



e% – Energieeffizienter Wohnungsbau

**Abschlussbericht
der wissenschaftlichen Begleitung des Modellvorhabens**

Die Abbildungen und die zugehörigen Bildrechte wurden von der wissenschaftlichen Begleitung sowie den am Projekt beteiligten Bauherren, Planern sowie dem Herausgeber zur Verfügung gestellt. Die Veröffentlichung gibt die Erkenntnisse, Einschätzungen und Empfehlungen der wissenschaftlichen Begleitung des Modellvorhabens wieder.

e% - Energieeffizienter Wohnungsbau

Abschlussbericht der wissenschaftlichen Begleitung des Modellvorhabens

Projektelevaluation der wissenschaftlichen Begleitung
des Modellvorhabens „e% - Energieeffizienter Wohnungsbau“
des Experimentellen Wohnungsbaus der Obersten Baubehörde

Technische Universität München

Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik, Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Gerhard Hausladen (bis 2013)
Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Bauen, Prof. Dipl.-Ing. Thomas Auer (ab 2014)

Hochschule Augsburg

Energieeffizienz Design E2D, Prof. Dipl.-Ing. Georg Sahner

Hochschule Coburg

Fakultät Soziale Arbeit und Gesundheit, Prof. Dr. Gabriele Franger-Huhle

Erarbeitet im Auftrag der Obersten Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr.



Legende

Orientierung



Wandaufbau



Porenbetonsteine



Hochdämmende Vollziegel



Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem



Ziegel mit vorgefertigter Holzelementfassade



Holzrahmenbau mit Dämmung

Kompaktheit A/Ve [m⁻¹]



hoch
≤ 0,4



mittel
< 0,4 ≤ 0,6



gering
> 0,6

Thermische Speichermasse C_{wirk} [Wh/m²K]



schwer
> 130



mittel
> 50 und ≤ 130



leicht
≤ 50

Luftdichtheit n50 [h⁻¹]



≤ 1,5



> 1,5 und ≤ 3



> 3

Energieerzeugung



Gaskessel



Pelletkessel



Fernwärme



Wärmepumpe (Erdsonden)



Wärmepumpe (Grundwasser)



Solarthermie



Photovoltaik

Wärmeübergabe



Radiator



Fußbodenheizung

Lüftungskonzept



Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung dezentral



Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung zentral



Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung



Abluftanlage

Vorwort	4
Einleitung	6
Grundlagen der wissenschaftlichen Begleitung	8
Projektevaluation Modernisierung	
Amberg	12
Augsburg	20
Projektevaluation Neubau	
Ansbach	28
Ingolstadt Bauteil 1	36
Ingolstadt Bauteil 2	44
Marktredwitz	50
München	56
Neu-Ulm	64
Projektübergreifender Vergleich	72
Fazit	96
Abbildungsverzeichnis	98
Literaturverzeichnis	99
Impressum	100



Joachim Herrmann

Bayerischer Staatsminister
des Innern, für Bau und Verkehr
Mitglied des bayerischen Landtags

Gerhard Eck

Staatssekretär
im Bayerischen Staatsministerium
des Innern, für Bau und Verkehr
Mitglied des bayerischen Landtags

Sehr geehrte Damen und Herren,

nicht erst seit den Beschlüssen der EU zum Klimaschutzpaket 2014 und des Weltklimaabkommens von Paris 2015 ist der sparsame Einsatz von fossilen Energien und die verstärkte Berücksichtigung erneuerbarer Energien ein stetig präsent Thema im Wohnungsbau.

Das im Jahr 2007 begonnene Modellvorhaben „e% - Energieeffizienter Wohnungsbau“ des Experimentellen Wohnungsbaus der Obersten Baubehörde hatte für alle teilnehmenden Projekte eine signifikante Unterschreitung der damaligen Vorgaben der Energieeinsparverordnung bei gleichzeitiger Einbindung von erneuerbaren Energien vorgegeben. Die von bayerischen Wohnungsunternehmen realisierten acht Projekte mit 333 Wohnungen haben diese Anforderung deutlich erfüllt. Sie wurden dabei stets beraten, begleitet und überprüft durch von der Obersten Baubehörde beauftragte Experten aus Wissenschaft und Lehre. Die Modellvorhaben haben aber nicht nur im energetischen Bereich eine Vorbildfunktion, sondern zeigen durch ihre mehrfach national und international ausgezeichnete Architekturqualität, dass energieeffizientes Bauen auch Baukultur erzeugen kann.

Trotz der erhöhten energetischen Anforderungen ist von der Obersten Baubehörde von der Auslobung bis zur Realisierung auf die Wirtschaftlichkeit der Wohnanlagen ein besonderes Augenmerk gelegt worden. Die wissenschaftliche Begleitung hat diesen Aspekt einer besonderen Bewertung unterzogen. Nahezu alle Wohnungen sind unter Einhaltung der Kostenobergrenze der bayerischen Wohnraumförderung entstanden - oder liegen weit darunter. Und der minimierte Energieverbrauch macht sich bei den Bewohnerinnen und Bewohnern in den geringeren Wohnnebenkosten bemerkbar.

Nach Fertigstellung der acht Projekte des Modellvorhabens und einer mehrjährigen Phase des energetischen und soziologischen Monitorings können nun die Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung vorgelegt werden. Sie sollen den am Planungs- und Bauprozess Beteiligten positive Beispiele energieeffizienter und nachhaltiger Strategien für vergleichbare neue und bestehende Wohnungsbauten an die Hand geben und aufzeigen:

Bezahlbare Energieeffizienz ist machbar!



Abb. 1: Übersicht aller e%-Projekte

e% - Energieeffizienter Wohnungsbau

Wissenschaftliche Begleitung des Modellvorhabens

Die Energiewende in Deutschland und die Umsetzung der energetischen Ziele der Europäischen Union haben spätestens seit der letzten Dekade Veränderungen bewirkt, wieviel Energie Gebäude verbrauchen und aus welchen Ressourcen sie Energie beziehen.

Die Anforderungen an den energetischen Standard von Wohngebäuden stiegen seit Ende der neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts stetig an, zuletzt durch u.a. die Absenkung des Primärenergiebedarfs bei Wohngebäuden mit der Energieeinsparverordnung (EnEV) zum 1. Januar 2016 – mit Auswirkungen auf die Art zu bauen, auf den Technikanteil und auf die Architektur von Wohngebäuden sowie gerade im Segment des kostengünstigen Wohnungsbaus auf eine schwerer zu erreichende Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen.

Der Experimentelle Wohnungsbau der Obersten Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr initiierte bereits im Jahr 2007 Pilotprojekte des öffentlich geförderten Geschoßwohnungsbaus, die nach zeitgemäßen und kostenoptimierten Lösungen für energieeffizientes Bauen und Modernisieren mit hohem architektonischem und städtebaulichem Anspruch und dem Einsatz erneuerbarer Energien suchten. Um

das Erreichen dieser Ziele praktisch wie wissenschaftlich zu unterstützen, beauftragte die Oberste Baubehörde ein externes Gremium – Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Hausladen und in Nachfolge Herrn Prof. Auer, Technische Universität München, Herrn Prof. Sahner, Hochschule Augsburg und Frau Prof. Dr. Franger-Huhle, Hochschule Coburg, die die Projekte von Beginn an hinsichtlich der technischen, planerischen und sozialen Belange begleiteten.

Acht der insgesamt neun Maßnahmen des Modellvorhabens „e% - Energieeffizienter Wohnungsbau“ waren zwischen 2012 und 2014 fertiggestellt und wurden einer mehrjährigen Phase des Monitorings unterzogen. Alle gebauten Pilotprojekte erreichten die Ziele des Modellvorhabens, insbesondere die Unterschreitung des zulässigen Primärenergiebedarfs als auch des zulässigen Transmissionswärmeverlustes des Neubaustandards der Energieeinsparverordnung 2009 um mindestens 40 %, die Umsetzung von ökologisch und wirtschaftlich sinnvollen Lösungen und der Schaffung von architektonisch ansprechendem gefördertem Wohnraum. Erneuerbare Energiequellen wie Holz, Sonnenenergie und Umweltwärme wurden in die Haustechnikkonzepte der Wohnanlagen eingeplant und ergänzen diese zuverlässig.

Die Zusammenarbeit von Architekten, Fachplanern, Wohnungsunternehmen und Bewilligungsstellen wurde vom Experimentellen Wohnungsbau betreut und die Projekte gemeinsam mit den Wissenschaftlern beraten, so dass die erreichte Qualität und Modellhaftigkeit der Projekte den „Wohnmodellen Bayern“ gerecht wurden. Dies bestätigen zahlreiche Fachpublikationen und bedeutende Auszeichnungen der realisierten Wohngebäude.

Der vorliegende Abschlussbericht der wissenschaftlichen Begleitung dokumentiert weit mehr als die drei durch den Experimentellen Wohnungsbau definierten Handlungsfelder Gebäudekonzept, Gebäudetechnik und Adaptivität. Die Hochschulen ergänzten so ihre im Jahr 2010 im Auftrag der Obersten Baubehörde erstellten Planungshinweise für den Geschosswohnungsbau um die in der Umsetzungspraxis gewonnenen Erfahrungen und Analysen. Viele Annahmen und Berechnungen der Planungsphase und der wissenschaftlichen Beratung bestätigen sich, einige neue Erkenntnisse können erstmals dokumentiert werden. Die Ergebnisse überzeugen trotz ihrer unterschiedlichen Erkenntnistiefe, da sie Antworten auf grundlegende fachliche Fragestellungen für eine Übertragbarkeit in zukünftigen Wohnbauprojekten geben. Die durchgeführten Mieterbefragungen und be-

gleitenden Kommunikationsprozesse während des Baus und nach dem Einzug in die Wohnungen dokumentieren den hohen Grad an Zufriedenheit der Mieterinnen und Mieter und die gute Bewohnbarkeit der Anlagen. Die eingesetzten technischen Komponenten unterstützen ein energieeffizientes Wohnen, dominieren aber nicht den Wohnalltag.

Wir hoffen, dass die erlangten Erkenntnisse der wissenschaftlichen Begleitung bei weiteren Wohnbauprojekten auch außerhalb eines Modellvorhabens ihre Anwendung finden und somit einen Beitrag zum energieeffizienten Wohnungsbau leisten werden. Dank gilt der hervorragenden Arbeit der Lehrstuhlinhaberin und Lehrstuhlinhaber und ihrer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, aber genauso den Wohnungsbaugesellschaften und den Planern und Planerinnen, die sich mit der Beteiligung am Modellvorhaben und der offenen Zusammenarbeit mit der wissenschaftlichen Beratung weit über das übliche Maß hinaus engagiert haben.

Experimenteller Wohnungsbau der Obersten Baubehörde
im Bayerischen Staatsministerium
des Innern, für Bau und Verkehr

München, im September 2017



Abb. 2: Cover der Veröffentlichung „e% - Energieeffizienter Wohnungsbau, Planungshinweise für den Geschößwohnungsbau“ (2010)

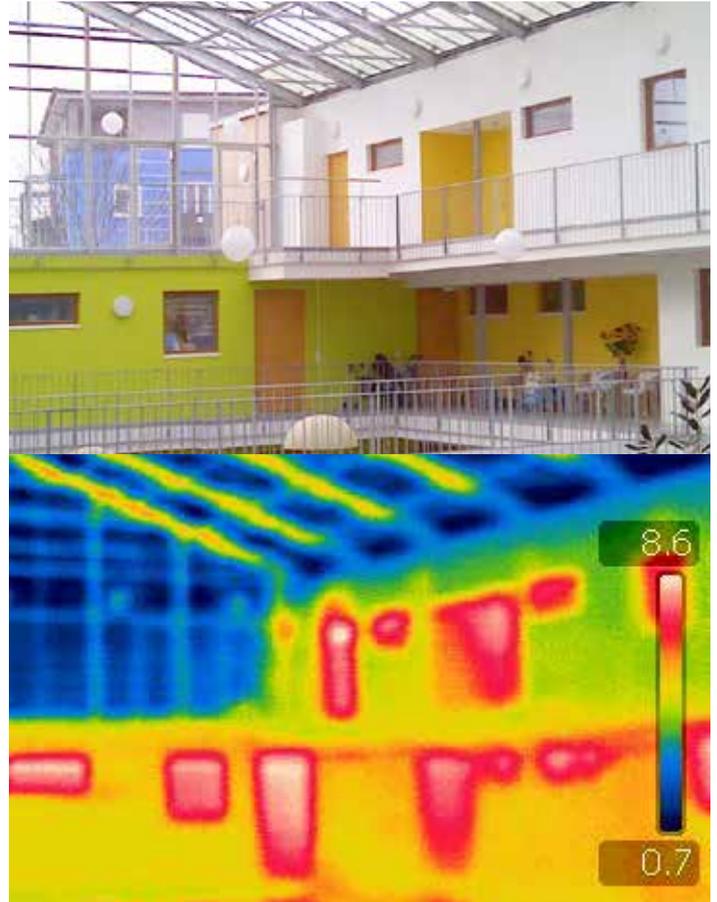


Abb. 3: Thermografieaufnahme als empfohlene Maßnahme der Qualitätssicherung, hier beispielhaft Ingolstadt Bauteil 2 dargestellt

Die anspruchsvollen Ziele des Modellvorhabens der Obersten Baubehörde waren die Unterschreitung des Primärenergiebedarfs sowie der Transmissionswärmeverluste der Energieeinsparverordnung um 40 %. Um diese optimal umzusetzen, wurde von der Obersten Baubehörde ein Expertengremium mit der wissenschaftlichen Begleitung beauftragt. Dieses setzte sich aus verschiedenen Fachrichtungen zusammen und war für folgende Schwerpunkte zuständig:

Hochschule Augsburg

Gebäudekonzept und Gebäudehülle

Technische Universität München

Gebäudetechnik und technische Adaptivität

Hochschule Coburg

Sozialwissenschaftliche Adaptivität

Somit gab es die Möglichkeit, von Beginn an eine unabhängige Beratung, Auswertung und Beurteilung der Projekte sicherzustellen. Aus dem Selbstverständnis des Projektes heraus konnten immer nur Empfehlungen gegeben werden, eine Verpflichtung zur Umsetzung von Vorschlägen oder Maßnahmen gab es für die Beteiligten nicht. Die wissenschaftliche Begleitung war in allen Bearbeitungsphasen beteiligt: So wurden schon in den Auslobungstexten zu den Wettbewerben Zielsetzungen mitformuliert und den Wohnbaugesellschaften konkrete Umsetzungsmaßnahmen vermittelt, beispielsweise einen Anschlusszwang an das bestehende Fernwärmenetz sinnvoll in die Planung zu integrieren. Bei den Wettbewerben war mindestens ein Experte der wissenschaftlichen Begleitung mit Stimmrecht einbezogen.

In der Planungsphase fanden auf Einladung der Obersten Baubehörde Beratungssitzungen mit den Planungsbeteiligten statt und den Wohnbaugesellschaften, Architekten und Fachplanern wurden sowohl energetische, konstruktive als auch nutzerfreundliche Optimierungsvorschläge unterbreitet. Zudem wurden Neuerungen diskutiert, Informationen zum Stand der Technik ausgetauscht und Vorgaben für die Messdatenerfassung besprochen. Im Juni 2010 ist daraus die Veröffentlichung „e% - Energieeffizienter Wohnungsbau. Planungshinweise für den Geschößwohnungsbau“ (s. Abb. 2) entstanden.

Als das Modellvorhaben startete, war die Energieeinsparverordnung EnEV 2007 gültig und wurde zwei Jahre später von der EnEV 2009 abgelöst. Im Zuge dessen hat man sich darauf



Abb. 4: Vor-Ort-Termin der wissenschaftlichen Begleitung auf der Baustelle in Marktrechwitz



Abb. 5: Vor-Ort-Termin der wissenschaftlichen Begleitung auf der Baustelle in München

geeignet, die definierten Unterschreitungen um 40 % auf die damals neue EnEV 2009 zu übertragen. Allerdings befanden sich zu diesem Zeitpunkt manche Projekte schon in einer fortgeschrittenen Planungsphase und der zu erbringende EnEV-Nachweis wurde noch auf Basis der EnEV 2007 berechnet. Dies betraf die Projekte Ingolstadt Bauteil 1 und 2 sowie Neu-Ulm. Deshalb wurde die wissenschaftliche Begleitung von der Obersten Baubehörde beauftragt, bei den entsprechenden Projekten eine Umrechnung auf die EnEV 2009 vorzunehmen. Neu-Ulm erreichte deshalb nach der Umrechnung bei den Transmissionswärmeverlusten nur noch eine Unterschreitung um 30 %.

Während der Baurealisierung nahm die wissenschaftliche Begleitung an jeweils zwei Vor-Ort-Terminen pro Projekt teil (s. Abb. 4 und 5). Die Wohnungsbaunternehmen wurden von der wissenschaftlichen Begleitung dazu ermutigt, zum frühest möglichen Zeitpunkt nach Fertigstellung der Luftdichtigkeitsebene einen ersten Luftdichtigkeitstest durchzuführen. Im Rahmen der Qualitätssicherung wurde die Luftdichtigkeit der Gebäude nach Einzug der ersten Bewohner und Bewohnerinnen noch einmal überprüft. Im Winter der ersten Heizperiode konnte zudem die Qualität der Bauteilanschlüsse mittels Thermografieaufnahmen kontrolliert werden.

Kurz vor Bezug der Wohnungen wurden in Abstimmung mit den Wohnungsunternehmen und der Obersten Baubehörde Informationsblätter für die Bewohnerinnen und Bewohner erstellt, die auf verständliche Weise durch Wort und Bild die installierte Haustechnik und den energiesparenden Umgang damit erklärten (s. Abb. 6 und 7).

Ab Beginn der Gebäudenutzung wurden die Verbrauchswerte der jeweiligen Anlagenkomponenten von den Wohnbaugesellschaften oder den beauftragten Ingenieurbüros aufgenommen und der wissenschaftlichen Begleitung übermittelt. Die erhobenen Daten stammen entweder aus einem durchgeführten Gebäudemonitoring oder einer manuellen Ablesung. Sie liefern die Grundlage für die Berechnungen des Verbrauchs, den Vergleich mit den Bedarfswerten und einen projektübergreifenden Vergleich. Sämtliche in diesem Schlussbericht genannten spezifischen Werte beziehen sich auf die Gebäudenutzfläche A_N , wie sie in der EnEV 2009 definiert ist.

Auf Grund von Bauverzögerungen konnten nicht von allen Projekten die Verbrauchsdaten von zwei ganzen Jahren eingeholt werden. Die Aufnahme der Verbrauchsdaten endete im Sommer 2014, nur einzelne Daten wurden nacherfasst.

Die Bewohnerbefragungen wurden entsprechend den jeweiligen Bauumständen, die sich aus dem Bezug der Häuser und den Energieabrechnungszeiträumen ergaben, durchgeführt. Für jedes Projekt wurde ein eigener konkreter Untersuchungs- und Zeitplan aufgestellt.

Das Untersuchungskonzept sah vor, dass in allen Wohnprojekten zwei bis drei Befragungen durchgeführt werden, damit sowohl die Erfahrungen mit einer bis zwei Heizperioden, als auch die Situation im Sommer erfasst werden konnte. Bei den Modernisierungsprojekten in Amberg und Augsburg fanden erste Befragungen schon vor dem Baubeginn statt, um Vorstellungen und mögliche Bedenken im Vorfeld zu erkennen und darauf eingehen zu können.

Durch Bauverzögerungen bzw. die Konzeptänderung von Modernisierung zu einem Ersatzneubau in Marktrechwitz konnte der Plan, in allen Projekten mindestens zwei Befragungen durchzuführen, nicht eingehalten werden. Dafür konnte in anderen Projekten eine dritte Befragung nach einer zweiten Heizperiode durchgeführt werden, die Erkenntnisse wie die Rückkopplung der Erfahrungen aus dem tatsächlichen Verbrauch sowie die Verarbeitung aus dem Feedback der mobilen Messdatenerfassung brachte.

STEWOG Markredwitz

Wohnanlage Franzensbader Straße 13 Hinweise für unsere Bewohnerinnen und Bewohner

Sehr geehrte Bewohnerinnen und Bewohner unserer Wohnanlage Franzensbader Straße 13! Wir heißen Sie herzlich willkommen!

Die Medien informieren uns ständig über steigende Energiepreise und die Auswirkungen unseres Energieverbrauches auf unser Klima. Dem sparsamen Umgang mit Energie kommt in unserem täglichen Leben in allen Bereichen eine immer wichtigere Bedeutung zu. In Ihrem modernen Wohngebäude ist es gelungen, durch eine intelligente Bauweise den Energieverbrauch und damit Ihre Heizkosten zu reduzieren und gleichzeitig behagliches und komfortables Wohnen zu ermöglichen. Hochwärmedämmende Ziegelwände und dreieichenverglaste Fenster sorgen dafür, die Wärmeverluste Ihres Hauses gering zu halten. Den restlichen Energiebedarf übernimmt die effiziente und klimaschonende Technik Ihrer Wohnanlage.

Im Folgenden möchten wir Ihnen die wesentlichen technischen Grundlagen und Informationen zum richtigen Umgang mit den Themen Lüften und Heizen vorstellen. Darüber hinaus haben wir Ihnen einige Tipps zum Energiesparen zusammengestellt. Denn ein sparsamer Umgang mit Energie spart Heizkosten und schont letztlich den eigenen Geldbeutel.

