

Wuppertaler Schriften
zur Forschung für eine nachhaltige Entwicklung
Band 5



Wuppertal Institut
für Klima, Umwelt, Energie
GmbH

Achim Hamann

Klimaschutzstrategien für Nichtwohngebäude in Stadtquartieren

Bestandsmodellierung und CO₂-Minderungsszenarien
am Beispiel Wuppertal



Achim Hamann
**Klimaschutzstrategien für Nichtwohngebäude in
Stadtquartieren**

Bestandsmodellierung und CO₂-Minderungsszenarien am Beispiel Wuppertal

ISBN 978-3-86581-699-3

312 Seiten, 16,5 x 23,5 cm, 34,95 Euro

oekom verlag, München 2014

©oekom verlag 2014

www.oekom.de

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 erneuerbarer 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:

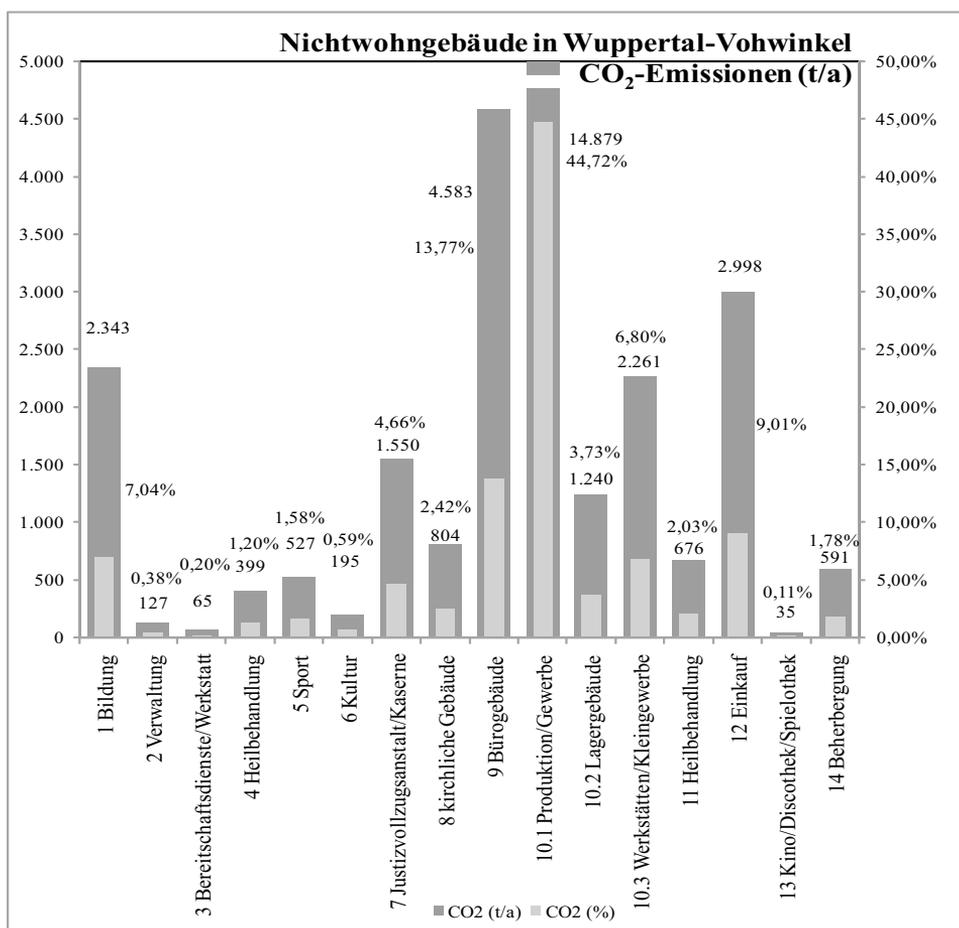
In Abbildung 10 und 11 sind die wesentlichen Ergebnisse und Verteilungen zu den Haupt- und Unterkategorien grafisch und zahlenmäßig für die CO₂-Emissionen in Tonnen pro Jahr und in Prozent (klimabereinigt) dargestellt. Dabei ist der Energiemix »Vohwinkel« gemäß Tabelle 19 zu Grunde gelegt. Demnach werden 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.

