeenergiearten, 1990-2011 in Deutschland.....	116
Abbildung A4.2-3: Fernwärmeverbrauch in Deutschland (1990-2011) und angenommener Trend bis 2050	119
Abbildung A4.2-4: Datenreihe Fernwärme mit Trendfortschreibung, 1990-2050	120
Abbildung A4.2-5: Trendfortschreibung erneuerbare Wärmeenergien bis 2050	121
Abbildung A4.3-1: Zeitreihe, Trend zu erneuerbaren Energien beim Stromverbrauch, 1990 bis 2050 in Deutschland	124
Abbildung A4.11-1: Flächenentwicklung in Wuppertal von 2010 bis 2050, Szenario »Trend-bau-Baupraxis«	159
Abbildung A4.11-2: Flächenentwicklung in Wuppertal von 2010 bis 2050, Szenario »Trend-bau-LCC«	160
Abbildung A4.15-1: Szenario »Trend-bau-Baupraxis« bis 2050 in Vohwinkel.....	173
Abbildung A4.21-1: Szenario »Trend-bau« und »Trend-bau-LCC« bis 2050 in Wuppertal.	188
Abbildung A4.21-2: Szenario »Trend-bau-Baupraxis« bis 2050 in Wuppertal.....	189
Abbildung A4.21-3: Szenario »Trend-bau-Passivhaus« bis 2050 in Wuppertal.	190
Abbildung A4.21-4: Szenario »Trend-bau-kein Flächenzuwachs« bis 2050 in Wuppertal.	191
Abbildung A4.22-1: Szenario »Backcasting-Leit« bis 2050 in Wuppertal.	193
Abbildung A4.23-1: Vergleich CO ₂ -Szenarien bis 2050 in Wuppertal.	195
Abbildung A4.23-2: Vergleich pro-Kopf-Minderungen in Prozent von 1990 bis 2050 in Wuppertal.....	195

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kategorisierung für beheizte Nichtwohngebäude.....	33
Tabelle 2: Gebäudekategorien Non-Profit-Organisationen	37
Tabelle 3: Gebäudekategorien Profit-Organisationen.....	38
Tabelle 4: Vergleich Gebäudeanforderungen bei Änderungen seit 1995.....	40
Tabelle 5: Baualtersklassen zum Bestand bis zum Jahr 2010.....	40
Tabelle 6: Verbrauchsorientierte Heizkennwerte zu Gebäudekategorien von Non-Profit-Organisationen.....	45
Tabelle 7: Verbrauchsorientierte Heizkennwerte zu Gebäudekategorien von Profit-Organisationen	47
Tabelle 8: Beispiele zu Anpassungsfaktoren für Baualtersklassen.....	52
Tabelle 9: Verbrauchsorientierte Heizkennwerte je Baualtersklasse: Non-Profit-Organisationen.....	54
Tabelle 10: Verbrauchsorientierte Heizkennwerte je Baualtersklasse: Profit-Organisationen	55
Tabelle 11: Bewertung des Einflusses der allgemeinen Modellparameter	58
Tabelle 12: U-Werte zur Gebäudehülle in Abhängigkeit von Baualtersklassen und Bauteiltyp	61
Tabelle 13: Vergleich Bedarfs-/Verbrauchs-Heizkennwerte, Non-Profit-Organisationen.....	65
Tabelle 14: Vergleich Bedarfs-/Verbrauchs-Heizkennwerte, Profit-Organisationen	66
Tabelle 15: Nicht relevante GIS-Datensätze am Beispiel von Vohwinkel.....	72
Tabelle 16: Relevante GIS-Datensätze am Beispiel von Vohwinkel	74
Tabelle 17: Beispiele ausgewählter Gebäudekategorien und Baualtersklassen in Vohwinkel	76
Tabelle 18: Abweichungen GIS-Daten nach Überprüfungen in Vohwinkel.....	77
Tabelle 19: Energiemix in Vohwinkel und in Wuppertal sowie bundesweit für die Sektoren GHD und Industrie	105
Tabelle 20: Berechnungsergebnisse zum Top-down-Ansatz für Vohwinkel im Jahr 2010	112
Tabelle 21: Berechnungsergebnisse zum Bottom-up-Ansatz für Vohwinkel im Jahr 2010	117
Tabelle 22: Vergleich Berechnungsergebnisse Top-down- und Bottom-up- Ansatz, Vohwinkel, 2010	118
Tabelle 23: Energiekennwerte für Vohwinkel, 2010	119

Tabelle 24: Hochrechnungsergebnisse: Top-down- und Bottom-up-Ansatz für Wuppertal, 2010.....	130
Tabelle 25: Energiekennwerte für Wuppertal, 2010	131
Tabelle 26: Einfluss der Gebäudeteile bis 50 Quadratmeter auf die Bruttogrundfläche in Vohwinkel.....	137
Tabelle 27: Ausschnitt Bewertungsschema: Ermittlung des CO ₂ -Erwartungspotenzials je Gebäudekategorie	150
Tabelle 28: Erwartungspotenzial zu CO ₂ -Minderungen bis 2020, Gebäudekategorien mit größtem Potenzial	155
Tabelle 29: Verteilung Grundgesamtheit auf Baualtersklassen der Büroflächen in Vohwinkel	164
Tabelle 30: Kriterien zur räumlichen Verteilung und zu Nutzungstypen der Büroflächen in Vohwinkel	165
Tabelle 31: Vergleich Verteilung Grundgesamtheit und Stichprobe zu BGF, private Büroflächen	170
Tabelle 32: Vergleich Verteilung Grundgesamtheit und Stichprobe zu Baualtersklassen, private Büroflächen	171
Tabelle 33: Verteilung Stichprobe auf räumliche Lage und Nutzung, private Büroflächen	171
Tabelle 34: Befragungsergebnisse zu allgemeinen Sachverhalten.....	173
Tabelle 35: Befragungsergebnisse zu Hemmnisse und Anreize in Vohwinkel	179
Tabelle 36: Handlungsempfehlungen zur Steigerung der Sanierungsrate und des Sanierungspotenzials.....	184
Tabelle 37: Untersuchte CO ₂ -Szenarien bis zum Jahr 2050	190
Tabelle 38: Energiemix und Energiefaktoren in Vohwinkel im Jahr 1990.....	196
Tabelle 39: Berechnungsergebnisse gemäß Top-down-Ansatz für Vohwinkel, 1990 bis 2010.....	197
Tabelle 40: Erweiterung der Baualtersklassen für zukünftige Nichtwohngebäudebestände bis 2050	200
Tabelle 41: Szenarien-Annahmen zu Heizkennwerten der Non-Profit-Organisationen bis 2050	203
Tabelle 42: Szenarien-Annahmen zu Heizkennwerten der Profit-Organisationen bis 2050	204
Tabelle 43: Annahmen zu Baualtersklassen bei Neubauten und Sanierungen bis 2050.....	205

Tabelle 44: Einschätzungen zum zukünftigen Energiemix im Wärmesektor für Wuppertal und Vohwinkel	209
Tabelle 45: Energiemix bei privaten Büroflächen und kirchlichen Einrichtungen 2010 bis 2050 gemäß Akteursbefragung in Vohwinkel.....	210
Tabelle 46: Primärenergie- und CO ₂ -Emissionsfaktoren zum Heizstrom bis 2050	213
Tabelle 47: Primärenergiefaktoren und CO ₂ -Emissionsfaktoren von 2010 bis 2050... ..	215
Tabelle 48: Annahmen zur Entwicklung der Neubau,- Abriss- und Sanierungsrate bis zum Jahr 2050.....	216
Tabelle 49: Entwicklungen zur Neubau,- Abriss- und Sanierungsrate gemäß Akteursbefragung	219
Tabelle 50: Gebäudeflächenentwicklung nach Baualtersklassen in Vohwinkel von 2010 bis 2050	221
Tabelle 51: Gebäudeflächenentwicklungen zu kirchlichen Einrichtungen in Vohwinkel von 2010 bis 2050	223
Tabelle 52: Gebäudeflächenentwicklungen zu privaten Büroflächen in Vohwinkel von 2010 bis 2050	223
Tabelle 53: Einwohnerentwicklung in Wuppertal und Vohwinkel bis 2050.....	224
Tabelle 54: Ergebnis Szenario »Trend-bau-Baupraxis« in Vohwinkel, 1990-2050.....	225
Tabelle 55: Ergebnisse zu »bau-Szenarien« auf Basis der Akteurseinschätzungen, Teilbestände kirchliche Einrichtungen und private Büroflächen in Vohwinkel.....	228
Tabelle 56: Ergebnis Szenario »Trend-bau-Passivhaus«, 1990-2050	232
Tabelle 57: Flächenraten Szenario »Trend-bau-kein Flächenzuwachs«	234
Tabelle 58: Ergebnis Szenario »Trend-bau-kein Flächenzuwachs«, 1990-2050.....	235
Tabelle 59: Ergebnis Szenario »Backcasting-Leit« in Vohwinkel, 1990 bis 2050	239
Tabelle 60 : Zu viel emittiertes CO ₂ , Vohwinkel von 2010 bis 2050, Szenario »Trend-bau-Baupraxis«.....	242
Tabelle 61: Zusammenstellung Szenarienannahmen und resultierende Auswirkungen auf CO ₂ -Minderungen	244
Tabelle 62: Strategieansätze und CO ₂ -Wirkungsanteile in Prozent, Vohwinkel.....	246
Tabelle 63: Strategieansätze und CO ₂ -Wirkungsanteile in Prozent, Wuppertal.....	248
Tabelle 64: Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der Leitparameter	253

Anhang (siehe gesonderte PDF-Datei auf www.oekom.de)

Tabelle A1.1-1: Verteilung verbrauchsorientierter Heizkennwerte auf Baualtersklassen, Non-Profit-Organisationen	6
Tabelle A1.1-2: Verteilung verbrauchsorientierter Heizkennwerte auf Baualtersklassen, Non-Organisationen.....	8
Tabelle A1.2-1: Anpassungsfaktoren Non-Profit-Organisationen.....	9
Tabelle A1.2-2: Anpassungsfaktoren Profit-Organisationen	11
Tabelle A1.7-1: Parameter Modellgebäude.....	19
Tabelle A1.9-1: Aggregierte GIS-Datensätze zu beheizte Nichtwohngebäude in Vohwinkel	29
Tabelle A1.10-1: Abschätzungen aus Hochrechnung zum Wohngebäudebestand in Deutschland, 2010	48
Tabelle A1.11-1: Aggregierte GIS-Datensätze zu mischgenutzte Gebäude in Vohwinkel	49
Tabelle A1.11-2: Aggregierte GIS-Datensätze zu Wohngebäude in Vohwinkel	49
Tabelle A1.12-1: Ausschnitt Ergebnis nach Top-down-Ansatz, Non-Profit-Organisationen	50
Tabelle A1.12-2: Ausschnitt Ergebnis nach Top-down-Ansatz, Profit-Organisationen	51
Tabelle A1.13-1: Summe BGF je Baualtersklasse je Gebäudekategorie und Gebäudezahl, Non-Profit-Organisationen	52
Tabelle A1.13-2: Bestandsflächen je Gebäudekategorie inkl. Energiekennwerte, Non-Profit-Organisationen	53
Tabelle A1.14-1: Summe BGF je Baualtersklasse je Gebäudekategorie und Gebäudezahl, Profit-Organisationen	54
Tabelle A1.14-2: Bestandsflächen je Gebäudekategorie inkl. Energiekennwerte, Profit-Organisationen	55
Tabelle A1.21-1: Abschätzungen aus Hochrechnungsergebnissen Top-down-Ansatz für Deutschland, 2010	68
Tabelle A1.21-2: Abschätzungen aus Hochrechnungsergebnissen Bottom-up-Ansatz für Deutschland, 2010	69
Tabelle A1.21-3: Vergleich Abschätzungen nach Top-down- und Bottom-up-Ansatz für Deutschland, 2010	70
Tabelle A1.21-4: Vergleich eigene Abschätzungen mit Ergebnissen aus bestehenden Studien zum Nichtwohngebäudebestand in Deutschland	73
Tabelle A1.22-1: Sensitivitätsanalyse, Umrechnung Heizkennwerte, Non-Profit-Organisationen	75
Tabelle A1.22-2: Sensitivitätsanalyse, Umrechnung Heizkennwerte, Profit-Organisationen	78
Tabelle A1.23-1: Ergebnisse Sensitivitätsanalyse, Variationen zum Leerstand	

und BGF in Vohwinkel, 2010	80
Tabelle A1.23-2: Ergebnisse Sensitivitätsanalyse, Variationen zum Leerstand, Energimix und BGF in Wuppertal, 2010	81
Tabelle A2.1-1: Sanierungsziel Baualtersklasse D, Theoretisches CO ₂ - Minderungspotenzial, Non-Profit-Organisationen.....	82
Tabelle A2.1-2: Sanierungsziel Baualtersklasse D, Theoretisches CO ₂ - Minderungspotenzial, Profit-Organisationen.....	83
Tabelle A2.1-3: Sanierungsziel Baualtersklasse E, Theoretisches CO ₂ - Minderungspotenzial, Non-Profit-Organisationen.....	84
Tabelle A2.1-4: Sanierungsziel Baualtersklasse E, Theoretisches CO ₂ - Minderungspotenzial, Profit-Organisationen.....	85
Tabelle A2.2-1: Sanierungsziel Baualtersklasse D, Non-Profit-Organisationen.....	86
Tabelle A2.2-2: Sanierungsziel Baualtersklasse D, Profit-Organisationen	87
Tabelle A2.2-3: Sanierungsziel Baualtersklasse E, Non-Profit-Organisationen	88
Tabelle A2.2-4: Sanierungsziel Baualtersklasse E, Profit-Organisationen	89
Tabelle A3.4-1: Flächenzuwachs und Flächenstilllegung bis zum Jahr 2050	100
Tabelle A4.1-1: Erreichbare Heizkennwerte in Anlehnung an Passivhausbauweise	109
Tabelle A4.1-2: Erreichte Heizkennwerte in Anlehnung an EnOB-Projekte, Neubau.....	110
Tabelle A4.1-3: Erreichte Heizkennwerte in Anlehnung an EnOB-Projekte, Sanierung.....	111
Tabelle A4.2-1: Fossile Energieträger, Fernwärme und erneuerbare Wärmeenergien bis 2050 in Deutschland	123
Tabelle A4.2-2: Vergleich zum angenommenen zukünftigen Energimix im Wärmesektor mit Studie Low Carbon City Wuppertal 2050 (LCC).....	123
Tabelle A4.4.1-1: Bevölkerungsentwicklung von 2008-2050 in Deutschland.....	129
Tabelle A4.4.1-2: Sozialversicherungspflichtige Beschäftigte, Rückgangsraten von 2000-2050 in Deutschland	130
Tabelle A4.4.2-1: Entwicklungen zum Wirtschaftswachstum von 1950-2050 in Deutschland.....	131
Tabelle A4.4.3-1: Entwicklung der Bauleistungen von 2003-2010 in Deutschland	132
Tabelle A4.4.3-2: Vergleich Anzahl Baubetriebe, tätige Personen, geleistete Arbeitsstunden in Deutschland	132
Tabelle A4.5-1: Flächenentwicklungsmodell für die Jahre 2020, 2030, 2040 und 2050 für Vohwinkel	136
Tabelle A4.9-1: Ergebnisse Flächenverteilung in Vohwinkel bis 2050, Szenario »Trend-bau-Baupraxis«.....	143
Tabelle A4.10-1: Ergebnisse Flächenverteilung in Vohwinkel bis 2050, Szenario »Trend-bau-LCC«.....	151