Ihre STEWOG



Stadtentwicklungs- und Wohnungsbau GmbH
Im Winkel 2, 98615 Markredwitz,
Tel.: 09231 50797-0,
Fax: 09231 50797-25
e-mail: info@stewog.de
Internet: www.stewog.de



Abb. 6: Beispielhaftes Mieterinformationsblatt aus Markredwitz (Seiten 1 und 2)

Wohnanlage Franzensbader Straße

STEWOG Markredwitz

Heizsystem

Wärmeerzeugung

Die Wärme für Heizung und Warmwasser wird hauptsächlich mit einer energieeffizienten Wärmepumpe erzeugt. Dabei handelt es sich um eine Erdreich-Wasser-Wärmepumpe mit drei 125 m tiefen Erdsonden. Diese nutzen die im Erdreich vorhandene Wärme für den Heizkreislauf und das Warmwasser.

Um in der extremen Winterzeit, wenn viel geheizt werden muss, immer genügend Energie zur Verfügung stellen zu können, ist zusätzlich ein Gasbrennwertkessel installiert. Im Bedarfsfall kann dieser Kessel den gesamten Wärmebedarf der Wohnanlage alleine abdecken.

Heizkörper

In Ihrer Wohnung gibt das Heizsystem über die Heizkörper Wärme an die Luft ab. Diese entfalten ihre volle Leistungsfähigkeit nur, wenn sie nicht mit Möbeln oder Vorhängen verdeckt werden. Dadurch können Sie Heizkosten sparen.



Heizkörper mit Thermostat

Lüftung

Thermostat

Mit dem Thermostatkopf am Heizkörper kann die Raumtemperatur geregelt werden. Die Einstellungen entsprechen ungefähr folgenden Temperaturen:

- * ca. 6°C Frostschutz
- 1 ca. 12°C
- 2 ca. 16°C Mindesttemperatur für niedrig beheizte Räume, wie Schlafzimmer
- 3 ca. 20°C Standardeinstellung – Empfehlung – im Winter für Wohnzimmer, Küche
- 4 ca. 22°C Badezimmer
- 5 ca. 24°C

Durch das Aufdrehen auf eine höhere Stufe wird nicht erreicht, dass sich die gewünschte Temperatur schneller einstellt. Da die Außenwand sehr gut gedämmt ist und somit auch auf der Innenseite eine höhere Temperatur aufweist, kann auch schon bei niedrigen Temperaturen ein behagliches Gefühl entstehen.

Mit jedem Grad einer niedrigeren Raumtemperatur können Sie ca. 8% Heizenergie sparen. Weitere Energieeinsparungen können Sie erreichen, wenn Sie die Türen zu niedrig beheizten Räumen schließen.

Lüftungsanlage

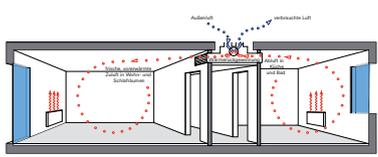
Alle Wohnungen sind mit einer Wohnraumlüftung ausgestattet, die Bestandteil des energetischen Gesamtkonzeptes ist und eine wichtige Komponente zum Energiesparen darstellt. Die Lüftungsanlage ist keine Klimaanlage, sie dient der Versorgung der Räume mit frischer Luft. Die Komfortlüftung ermöglicht eine ganzjährige und insbesondere in der kalten Jahreszeit zugfreie sowie durch die Wärmerückgewinnung energiesparende Frischluftversorgung. Diese wird über Auslässe in der Wand in die Wohnräume eingebracht, gleichzeitig wird die verbrauchte Luft aus Küchen und Bädern abgeführt.

Hinweise

Die Installation von Dunstabzugshauben ist nur im Umluftbetrieb zulässig. Solche mit Abluftbetrieb dürfen nicht installiert werden, weil dadurch die Lüftungsanlage in ihrer Funktion beeinträchtigt würde. Die Abluftöffnung in den Bädern ist wartungsfrei. Die Lamellen können Sie mit einem feuchten Tuch abwischen. Die Filter in der Küche säubern Sie bitte mindestens zweimal im Jahr mit einem feuchten Tuch. Hierzu ist die Abdeckung zu entfernen und anschließend wieder einzusetzen.



Zu- und Abluftöffnungen



Funktionschema zur Lüftungsanlage und Heizkörperheizung

Die erste Bewohnerbefragung sollte möglichst viele Haushalte an den einzelnen Projektstandorten erreichen. Alle Mieterinnen und Mieter wurden schon bei ihrem Einzug von den Wohnbaugesellschaften darüber informiert, dass eine wissenschaftliche Begleitung stattfindet. Die Mitteilungen über die Termine der Erstbefragung erfolgten über die Wohnbaugesellschaften durch Anschreiben oder Aushänge in den Häusern.

In einer Fragebogenerhebung mit offenen und geschlossenen Fragen, deren Beantwortung etwa 20 Minuten dauerte, wurden die Haushalte direkt angesprochen und beantworteten den Interviewerteams Fragen nach: Nutzungsgewohnheiten, Akzeptanz von Energiesparmaßnahmen, Rolle der Energiekosten, Bedeutung der Wohnqualität, Lebensstil, technisches Inte-

resse, Vorwissen und Verständnis, Bereitschaft zur Auseinandersetzung mit dem Energiekonsumverhalten, Energieverhaltensverhalten (Raumtemperatur, Gewohnheiten), Erwartungen an die Baumaßnahmen (bei Sanierung), Probleme mit dem Gebäudebestand (Zugerscheinungen, Heizkosten), Befürchtungen und Vorbehalte, Lernbereitschaft hinsichtlich des Einsatzes technischer Systeme, Informationsbedarf und sozialstrukturelle Daten.

Für die zweite und dritte Befragung erklärten sich in allen Projekten jeweils zwischen sechs und zehn Haushalte bereit, ausführliche leitfadengestützte Gespräche mit den Befragerteams in ihren Wohnungen durchzuführen. Häufig konnte mit mehreren Mitgliedern gesprochen werden, so dass auch unterschiedliche Empfindungen und Umgangsweisen männlicher und

weiblicher Haushaltsmitglieder erfasst werden konnten. Diese Befragungen fanden nach mindestens einer, in einigen Fällen auch nach zwei Heizperioden statt. Inhaltlich ging es dabei um die Handhabung von Heizung und Lüftung, Schwierigkeiten und Verbesserungsmöglichkeiten der eingesetzten technischen Systeme, Anwendung der Technik, Nutzerfreundlichkeit der eingesetzten Systeme, Wechselwirkung zwischen Technik und Bewohnerverhalten, Einflussfaktoren auf Technikakzeptanz, Einflussnahme der Bewohner auf technische Einrichtungen, Auswirkungen durchgeführter Maßnahmen auf Behaglichkeit, Komfort, Wohnzufriedenheit, Energieverbrauch, Kompetenzzuwachs der Bewohner bezüglich technischer Systeme und die Bewertung des Energieverbrauchs mit Bewohnerinnen und Bewohnern und Wohnungsbaugesellschaften.



Abb. 9: Süd-West-Seite mit Balkonen und Eingangsbereich

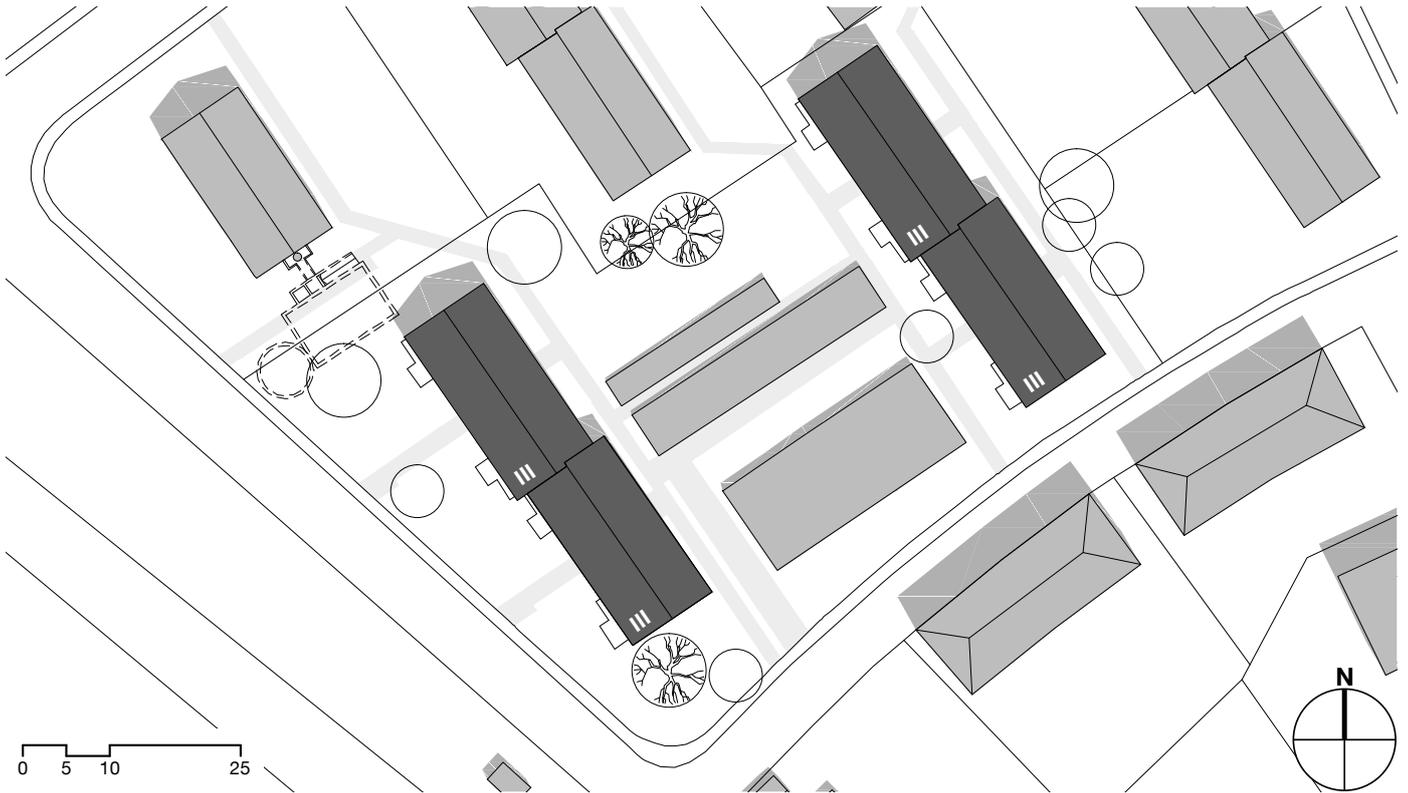


Abb. 10: Lageplan

Modernisierung

Standort

Eglseer Straße 66 + 68
Plechstraße 1 + 3
Amberg

Bauherr

Wohnungsunternehmen Amberg eG

Architekten

Walter Unterrainer
Atelier für Architektur, Feldkirch
Christian Eberhardt ev Architekten
GmbH, Kümmersbruck/Theuern
(Bauleitung)

HLS

Güttinger Ingenieure, Kempten
Eisenreich, Prikl & Weigl Planungsgesellschaft mbH, Amberg (Bauleitung)

Baujahr

1959/60

Sanierung

Juli 2010 -
März 2013

Wohneinheiten 24 Wohnungen

Nutzfläche A_N 2.375 m²

Konstruktion Bestand

Ziegelaußenwand verputzt
Holzfenster mit Zweischeibenverglasung
Betondecken + Bodenplatte

Konstruktion Sanierung

Ziegelaußenwand + Wärmedämmverbundsystem
Holzfenster + Holzkastenfenster mit Dreischiebenisolierverglasung + Zuluftkonzept
Oberste Geschossdecke mit Wärmedämmung
Bodenplatte + Flankendämmung der Kelleraußenwand + Dämmung der Kellerdecke

Haustechnik

Pelletkessel als zukünftiges Nahwärmenetz für das Quartier
Gaskessel als Redundanzsystem
Radiatoren
Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung zur Trinkwarmwasserbereitung

Primärenergiebedarf vor der Sanierung

356 kWh/m²a

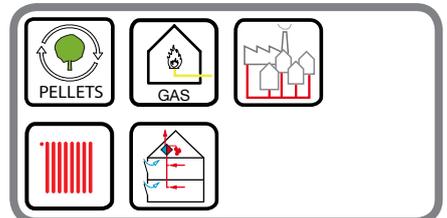
Transmissionswärmeverlust

0,26 **-47%**
W/(m²K) EnEV 2009



Primärenergiebedarf

27,7 **-55%**
kWh/m²a EnEV 2009



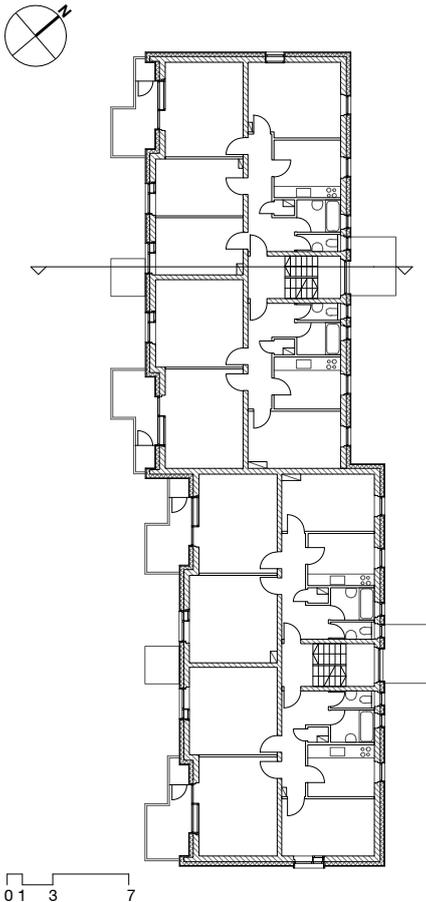


Abb. 11: Grundriss 1. OG nach Modernisierung

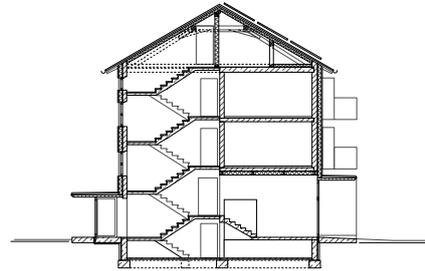


Abb. 12: Querschnitt nach Modernisierung



Abb. 13: Außenansicht vor Modernisierung

Das Modellprojekt in Amberg strebte eine sensible aber gleichzeitig umfassende Sanierung aller Komponenten eines Gebäudes an. Das Gebäude in der Eglseer Straße steht stellvertretend für eine Reihe baugleicher Bestandsgebäude dieser Siedlung. Es ist ein Beispiel einer Modernisierung der kleinen Eingriffe. Behutsam wurden neue Elemente wie z.B. Kastenfenster implementiert, ohne dabei den ursprünglichen Ausdruck des Gebäudes zu zerstören.

Vor der Sanierung gab es keine zentrale Heizungs- und Warmwasserversorgung, vielmehr wurden im Zuge von Teilrenovierungsmaßnahmen wohnungsweise dezentrale Gasthermen mit Warmwassernetzen aufgebaut. Alle nicht renovierten Wohnungen wurden mit unregelmäßigen Einzelraumheizungen aus dem Baubestand mit Erdgas, Heizöl, Kohle oder Holz versorgt.

Gebäudekonzept

Die Sanierung erfolgte in allen Bereichen. Mit kleinen sinnvollen Änderungen im Grundriss ließ sich eine neue Großzügigkeit erreichen. Aus WC und Bad entstand im Erdgeschoss ein rollstuhlgerechter Nassraum mit Dusche. Ein Abstellraum auf den Balkonen ersetzt die beengten Nischen im Flur, die Küche lässt sich zu einem offenen

Wohnmöbel umwandeln. Ein für die Bewohner angenehmer Aspekt ist die deutliche Vergrößerung der Balkone.

Ein aus energetischer Sicht nicht relevanter, aber im Rahmen der Modernisierung notwendiger Eingriff war die Schaffung einer barrierefreien Erschließung des Erdgeschosses und die barrierefreie Umgestaltung der Erdgeschosswohnungen. Nach Abbruch der Wohnungstrennwand der Erdgeschosswohnungen konnte ein Durchbruch zum rückwärtigen Grünraum erstellt werden. Dies gibt dem vorher beengten Treppenraum eine neue Großzügigkeit und eine sinnvolle fußläufige Verbindung. Der neue zweite Eingang wird von den Bewohnerinnen und Bewohnern geschätzt. Das Gebäudekonzept ist in sich schlüssig und greift als System gut ineinander. Die eher konventionelle Sanierung der Hülle in Form eines klassischen Wärmedämmverbundsystems wird um Kastenfenster ergänzt. Dies ermöglicht die passive Vorerwärmung der Zuluft. Gleichzeitig wird die Abluft zur Trinkwarmwasserbereitung herangezogen und auf ein träges Heizsystem verzichtet.

Solare Energiegewinne

Eine Besonderheit des Gebäudekonzepts in Amberg stellt die Nutzung der solaren Einträge über die Kasten-

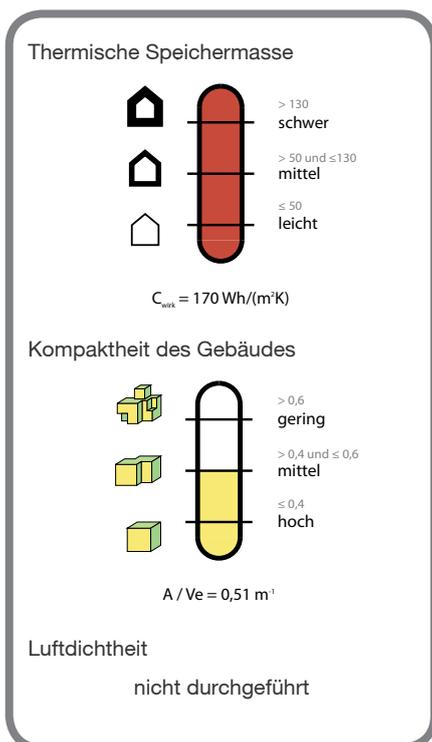


Abb. 14: energetisch relevante Eigenschaften nach Modernisierung

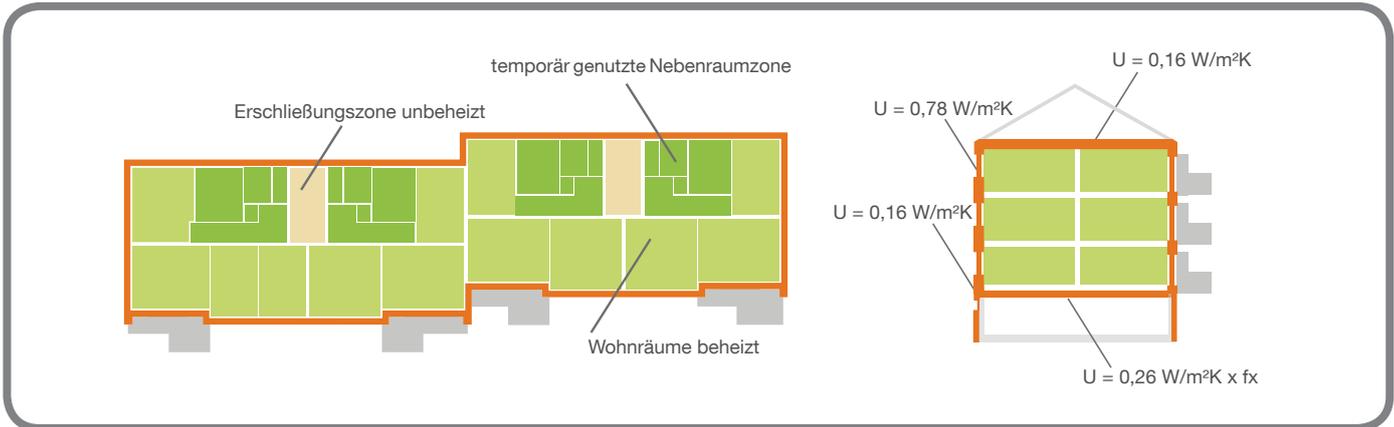


Abb. 15: Raumzonen und Klimagrenzen

fenster dar. In den Wohnräumen wurden die Brüstungen abgebrochen und gegen die bodentiefe Verglasung des Kastenfensters ersetzt. Diese Vergrößerung des Verglasungsanteils ist eine sinnvolle Reaktion auf eine stärkere bauliche Verschattung durch die vergrößerten Balkone.

Sommerlicher Wärmeschutz

Der Sonnenschutz ist wind- und wettergeschützt im Verglasungszwischenraum angebracht, allerdings nur an Fenstern, an denen keine bauliche Verschattung gegeben war. Die Wirksamkeit der auskragenden Balkone als alleinige Verschattung bei nicht perfekt südorientierten Fassaden ist kritisch zu bewerten, aus diesem Grund wurden Markisen an den Balkonen ergänzt.

