

Wohnungen in Holzbauweise

Energetische und ökologische Nachuntersuchung
der Modellvorhaben

Herausgeber:



Bayerisches Staatsministerium des Innern
- Oberste Baubehörde -
Franz-Josef-Strauß-Ring 4
80539 München

Redaktion:
Gunter Maurer
Karin Sandeck

Nachuntersuchungen:
Prof. Dr. Jochen Benecke und Dr. Ullrich Martini
Sollner Institut, München

Druck:

peradruck GmbH, Gräfelfing

Quick Druck, München

März 2001

Ohne Innovation keine Entwicklung

zur Nachuntersuchung der Modellvorhaben des Experimentellen Wohnungsbaus „Wohnungen in Holzbauweise“

Im Vergleich zu anderen Industriezweigen, die in Deutschland etwa zwei bis drei Prozent ihres Produktionswertes für Forschung und Entwicklung ausgeben, wird in der Baubranche mit nur 0,1 Prozent wenig für die Weiterentwicklung der Produkte investiert. Zu den „Produkten“ der Bauindustrie zählen nicht nur Baustoffe, technische Ausstattung und Bausysteme, sondern auch die Gebäude und die Wohnungen selbst.

Für die Weiterentwicklung des Wohnungsbaus übernimmt der Staat eine Vorbildfunktion. Seit Mitte der 80er Jahre legt der Freistaat Bayern Landesprogramme des Experimentellen Wohnungsbaus auf, um über das gebaute Beispiel in der Praxis abgesicherte Erkenntnisse zu sozialen, ökonomischen und ökologischen Zukunftsrufen des Wohnens zu gewinnen.

Modellvorhaben machen nur einen Bruchteil des Wohnungsbauvolumens aus, aber mit ihnen werden Signale gesetzt. Kostengünstiges Bauen war schon immer ein wichtiges Ziel der bayerischen Pilotprojekte. Die 1992 von der Obersten Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern initiierten Modellvorhaben „Mietwohnungen in Holzsystembauweise“ und „Holzhäuser in amerikanischer Bauweise“ sollten darüber hinaus dem in Deutschland im Wohnungsbau lange Zeit vernachlässigten Baustoff Holz neue Impulse geben und nachweisen, dass gutes Bauen keine Frage des Baumaterials ist.

Im Jahr 2000 waren die meisten der insgesamt fast 900 Wohnungen dieser Programme schon mehrere Jahre bezogen. Erfahrungen der Mieter und der Wohnungsbaugesellschaften mit der für sie ungewohnten Bauweise lagen vor. Sie sollten im Rahmen einer Nachuntersuchung erhoben und ausgewertet werden, um aufzuzeigen, wie sich die Bauvorhaben in der Praxis, im täglichen „bewohnt-werden“ bewähren, wie die verschiedenen Aspekte der Kosteneinsparung zu bewerten sind und wieweit errechnete Werte mit den tatsächlich erreichten Werten übereinstimmen. Dazu sollten soziologische, bautechnische und wirtschaftliche sowie energetische Aspekte ausgeleuchtet werden.

Von insgesamt 25 Vorhaben wurden zehn Modellfälle für die Nachuntersuchung ausgewählt. Dabei wurden unterschiedliche Grundrisstypologien in unterschiedlichen städtebaulichen Situationen und in unterschiedlich großen Städten und Gemeinden berücksichtigt.

Nachuntersuchungen sollen den Wissenstransfers verbessern. Die Ergebnisse sollen kritisch hinterfragt werden, gute Erfahrungen sollen zur Wiederholung und Weiterentwicklung anregen.

Inhalt

1	Einführung	2
2	Qualität der Energieverbrauchsdaten	5
3	Charakterisierung der Energieversorgung und der Wärmeverluste	6
4	Verfahren zur Bestimmung der Heizwärmeverbräuche	10
5	Jahresheizwärmeverbräuche und Gebäudeeigenschaften	13
6	Wärmeverbrauch für Warmwasserbereitung	21
7	Zusammenfassung	22
8	Literatur	25
9	Abbildungen (Histogramme)	22
Anhang: Hochbaukonstruktionen im Vergleich: Primärenergieinhalt und Treibhauseffekt		30

1 Einführung

Die beiden bayerischen Modellvorhaben, die Gunter Maurer und Jörg Nußberger in ihrem Beitrag zum Buch „Wohnungen in Holzbauweise“ erläutern, zielen auf kosten- und flächensparendes Bauen, wobei mit den Kosten die Baukosten gemeint sind [Oberste Baubehörde 1997]¹. Von Energieeinsparung ist nicht die Rede. Diese Feststellung ist kein Vorwurf. Es ist bereits viel gewonnen, wenn es gelingt, Beispiele für kostengünstig zu erstellende Häuser zu geben, die langlebig sind und ihre Qualitäten haben. Daneben aber sind die Jahresheizwärmeverbräuche von Interesse, die einerseits eine Aussage über den ökologischen Nutzen der Gebäude erlauben und andererseits sich auf die Unterhaltskosten auswirken – aus Sicht der Mieter auf die sogenannte zweite Miete.

Zur Beurteilung des ökologischen Nutzens ist neben der Betriebsenergie auch der Energieaufwand für Herstellung und Transport der Baumaterialien, für den Bau und später für Abbruch und Entsorgung zu betrachten. Holz und Holzprodukte nehmen in Ökobilanzen von Bauvorhaben eine Sonderstellung ein, weil der Rohstoff Bestandteil des Ökosystems Wald ist. Richter, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, und Gugerli, INTEP AG in Zürich, erklären: „Mit Ausnahme der CO₂-Speicherung ist es bisher allerdings nicht gelungen, die Umweltleistungen des Waldes soweit numerisch aufzuarbeiten, dass sie in Ökobilanzen mitberücksichtigt werden. Dennoch zeigen ... Beispiele für Hochbaukonstruktionen ..., dass Holzprodukte in vergleichenden Gegenüberstellungen zu anderen Materialien ökologisch gut abschneiden, insbesondere aufgrund des geringen Verbrauchs fossiler Energieträger, eines geringen Beitrags zum Treibhauseffekt und eines geringen Abfallvolumens.“ [Richter, Gugerli 1996]

Die beiden Autoren vergleichen verschiedene Konstruktionen für Decken/Böden, Flachdächer, Außen- und Trennwände, darunter Holzkonstruktionen. Sie geben CO₂- und SO₂-Äquivalente an, ferner die Primärenergieinhalte der Baukonstruktionen, ohne Berücksichtigung des Transports zur Baustelle und des Bauprozesses.

¹ Die beiden Modellvorhaben sind die Sonderprogramme „Mietwohnungen in Holzsystembauweise“ und „Holzhäuser in amerikanischer Bauweise“ als Teile des Programms „Experimenteller Wohnungsbau“ der Obersten Baubehörde im Bayerischen Staatsministeriums des Innern.

ses. Der Bauprozess, die relevanten Bestandteile, die Nutzung und die Entsorgung werden qualitativ beurteilt. Eine Tabelle mit den Auswertungen von Richter und Gugerli geben wir im Anhang wieder. Die Ergebnisse basieren auf einer Dokumentation des Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins [SIA 1995].

Seit dem Erscheinen des Buchs „Wohnungen in Holzbauweise“ sind die Holzhäuser der beiden bayerischen Modellvorhaben einige Jahre bewohnt. Sie entstanden im Rahmen des Sozialen Wohnungsbaus. Die Erfahrungen der Mieter und der Wohnungsbaugesellschaften mit diesen Häusern können bilanziert und bewertet werden. Zitate hierzu finden sich in einem Beitrag „Sozialwissenschaftliche Nachuntersuchung“ von Weeber + Partner zur Neuauflage des Buchs „Wohnungen in Holzbauweise“.

Unser Ziel ist es, die Nutzenergieverbräuche für Raumheizung zu bestimmen und mit den vorausberechneten Bedarfswerten zu vergleichen. Die Untersuchung umfasst die folgenden Gebäude und Quartiere:

- Elsenfeld, Tannenbergsstraße 25+27, 15 Wohnungen in 2 Häusern
Bauherr: GW Franken GmbH, Würzburg
Architekten: Grellmann, Leitl, Kriebel und Teichmann, Würzburg
- Erlenbach, Waldstraße 20 A, B, C und D, 33 Wohnungen in 4 Häusern
Bauherr: GW Franken GmbH, Würzburg
Architekten: Grellmann, Leitl, Kriebel und Teichmann, Würzburg
- Erlangen-Büchenbach, Donato-Polli-Straße 2-8b, Heinrich-Kirchner-Straße 1-11, Heubaumweg 2-12, 33 Wohnungen in 4 Häusern
Bauherr: GW Franken GmbH, Würzburg
Architekten: Tegnestuen Vandkunsten, Kopenhagen
- Ingolstadt, Permoserstraße 49-75, 132 Wohnungen in 13 Häusern und ein Gemeinschaftshaus
Bauherr: Gemeinnützige Wohnungsbaugesellschaft Ingolstadt GmbH
Architekten: Schröder + Widmann, München

- Ingolstadt, Äußerer Buxheimer Weg 29+29a, 17 Wohnungen in 1 Haus
Bauherr: Gemeinnützige Wohnungsbaugesellschaft Ingolstadt GmbH
Architekten: Ebe + Ebe, München
- München-Altperlach, Hofangerstraße 160, „Blaues Haus“, 17 Wohnungen in 1 Haus
Bauherr: GWG - Gemeinnützige Wohnstätten und Siedlungsbaugesellschaft mbH, München
Architekten: Driscoll Architects, Seattle, USA, und Herbert Meyer-Sternberg, München
- München-Altperlach, Hofangerstraße 158, „Rotes Haus“, 28 Wohnungen in 1 Haus
Bauherr: GWG - Gemeinnützige Wohnstätten und Siedlungsbaugesellschaft mbH, München
Architekt: Herbert Meyer-Sternberg, München
- Nürnberg-Zerzabelshof, Eisensteiner Straße 39+39a
Bauherr: GW Franken GmbH Würzburg
Architekten: Driscoll Architects, Seattle, USA
- Regensburg, Prinz-Rupprechtstraße 17-19, 16 Wohnungen in 2 Häusern
Bauherr: Stadtbau GmbH, Regensburg
Architekten: Fink + Jocher, München
- Schwabach, Reichswaisenhausstraße 9 B, C, D und E, 58 Wohnungen in 4 Häusern
Bauherren: GW Franken GmbH, Würzburg, und St. Gundekar-Werk, Eichstätt (je 28 Wohnungen in 2 Häusern)
Architekt: Hubert Rieß, Graz
- Schweinfurt, Heisenbergstraße 36-46, 40 Wohnungen in 6 Häusern
Bauherr: Wiederaufbau GmbH, Schweinfurt
Architekt: Hubert Rieß, Graz
- Sulzbach-Rosenberg, Grafmühlstraße 30-36, 36 Wohnungen in 4 Häusern
Architekten: Fink + Jocher, München

Das Gebäude in Nürnberg-Zerzabelshof und das Blaue Haus in München-Altperlach machen das Programm „Holzhäuser in amerikanischer Bauweise“ aus, alle übrigen Gebäude entstammen dem Programm „Mietwohnungen in Holzsystembauweise“.

Wie lebt es sich in diesen Häusern? Das Wort „Holzhaus“ weckt ganz unterschiedliche Assoziationen: Für manche ist ein solches Haus gemütlich warm, weil die Wände, auch bei klirrendem Frost, eine angenehme Oberflächentemperatur haben. Für andere steht die Erinnerung an Baracken, an Wohnhäuser in Sporausführung, im Vordergrund. Erfüllt sich die Erwartung, dass die Wohnungen bei geringem Energieverbrauch angenehm warm und deshalb die Heizkosten niedrig sind?

