

Energieeffizienter Städtebau

Rainer Vallentin

Begründung belastbarer Klimaschutzstandards im Wohnbau

mit Passivhäusern



Cuvillier Verlag Göttingen

Rainer Vallentin

Energieeffizienter Städtebau mit Passivhäusern - Begründung belastbarer Klimaschutzstandards im Wohnungsbau



Bedingt sanierbarer Bestand (siehe Seite IV-12)



Voll sanierbarer Bestand (siehe Seite IV-12)

Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2011

ISBN: 978-3-86955-673-4

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für Stadtraum und Stadtentwicklung

**Energieeffizienter Städtebau mit Passivhäusern -
Begründung belastbarer Klimaschutzstandards im Wohnungsbau**

Rainer Vallentin

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Architektur der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor - Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Hermann Kaufmann

Prüfer der Disseration: 1. Univ.-Prof. Dr. Ingrid Krau, i.R.

2. Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Feist
Leopold-Franzens-Universität Innsbruck,
Österreich

Die Dissertation wurde am 06.05.2010 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät am 28.10.2010 angenommen.

Vorwort und Danksagungen

Hauptmotiv für die vorliegende Arbeit war es, zu untersuchen, in welcher Art und Weise die Klimaschutzziele Deutschlands das künftige städtebauliche Handeln - insbesondere den Entwurf von neuen Wohnsiedlungen bzw. die energetische Modernisierung bestehender Wohnsiedlungen - beeinflussen werden. Mich interessierte besonders, welche Beiträge hierbei einerseits technologische Lösungsansätze (z.B. Wahl des energetischen Standards der Wohnungsbauten) und andererseits die Anwendung städtebaulich-struktureller Prinzipien (z.B. kompakte Baukörperausbildung, Südorientierung, solaroptimierte Abstände) leisten können und sollen. Die Arbeit entstand über einen relativ langen Zeitraum. Dabei blieb es nicht aus, dass sich im Vergleich zur ursprünglichen Zielsetzung inhaltliche Verschiebungen und neue Gewichtungen ergaben. In der Rückschau fällt mir dies vor allem bei drei Aspekten ins Auge:

- 1** Zu Beginn der Arbeit stand für mich fest, dass die Prinzipien des solarenergetischen Städtebaus unverzichtbarer Bestandteil aller Klimaschutzstrategien darstellen müssen. Das Durchdenken der städtebaulichen Konsequenzen und die Leistungsfähigkeit der gebäudebezogenen Energieeffizienztechnologien (Dämm- und Luftdichtsysteme, Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung) haben mich eines Besseren belehrt.
- 2** Während zu Beginn der Arbeit die Suche nach „unumstößlichen Planungsprinzipien“ für einen energie- und flächeneffizienten Städtebau im Vordergrund standen, wurde mir später klar, dass (zu) eng gefasste Regeln und Prinzipien eine unnötige Einschränkung des Entwurfsprozesses und seiner Freiheit sowie Ergebnisoffenheit zur Folge haben würde.
- 3** Ich war enthaft überrascht, dass der konsequente Einsatz von Niedrigenergietechnologien im Neubau und im Bestand bei weitem nicht ausreicht, um die nationalen Klimaschutzziele im Sektor der privaten Haushalte einzuhalten. Weil daher nun der Einsatz deutlich hochwertigerer energetischer Qualitäten notwendig sein wird, ist mit einem entsprechend

größeren Widerstand wichtiger Akteure gegen die Klimaschutzstandards zu rechnen. Erst sehr spät im Verlauf dieser Arbeit war ich in der Lage, diesen Konflikt als „Dilemma der mittleren Qualität“ klar zum Ausdruck zu bringen.

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. Ingrid Krau für die Anregung zu dieser Arbeit und für die geduldige fachliche Begleitung sowie für die Übernahme des Hauptreferats. Sie hat durch viele wertvolle Hinweise und Diskussionen, speziell zu allen städtebaulichen Fragen, aber auch durch ihr Gewährenlassen, wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen.

Herrn Prof. Dr. Wolfgang Feist danke ich ebenfalls besonders für die intensiven Beratungen, die fachliche Begleitung der Arbeit und die Übernahme des Koreferats. Seine unermüdliche und beharrliche Erforschung des Passivhauskonzeptes und sein vorbehaltloses Zugänglichmachen aller wissenschaftlichen Ergebnisse waren eine unverzichtbare Basis für diese Arbeit.