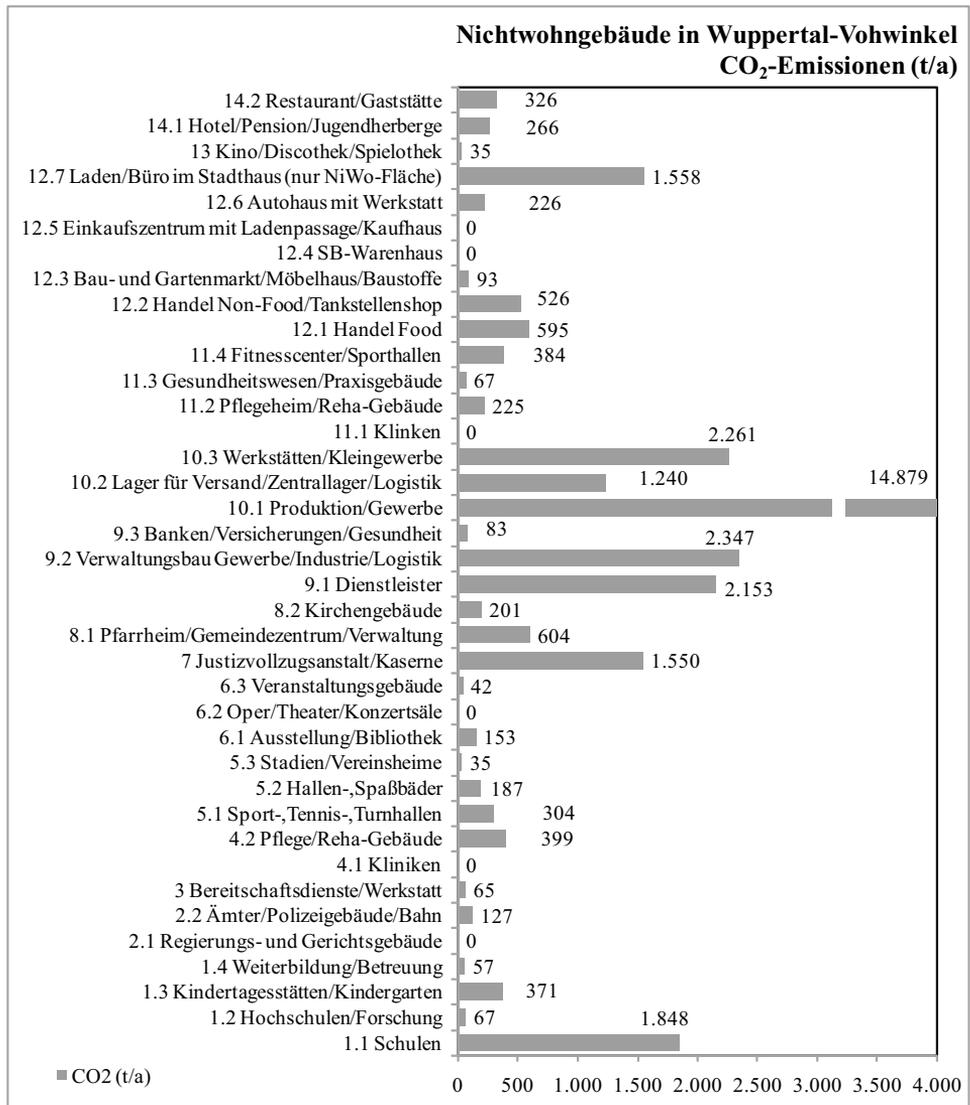
In Abbildung 12 sind die prozentualen Flächenverteilungen nach Baualtersklassen für die Non-Profit- und Profit-Organisationen aufgeführt. Die Baualtersklassen C und D haben bei den Non-Profit-Organisationen mit etwa 53 Prozent einen größeren Anteil als die Baualtersklasse A und B. Bei den Profit-Organisationen 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