Die Untersuchung zeigt, dass die Frage mit einem eindeutigen „ja“ zu beantworten ist: Nach gängiger Definition des Niedrigenergiehausstandards weisen so gut wie alle Gebäude diesen Standard auf,² obwohl sie nicht explizit als Niedrigenergiehäuser geplant wurden. Fünf der Häuser bzw. Quartiere wurden noch zu Zeiten der Wärmeschutzverordnung von 1982/84 geplant.

Lediglich das Gebäude in Nürnberg-Zerzabelshof, dessen Planung unverändert aus Amerika übernommen und das von einer kanadischen Firma errichtet wurde, bleibt hinter dem Niedrigenergiehausstandard zurück. Beim zeitgleich errichteten Blauen Haus in München-Altperlach hat der beteiligte Münchner Architekt eine Anpassung an hiesige Standards vorgenommen.

² Die geläufige Definition des Niedrigenergiehausstandards lehnt sich an die Regelung des Eigenheimzulagengesetzes vom Januar 1996 an und sieht eine Unterschreitung des nach gültiger Wärmeschutzverordnung zulässigen Maximalwerts des Jahresheizwärmebedarfs um 25% vor. (Die gültige Wärmeschutzverordnung ist die von 1995; im kommenden Jahr soll sie durch die geplante Energieeinsparverordnung abgelöst werden.)

Zur Terminologie: Mit „Jahresheizwärmebedarf“ ist ein vorausberechneter Wert gemeint, mit „Jahresheizwärmeverbrauch“ der nach Fertigstellung und Bezug gemessene Verbrauchswert. Letzterer ist der unter dem Gesichtspunkt des Klima- und Ressourcenschutzes eigentlich interessierende Wert; zu bedenken ist allerdings, dass er vom Nutzerverhalten abhängt.

Der Begriff „Nutzenergie“ bedeutet in unserem Kontext die benötigte Raumheizwärme und den nutzbaren Wärmeinhalt von Warmwasser. „Endenergie“ ist diejenige Energieform, die von der Wohnungsbaugesellschaft eingekauft wird, hier Erdgas oder Fernwärme. Der Begriff „Primärenergie“ meint Energie in derjenigen Form, in der wir sie der Natur oder dem Bergwerk bzw. Bohrloch entnehmen. (Bei Erdgas besteht zwischen Primärenergie und Endenergie kein begrifflicher Unterschied, wohl aber ein quantitativer, wenn die mit Gewinnung und Transport verbundenen Verluste bedacht werden.)

Uns stehen Energieverbrauchsdaten aus den Jahren 1996 bis 99 zur Verfügung, in einem Fall auch aus dem Jahr 1995, in einem anderen nur aus der zweiten Jahreshälfte von 1999, je nach Fertigstellung der Häuser.

2 Qualität der Energieverbrauchsdaten

Die Energieverbrauchswerte, die uns von den Wohnungsbaugesellschaften zur Verfügung gestellt wurden, beziehen sich in keinem der Fälle auf den Jahresheizwärmeverbrauch selbst: Gemessen wurden entweder der Erdgas- oder der Nah- bzw. Fernwärmebezug. Im Falle von Erdgas müssen Annahmen über den Jahresnutzungsgrad der jeweiligen Kesselanlage getroffen werden, um die bereitgestellte thermische Energie abschätzen zu können. Von letzterer müssen der Wärmeverbrauch für Warmwasserbereitung und gegebenenfalls die geschätzten Wärmeverluste des Quartiersnetzes und langer Warmwasser-Zirkulationsleitungen abgezogen werden. Der verbleibende Rest ist der Heizwärmeverbrauch, i.e. die Nutzenergie für Raumheizung.

Das skizzierte Verfahren ist durchaus umständlich und mit Unsicherheiten behaftet. Es ließe sich nur dann verbessern, wenn jedes Gebäude mit separaten Wärmemengenzählern ausgestattet wäre, am besten derart, dass nur der Anteil der Wärme für Raumheizung gemessen würde. Da aber die Wohnungsbaugesellschaften aus Kostengründen den Messaufwand auf das nach Heizkostenverordnung notwendige Maß begrenzen, stehen uns detaillierte Daten nicht zur Verfügung.

Man mag fragen, warum es ausgerechnet der so umständlich zu gewinnende Jahresheizwärmebedarf sein muss, der hier präsentiert werden soll. Zielt doch die geplante Energieeinsparverordnung primär auf den Endenergiebedarf bzw. -verbrauch, also auf diejenige Energieform und -menge, die von der Wohnungsbaugesellschaft eingekauft wird. In unserem Fall wären das Erdgas oder Nah/Fernwärme, also die Größen, für die uns verlässliche Daten vorliegen. Der Grund für unser Vorgehen liegt darin, dass wir die Verbräuche mit den nach gültiger Wärmeschutzverordnung 1995 berechneten Bedarfswerten vergleichen

wollen. Der Bedarfswert bilanziert die Wärmeverluste des Gebäudes gegen die Wärmegewinne durch solare Einstrahlung über die Fenster in ihren jeweiligen Orientierungen und durch unterstellte innere Wärmequellen. Er ist im wesentlichen Ausdruck der Eigenschaften der Gebäudehülle und eignet sich für den Vergleich mit dem Wärmeschutz-Standard, der üblicherweise im Massivbau anzutreffen ist. Da für diesen Vergleich die Eigenschaften der Haustechnik und der vorgelagerten Energietechnik nicht von Interesse sind, entfernen wir diese „operativ“.

Natürlich spiegeln die Heizwärmeverbräuche nicht nur die Gebäudeeigenschaften wider, sondern auch die Gewohnheiten der Nutzer. (Für die Berechnung der Bedarfswerte wird ein Standard-Nutzer unterstellt.) Halbwegs verlässliche Aussagen über Holzhäuser im Unterschied zu Massivbauten bei vergleichbaren Baukosten lassen sich nur über statistische Mittelwerte und deren Schwankungsbreiten gewinnen.

Von einigen Wohnungsbaugesellschaften haben wir Angaben zum gemeinschaftlich verbrauchten elektrischen Strom (für Heizungspumpen, Treppenhausbeleuchtung etc.) erhalten, von anderen nicht. In der Auswertung blieben die Stromverbräuche unberücksichtigt. Unter dem Begriff Energie werden hier nur die thermische Energie sowie die Energieträger Erdgas und Nah/Fernwärme verstanden.

3 Charakterisierung der Energieversorgung und der Wärmeverluste

Im Hinblick auf die Bestimmung der Heizwärmeverbräuche sind die Haustechnik und gegebenenfalls die vorgelagerte Energietechnik zu betrachten. Unter den zwölf Gebäuden bzw. Quartieren haben wir sechs Typen festgestellt, die sich hinsichtlich der Prozedur zur Bestimmung der Heizwärmeverbräuche unterscheiden.

Die Typen 1 bis 5 repräsentieren Nah- bzw. Fernwärmeversorgungen³ mit entweder Quartier-zentraler oder Gebäude-zentraler Warmwasserbereitung.⁴ Die beiden Warmwasserbereitungsarten unterscheiden sich hinsichtlich der Wärmeleitungsverluste im Außenbereich:

- Bei zentraler (i.e. Quartier-zentraler) Warmwasserbereitung treten durch Warmwasserzirkulation erhöhte Verluste⁵ auf; andererseits sind die Wärmeverluste des Gebäudeheizungsnetzes⁶ relativ gering, weil dieses im Sommer mit niedrigen Temperaturen gefahren wird. Die Höhe der Wärmeverluste ist deshalb von Bedeutung, weil der Energiebezug am Eingang des Quartiersnetzes bzw. an der Übergabestation gemessen wird.
- Bei dezentraler (i.e. Gebäude-zentraler) Warmwasserbereitung werden die Warmwasser-Zirkulationsverluste im Außenbereich vermieden, aber die Wärmeverluste des Quartiersnetzes sind höher,⁷ weil das Netz auch im Sommer mit einer Temperatur von 60 bis 65 °C betrieben werden muss, um die Warmwasserbereitung samt Legionellen-Schaltung zu ermöglichen.

Der Typ 6 stellt eine weit verbreitete Art der Wärmeversorgung dar, bei der jedes einzelne Gebäude mit eigenem Gaskessel und eigener Warmwasserbereitung ausgestattet ist.

Typ 1: Die Gebäude Ingolstadt Buxheimer Weg (17 Wohnungen), München-Altperlach Blaues Haus (17 Wohnungen), München-Altperlach Rotes Haus (28 Wohnungen) und die „Blaue Siedlung“ in Schwabach (4 Gebäude mit je 14 Wohnungen) werden mit Nah- bzw. Fernwärme versorgt. Deren Bezug wird mit Hilfe eines Wärmemengenmessers am Eingang eines jeden Hauses gemessen.

³ Für unsere Zwecke besteht kein Unterschied zwischen Nah- und Fernwärme; in der üblichen Sprechweise dient Nahwärme der Wärmeversorgung der näheren Umgebung des Heizwerks oder Blockheizkraftwerks (BHKW), während Fernwärme für höhere Leistungen und entsprechend größere Versorgungsgebiete ausgelegt ist.

⁴ Der Kürze halber nennen wir die Quartier-zentrale Art der Warmwasserbereitung „zentral“ und die Gebäude-zentrale Art „dezentral“.

⁵ Die erhöhten Zirkulationsverluste werden durch eine Aufwandszahl $e_c = 1,25$ beschrieben (c steht für *circulation*), s. Formel (1).

⁶ Die Wärmeverluste des Gebäudeheizungsnetzes werden nach Erfahrungen mit eigenen Planungen durch einen Jahresnutzungsgrad $\eta_d^z = 0,9$ parametrisiert, s. Formel (1); d steht für *distribution* (in der Notation der Energieeinsparverordnung und der begleitenden Norm DIN V 4701-10), z steht für zentrale Warmwasserbereitung).

⁷ Aufwandszahl für Zirkulationsverlust $e_c = 1$ (d.h. kein erhöhter Zirkulationsverlust); Jahresnutzungsgrad des Wärmenetzes bei dezentraler Warmwasserbereitung $\eta_d^{dz} = 0,8$ (nach eigenen Erfahrungen); wiederum steht d für *distribution*, und dz steht für dezentrale Warmwasserbereitung, s. Formel (1).

sen. Von der bezogenen Wärme wird ein Teil zur Warmwasserbereitung verwendet, der verbleibende Teil zur Raumheizung.

Typ 2: Die Siedlung Ingolstadt Permoserstraße mit 13 Wohnhäusern (132 Wohnungen) und einem Gemeinschaftshaus wird über ein Quartiersnetz versorgt, das mit Hilfe einer Übergabestation an die Nahwärmeleitung angeschlossen ist, die vom BHKW Buxheimer Weg gespeist wird (der Kindergarten bleibt unberücksichtigt). Die Warmwasserbereitung erfolgt Gebäude-nah (in unserer Sprechweise dezentral). Für Typ 2 gelten die in Fußnote 7 angegebenen Parameter.