Systemgrenze Gebäudehülle

Im Umgang mit der Systemgrenze wurde das Konzept der kleinen Eingriffe weitergeführt. Es gab bei diesem Bestandsgebäude kein Bestreben nach einer wärmebrückenfreien Konstruktion, das oberste Ziel stellte die Beherrschung der Wärmebrücken und damit die Bauschadensfreiheit dar. Hierbei ist zu beachten, dass diese Bauschadensfreiheit auch in Form von in Amberg durchgeführten, detaillierten Wärmebrückenberechnungen nachzuweisen war.

Im Umgang mit den Balkonen ist der Wille zu reduzierten Eingriffen gut ablesbar. Die bestehenden Balkone wurden nicht abgerissen sondern mit einer Stahlkonstruktion ergänzt, gedämmt, aufgewertet und mit einer neuen Nutzung versehen. Diese Herangehensweise stellte sich bei Anwendung der deutschen Normgebung als aufwändiger heraus als erwartet. Die im Entwurfsstadium geplante Holzkonstruktion musste durch einen Stahlbau ersetzt werden. Die Umsetzung dieser Anforderung erhöhte die zuvor niedriger geschätzten Baukosten.

Die Gebäudehülle wurde mit einem klassischen Wärmedämmverbundsystem von 200 mm energetisch aufgewertet. Da das äußere Fenster des Kastenfensters in der Fassadenebene weiter nach außen gerückt wird, kann der Eindruck äußerst tiefer Laibungen im Gegensatz zu konventionellen Sanierungsmaßnahmen mit Wärmedämmverbundsystemen vermieden werden.

Qualitätssicherung

Leider konnten weder Thermografieaufnahmen noch Luftdichtigkeitstests des Gebäudes im Rahmen der Nachuntersuchung erstellt werden. Gerade bei Gebäuden mit Wärmedämmverbundsystem zeigen Thermografieauf-

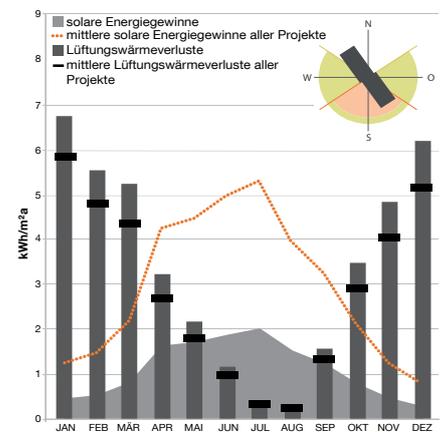


Abb. 16: Vergleich der solaren Energiegewinne mit den Lüftungswärmeverlusten



Abb. 17: Verbreiterung der Balkone



Abb. 18: Außenansicht des Wettbewerbsbeitrags



Abb. 19: Rollstuhlhebephöhne

nahmen Schwachstellen verhältnismäßig einfach und kostengünstig auf.

Barrierefreiheit

Die Barrierefreiheit war ein zentraler Aspekt der Modernisierung. Der vergrößerte Treppenraum bietet nun neben dem rollstuhlgerechten Hauszugang Platz für eine Rollstuhlhebephöhne. Diese ermöglicht die rollstuhlgerechte Erschließung der beiden Erdgeschoßwohnungen. Der aus Bad und WC zusammengelegte Nassraum und die vergrößerten Balkone stellen neben dem Aspekt der Barrierefreiheit nun auch einen Zugewinn der Wohnqualität dar.

Der Kleinaufzug (Hebebühnenprinzip) bringt jedoch nur für die Parteien im Erdgeschoss einen Mehrwert. Die Umlage der Wartungskosten auf alle Wohneinheiten stößt dementsprechend auf Kritik und führte zu Diskussionen unter den Mietern über die Zweckmäßigkeit der Maßnahmen. Die Abrechnung über die Nebenkosten für alle Parteien ist allerdings gemäß Betriebskostenverordnung zulässig.

Technikkonzept

Das umgesetzte Technikkonzept besteht aus mehreren Komponenten, die zusammen ein schlüssiges Gesamtkonzept ergeben. Die Wärmebe-

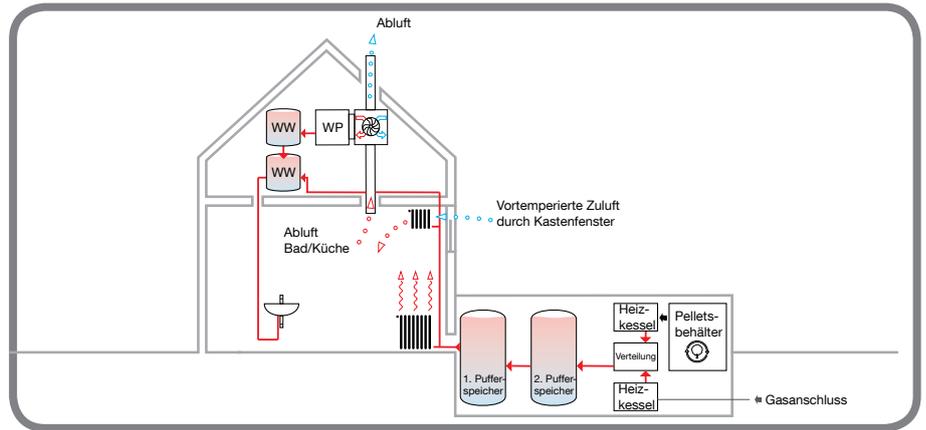


Abb. 20: Schematische Darstellung der Wärmeerzeugung, -speicherung und -übergabe sowie der Lüftungsanlage

reitstellung erfolgt nun über eine neu errichtete Heizzentrale, die primär mit nachwachsenden Rohstoffen in Form eines Pelletkessels erzeugt wird; als Redundanzsystem ist ein Gaskessel verbaut. Durch die neu verbaute mechanische Abluftanlage wird mittels Wärmerückgewinnung die Trinkwarmwasserbereitung verrichtet.

Die Photovoltaikanlage war nicht im ursprünglichen Konzept vorgesehen, die Dachflächen wurden von der Wohnbaugesellschaft für diese Nutzung verpachtet. Aus diesem Grund wird der Stromertrag der Anlage nicht in die Berechnungen mit aufgenommen.

Heizung

Im Zuge der Sanierung wurde ein neues zentrales Nahwärmenetz realisiert, das bisher die beiden Gebäude mit Wärme versorgt. Durch die Eingrabung der neuen Heizzentrale nördlich des Gebäudes Eglseerstraße 68 entstehen zweierlei Vorteile: sowohl die bestehenden Freiflächen als auch die Kellerräume der Bewohnerinnen und Bewohner bleiben erhalten. Die Heizzentrale wird von einem pelletsbestückten Biomassekessel mit einer Leistung von 100 kW versorgt und nutzt somit, wie vom Bauherren gewünscht, regenerative Energien. Als Redundanzsystem wurde für Notfälle

ein Gaskessel integriert, der dieselbe Leistung bereitstellt. Die erzeugte Wärme wird in zwei gleich große Pufferspeicher eingespeist, die jeweils eine Größe von 1.500 l aufweisen und von denen die Wärme an die vier Unterstationen der bisher angeschlossenen Wohnhäuser weitergeleitet wird.

Von Anfang an wurde die Heizzentrale für die Wärmeversorgung weiterer Gebäude der Wohnsiedlung dimensioniert und kann bei Bedarf jederzeit um einen weiteren Pelletkessel samt Pufferspeicher erweitert werden. Der Pelletbehälter hat ein Volumen von 40 m³ und musste in den letzten beiden Jahren nur zwei- bzw. dreimal pro Jahr nachgefüllt werden, womit Lieferkosten reduziert werden können.

In den Wohnungen wurden neue Flachheizkörper mit entsprechend kleinerer Dimensionierung verbaut, die mit einem Thermostatventil mit den Stufen 0 bis 5 leicht zu bedienen sind. In den Bädern gibt es zusätzliche Radiatoren, die als Handtuchheizkörper verwendet werden können und somit einen deutlichen Komfortgewinn mit sich bringen. Die Mieterinnen und Mieter formulieren, dass das Heizen im Gegensatz zur vorherigen Situation „stressfrei“ sei, bei gleichzeitiger Sicherheit, dass ökonomisch und ökologisch sinnvoll geheizt würde. Das Raumklima bewerteten sie sowohl bei abgestellten Heiz-



Abb. 21: Kastenfenster mit Rippenheizkörper

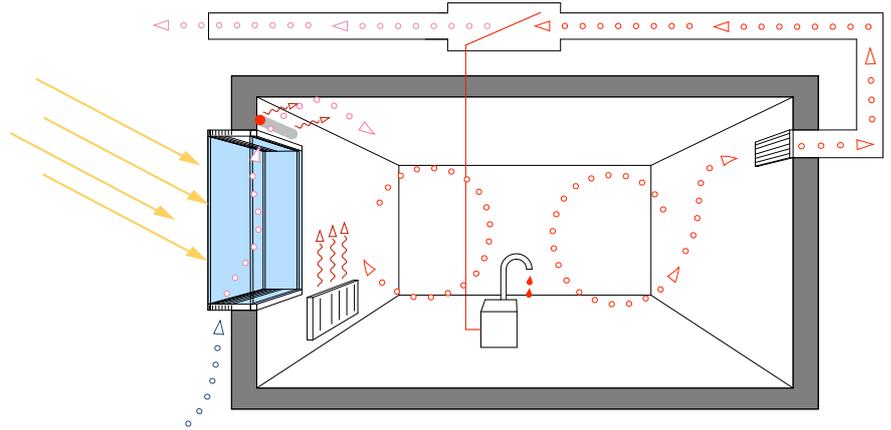


Abb. 22: Detaillierte Darstellung der Funktionsweise des Kastenfensters und des Lüftungskonzepts

körpern als auch in der Heizperiode als angenehm. Nicht in allen Räumen ist ein Heizen notwendig gewesen.

Lüftung | Wärmerückgewinnung zur Trinkwarmwasserbereitung

An der Außenseite der Kastenfenster strömt über Öffnungen frische Luft in den Zwischenraum, durch die solare Strahlung wird diese vorerwärmt und steigt durch den Auftrieb nach oben. Innenliegend befinden sich im oberen Bereich der Fenster Auslässe, durch die die vorerwärmte Luft in die Wohnräume eingebracht wird. Somit wird über physikalische Prinzipien und ohne den Einsatz von Energie die Frischluft vorkonditioniert. Falls die solare Vorerwärmung im Kastenzwischenraum nicht ausreicht, können die Bewohner durch einen über dem Fenster sitzenden Rippenheizkörper die Zuluft nacherhitzen und Zugerscheinungen durch Kaltluftabfall reduzieren. Allerdings verfügt der Rippenheizkörper lediglich über ein Absperrventil und kann von den Bewohnerinnen und Bewohnern nur an- oder ausgeschaltet werden. Der Anschluss ist ungeregelt und wird allein über die Außentemperaturgeführte Vorlaufemperatur geregelt, wodurch Störgrößen wie solare Einstrahlung oder hohe interne Wärmelasten zu Überhitzung führen können. Eine bedarfsgerechte Wärmezufuhr könnte jedoch durch

die Verwendung eines Thermostatventils gewährleistet werden und wäre in diesem Fall zu empfehlen.

Dennoch sind alle bis auf einen der befragten Haushalte mit den Rippenheizkörpern zufrieden. Sie müssen nicht regelmäßig angestellt werden, besonders bei milden Außentemperaturen drehen sie alle Haushalte aus. Da in keinem Fall von unangenehmen Zugerscheinungen berichtet wurde, kann nach anfänglichen Bedenken festgestellt werden, dass die Positionierung des Rippenheizkörpers gut gewählt wurde.

Um einen ausreichenden Mindestluftwechsel auch bei Abwesenheit der Bewohnerinnen und Bewohner sicherzustellen, wurden alle Wohnungen mit einer Abluftanlage versehen. Erwähnenswert ist hierbei, dass die Lüftungsleitungen sinnvollerweise in die bestehenden Kamine, die durch die neue Heizzentrale nun nicht mehr benötigt werden, integriert wurden. Dieser sensible Umgang mit vorhandener Bausubstanz ist ein vorbildliches Beispiel nachhaltiger Sanierung. Die Wärme der verbrauchten Abluft wird mittels einer Abluft-Wärmepumpe, die sich im Dachgeschoss befindet, zur Warmwasserbereitung verwendet. Somit wird trotz fehlender mechanischer Zuluftanlagen, die einen erheblichen Aufwand mit sich gebracht hätten,

die Raumwärme weiter genutzt. Die befragten Haushalte äußern sich alle zufrieden mit der Abluftanlage in den Nassräumen; in der Küche reichen die Lüftung bei starken Gerüchen bisweilen nicht aus. Alle Haushalte gaben an, zusätzlich zur Lüftungsanlage mindestens morgens und abends stoßzulüften, auch im Winter. Trotz des den Mietern erläuterten Sachverhalts, dass ein Kippen der Fenster energetisch nicht günstig sei, werden in einigen Haushalten die Fenster weiterhin tagsüber gekippt.

Pro Dachgeschoss befindet sich eine Wärmepumpe mit einer Leistung von 4 kW, die das Wasser auf ca. 55 °C erhitzt und in einen 295 l großen Trinkwasserspeicher einspeist. Ein zusätzlicher Speicher mit einer Größe von 197 l ist nachgeschaltet, hier wird bei Bedarf zusätzlich mit der Wärme der Heizzentrale nachgeheizt, falls die Leistung der Wärmepumpe nicht ausreicht.

In der ursprünglichen Ausführung ging die Zirkulationsleitung vom zweiten Speicher ab und entzog diesem die Wärme. Die Zirkulationsverluste konnten nur über die Nachheizung aus dem Wärmenetz gedeckt werden. Der von der Wärmepumpe gespeiste Speicher wurde nur entleert, wenn Warmwasserbedarf anlag. Durch diese Regelung entstanden zweierlei negative Ef-

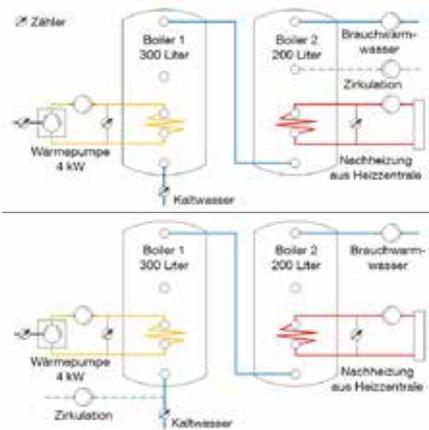


Abb. 23: Zirkulationsleitung vor und nach der Verlegung

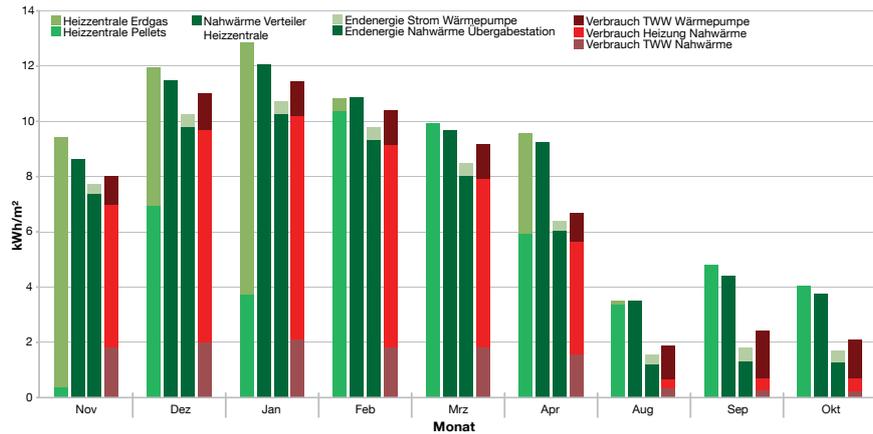


Abb. 24: Monatlicher Anteil der Wärmeerzeugungsart in der Heizzentrale sowie Verluste aus Erzeugung und Übergabe von November 2013 bis Oktober 2014

fekte: einerseits war die Wärmepumpe dadurch nur 2 bis 3 Mal täglich für 6 bis 9 Stunden in Betrieb, aufgrund der notwendigen hohen Vorlauftemperaturen erreichte die Wärmepumpe relativ schlechte Jahresarbeitszahlen von durchschnittlich 2,7 bis 2,9. Ihr Anteil an der Warmwasserbereitung betrug lediglich ca. 40 %. Der Rest wurde auf ineffektive Weise von der Heizzentrale gedeckt.

Dies wiederum hat zweierlei negative Folgen: Einerseits reduziert sich der Wirkungsgrad von Pelletkesseln bei nicht konstantem Betrieb, was in der warmen Jahreszeit bei unregelmäßigem Warmwasserverbrauch der Fall ist. Außerdem erhöhen sich die Verteilungsverluste des Wärmenetzes, je geringer die Wärmeabnahme und somit der Wärmedurchfluss ist.

Nachdem durch das Monitoring die nicht optimale Betriebsweise der Warmwasserbereitung aufgedeckt werden konnte, wurde die Zirkulationsleitung im Juli 2014 an den von der Wärmepumpe gespeisten Speicher verlegt, so dass die Zirkulationsverluste nun über die Wärmepumpe gedeckt werden können. Man kann in Abb. 24 deutlich erkennen, dass die Anteile des Wärmenetzes am Warmwasserverbrauch nach dieser Maßnahme deutlich auf etwa 25 % zurückgegangen sind.

Als weitere Maßnahme wurde der Rücklauf aus der Zirkulationsleitung abgesenkt, so dass die Zirkulationsverluste von zuvor ca. 65 % auf ca. 15 % deutlich reduziert werden konnten. Aus bisher unbekanntem Grund wurde allerdings Anfang September 2014 die Rücklauf-temperatur wieder auf die alte Regelung angehoben, so dass die Verluste wieder ca. 60 % betragen. Der Anteil der Wärmepumpe an der Warmwasserbereitung erhöhte sich dagegen auf ca. 85 %. Diese läuft nun vier Mal täglich für insgesamt 8 bis 10 Stunden. Dass die Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen dennoch nur knapp einen Wert von 3,0 erreichen, ist weiterhin dem hohen Temperaturhub geschuldet. Zudem sind sie bei einer hohen Gleichzeitigkeit von Warmwasserverbrauch zu klein dimensioniert.

So muss das Wärmenetz auch in der warmen Jahreszeit neben dem verbleibenden Heizwärmeverbrauch einen Teil der Trinkwasserbereitung abdecken. Die ursprüngliche Planung, die Heizzentrale in den Sommermonaten ruhen zu lassen, konnte damit nicht erreicht werden, zumal sich die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe nicht erkennbar gesteigert hat. Somit schwächen sich die beiden Wärmeerzeugungskonzepte gegenseitig und es stellt sich die Frage, ob die Heizzentrale nicht effektiver arbeiten würde,

wenn sie den kompletten Wärmebedarf decken würde.

Verbrauchswerte

Für den Vergleich von Energiebedarf und dem tatsächlichen Verbrauch für die Jahre 2012 und 2013 werden die Liefermengen von Pellets und Gas sowie die Heizkostenabrechnung verwendet. Diese differenziert zwischen Heizwärme und Warmwasser und enthält Werte der einzelnen Wohnungen sowie der vier Übergabestationen. Ein umfassendes Gebäudemonitoring startete im Oktober 2013, sämtliche Verbrauchsdaten sind witterungsbereinigt.

Auf den ersten Blick scheinen die Verbräuche weit über dem errechneten Bedarf zu liegen (s. Abb. 25), allerdings ist eine vertiefte Analyse der Zahlen notwendig. Der Heizwärmeverbrauch liegt mit 44,0 kWh/m²a im Jahr 2012 um 43 % und mit 40,3 kWh/m²a (2013) um 31 % über dem Bedarf von 30,7 kWh/m²a. Dennoch muss bedacht werden, dass in fast allen Wohnungen bei den Innenraummessungen deutlich höhere Temperaturen gemessen wurden als in der Bedarfsrechnung angesetzt werden. Für jedes Grad an höherer Innenraumtemperatur steigt nach BINE 2014 der Energiebedarf um ca. 6 %.

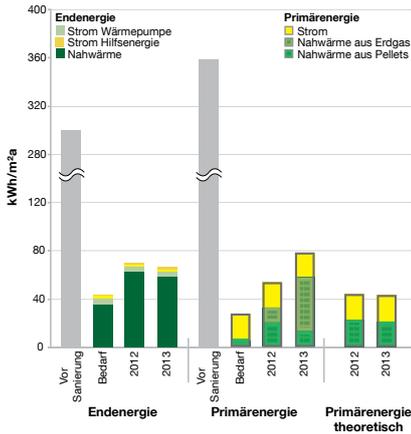


Abb. 25: Gegenüberstellung von Bedarf und Verbrauch

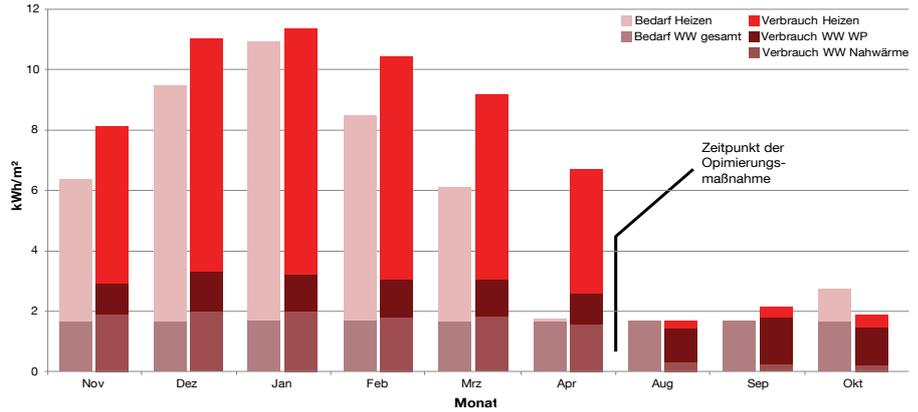


Abb. 26: Monatlicher Vergleich von Bedarf und Verbrauch an Heizenergie und Warmwasser (inkl. Deckungsanteil Wärmepumpe) von November 2013 bis Oktober 2014

Dass der Wärmeverbrauch im Schnitt dennoch um 89 % höher liegt, ist hauptsächlich dem erhöhten Warmwasserverbrauch durch die hohen Zirkulationsverluste geschuldet. Die Problematik der Warmwasserbereitung ist im vorherigen Absatz beschrieben und konnte nur durch das ausführliche Monitoring seit Herbst 2013 aufgedeckt werden. Die Optimierungsmaßnahmen sind deshalb nicht in den Verbrauchsdaten ersichtlich, da sich diese auf die Jahre 2012 und 2013 beziehen.