Tabelle A4.11-1: Gebäudeflächenentwicklung nach Baualtersklassen in Wuppertal von 2010 bis 2050, Szenario »Trend-bau-Baupraxis«	159
Tabelle A4.11-2: Gebäudeflächenentwicklung nach Baualtersklassen in Wuppertal von 2010 bis 2050, Szenario »Trend-bau-LCC«.....	160
Tabelle A4.12-1: Ergebnisse Flächenverteilung in Vohwinkel bis 2050, kirchliche Einrichtungen.....	161
Tabelle A4.12-2: Ergebnisse Flächenverteilung in Vohwinkel bis 2050, private Büroflächen	162
Tabelle A4.14-1: Ergebnisse Flächenverteilung in Vohwinkel bis 2050, Szenario »Trend-bau- kein Flächenzuwachs«.....	165
Tabelle 4.15-1: Ergebnisse zum Szenario »Trend-bau« in Vohwinkel von 1990 bis 2050.....	173
Tabelle A4.16-1: Heizkennwerte Szenario »Trend-bau-Passivhaus«.....	174
Tabelle A4.17-1: Annahmen zum zukünftigen Energiemix in Vohwinkel, Backcasting-Leit-Szenario.....	175
Tabelle A4.19-1: Ergebnisse Flächenverteilung in Vohwinkel bis 2050, Szenario »Backcasting-Leit«.....	178
Tabelle A4.20-1: Szenario »Backcasting-Leit« mit Energiemix »Trend-bau-Baupraxis«.....	186
Tabelle A4.20-2: Szenario »Trend-bau-Baupraxis« mit Heizkennwerte der Baualtersklasse D bei Baualtersklasse E bis G	186
Tabelle A4.21-1: Ergebnis zum Szenario »Trend-bau« in Wuppertal von 1990-2050.....	187
Tabelle A4.21-2: Ergebnis zum Szenario »Trend-bau-LCC« in Wuppertal von 1990-2050.....	188
Tabelle A4.21-3: Ergebnis zum Szenario »Trend-bau-Baupraxis« in Wuppertal von 1990-2050.....	189
Tabelle A4.21-4: Ergebnis zum Szenario »Trend-bau-Passivhaus« in Wuppertal von 1990-2050.....	190
Tabelle A4.21-5: Ergebnis zum Szenario »Trend-bau-kein Flächenzuwachs« in Wuppertal von 1990-2050.....	191
Tabelle A4.22-1: Annahmen zum zukünftigen Energiemix in Wuppertal	192
Tabelle A4.22-2: Ergebnis zum Szenario »Backcasting-Leit« für Wuppertal.....	193
Tabelle A4.23-1: Zu viel emittiertes CO ₂ , Wuppertal von 2010 bis 2050, Szenario »Trend-bau-Baupraxis«.....	194
Tabelle A4.23-2: Szenario »Backcasting-Leit« für Wuppertal mit Energiemix »Trend-bau-Baupraxis«.....	196
Tabelle A4.23-3: Szenario »Trend-bau-Baupraxis« mit Heizkennwerte der Baualtersklasse D bei Baualtersklassen E bis G	196

Inhaltsverzeichnis Anhang

(siehe gesonderte PDF-Datei auf www.oekom.de)

Anhang 1 Datengrundlagen und Datenanalysen zu Kapitel 2 und 3, Bestandsmodell	6
Anhang 1.1 Top-down-Ansatz: Verteilung verbrauchsorientierter Heizkennwerte auf Baualtersklassen	6
Anhang 1.2 Anpassungsfaktoren je Baualtersklasse und CO ₂ -Minderungsniveau	10
Anhang 1.3 Verbrauchsorientierte Heizkennwerte in kWh/(m ² _{BGF} ·a) je Baualtersklasse	12
Anhang 1.4 Bottom-up-Ansatz: Eigene U-Wert-Berechnungen und Ausgangstabellen aus Literatur	14
Anhang 1.5 Bottom-up-Ansatz: Modellparameterdefinitionen zur Gebäudetechnik	16
Anhang 1.6 Bottom-up-Ansatz: Definition der Modellgebäude je Gebäudekategorie/Baualtersklasse	17
Anhang 1.7 Bottom-up-Ansatz: Zusammenstellung der Parameter für Modellgebäude	19
Anhang 1.8 Bottom-up-Ansatz: Ergebnisse Bedarfsberechnungen (ausschnittsweise)	23
Anhang 1.9 Grafische und tabellarische GIS-Daten-Darstellung zu Wuppertal- Vohwinkel nach örtlicher Überprüfung und Datenanalyse	25
Anhang 1.10 Erweiterung Modellansatz zum Vergleich mit Wohngebäuden	44
Anhang 1.11 Auswertung zu mischgenutzten Gebäuden	49
Anhang 1.12 Ausschnitt Endenergieverbrauch und CO ₂ -Emissionen zu aggregierten Daten nach örtlicher Überprüfung für Wuppertal-Vohwinkel gemäß Top-down-Ansatz	50
Anhang 1.13 Zusammenfassung aggregierter Daten nach örtlicher Überprüfung für Wuppertal- Vohwinkel zu Non-Profit-Organisationen	52
Anhang 1.14 Zusammenfassung aggregierten Daten nach örtlicher Überprüfung für Wuppertal-Vohwinkel zu Profit-Organisationen nach Top-down-Ansatz	54
Anhang 1.15 Verteilung der CO ₂ -Emissionen, Gebäudeanzahl, Bruttogrundfläche in % in Wuppertal-Vohwinkel nach Top-down-Ansatz	56
Anhang 1.16 Zusammenfassung aggregierter Daten nach örtlicher Überprüfung für Wuppertal-Vohwinkel zu Non-Profit- und Profit-Organisationen gemäß Bottom-up-Ansatz	57
Anhang 1.17 Detaillierte Ergebnisdarstellung gemäß Bottom-up-Ansatz, Wuppertal-Vohwinkel	59
Anhang 1.18 Vergleich der Ergebnisse zu Wuppertal-Vohwinkel mit der Verteilung der Gebäudeflächen und Gebäudeanzahl in Deutschland zu Non-Profit-Organisationen	62

Anhang 1.19 Top-down-Ansatz: Statistische Analyse	64
Anhang 1.20 Bottom-up-Ansatz: Statistische Analyse	66
Anhang 1.21 Blick auf die Bestandssituation in Deutschland und Vergleich mit anderen Studien	68
Anhang 1.22 Sensitivitätsanalyse, Variante zum Top-down-Ansatz mit Hilfe von Heizkennwerten aus eigenen Bedarfsberechnungen gemäß Bottom-up-Ansatz	76
Anhang 1.23 Ergebnistabellen zur Sensitivitätsanalyse	80
Anhang 2 Auswertungen zu Kapitel 4, Potenzialanalyse	82
Anhang 2.1 Kurzfristiges Sanierungs-Minderungspotenzial zu CO ₂ -Emissionen am Beispiel von Wuppertal-Vohwinkel	82
Anhang 2.2 Potenzialebenen zu CO ₂ -Emissionen am Beispiel von Wuppertal-Vohwinkel	86
Anhang 3 Grundlagen und Auswertungen zu Kapitel 5, Befragung	90
Anhang 3.1 Fragebogen	90
Anhang 3.2 Liste befragter Akteure	95
Anhang 3.3 Quantitative Auswertungen zum Fragebogen	96
Anhang 3.4 Detaillierte Ergebnis- und Grundlagenaufbereitung zu den Szenarien	99
Anhang 4 Grundlagen und Auswertungen zu Kapitel 6, Szenarien	106
Anhang 4.1 Trendentwicklungen zu Baualtersklassen und Heizkennwerten	106
Anhang 4.2 Energiemix zu Nichtwohngebäuden in Anlehnung an bundesweite Betrachtungen	115
Anhang 4.3 Trendentwicklungen zu erneuerbaren Energien beim Strom bis 2050	124
Anhang 4.4 Trendentwicklungen zu Neubau-, Abriss- und Sanierungsraten	125
Anhang 4.4.1 Trendentwicklungen zur Bevölkerung und zu sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten in Wuppertal und in Deutschland	129
Anhang 4.4.2 Trendentwicklungen zum Wirtschaftswachstum in Deutschland	131
Anhang 4.4.3 Trendentwicklungen zum Baugewerbe in Deutschland	132
Anhang 4.5 Flächenentwicklungsmodell für die Jahre 2020, 2030, 2040 und 2050 für Vohwinkel	134
Anhang 4.6 Anpassung Flächenentwicklungsmodell für kirchliche Einrichtungen in Vohwinkel	137
Anhang 4.7 Anpassung Flächenentwicklungsmodell für Büroflächen in Vohwinkel	139
Anhang 4.8 Anpassung Flächenentwicklungsmodell an Raten der Studie LCC-Wuppertal	141

Anhang 4.9 Flächenverteilung im Jahr 2020 bis 2050 in Vohwinkel, Szenario »Trend-bau-Baupraxis«	143
Anhang 4.10 Flächenverteilung im Jahr 2020 bis 2050 in Vohwinkel, Szenario »Trend-bau-LCC«	151
Anhang 4.11 Zusammenfassung zu zukünftige Flächenentwicklungen im Stadtgebiet Wuppertal	159
Anhang 4.12 Flächenverteilung im Jahr 2020 bis 2050 in Vohwinkel, private Büroflächen und kirchliche Einrichtungen gemäß Befragung	161
Anhang 4.13 Anpassung Flächenentwicklungsmodell, Szenario »Trend-bau-kein Flächenzuwachs«	163
Anhang 4.14 Flächenverteilung im Jahr 2020 bis 2050 in Vohwinkel, Szenario »Trend-bau-kein Flächenzuwachs«	165
Anhang 4.15 Ergebnisse zu Forecasting-Szenario »Trend-bau«, Vohwinkel	173
Anhang 4.16 Heizkennwerte Szenario »Trend-bau-Passivhaus«	174
Anhang 4.17 Zukünftiger Energiemix in Vohwinkel, Backcasting-Leit-Szenario	175
Anhang 4.18 Anpassung Flächenentwicklungsmodell, Backcasting-Leit-Szenario	176
Anhang 4.19 Flächenverteilung im Jahr 2020 bis 2050 in Vohwinkel, Backcasting-Leit-Szenario	178
Anhang 4.20 Vergleichsrechnung zu Szenarien für Vohwinkel zur Bestimmung der Wirkungsanteile	186
Anhang 4.21 Forecasting-Szenarien zum Stadtgebiet von Wuppertal	187
Anhang 4.22 Szenario »Backcasting-Leit« für Wuppertal	192
Anhang 4.23 Vergleich der CO ₂ -Szenarien für die Stadt Wuppertal von 2010 bis 2050	194

Abkürzungsverzeichnis

a, ab	Steigungsverhältnis der linearen Funktion in kWh/(m ² BGF·a)
AF	Akteursfaktor (ohne Einheit)
ALK, ALKIS	Amtliches Liegenschaftskataster-(Informationssystem)
AN _{GIS}	Anzahl der Geschosse Nichtwohngebäude gem. Original GIS-Daten
AN	Anzahl der Geschosse Nichtwohngebäude gem. aufbereiteten GIS-Daten
A _N	Gebäudenutzfläche in m ²
An	Anzahl der Geschosse Wohngebäude gem. aufbereiteten GIS-Daten
An _{St}	Anzahl der Geschosse Stadthäuser gem. Original-GIS-Daten
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
AZ	Stichprobenumfang gem. Literaturrecherche je Heizkennwert einer Gebäudekategorie
b	Zähler zu baualtersklassenspezifischen Heizkennwerten aus Bedarfsberechnungen
b	Abminderungsfaktor Bruttogrundfläche für Wohnfläche in Stadthäusern
bau	business as usual
BauGB	Baugesetzbuch
b _{NP,P}	Anteil Nichtwohnfläche in den Stadthäusern
BGF	Bruttogrundfläche, Gebäudegrundfläche · Anzahl Geschosse in m ²
BGF _{GIS}	Bruttogrundfläche: Originaldaten aus GIS zu Nichtwohngebäuden in m ²
BGF _{leer}	Leerstandsfläche in m ²
BGF _{NP,PoSt}	Bruttogrundfläche Nichtwohngebäude ohne Stadthäuser in m ²
BGF _{NP,PoStH}	hochgerechnete Bruttogrundfläche Nichtwohngebäude ohne Stadthäuser in m ²
BGF _{PoSt}	Bruttogrundfläche Profit-Organisationen ohne Stadthäuser
BGF _{NP}	Bruttogrundfläche Non-Profit-Organisationen
BGF _{PoStH}	hochgerechnete Bruttogrundfläche Profit-Organisationen
BGF _{NPH}	hochgerechnete Bruttogrundfläche Non-Profit-Organisationen
BGF _P	Bruttogrundfläche Profit-Organisationen in m ²
BGF _{NP}	Bruttogrundfläche Non-Profit-Organisationen in m ²
BGF _{NP,P}	bereinigte Bruttogrundfläche Non-Profit- und Profit-Organisationen in m ² (ohne Garagen, Schuppen usw.)
BGF _{St}	Bruttogrundfläche Stadthäuser (Wohngebäude mit Gemeinbedarf, Wohngebäude mit Gewerbe und Industrie, Wohngebäude mit Handel und Dienstleistungen) gem. Original-GIS-Daten in m ²
BGF _{StH}	hochgerechnete Bruttogrundfläche Stadthäuser in m ²