Typ 3: Für das Quartier in Erlangen-Büchenbach (4 Häuser, 33 Wohnungen) gibt es ein zentrales Kesselhaus auf Erdgasbasis, das ein kleines Quartiersnetz speist; die Warmwasserbereitung erfolgt Gebäude-nah (i.e. dezentral).⁸

Typ 4: Die beiden Häuser in Regensburg (16 Wohnungen) werden von einem Brennwertkessel versorgt, das Warmwasser wird zentral für beide Häuser bereit. Es mag vielleicht übertrieben klingen, hier von Nahwärme zu sprechen, aber im Sinne unserer Systematik liegt eine kleine Nahwärmeversorgung vor.⁹

Typ 5: Analog zu Typ 2 wird in Schweinfurt (6 Häuser, 40 Wohnungen) und in Sulzbach-Rosenberg (4 Häuser, 36 Wohnungen) die städtische Fernwärme in Quartiersnetze eingespeist. Allerdings wird jeweils das Warmwasser zentral für das gesamte Quartier in der Fernwärmeübergabestation bereit.¹⁰

Typ 6: In Elsenfeld (2 Häuser, 15 Wohnungen), Erlenbach (4 Häuser, 33 Wohnungen) und Nürnberg (2 Häuser, 44 Wohnungen) ist jedes Haus mit einem eigenen Niedertemperaturkessel und mit Gebäude-zentraler Warmwasserbereitung ausgestattet.¹¹

⁸ $e_c = 1$; $\eta_d^{dz} = 0,8$ in Formel (1). Neben dem Jahresnutzungsgrad der Wärmeverteilung über das Quartiersnetz η_d ist der Jahresnutzungsgrad der Kesselanlage η_g zu beachten, weil nicht die Wärme, sondern der Erdgasbezug gemessen wird (g steht für *generation*); der Niedertemperaturkessel wird mit einem Nutzungsgrad $\eta_g = 0,8$ angesetzt. Die vorangegangenen Fälle der Nah- bzw. Fernwärmeversorgung werden sinngemäß durch $\eta_g = 1$ charakterisiert.

⁹ $e_c = 1,25$; $\eta_d^z = 0,9$; $\eta_g = 0,9$ für den Brennwertkessel in Formel (1)

¹⁰ $e_c = 1,25$; $\eta_d^z = 0,9$; $\eta_g = 1$

¹¹ $e_c = 1$; $\eta_g = 0,8$

Platzsparend und übersichtlich lassen sich die genannten Sachverhalte und das Verfahren zur Bestimmung der Heizwärmeverbräuche an Hand von Formel (1) und Tab. 1 veranschaulichen:

$$Q_H = (E \eta_g \eta_d^{dz} - Q_{WWB} e_c) \eta_d^z \quad (1)$$

mit Q_H = Heizwärmeverbrauch, E = gemessenem Energiebezug und Q_{WWB} = Wärmeverbrauch für Warmwasserbereitung, letzterer ohne Zirkulationsverluste im Quartier, die explizit durch e_c beschrieben werden.

Die betrachteten Häuser bzw. Quartiere werden in Tab. 1 den sechs genannten Typen zugeordnet; die Tabelle gibt die Werte der Parameter η_g , η_d^{dz} , η_d^z und e_c wieder, die in den Fußnoten 6 bis 9 definiert sind.

Die Gebäude des Schweinfurter Quartiers sind wohnungsweise mit Wärmemengenzählern ausgestattet. Deren Messwerte, ergänzt um einen plausiblen Schätzwert für die Rohrwärmeabgabe im Gebäude,¹² erlauben eine Überprüfung der gewählten Parameter η_g und η_d^z . Die Anwendung von (1) erwies die Konsistenz der Parameterwerte. Dieses Ergebnis ist eine Stütze für die von uns bestimmten Heizwärmeverbräuche, deren Zahlenwerte von den genannten Parametern abhängen und beträchtlich von früheren Angaben der Wohnungsbaugesellschaften abweichen.

¹² Der Anteil der Rohrwärmeabgabe innerhalb des Gebäudes wurde durch Analogieschluss aus einem anderen Feldversuch gewonnen.

	Typ	Energiebezug bzw. Wärme- erzeugung	η_g	η_d^{dz}	η_d^z	e_c	
Ingolstadt B.	1	NW*	1	1	1	1	zunehmend zentrale Quartiersversorgung ↓
München BH	1	FW**	1	1	1	1	
München RH	1	FW**	1	1	1	1	
Schwabach	1	NW*	1	1	1	1	
Ingolstadt P.	2	NW*	1	0,8	1	1	
Erlangen	3	EG, NT-K → NW***	0,8	0,8	1	1	
Regensburg	4	EG, BW-K****	0,9	1	0,9	1,25	
Schweinfurt	5	FW*****	1	1	0,9	1,25	
Sulzbach-R.	5	FW*****	1	1	0,9	1,25	
Eisenfeld	6	EG, NT-K*****	0,8	1	1	1	dezentraler Kessel
Erlenbach	6	EG, NT-K*****	0,8	1	1	1	
Nürnberg	6	EG, NT-K*****	0,8	1	1	1	

* Nahwärmeversorgung (NW), BHKW auf Erdgasbasis

** Fernwärmeversorgung (FW) mit Kraftwärmekopplungsanteil

*** Erdgasbezug (EG), Niedertemperaturkessel (NT-K) speist Quartiersnetz

**** Erdgasbezug, ein Brennwärtekessel (BW-K) für zwei Gebäude

***** Fernwärme aus dem Müllheizkraftwerk

***** Abwärme aus der Maxhütte

***** Erdgasbezug, Niedertemperaturkessel und
Warmwasserbereitung in jedem Gebäude

Tab. 1: Parameter zur Bestimmung der Heizwärmeverbräuche aus dem jeweiligen Energiebezug; η_g = Jahresnutzungsgrad der Wärmeerzeugung im Quartier oder Gebäude ($\eta_g = 1$ für Nah/Fernwärme), η_d^{dz} = Jahresnutzungsgrad des Quartierswärmenetzes bei dezentraler Warmwasserbereitung, η_d^z = Jahresnutzungsgrad des Quartiersheiznetzes bei zentraler Warmwasserbereitung, e_c = Aufwandszahl für Warmwasser-Zirkulationsverluste im Quartier

4 Verfahren zur Bestimmung der Heizwärmeverbräuche

Zur Berechnung des Heizwärmeverbrauchs nach (1) ist der Wärmeverbrauch für Warmwasserbereitung zu ermitteln. Von den Wohnungsbaugesellschaften erhielten wir die Volumina des verbrauchten Warmwassers und erfragten die jeweiligen Temperaturen des Warmwassers im Boiler, die in Ingolstadt, München Rotes Haus und München Blaues Haus 55 °C betragen (in letzterem erst von 1998 an, vorher 50 °C), in Regensburg 58 °C und in allen übrigen Quartieren 60 °C. Mit Hilfe der genannten Größen wurde der Wärmeverbrauch für Warmwasserbereitung Q_{WWB} nach Heizkostenverordnung bestimmt.

Der resultierende Heizwärmeverbrauch wird auf eine geeignet gewählte Fläche bezogen, um Vergleiche mit anderen Gebäuden zu erlauben. Als gebräuchlichste Flächenangabe bietet sich die Nutzfläche nach DIN 277 oder die Wohnfläche A_{Wfl} nach Zweiter Berechnungsverordnung an. Für den Vergleich mit den Vorgaben der gültigen Wärmeschutzverordnung 1995 wird statt dessen die dort definierte Gebäudenutzfläche A_N herangezogen. Da wir nicht für alle hier betrachteten Gebäude Wärmeschutznachweise erhalten konnten, denen die A_N -Werte zu entnehmen gewesen wären, haben wir den Mittelwert der uns vorliegenden Verhältnisse A_N/A_{Wfl} bestimmt und die uns fehlenden A_N -Werte mit Hilfe dieses Mittelwerts abgeschätzt.

Der genannte Mittelwert beträgt

$$A_N/A_{Wfl} = 1,04$$

Damit liegen die Kennwerte für den Heizwärmeverbrauch, die auf die Wohnfläche bezogen sind, im Mittel um 4% höher als die von uns angegebenen.

Für die Bestimmung der Kennwerte, d.h. der spezifischen jährlichen Heizwärmeverbräuche in kWh/m²a, ist von Bedeutung, ob alle Wohnungen eines Gebäudes bewohnt sind, oder ob es Leerstände gibt. (Bei einer Begehung der Häuser im Januar und Februar 2000 haben wir festgestellt, dass leerstehende Wohnungen Raumtemperaturen von etwa 15 °C aufwiesen, also nicht voll beheizt waren.) Nennenswerte Leerstände gab es lediglich in Schweinfurt, weil die dortige Wohnungsbaugesellschaft nur diejenigen Mieter akzeptierte, die ihren Auswahlkriterien entsprachen. Deshalb haben wir für Schweinfurt eine Leerstandskorrektur angebracht, die gemäß

$$A_N' = A_N - (n_{HM})^{-1} [0,3 \sum_i (A_{Wfl}^{\text{leerst. Wohn.}} n_{\text{Leerstand}})_i + \sum (A_N^{\text{nicht bezog. Haus}} n_{\text{Leerstand}})_j] \quad (2)$$

berechnet wurde. Zur Bestimmung des auf Leerstand korrigierten Kennwerts wird der betreffende Heizwärmeverbrauch durch A_N' anstatt A_N dividiert; n_{HM} ist die Anzahl der Heizmonate des betreffenden Zeitraums und $(n_{\text{Leerstand}})_i$ die An-

zahl der Monate während der Heizperiode, in denen die Wohnung i leer steht; analog ist $(n_{\text{Leerstand}})_j$ für Häuser j definiert, die deshalb nicht bezogen sind, weil sie im betrachteten Zeitraum noch nicht fertig gestellt waren. Der Faktor 0,3 vor dem Summanden, der die leerstehenden Wohnungen beschreibt, trägt der Tatsache Rechnung, dass solche Wohnungen im Mittel einen reduzierten Jahresheizwärmeverbrauch aufweisen. (In die Berechnung des Faktors geht die Rohrwärmeabgabe innerhalb des Gebäudes ein, die im Mittel 40% des Jahresheizwärmeverbrauchs beträgt).

Um Heizwärme-Kennwerte aus verschiedenen Jahren und solche von unterschiedlichen Standorten unabhängig von Klimaschwankungen miteinander vergleichen zu können, haben wir die Gradtagzahlen der Abrechnungsperioden an den jeweiligen Standorten herangezogen und die Verbräuche auf die Gradtagzahl von 3.500 Kd/a normiert (diese Zahl wird im Rechenverfahren der Wärmeschutzverordnung 1995 verwendet). Dabei trat für München ein Problem auf: Die Wetterstation München-Nymphenburg lieferte nur Daten bis einschließlich 1998; danach wurde sie geschlossen. Seit 1999 stammen die Münchner Wetterdaten von einer Station am Flughafen. Da sich die lokalen Klimate beider Stationen unterscheiden, ist die Normierung der 99iger Verbräuche unsicher. Wir haben die Wahl zwischen der Gradtagzahl für 1999 aus dem Erdinger Moos und dem langjährigen Mittelwert der Gradtagzahlen aus Nymphenburg. Keine der beiden Alternativen ist zu den Nymphenburger Gradtagzahlen der vorausgegangenen Jahre konsistent. Wir haben uns für den Nymphenburger Mittelwert entschieden, weil die andere Alternative zu einem unplausiblen Ergebnis für das Blaue Haus führen würde.