Beim Monitoring fiel außerdem auf, dass ab Ende 2013 der Pelletkessel immer wieder ausgefallen war und der Gaskessel die Wärmeversorgung übernahm. Auf Grund einer defekten Brennkammer fiel der Pelletkessel Mitte April 2014 dann komplett aus, die betroffenen Teile mussten ausgetauscht werden.

Da über die Liefermengen der Primärenergieverbrauch für die Heizzentrale ermittelt wurde, ist dieser aufgrund der hohen Nutzung des Gaskessels im Jahr 2013 dementsprechend schlecht. 2012 erzeugte der Gaskessel, der nur als Redundanzsystem eingebaut ist, 10 % der gesamten Wärmeenergie, 2013 waren es knapp 38 %.

Vergleicht man die Liefermengen der Energieträger für die Heizzentrale zu-

dem mit der Wärme, die an den Übergabestationen der Häuser ankommt, ergeben sich Netzwärmeverluste von ca. 45 %. Diese beinhalten die Erzeuger- als auch die Verteilverluste, sowohl in der Heizzentrale als auch im Wärmenetz selbst. Wenn zudem die Warmwasserbereitung im Sommer über die Heizzentrale erfolgt, erhöhen sich die Verteilverluste anteilig umso mehr, je weniger Wärmeabnahme ansteht. Auch diese Verluste tragen zum schlechten Primärenergieverbrauch bei. Dieser Zusammenhang ist besonders ab dem Monat April 2014 deutlich sichtbar (s. Abb. 26).

Aus subjektiver Sicht haben sowohl die im März 2013 als auch im April 2014 befragten Haushalte angegeben, dass sie in beiden Wintern später als vor der Modernisierung begonnen haben zu heizen. Im Gegensatz zu früher müssen sie auch nicht ständig alle Räume heizen, denn generell seien die Temperaturen in den Wohnungen höher als vorher. Die Heizung reguliere sich selbst und schalte sich ab, wenn es zu warm werde.

Mieterkommunikation

Obwohl die Mehrzahl der Mieter einer Modernisierung skeptisch gegenüberstand, haben sie nach Informationsveranstaltungen, Mieterversammlungen und Einzelgesprächen der Mo-

derernisierung zugestimmt. Gingen Alle zunächst davon aus, dass die Modernisierung im bewohnten Zustand erfolgen könne, stellte sich dies rasch als unmöglich dar. Durch Freisetzung einzelner Wohnungen, strangweiser Modernisierung und Umzügen innerhalb des Hauses oder in andere Ersatzwohnungen konnte die Umbauzeit auch durch gegenseitige Unterstützung in der Nachbarschaft bewältigt werden. Möglichkeiten zur Mitentscheidung bei der Erneuerung von Fliesen, Türen und Boden waren ebenso für die Zufriedenheit der Bewohnerinnen und Bewohner wichtig. Entscheidend war, dass immer wieder über Planungen und mögliche Störungen oder Änderungen im Ablauf informiert wurde, bevor Unklarheiten entstehen konnten. Während des Prozesses waren neben der Genossenschaft auch die Architekten, Planer und Handwerker Ansprechpartner, für manche Probleme konnten individuelle Lösungen realisiert werden. Das Mieterinformationsblatt haben alle als nützlich begrüßt, bei Fragen wird aber doch eher die direkte Kommunikation mit den Technikern der Anlage gesucht.



Abb. 27: Süd-Fassade mit Loggien

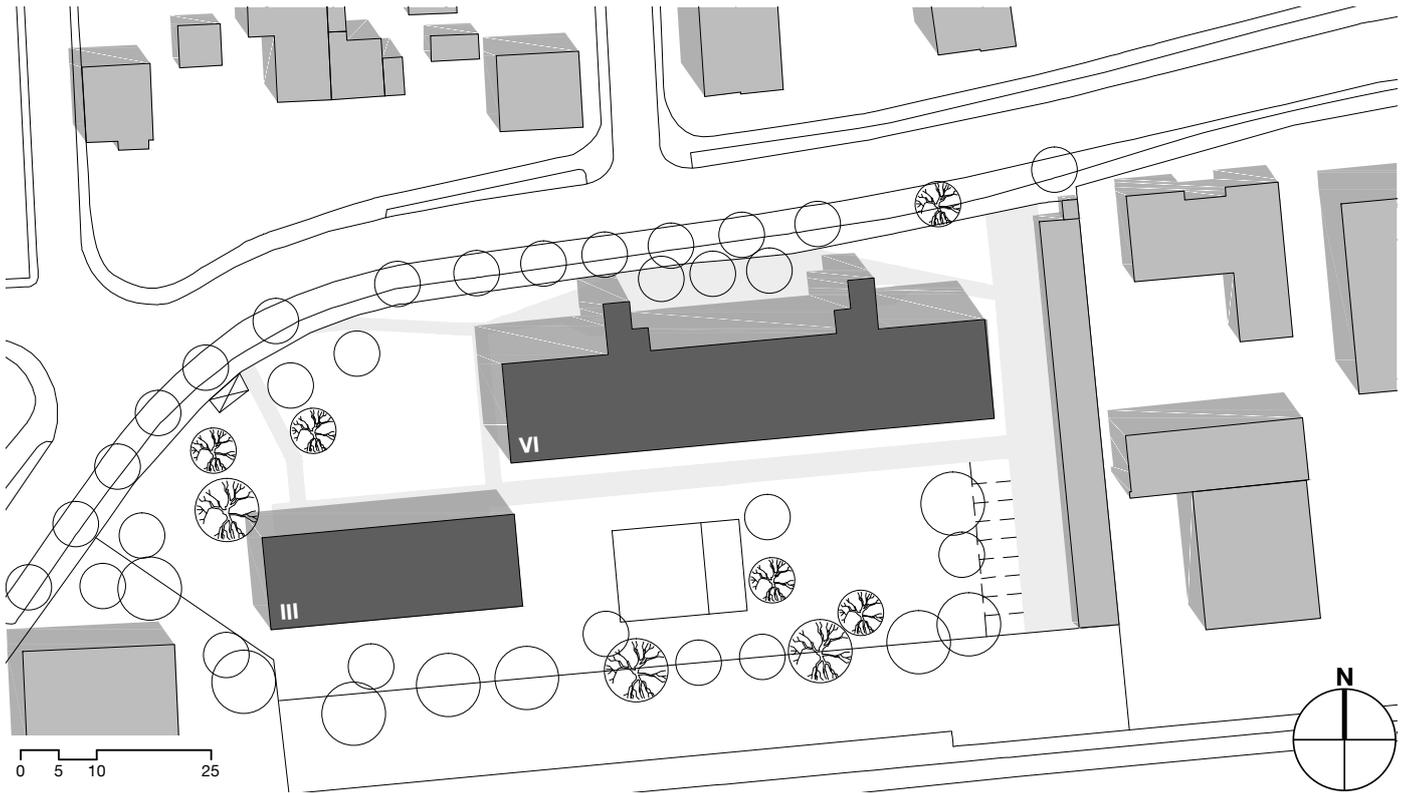


Abb. 28: Lageplan

Modernisierung

Standort

Grüntenstraße 30-36
Augsburg

Bauherr

WBG Wohnungsbaugesellschaft der
Stadt Augsburg GmbH

Architekten

lattkearchitekten, Augsburg

HLS

bauart Konstruktions GmbH & Co.
KG, München
Ingenieurbüro Ulherr, Augsburg

Baujahr

1966

Sanierung

2011 - 2012

Wohneinheiten 60 Wohnungen

Nutzfläche A_N 5.429 m²

Konstruktion Bestand

Beton- bzw. Ziegelaußenwand
verputzt
Holzfenster mit Zweischeiben-
verglasung
Betondecken + Bodenplatte

Konstruktion Sanierung

Vorgefertigte Holzelementfassade
Ziegelaußenwand + Wärmedämm-
verbundsystem
Holzfenster mit Dreischeiben-
isolierverglasung
Betondecken mit Wärmedämmung
Bodenplatte + Randdämmstreifen

Haustechnik

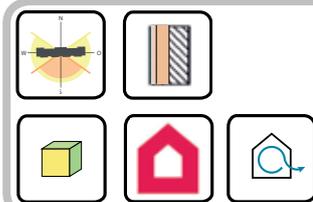
Pelletkessel
Radiatoren
Abluftanlage

Primärenergiebedarf vor der Sanierung

196,7 kWh/m²a

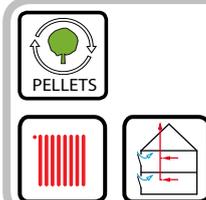
Transmissionswärmeverlust

0,30 **-40%**
W/(m²K) EnEV 2009



Primärenergiebedarf

17,2 **-66%**
kWh/m²a EnEV 2009



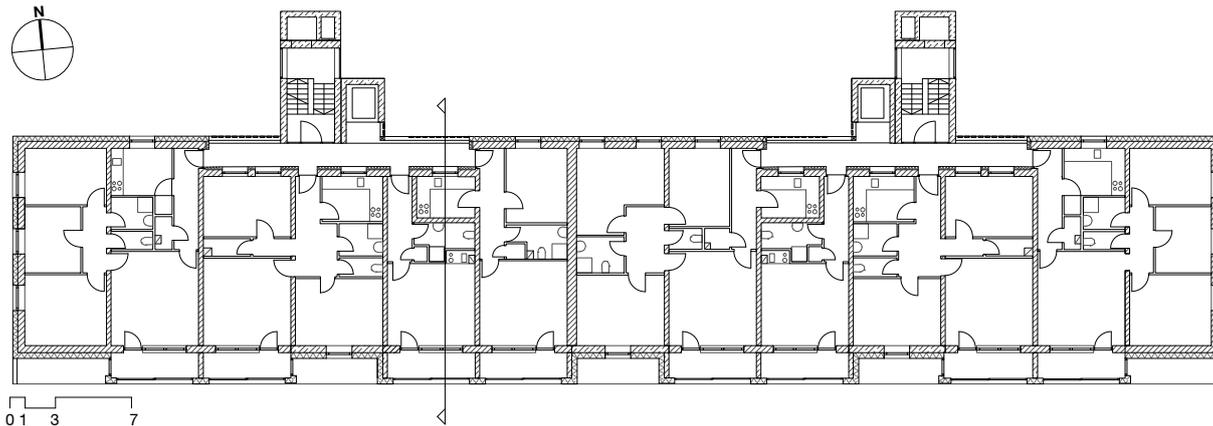


Abb. 29: Regelgrundriss nach Modernisierung

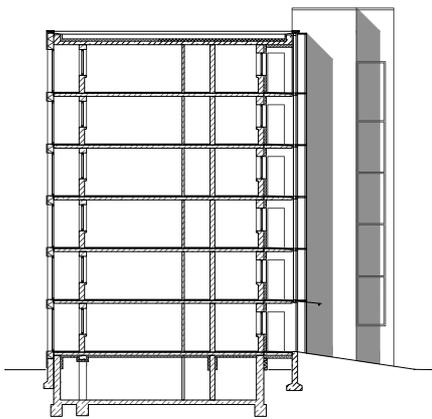


Abb. 30: Querschnitt nach Modernisierung

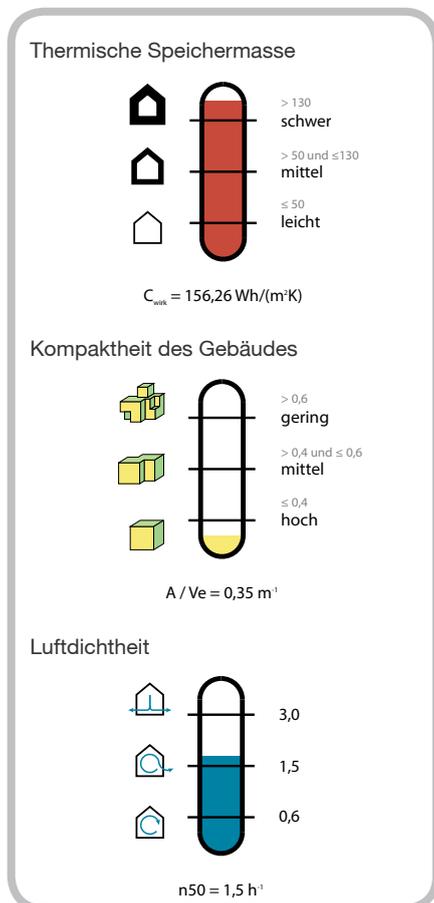


Abb. 31: energetisch relevante Eigenschaften nach Modernisierung

Der Schwerpunkt der Modernisierung der beiden Wohngebäude aus den 1960er Jahren lag bereits in der Wettbewerbsauslobung in der Verbesserung der Gebäudehülle und der Anlagentechnik, da die Wohnhäuser aufgrund der weitestgehend ungedämmten Massivbauweise mit zahlreichen Wärmebrücken und der meist noch eingebauten Einzelöfen hohe Energieverbrauchswerte aufwiesen. In den beiden benachbarten Gebäuden wurden gleiche Maßnahmen durchgeführt, im Rahmen der Nachuntersuchung lag der Schwerpunkt jedoch auf dem sechsgeschossigen Baukörper.

Mangels einer Fernwärmeversorgung entschied das Wohnungsunternehmen zukünftig ressourcenschonende erneuerbare Energien für die Wärmeversorgung zu nutzen. Für die Nutzung passiver solarer Energiegewinne stellte die Südorientierung des Bestandes und die Anordnung der Nebenräume und Laubengänge nach Norden eine gute Voraussetzung dar. Eine besondere Herausforderung bestand im Wunsch des Bauherrn, die Wohnanlage im bewohnten Zustand zu sanieren.

Gebäudekonzept

Zur Lösung dieser Planungsaufgabe überzeugte im Wettbewerb das Planungsteam um das Büro lattkearchi-

tekten mit einer innovativen vorgefertigten Holzfassade als wesentliches Element des energetischen Konzeptes. Die neue vorgehängte Gebäudehülle erfüllt mehrere Zwecke: neben der Steigerung der Energieeffizienz des Gebäudes sind durch den hohen Vorfertigungsgrad kurze Bauzeiten möglich und das Gebäude erhält in wenigen Schritten ein zeitgemäßes Erscheinungsbild mit mehr Wohnfläche durch die hinzugefügten Loggien.

Gebäudehülle

Die hochwärmegedämmte Holzfassade wurde wie eine zweite Haut um das Gebäude gelegt. Diese neue Haut ummantelt auf der Südseite die ehemaligen, blickdichten Stahlbetonbalkone und formt sie zu großflächig aufgeglasten Wintergärten um. Durch das Einbetten der ehemaligen Balkone in die thermische Hüllfläche lassen sich die bauzeittypischen konstruktiven Wärmebrücken vergleichsweise leicht beseitigen.

Die Entwurfsidee des Wettbewerbsbeitrages war eine Fassade, die all die Funktionen in sich vereint, die im Bestandgebäude entweder nicht vorhanden oder nicht ertüchtigbar waren. Eine Fassade, die neben den Aufgaben des Wärmeschutzes und der Lüftung auch als Installationsebene dienen kann.

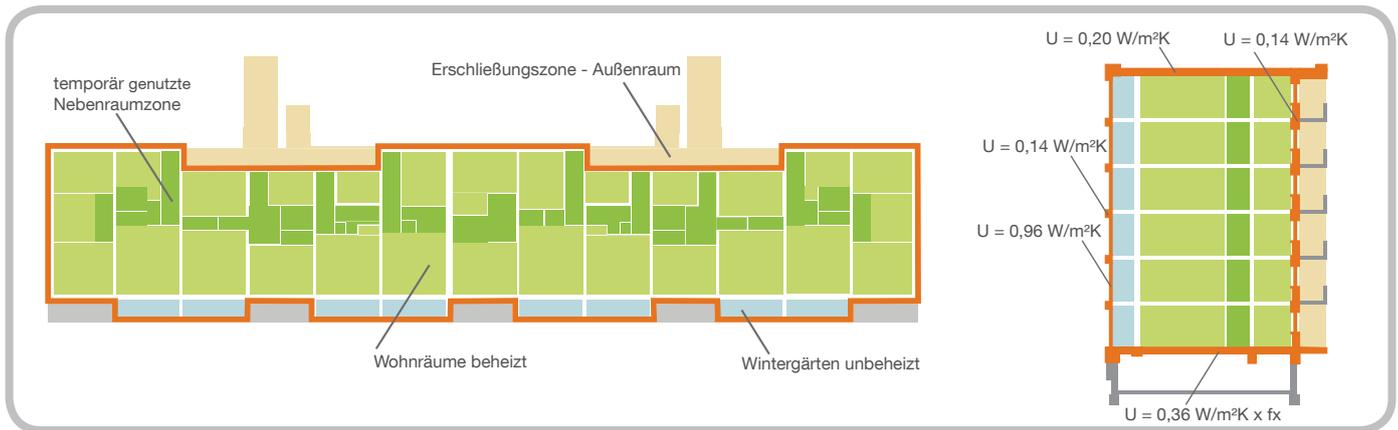


Abb. 32: Raumzonen und Klimagrenzen

Im Rahmen der Überarbeitung und Werkplanung beschränkte sich das Programm der Fassade auf die thermische Gebäudehülle inklusive des sommerlichen Wärmeschutzes und der feuchtigkeitsgesteuerten Zuluft-elemente.

Die Erstellung eines 3D-Scans der Bestandsfassade sollte in eine industrielle Vorfertigung identischer und passgenauer Fassadenelemente übergehen. Die Bauzeit sollte sich stark verkürzen, da ohne große Belastung für die Bewohner die neue Fassade vor das alte Gebäude gehängt werden würde. Toleranzen des Bestandes führten jedoch in der Ausführung zu einer Unikatfertigung passender Fassadenelemente.

Die Fassade an sich besteht aus Holztafelbauelementen mit einer gestrichenen Außenschalung aus sägerauen Brettern. Um neue Wärmebrücken zu vermeiden sind die Loggien, die zwischen den Wintergärten ergänzt wurden, Bestandteil der Holzfassade geworden und wie das gesamte System wärmebrückenarm über eine Stahl-Unterkonstruktion am Bestand verankert. Die Lastabtragung erfolgt über ein eigenes, ausreichend dimensioniertes Fundament, das vor der bestehenden Kelleraußenwand erstellt wurde.

Insgesamt erreicht die Außenwand mit $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ einen hervorragenden U-Wert und damit sehr gute Dämmeigenschaften. Allerdings sind die vorgehängten Holzelemente mit ca. 35 cm vergleichsweise dick ausgefallen, bedingt durch die Anforderungen des Modellvorhabens, den von der EnEV 2009 geforderten Primärenergiebedarf für Neubauten um mindestens 40% zu unterschreiten. Ihr Einsatz ist in räumlich beengten Situationen daher nicht immer möglich, wenn dieser energetische Standard erreicht werden soll.

In Augsburg hat sich der Aufwand aus energetischer Sicht gelohnt: Durch die Holzelemente mit bereits im Werk eingesetzten Drei-Scheiben-Verglasungen, ergänzt durch ein konventionelles Wärmedämmverbundsystem in den Laubengängen, konnte der Transmissionswärmeverlust auf knapp $0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ gesenkt werden. Der Vergleich der im Rahmen der Qualitätssicherung erstellten Thermografieaufnahmen des Bestandes mit dem sanierten Gebäude machen die energetische Verbesserung der Gebäudehülle deutlich (s. Abb. 173-176). Sie zeigen jedoch auch Schwachstellen auf, z.B. an den Laubengängen. Durch den abschließenden Tausch der Wohnungseingangstüren konnten diese Punkte noch einmal stark reduziert werden.

Der Luftdichtigkeitstest zeigte, dass trotz der sensiblen, elementierten Konstruktion die Luftdichtigkeit auf ein in der EnEV 2009 für Gebäude mit Lüftungsanlagen gefordertes Niveau verbessert werden konnte. Der Wert der Luftdichtigkeit liegt knapp unter $1,5 \text{ h}^{-1}$ und damit weit über einem Wert, der für ein Bestandsgebäude zu erwarten ist. Die Undichtigkeiten fielen vor allem im Bereich der Hebe-Schiebe-Flügel in den Loggien auf. Ein Luftdichtigkeits-test kann so auch zur Überprüfung der in der Ausschreibung erwarteten Standards genutzt werden.