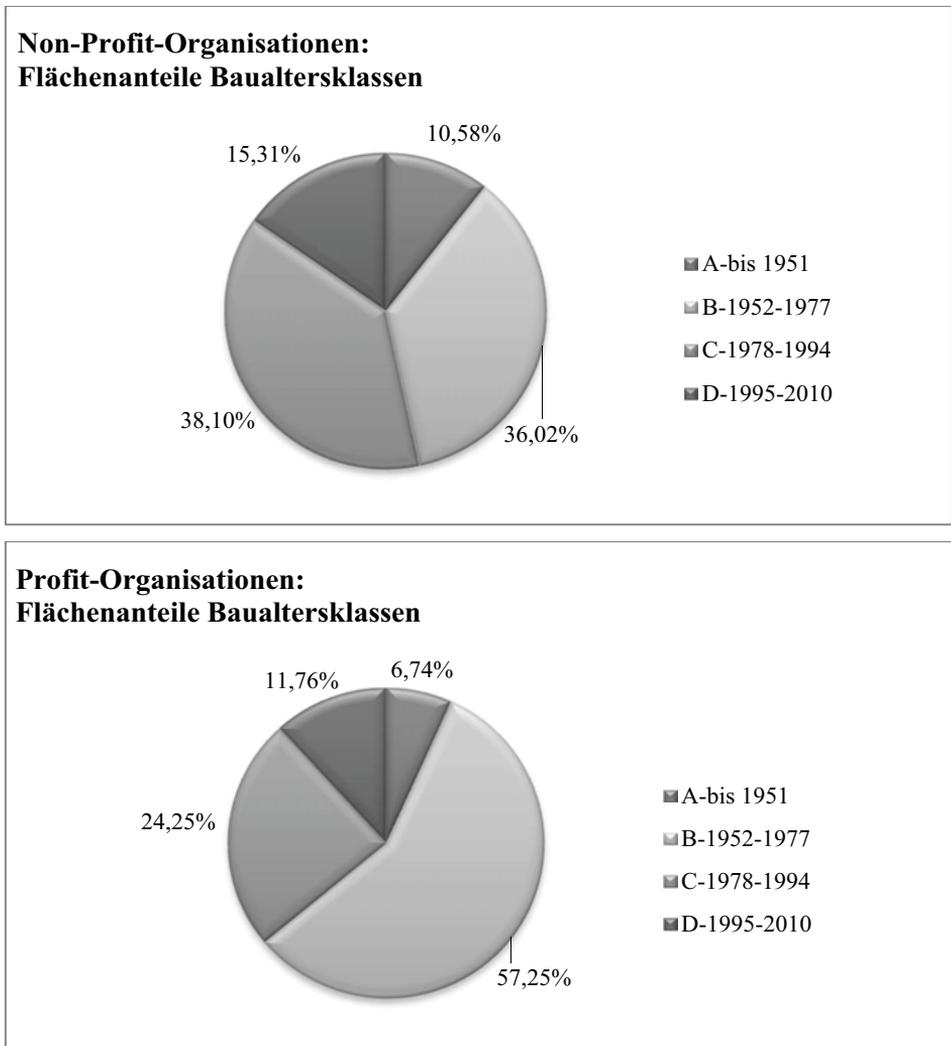


Quelle: Eigene Berechnungen

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

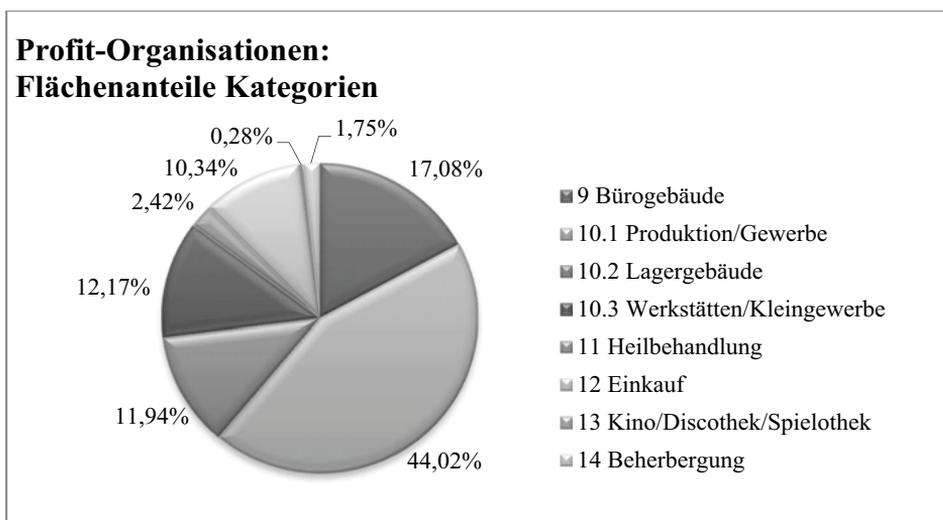
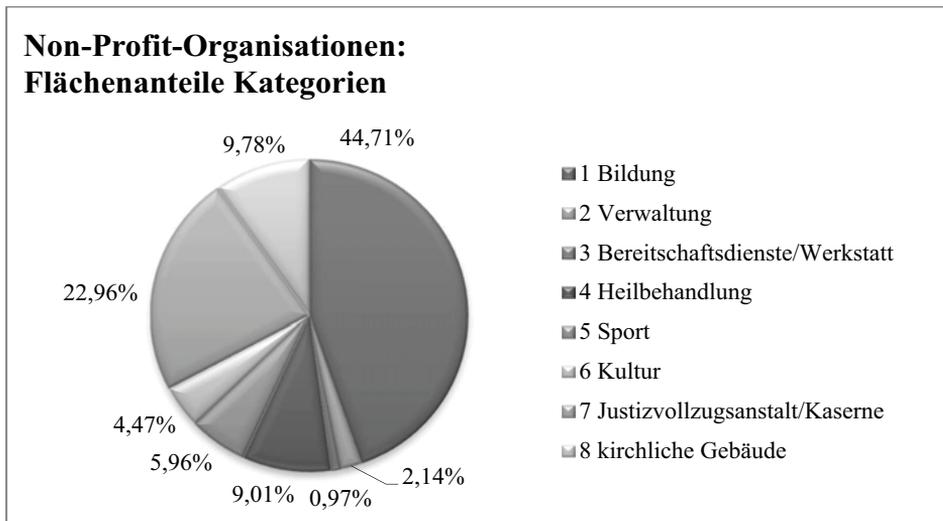
Kategorie 4 zugeordnet sind. Demnach hätten die kirchlichen Einrichtungen bezogen auf eine institutionelle Zuordnung einen größeren Anteil. Bei den Wirtschaftsbauten dominieren die Produktionsflächen mit 44 Prozent, gefolgt von Büroflächen mit 17 Prozent. Hierin sind Büroflächen von Dienstleitern und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