Für die Durchführung der umfangreichen städtebaulichen Untersuchungen zum Energie- und Flächenbedarf standen mir dankenswerterweise Mittel der Dr.-Ing.-Leonhard-Lorenzstiftung zur Verfügung.

Den Diskussionen mit Hans Glauber († 2008) und seinem Kreis der Toblacher Gespräche verdanke ich die Idee der „Solar geprägten Kulturlandschaften“ mit ihren besonderen Chancen und Risiken. Diese Arbeit soll auch seinem Andenken dienen.

Meine Eltern haben nicht nur alle Texte durchgesehen, sondern an vielen Stellen für verständlichere Formulierungen gesorgt.

Ohne die Unterstützung meiner Frau und ihre nahezu unendliche Geduld mit mir wäre es nicht möglich gewesen, die vorliegende Arbeit fertigzustellen. Die Klimafrage wird noch viele Generationen beschäftigen. Im Denken und Handeln meiner Töchter kann ich dies bereits in den ersten Grundzügen erkennen.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung		Einl. - 1	4.4	Bestimmung des Energiebedarfes für Warmwasser der privaten Haushalte 1990 - 2060 in den Szenarien	IV - 39
Teil 1 Ziele und Methodik der Arbeit sowie Übersicht zu den wesentlichen Arbeitsschritten			4.5	Bestimmung des Energiebedarfes für Hilfsstrom der privaten Haushalte 1990 - 2060 in den Szenarien	IV - 46
1.1	Ziele und Methodik der Arbeit	I - 1	4.6	Bestimmung des Energiebedarfes für alle Stromanwendungen in den Haushalten 1990 - 2060	IV - 52
1.2	Wesentliche Arbeitsschritte	I - 2	4.7	Ergebnisse in aggregierter Form zum Endenergiebedarf der Haushalte nach Anwendungen und Energieträgern	IV - 61
Teil 2 Übergeordnete Fragestellungen			4.8	Energetische Bewertung von Strom und Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplungs-(KWK)-Anlagen	IV - 68
2.1	Der Ressourcenverbrauch der privaten Haushalte seit 1950 und seine Ursachen	II - 2	4.9	Bewertung von Strom und Wärme aus KWK-Anlagen in den Szenarien	IV - 72
2.2	Fazit: Die Ressourcenfrage im Wohnungsbau	II - 18	4.10	Stromerzeugung in den Szenarien	IV - 76
2.3	Die Klimafrage in Verbindung mit der Begründung von klimaverträglichen Primärenergiepfaden	II - 20	4.11	Berechnung des Primärenergiebedarfes und der Treibhausgas-Emissionen mit Hilfe von Umrechnungsfaktoren bezogen auf Endenergieeinheiten	IV - 82
2.4	Fazit: Klimaschutzziele	II - 63	4.12	Bestimmung des Primärenergiebedarfes und der Treibhausgas-emissionen der privaten Haushalte 1990 - 2060 in den Szenarien	IV - 91
Teil 3 Problemstellung, Stand der Forschung und bisherige Untersuchungen			4.13	Einfluss der Teilbereiche und Anwendungsfelder auf die Gesamtergebnisse in den Szenarien	IV - 97
3.1	Problemstellung und Untersuchungsfragen	III - 1	4.14	Vergleich der Ergebnisse des Referenz- und Klimaschutzszenarios mit denen anderer Szenarien	IV - 109
3.2	Stand der Forschung und bisherige Untersuchungen	III - 3	4.15	Kritische Prüfung der Randbedingungen und Annahmen in den Szenarien	IV - 113
3.3	Fazit und Schlussfolgerungen	III - 19	4.16	Einfluss der Energieversorgungssysteme	IV - 128
Teil 4 Szenarien zum Energiebedarf des deutschen Wohngebäudeparks 1990 - 2060			4.17	Vergleich von zwei Heizstrategien: Fernwärmeversorgungen auf KWK-Basis versus Wärmepumpensysteme	IV - 132
4.1	Modellierung eines Referenz- und eines Klimaschutzszenarios für den deutschen Wohngebäudepark 2000 - 2060	IV - 6	4.18	Einfluss des Kernenergieausstiegs auf die Treibhausgasemissionen der privaten Haushalte in Deutschland	IV - 134
4.2	Bestimmung des Jahresheizwärmebedarfes für den deutschen Wohngebäudepark im Zeitraum 1990 - 2060	IV - 21	4.19	Einfluss von Verfahren zur Kohlendioxid-Abscheidung und Speicherung (CCS) auf die Treibhausgasemissionen der privaten Haushalte in Deutschland 1990 - 2060	IV - 136
4.3	Bestimmung des Endenergiebedarfs für Raumwärme und Lüftung in den Szenarien im Zeitraum 1990 - 2060	IV - 30	4.20	Einfluss eines „klimagerechten Nutzerverhaltens“	IV - 139
			4.21	Fazit: Klimaschutzstrategien	IV - 140