Eine Steigerung der Effizienz der Fassade hätte durch eine Integration von Versorgungsleitungen oder der Lüftung erreicht werden können. Aber im engen Kostenrahmen des geförderten Wohnungsbaus wäre diese Maßnahme nicht wirtschaftlich darstellbar gewesen.

Solare Energiegewinne

Die vorhandene energetisch zweckmäßige Trennung zwischen Wohnräumen im Süden und Schlaf- und Nebenräumen im Norden ist Bestandteil des energetischen Konzepts, indem es die passive solare Energiegewinnung über große Fensterelemente im Süden nutzt. Die massive Konstruktion des Bestandsgebäudes bietet hierzu eine gute Speichermasse. Gleich-

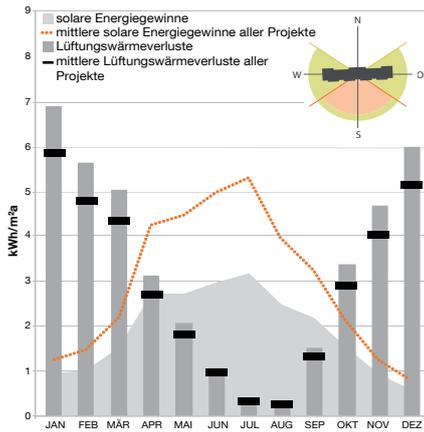


Abb. 33: Vergleich der solaren Energiegewinne mit den Lüftungswärmeverlusten



Abb. 34: Fassade kurz nach Beginn der Sanierungsmaßnahmen

zeitig dient der durch die Verlagerung der Systemgrenze gewonnene unbeheizte Wintergarten als Klimapuffer. Im Winter fängt der vorgelagerte Raum die flach einfallenden Sonnenstrahlen ein und trägt so zur Temperierung der Wohnungen bei. Auch wenn dieser Beitrag nicht genau beziffert werden kann, sind einige Mieterinnen und Mieter von dessen Nutzen überzeugt und verwenden die Türen zwischen Wintergarten und Wohnzimmer bewusst zur Wärmeregulierung.

Sommerlicher Wärmeschutz

Gemäß den Mieterbefragungen bieten die aus fachlicher Sicht richtig positionierten, außenliegenden Jalousien auf der Südseite den notwendigen sommerlichen Wärmeschutz. Dennoch wird die Hitzeentwicklung im Wintergarten häufig als sehr stark empfunden. Als temporäre Erweiterung des Wohnraums kann der Wintergarten nach Aussage der Mieter und Mieterinnen daher nur in den Übergangsmonaten genutzt werden. Im Sommer hingegen ist ein Aufenthalt nur an nicht so heißen Tagen und im Winter nur an sonnigen Tagen möglich. Eine Verbesserung der Wohnqualität ist dennoch gegeben.

Der Wintergarten stellt einen sehr kleinen Raum mit unverhältnismäßig großer Verglasung dar, d.h. der Verglasungsanteil entspricht in etwa der

Grundfläche des Raumes. Um dem zwangsläufigen Überhitzungsproblem im Sommer entgegen zu wirken, ist eine größtmögliche Öffenbarkeit des Raumes anzustreben. Leider ist im Vergleich zu Faltelementen mit den gewählten Hebe-Schiebe-Flügeln nur eine halbseitige Öffnung möglich. Der außenliegende Sonnenschutz aus Metalllamellen kann im geschlossenen Zustand die Überhitzung verhindern.

Lebenszyklusbetrachtung

Über die nach der EnEV 2009 messbare Energieeffizienz hinaus trägt die neue Hülle durch die Verwendung des CO₂-neutralen Baustoffes Holz und die gute Trennbarkeit der Materialien bei einem späteren Rückbau zur Nachhaltigkeit bei. Es stellt sich jedoch die Frage, wie langlebig vor allem die Oberfläche der sägerauen Schalung sein wird und ob eventuell gewünschte kosmetische Korrekturen in Teilbereichen, beispielsweise witterungsbedingt, ohne Ersatz eines gesamten Fassadenelementes möglich sein werden.

Bauzeit

Ein weiterer Vorteil der Fassade besteht in der Vorfertigung der Fassadenelemente im Werk, die kurze Bauzeiten ermöglicht. Dies setzt zwar längere Planungszeiträume und ein

genaues Aufmaß voraus, bietet aber einen wirtschaftlichen Vorteil durch einen kürzeren Baustellenbetrieb. Im Fall der Grüntenstraße konnte dadurch insbesondere die intensive Bauphase an jeder Wohnung und damit die Belastung der Bewohner reduziert werden.

In der Weiterentwicklung dieses Fassadenkonzepts ist dem erhöhten Planungsaufwand Rechenschaft zu leisten, um Nachbesserungen vor Ort und Bauzeitenverlängerungen zu vermeiden. Die Installation der vorgefertigten Fassade darf nicht als losgelöste Aufgabe gesehen werden sondern muss vor allem in Bezug auf Anschlusspunkte und Gründung in einen soliden Bauzeitenplan in Relation zu den anderen Gewerken gesetzt werden. Die unbekannte Bodenbeschaffenheit stellte für die eigene Fundamentierung der Fassade ein Problem dar: der bei der Erstellung der Anlage in den 1960er Jahren in die Baugrube gekippte Bauschutt musste erst wieder aufwändig entsorgt werden, was zu zeitlichen Verzögerungen im Bauablauf führte. Alle befragten Haushalte beschreiben die Belastungen während der mehrwöchigen Umbauphase als äußerst groß. Einige konnten der Belastung dadurch entgehen, dass sie in Urlaub fuhren oder bei Verwandten unterkamen, was für Berufstätige nicht möglich war. Neben



Abb. 35: Lieferung der neuen Fassadenelemente



Abb. 36: Hinterfüllung der neuen vorgesetzten Fassade



Abb. 37: Einbau der Fassadenelemente

den beengten Wohnverhältnissen in der akuten Umbauphase nennen die Haushalte eine werktägliche Lärmbelastung von 6 Uhr bis 22 Uhr. Trotz der Belastungen und einzelner Ärgernisse war die Mehrzahl der Befragten im Großen und Ganzen zufrieden mit den Ergebnissen.

Barrierefreiheit und Wohnumfeld

Überwiegend positive Resonanz aus der Mieterbefragung erhielten die weiteren Sanierungsmaßnahmen hinsichtlich einer verbesserten Barrierefreiheit und der Gestaltung des Wohnumfeldes. Durch die Aufschüttung des ehemals im Souterrain gelegenen Eingangsbereiches konnte ein großzügiger, barrierefreier Zugang geschaffen werden. Durch die Verlagerung des Aufzuges direkt an den Laubengang anstelle des alten Aufzuges am Zwischenpodest können jetzt alle Wohnungen barrierefrei erreicht werden. Zudem wurden die Laubengänge durch den Ersatz der alten Betonbrüstungen mit Metallgeländern und raumhohen Glasstegelementen offener und lichtdurchfluteter.

Technikkonzept

Heizung

Im Rahmen des energetischen Gesamtkonzeptes erfolgte die Umstellung auf die gewünschten erneuerbaren

energieformen in Form von zwei Holzpelletkesseln als nun zentrales Heizsystem, das beide Häuser mit Wärme versorgt. Die im Wettbewerb geplante Solarthermieanlage wurde aus Kostengründen nicht realisiert, hätte auf Grund von Gleichzeitigkeitsproblemen, wie sie im Projekt Amberg erläutert wurden (s. Seite 16 ff.), aber auch dem Wirkungsgrad des Pelletkessels entgegenwirken können.

Die Heizungsanlage befindet sich im Eigentum der Wohnungsbaugesellschaft, wird aber als Contracting-Anlage von den Stadtwerken Augsburg betreut. Diese sind für Unterhalt, Wartung, Pelletlieferungen usw. verantwortlich. Um umfassende Sanierungsarbeiten in den Wohnungen zu vermeiden und Kosten zu sparen, wurden für die Wärmeübergabe neue, kleinere Heizkörper mit einer hohen Vorlauftemperatur von 60 °C (Rücklauf 45 °C) eingebaut und die Leitungen auf Putz verlegt. Die Standardlösung zur Temperaturregelung über einen Thermostatkopf mit fünf unterschiedlichen Stufen sichert den Mietern eine einfache Handhabung. Dieses einfache, aber gut funktionierende Wärmeverversorgungssystem stellt auch aufgrund seiner effizienten Betriebsart bei hohen Temperaturen für die gewählte Wärmeübergabe mit Heizkörpern eine geeignete Ergänzung des energetischen Gesamtkonzeptes dar. Der durch die

Modernisierung reduzierte Energiebedarf ermöglichte zudem die Unterbringung der Heizungsanlage im Keller des sechsgeschossigen Gebäudes ohne wesentlichen Raumverlust. Neben den zwei Pelletkesseln mit jeweils 60 kW Leistung sind zur Speicherung des warmen Wassers drei Pufferspeicher mit einem Fassungsvermögen von insgesamt 3000 l sowie ein Trinkwarmwasserspeicher mit 1500 l Volumen untergebracht. Letzterem ist zur Sicherung von hygienischem Wasser eine Frischwasserstation vorgeschaltet. Der Lagerraum für die Pellets wurde mit ca. 37 m³ - ausreichend für ca. 14 t Pellets - sehr klein ausgelegt, so dass den Bewohnern wenig Gemeinschaftsfläche verloren gegangen ist. Auf Grund der geringen Größe musste der Lagerraum in den Wintermonaten fast monatlich aufgefüllt werden, im Jahr 2013 insgesamt sieben Mal.

Die Mehrzahl der Haushalte, die nach der ersten wie auch nach der zweiten Heizperiode befragt wurden, gab an, dass sie relativ spät zwischen Anfang Oktober und Dezember mit dem Heizen begonnen habe. Sie führen das auf den Wintergarten bzw. auf die gute Dämmung des Hauses zurück. Die Mehrzahl gab an, dass nach der Modernisierung der Heizbedarf in einzelnen Räumen oder sogar in der gesamten Wohnung geringer geworden

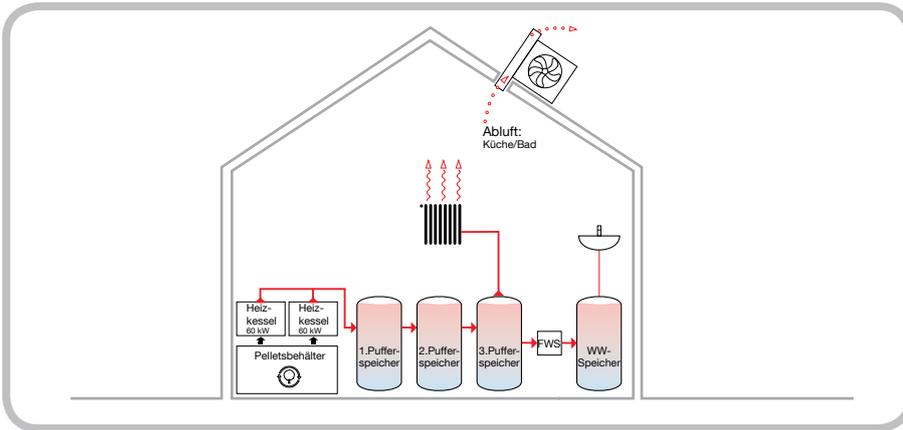


Abb. 38: Schematische Darstellung der Wärmeerzeugung, -speicherung und -übergabe sowie der Lüftungsanlage



Abb. 40: Pelletkessel im Kellergeschoß



Abb. 41: Einbau des neuen Heizkörpers



Abb. 42: Fenster mit Überströmöffnung kurz nach dem Einbau

sei. In manchen Räumen wie Schlafzimmer oder Küche wird wenig oder gar nicht geheizt. Nur zwei Haushalte gaben bei beiden Befragungen an, dass die Heizungen nicht richtig warm würden bzw. auch auf höchster Stufe nicht die gewünschte Wärme erreichten.

Lüftung

Zur Gewährleistung einer guten Luftqualität gemäß DIN 1946-6 wurde eine mechanische Abluftanlage eingebaut, die vergleichsweise leicht in den Bestand integriert werden konnte. Diese saugt aus den Küchen und Bädern die verbrauchte Luft ab und führt diese über die ehemaligen zentralen Lüftungskamine - ohne aufwendige Umbauarbeiten am Schacht - ab. Die Zuluftelemente, in denen Feuchtigkeitssensoren den Luftstrom automatisch regeln, befinden sich in den Fenstern der neuen Hülle. Um die Zuluft vom Wintergarten zum Wohnraum sicherzustellen, wurden als pragmatische und kostengünstige Lösung an den bestehenden Balkonfenstern die Dichtungen entfernt. Im Zusammenspiel mit der Vorerwärmung der Luft in den Wintergärten durch die passiven solaren Warmgewinne stellt diese einfache, aber ausreichende Lüftungsvariante ein gelungenes Gesamtkonzept von Gebäudehülle und Wohnungslüftung dar.

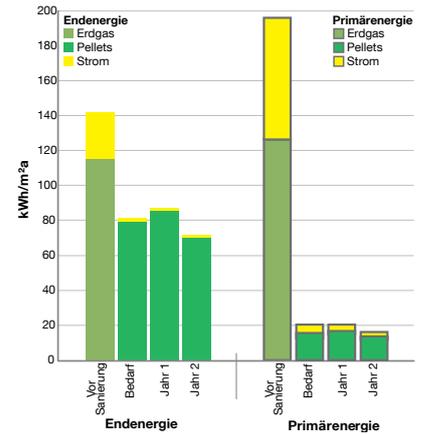


Abb. 39: Gegenüberstellung von Bedarf und Verbrauch

Seitens der Bewohnerinnen und Bewohner variiert die Einschätzung der Lüftungsanlage stark: Die Beurteilungen reichen von „das nehmen wir gar nicht wahr“ über „sehr gut, weil frische Luft in die Wohnung strömt“ bis zu sehr negativen Einschätzungen, da der Luftzug der Absaugung störe. In manchen Haushalten werden die Vorrichtungen der Anlage zugeklebt. Von manchen wird die Luftabsaugung in den Küchen als zu schwach empfunden, auch im Bad hielt die Feuchtigkeit zu lange an. Selbst zufriedene Mieter geben an, dass durch die Lüftungsanlage mehr Staub in der Wohnung sei.

Verbrauchswerte

Grundlage für die Untersuchung der Verbrauchswerte waren die monatlich abgelesenen Zählerstände von Juni 2012 bis Juli 2014. Erfasst wurden dabei die von den Pelletkesseln erzeugte Wärmeenergie sowie der Warmwasserverbrauch vor der Verteilung. Zudem wurde der Stromverbrauch der Heizzentrale sowie der Abluftanlagen gemessen. Für die Ermittlung des Primärenergieverbrauchs wurde die erzeugte Wärmeenergie mit der gelieferten Menge von Holzpellets verrechnet, um die Anlagenaufwandszahl zu bestimmen. Allerdings hat der Bauherr bei diesem Projekt kein umfangreiches Gebäudemonitoring durchführen las-

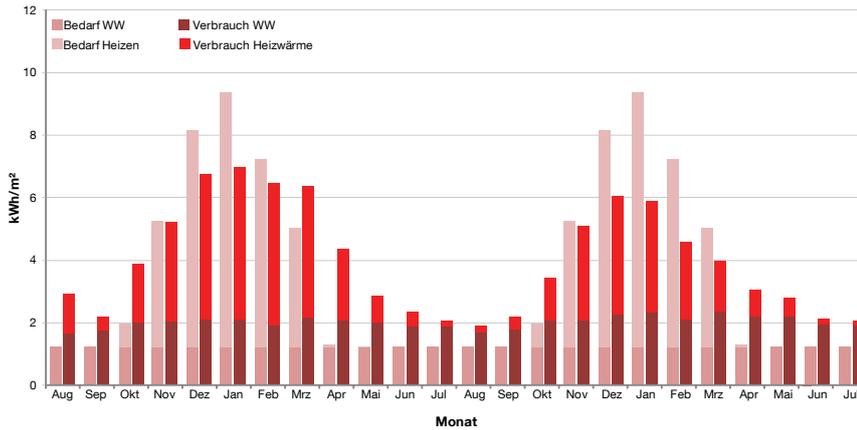


Abb. 43: Monatlicher Vergleich von Bedarf und Verbrauch an Heizenergie und Warmwasser von August 2012 bis Juli 2014

sen, um fehlerhafte Einstellungen in der Gebäudetechnik aufdecken und analysieren zu können. Erfreulicherweise spiegelt sich das fehlende Monitoring nicht in hohen Abweichungen der realen Verbräuche wieder, denn die erfassten Werte können als äußerst zufriedenstellend bewertet werden: Der Heizenergieverbrauch liegt in beiden Jahren unter dem errechneten Bedarf von 29,9 kWh/m², im ersten Jahr um 3 %, im zweiten Jahr mit 18,5 kWh/m² sogar um 38 %.

Vergleicht man den monatlichen Bedarf und Verbrauch der Heizenergie (s. Abb. 43), erkennt man, dass speziell in den Wintermonaten der tatsächliche, witterungsberingte Verbrauch deutlich niedriger ausfällt, im Februar 2014 bis zu 60 %. Dies könnte auf eine gute Funktionsweise der Luftvorerwärmung durch die solare Einstrahlung in den Wintergärten hindeuten. Wie bei allen anderen Projekten auch ist dafür in der Übergangszeit der Verbrauch deutlich höher als berechnet. Während die Berechnung nach DIN 4701-10 schon für den Monat April keinen Heizwärmebedarf mehr ausgibt, liegt der Verbrauch im ersten Jahr im April 2013 noch bei insgesamt 12.500 kWh. Beim Trinkwarmwasser verhält es sich ähnlich: Der an der Erfassungsstelle des Wärmemengenzählers gemessene Wert übersteigt den berechneten Bedarf von

14,6 kWh/m²a. Der Verbrauch ist in beiden Jahren gleich hoch bei 24,3 kWh/m²a und liegt damit um ca. 67 % über den Bedarfswerten. Auf Grund nicht verwertbarer Daten kann jedoch nicht nachvollzogen werden, ob die Ursache in einem tatsächlich so hohen Trinkwarmwasserverbrauch der Nutzer liegt, zu hohen Zirkulationsverlusten oder ein anderer Grund für die Abweichung vorliegt. Der Stromverbrauch für Hilfsenergie und Abluftanlagen liegt mit 19,4 % unter dem errechneten Wert, schlägt aber auf Grund der geringen Einflussgröße wenig ins Gewicht.

Vor der Sanierung betrug der Energieverbrauchskennwert für Heizung und Warmwasser laut erstelltem Energieausweis für die Jahre 2004 bis 2006 durchschnittlich 135 kWh/m²a und konnte durch die Sanierungsmaßnahmen auf 48,1 kWh/m²a gesenkt werden (s. Abb. 39). Primärenergetisch verändern sich die Einsparungen dank der Pelletanlage noch drastischer: von vormals 196,7 kWh/m²a konnte der Primärenergieverbrauch mit nun 13,9 kWh/m²a um mehr als den Faktor 14 reduziert werden und verdeutlicht auf beeindruckende Weise, wie energieeffizient der Gebäudebestand durch eine Ertüchtigung der Fassade in Kombination mit der Nutzung regenerativer Energien werden kann.



Abb. 44: Foto: Dreigeschossiger Baukörper

Mieterkommunikation

Gerade bei Modernisierungsmaßnahmen ist die Mieterkommunikation ausgesprochen wichtig. Die Mehrzahl der Befragten fühlte sich ausreichend informiert, durch Mieterversammlungen, Möglichkeiten der Einholung von Informationen auch bei den Handwerkern während der Baumaßnahmen und ebenso durch das Mieterinformationsblatt, das alle erhalten haben. Insgesamt wird die Kommunikation mit der Wohnbaugesellschaft als unkompliziert und positiv bewertet. Fragen der Energieeinsparung sind den Mieterinnen und Mietern wichtig. Durch die Veränderung des Heizenergiesystems und einem verändertem Strombedarf für Heizung und Lüftung fällt es ihnen schwer, selbst zu eruieren, ob sie nun tatsächlich weniger Energie verbrauchen, obwohl es sie interessieren würde. Eine Kostenersparnis der neuen Miete nach der Modernisierung zuzüglich der Nebenkosten können sie mehrheitlich nicht feststellen. Aus Sicht einiger Befragten hat sich die neue Zusammensetzung der Mieterschaft auf Grund der erhöhten Miete nach den Modernisierungen positiv auf das Hausklima ausgewirkt. Besonders positiv hervorgehoben wurde, dass vermehrt junge Familien mit Kindern eingezogen seien.