5 Jahresheizwärmeverbräuche und Gebäudeeigenschaften

Die Abbildungen (Histogramme) in Abschnitt 9 enthalten unsere Ergebnisse zum Heizwärmeverbrauch. Jeder Abrechnungsperiode ist ein Säulenpaar zugeordnet, dessen linke Säule den gemessenen Heizwärmeverbrauch und dessen rechte Säule den Klima-bereinigten oder Gradtagzahl-bereinigten Jahresheizwärmeverbrauch darstellt (beide bezogen auf die linke Skala)¹³. Die rechten Säulen aller Abbildungen sind mit den nach Wärmeschutzverordnung 1995 bestimmten Werten des maximal zulässigen und des errechneten Jahresheizwärmebedarfs zu vergleichen; soweit verfügbar, sind diese Werte als horizontale Linien eingezeichnet.

Erläuterung der Abbildungen:

- Die Verbrauchswerte wurden in keinem der Fälle direkt gemessen. Das Verfahren zu ihrer Bestimmung ist in Abschnitt 4 beschrieben.
- Die Abbildungen enthalten die auf die Standorte bezogenen Werte der Gradtagzahlen, die den jeweiligen Abrechnungsperioden zugeordnet sind (als kleine Quadrate, der besseren Sichtbarkeit wegen mit einer Linie verbunden; die Werte der Gradtagzahl sind an der rechten Skala abzulesen).¹⁴ Die Werte stammen vom Deutschen Wetterdienst.
- Rechenbeispiel für die Bestimmung des Gradtag-bereinigten Jahresverbrauchs: In der Abbildung für Elsenfeld ist die Gradtagzahl der ersten Abrechnungsperiode höher als 3.500 Kd/a; die Gradtagzahlen der beiden anschließenden Perioden sind niedriger als 3.500 Kd/a (wie schon gesagt, wir nehmen die Gradtagzahl der Wärmeschutzverordnung in Höhe von 3.500 Kd/a als Referenzgröße; sie kommt dem langjährigen Mittel der Würzburger Gradtagzahlen nahe). Während der ersten Periode ist das Klima in Elsenfeld (Wetterstation Wertheim) kälter als das Referenzklima am Referenzstandort, in den beiden anschließenden Perioden ist es wärmer. Deshalb sinkt der Verbrauchswert der ersten Periode bei der Normierung

¹³ Die Einheit ist Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr; Bezugsfläche ist die Gebäudenutzfläche A_N nach Wärmeschutzverordnung 1995.

¹⁴ Die Gradtagzahl ist in der VDI-Richtlinie 2067, Blatt 1, definiert; ihre Einheit ist Kelvin mal Tage (pro Jahr, falls die betrachtete Periode gerade ein Jahr umfasst). Die Bereinigung der Wärmeverbräuche mit Hilfe der Gradtagzahlen ist in der VDI-Richtlinie 3807, Blatt 1, angegeben.

oder Bereinigung, während er für die beiden folgenden Perioden steigt, s. rechte Säulen.

- Der nach Wärmeschutzverordnung 1995 maximal zulässige Wert des Jahresheizwärmebedarfs hängt vom A/V-Verhältnis des betreffenden Gebäudes ab. Wenn mehrere Gebäude zu einem gemeinsam abgerechneten Quartier zählen, wurden die betreffenden A/V-Werte gemittelt.
- Der errechnete Bedarfswert ist dem Wärmeschutznachweis entnommen, sofern dieser gemäß Wärmeschutzverordnung 1995 erstellt wurde. Falls der Nachweis gemäß Wärmeschutzverordnung 1982/84 geführt wurde, ist anstelle des Jahresheizwärmebedarfs der Wert des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten ausgewiesen. Im Fall des Blauen Hauses in München reichten die im Wärmeschutznachweis enthaltenen Angaben aus, um den Jahresheizwärmebedarf nach dem Verfahren der Wärmeschutzverordnung 1995 bestimmen zu können (in den übrigen Fällen ist uns die Aufteilung der Fensterflächen auf die vier Himmelsrichtungen und damit der Wert der solaren Einstrahlungsgewinne nicht bekannt).

Zu den Aussagen der Abbildungen:

Elsenfeld: Die gemessenen Verbräuche (hier und im folgenden Gradtagbereinigt) sind um 13 % niedriger als der nach Wärmeschutzverordnung 1995 berechnete Bedarfswert. Ihr Mittelwert liegt unterhalb der gebräuchlichen Schwelle für Niedrigenergiehäuser, s. Tab. 2, so dass von Niedrigenergiehausstandard gesprochen werden kann. (Unterschreitung des nach Wärmeschutzverordnung 1995 zulässigen Maximalwerts im Mittel um 36 %, obwohl der k-Wert der Fenster mit $k_F = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ recht hoch ist)

Erlenbach: Die Verbräuche sind sensationell niedrig. Inwieweit das Nutzerverhalten zu diesem Ergebnis beiträgt, kann aus den Daten nicht abgelesen werden: Die Bewohner türkischer Abstammung (Beschäftigte in einem benachbarten Chemiewerk und ihre Familien) mögen beim Heizwärmeverbrauch sparsam sein, beim Warmwasserverbrauch dagegen zeigen sie keine besondere Sparsamkeit. Mit Sicherheit trägt die schrittweise Optimierung einer Gebäudeserie zum Ergebnis bei: Die Architekten haben zwei Gebäudetypen entworfen, einen Lau-

bengangtyp und einen etwas tieferen Spännertyp, die zunächst in Elsenfeld, dann in Mainleus und danach in Erlenbach gebaut wurden. Die Entwicklung zeigt sich z.B. darin, dass in Elsenfeld die Fassade hinterlüftet ist, in Erlenbach nicht; das stehende Luftpolster hinter der äußeren Schale in Erlenbach verbessert den Wärmeschutz. Die Wärmedämmschicht aus Mineralfaser ist nur 14 cm stark (bei einer Wandstärke von insgesamt 21 cm) was angesichts des in Tab. 2 angegebenen Mittelwerts für den Jahresheizwärmeverbrauch von 33 kWh/m²a nicht viel ist. Auch die Fenster mit $k_F = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ sind alles andere als anspruchsvoll. Vermutlich ist die eindeutige Niedrigenergieeigenschaft der sorgfältig weiter entwickelten Konstruktion und auch den unterschiedlichen Anzahlen der beiden Haustypen „tief“ und „flach“ (letzterer mit Laubengang) zuzuschreiben: In Elsenfeld beträgt das Verhältnis „tief“ zu „flach“ 1:1, in Erlenbach 3:1. (Unterschreitung des nach Wärmeschutzverordnung 1995 zulässigen Maximalwerts im Mittel um 55 %)

Wie schon in Elsenfeld waren die Heizwärmeverbräuche im ersten Jahr am höchsten; im folgenden Jahr fielen sie merklich, im dritten Jahr noch etwas.

Erlangen: Die Siedlung in Büchenbach weist ebenfalls Niedrigenergiehausstandard auf, obwohl die Gebäude bereits zu Zeiten der Wärmeschutzverordnung 1982/84 geplant wurden und der k-Wert der Fenster mit $k_F = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ recht hoch ist. (Unterschreitung des nach Wärmeschutzverordnung 1995 zulässigen Maximalwerts im Mittel um 35 %, s. Tab. 2)

Uns fehlt der vorausberechnete Bedarfswert.

Ingolstadt, Permoserstraße: Niedrigenergiehausstandard trotz Planung zu Zeiten der Wärmeschutzverordnung 1982/84 und des recht hohen k-Werts der Fenster, $k_F = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$. (Unterschreitung des nach Wärmeschutzverordnung 1995 zulässigen Maximalwerts im Mittel um 43 %, s. Tab. 2)

Uns fehlt der vorausberechnete Bedarfswert.

Ingolstadt, Äußerer Buxheimer Weg: Der vorausberechnete Bedarfswert liegt um nur 4 % unter dem zulässigen Maximalwert, wird aber von den Verbräuchen deutlich unterboten. Niedrigenergiehausstandard (Unterschreitung des nach Wärmeschutzverordnung 1995 zulässigen Maximalwerts im Mittel um 33 %, s. Tab. 2). Der k-Wert der Fenster ist mit $k_F = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ deutlich niedriger als in den bisher besprochenen Quartieren.

München-Altperlach, Blaues Haus: Ungefähr Niedrigenergiehausstandard trotz Planung zu Zeiten der Wärmeschutzverordnung 1982/84 und des hohen k-Werts der Fenster, $k_F = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Die Angaben zu den Gebäuden waren hinreichend detailliert, so dass der Bedarfswert nach dem Verfahren der Wärmeschutzverordnung 1995 bestimmt werden konnte. Dieser liegt um 8 % über dem nach WSV 95 zulässigen Maximalwert, was insofern nicht verwunderlich ist, als die Planung sich auf die ältere Wärmeschutzverordnung bezog, deren Anforderungsniveau um rund 30 % höher lag als das der heute noch gültigen. (Unterschreitung des nach Wärmeschutzverordnung 1995 zulässigen Maximalwerts im Mittel um 20 %, Überschreitung des gebräuchlichen Grenzwerts für Niedrigenergiehäuser um 6 %, s. Tab. 2)

Im Jahr 1999 war der normierte Jahresheizwärmeverbrauch höher als in den vorausgegangenen Jahren, was auf das Nutzerverhalten zurückzuführen sein wird. (Wenn der 99-iger Verbrauch unberücksichtigt bleibt, dann wird der Grenzwert für Niedrigenergiehäuser um knapp 4 % überschritten.)

München-Altperlach, Rotes Haus: Der vorausberechnete Bedarfswert liegt nur knapp oberhalb der Schwelle für Niedrigenergiehausstandard, der gemessene Verbrauch liegt um 23 % unter dieser Schwelle, s. Tab. 2. Zu bedenken ist allerdings, dass der Abrechnungszeitraum kein ganzes Jahr, sondern nur 7 Monate umfasst (das Haus ist erst im Mai 1999 bezogen worden). Deshalb sind sowohl der angegebene Verbrauchswert (linke Säule) als auch die Gradtagzahl so niedrig (die Gradtagzahl bezieht sich auf die betrachtete Periode von 7 Monaten und stützt sich auf das langjährige Mittel der Station Nymphenburg, s. Abschnitt 4). Nach dem ersten vollen Abrechnungsjahr (Jahr 2000) wird sich zeigen, ob unse-

re Aussage über den Niedrigenergiehausstandard quantitativ Bestand hat (an der qualitativen Aussage „Niedrigenergiehausstandard“ wird sich nichts ändern). Der auf ein volles Jahr hochgerechnete Verbrauchswert besagt, dass der nach Wärmeschutzverordnung 1995 zulässige Maximalwert um 43 % unterschritten wird, s. Tab. 2. Der k-Wert der Fenster ist mit $k_F = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ niedriger als in den meisten der übrigen hier betrachteten Häuser.

Nürnberg-Zerzabelshof: Die gemessenen und Gradtag-bereinigten Verbrauchswerte nehmen von Jahr zu Jahr ab, sind jedoch nicht ganz zuverlässig, weil in jedem Winter die Heizung mehrmals ausfiel und die Bewohner zu elektrischen Heizöfen gegriffen haben, deren Stromverbrauch nicht gemessen wurde. (Die Heizanlage war aus den USA importiert worden; die Beschaffung von Ersatzteilen wurde zunehmend schwieriger, so dass die GW Franken entschieden hat, die Anlage durch eine Heizung aus deutscher Fertigung zu ersetzen.)