Abbildung 12: Ergebnisdigramme zur Baualtersklassenverteilung in Vohwinkel



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

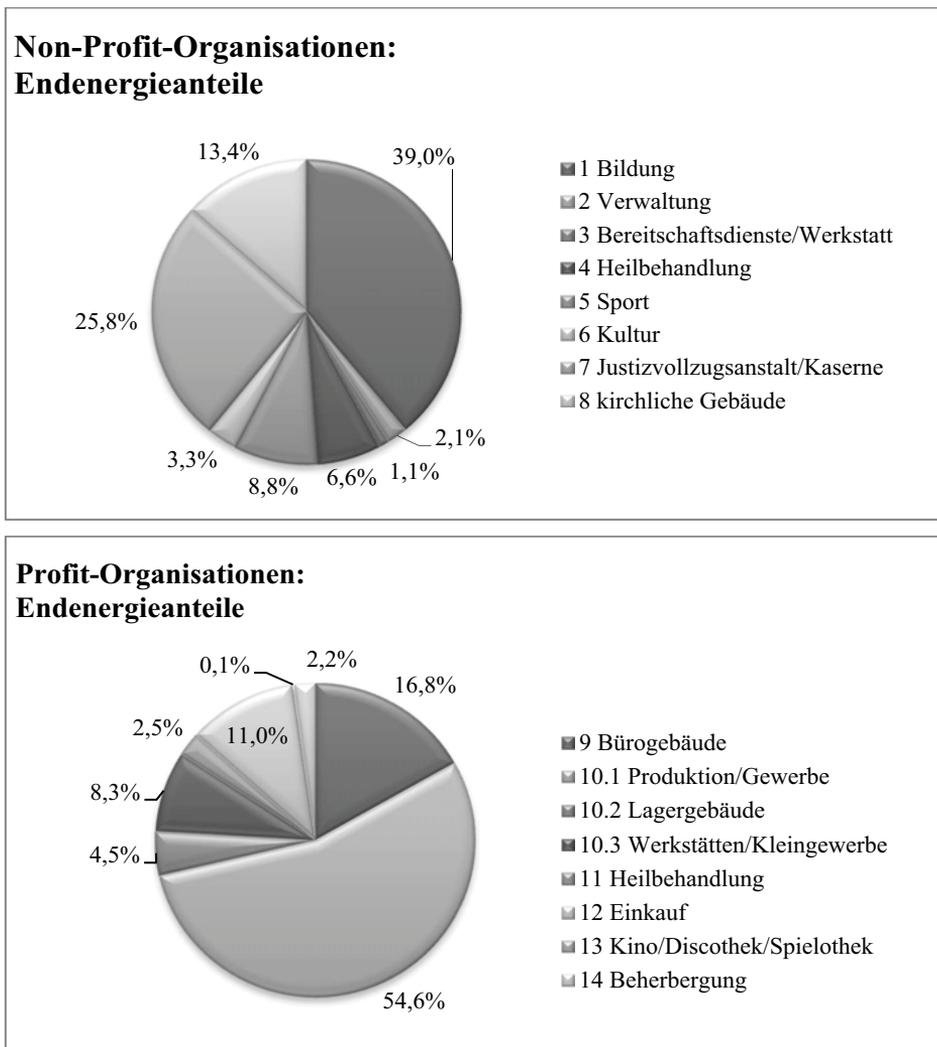
Abbildung 13: Ergebnisdiagramme zur Flächenverteilung in Vohwinkel