Abb. 45: Ost-Fassade zum gemeinschaftlichen Innenhof und Nebengebäude

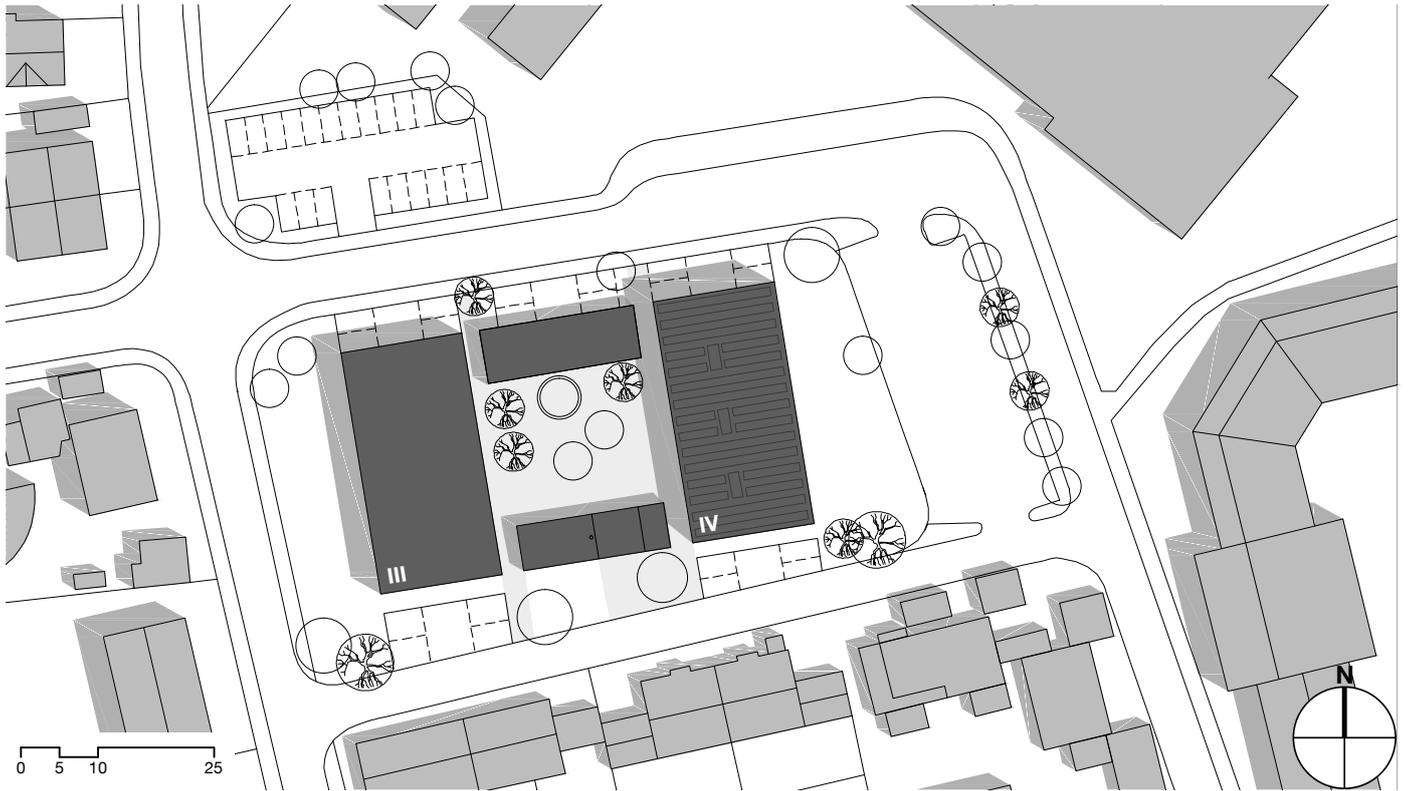


Abb. 46: Lageplan

Neubau

Standort

Herbartstraße 10 - 16
Ansbach

Bauherr

Joseph-Stiftung Kirchliches
Wohnungsunternehmen, Bamberg

Architekten

Deppisch Architekten, Freising

HLS

Ingenieurbüro M. Vogt GmbH,
Freising

Bauzeit

Winter 2011/12 - Juni 2013

Wohneinheiten 37 Wohnungen

Nutzfläche A_N 3.526 m²

Konstruktion

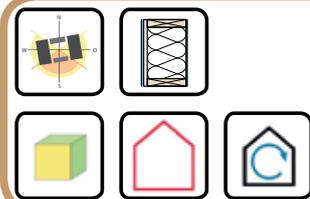
Holzrahmenbau + Dämmung
Holzfenster mit Dreischeibenisoler-
verglasung
Brettstapeldecken mit Wärmedäm-
mung
Bodenplatte Beton + Perimeterdäm-
mung

Haustechnik

Pelletkessel
Fußbodenheizung
Abluftanlage
PV-Anlage

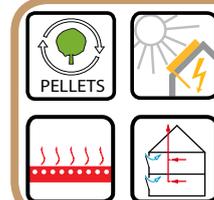
Transmissionswärmeverlust

0,21 **-58%**
W/(m²K) EnEV 2009



Primärenergiebedarf

16,1 **-70%**
kWh/m²a EnEV 2009



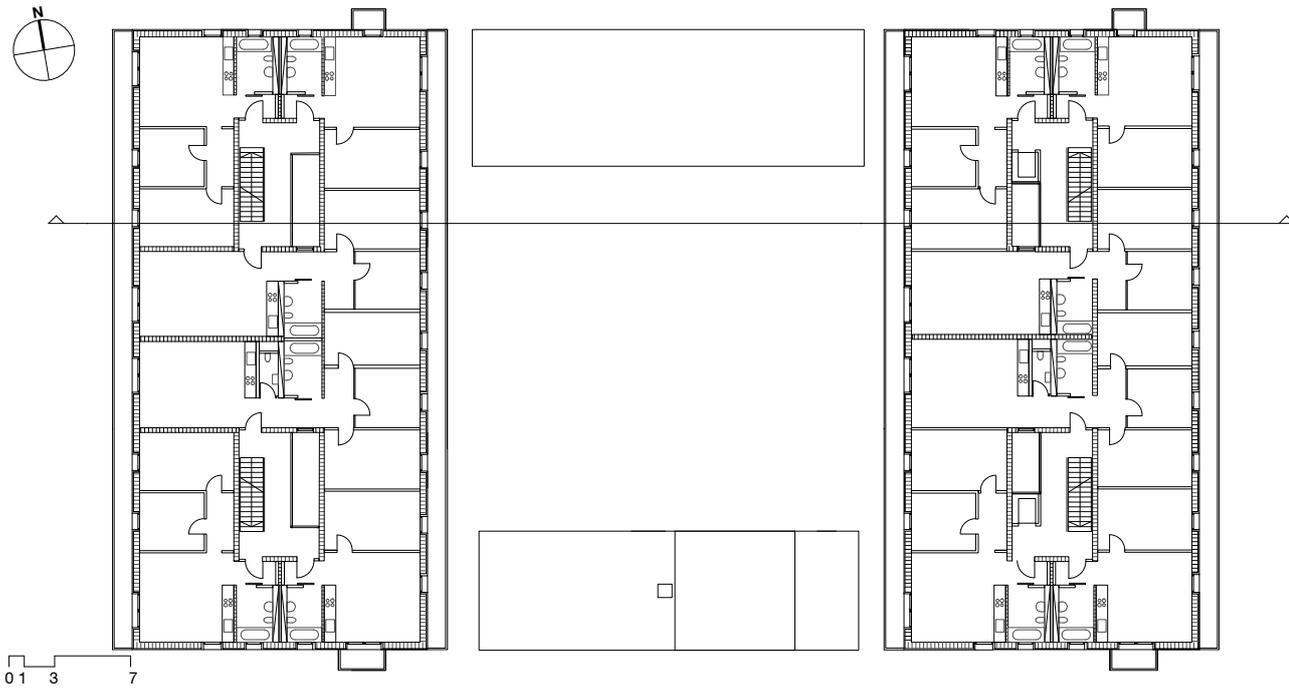


Abb. 47: Regelgrundriss 1. OG

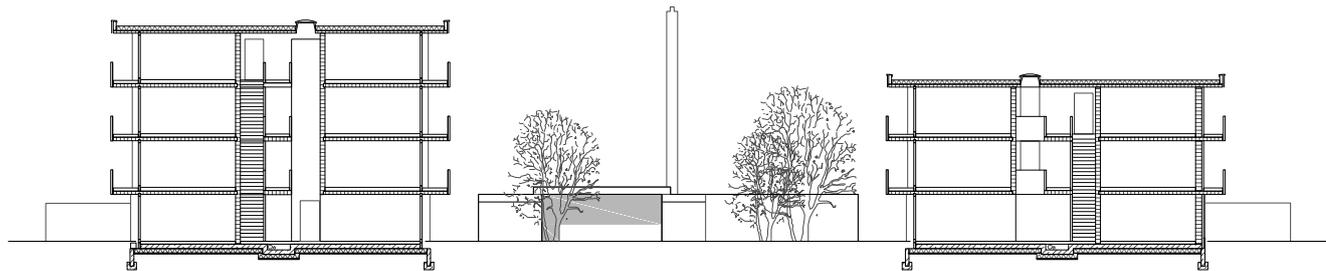


Abb. 48: Querschnitt



Abb. 49: Sichtbarkeit des Holzes

Das Ansbacher Projekt ist ein Neubau anstelle dreier bestehender, nicht sanierbarer Gebäude. Der besondere architektonische Reiz der Anlage liegt in der Umschließung eines zentralen Innenhofes mit drei- und viergeschossigen Gebäuden. Das Modellprojekt in Ansbach ist ein Holzbau, das Verwendungsspektrum dieses nachwachsenden Rohstoffes wurde in vielen Bereichen aufgezeigt: beginnend an der Konstruktion, dem Fassadenmaterial und endend an einer mit Holzpellets gespeisten Heizanlage.

Gebäudekonzept

Die ost-west-orientierten Wohngebäude entwickeln sich um einen zentralen, gemeinschaftlichen Hof.

Die beiden drei- und viergeschossigen Riegel ordnen sich im Osten und We-

sten an. Nach Norden und Süden wird der Hof durch eingeschossige Nebengebäude, die Abstellräume und die Heizzentrale begrenzt. Die Heizzentrale zeichnet sich durch den markanten Kamin weithin sichtbar in ihrer Funktion ab.

Der Werkstoff Holz ist programmatisch im ganzen Gebäude zu finden. Die damit zusammenhängenden Anforderungen, z.B. an den Brandschutz und die Wärmebrückenwirkung, wurden konsequent umgesetzt ohne dabei von der Entwurfsidee eines sichtbaren und erlebbaren Holzbaus abzuweichen.

Die innen liegenden Erschließungszonen weisen eine hohe innenräumliche Qualität auf. Sie werden über alle Geschosse hinweg von jeweils einem Oberlicht natürlich belichtet.



Abb. 50: Raumzonen und Klimagrenzen

Bäder und Küchen sind als „Technikern“ konsequent und wirtschaftlich in Verlängerung des Treppenhauses in der Mitte des Gebäudes platziert. Dies ermöglicht eine vollflächige Nutzung der Fassadenfläche zur Anordnung der Wohnräume.

Die 2- bis 3-Zimmer-Wohnungen sind über Eck jeweils nach zwei Himmelsrichtungen orientiert. Die Bäder und Küchen befinden sich dabei im Süden oder im Norden. Ein großzügiges Durchwohnen sowie der energetisch wichtige Aspekt der Durchlüftung ist somit nur in den 3- und 4-Zimmer-Mittelwohnungen möglich. Die Wohnräume schließen an die schmalen vorgelagerten Holzbalkone an, so dass sowohl der Bezug zum Innenhof wie auch zur „privaten“ Fassadenseite möglich ist.

Systemgrenze

Die wärmetechnischen Umfassungsflächen des Baukörpers wurden sehr kompakt gehalten.

Die Dämmebene verläuft um die kompakten, rechtwinkligen Baukörper störungsfrei herum. Die Holzbalkone sind Teil der Deckenplatten und kragen aus der Dämmebene aus. Dieser Punkt wurde in Bezug zur Bauphysik überprüft und als geringe Wärmebrücke nachgewiesen. Die beiden Bau-

körper weisen eine sehr hohe Kompaktheit mit einem A/V_e -Verhältnis von $0,41 \text{ m}^{-1}$ (dreigeschossiges Gebäude) und sogar $0,35 \text{ m}^{-1}$ (viergeschossiges Gebäude) auf.

Brandschutz

Die je nach Gebäudeklasse unterschiedlichen Anforderungen an den Brandschutz eines Holzbaus lassen sich vor allem im Unterschied zwischen dem drei- und dem viergeschossigen Gebäude erkennen. In Bayern ist gemäß BayBO 2008 für Gebäude, deren Fußboden des obersten Wohngeschosses eine Höhe von 7 m nicht überschreitet, eine Ausführung in F30 möglich. Das zusätzliche Geschoss führte zu höheren Anforderungen bezüglich des Feuerwiderstandes der Tragkonstruktion und der Brennbarkeit der Fassaden. Diese wurden durch den Einbau einer Sprinkleranlage kompensiert. Im Bereich des Treppenraums wurde die Holzkonstruktion abgeköffert (s. Abb. 52).

Solare Energiegewinne

Die Ost-West-Orientierung der Baukörper und der großzügige Hof erlauben theoretisch eine gute Ausnutzung der solaren Energiegewinne. Wie im Bauteil 2 in Ingolstadt wurde auch hier aufgrund der Ost-West-Orientierung der Fensterflächenanteil verringert.

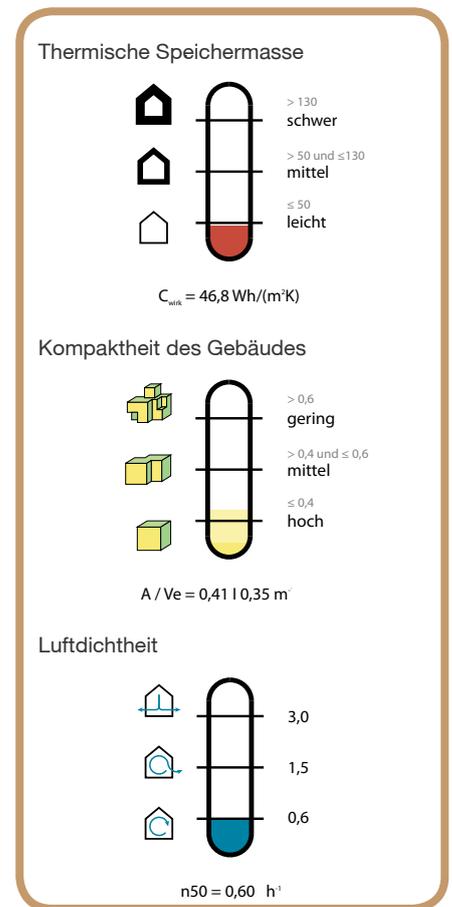


Abb. 51: energetisch relevante Eigenschaften



Abb. 52: Treppenhaus des viergeschossigen Bauteils

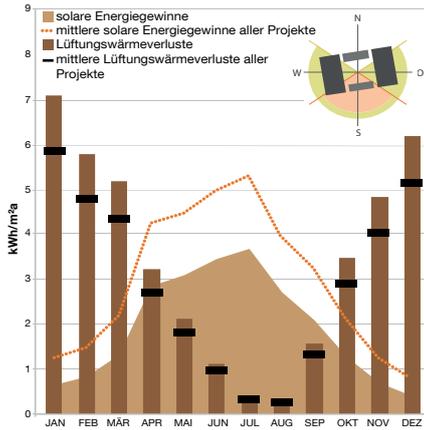


Abb. 53: Vergleich der solaren Energiegewinne mit den Lüftungswärmeverlusten



Abb. 55: Gemeinschaftlicher Trockenraum im Erdgeschoss



Abb. 56: Lampenanschlussmöglichkeit in der Decke

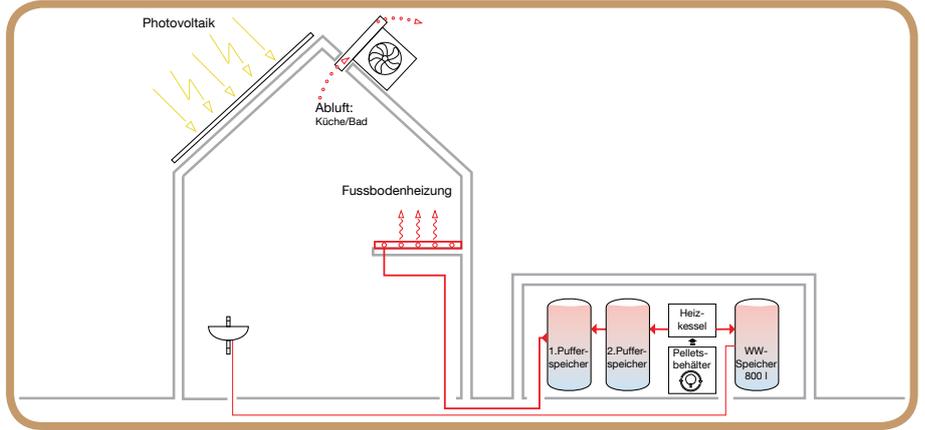


Abb. 54: Schematische Darstellung der Wärmeerzeugung, -speicherung und -übergabe sowie der Lüftungsanlage

Die Fenster sind relativ schmal, aber in den Wohn- und Schlafräumen bodentieft ausgeführt. Die nahezu blickdichten Brüstungen der Balkone verringern die solaren Energiegewinne zusätzlich.

Sommerlicher Wärmeschutz

Ost-west-orientierte Gebäude mit einer geringen Speichermasse verstärken prinzipiell das Überhitzungsproblem.

Die auskragenden, durchlaufenden Balkone des Ansbacher Konzeptes dienen als alleinige bauliche Verschattung. Diese Art des Sonnenschutzes ist jedoch nur bei südorientierten Gebäuden bei ausreichender Auskragung wirkungsvoll. In ost-west-orientierten Gebäuden sollte dies mit einem beweglichen Sonnenschutzsystem ergänzt werden. Insgesamt weist das Gebäude für einen Holzbau eine sehr hohe Speichermasse auf, sodass über eine erhöhte Nachtlüftung das Überhitzungsproblem im Sommer abgefangen werden kann. Dies wird auch von Mieterseite bestätigt, es gab keine Beanstandung des Wärmeschutzes im Sommer.

Gebäudehülle

Die Gebäudehülle besteht zum größten Teil aus dem Baustoff Holz. Die Außenwände sind als mit Gipskarton ver-

kleidete Massivholzwände mit außen liegender Dämmebene und Holzverschalung ausgeführt. Diese sind eine inzwischen relativ gebräuchliche Konstruktion und haben einen günstigen U-Wert von 0,152 W/m²K. Die Holzdecken gehen über die thermische Hülle hinweg in den Außenraum über. Dieser Punkt wurde aus bauphysikalischer und wärmebrückentechnischer Sicht als unbedenklich bewertet.

Das in Ansbach verwendete und sichtbar belassene Holzdeckensystem wurde mit so wenig Installation als möglich belegt. An manchen Punkten, wie z.B. bei den Deckenlampenanschlüssen, ist dies jedoch unumgänglich. Derartige massive Deckensysteme sind anders als hier realisiert auch mit Hohlräumen ausführbar, um eine vereinfachte, nachträgliche Veränderung oder Instandsetzung der Installation zu ermöglichen.

Technikkonzept

Das reduzierte und im Planungsprozess modifizierte Haustechnikkonzept sieht einen zentralen Holzpelletkessel für den Heiz- und Warmwasserbedarf vor, der beide Gebäude versorgt. Die Wärmeübergabe erfolgt über eine Fußbodenheizung, für den vorgeschriebenen Mindestluftwechsel kommt eine Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung zum Einsatz.



Abb. 57: Blick von der Straße auf die Heizzentrale

Heizung

Im südlichen Verbindungsbau zwischen den beiden Wohnhäusern befindet sich die Heizzentrale sowie das Pelletslager, das gut von der Straßenseite aus befüllt werden kann. Der Lagerraum hat eine Größe von ca. 75 m³ und wurde von Juni bis Dezember dreimal mit je 10 t Pellets befüllt. Der Leistungsbereich des Pelletkessels liegt je nach Wärmebedarf zwischen 24 und 100 kW. Es werden zwei Pufferspeicher mit je 1.500 l Volumen sowie ein Warmwasserspeicher mit 800 l Inhalt gespeist.

Von der Heizzentrale ausgehend werden im Erdboden die gedämmten Leitungen zu den beiden Häusern geführt. Die Verteilleitungen befinden sich im Bodenkanal unterhalb der Erdgeschossbodenplatte (s. Abb. 58) und werden hier horizontal verteilt.

Über jeweils sechs vertikale Schächte pro Haus werden die Leitungen in die höheren Etagen geführt. In den Wohnungen selbst wurde darauf geachtet, dass es stets nur eine Installationswand gibt. Somit teilen sich, abhängig von der Wohnungsgröße, entweder zwei Wohnungen eine Installationswand zum Badezimmer hin oder Küche und Bad einer großen Wohneinheit liegen nebeneinander.

Die Wohnungen sind mit einer Fußbodenheizung ausgestattet und können über einen Drehregler mit den Stufen 0 bis 6 eingestellt werden. Die Bedienbarkeit wird von den Bewohnerinnen und Bewohnern als positiv bewertet, eine Ansteuerung mit konkreten Temperaturangaben, wie es in der Beratung vorgeschlagen wurde, würde für die Nutzer aber weniger abstrakt wirken. Alle Haushalte geben



Abb. 58: Bodenkanal unter der EG-Bodenplatte



Abb. 59: Installationswand im Bad



Abb. 60: Aufbau der Gebäudewände



Abb. 62: Pelletlager



Abb. 63: Verlegte Schläuche für die Fußbodenheizung



Abb. 61: Fenster mit Überströmöffnung

an, dass sie ihrem Empfinden nach relativ spät oder gar nicht die Heizung anstellen mussten. Allerdings variieren die Aussagen zu Beginn und Ende der Heizperiode sehr stark und widersprechen den Verbrauchsdaten deutlich (s. Abb. 65).