Der Wärmeschutznachweis war nicht ausfindig zu machen. Bei Übertragung des A/V-Verhältnis des Blauen Hauses in München, dem zweiten Projekt des Modellvorhabens „Mietwohnungen in nordamerikanischer Holzbauweise“, auf die beiden Nürnberger Häuser zeigt sich, dass der Mittelwert der gemessenen Verbräuche (Gradtag-bereinigt) unterhalb des nach Wärmeschutzverordnung 1995 zulässigen Maximalwerts liegt – was insofern beachtlich ist, als die deutsche Wärmeschutzverordnung für die Planung der Häuser keine Bedeutung hatte. Von Niedrigenergiehausstandard kann allerdings nicht gesprochen werden.

Regensburg: Niedrigenergiehausstandard (Unterschreitung des nach Wärmeschutzverordnung 1995 zulässigen Maximalwerts im Mittel um 28 %, s. Tab. 2). Der k-Wert der Fenster beträgt $k_F = 1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Der Wärmeschutznachweis ist verschollen; uns fehlt deshalb der vorausberechnete Bedarfswert.

Schwabach: Ungefähr Niedrigenergiehausstandard trotz Planung zu Zeiten der Wärmeschutzverordnung 1982/84. Die Fensterqualität ist mit $k_F = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ recht gut. (Unterschreitung des nach Wärmeschutzverordnung 1995 zulässigen Maximalwerts im Mittel um 24%, s. Tab. 2)

Uns fehlt der vorausberechnete Bedarfswert.

Schweinfurt: Ungefähr Niedrigenergiehausstandard. Die Fensterqualität ist mit $k_F = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ recht gut. (Unterschreitung des nach Wärmeschutzverordnung 1995 zulässigen Maximalwerts im Mittel um 23 %, s. Tab. 2). Der berechnete Bedarfswert liegt unterhalb des Grenzwerts für Niedrigenergiehausstandard; er wird in der Abrechnungsperiode 97/98 überschritten und im Jahr 1999 unterschritten.

Zu beachten ist, dass die Abrechnungsperiode 97/98 den Zeitraum 1.6.1997 bis 31.12.1998 umfasst; deshalb der hohe Verbrauchswert für 97/98 (linke Säule), der durch Gradtag-Bereinigung auf einen Jahresverbrauch normiert wird (rechte Säule). Die Wiederaufbau GmbH teilte mit, dass im Herbst 1997 und dem nachfolgenden Winter hohe Wärmeverbräuche aufgetreten sind, weil die Mieter vor und nach Bezug ihrer Wohnungen Einbauten vorgenommen haben – bei meist offenen Fenstern. Insofern ist eher der Verbrauchswert des Jahres 1999 repräsentativ; dieser liegt im Niedrigenergiehausbereich.

Bisher haben wir uns mit der rechten Hälfte der Abbildung befasst („mit Leerstandskorrektur“), die unser Ergebnis darstellt. Die linke Hälfte („ohne Leerstandskorrektur“) gibt insofern Rohdaten wieder, als nicht berücksichtigt ist, dass die Häuser Heisenbergstraße 36 und 38 erst im Jahr 1998 bezogen wurden und dass eine Reihe von Wohnungen leer standen (im Jahr 1997 in H. 40, 44 und 46, im Jahr 1998 in H. 36, 38, 44 und 46, im Jahr 1999 in H. 38, 44 und 46). Wenn wir angenommen hätten, dass alle Wohnungen bewohnt und entsprechend beheizt gewesen wären, dann hätten wir zu optimistische Kennwerte erhalten. Das Verfahren zur Korrektur auf Leerstände ist in Abschnitt 4 beschrieben.

Sulzbach-Rosenberg: Niedrigenergiehausstandard trotz Planung zu Zeiten der Wärmeschutzverordnung 1982/84 und des recht hohen k-Werts der Fenster, $k_F = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$. (Unterschreitung des nach Wärmeschutzverordnung 1995 zulässigen Maximalwerts im Mittel um 38 %, s. Tab. 2).

Uns fehlt der vorausberechnete Bedarfswert.

Weeber + Partner erwähnen in ihrer sozialwissenschaftlichen Nachuntersuchung beschlagene Fenster und sagen: „Ob dafür Verhaltensfehler oder Baumängel verantwortlich sind, ist nicht bekannt.“ Wir denken, der Grund für die beschlagenen Fenster ist in ihrem hohen k-Wert zu sehen. An einem kalten Februartag, den wir in Sulzbach-Rosenberg während einer gemeinsamen Reise erlebten, waren die Temperaturen der Innenflächen der Fenster deutlich niedriger als die der opaken Außenwände; letztere weisen einen k-Wert von rund $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf. Deshalb kondensierte an den Fenstern der Wasserdampf, der nicht durch Lüften abgeführt worden war. Auf Nachfrage erklärten die Bewohner und der Hausmeister, in den Wohnungen gebe es keine Anzeichen für Feuchteschäden oder Schimmelpilzbildung, was darauf hindeutet, dass die Wände frei von Feuchte sind.

Um den Vergleich zwischen den verschiedenen Gebäuden bzw. Quartieren zu erleichtern, sind in Tab. 2 die energetischen Kenngrößen zusammengestellt.

	Q'' _H (mittlerer Verbrauch, gemessen)* [kWh/m ² a]**	Q'' _H (Bedarf, gerechnet)*** [kWh/m ² a]	Q'' _H (zulässig. Maximal- wert)**** [kWh/m ² a]	Q'' _H (zulässig. Max.Wert - 25%) [kWh/m ² a]	A/V***** (Maß für Kom- paktheit) [m ⁻¹]	k _m (mittl. k-Wert Gebäu- dehülle) [W/m ² K]	k _F (k- Wert d. Fens- ter) [W/m ² K]
Spalte	1	2	3	4	5	6	7
Eisenfeld	47,5	54,4	74,6	55,9	0,58		2,6
Erlenbach	33,3	54,4	74,6	55,9	0,58		2,6
Erlangen	53,8		81,1	60,8	0,70	0,54	2,6
Ingolstadt P.	43,0		75,7	56,7	0,60	0,58	2,6
Ingolstadt B.	51,8	74,3	77,3	58,0	0,63		1,5
München BH	55,6	75,6	69,7	52,3	0,49	0,58	2,6
München RH	39,4	52,9	68,6	51,5	0,47		1,4
Nürnberg	65,6						
Regensburg	56,0		77,3	58,0	0,63		1,7
Schwabach	57,1		75,1	56,3	0,59	0,42	1,3
Schweinfurt	60,7	56,4	78,9	59,2	0,66		1,3
Sulzbach-R.	45,4		73,5	55,1	0,56	0,53	2,6

* Gradtag-bereinigt, normiert auf GTZ der WSV 95 [3.500 Kd/a]

** bezogen auf die Energiebezugsfläche nach WSV 95

*** nach WSV 95; für Blaues Haus berechnet aus k_m und Orientierung der Fenster nach dem Verfahren der WSV 95

**** nach WSV 95 zulässiger Maximalwert

***** A/V = Verhältnis von Hüllfläche A zu beheiztem Bauwerksvolumen V

Tab. 2: Kennwerte für den Jahresheizwärmebedarf (gemäß Definition und Notation der Wärmeschutzverordnung 1995, abgekürzt WSV 95)

Spalte 1: Gemessener Verbrauch, normiert auf die Gradtagzahl der WSV 95 und gemittelt über die jeweils betrachteten Abrechnungsperioden

Spalte 2: Im Wärmeschutznachweis berechneter Bedarfswert

Spalte 3: Nach gültiger Wärmeschutzverordnung zulässiger Maximalwert

Spalte 4: Gebräuchlicher Grenzwert für Niedrigenergiehausstandard (in Abhängigkeit vom A/V-Verhältnis)

[Einheit jeweils Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr, Bezugsfläche ist die Gebäudenutzfläche A_N nach WSV 95]

Spalte 5: A/V-Verhältnis [Einheit 1/Meter]

Spalte 6: Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient der Gebäudehülle

[Einheit Watt pro Quadratmeter und Kelvin]

k_m ist für diejenigen Gebäude bzw. Quartiere angegeben, deren Wärmeschutznachweis nach WSV 82/84 geführt wurde

Spalte 7: Wärmedurchgangskoeffizient der Fenster (einschließlich Rahmen)

6 Wärmeverbrauch für Warmwasserbereitung

Eine Kenngröße von allgemeinem Interesse ist der Anteil des Wärmeverbrauchs moderner Mietwohnungen, der für Warmwasserbereitung anfällt. In der Heizkostenverordnung (Fassung von 1989) ist für den Brennstoffverbrauch der zentralen Warmwasserversorgungsanlage ein Anteil von 18 % der insgesamt verbrauchten Brennstoffe festgelegt, der dann anzusetzen ist, wenn das Volumen des verbrauchten Warmwassers nicht gemessen werden kann. Mit den Daten der Modellvorhaben lässt sich überprüfen, wie weit der Ansatz von 18 % noch zeitgemäß ist.

In der letzten Spalte von Tab. 3 sind die Werte angegeben, die mit dem Ansatz aus der Heizkostenverordnung zu vergleichen sind. (Anstelle des Verhältnisses der Brennstoffverbräuche haben wir das der Wärmeverbräuche bestimmt, da sich nach Eliminieren der vorgelagerten Haus- und Energietechnik klarere Aussagen ergeben.)

	Jahresheizwärmeverbrauch (Mittelwert):* Unterschreitung des nach WSV 95 zulässigen Maximalwerts in %	Wärmeverbrauch für Warmwasserbereitung, dividiert durch Heizwärmeverbrauch (Mittelwert)	Wärmeverbrauch für Warmwasserbereitung, dividiert durch Wärmeverbrauch insgesamt*** (Mittelw.)
Elsenfeld	36	1,0	0,49
Erlenbach	55	1,3	0,56
Erlangen	35	0,6	0,37
Ingolstadt P.	43	0,8	0,45
Ingolstadt B.	33	0,7	0,42
München BH	20	0,6	0,38
München RH	43	1,1	0,53
Nürnberg	6**	0,6	0,39
Regensburg	28	1,1	0,51
Schwabach	24	0,6	0,37
Schweinfurt	23	0,4	0,29
Sulzbach-R.	38	0,8	0,46

* mit Jahresheizwärmeverbrauch ist der GTZ-bereinigte Wert gemeint

** A/V-Verhältnis und damit Maximalwert sind unsicher (übernommen von München, BH)

*** "insgesamt" = Heizwärmeverbrauch plus Wärmeverbrauch für Trinkwassererwärmung in der betreffenden Abrechnungsperiode

Tab. 3: Wärmeverbrauch für Warmwasserbereitung in Relation zum Niedrigenergiehausstandard (Mittel der Werte für die einzelnen Abrechnungsperioden)

Die vorletzte Spalte von Tab. 3 zeigt das Verhältnis der Wärmeverbräuche für Warmwasserbereitung und Raumheizung, die erste Spalte die Unterschreitung des nach Wärmeschutzverordnung 1995 zulässigen Maximalwerts (als Maß für den Niedrigenergiehausstandard).

Der Anteil für Warmwasserbereitung (letzte Spalte) schwankt zwischen 29 % und 56 %; der Mittelwert liegt bei 43 % (geometrisches Mittel). Der Wert von 18 % als generelle Vorgabe der Heizkostenverordnung ist überholt: Je besser der Wärmeschutz der Gebäude, desto höher ist der Anteil der Warmwasserbereitung am Wärmeverbrauch. Allerdings wird die Korrelation zwischen diesem Anteil und dem Niedrigenergiehausstandard, die sich z.B. in Erlenbach und im Münchner Roten Haus zeigt, durch das Nutzerverhalten überlagert. Der niedrige Wert für den Anteil der Warmwasserbereitung in Schweinfurt ist auf den niedrigen Absolutwert des Warmwasserverbrauchs zurückzuführen. In anderen Quartieren, wie z.B. denen in Elsenfeld, Erlenbach und Regensburg, ist der auf die einzelne Wohnung oder die Wohnfläche bezogene Warmwasserverbrauch rund doppelt so hoch wie in Schweinfurt.