BGF _w	Bruttogrundfläche der Wohngebäude in m ²
Bk	Baualtersklassen
Bk _{A-D}	Baualtersklassen A bis D
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMWI	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BUW	Bergischen Universität Wuppertal
BWZ	Bauwerkszuordnungskatalog der ARGEBAU
CO ₂	Kohlendioxid, bzw. Kohlendioxid-Emissionen in t/a
CO _{2b}	CO ₂ -Emissionen je Gebäudekategorie auf Grund Bedarfsberechnungen in t/a
CO _{2NP}	CO ₂ -Emissionen Non-Profit-Organisationen auf Grund Verbrauchsberechnungen in t/a
CO _{2NPb}	CO ₂ -Emissionen Non-Profit-Organisationen auf Grund Bedarfsberechnungen in t/a
CO _{2P}	CO ₂ -Emissionen Profit-Organisationen auf Grund Verbrauchsberechnungen in t/a
CO _{2Pb}	CO ₂ -Emissionen Profit-Organisationen auf Grund Bedarfsberechnungen in t/a
CO _{2NP,P}	CO ₂ -Emissionen Non-Profit- und Profit-Organisationen auf Grund Verbrauchsberechnungen in t/a
CO _{2NP,Pb}	CO ₂ -Emissionen Non-Profit- und Profit-Organisationen auf Grund Bedarfsberechnungen in t/a
CO _{2NP,P} H	CO ₂ -Emissionen Non-Profit- und Profit-Organisationen nach Hochrechnung auf Grund Verbrauchsberechnungen in t/a
CO _{2NP,Pb} H	CO ₂ -Emissionen Non-Profit- und Profit-Organisationen nach Hochrechnung auf Grund Bedarfsberechnungen in t/a
CO _{2W}	CO ₂ -Emissionen Wohngebäude in t/a
CO _{2WH}	CO ₂ -Emissionen Wohngebäude in t/a, nach Hochrechnung
CO _{2F}	direkter CO ₂ -Emissionsfaktor je Heizenergiequelle in kg/kWh
CO _{2V}	vorhandene CO ₂ -Emissionen gem. Bestandsmodell je Gebäudekategorie in %
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
E	Einwohner
ECA	Energy Concept Adviser
EE	Erneuerbare Wärmeenergien
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
EG	Erdgeschoss
End	Endenergieverbrauch kWh/a
Endb	Endenergiebedarf je Gebäudekategorie, bezogen auf BGF in kWh/(a)

EnBau	Energieoptimierter Neubau
End _P	Endenergie Heizen Profit-Organisationen in kWh/a
End _{NP}	Endenergie Heizen Non-Profit-Organisationen in kWh/a
End _{NP,P}	Endenergie Heizen Non-Profit- und Profit-Organisationen auf Grund Verbrauchsberechnungen in kWh/a
End _{NP,pb}	Endenergie Heizen Non-Profit- und Profit-Organisationen auf Grund Bedarfsberechnungen in kWh/a
End _{NP,pbH}	Endenergie Heizen Non-Profit- und Profit-Organisationen nach Hochrechnung auf Grund Bedarfsberechnungen in kWh/a
End _{sp}	Endenergie spezifisch (bei Berücksichtigung von Leerstand)
End _w	Endenergie Heizen Wohngebäude in kWh/a
End _{wH}	Endenergie Heizen Wohngebäude in kWh/a, nach Hochrechnung
EnEff:Stadt	Energieeffiziente Stadt
EnEV	Energieeinsparverordnung
EnOB	Energieoptimiertes Bauen
EnSan	Energetische Verbesserung der Bausubstanz
EQ	Anteil Heizenergiequelle in %
EwCO ₂	Erwartungswert zu CO ₂ -Minderungen
ExWoSt	Experimenteller Wohnungs- und Städtebau
Falt	Bestandsflächen zu beheizten Nichtwohngebäuden in m ²
FAb	Abrissflächen in m ²
FE	Emissionsfaktor Energieträger zur Umrechnung auf CO ₂ -Emissionen in t/kWh
FE _{Qp}	Emissionsfaktor Energieträger zur Umrechnung auf Primärenergie (ohne Einheit)
Fläch _{leer}	Leerstandsfläche in m ²
Fläch _{gesamt}	Gesamtfläche in m ²
Fneu	zukünftige Bestandsflächen zu beheizten Nichtwohngebäuden in m ²
F _{NGF}	Faktor für Umrechnung von Brutto- in Nettogrundfläche
FSa	Sanierungsflächen in m ²
FZu	Neubauf Flächen in m ²
GD	Gebäudedichtheit
GDP	Gross domestic product
Ge _{NP,PoSt}	Gebäudeanzahl Nichtwohngebäude ohne Stadthäuser, Vohwinkel
Ge _{NP,PoStH}	hochgerechnete Gebäudeanzahl Nichtwohngebäude ohne Stadthäuser
Ge _{PoSt}	Gebäudeanzahl Profit-Organisationen ohne Stadthäuser, Vohwinkel
Ge _{NP}	Gebäudeanzahl Non-Profit-Organisationen, Vohwinkel
Ge _{pH}	hochgerechnete Gebäudeanzahl Profit-Organisationen
Ge _{PoStH}	hochgerechnete Gebäudeanzahl Profit-Organisationen ohne Stadthäuser
Ge _{NP} H	hochgerechnete Gebäudeanzahl Non-Profit-Organisationen

G _{St}	Gebäudeanzahl Stadthäuser mit Mischnutzungen aus Original GIS-Daten zu Vohwinkel
G _{StH}	hochgerechnete Gebäudeanzahl Stadthäuser mit Mischnutzungen
G _{WH}	hochgerechnete Wohngebäudeanzahl
G _{F_{GIS}}	Gebäudegrundfläche in m ² gem. Original-GIS-Daten
G _F	Gebäudegrundfläche in m ² gem. aufbereiteten GIS-Daten
G _{F_{NP}H}	hochgerechnete Gebäudegrundfläche (Non-Profit-Organisationen) in m ²
G _{F_PH}	hochgerechnete Gebäudegrundfläche (Profit-Organisationen) in m ²
G _f	Gebäudegrundfläche in m ² gem. Original-GIS-Daten (Wohngebäude)
G _{f_{StNiWo}}	Grundfläche Stadthäuser (Wohngebäude mit Gemeinbedarf, Wohngebäude mit Gewerbe und Industrie, Wohngebäude mit Handel und Dienstleistungen), mit Nichtwohnflächennutzung gemäß aufbereiteten GIS-Daten (Gebäudekategorie 12.7)
G _{f_{St}}	Grundfläche Stadthäuser (Wohngebäude mit Gemeinbedarf, Wohngebäude mit Gewerbe und Industrie, Wohngebäude mit Handel und Dienstleistungen), Nichtwohnflächennutzung gem. Original-GIS-Daten
GG	Grundgesamtheit
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
GIS	Geografisches Informationssystem
G _{K_P}	Gebäudekategorie Profit-Organisationen
G _{K_{NP}}	Gebäudekategorie Non-Profit-Organisationen
G _t	Gradtagzahl der Heizperiode in Kd/a
Heiz	Heizenergie bei Szenarien für Raumwärmeproduktion inklusive dem Anteil der erneuerbaren Energien in kWh/(m ² ·a)
HK _{i,j}	Heizkennwert in kWh/(m ² ·a) je Gebäudekategorie i und Baualtersklasse j
HK _{b_{i,j}}	bedarfsorientierte Heizkennwert in kWh/(m ² ·a) je Gebäudekategorie und Baualtersklasse
HK _{v_{i,j}}	verbrauchsorientierte Heizkennwert in kWh/(m ² ·a) je Gebäudekategorie und Baualtersklasse
HK _{v_{i,BkD}}	verbrauchsorientierte Heizkennwert in kWh/(m ² ·a) zur Baualtersklasse D
HK _{v_{i,BkE}}	verbrauchsorientierte Heizkennwert in kWh/(m ² ·a) zur Baualtersklasse E
HK _{AN}	Heizkennwert auf Gebäudenutzfläche bezogen in kWh/(m ² ·a)
HK _{B,b}	Heizkennwert je Gebäudekategorie und Baualtersklasse aus Bedarfsberechnungen in kWh/(m ² ·a)

$\overline{HK_{B,b}}$	Mittelwert zu Heizkennwerten je Gebäudekategorie und Baualtersklasse aus Bedarfsberechnungen in kWh/(m ² ·a)
HK _b	Heizkennwert zu Gebäudekategorie gem. Bedarfsberechnung nach DIN V 18599 in kWh/(m ² _{NGF} ·a)
HK _{BGF}	Heizkennwert auf BGF bezogen in kWh/(m ² ·a)
HK _m	Mittlerer Heizkennwert Wohngebäude in kWh/(m ² ·a), auf BGF bezogen
HK _{V,v}	Heizkennwert je Gebäudekategorie gem. Literaturrecherche zum Stichprobenumfang in kWh/(m ² ·a)
$\overline{HK_{V,v}}$	gewichteter Mittelwert zum Heizkennwert je Gebäudekategorie aus Verbrauchswerten
HK _{WF}	Heizkennwert auf Wohnfläche bezogen in kWh/(m ² ·a)
ifo	Institut für Wirtschaftsforschung
IKARUS	Instrumente für Klimagasreduktionsstrategien
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IWU	Institut Wohnen und Umwelt
i, m	Zähler Gebäudekategorie
j, n	Zähler Baualtersklassen
JAZ	Jahresarbeitszahl Wärmepumpe
k-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient in W/(m ² ·K)
KA	Kalibrierungsfaktor (ohne Einheit)
Kf	Klimafaktor (ohne Einheit)
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KO	Korrekturfaktor (ohne Einheit)
λ	Wärmeleitfähigkeit in W/(m·K)
LCA	Life Cycle Assessment
LCC	Low Carbon City Wuppertal 2050
Le	Mittlere Leerstandsquote in %
LE	Faktor Leerstand (ohne Einheit)
M	Anzahl Monate Leerstand in Heizperiode
MaRess	Materialeffizienz und Ressourcenschonung
MN _{BkD}	Minderungsniveau bezogen auf Baualtersklasse D in %
ND	Nutzungsdauer (a)
NF	Nutzfläche in m ²
NGF	Nettogrundfläche in m ²
NGF _{NP, PoSt}	Nettogrundfläche Nichtwohngebäude ohne Stadthäuser in m ²
NGF _{NP, PoStH}	hochgerechnete Nettogrundfläche Nichtwohngebäude ohne Stadthäuser in m ²
NGF _{NP} H	hochgerechnete Nettogrundfläche Non-Profit-Organisationen in m ²
NGF _{St}	Nettogrundfläche Stadthäuser in m ²

NGF _{StH}	hochgerechnete Nettogrundfläche Stadthäuser in m ²
NiWo	Nichtwohngebäude
NP	Non-Profit-Organisationen
NRW	Nordrhein-Westfalen
OG	Obergeschoss
P	Profit-Organisationen
PJ	Petajoule
PO	Potenzialpunkte
p	Zähler für Heizenergiequelle, Primärenergiefaktor, CO ₂ -Emissionsfaktor
PF	Primärenergiefaktor je Heizenergiequelle (ohne Einheit)
PHPP	Passivhaus-Projektierungs-Paket
Q _H	Heizwärme in kWh/a
Q _{NP,P}	Primärenergieverbrauch in kWh/a Nichtwohngebäude
Q _{NP,pb}	Primärenergiebedarf in kWh/a Nichtwohngebäude
Q _{NP,pH}	Primärenergieverbrauch Heizen Non-Profit- und Profit-Organisationen nach Hochrechnung in kWh/a
QP	Primärenergieverbrauch in kWh/a Nichtwohngebäude
Q _{PW}	Primärenergieverbrauch in kWh/a Wohngebäude
Q _{PWH}	Primärenergieverbrauch in kWh/a Wohngebäude nach Hochrechnung
R ²	Bestimmtheitsmaß
RAb	Flächenabrissrate in %/a
RRü	jährliche Rückgangsrate sozialversicherungspflichtiger Beschäftigter in %/a
RSa	energetische Sanierungsrate in %/a
RZu	Neubaubaurate in %/a
SVB	Sozialversicherungspflichtige Beschäftigte im betrachteten Gebiet
SVB _{Voh}	Sozialversicherungspflichtige Beschäftigte in Wuppertal-Vohwinkel
t _{am}	mittlere Außentemperatur (Tagesmitteltemperatur) eines Heitzages in °C
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
ThCO ₂	Theoretisches Potenzial zu CO ₂ -Emissionen je Gebäudekategorie in t/a
t _i	mittlere Raumtemperatur = 20°C
UBA	Umweltbundesamt
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient Bauteil in W/(m ² K)
UB	Wärmedurchgangskoeffizient durch den Boden in W/(m ² K)
UD	Wärmedurchgangskoeffizient durch das Dach in W/(m ² K)
UF	Wärmedurchgangskoeffizient durch Fenster in W/(m ² K)
UW	Wärmedurchgangskoeffizient durch die Wand in W/(m ² K)
v	Zähler zur Anzahl der Stichprobenumfänge

VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WB	Wärmebrücken
WBGU	Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderung
W_{el}	elektrischer Energieanteil bei Wärmepumpen in kWh/a
WF	Wohnfläche in m ²
WF	Wirtschaftsfaktor (ohne Einheit)
WiCO ₂	Wirtschaftliches Potenzial zu CO ₂ -Emissionen je Gebäudekategorie in t/a
WP	Wärmepumpe
WRG	Wärmerückgewinnungszahl bei Lüftungsanlagen
WSW	Wuppertaler Stadtwerke
WärmeschutzV	Wärmeschutzverordnung
x1, x1b	Prozentualer Anteil der Profit-Organisationen
x2, x2b	Prozentualer Anteil der Non-Profit-Organisationen
y	Zähler zur Anzahl der Stichprobenumfänge
z	Anzahl der Heiztage in der Heizperiode, Außentemperatur unter 15°C
z	Zähler zu baualtersklassenspezifischen Heizkennwerten aus Bedarfsberechnungen

Glossar

Attributstabelle	Sachdaten zu Gebäuden beim Geografischen Informationssystem wie zum Beispiel: Fläche, Geschosszahl, Nutzung usw.
Brennwert	Energie zum Aufheizen des Heizkreislaufes zzgl. Verdampfungsenergie (Wasser), nur nutzbar bei Anlagen mit Brennwerttechnik und Energierückgewinnung durch Verdampfungswärme
Clustern	Zusammenführen von mehreren GIS-Datensätzen einer Liegenschaft zu einer Gebäudeeinheit
Endenergie	Ist der Energieanteil an der Primärenergie (nicht erneuerbarer Anteil), der nach Umwandlungs- und Übertragungsverlusten am Hausanschluss zur Verfügung steht (beim Nichtwohngebäudebestand im Jahr 2010 wird der geringe Einfluss von Anteilen erneuerbarer Energien vernachlässigt)
Gebäudelayer	Grafische Darstellungsebene der Gebäude im Geografischen Informationssystem
GIS-Daten	Daten aus einem Geografischen Informationssystem (GIS) mit grafischen Dateninhalten und Sachdaten zu Gebäuden
Gradtagzahl	Ist die Summe von Tagen einer Heizperiode, bei denen die Außentemperatur als Tagesmittel unter der Heizgrenztemperatur von 15°C liegt, dabei werden die Differenzen zwischen der Rauminnentemperatur von 20°C und der Außentemperatur gebildet
Heizgradtagzahl	Ist die Summe von Tagen einer Heizperiode, bei denen die Außentemperatur als Tagesmittel unter der Heizgrenztemperatur von 15°C liegt, dabei werden die Differenzen zwischen der Heizgrenztemperatur von 15°C und der Außentemperatur gebildet
Heizwert	Bei der Verbrennung nutzbare Wärmemenge für Heizkreislauf ohne Nutzung der Verdampfungsenergie
Heizenergie	Ist die Energiemenge bei zukünftigen Nichtwohngebäudebeständen, die für die Raumheizung inklusive Anlagenverluste benötigt wird, hierin sind auch etwaige erneuerbare Energien enthalten

Heizenergieverbrauch

Ist die Heizenergie, die tatsächlich zur Beheizung des Gebäudes aufgewendet werden muss

Heizenergiebedarf Ist die Heizenergie gemäß Bedarfsberechnungen

Heizkennwert Ist ein flächenbezogener Kennwert zum Jahresheizenergieverbrauch oder -bedarf

Heizstrom/Strommix

Anders als beim Strommix wird beim Heizstrom von höheren CO₂-Emissionsfaktoren ausgegangen, da der Heizstrom durch einen abweichenden Kraftwerksmix sicher gestellt wird

IKARUS

Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien: Forschungsprojekt zur deutschen Energiesystemanalyse und Analyse zu Minderungen von Treibhausgasemissionen (wurde vor etwa 10 Jahren eingestellt)

Primärenergie Ist die Energie, die zum Beispiel mit den Energieträgern Kohle, Gas, Sonne, Wind oder Erdöl zur Verfügung steht

Shape-Daten Ist ein Dateiformat beim Geografischen Informationssystem und besteht aus mindestens drei Dateien zur Speicherung der Geometriedaten, Sachdaten und zur Verknüpfung der Daten

Referenzgebäude nach EnEV

Das untersuchte Gebäude wird bei der Bedarfsberechnung mit Referenzwerten nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) zur Gebäudehülle und Gebäudetechnik ausgestattet und als Referenzgebäude zwecks Bestimmung der einzuhaltenden energetischen Grenzwerte bilanziert

Quellenverzeichnis

[Ach2009]

Achelis Justus (2009), Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz, Auslegungsfragen zur Energieeinsparverordnung Teil 11, Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.), Berlin, 2009, Stand: 01.03.2011,

http://www.dibt.de/de/Data/EnEG_Staffel11.pdf

oder

http://www.dibt.de/de/aktuelles_energieeinsparverordnung.html

[ages2010]

Verbrauchskennwerte 2005, Forschungsbericht der ages-GmbH [Hrsg.] (2010), Münster, gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, 3. Auflage

[ARGE2007]

ARGE-Benchmark [Hrsg.] (2007) Benchmarks für die Energieeffizienz von Nichtwohngebäuden – Zwischenbericht Stand August 2007, Forschungsprogramm: Zukunft Bau im Auftrag des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung, http://www.argebenchmark.de/downloads/Zwischenbericht_ARGE_Benchmark.pdf, Stand: 29.04.2010

[Ahr2011]

Ahrens Olaf, Beckert Stefan et al. (2011) Integrale Planung für die Realisierung eines öffentlichen Hallenbades mit Konzepten der Passivhaustechnologie,

http://www.baeder-luenen.de/uploads/media/Bericht_Integrale_Planung_01.pdf,

Stand: 20.09.2013

[Are2007]

Aretz Astrid, Hirschl Bernd (2007) Biomassenpotenzial in Deutschland - Übersicht maßgeblicher Studienergebnisse und Gegenüberstellungen der Methoden,

http://www.nachhaltige-waldwirtschaft.de/fileadmin/Dokumente/Infos_Verbuende/Diskussionspapier_Potenzialanalyse_IOEW.pdf, Stand: 10.12.2012

[Aug2011]

Auge Johannes, Voßbürger Petra et al. (2011) Handlungsprogramm Klimaschutz 2020 Dortmund, Teilkonzept Dienstleistungszentrum Energieeffizienz,

http://umweltamt.dortmund.de/upload/binarydata_do4ud4cms/66/97/20/00/00/00/209766/abschlussbericht_dlz_energieeffizienz.pdf, Stand: 26.05.2012

[Bac2009]

Bachmann Hubert, Steinle Alfred et al. (2009) Betonkalender, Sonderdruck Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau, Ernst & Sohn, Berlin

[Bay2011]

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit, StMUG [Hrsg.] (2011), Leitfaden Energienutzungsplan, http://www.stmi.bayern.de/imperia/md/content/stmi/bauen/rechtundtechnikundbauplanung/_staedtebau/veroeffentlichungen/oeko/leitfaden_enp.pdf, Stand: 01.06.2012

[BBR2005]

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung [Hrsg.] (2005) Evaluierung der CO₂-Minderungsmaßnahmen im Gebäudebereich, http://www.bbsr.bund.de/cln_032/nn_340582/BBSR/DE/Veroeffentlichngen/BBSROnline/2002__2006/CO2Minderungsmassnahmen.html?__nnn=true, Stand: 25.02.2012

[BBSR2009]

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung [Hrsg.] (2009) Benchmarks für die Energieeffizienz von Nichtwohngebäuden, Vergleichswerte für Energieausweise, http://www.bbsr.bund.de/cln_032/nn_23582/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2009/ON092009.html, Stand: 01.06.2012

[BBSR2011a]

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) [Hrsg.] (2011) Struktur der Bestandsinvestitionen, BBSR-Berichte KOMPAKT, http://www.bbsr.bund.de/cln_032/nn_542136/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BerichteKompakt/2011/BK122011.html, Stand: 05.08.2012

[BBSR2011b]

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) [Hrsg.] (2011) Nutzungsdauern von Bauteilen zur Lebenszyklusanalyse nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/nutzungsdauern-von-bauteilen.html>, Stand: 05.11.2012

[BBSR2012]

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) [Hrsg.] (2012), Datenaufnahme Gebäudebestand - Erfassung von statistischen Basisdaten zum Nichtwohngebäudebestand und empirische Analyse der energetischen Qualität ausgewählter Gebäudetypen
http://www.bbsr.bund.de/nn_21260/BBSR/DE/Aktuell/Forschungsprojekte/10-08-80-12-1/Bekanntmachung,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Bekanntmachung.pdf, Stand: 06.08.2012

[BDEW2012a]

BDEW Bundesverband der Energie- und Wassertechnik e. V. [Hrsg.] (2012) Energiedaten, Rubrik 8.8 Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes in Deutschland (Stand 2010), http://www.bdew.de/internet.nsf/id/DE_Energiedaten, Stand: 28.05.2012

[BDEW2012b]

BDEW Bundesverband der Energie- und Wassertechnik e. V. [Hrsg.] (2012) Langfristige Entwicklung von Öl- und Gaspreisen, [http://www.bdew.de/internet.nsf/id/60DD3781419667C4C12578F500462808/\\$file/Langfristige%20Entwicklung%20von%20Oel-%20und%20Gaspreisen%201990-2012%2018Aug2012_o_quartal_MK.pdf](http://www.bdew.de/internet.nsf/id/60DD3781419667C4C12578F500462808/$file/Langfristige%20Entwicklung%20von%20Oel-%20und%20Gaspreisen%201990-2012%2018Aug2012_o_quartal_MK.pdf), Stand: 01.11.2012

[Bie2008]

Bierwirth Anja, Fishedick Manfred et al. (2008) Handlungsperspektive 2020 Klimaschutz-Rahmenprogramm Region Hannover, Materialband III / Stellungnahme des Wuppertal Instituts, www.wupperinst.org/uploads/tx_wiprojekt/Hannover_KSRP_Materialienband3.pdf, Stand: 26.05.2012

[BINE2006]

BINE Informationsdienst Bonn [Hrsg.] (2006), Gebäude sanieren - Schulen, http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Themen-Infos/I_2006/themen0106internetx.pdf, Stand: 20.10.2012

[BLB2008]

Bau- und Liegenschaftsbetrieb des Landes Nordrhein-Westfalen [Hrsg.], Düsseldorf, https://www.blb.nrw.de/BLB_Hauptauftritt/BLB_NRW/Profil/index.php, Stand: 07.11.2012

[Ble2009]

Blesl M., Kempe S. et al. (2009) Wärmetlas Baden-Württemberg – Erstellung eines Leitfadens und Umsetzung für Modellregionen, http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2009/4840/pdf/Waermetlas_BW.pdf, Stand: 23.11.2011

[BMU2008]

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) [Hrsg.] (2008) »Leiststudie 2008« Weiterentwicklung der »Ausbaustrategie Erneuerbare Energien« vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas http://www.dlr.de/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/publications/Leitstudie2008_Langfassung_2008_10_10.pdf, Stand: 08.05.2013

[BMU2009]

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) [Hrsg.] (2009) Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland »Leitszenario 2009«, http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/ee-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitszenario2009_bf.pdf, Stand: 08.05.2013

[BMU2010]

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) [Hrsg.] (2010) Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global, »Leitstudie 2010«, http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2010_bf.pdf, Stand: 08.12.2012

[BMU2011]

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) [Hrsg.] (2011) Das Energiekonzept der Bundesregierung 2010 und die Energiewende 2011, www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energiekonzept_bundesregierung.pdf, Stand: 08.03.2013

[BMU2012]

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) [Hrsg.] (2012) Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global »Leitstudie 2011«: http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/ee-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2011_bf.pdf, Stand: 15.01.2014

[BMVBS2009]

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [Hrsg.] (2009) Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand, http://coaching-kommunaler-klimaschutz.de/fileadmin/inhalte/Dokumente/StarterSet/BMVBS_Regeln_Energieverbrauchskennwerte.pdf, Stand: 01.06.2012

[BMVBS2010]

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [Hrsg.] (2010) Urbane Strategien zum Klimawandel, Dokumentation der Auftaktkonferenz 2010 zum ExWoSt-Forschungsfeld, www.stadt-und-klimawandel.de/sites/default/files/Dokumentation_Konferenz.pdf, Stand: 13.02.2012

[BMVBS2011a]

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [Hrsg.] (2011) Wohnen und Bauen in Zahlen 2010/2011, <http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/54084/publicationFile/54753/wohnen-und-bauen-in-zahlen-2010-2011.pdf>, Stand: 22.05.2012

[BMVBS2011b]

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [Hrsg.] (2011) Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland, BMVBS-Online-Publikation, Nr. 16/2011, http://www.bbsr.bund.de/nn_187722/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2011/ON162011.html, Stand: 22.05.2012

[BMVBS2011c]

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [Hrsg.] (2011) Strukturdaten zur Produktion und Beschäftigung im Baugewerbe, Berechnungen für das Jahr 2010, BMVBS-Online-Publikation, Nr. 19/2011, http://www.bbsr.bund.de/chn_032/nn_340582/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2011/ON192011.html?__nnn=true, Stand: 05.11.2012

[BMVBS2012a]

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [Hrsg.] (2012) Entwicklung eines Referenzszenarios im Gebäudebereich für das Gesamtziel »40% CO₂-Einsparung bis 2020«, BMVBS-Online-Publikation, Nr. 26/2012, <http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2012/ON262012.html>, Stand: 08.05.2013

[BMVBS2012b]

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [Hrsg.] (2012) Wohnen und Bauen in Zahlen 2011/2012, <http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/89886/publicationFile/65460/wohnen-und-bauen-in-zahlen-2011-2012.pdf>, Stand: 10.05.2013

[BMVBS2012c]

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [Hrsg.] (2012) Primärenergiefaktoren von biogenen Energieträgern, Abwärmequellen und Müllverbrennungsanlagen, BMVBS-Online-Publikation, Nr. 12/2012, http://www.bbsr.bund.de/nn_629248/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2012/DL__ON122012,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/DL_ON122012.pdf, Stand: 10.12.2012

[BMVBS2013]

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [Hrsg.] (2012) Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude – Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO₂-Minderungspotenzialen, BMVBS-Online-Publikation, Nr. 27/2013, http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2013/DL_ON272013.pdf?__blob=publicationFile&v=4, Stand: 15.01.2014

[BMW I ohne Datum]

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie [Hrsg.] Energieoptimiertes Bauen im Neubau, <http://www.enob.info/de/neubau/>, Stand: 06.12.2012
und
Energieoptimiertes Bauen in der Sanierung, <http://www.enob.info/de/sanierung/>, Stand: 6.12.2012

[BMW I2012a]

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie [Hrsg.] (2012) Zahlen und Fakten, Energiedaten, Nationale und Internationale Entwicklung, www.bmw.de/BMWi/Redaktion/Binaer/energiedatengesamt,property=blob,bereich=bmwI2012,sprache=de,rwb=true.xls, Stand: 08.12.2012

[BMW I2012b]

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie [Hrsg.] Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland, http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_zeitreihe.pdf, Stand: 08.12.2012

[Boe2000]

Böde Ulla, Gruber Edelgard et al. (2000) Klimaschutz durch Minderung von Treibhausgasemissionen im Bereich Haushalte und Kleinverbrauch durch klimagerechtes Verhalten, Band 2: Gewerbe, Handel und Dienstleistungen, www.oeko.de/oekodoc/58/2000-002-de.pdf, Stand: 25.05.2012

[Bog2008]

Bogenstätter Ulrich (2008) Property Management und Facility Management, Oldenbourg Verlag, München

[Böh2011]

Böhmer Heike (2011) Typische Probleme und Mängel bei der energetischen Sanierung von Bestandsgebäuden, in Wärmeschutz und Altbausanierung, 22. Hanseatische Sanierungstage, Seite 219-229, 1. Auflage, Fraunhofer IRB Verlag, Beuth Verlag, Bundesverband Feuchte & Altbausanierung e. V. [Hrsg.]