Lüftung

In der Wohnanlage sind in allen Fenstern Überströmöffnungen integriert, die in Kombination mit einer Abluftanlage den Mindestluftwechsel sicherstellen. Dieser wird im Bereich der Küche sowie der Bäder mit einem Volumenstrom von 30 m³/h abgesaugt. Lobenswert ist die Umsetzung eines zusätzlichen Schalters in den Küchen und Bädern, der es ermöglicht, den Volumenstrom für eine gewisse Zeit zu verdoppeln. Bei hohen olfaktorischen Belastungen oder hoher Luftfeuchte ist dies hilfreich, um die verbrauchte bzw. feuchte Luft schneller aus dem Raum zu transportieren. Da es sich um eine reine Abluftanlage handelt, besteht allerdings keine Möglichkeit, die dem Raum entzogene Wärme über eine Wärmerückgewinnung erneut zu nutzen.

Die Mehrheit der Befragten bezeichnete die Lüftungsanlage als gut oder sehr gut, Zugluft wird nicht kritisiert, mehrfach jedoch die Geräuschbelastung. Die Möglichkeit einer Zu-

satzlüftung in den Nassräumen wird überwiegend genutzt. Insgesamt wird die Technikanlage von 21 der 22 Befragten als ihren Bedürfnissen entsprechend bewertet.

Im Sommer bzw. bei schönem Wetter mit angenehmer Temperatur öffnen etwa die Hälfte der Befragten ihre Fenster längere Zeit, im Winter bzw. bei niedrigen Temperaturen beschränken sie sich auf Stoßlüften von 5 bis 20 Minuten. „Längere Zeit“ bedeutete für einen Haushalt 30 bis 60 Minuten, für andere, dass die Fenster den „ganzen Tag“ oder „immer offen“ seien. Auch das Stoßlüften unterscheidet sich in der Häufigkeit und Dauer.

Die überwiegende Mehrzahl bewertete das Raumklima und auch die Qualität der Raumluft als sehr gut oder gut. Einige wenige Haushalte bemängelten, dass die Luft insbesondere im Winter zu trocken sei.

Verbrauchswerte

Die Anlagentechnik verfügt über einen Online-Zugang zur Überwachung der Anlagentechnik und zur Datenübertragung für die Auswertung. Da es anfänglich Probleme mit der Einrichtung gab, liegen die monatlichen Verbräuche erst ab März 2014 vor. Dabei unterscheiden die Verbrauchsdaten zwischen der gesamten, vom Pelletkessel

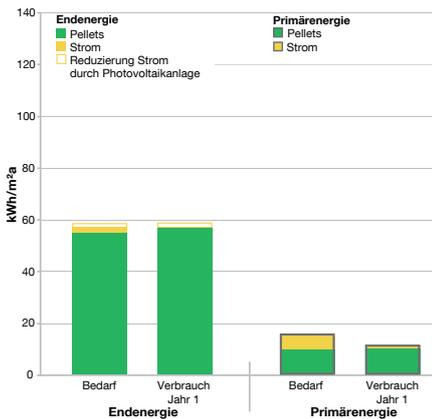


Abb. 64: Gegenüberstellung von Bedarf und Verbrauch

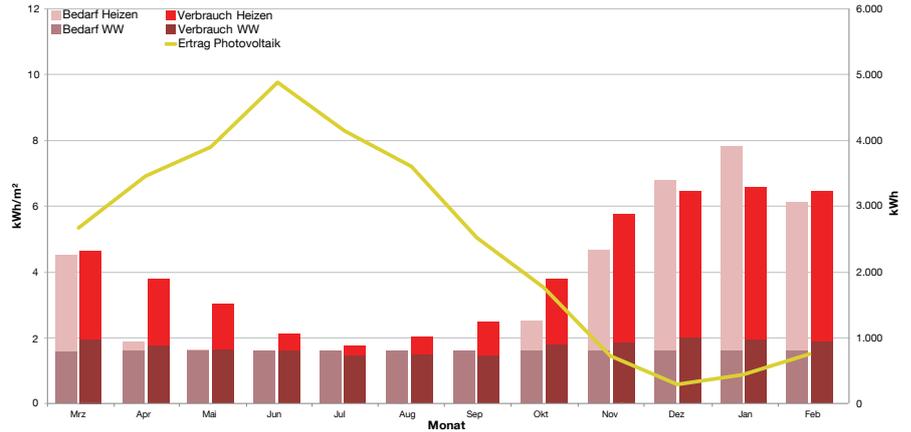


Abb. 65: Monatlicher Vergleich von Bedarf und Verbrauch an Heizenergie und Warmwasser sowie PV-Ertrag von März 2014 bis Februar 2015

produzierten Wärmeenergie sowie dem Wärmeverbrauch für Heizenergie und Warmwasser. Diese Daten wurden mit den Pelletliefermengen überlagert, um den Endenergieverbrauch bestimmen zu können und sind witterungsbereinigt.

Es ergibt sich ein jährlicher Endenergieverbrauch an Wärme von 57,4 kWh/m²a. Dieser Wert ist nur um 4 % höher als der berechnete Bedarf. Dabei liegt der konstante Verbrauch für Trinkwarmwasser mit 20,8 kWh/m²a im Bereich der Bedarfsrechnung, der Heizenergieverbrauch übersteigt den Bedarfswert um ca. 20 %. Während im Dezember und Januar weniger Wärme benötigt wurde als angenommen, liegen in den Monaten März bis Oktober die Verbräuche teilweise deutlich höher. So ist beispielsweise der Heizbedarf für April nur noch mit 0,3 kWh/m² gesetzt, tatsächlich verbraucht wurden witterungsbereinigt aber 2,0 kWh/m². Auch in den Sommermonaten zeigt sich ein durchgehender Heizwärmeverbrauch.

Der Stromverbrauch der Hilfsenergie konnte ebenfalls aus dem Online-Zugang erhoben werden. Für die Ermittlung des Stromverbrauchs der Abluftanlage wurden dabei die Werte von drei aufgeschalteten Wohnungen auf die gesamte Wohnungsanzahl hochgerechnet. Da-

raus ergibt sich ein Verbrauch von 1,4 kWh/m²a, zudem addieren sich noch 0,7 kWh/m²a für die Hilfsenergie der Anlagentechnik. Dieser Wert liegt deutlich unter dem Bedarf von 2,7 kWh/m²a. Die auf dem Dach installierte PV-Anlage (s. Abb. 161) hat eine Gesamtfläche von ca. 200 m² mit einer Leistung von 29,4 kW_p. Sie konnte den anfallenden Verbrauch der Hilfsenergie bis auf die beiden Monate Dezember und Januar vollständig decken. Somit reduziert sich der auf die Endenergie angerechnete Stromverbrauch auf 0,2 kWh/m²a. Auf das ganze Jahr gerechnet konnten ca. 29.300 kWh Strom erzeugt werden.

Die sinnvolle Kombination aus Pelletanlage in Verbindung mit dem durch die PV-Anlage stark verringerten Anteil an Strom wirkt sich sehr positiv auf den Primärenergieverbrauch aus. So verbraucht das Gebäude lediglich 12,0 kWh/m² Primärenergie und unterschreitet damit die Bedarfswerte um 26 %. Dieses Ergebnis stellt den niedrigsten Wert aller evaluierten Projekte dar.

Mieterkommunikation

Alle Befragten gaben an, dass sie durch die Wohnungsgesellschaft über die energiesparende Bauweise und Technik der Wohnungen bzw. des Hauses informiert wurden. Die

meisten fanden die erhaltenen Informationen zur Lüftungsanlage und zur Bedienung der Fußbodenheizung nützlich und zufriedenstellend. Es gab aber auch Meinungen, dass die Information im Schnelldurchlauf und zu knapp gewesen sei.

Einige zogen zusätzliche Informationsquellen heran, wie Informationen über die Wohnanlage im Internet oder auch das Mieterinformationsblatt. Nicht alle Befragten hatten es zum Zeitpunkt der Befragung, die relativ kurz nach dem Einzug erfolgte, erhalten.

Alle Befragten gaben an, dass es kein Problem sei, sich bei eventuellen Fragen an die Joseph-Stiftung zu wenden und mehrere erwähnten ausdrücklich, dass der zuständige Mitarbeiter sich schnell und zügig um ihre Anliegen kümmere.



Abb. 66: Ost-Fassade mit Aufgang zur Laubengerschließung im gemeinschaftlichen Innenhof

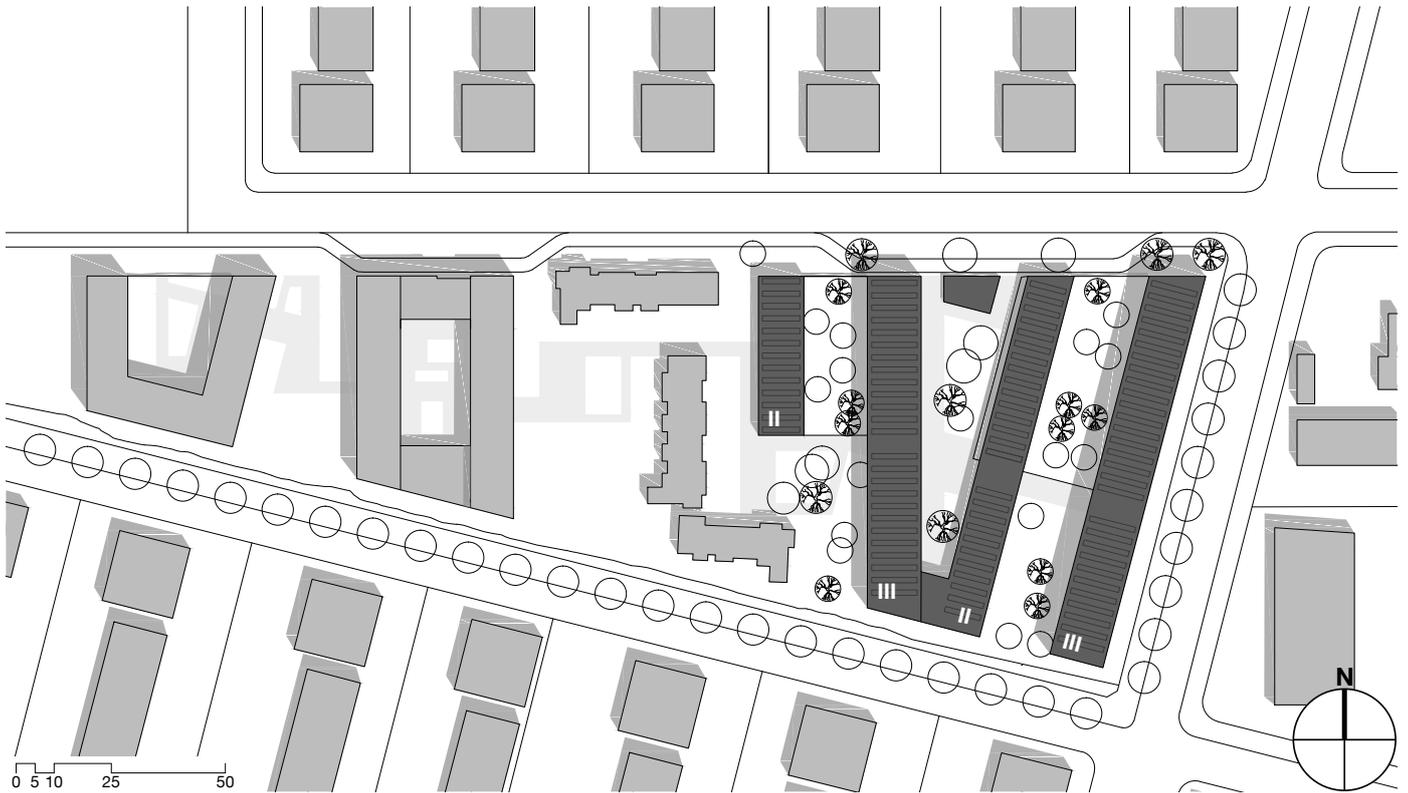


Abb. 67: Lageplan

Neubau

Standort

Albertus-Magnus-Straße 1-7
Ingolstadt

Bauherr

St. Gundekar-Werk Eichstätt
Wohnungs- und Städtebaugesellschaft mbH, Schwabach

Architekten

bogevischs buero architekten & stadtplaner GmbH, München
Seibold + Seibold Architekten und Ingenieure, Eichstätt (Bauleitung)

HLS

TB Stampfer Ingenieurbüro für Gebäudetechnik, Salzburg

Bauzeit

Juni 2011 - Juli 2012

Wohneinheiten 81 Wohnungen

Nutzfläche A_N 7.378 m²

Konstruktion

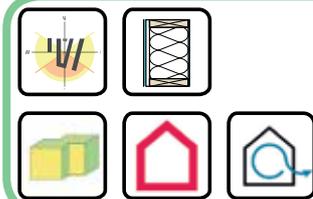
Massivholzwand + Stegträger mit Holzfaser-Einblasdämmung
Holzfenster mit Dreischeibenisolierverglasung
Decke aus BSH-Träger und Dreischichtplatten + Wärmedämmung
Bodenplatte Beton + Perimeterdämmung

Haustechnik

Solarthermische Anlagen mit Pufferspeicher
Fernwärme
Radiatoren
zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

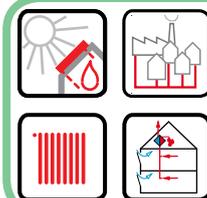
Transmissionswärmeverlust

0,27 **-46%**
W/(m²K) EnEV 2009



Primärenergiebedarf

8,9 **-87%**
kWh/m²a EnEV 2009



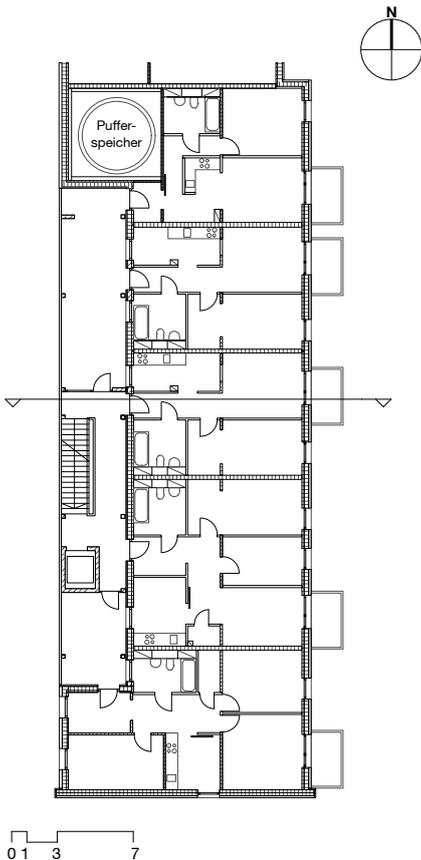


Abb. 68: Teilausschnitt Grundriss Regelgeschoss

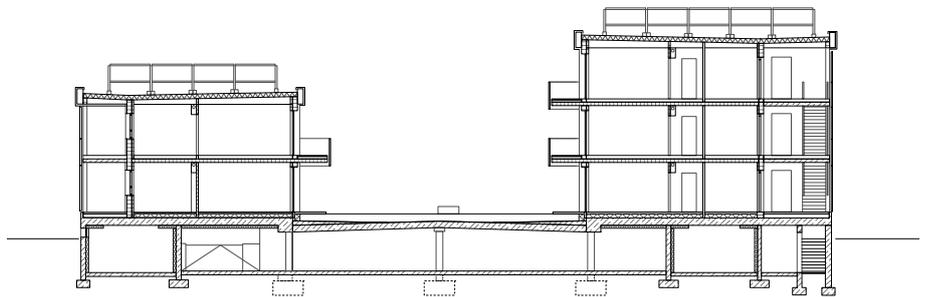


Abb. 69: Querschnitt durch zwei Baukörper

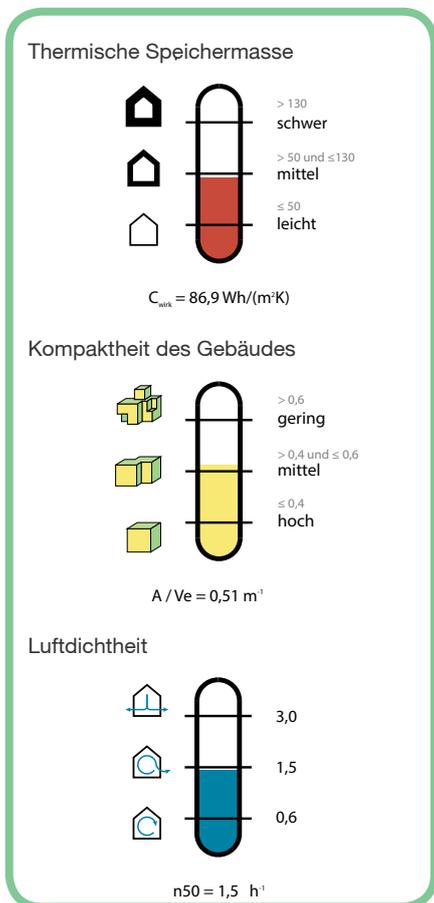


Abb. 70: energetisch relevante Eigenschaften

Die Nutzung lokaler, regenerativer Energiepotenziale mit einer Spitzenlastdeckung durch das bestehende Fernwärmenetz in Kombination mit einer solaren Optimierung waren die energetischen Eckpunkte des Wettbewerbsbeitrags in Ingolstadt.

Gebäudekonzept

Das Bauteil 1 des Projekts in Ingolstadt-Hollerstauden wurde von bogenvischs büro als möglichst energieautarke Großform entworfen. Die städtebauliche Geste mäandrierender Baukörper erzeugt eine spannende Differenziertheit zwischen privaten Grünräumen und öffentlichen Erschließungshöfen. Der „Energiebügel“ überspannt als skulpturale Dachhaut das Gebäude. Dieses prägnante Dach beherbergt die Solarthermieanlagen und schafft damit auf sehr plakative Weise ein Bild der Kombination von energieeffizienter Gebäudetechnik und qualitativ hochwertigem Wohnungsbau.

Die Erschließung der Wohnungen erfolgt jeweils über großzügig dimensionierte Laubengänge, die auch als Frühstücksbalkon genutzt werden können. Während Küchen und Bäder zum Laubengang orientiert sind, öffnen sich die Wohn- und Schlafräume zu den grünen Höfen.

Systemgrenze

Die Kompaktheit der Baukörper ist, bedingt durch die gestreckte und verwinkelte Form sowie die teilweise vorhandene Zweigeschossigkeit, mit $A/V_e = 0,51 \text{ m}^{-1}$ relativ schlecht. In Anbetracht dessen ist die Abkopplung der Laubengangerschließung und die Herausnahme der Balkone aus der thermischen Hülle eine energetisch gute Entwurfsentscheidung.

Im Schnitt lässt sich die klare Trennung tatsächlich beheizter Wohnfläche von unbeheizten Erschließungszonen und der Tiefgarage ablesen und damit die eigentliche Kompaktheit gut erkennen.

Solare Energiegewinne

Neben der Vermeidung von Wärmeverlusten kann ebenso durch eine gute Ausschöpfung der solaren Energiegewinne der Energiebedarf gesenkt werden. In Folge des nur durchschnittlichen A/V_e -Verhältnisses mussten die Transmissionswärmeverluste minimiert werden. Da die Qualität der Dämmmaßnahmen nicht dem angestrebten Passivhausniveau entsprach, wurden über eine Verringerung des Fensterflächenanteils auf 16 % zusätzliche Verluste abgefangen.



Abb. 71: Aufsicht auf den sogenannten Energiebügel mit Lüftungs- und Solarthermieanlage

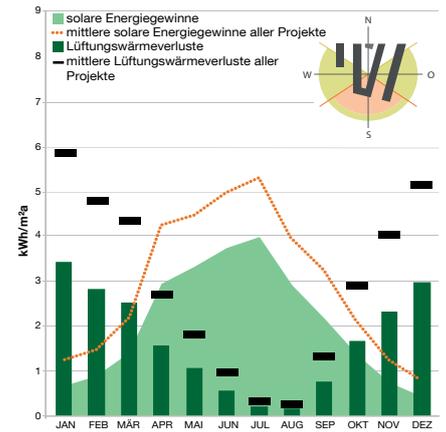


Abb. 72: Vergleich der solaren Energiegewinne mit den Lüftungswärmeverlusten

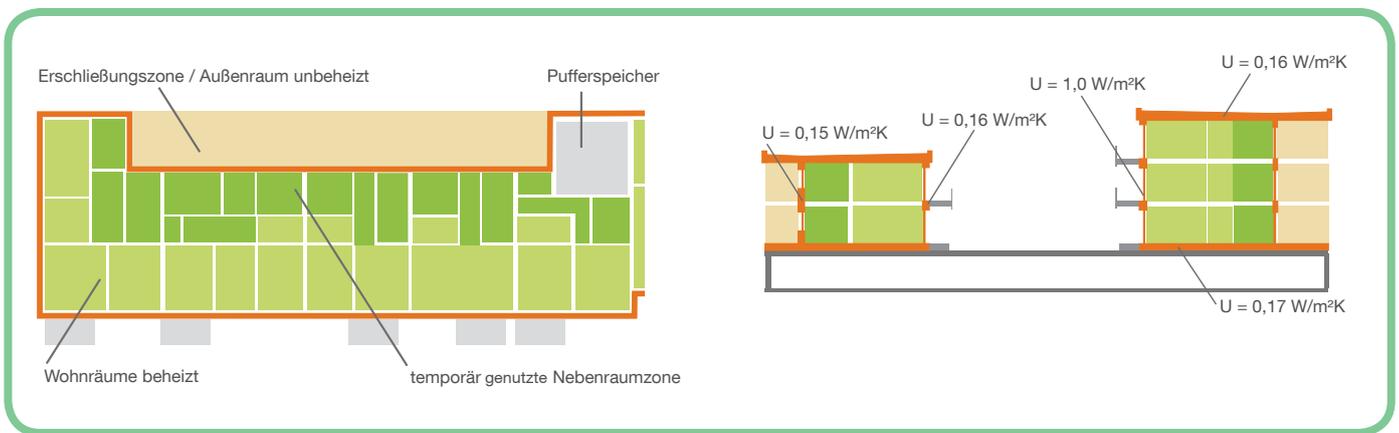


Abb. 73: Raumzonen und Klimagrenzen

Die dem Laubengang zugewandten Fenster sind zum Schutz der Privatsphäre uneinsichtig und klein dimensioniert.