In einigen Gebäuden übersteigt der jährliche Wärmeverbrauch für Warmwasser den für Raumheizung, so in Erlenbach, im Roten Haus in Perlach und in Regensburg; in Elsenfeld sind beide von gleicher Größe, s. zweite Spalte von Tab. 3.

7 Zusammenfassung

Die Hälfte der Häuser bzw. Quartiere, die im Rahmen des Sonderprogramms „Mietwohnungen in Holzsystembauweise“ der Obersten Baubehörde entstanden, wurden hier auf ihre ökologischen Qualitäten hin untersucht. (Aus Kostengründen traf die Oberste Baubehörde eine repräsentative Auswahl.) Das Sonderprogramm „Holzhäuser in amerikanischer Bauweise“ wurde vollständig in die Untersuchung einbezogen.

Die Rolle von Holz und Holzprodukten in Ökobilanzen wurde nur gestreift, weil es bisher nicht gelungen ist, die Umweltleistungen des Waldes numerisch aufzuarbeiten, abgesehen von der CO₂-Speicherung. Festzuhalten ist aber, dass Holzprodukte in Hochbaukonstruktionen im Vergleich zu anderen Baumaterialien ökologisch vorteilhaft sind, s. Anhang. Gründe sind der geringe Verbrauch an fossilen Energieträgern, der geringe Beitrag zum Treibhauseffekt und das geringe Abfallvolumen.

Der Energieaufwand zur Herstellung der betrachteten Gebäude ist deutlich kleiner als die zu ihrem Betrieb während einer Dauer von 50 Jahren erforderliche Energiemenge, nicht gerechnet den Verbrauch an Haushaltsstrom. (Wenn aus Bilanzgründen eine Spanne von 50 Jahren genannt ist, dann ist damit nicht die Lebensdauer der Gebäude gemeint. Diese ist vermutlich gut doppelt so lang.) Deshalb spielt in der ökologischen Bewertung der Heizenergieverbrauch eine dominante Rolle. Dieser, in der üblichen Kennzahl ausgedrückt, kann zur Charakterisierung der Gebäude und zum Vergleich mit anderen Konstruktionsarten dienen.

Aussagen zu den Heizenergieverbräuchen sind Tab. 1 und Tab. 2 zu entnehmen. In Tab. 1 ist die Art der Wärmeerzeugung angegeben: Acht Quartiere sind mit Nah- bzw. Fernwärme versorgt. Sechs davon erhalten Wärme aus Kraftwärmekopplung, eines von diesen sechs aus der Müllverbrennung und das siebte aus den Konvertern der Maxhütte. Das neunte Quartier wird aus einem Brennwärtekessel beheizt, und nur drei Quartiere haben konventionelle Erdgasheizungen, bei denen jedes der Häuser mit einem Niedertemperaturkessel ausgestattet ist.

Die Nah- und Fernwärmenetze werden zwar heute überwiegend auf Erdgasbasis betrieben, bieten aber den Vorteil, dass die angeschlossenen Häuser in Zukunft effizient aus anderen Energiequellen versorgt werden können, effizienter als wenn jedes Haus einzeln umzustellen wäre. Von besonderem ökologischen Nutzen ist wegen des hohen Primärenergienutzungsgrads die Kraftwärmekopplung, die in drei der genannten Fälle auf einem siedlungsnahen Blockheizkraftwerk beruht.

Zur Bestimmung der Jahresheizwärmeverbräuche musste in jedem Einzelfall die vorgelagerte Haus- und Energietechnik analysiert werden, um gegebenenfalls Wärmeverluste des Wärmenetzes und langer Zirkulationsleitungen berücksichtigen zu können. Alle Heizwärmeverbräuche wurden auf das Standardklima der gültigen Wärmeschutzverordnung bezogen.

Tab. 2 und die Diskussion der Ergebnisse in Abschnitt 5 zeigen, dass mit einer Ausnahme Niedrigenergiehäuser entstanden sind, obwohl die genannten Sonderprogramme nicht darauf angelegt waren. Fünf der zwölf betrachteten Modellvorhaben sind noch zu Zeiten der früheren Wärmeschutzverordnung von 1982/84 geplant worden, die um rund 30 % schwächere Anforderungen stellte als die heute gültige. (Die fünf Vorhaben sind diejenigen, die in Tab. 2, Spalte 6 einen Eintrag aufweisen.)

Fazit: Die Holzbauweise, mit der niedrige Baukosten angestrebt wurden, führte „wie nebenbei“ auf Niedrigenergiehäuser, die mit sehr moderaten Wandstärken auskommen. (Beispiel: Die Häuser in Erlenbach haben eine Wandstärke von 21 cm.) Häuser anderer Konstruktionsarten benötigen bei inzwischen vergleichbaren Kosten und vergleichbarem Energieverhalten deutlich größere Wandstärken.

In drei Quartieren, nämlich in Erlenbach, im Roten Haus in München-Altperlach und in Regensburg, übersteigt der jährliche Wärmeverbrauch für Warmwasser den für Raumheizung; in Eisenfeld sind beide von gleicher Größe, s. Tab. 3. Dieser Sachverhalt ist ein Indiz für einen Trend: Der Heizwärmebedarf von Wohngebäuden sinkt mit jeder Entwicklungsstufe der Baukonstruktionen; der Wärmebedarf für Warmwasserbereitung verbleibt und überwiegt heute schon in manchen Niedrigenergiehäusern.

Den Wohnungsbaugesellschaften sowie den Architekten und Ingenieuren, die uns bereitwillig und interessiert mit Daten und Auskünften halfen, danken wir sehr herzlich. Dies gilt in besonderem Maß für Rainer Demmer, GW Franken. Ebenso herzlich danken wir den Vertretern der Obersten Baubehörde, Rolf Hö-

fer, Gunter Maurer und Karin Sandeck, die uns zum Entree bei den Wohnungsgesellschaften verhalfen und mit uns die Ergebnisse diskutierten.

8 Literatur

E. Dittmann et al., Dittmann+Dittmann, G. Maurer et al., Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern (Hrsg.), Wohnungen in Holzbauweise. Wohnmodelle Bayern Band 2 (Beispiele des Sozialen Wohnungsbaus. Neue Wege zum kostengünstigen Bauen), Stuttgart und Zürich, 1997

K. Richter und H. Gugerli, Holz- und Holzprodukte in vergleichenden Ökobilanzen, Holz als Roh- und Werkstoff 54 (1966) 225-231, Springer Verlag

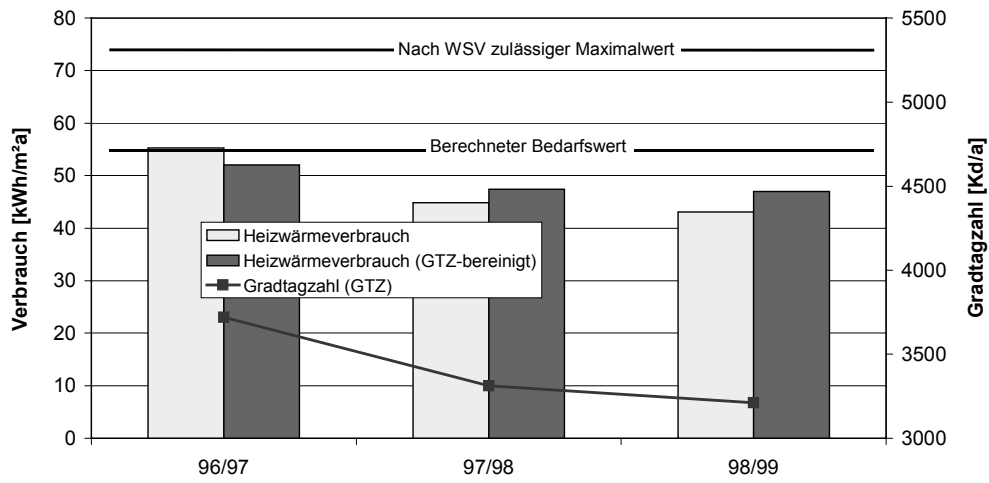
H. Gugerli et al., Intep AG, und P. Steiger, Zürich, Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten, SIA-Dokumentation D 0123, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (SIA), Zürich, 1995

9 Abbildungen (Histogramme)

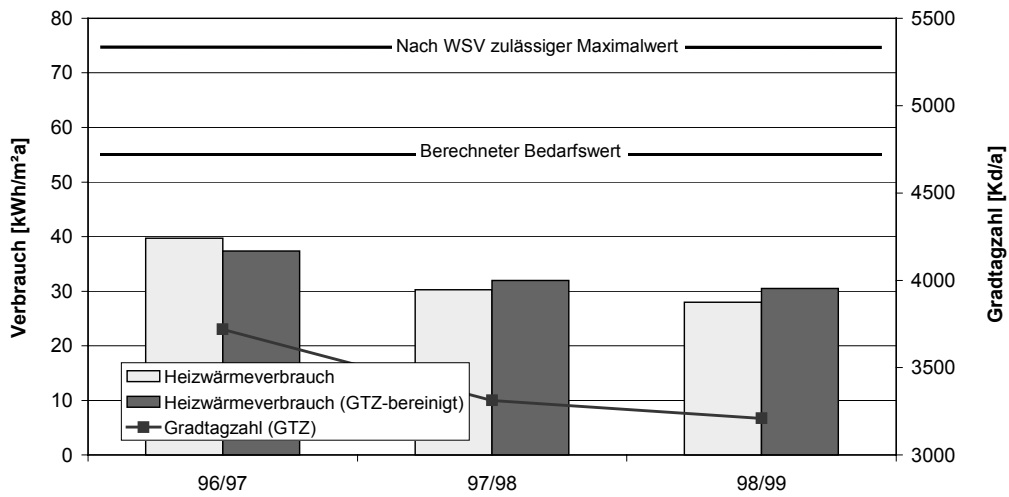
Die Histogramme zeigen gemessene und Gradtag-bereinigte Heizwärmeverbräuche für die jeweiligen Abrechnungsperioden, ferner die Gradtagzahlen der betreffenden Standorte, die nach gültiger Wärmeschutzverordnung zulässigen Maximalwerte des Jahresheizwärmebedarfs und, soweit verfügbar, die vorausgerechneten Bedarfswerte.

Die Erläuterung findet sich in Abschnitt 5.