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

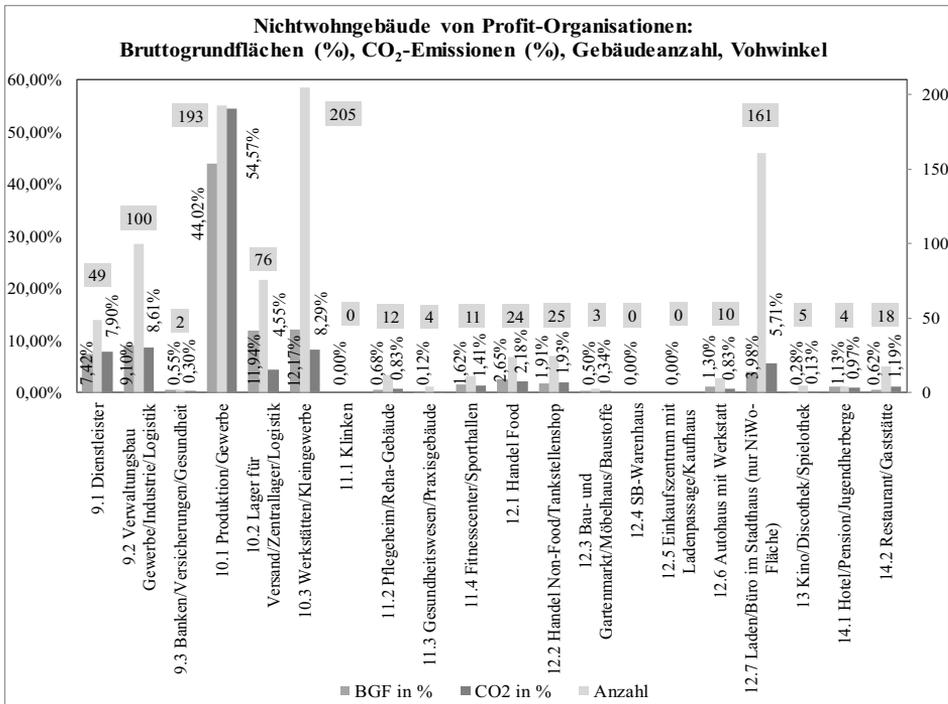
meter BGF identifiziert. Zu den in Vohwinkel nicht vorhandenen Gebäudekategorien entfallen die Angaben.

Interpretation:

Die dargestellten Verteilungen je Organisationsform für die Gebäudekategorien, Bauklassen, 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

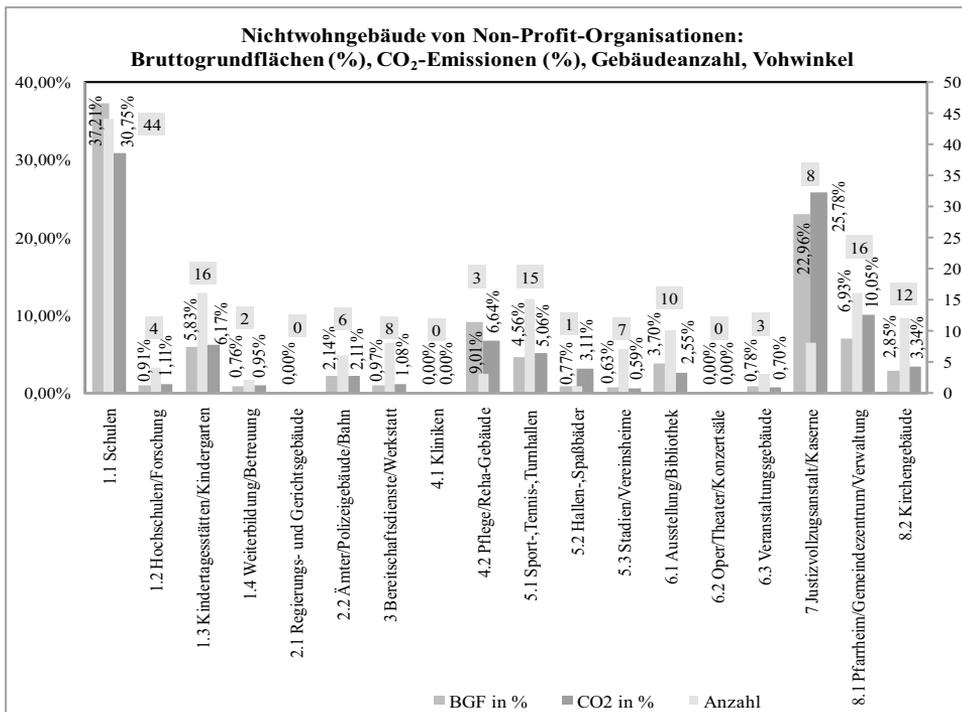
Profit-Organisationen: Gebäudeanzahl/GIS-Datensätze: 100% = 902 Stück
 Bruttogrundfläche: 100% = 717.299 m²
 CO₂-Emissionen: 100% = 27.265 t/a



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 vorveröffentlicht 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