[Böl2009]

Böllhoff Christian, Barth Hans J. [Hrsg.] (2009) Der Zukunft auf der Spur, Analysen und Prognosen für Wirtschaft und Gesellschaft, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart

[Bre2008]

Brendel Cordula, Stadt Wuppertal, unveröffentlichte Datenerfassung zu Nichtwohngebäuden der Stadt Wuppertal (2008), E-Mail mit Anhang vom 04.05.2012

[Bre2012]

Brendel Cordula, Stadt Wuppertal, unveröffentlichte Daten zu dezentralen nicht-leitungsgebundenen Heizungsanlagen, E-Mail mit Anhang vom 30.05.2012

[Bre2013]

Brendel Cordula, Stadt Wuppertal, Telefonat zur Beschlusslage in Wuppertal hinsichtlich CO₂-Minderungsziele bis 2030 bzw. 2050, Telefonat vom 04.07.2013

[Bun2000]

Bundesagentur für Arbeit [Hrsg.] (2000), Arbeitsmarkt in Zahlen, Beschäftigungsstatistik, 31.12.2000, http://statistik.arbeitsagentur.de/nn_10256/SiteGlobals/Forms/Direkt_suche/direktsuche_Form_Rubrik.html?view=processForm&resourceId=17656&input_=&pageLocale=de&step=3&year=2000&month=12&category=b&topic=sobze-wz-heft&topic.GROUP=1&search=Suchen, Stand: 08.05.2013

[Bun2010]

Bundesagentur für Arbeit [Hrsg.] (2010), Sozialversicherungspflichtige Beschäftigte nach der Klassifizierung der Wirtschaftszweige, http://statistik.arbeitsagentur.de/nn_10256/SiteGlobals/Forms/Direksuche/direksuche_Form_Rubrik.html?view=processForm&resourceId=17656&input_=&pageLocale=de&step=3&year=2010&month=06&category=b&topic=sozbe-qheft&topic.GROUP=1&search=Suchen, Stand: 08.05.2013

[Cla2005]

Clausnitzer K.-D., Dittrich J. et al. (2005) Potenzial an Fachleuten zur Umsetzung der GebäudeRL. Auftraggeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit. Schlussbericht zum Dienstleistungsvorhaben 45/04 des BMWA. Berlin 2005, http://www.bremer-energieinstitut.de/download/publications/BEI500-010_0202_gutachten.pdf, Stand: 26.11.2012

[Dah2001]

Dahm Christian (2001), Typische Altersstrukturen und Energieverbräuche kirchlicher Liegenschaften, http://www.energieagentur.nrw.de/_database/_data/dataainfopool/kirchentagung_10_05_dahm.pdf, Stand: 07.05.2012

[Dah2006]

Dahm Christian (2006), Strategische Energiekostensenkung durch Energiemanagement, http://www.energieagentur.nrw.de/_database/_data/dataainfopool/kirchengemeinden_281006_dahm.pdf, Stand: 07.05.2012

[dena2011]

Deutsche Energie-Agentur dena [Hrsg.] (2011), Leitfaden Energetische Gebäudebilanzierung nach DIN V 18599, 1. Auflage

[DESTATIS2007]

Statistisches Bundesamt [Hrsg.] (2012) Immobilienwirtschaft in Deutschland 2006, Entwicklungen und Ergebnisse, Projektbericht, https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bauen/Querschnitt/ImmobilienwirtschaftDeutschlandland5016001069004.pdf;jsessionid=E695B8DAE2B15DF5472BCA940890CED5.cae4?__blob=publicatinnFile, Stand: 17.11.2012

[DESTATIS2009]

Statistisches Bundesamt [Hrsg.] (2009), Bevölkerungsstand Deutschland bis 2060 – 12. Koordinierte Bevölkerungsberechnung, <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerungsvorausberechnung/Bevoelkerungsvorausberechnung.html;jsessionid=DBC255F903D0ED2E783EEA6DC4617E1F.cae3>
und

https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bevoelkerung/Vorausberechnung/Bevoelkerung/BevoelkerungDeutschland2060Presse5124204099004.pdf?__blob=publicationFile, Stand: 08.05.2013

[DESTATIS2010]

Statistisches Bundesamt [Hrsg.] (2011), Gesundheit Grunddaten der Krankenhäuser 2010, http://www.gbe-und.de/gbe10/owards.prc_show_pdf?p_id=14473&p_sprache=d&p_uid=&p_aid=&p_lfd_nr=1#search=%22Bettenzahlen%20Krankenhaus%22, Stand: 30.03.2013

[DESTATIS2011]

Statistisches Bundesamt [Hrsg.] (2011) Bruttoinlandsprodukt, Lange Reihe ab 1950, Bruttoinlandsprodukt, Bruttonationaleinkommen, Volkseinkommen, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, Lange Reihe ab 1950, <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/VGR/Inlandsprodukt/Inlandsprodukt.html>,
Stand: 02.12.2012

[DESTATIS2012a]

Statistisches Bundesamt [Hrsg.] (2012b) Statistisches Jahrbuch 2012, Kapitel 18, https://www.destatis.de/DE/Publikationen/StatistischesJahrbuch/GesamtwirtschaftundUmwelt/WirtschaftundUmwelt.pdf?__blob=publicationFile, Stand: 14.10.2012

[DESTATIS2012b]

Statistisches Bundesamt [Hrsg.] (2012a), Basisdaten Kohlendioxidemissionen, https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/LaenderRegionen/Internationales/Thema/Tabellen/Basistabelle_Kohlendioxid.html, Stand: 13.02.2013

[DESTATIS2012c]

Statistisches Bundesamt [Hrsg.] (2012) Bauen und Wohnen, Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden u. a. nach Bauherren, Lange Reihen z. T. ab 1980, Excel-Blatt 4.1: Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Neubau) nach Art der Bauherren – Deutschland, BaufertigstellungenBauherrenXLS_5311201.xlsx,

https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bauen/BautaetigkeitWohnungsbau/BaufertigstellungenBauherrenPDF_5311201.html, Stand: 25.08.2012

und

https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bauen/BautaetigkeitWohnungsbau/BaugenehmigungenHeizenergiePDF_5311001.pdf?__blob=publicationFile,

Stand: 15.12.2012

und

Gebäude und Wohnungen, Bestand an Wohnungen und Wohngebäuden, Bauabgang von Wohnungen und Wohngebäuden, Lange Reihe ab 1969 - 2011, Excel-Blatt 4: Gebäude- und Wohnungsabgang, FortschreibungWohnungsbestandXLS_5312301.xls
https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bauen/Wohnsituation/FortschreibungWohnungsbestandXLS_5312301.html, Stand: 25.08.2012

[DESTATIS2012d]

Statistisches Bundesamt [Hrsg.] (2012), Preisindices für die Bauwirtschaft (3. Vierteljahresausgabe),

https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Preise/Baupreise/BauwirtschaftPreise2170400123234.pdf?__blob=publicationFile, Stand: 01.11.2012

[DESTATIS2013]

Statistisches Bundesamt [Hrsg.] (2012), Zahlen & Fakten, Baugewerbe

<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/Bauen/Baugewerbe/Tabellen/Betriebe.html>, Stand: 03.08.2013

und

https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Indikatoren/LangeReihen/Baugewerbe/lrbhg01.html?cms_gtp=151912_list%253D1&https=1, Stand: 08.05.2013

[Deu2012]

Deutscher Bundestag, Drucksache 17/9834,

<http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/17/098/1709834.pdf>, Stand: 30.10.2012

[Die2004]

Dienel Hans-Liudger, Prandner Eckart, Pühl Matthias (2004), Der DKV und die Geschichte der deutschen Kälte- und Klimatechnik, Alfons W. Gentner Verlag, Stuttgart

[Die2007]

Diefenbach Nikolaus, Enseling Andreas, Institut Wohnen und Umwelt [Hrsg.] (2007), Potentiale zur Reduzierung der CO₂-Emissionen bei der Wärmeversorgung von Gebäuden in Hessen bis 2012,

http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/IWU_Gebaeude_Potentialstudie_Hessen.pdf , Stand: 15.07.2012

[Die2008]

Diefenbach Nikolaus (2008), Deutscher Gebäudebestand: Basisdaten und Modellrechnungen bis 2020, IWU-Tagung am 17.04.2008,

http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/ake44/IWU-Tagung_17-04-2008_-_Diefenbach_-_Basisdaten.pdf, Stand: 07.04.2013

[Die2012]

Diefenbach Nikolaus, Basisdaten und Szenarien für den Klimaschutz im Wohngebäudebestand (2012), Präsentation zur Tagung am 31.5.2012 im IWU, Darmstadt,

http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/ake48/IWU-Tagung_2012-05-31_Diefenbach_IWU_DatenbasisUndSzenarien.pdf, Stand: 14.07.2012

[DIN13370]

DIN EN ISO 13370: 2008-04, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Wärmeübertragung über das Erdreich - Berechnungsverfahren (ISO 13370:2007); Deutsche Fassung EN ISO 13370:2007, Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin

[DINV18599]

DIN V 18599 (2011): Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwasser und Beleuchtung, Teil 1 bis 11 und Beiblatt 1 (2010), Ausgabe 2012, Beuth Verlag Berlin · Wien · Zürich

[DINV4701-10]

DIN V 4701-10 (2003) Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, Ausgabe 2003, Beuth Verlag Berlin · Wien · Zürich

[EEWärmeG2009]

Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz EEWärmeG), vom 07.08.2008, BGBl. I S. 1634, zuletzt geändert am 28.07.2011, BGBl. I S. 1634

[Eka2010]

Ekardt Felix, Heitmann Christian et al. (2010) Soziale Gerechtigkeit in der Klimapolitik, http://www.boeckler.de/pdf/p_edition_hbs_249.pdf, Stand: 24.04.2013

[EKD2011]

Evangelische Kirche in Deutschland (EKD) [Hrsg.] (2011), Kirche in Deutschland, Zahlen und Fakten zum kirchlichen Leben, http://www.ekd.de/download/broschuere_2011_mit_Links.pdf, Stand: 15.07.2012

[Emp2007]

empirica Qualitative Marktforschung, Stadt- und Strukturforshung GmbH (2007) Stadtumbau-West: Städtebauliches Entwicklungskonzept Wuppertal - Kurzfassung -, Bonn, http://www.wuppertal.de/wirtschaft-stadtentwicklung/medien/dokumente/2010_02_09_Endfassung_25230_Kurzfassung.pdf, Stand: 02.04.2013

[End ohne Datum]

Endrullis Manfred, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie [Hrsg.] (ohne Datum) Das GeoDatenZentrum – ein zentraler Geobasisdatenservice für Deutschland http://www.geodatenzentrum.de/geodaten/gdz_rahmen.gdz_div?gdz_spr=deu&gdz_akt_zeile=6&gdz_anz_zeile=4&gdz_unt_zeile=1&gdz_user_id=0, Stand: 15.03.2013

[Energie2012]

Energie Wissen (2012) Passivhaus, <http://www.energie-wissen.info/energiesparhaeuser/passivhaus.html>, Stand: 04.12.2012

[EnEG2013]

Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (Energieeinsparungsgesetz EnEG) vom 22.07.1976, letzte Änderung vom 04.0.7.2013 (BGBl. I S. 2197)

[EnEV2009]

Verordnung über energieeinsparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung EnEV), in der Fassung vom 24.7.2007 (BGBl. I S. 1519), letzte Änderung durch Art. 1 ÄndVO vom 29.4.2009 (BGBl. I S. 954)

[Erh2011]

Erhorn-Klutting Heike, Jank Reinhard, et al. (2011) Energetische Quartiersplanung Methoden -Technologie - Praxisbeispiele, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart

[Erh2013]

Erhorn-Klutting Heike, Erhorn Hans, et al. (2013) EnEff:Stadt Energiekonzept-Berater für Stadtquartiere, Seite 172-180 in Bauphysik 35 (2013) Heft 3, Ernst & Sohn Verlag

[Fei2006]

Feist Wolfgang [Hrsg.] (2006) Protokollband Nr. 33 Passivhaus-Schulen, Passivhaus Institut, Darmstadt

[Fei2012a]

Feist Wolfgang [Hrsg.] (2012) Passivhaus Projektierungs-Paket PHPP Version 7, Das Energiebilanzierungs- und Passivhaus-Planungstool für qualitätsgeprüfte Passivhäuser und EnerPHit-Modernisierungen, Passivhaus Institut, Darmstadt

[Fei2012b]

Feist Wolfgang [Hrsg.] (2012) Protokollband Nr. 40 Passivhaus-Verkaufsstätten, Passivhaus Institut, Darmstadt