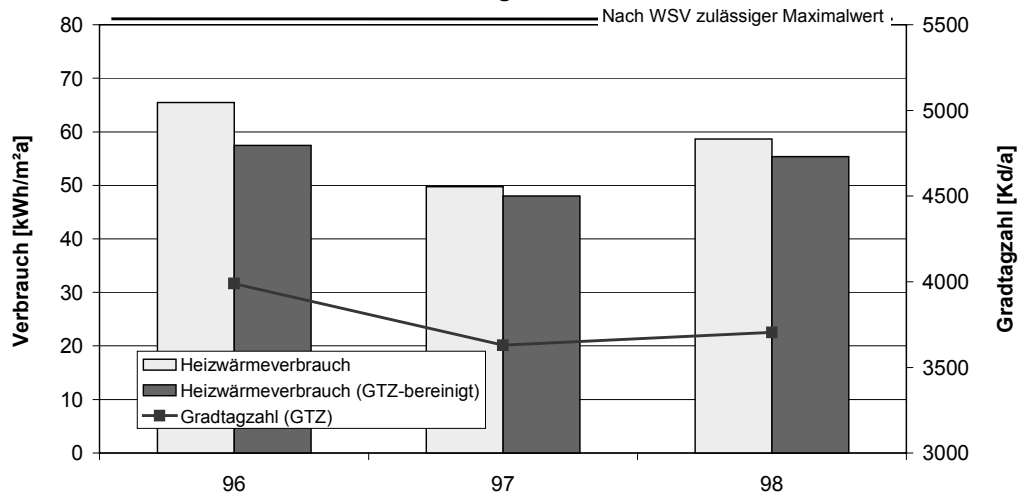
Gemessene Wärmeverbräuche für Raumheizung Eisenfeld



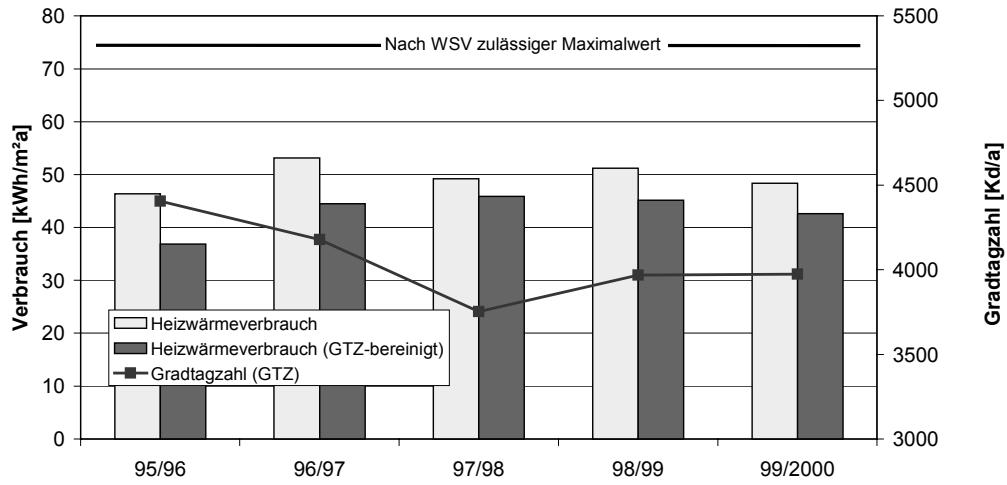
Gemessene Wärmeverbräuche für Raumheizung Erlenbach



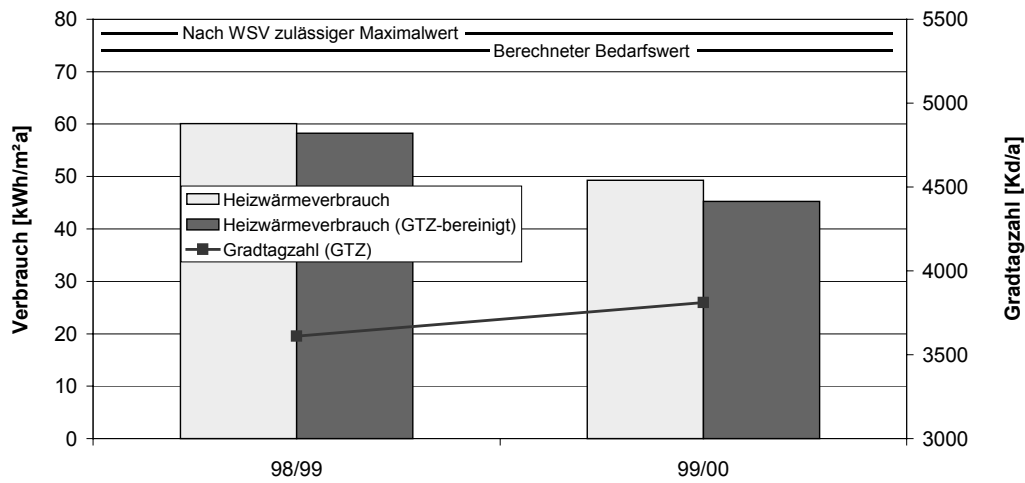
Gemessene Wärmeverbräuche für Raumheizung Erlangen



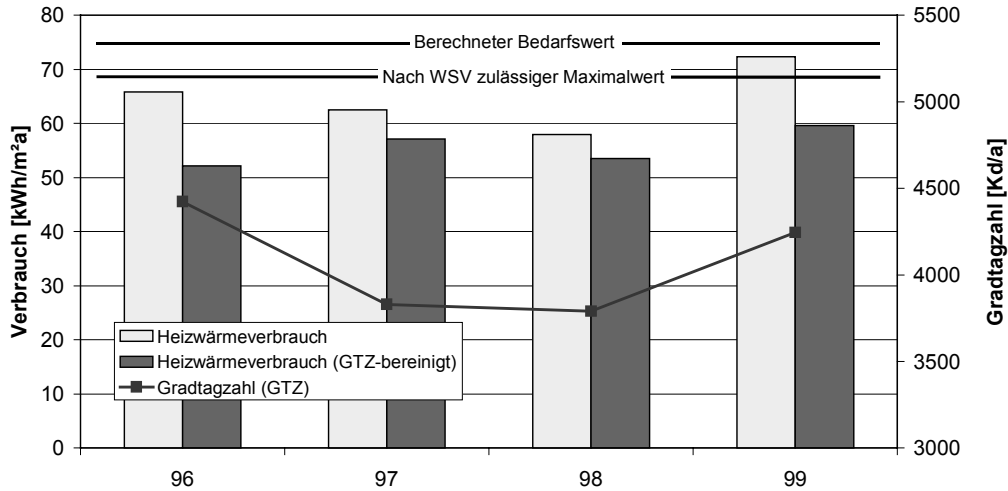
**Gemessene Wärmeverbräuche für Raumheizung
Ingolstadt Permoserstraße**



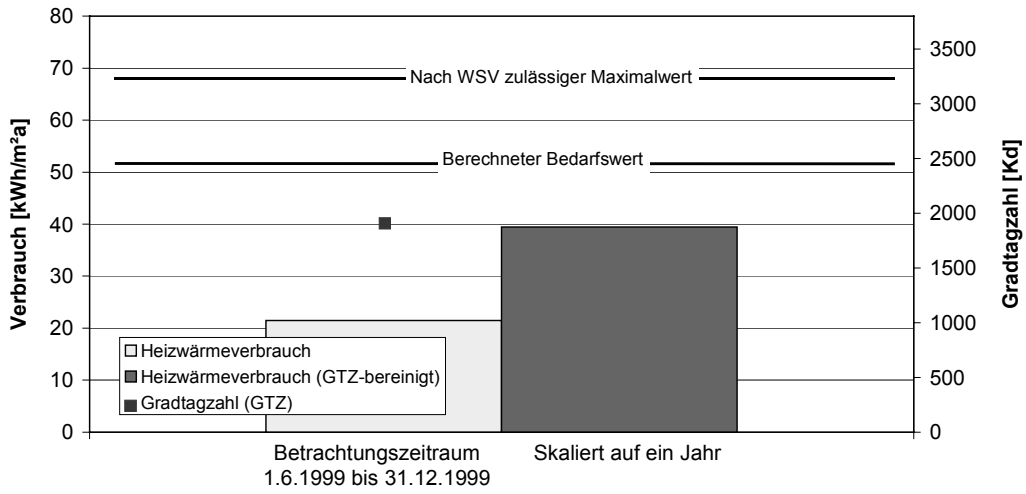
**Gemessene Wärmeverbräuche für Raumheizung
Ingolstadt Buxheimer Weg**



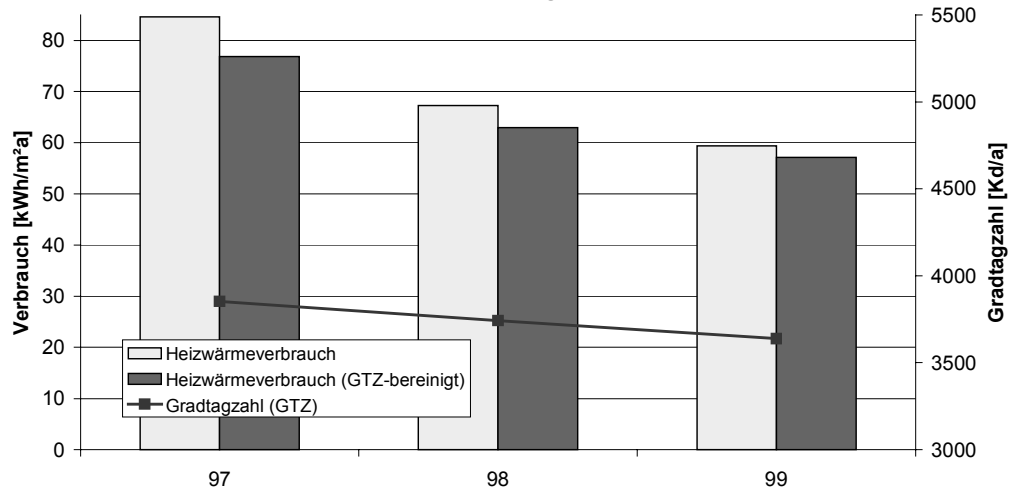
**Gemessene Wärmeverbräuche für Raumheizung
München-Perlach Blaues Haus**



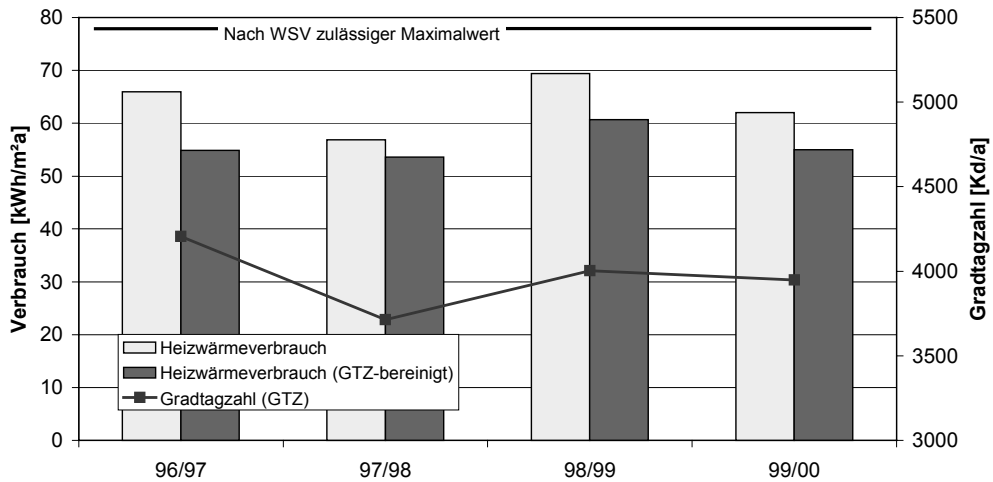
**Gemessene Wärmeverbräuche für Raumheizung
München-Perlach Rotes Haus**