Teil 5 Klimaschutzstandards im Wohnungsbau

5.1	Energetische Standards im deutschen Wohnungsbau	V - 2
5.2	Energie-Kennzahlen verschiedener Standards im Vergleich	V - 11
5.3	Definition von Klimaschutzstandards im Wohnungsbau	V - 18

Teil 6 Siedlungsstrukturelle Untersuchung

6.1	Modelle und theoretisch-methodische Fragen	VI - 1
6.2	Siedlungsstrukturelle Modelle	VI - 5
6.3	Typisierung der Siedlungsmodelle	VI - 12
6.4	Untersuchungsprogramm der Hauptuntersuchung	VI - 23
6.5	Räumliches Modell - Typisierung der Gebäudestruktur	VI - 35
6.6	Typisierung der Vegetation und Freiraumstruktur	VI - 52
6.7	Typisierung der Erschließungsstruktur	VI - 54
6.8	Berechnungsbeispiel zum Energie- und Flächenbedarf eines ausgewählten Siedlungsmoduls	VI - 55
6.9	Rechenprogramme und Programmvergleich	VI - 60
6.10	Einfluss des Regional- und Standortklimas	VI - 73

Teil 7 Wärmegewinneigenschaften von Siedlungsstrukturen

7.1	Solarenergetische Kennwerte und deren Definitionen	VII - 2
7.2	Die Grenzen der Aussagefähigkeit der solarenergetischer Kennwerte und Formoptimierungen	VII - 4
7.3	Die Bedeutung der Fensterbilanzen innerhalb städtebaulich-energetischer Untersuchungen - ein Fallbeispiel	VII - 16
7.4	Die städtebaulich geprägte Besonnungssituation	VII - 18
7.5	Der Einfluss der Orientierung auf das Strahlungsangebot verschiedener Gebäudestrukturen	VII - 20
7.6	Der Einfluss von Fensterflächenanteilen und -verteilung	VII - 39
7.7	Der Einfluss der Verschattung auf das solare Strahlungsangebot	VII - 45
7.8	Verschattung durch Nachbarbebauung	VII - 48

7.9	Verschattung durch Bäume und sonstige Vegetation	VII - 72
7.10	Verschattung durch Topographie	VII - 85
7.11	Besonnungsgerechte Höhenstaffelung	VII - 88
7.12	Solarenergetische Kennwerte zertifizierter Passivhäuser	VII - 90
7.13	Fazit: Bedeutung solarenergetischer Strategien und Entwurfsparameter im energieeffizienten Städtebau mit Passivhäusern	VII - 95

Teil 8 Wärmeverlusteigenschaften von Siedlungsstrukturen

8.1	Verwendung der Begriffe >Kompaktheit< und >kompakt< im Städtebau	VIII - 2
8.2	Definitionen der energetischen Kompaktheit	VIII - 2
8.2	Grenzen der Aussagefähigkeit der Kompaktheit und Herleitung des Homogenitätsprinzips für Wärmeschutzmaßnahmen	VIII - 3
8.4	Kompaktheitskennwerte von ausgewählten Wohngebäudetypen bzw. Bebauungsformen	VIII - 10
8.5	Kompaktheitsstrategien der verschiedenen Bebauungsformen im Vergleich	VIII - 22
8.6	Kompaktheits-Kennwerte verschiedener Ausbildungen der Dachzonen	VIII - 24
8.7	Energetische Auswirkungen der Kompaktheit	VIII - 28
8.8	Standardvergleich zu den energetischen Auswirkungen der Kompaktheit	VIII - 32
8.9	Einfluss der Kompaktheit auf Jahresheizwärmebedarf, Heizlast und Übertemperaturhäufigkeit ausgewählter Passivhäuser	VIII - 39
8.10	Kombinierte Betrachtung von Kompaktheit und städtebaulichem Strahlungszugang	VIII - 41
8.11	Auswertung zertifizierter Passivhäuser hinsichtlich Kompaktheit, Wärmeverlusteigenschaften und Fensterflächenanteile	VIII - 48
8.12	Fazit: Bedeutung der Kompaktheit für einen energieeffizienten Städtebau mit Passivhäusern	VIII - 54