[Fei2012c]

Feist Wolfgang [Hrsg.] (2012) Tagungsband 16. Internationale Passivhaustagung 2012, Passivhaus Institut, Darmstadt

[Fis2002]

Fischedick Manfred, Lechtenböhrer Stefan et al. (2002), Langfristszenarien für eine nachhaltige Energienutzung in Deutschland, Umweltbundesamt [Hrsg.], <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2134.pdf>, Stand: 22.11.2012

[Fis2008]

Fischedick Manfred, Lechtenböhrer Stefan et al. (2008) Angewandte Systemanalyse, FernUniversität in Hagen [Hrsg.], Studienangebot: infernum

[Fis2010]

Fischedick Manfred, Arnold Karin et al. (2010) Potenziell treibende Kräfte und potenzielle Barrieren für den Aufbau erneuerbarer Energien aus integrierter Sichtweise, http://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/driving-forces-final_de.pdf, Stand: 11.12.2012

[Fit2009]

Fitz Sven (2009) GIS-gestützte Analyse der Energieeinspar- und Klimaschutzpotentiale der Gebäudetypologie der Stadt Freiburg i. Br.,
http://www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/7240/pdf/GIS_gestuetzte_Analyse_der_Klimaschutzpotentiale_der_Stadt_Freiburg_Sven_Fitz_.pdf, Stand: 26.05.2012

[Fri1980]

Friedrichs Jürgen (1980) Methoden empirischer Sozialforschung, 13. Auflage,
Westdeutscher Verlag, Opladen

[Fri2012]

Friedl Werner (2012) Der nächste kleine Zwischenschritt, in Passivhaus Kompendium 2013, Seite 49 bis 51, Laible Verlagsprojekte, Allensbach

[Fri2013]

Friedl Werner [Hrsg.] (2013) EnEV und Energieausweise, Aktualisierung Stand März 2013, Forum Verlag Hekker GmbH, Merching

[FVEE2010]

ForschungsVerbund Erneuerbare Energien [Hrsg.] (2010) Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept auf Basis von Energieeffizienz und 100% erneuerbaren Energien,
http://www.fvee.de/fileadmin/politik/10.06.vision_fuer_nachhaltiges_energiekonzept.pdf, Stand: 11.12.2012

[GER2012a]

GERTEC, Essen, Stadt Wuppertal CO₂-Bilanz 1990-2009, Stadt Wuppertal [Hrsg.] (2012), http://www.wuppertal.de/rathaus-buergerservice/medien/dokumente/CO2-Bilanz_Wuppertal__Bericht1990-2009_Stand-2012-09.pdf, Stand 18.07.2013

[GER2012b]

GERTEC [Hrsg.], Essen, Die Potenzialermittlung Erneuerbarer Energien im bergischen Städtedreieck, Präsentation im Rahmen des Klimaschutzteilkonzepts »Erneuerbare-Energien-Potentiale«, Workshop 1 »Ausbau Erneuerbarer Energien vor Ort durch bürgerliches Engagement«, 24. Okt. 2012, Tagungsort: Bergische Entwicklungsagentur, Solingen, www.remscheid.de/leben/medienpool/dokumente020/1.31.5_EE_PotAnalyse.pdf, Stand 23.07.2013

[Gie1994]

Gierga M., Erhorn H. (1994) Bestand und Typologie beheizter Nichtwohngebäude in Westdeutschland, Forschungszentrum Jülich [Hrsg.], IKARUS-Bericht 5-14, Projekt 5 »Haushalte und Kleinverbraucher«

[Gle2013]

Gleim Christian, Stadt Wuppertal, Einschätzungen zu kommunalen Flächenentwicklungen von 1990 bis 2013 und Grundlagen der Energiebilanzen für kommunale Gebäude der Stadt Wuppertal, Telefonat vom 04.07.2013

[GMW2009]

Gebäudemanagement der Stadt Wuppertal (2009) Beispielprojekte, http://www.wuppertal.de/microsite/gmw/energie_managen/musterprojekte/10237010000146734.php, Stand 21.04.2013

[GMW2011]

Gebäudemanagement der Stadt Wuppertal (2010), Geschäftsbericht 2010, <http://www.wuppertal.de/microsite/gmw/medien/bindata/GMW-Geschaeftsbericht-2010.pdf>, Stand: 10.05.2013

[GMW2012a]

Gebäudemanagement der Stadt Wuppertal (2012) Energieausweise, http://www.wuppertal.de/microsite/gmw/energie_managen/energieausweise/10237010000140499.php, Stand: 26.03.2012

[GMW2012b]

Gebäudemanagement der Stadt Wuppertal (2012) Energieausweise, http://www.wuppertal.de/microsite/gmw/gebaeude_erleben/index.php, Stand: 02.04.2012

[Gol2007]

Goldman Sachs (2007) [Hrsg.] Global Economics Paper No: 153, <http://www.chicagobooth.edu/alumniclubs/pakistan/docs/next11dream-march%20%2707-goldmansachs.pdf>, Stand: 10.05.2013

[Grö2013]

Gröne Marie-Christine (2013), E-Mail vom 11.11.2013: Workshop im Jahr 2010 mit Vertretern der Stadt Wuppertal und den Wuppertaler Stadtwerken (Marie-Christine Gröne und Stefan Wernersbach, Wuppertal Institut)

[Gru2011]

Gruhler Karin, Böhm Ruth (2011) Ressourcenbezogene Kennwerte von Nichtwohngebäuden, Analyse und Aufarbeitung von Daten der Statistik »Bauen und Wohnen«, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart

[Gül1994]

Gülec T., Kolmetz Sven, Rouvel Lothar (1994) Energieeinsparungspotential im Gebäudebestand durch Maßnahmen an der Gebäudehülle, Forschungszentrum Jülich (Hrsg.)

[Ham2012]

Hamann Achim (2012) Nachhaltige Immobilienwirtschaft am Beispiel der Abwasserwärmenutzung, Technische Grundlagen, Sachstand in Deutschland und wirtschaftliche Vergleiche unter Berücksichtigung der Anforderungen des EEWärmeG und der EnEV, Oldenbourg Industrieverlag, München

[Ham2013a]

Hamann Achim, Helmus Manfred, Reutter Oscar (2013) Modell zur Bestandssituation bei beheizten Nichtwohngebäuden in Deutschland, HLH Bd. 64 Nr. 1, S. 50-53, Springer VDI Verlag

[Ham2013b]

Hamann Achim (2013) Vortrag: Unterschätzte Chancen - Potenziale zur energetischen Sanierung von beheizten Nichtwohngebäuden bzw. Nichtwohngebäudebeständen am Beispiel Vohwinkel / Wuppertal, Fachtagung im Rathaus der Stadt Wuppertal Stadt-wandel, Workshop A, 28.11.2013, <http://stadtwechsel.wupperinst.org/fileadmin/redaktion/stadtwechsel/downloads/vortraege/Hamann.pdf>, Stand: 12.12.2013

[Ham2013c]

Hamann Achim (2013) Abstract zur Fachtagung im Rathaus der Stadt Wuppertal Stadtwechsel als Chance für Klima, Umwelt, Gesundheit und Lebensqualität, Workshop A, 28.11.2013, http://stadtwechsel.wupperinst.org/fileadmin/redaktion/stadtwechsel/downloads/vortraege/Hamann_Abstract.pdf, Stand: 12.12.2013

[Han2010]

Hanke Thomas, Soukup Ole et al. (2010) Bottom-up Wirkungsanalyse-Modell Abschlussbericht des Arbeitsschritts 6.2 des Projekts »Materialeffizienz und Ressourcenschonung« (MaRes), Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, http://ressourcen.wupperinst.org/downloads/MaRes_AP6_4.pdf, Stand: 25.05.2013

[Has2004]

Hassler Uta, Kohler Niklaus (2004) Das Verschwinden der Bauten des Industriezeitalters, Ernst Wasmuth Verlag Tübingen Berlin

[Heb2011]

Hebel von Elisabeth, Jahn Karin et al. (2011) Der energetische Sanierungsbedarf und der Neubaubedarf von Gebäuden der kommunalen und sozialen Infrastruktur, http://www.bremer-energie-institut.de/download/publications/BEI500_024_0431_Gutachten.pdf, Stand: 01.06.2013

[Hel2013]

Helmus Manfred, Reutter Oscar, Hamann Achim (2013) Modellergebnisse zur Bestandssituation bei beheizten Nichtwohngebäuden am Beispiel von Wuppertal-Vohwinkel, in *Zeitreise der Planungs- und Bauökonomie*, S. 210-227, Bartsch Franziska und Herke Sebastian [Hrsg.], BKI Verlag, Stuttgart

[Her2000]

Hermes Dieter (2000) Analyse zur Umsetzung rationeller Energieanwendungen in kleinen und mittleren Unternehmen des Kleinverbrauchersektors, http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2000/732/pdf/Endversion_19062000_n.pdf, Stand: 12.02.2012

[HIC2012]

Hamburg Institut Consulting [Hrsg.], Fachforum: Fernwärme mit erneuerbaren Energien, <http://www.hamburg-institut.com/index.php/news/106-fachforum-fernwaerme.html>, Stand: 05.04.2013

[Hin2013]

Hinderer Detlef (2013) Energieeffizienzberatung für KMU gefördert in *Der Facility Manager*, Ausgabe April 2013, Seite 37, Forum Zeitschriften und Spezialmedien GmbH, Merching

[Hoe2012]

Hörner Michael (2012) Typologiegestützte Analyseinstrumente für die energetische Bewertung bestehender Nichtwohngebäude, http://www.iwu.de/forschung/energie/laufend_nichtwohngebäudeanalyse/, Stand: 26.05.2012 und persönliches Telefonat am 17.04.2012

[Hoe2013]

Hörner Michael, Jedeck Christoph et al. (2013) Teilenergiekennwerte Neue Wege in der Energieanalyse von Nichtwohngebäuden im Bestand – Teil 1a, HLH Bd. 64 Nr. 11, S. 70-74, Springer VDI Verlag

[Hof2013]

Hoffmann Klaus (2013) Info Brief Öffentliches Baurecht 3. Auflage – Februar 2013 BauGB-Novelle 2013, http://www.hoffmann-gress.de/skripten/InfoBrief-Baurecht__BauGB-Novelle%202013_Februar-2013.pdf, Stand: 28.05.2013

[Hot2011]

Hotze Susanne, Kaiser Christian et al. (2011) Struktur der Investitionstätigkeit in den Wohnungs- und Nichtwohnungsbeständen, http://www.bbsr.bund.de/cln_032/nn_112742/BBSR/DE/FP/ZB/Auftragsforschung/1Wertschoepfung/2011/StrukturInvestition/04__Veroeffentlichungen.html, Stand: 15.06.2013

[Hot2012]

Hottgenroth [Hrsg.] Newsletter (2012) Die neue EnEV Der Referentenentwurf, E-Mail vom 23.10.2012

[IEA2011]

International Energy Agency [Hrsg.] (2011) CO₂ Emissions from fuel combustion, IEA Statistics, Edition 2011, <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/co2highlights.pdf>, Stand: 22.05.2012

[IEMB2006]

Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V. und Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung [Hrsg.] (2006), Lebensdauer von Bauteilen und Bauteilschichten, Info-Blatt Nr. 42, http://www.gruebbel.de/others/1/39-lebensdauer_von_bauteilen.pdf, Stand: 20.10.2012

[IFG2011]

Institut für Gewerbezentren [Hrsg.] (2011) Shopping-Center in Deutschland – Im Westen viel Neues Aktueller Stand, <http://www.shoppingcenters.de/de/marktsituation/deutschland.html>, Stand: 30.03.2013

[ifo1999]

Institut für Wirtschaftsforschung [Hrsg.], Deutsche Ausgabe (1999) Der Gebäudebestand in Europa: Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien, Spanien

[Ise2012]

Isele André, Höfker Gerrit et al. (2012) Entwicklung eines Gebäudeinformationssystems mit einem Bottom-Up-Modell zur Berechnung des Energiebedarfs von Stadtquartieren, http://gekis.org/wordpress/wp-content/uploads/2012/11/isele_v2.pdf, Stand: 21.09.2013

[IPCC2007]

Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC [Hrsg.] (2007) Climate Change 2007: Synthesis Report, http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf, Stand: 11.03.2013

[IKA1991]

IKARUS Instrumente für Klimagasreduktionsstrategien, Ein Entwicklungsprojekt des BMFT, Zusammenfassender Zwischenbericht für die Projektphase 1 (1991), Forschungszentrum Jülich (Hrsg.).