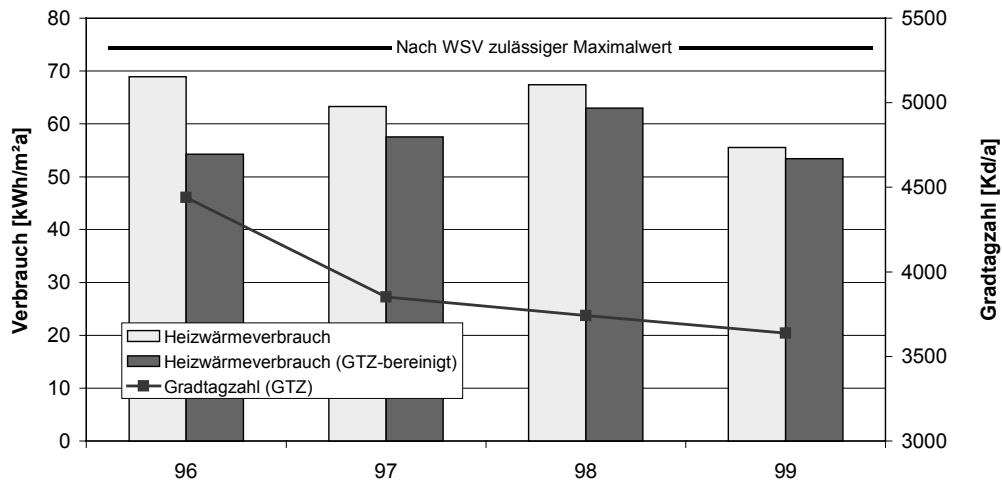
**Gemessene Wärmeverbräuche für Raumheizung
Nürnberg**



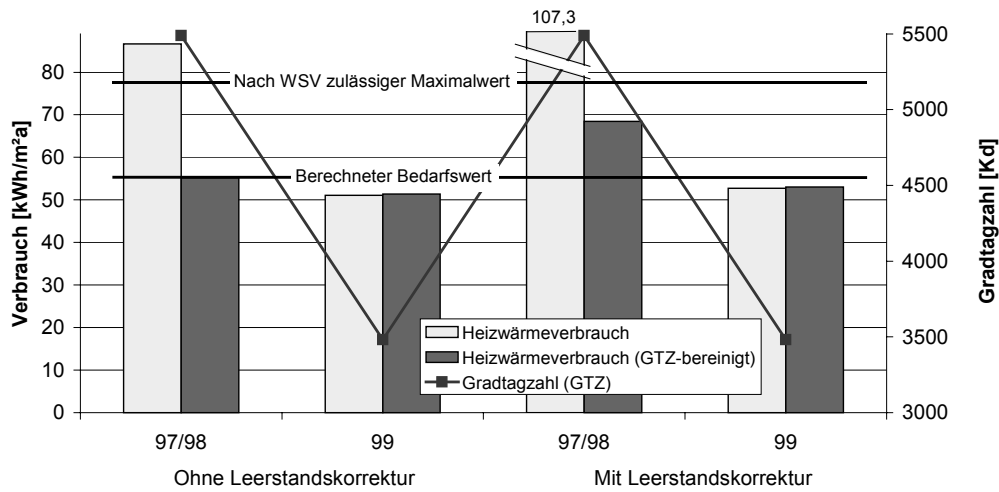
**Gemessene Wärmeverbräuche für Raumheizung
Regensburg**



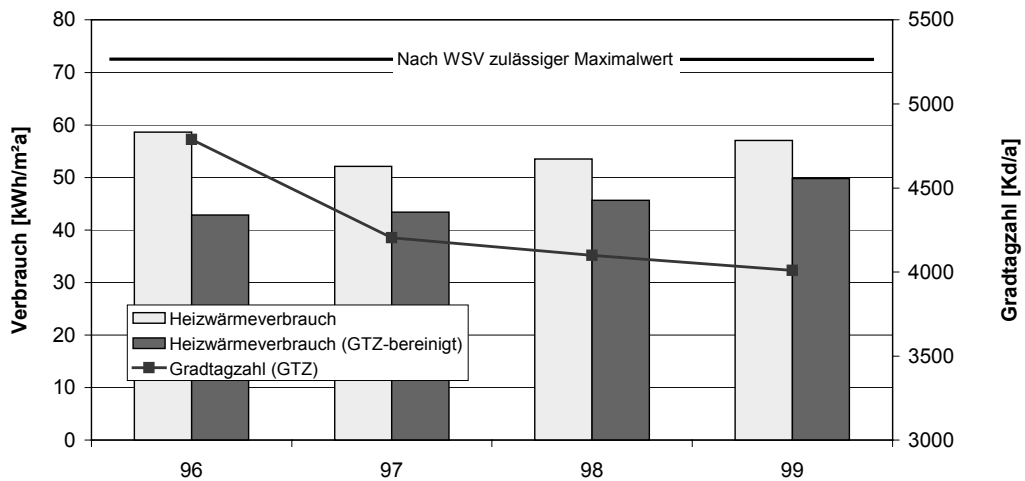
Gemessene Wärmeverbräuche für Raumheizung Schwabach



Gemessene Wärmeverbräuche für Raumheizung Schweinfurt



Gemessene Wärmeverbräuche für Raumheizung Sulzbach-Rosenberg



Anhang: Hochbaukonstruktionen im Vergleich:
Primärenergieinhalt und Treibhauseffekt

In vergleichenden Ökobilanzen haben die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt in Dübendorf, und die INTEP AG, Zürich, Holzkonstruktionen anderen Hochbaukonstruktionen gegenübergestellt [Richter, Gugerli 1996]. Die Untersuchung stützt sich auf die Dokumentation D 0123, Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten, der INTEP AG und des Architekturbüros Peter Steiger, Zürich, herausgegeben vom Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Verein [SIA 1995]. Mit Hilfe einer Wirkungsbilanz werden einzelne Umweltauswirkungen bewertet, teils quantitativ in Form sogenannter Indexwerte, teils qualitativ mit Hilfe von Profil-Informationen.

Die Indexzahlen geben CO₂- und SO₂-Emissionsäquivalente an als Maß für Beiträge zum Treibhauseffekt bzw. zur Versauerung. Sie beziehen sich auf die erste Phase des Lebenszyklus, i.e. auf die Phase „bis zum Fabrikator“. Emissionen bei Baustellentransporten und Verarbeitung auf der Baustelle (B) werden im Profil bewertet, desgleichen ökologisch und toxikologisch relevante Bestandteile (R) sowie Instandhaltung/Erneuerung/Ersatz während der Nutzung des Gebäudes (N) und späterer Rückbau samt Entsorgung (E). Da die Nutzungszeiten der einzelnen Bestandteile einer Konstruktion für die Bewertung der Umwelteinflüsse von Bedeutung sind, werden die CO₂- und SO₂-Äquivalente in Einheiten g/m²a angegeben; die Nutzungszeiten sind Publikationen des Schweizerischen Amtes für Bundesbauten entnommen (z.B. 80 Jahre für die Tragstruktur von Gebäuden, 30-40 Jahre für Bretter und Latten, 30 Jahre für Glaswolle und Gipskartonplatten).

Aus vier Bauteilkategorien, nämlich Decken/Böden, Flachdächer, Außenwände über Terrain und Trennwände, sind in der nachfolgenden Tabelle die Indexwerte und die Profile typischer Konstruktionen angegeben. Zusätzlich sind der Primärenergieinhalt, unterschieden nach nicht erneuerbaren und erneuerbaren Energieträgern, und der nutzbare Anteil der erneuerbaren Energien aufgeführt.

Table 2. Index-Werte, Profil-Information und Primärenergieinhalt (PEI) als Zusatzinformation für Hochbaukonstruktionen (nach SIA, 1995)

Konstruktion	Bauteil Nr.	Index		Profil				Zusatzinformation PEI MJ/m ²	
		CO ₂ eq g/m ² a	SO ₂ eq g/m ² a	B	R	N	E	nicht erneuerbar	erneuerbar (nutzbar)
Decken/Böden									
Beton	E0.09	1608	6.26	0	+	-	+	791	27 (-)
Holzbalken	E0.12	816	4.61	0	+	+	0	490	1079 (660)
Holzbalken Betonverbund	E0.13	821	4.86	-	+	-	0	553	499 (310)
Holz-Kastenelemente	E0.14	853	3.78	-	+	+	+	691	2397 (1000)
Flachdächer									
Beton Umkehrdach	E1.15	1530	8.17	+	-	+	+	1461	25 (-)
Beton Bitumen	E1.18	2171	9.73	0	+	0	0	1540	37 (-)
Holzbalken Bitumen	E1.21	1059	6.61	0	0	0	0	982	921 (430)
Holzbalken PVC	E1.23	1266	6.86	0	-	0	0	731	964 (466)
Außenwände über Terrain									
Backstein Faserzement	E4.38	1471	6.29	0	+	+	+	967	134 (-)
Kalksandstein zweischalig	E4.40	841	2.89	-	+	0	+	741	37 (-)
Porenbeton	E4.46	940	3.18	+	+	+	+	595	15 (-)
Holzständer Holzverkleidung	E4.47	574	3.10	0	+	0	+	493	1343 (650)
Holzständer Faserzement	E4.48	719	3.46	0	0	+	0	515	819 (526)
Trennwände									
Vollgips	M1.60	653	4.23	+	+	+	+	422	7 (-)
Holzständer Gipskarton	M1.61	487	2.60	+	+	+	-	261	194 (64)
Metallständer Gipskarton	M1.62	694	3.84	+	+	+	-	403	99 (-)
Metallständer Vollgipsplatten	M1.63	631	3.60	+	+	+	+	392	10 (-)
Backstein verputzt	M1.65	872	3.30	0	+	+	+	352	9 (-)

Index: CO₂eq. = Treibhauseffekt, SO₂eq. = Versauerung

Profil: B = Bauprozess, R = Relevante Bestandteile; N = Nutzung, E = Entsorgung; + = günstig, 0 = Mittel; - = ungünstig

Tabelle aus [Richter, Gugerli 1996]

Je nach Produktionsstandort, Herstellungstechnik und Transportaufwand variieren die genannten Umweltparameter. Der Schwankungsbereich beträgt etwa $\pm 30\%$.

Die Einheit für den Primärenergieinhalt ist Megajoule pro m² [MJ/m²],
1 MJ = 3,6⁻¹ kWh.

Hinsichtlich des CO₂-Emissionsäquivalents wird Holz als CO₂-neutraler Rohstoff behandelt. Die für Holzprodukte angegebenen CO₂-Äquivalente stammen von der Holzernte, vom Transport bis zur Fabrik und vom Herstellungsprozess.

Aufgrund der Einbausituation wird bei den Holzbauteilen kein chemischer Holzschutz vorgesehen; der Aufwand für die Oberflächenbehandlung während der Nutzungsphase wird im Profil berücksichtigt.

Folgerungen

Holzkonstruktionen schneiden bei der Index-Beurteilung positiv ab, bei der qualitativen Profil-Beurteilung liegen sie eher im mittleren Bereich. Letzteres ist durch die mitverwendeten Stoffe und Produkte (im Kriterium „Relevante Bestandteile“) und durch die Zusammensetzung der ausgewählten Konstruktionen bedingt.

Die Angaben zum nicht erneuerbaren Primärenergieinhalt zeigen, dass Holzkonstruktionen vorteilhaft sind. Sie zeigen aber auch, dass die Anteile nicht erneuerbarer Primärenergie selbst bei Holzbauten nicht zu vernachlässigen sind.

Die Tabelle lässt sich als Anstoß verstehen, Holzkonstruktionen unter ökologischen Gesichtspunkten weiter zu optimieren.