Teil 9 Flächeneffizienz und bauliche Dichte von Siedlungsstrukturen

9.1	Flächenbilanzierung von Wohnsiedlungen	IX - 2
9.2	Definitionen von ausgewählten Flächen- und Dichtekennwerten im Wohnungsbau	IX - 3

9.3	Grenzen der Aussagefähigkeit von Flächen- und Dichtekennwerten im Wohnungsbau	IX - 5
9.4	Methode der Flächenbianzierung in der Hauptuntersuchung (Siedlungsmodule)	IX - 5
9.5	Auswertung von Flächenbilanzen realisierter Wohnsiedlungen im Vergleich	IX - 6
9.6	Flächenbedarf für Wohnfolgenutzungen	IX - 13
9.7	Flächenbedarf für Freiflächen	IX - 14
9.8	Theoretischer Gesamtflächenbedarf	IX - 15
9.9	Dichte- und Flächenkennwerte ausgewählter Wohngebäudetypen bzw. Bebauungsformen	IX - 16
9.10	Der Einfluss einzelner Geometrieparameter auf die bauliche Dichte ausgewählter Bebauungsformen	IX - 21
9.11	Dichtestrategien der verschiedenen Bebauungsformen im Vergleich	IX - 33
9.12	Fazit: Einfluss von Bebauungsform, Gebäudetyp und Geometrieparametern auf die Flächeneffizienz bzw. die erzielbare bauliche Dichte von Wohnsiedlungen	IX - 35
9.13	Solarflächenverfügbarkeit (aktive Solarnutzung)	IX - 39
9.14	Städtebauliche Diskussion der räumlichen Konsequenzen von solaren Großanlagen (aktive Solarnutzung)	IX - 52

Teil 10 Vergleichende Untersuchungen zu baulicher Dichte und Jahresheizwärmebedarf unter besonderer Berücksichtigung der Raumbildung im Städtebau

10.1	Kombinierte Betrachtung von baulicher Dichte und Jahresheizwärmebedarf verschiedener Bebauungsformen	X - 2
10.2	Gesamtschau zu baulicher Dichte und resultierenden Jahresheizwärmebedarf über alle Siedlungstypen	X - 8
10.3	Fazit: Kombinierte Strategien für Wohnsiedlungen zur Steigerung der Energie- und Flächeneffizienz	X - 12
10.4	Was kostet die Raumbildung ?	X - 16
10.5	Städtebauliche Diskussion der Ergebnisse	X - 22

Teil 11 Ergebnisse der energetischen Hauptuntersuchung zum baulich-technischen Aufwand von Niedrigenergie- und Passivhaus-siedlungen

11.1	Einfluss der Kompaktheit und des solaren Strahlungszugangs auf den baulich-technischen Aufwand von Niedrigenergie- und Passivhaus-siedlungen	XI - 3
11.2	Zusammenhang zwischen energetischer Kompaktheit und erzielter baulicher Dichte	X - 15
11.3	Einfluss städtebaulich relevanter Geometrieparameter auf den erforderlichen baulich-technischen Aufwand zur Einhaltung des Passivhaus-Heizwärmekriteriums	X - 17
11.4	Fazit: Einfluss von Siedlungstyp, Kompaktheit und Strahlungszugang sowie der städtebaulichen Geometrieparameter auf den konstruktiven und wirtschaftlichen Aufwand von Niedrigenergie- und Passivhaus-siedlungen	X - 34

Teil 12 Zusammenfassung und Ausblick

Abkürzungen / Formelzeichen Abk. - 1

Anmerkungen Anm.-1

Literatur Lit. - 1