[IWU2012]

Institut Wohnen und Umwelt [Hrsg.] (2012), Berechnung der Gradtagzahl nach VDI 3807, www.iwu.de/datei/Gradtagszahlen_Deutschland.xls, Stand: 28.05.2012

[IWU2013]

Institut Wohnen und Umwelt [Hrsg.] (2013), Wissenschaftliche Begleitung der Sanierung des neuen IWU-Domizils mit passivhaustauglichen Komponenten, Stand: 23.11.2013

[Jon2012]

Jons Lang Lasalle [Hrsg.] (2012), Office Market Profiles Q4 2011 Berlin, Düsseldorf, Frankfurt, Hamburg, Köln, München und Stuttgart, <http://www.joneslanglasalle.de/ResearchLevel1/Office%20Market%20Profiles%20f%C3%BCr%20St%C3%A4dte%20-%204.%20Quartal%202011.pdf>, Stand: 09.04.2012

[Kem2011]

Kempf Heike, Schmidt Peter (2011) Erneuerbare Energien, Technologien Anforderungen Projektbeispiele, WEKA MEDIA GmbH & Co. KG, Kissing

[KfW2008]

Kreditanstalt für Wiederaufbau [Hrsg.] (2008) Abschlussbericht Detailberatung, http://www.kfw.de/kfw/de/I/II/Download_Center/Foerderprogramme/versteckter_Ordn er_fuer_PDF/141561_F_EEB_Abschlussbericht_Detailberatung_Funktional.pdf, Stand: 03.02.2011

[Kin2012]

Kinder Rolf (2012) CO₂-Endbilanz 1990-2009 der Stadt Wuppertal, Vorlage VO/0855/12: Ausschuss für Umwelt am 27.11.2012, http://www.wuppertal.de/rathaus-buergerservice/medien/dokumente/CO2-Bilanz_2012-11-27_VO-0855-12_1990-2009_Praesentation.pdf, Stand: 10.08.2013

[Kla2009]

Klauß Swen, Kirchhof Wiebke et al. (2009) Katalog regionaltypischer Materialien im Gebäudebestand mit Bezug auf die Baualtersklasse und Ableitung typischer Bauteilaufbauten, <http://www.zub-kassel.de/files/downloads/Deutschlandkarte-2009-10.pdf>, Stand: 18.01.2012

[Kla2010]

Klauß Swen (2010) Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit, http://www.bbsr.bund.de/cln_032/nn_117864/BBSR/DE/FP/ZB/Auftragsforschung/5EnergieKlimaBauen/2010/DatenbankModellgebaeude/04__veroeffentlichungen.html, Stand: 06.09.2012

[Kle2000]

Kleemann Manfred, Heckler Rainer et al. (2000) Die Entwicklung des Wärmemarktes für den Gebäudesektor bis 2050, Schriften des Forschungszentrums Jülich [Hrsg.], Reihe Umwelt/Environment Band 23

[Kli2013]

Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes in Nordrhein-Westfalen (Klimaschutzgesetz NRW) (2013), <http://www.landtag.nrw.de/portal/WWW/dokumentenarchiv/Dokument/MMG16-29.pdf?von=1&bis=0>, Stand: 20.09.2013

[Koh1999]

Kohler Niklaus, Hassler Uta, Paschen Herbert [Hrsg.] (1999) Stoffströme in den Bereichen Bauen und Wohnen, Springer-Verlag Berlin Heidelberg

[Kos2008]

Kosow Hannah, Gaßner Robert (2008) Methoden der Zukunfts- und Szenarioanalyse Überblick, Bewertung und Auswahlkriterien, Werkstattbericht Nr. 103, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin,
http://www.izt.de/fileadmin/downloads/pdf/IZT_WB103.pdf, Stand: 03.05.2013

[Kol1995]

Kolmetz Sven, Rouvel Lothar et al. (1995) Energieverbrauchsstrukturen im Sektor Kleinverbraucher, Forschungszentrum Jülich

[Kro1998]

Kromrey Helmut (1998) Empirische Sozialforschung, Modelle und Methoden der Datenerhebung und Datenauswertung, 8. Auflage, Leske+Budrich, Opladen

[Lan ohne Datum]

Landesamt für Vermessung und Geoinformation, Freistaat Thüringen (Hrsg.)
<http://www.thueringen.de/de/tlvermgeo/landesvermessung/dlm/>, Stand: 24.03.2013

[Lau1997]

Laue Hans-Jürgen, Weber Karl-Heinz et al. (1997) IKARUS-Datenbank Ein Informationssystem zur technischen, wirtschaftlichen und umweltrelevanten Bewertung von Energietechniken, Forschungszentrum Jülich

[Lec2003]

Lechtenböhrer Stefan, Wagner Oliver (2003) Energie- und Klimainventur der Stadt Münster, www.wupperinst.org/uploads/tx_wiprojekt/4179_report.pdf,
Stand: 26.05.2012

[Len2010]

Lennerts Kunibert, Diez Karin (2010), System Krankenhäuser und Pflegeheime, Internationaler Kongress und Fachmesse für nachhaltiges Bauen Juni 2010,
http://p31628.mittwaldserver.info/fileadmin/consense/Vortraege_2010/Workshops_100622/Prof.Dr.KunibertLennerts_Dr.KarinDiez_DGNBZertifikatKrankenhaeuser_Conse2010.pdf, Stand: 19.07.2012

[Lic2010]

Lichtmeß Markus (2010) EnerCalC: Vereinfachtes Bilanzierungsverfahren mit Excel-Tool, <http://www.enob.info/de/forschungsfelder/enob-forschungsinitiative-im-detail/enob-begleitforschung/materialien-fuer-projektteams/enercalc-vereinfachte-bilanzierung-nach-din-v-18599/>, Stand: 26.05.2012, entwickelt an der Bergischen Universität Wuppertal

[Log2007]

Loga Tobias, Diefenbach Nikolaus et al. (2007) Querschnittsbericht Energieeffizienz im Wohngebäudebestand, IWU Darmstadt, http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/IWU_QBer_E nEff_Wohngeb_Nov2007.pdf, Stand: 18.08.2012

[Maas2013]

Maas Anton (2013), Universität Kassel, Abschätzung während eines Vortrages zum Sommerlichen Wärmeschutz von Gebäuden, Stand und Perspektiven gesetzlicher und normativer Regelungen, 1. Wuppertaler-Wärmeschutz-Tagung an der Bergischen Universität Wuppertal, 19.09.2013

[Mal ohne Datum]

von Malotki Christian, Birk Ute et al. (ohne Datum), Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [Hrsg.], http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/wohnen/2010/SONDERPUBLIKATION_BARRIEREFREI.pdf, Stand: 26.05.2012

[Mar2003]

Markewitz Peter, Stein Gotthard [Hrsg.] (2003) Das Ikarus-Projekte: Energetische Perspektiven für Deutschland, Forschungszentrum Jülich

[Mol2010]

Moll Stephan, van de Sand Isabel (2010), Deutschland im Weltumweltraum in Zukunftsfähiges Deutschland in einer globalisierten Welt, Eine Studie des Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland und Brot für die Welt, Evangelischer Entwicklungsdienst [Hrsg.], 4. überarbeitete Auflage 2010, Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt

[Möl2011]

Möller Ralf, Pöter Hans et al. (2011) Planen und Bauen mit Trapezprofilen und Sandwich-Elementen Gestaltung, Planung, Ausführung, Ernst & Sohn, Berlin

[Nan2012]

Nanning Sabine, Berlo Kurt et al. (2012) Endbericht Integriertes Klimaschutzkonzept der Evangelischen Kirche von Westfalen, erstellt vom Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie und e&u energiebüro, http://www.klimaschutz-ekvw.de/fileadmin/01-Daten-Klimaschutz/02-Downloads/Endbericht_final_120403.pdf , Stand: 10.01.2013

[Off2012]

Offergeld Berit, (2012) Bestimmung von Immobiliennutzungszyklen am Beispiel von Bürogebäuden, Bericht - Lehr - und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft, Bergische Universität Wuppertal, Band 2/2012, Shaker Verlag, Aachen

[Pas200]

Passivhaus Institut [Hrsg.] (2010), 1. Architekturpreis Passivhaus, Die Finalisten, Preisvergabe 2010, Darmstadt

[Pfi2010]

Pfister Marion, Zedi Vinzenz et al. (2010) Ersatzneubauten - Hemmnisse und Anreize, http://www.wuestundpartner.com/ueber_uns/foerderpreis/foerderpreis_2011/dokument/e/ersatzneubau_hemmnisse_und_anreize.pdf , Stand: 09.11.2012

[Pri2011]

PrimeEnergyIT Projektconsortium [Hrsg.] (2011) Energieeffiziente IT und Infrastruktur für Rechenzentren und Serverräume, Broschüre im Rahmen des internationalen Projektes PrimeEnergyIT mit finanzieller Unterstützung des EU-Programms »Intelligent Energy Europe«

[ProÖko2009]

Prognos und Öko-Institut [Hrsg.] (2009) Modell Deutschland Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken, <http://www.oeko.de/oekodoc/971/2009-003-de.pdf>, Stand: 15.12.2012

[Ram2012]

Ramsauer Peter (2012), Grußwort des Bundesministers für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung zur 16. Internationalen Passivhaustagung in: Tagungsband, 16. Internationale Passivhaustagung 2012 in Hannover, Wolfgang Feist-Passivhaus Institut-Darmstadt [Hrsg.]

[Rec2011]

Recknagel Sprenger Schramek [Hrsg.] (2011) Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, Ausgabe 2011/2012, 75. Auflage, DVD, Oldenbourg Industrieverlag München

[Reu2012]

Reutter Oscar, Bierwirth Anja et al. (2012), Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH [Hrsg.], Low Carbon City Wuppertal 2050, Sondierungsstudie - Abschlussbericht, http://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/LCC_Wuppertal_2050.pdf, Stand: 15.12.2012

[Reu2012b]

Reutter Oscar (2012), Klimaschutz und Klimafolgenanpassung als Herausforderung für die Stadtentwicklung, Einführungsvortrag am 14. November 2012 Kongress: Klima. Stadt. Wandel, http://www.srl.de/dateien/dokumente/de/2_Dr._Reutter_Einfuehrung_5873.pdf, Stand: 22.08.2013

[Ron2009]

Rongen Ludwig, Dulle Hermann (2009) Energetische Optimierung kommunaler Bestandsgebäude der Stadt Baesweiler, www.dbu.de/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-26650.pdf, Stand: 26.05.2012

[Run2008]

Runge Fritz, Emmrich Frank (2008) Vergleichswerte des Energieverbrauchs von Laborgebäuden der chemisch-pharmazeutischen Industrie, http://www.arbenchmark.de/downloads/studie_vergleichswerte_labore_chemie_juni_2008.pdf, Stand: 19.03.2013

[RWE2009]

RWE [Hrsg.] PROM des Jahres, Eine Initiative der RWE Energiedienstleistungen GmbH, http://www.prom-des-jahres.de/fileadmin/downloads/2009/PROM_Abschlussbericht_2009.pdf, Stand:06.09.2012

[Sac2002]

Sachse Michael, Semke Sabine et al. (2002) Energieforschung in Deutschland - Aktueller Entwicklungsstand und Potenziale nichtnuklearer Energietechniken, Forschungszentrum Jülich [Hrsg.], juwel.fz-juelich.de:8080/dspace/bitstream/2128/333/1/Energietechnik_24.pdf, Stand: 25.05.2012

[Sch2003]

Schmid Christine, Brakhage Anselm et al. (2003) Möglichkeiten, Potenziale, Hemmnisse und Instrumente zur Senkung des Energieverbrauchs branchenübergreifender Techniken in den Bereichen Industrie und Kleinverbrauch, [ttp://www.isi.fraunhofer.de/isi-media/docs/e/de/publikationen/ISI_REN-Querschnitt.pdf](http://www.isi.fraunhofer.de/isi-media/docs/e/de/publikationen/ISI_REN-Querschnitt.pdf), Stand: 25.05.2012

[Schl2007]

Schlesinger Michael, Hofer Peter et al. (2007) Endbericht Energieszenarien für den Energiegipfel 2007,
www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Studien/energieszenarien-fuer-energiegipfel-2007,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf,
Stand: 25.05.2012

[Schl2009]

Schlomann Barbara, Kleeberger Heinrich et al. (2009) Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) für die Jahre 2004 bis 2006,
<http://www.bmwi.de/Dateien/Energieportal/PDF/energieverbrauch-des-sektors-ghd-abschlussbericht,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>,
Stand: 25.05.2012

[Schw2002]

Schwaiger Bärbel (2002) Strukturelle und dynamische Modellierung von Gebäudebeständen, <http://architektur-informatik.scix.net/data/works/att/ifib2002.content.04325.pdf>, Stand: 26.05.2012

[Schw2013]

Schwarz Frank (2013) Wuppertaler Stadtwerke, Anfrage zur geplanten Fernwärmeversorgung zum Stadtbezirk Vohwinkel, E-Mail vom 22.11.2013

[Sei2012]

Seifried Dieter, Schaumburg Detmar (2012) Elektrische Wärmepumpen bremsen die Energiewende aus, in EnEVaktuell II | 2012, <http://www.energie-und-management.de/fileadmin/sonderdruck/93946.Elektrische.Waermepumpen.bremsen.die.Energiewende.pdf>, Stand: 15.01.2014

[Ses2004]

Sester M., Neidhart H. (2004) Verfahrensentwicklung zur Bestimmung einer digitalen Wärmebedarfskarte aus Laserscanning- und GIS-Daten, Teil 4 in Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und regenerativer Energien,
<http://www.isi.fraunhofer.de/isi-media/docs/e/de/publikationen/waerme/PW-Band-1-311120.pdf?WSESSIONID=03e581a8101ce64a23ddd8a1fdffb416>, Stand: 28.11.2012

[Sol2012a]

Bundesverband Solarwirtschaft [Hrsg.] Tepper Marco (2012) Entwicklung des deutschen PV-Marktes 2010/2011,

http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/bnetza_2011_konsolidiert.pdf,

Stand: 06.11.2012

[Sol2012b]

Bundesverband Solarwirtschaft [Hrsg.] (2012) Solarstromanlagen seit 2006 rund 66% günstiger, http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/Grafiken/pdf/BSW_Preisindex_120815.pdf, Stand: 06.11.2012

[Ste1997]

Steinmüller Karlheinz [Hrsg.] (1997) Grundlagen und Methoden der Zukunftsforschung, Werkstattbericht 21, Gelsenkirchen

[Ste2003]

Steinmüller Karlheinz (2003) Szenarien Instrumente für Innovation und Strategiebildung, Reader Z_fore sight academy 2003, Z_punkt GmbH Büro für Zukunftsgestaltung [Hrsg.], Essen

[Stö1999]

Stöcker Horst [Hrsg.] (1999) Lineare Algebra, Optimierung, Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik, Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt, 1999

[Thi2009]

Thiel Dieter, Vilz Andrea et al. (2009), Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [Hrsg.], Anlagenkennwertekatalog für Nichtwohngebäude, http://www.bbsr.bund.de/nm_187722/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2009/ON052009.html, Stand: 15.12.2011

[Thi2010]

Thiel Dieter, Hempel Andre et al. (2010), Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [Hrsg.], Vereinfachung zur geometrischen und technischen Datenaufnahme im Nichtwohngebäudebestand, http://www.bbsr.bund.de/nm_187722/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVB/Online/2010/ON262010.html, Stand 26.05.2012

[Thi2011]

Thiel Dieter, Riedel Dirk (2011) Typisierte Bauteilaufbauten Präzisierung der Pauschalwerte für Wärmedurchgangskoeffizienten aus der Bekanntmachung der Regeln der Datenaufnahme im Nichtwohngebäudebestand, Fraunhofer IRB Verlag,
<http://www.irbnet.de/daten/rswb/11109001108.pdf>, Stand: 26.02.2012

[Tim 2007]

Timpe Christof, Seebach Dominik (2007) Klimaschutz-Strategie der Stadt Freiburg,
www.oeko.de/oekodoc/513/2007-103-de.pdf, Stand: 26.05.2012

[Tipp2009]

Tippkötter Reiner, Wallschlag Benedikt (infas enermetric GmbH), (2009), Energie-Agentur.NRW [Hrsg.], Leitfaden Energieeffizienz für Krankenhäuser,
https://services.nordrheinwestfalendirekt.de/broschuerenservice/download/70594/leitfaden_krankenhause_100614_final.pdf, Stand: 08.07.2012

[Tus2012]

Tuschinski Melita (2012) EnEV 2009 Was ändert sich für Neubau-Vorhaben?,
http://www.enev-online.org/enev_2009_energieausweis/enev2009_aenderungen_2_neubau_vorhaben.htm#1_EnEV_2009:_Versch%C3%A4rfte_Neubau-Anforderungen_erf%C3%BCllen, Stand: 05.12.2012

[UBA2000]

Umweltbundesamt [Hrsg.] Energiespar-Contracting als Beitrag zu Klimaschutz und Kostensenkung, Ratgeber für Energiespar-Contracting in öffentlichen Liegenschaften

[UBA2007]

Umweltbundesamt [Hrsg.] (2007) Nachhaltige Wärmeversorgung, Sachstandsbericht,
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3196.pdf>, Stand: 22.05.2012

[UBA2012a]

Umweltbundesamt [Hrsg.] (2012a) Daten zur Umwelt, Klimaänderungen,
<http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel/beobachteter-klimawandel>, Stand: 15.12.2013

[UBA2012b]

Umweltbundesamt [Hrsg.] (2012) Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des Deutschen Strommix 1990-2010 und erste Schätzungen 2011,
<http://www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/co2-strommix.pdf>, Stand: 31.08.2012

[UBA2013]

Umweltbundesamt [Hrsg.] (2012) Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des Deutschen Strommix in den Jahren 1990-2012, <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4488.pdf>, Stand: 18.05.2013

[VDI3807-98]

VDI 3807 Blatt 2 (1998) Energieverbrauchskennwerte für Gebäude, Heizenergie- und Stromverbrauchskennwerte, Verein Deutscher Ingenieure [Hrsg.]

[VDI3807-07]

VDI 3807 Blatt 1 (2007) Energie- und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude, Grundlagen, Verein Deutscher Ingenieure [Hrsg.]

[Vei2007]

Veit Bürger, Timpe Christof (2007) Klimaschutz-Strategie Bayern, www.oeko.de/oekodoc/633/2007-164-de.pdf, Stand: 26.05.2012

[Vol2013]

Volmerig Rolf, Wirtschaftsförderung der Stadt Wuppertal, telefonische Auskunft vom 02.04.2013

[Vos2011a]

Voss Karsten, Spars Guido et al. (2011) Status Quo und Perspektiven eines Förderprogramms des BMWi, www.enob.info/fileadmin/media/Publikationen/EnOB/HLH_10-2011_EnOB-Bericht_und_Perspektiven.pdf, Stand: 26.05.2012

[Vos2011b]

Voss Karsten, Musall Eike [Hrsg.] (2011) Nullenergiegebäude Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten, Detail Green Books, München

[Wag2000]

Wagner Ulrich, Stein Gotthard [Hrsg.] (2000) Energiezukunft 2030 Schlüsseltechnologien und Techniklinien Beiträge zum IKARUS-Workshop 2000, Forschungszentrum Jülich

[Wag2011]

Wagner Oliver, Irrek Wolfgang et al. (2011), Klimaschutzkonzept für den Kreis Nordfriesland, <http://klima-nf.de/wp-content/uploads/2012/02/Kurzfassung-Klimaschutzkonzept-Nordfriesland.pdf>, Stand: 26.05.2012

[Wag2012]

Wagner Oliver, Berlo Kurt et al. (2012),
[www.wupperinst.org/projekte/proj/index.html?](http://www.wupperinst.org/projekte/proj/index.html?projekt_id=228&bid=43&searchart=projekt_uebersicht)
projekt_id=228&bid=43&searchart=projekt_uebersicht, Stand: 25.05.2012

[Wal2011]

Walberg Dietmar [Hrsg.] (2011) Wohnungsbau in Deutschland 2011, Modernisierung oder Bestandsersatz, http://www.dgfm.de/uploads/media/ARGE-Kiel-Textband-gesamt_01.pdf, Stand: 01.016.2012

[Wald2007]

Waldschmidt Wolfgang (2007) ABC der Wärmepumpe, VWEW Energieverlag, Frankfurt

[Web2012]

Weber Karl-Heinz, Fachinformationszentrum Karlsruhe (2012), persönliches Telefonat und E-Mail vom 21.05.2012

[Wer2011]

Werner Elke (2011), Stadt Wuppertal [Hrsg.], Handlungsprogramm Gewerbeflächen, http://www.wuppertal.de/wirtschaft-stadtentwicklung/medien/dokumente/HP_Gewerbeflaechen_2010-08_klein.pdf, Stand: 16.07.2012

[Wern2013]

Wernersbach Stefan, 2013, unveröffentlichte Auswertung zum Wärmeenergieverbrauch in Vohwinkel, zu unveröffentlichter Excel-Tabelle der Wuppertaler Stadtwerke

[Wis2009]

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen WBGU [Hrsg.] (2009), Sondergutachten, Kassensturz für den Weltklimavertrag - Der Budgetansatz, Berlin, http://www.wbgu.de/fileadmin/templates/dateien/veroeffentlichungen/sondergutachten/sn2009/wbgu_sn2009.pdf, Stand: 11.03.2013

[Wol2011]

Wolff Dieter, Jagnow Kato (2011), Untersuchungen von Nah- und Fernwärmenetzen, http://www.iwo.de/fileadmin/user_upload/Dateien/Fachwissen/Studie_Untersuchung_Nah-_und_Fernwaermenetze.pdf, Stand: 07.12.2012

[WSW2013a]

Wuppertaler Stadtwerke (2013) unveröffentlichte Excel-Tabelle zum Wärmeenergieverbrauch in Vohwinkel, Datenfreigabe durch Herrn Frank Schwarz (WSW) vom 14.03.2013 per E-Mail, E-Mail-Weiterleitung von Stefan Wernersbach, Wuppertal-Institut, vom 14.03.2013

[WSW2013b]

Wuppertaler Stadtwerke (2013) unveröffentlichte Erläuterungen bzw. Antworten zu Fragestellungen zur Excel-Tabelle zum Wärmeenergieverbrauch in Vohwinkel, E-Mail von Herrn Michael Kube vom 17.04.2013

[Wup2011]

Stadt Wuppertal [Hrsg.] (2011), Büromarkt-Report Wuppertal 2011/2012, http://www.wuppertal.de/microsite/en/medien/bindata/engl_Office-Market_Survey_Wuppertal_2011_2012.pdf, Stand: 02.04.2013

[Wup2012]

Stadt Wuppertal [Hrsg.] (2012), Wuppertaler Statistik Raumbezogene Daten, Daten für den Stadtbezirk Vohwinkel (3) am 31.12.2010, http://www.wuppertal.de/rathaus/onlinedienste/rbs_statistik/statistik_bezirk.phtml?bez=1003&aktion_jahr=2010&senden=+OK+ und http://www.wuppertal.de/rathaus/onlinedienste/rbs_statistik/merkmal.phtml, Stand: 26.02.2013

[Wup2013]

Stadt Wuppertal [Hrsg.] (2013), Wuppertaler Statistik Raumbezogene Daten, Quartiere http://www.wuppertal.de/rathaus/onlinedienste/rbs_statistik/statistik_quartier.phtml, Stand: 11.03.2013

Nachhaltigkeit von A-Z

V wie Vernetzung

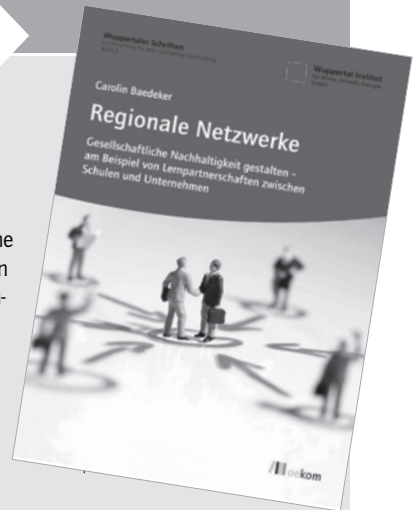
Eine nachhaltige Entwicklung erfordert eine umfassende gesellschaftliche Transformation. Regionale Nachhaltigkeitsnetzwerke und Kooperationen sind dabei von zentraler Bedeutung – insbesondere zwischen Unternehmen und anderen gesellschaftlichen Gruppen. Hier können alle Akteure von gegenseitigem Vertrauen, emotionaler Bindung, spezifischer Vor-Ort-Kennntnis und konkreter Ergebnisorientierung profitieren.

C. Baedeker

Regionale Netzwerke

Gesellschaftliche Nachhaltigkeit gestalten – am Beispiel von Lernpartnerschaften zwischen Schulen und Unternehmen

Wuppertaler Schriften zur Forschung für eine nachhaltige Entwicklung Band 3
304 Seiten, broschiert, 34,95 Euro, ISBN 978-3-86581-322-0



E wie Erfolgsrezepte

In den letzten zehn Jahren hat sich die weltweit installierte Windkraftleistung fast verzehnfacht. Gut fürs Klima – und lukrativ für Hersteller und Industrie. Während der bisherige Ausbau der Windenergie stark von deutschen und europäischen Unternehmen bestimmt wurde, sind inzwischen vor allem chinesische und amerikanische Unternehmen international führend. Zeit also, die Strategien und Erfolgsrezepte einer boomenden Branche zu prüfen.


S. Keller

Die deutsche Windindustrie auf dem internationalen Markt

Erfolgsfaktoren für Unternehmen

Wuppertaler Schriften zur Forschung für eine nachhaltige Entwicklung Band 4
414 Seiten, broschiert, 39,95 Euro, ISBN 978-3-86581-659-7



 oekom

Bestellen Sie versandkostenfrei innerhalb Deutschlands unter www.oekom.de, oekom@verlegerdienst.de

Nachhaltigkeit von A-Z

P wie Potenzial

In vielen Entwicklungs- und Schwellenländern ist das Potenzial für Erneuerbare Energien zwar enorm, das nötige Kapital für Investitionen vor Ort aber selten vorhanden. Die Fördermechanismen der Klimarahmenkonvention und des Kyoto-Protokolls können hier Abhilfe schaffen. Sylvia Borbonus liefert wichtige Erkenntnisse zur Markteinführung erneuerbarer Energien in Entwicklungsländern und zur effektiven Umsetzung internationaler Klimapolitik.

S. Borbonus

Erneuerbare Energien in Entwicklungsländern

Synergien zwischen Globaler Umweltfazilität und Clean Development Mechanism

Wuppertaler Schriften zur Forschung für eine nachhaltige Entwicklung Band 2
256 Seiten, broschiert, 34,95 Euro, ISBN 978-3-86581-405-0



S wie Suffizienzstrategien

Längst ist der weltweit steigende Energie- und Ressourcenverbrauch als eine der primären Ursachen für die wachsende ökologische Krise identifiziert. Doch welche Möglichkeiten einer Eindämmung bieten sich an? Würde eine Veränderung der Konsumstile die negativen Einwirkungen auf die Umwelt in der erforderlichen Weise minimieren? Oliver Stengel erforscht die Chancen und Barrieren der vielen als unrealisierbar geltenden Suffizienzstrategie.


O. Stengel

Suffizienz

Die Konsumgesellschaft in der ökologischen Krise

Wuppertaler Schriften zur Forschung für eine nachhaltige Entwicklung Band 1
394 Seiten, broschiert, 39,95 Euro, ISBN 978-3-86581-280-3



 oekom

Bestellen Sie versandkostenfrei innerhalb Deutschlands unter www.oekom.de, oekom@verlegerdienst.de

UNDISCIPLINED !

SCIENCE BEYOND DISCIPLINES



GAIA – ECOLOGICAL PERSPECTIVES FOR
SCIENCE AND SOCIETY

is a transdisciplinary journal for scientists and other interested parties concerned with the causes and analyses of environmental and sustainability problems and their solutions.

 oekom
verlag

Get your TRIAL SUBSCRIPTION now!
More Information at www.gaia-online.net

Über 30 Prozent des deutschen Endenergieverbrauchs wird durch das Beheizen von Gebäuden verursacht. Während es für Wohngebäude genaue Verbrauchszahlen und konkrete politische Energieeinsparziele gibt, wird der Bestand an Nichtwohngebäuden – wie Bürogebäuden, Fabrikhallen und Kliniken, aber auch Handelsflächen – bisher in Untersuchungen und Prognosen stark vernachlässigt. Der Umweltwissenschaftler und Bauingenieur Achim Hamann kommt in seiner Studie anhand von detaillierten Untersuchungsergebnissen für den Wuppertaler Stadtteil Vohwinkel zu einer Einschätzung für Wuppertal und darüber hinaus für ganz Deutschland. Demnach beträgt der Anteil der CO₂-Emissionen aus der Erzeugung der Raumwärme für Nichtwohngebäude 13 Prozent der CO₂-Gesamtemissionen. Auf Grundlage der ermittelten Bestandsdaten beschreibt Achim Hamann kurzfristige Sanierungspotenziale, entwirft CO₂-Minderungsszenarien bis zum Jahr 2050 und leistet so einen wichtigen Beitrag, dass Nichtwohngebäude bei Energieeinsparzielen angemessen berücksichtigt werden.

Achim Hamann ist promovierter Bauingenieur und hat zusätzlich Umweltwissenschaften und Immobilienmanagement studiert. Seit 1990 ist er in der Wasser- und Immobilienwirtschaft tätig. Im Rahmen der Architektur- und Ingenieurleistungen beschäftigt er sich schwerpunktmäßig mit Planungen von energieeffizienten Gebäuden.