Die weiten Auskragungen der Deckenplatten unterbinden auf den Ostseiten die Ausschöpfung passiver solarer Gewinne. Zum Schutz der Privatheit in Richtung der Frühstücksbalkone sind die Öffnungselemente nur bedingt größer zu dimensionieren. Die Ost-West-Orientierung des Baukörpers sowie der V-förmige Innenhof stehen ebenfalls dieser passiven Effizienzsteigerungsmaßnahme im Wege. Diese Voraussetzungen der Planung mussten über die Haustechnik ausgeglichen werden.

Sommerlicher Wärmeschutz

Die Behaglichkeit eines Wohngebäudes in den Sommermonaten ist stark mit der Frage des sommerlichen Wärmeschutzes verknüpft. Massive Gebäude, die eine hohe Speichermasse aufweisen, können Temperaturspitzen während der Sommermonate relativ gut puffern.

Der Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-6 spezifiziert das Bauteil 1 in Ingolstadt vor allem wegen der Massivholzwände als mittelschwere Bauart. Für einen charakteristischen Raum wurde eine wirksame Wärmespeichermöglichkeit von 86,9 Wh/(m²K) angenommen.

Die Gebäudeseiten, die nicht durch die Auskragung des Laubengangs verschattet werden, sind durch textile Raffstoren geschützt.

Gebäudehülle

Ein großes Augenmerk lag beim architektonischen Entwurf und der Errichtung dieses Gebäudekomplexes auf dem Baustoff Holz. Die starke Dämmung der Hülle musste hierbei die Auswirkungen der Ost-West-Orientierung abfangen. Die erreichten U-Werte sind in Anbetracht der Zielsetzung eines nahezu Passivhausgebäudes relativ schlecht.

Beispielweise wurden die äußeren Wände aus einer 9,5 cm dicken Massivholzwand mit 24 cm tiefer Dämmebene in Form von Stegträgern mit Holzfasereinblasdämmung und einer Holzfasereindeckungsplatte unter der hinterlüfteten Fassade errichtet. Dies führt zu einem rechnerischen U-Wert von 0,15 W/m²K.

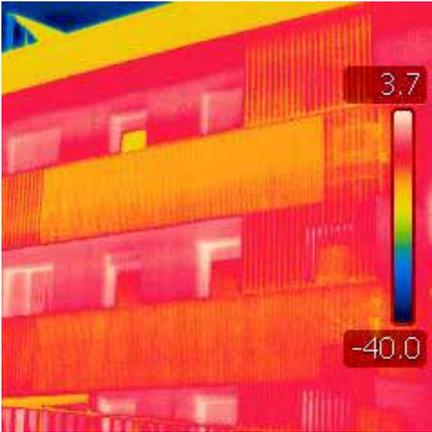


Abb. 74: Die Thermografieaufnahme zeigt keine energetischen Schwachstellen der Gebäudehülle



Abb. 75: Holzkonstruktion mit Aussparungen



Abb. 76: Holzwand im Rohbau

Qualitätssicherung

Im Rahmen des Modellvorhabens wurden während und nach Abschluss der Bauarbeiten das Erreichen der in der Planung gesteckten Ziele evaluiert. Auf der Luftdichtigkeit des Holzbaus lag dabei ein besonderes Augenmerk. Die fünfteiligen Massivholzwände sind mit einer diffusionshemmenden Dampfbremse $s_d = 100 \text{ m}$ versehen. Zu deren Schutz dient eine auf der Innenseite angebrachte Gipskartonplatte. Die Bauteilstöße sind diffusionsdicht verklebt.

An den Auflagern der Außenwände auf die Deckenplatte sind EPDM-Dichtbänder eingelegt, um Toleranzen zwischen Massivbau und Holzbau auszugleichen. Dieser Stoß wird wiederum von außen mit einer Dampfsperre überklebt.

Neben den erstellten und positiv ausgewerteten Thermografieaufnahmen zeigten die Luftdichtigkeitstests die Schwierigkeiten dieser Bauart auf. Der Luftdichtigkeitstest nach DIN 13829 wurde exemplarisch in zwei Häusern der Wohnanlage erstellt. Eine frei finanzierte Wohnung war zum Zeitpunkt des Tests bereits fertiggestellt.

Bezogen auf die DIN 4108-7 sowie auf die zum Berechnungszeitpunkt gültige EnEV 2009 darf die Luftwechselrate n_{50}

bei 50 Pascal Differenzdruck maximal $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$ betragen.

Es zeigte sich im Rahmen dieser Prüfung, dass gerade der Übergang zwischen Außenwänden und Decken besonderer Sorgfalt in der Detaillierung und Überwachung der Ausführung bedarf.

Technikkonzept

Das Technikkonzept sieht eine möglichst hohe Deckung des Warmwasserbedarfs durch solarthermische Anlagen vor. Zwei riesige Pufferspeicher dienen bei Überschuss zur Zwischenspeicherung. In der kalten Jahreszeit bzw. bei geringer solarer Einstrahlung speist die angeschlossene Fernwärme die Pufferspeicher. Durch eine zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung können Lüftungswärmeverluste in den Wohnungen gesenkt werden.

Heizung

Die konsequente Auslegung auf eine hohe Nutzung von Solarenergie steht im Mittelpunkt des Technikkonzepts. Auf beiden Häusern sind solarthermische Kollektoren mit einer sehr hohen Gesamtfläche von 862 m^2 verbaut. Zusammen mit den Elementen der Lüftungsanlage bilden sie den sogenannten Energiebügel, der die Technik

auf den Dächern der Gebäude sichtbar machen soll und vom Dach über die Seitenwänden nach unten führt. Dennoch hat die Sichtbarkeit des Energiebügels keine Auswirkungen auf den persönlichen Umgang mit Energie, zumal mehrere der Befragten ihn noch gar nicht wahrgenommen hatten. Manche sahen ihn auch als Kunst am Bau oder wissen nicht, wie der „Strich“ gelesen und interpretiert werden kann. Das sagt aber nichts über die Sensibilität gegenüber Energiesparen aus, diese ist allgemein hoch.

Die gewonnene Wärmeenergie wird in die beiden Pufferspeicher mit 143.000 l und 129.000 l Fassungsvermögen eingespeist, die als Dreischichtspeicher mit unterschiedlichen Temperaturniveaus ausgebildet sind. Sobald mehr solarer Eintrag erzielt wird, als der Speicher aufnehmen kann, soll in Zukunft das angrenzende Nachbargebäude mit der überschüssigen Wärme versorgt werden. Dies erhöht dementsprechend den Ausnutzungsgrad der solarthermischen Anlage und kann als vorbildliches Beispiel gesehen werden, auch über die Grundstücksgrenze hinaus zu denken.

Im Zuge des Monitorings wurde festgestellt, dass fast 90 % der Solarkollektoren nicht von Anfang an richtig funktionierten, hauptsächlich durch Luftblasen in den Leitungen. Des Wei-

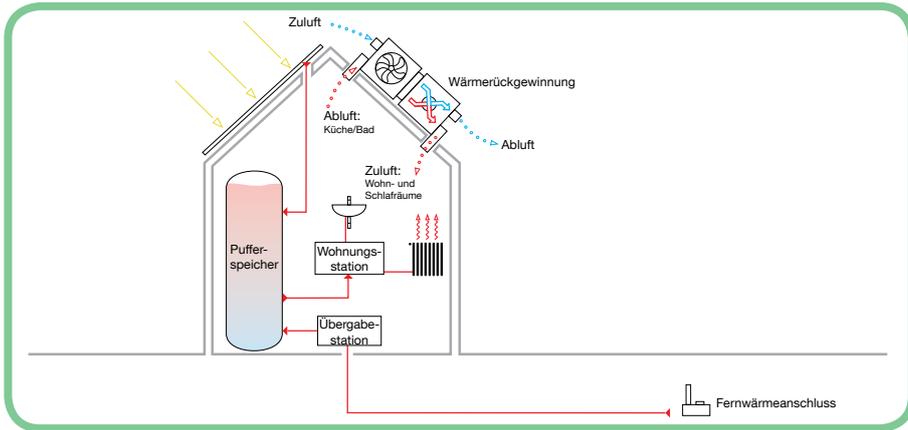


Abb. 77: Schematische Darstellung der Wärmeerzeugung, -speicherung und -übergabe sowie der Lüftungsanlage



Abb. 78: Einbau des Pufferspeichers

teren sind nachts durch fehlerhafte Fühlereinstellungen, die nicht identifiziert werden konnten, die Pumpen angesprungen und haben dadurch den Speicher ausgekühlt. Der nachträgliche Einbau von Strahlungsfühlern konnte dieses Problem lösen.

Für die Deckung von Spitzenlasten und in der kalten Jahreszeit, wenn wenig Sonnenenergie zur Verfügung steht, ist das Gebäude an das von den Stadtwerken zur Verfügung stehende Fernwärmenetz angeschlossen. Um zu große Schwankungen in den Wohnungen zu vermeiden, wurde sinnvollerweise auf eine direkte Einspeisung der Fernwärme verzichtet. Stattdessen werden die beiden Puffer mit der Vorlauftemperatur des Fernwärmenetzes gespeist, die Rücklauftemperatur ist auf 45 °C ausgelegt. Liegt die Rücklauftemperatur über diesem Wert, wird die Wärmeenergie dem Pufferspeicher solange zugeführt und somit abgeschöpft, bis sie auf 45 °C oder darunter fällt.

Vom Pufferspeicher wird das warme Wasser in dezentrale Übergabestationen in jeder Wohnung geleitet, hier erfolgt die Verteilung der Wasserversorgung einer Wohnung. Die Vorlauftemperatur des Heizkreises liegt bei 60 °C, in Zukunft ist geplant, die Vorlauftemperatur auf 55 °C zu begrenzen und damit die Effizienz weiter zu

steigern. Für die Heizwärmeübergabe kommen Radiatoren zum Einsatz, die über ein Thermostatventil leicht regelbar sind.

Die befragten Haushalte äußern sich zufrieden über das Heizsystem, die Wohnungen seien generell warm und selbst im Winter muss nicht in allen Räumen geheizt werden, was als positiv empfunden wird. Die Heizregulierung ist unproblematisch. Das allgemeine Behaglichkeitsempfinden wird kurz und bündig als „in Ordnung“ beschrieben. Es gibt aber auch vereinzelte Klagen, insbesondere dass es im Sommer häufig stickig sei und insgesamt zu trocken. Dem können hingegen andere Haushalte durchaus etwas Positives abgewinnen, da ihnen „zu feucht“ unangenehmer wäre.

Eine Alternative zu den verbauten Heizkörpern hätte eine Wärmeübergabe in Form eines Flächenheizsystems wie beispielsweise eine Fußbodenheizung sein können. Vorlauftemperaturen von ca. 35 °C reichen bei diesem System aus, um behagliche Temperaturen in den Wohnungen zu erreichen und würden die Ausnutzung der Solarthermie weiter erhöhen. Aus Kostengründen hatte man sich jedoch für die Radiatoren entschieden.

In den dezentralen Frischwasserstationen erfolgt zudem die Warmwas-

serbereitung über einen Plattenwärmetauscher, womit gleichzeitig die Legionellenbildung verhindert wird und keine Kosten durch Untersuchungen auf Mikroorganismen entstehen (s. DVGW-Arbeitsblatt W 551). Durch die Frischwasserstationen entfällt zudem die Zirkulationsleitung und unerwünschte Wärmeverluste reduzieren sich. Da diese Systeme regelmäßig gewartet werden müssen, entstehen hierdurch allerdings zusätzliche Kosten. Beim Monitoring fiel auf, dass die System-Rücklauftemperaturen anfangs deutlich zu hoch waren, was eine ineffektive Energienutzung zur Folge hatte. Es stellte sich heraus, dass mehrere Einbauteile in den Wohnungsstationen defekt bzw. falsch eingestellt waren, dies führte zu einem hydraulischen „Kurzschluss“ in der Wohnungsstation. Die defekten Teile wurden ausgetauscht, was die Gesamteffizienz der Anlage wieder deutlich steigern konnte.

Der Fokus auf die Nutzung von Solarenergie ist in Anbetracht der Auslobungsanforderungen des Bauherren und dem Anspruch des Modellvorhabens des Experimentellen Wohnungsbaus vorbildlich. Auf Grund der zeitlichen Diskrepanz von Ertrag und Verbrauch der Solarthermieanlage wäre es aber sinnvoller gewesen, einen Teil der solarthermischen Anlagen durch Photovoltaik zu ersetzen



Abb. 79: Wohnzimmer mit Heizkörper



Abb. 80: Zuluftelement

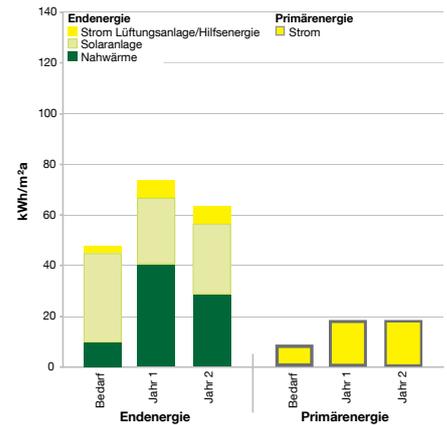


Abb. 81: Gegenüberstellung von Bedarf und Verbrauch

(vgl. S. 80). Außerdem wird darauf hingewiesen, dass eine Reduzierung des Systems auf eine reine Fernwärmeversorgung, wie sie im Neubaugebiet Hollerstauden vorliegt, grundsätzlich und ohne die erweiterten Vorgaben des Bauherren sinnvoll wäre und die Dachflächen mit Photovoltaikanlagen den Stromverbrauch der Anlagentechnik decken könnten. Wenn in Gebieten mit einem Fernwärmenetz alle Häuser eine autarke bzw. nur zu Spitzenlastzeiten benötigte Versorgung umsetzen, bleibt die zur Verfügung stehende Fernwärme ungenutzt, was ganzheitlich betrachtet die Systemeffizienz senkt.

Lüftung

Die Wohnanlage verfügt über eine kontrollierte Wohnraumlüftung, die von zentralen Lüftungsgeräten gesteuert wird. Die Luft wird über Zuluftelemente typischerweise in die Wohn- und Schlafräume eingeblasen und in den Küchen und Bädern abgesaugt. Die Lüftungsanlage ist mit einer Wärmerückgewinnung von 80 % ausgestattet, somit können theoretisch Lüftungswärmeverluste reduziert und Heizkosten eingespart werden. Da sich aber aus den Analysen der mobilen Messdaten sowie den Befragungen gezeigt hat, dass die Mieterinnen und Mieter dennoch regelmäßig auch die Fensterlüftung nutzen, wird der Wir-

kungsgrad der Wärmerückgewinnung deutlich reduziert, was sich in höheren Verbräuchen widerspiegelt. Eine detaillierte Beschreibung des Nutzereinflusses in Bezug auf Fensterlüftung bei mechanischen Lüftungsanlagen ist im Kapitel „Einfluss von Lüftungsanlagen auf den Energieverbrauch“ auf Seite 82 beschrieben.

Die Lüftungen in Bad und Küche werden von den Mietern als zufriedenstellend empfunden. Dass die Lüftungsanlage nicht steuerbar sei, wurde vereinzelt in der ersten Befragung kritisch angemerkt, scheint aber inzwischen überwiegend akzeptiert zu sein.

In der kalten Jahreszeit wird ein Nachheizregister im Lüftungsgerät aktiviert und die Zulufttemperatur konstant auf 20,0 °C reguliert, um Zugscheinungen zu verhindern. Im Sommer wird die Wärmerückgewinnung deaktiviert, sobald der Temperaturfühler der Abluft eine höhere Temperatur als die Außenluft misst. Im ersten Betriebsjahr wurde die Wärmerückgewinnung im Sommer nicht deaktiviert, so dass die heiße Außenluft in die Wohnungen gebracht wurde und diese unnötig aufheizte. Doch auch nach der Deaktivierung der Wärmerückgewinnung im zweiten Sommer wurde das Aufheizen der Wohnungen in der warmen Jahreszeit weiterhin als problematisch empfunden. Ein Mieter

erwog sogar, gegen diese „Zumutung“ eine Unterschriftenaktion zu organisieren, da eine Steuerung der Wärmewirkung im Sommer praktisch nicht möglich sei.

Verbrauchswerte

Für die Auswertung stehen monatlich erfasste Verbrauchswerte der Fernwärme sowie der solarthermischen Anlage für den Zeitraum von Mai 2012 bis Dezember 2013 zur Verfügung. Da die Messdaten zwischen Verbrauch von Heizenergie und Warmwasser nicht differenziert erfasst wurden, können diese nicht witterungsbereinigt werden. Bei den EnEV-Nachweisen, die ursprünglich noch nach der EnEV 2007 gerechnet waren, wurde bei den beiden Ingolstadt-Projekten die Deckung des Wärmebedarfs rein durch die Fernwärme angesetzt. Die Solaranlage wurde nicht in die Berechnungen aufgenommen mit der Begründung, dass beide Systeme den Primärenergiefaktor 0 besitzen. Der wissenschaftlichen Begleitung lag jedoch die vom Ingenieurbüro berechnete Prognose des jährlichen Ertrags der Solarthermieanlage vor, so dass der in Abb. 81 gezeigte Anteil der Solarthermieanlage auf den neu berechneten Wärmebedarf nach EnEV 2009 aufgeteilt werden konnte.

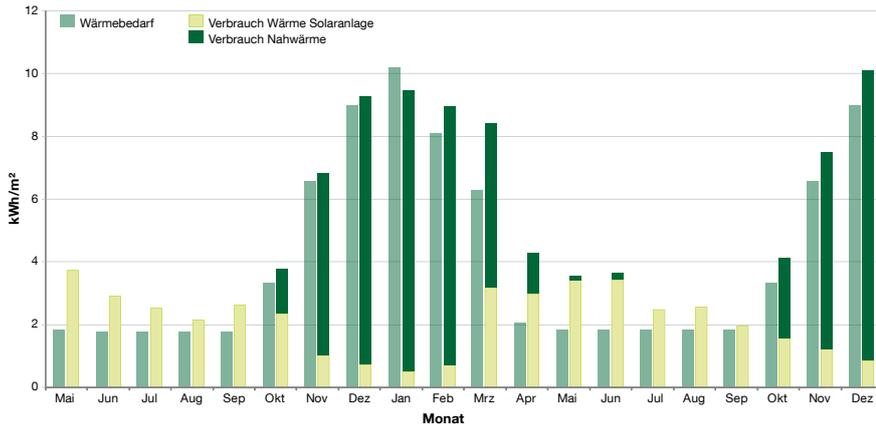


Abb. 82: Monatlicher Vergleich von Bedarf und Verbrauch an Wärmeenergie inkl. Deckungsanteil der Solarthermieanlage von Mai 2012 bis Dezember 2013

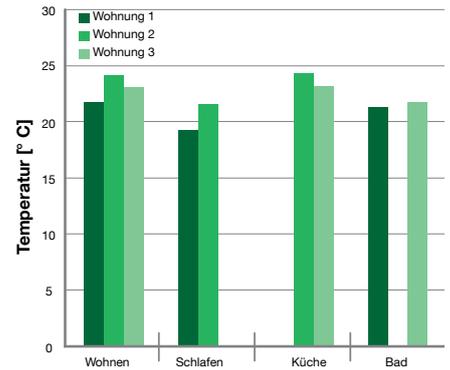


Abb. 83: Durchschnittliche Innenraumtemperaturen in den drei untersuchten Wohnungen

Um den Verbrauch von zwei ganzen Jahren zu ermitteln (s. Abb. 82) wurde Ende August 2014 nochmals der Zählerstand erfasst. Im ersten Jahr lag der Wärmeverbrauch mit $67,1 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ um 50 % über dem Bedarf von $44,8 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, zudem konnte die solarthermische Anlage nur 39 % des Wärmebedarfs decken. Nachdem mehrere Fehler in der Regelungssteuerung behoben wurden, die durch das Monitoring aufgedeckt wurden, sank im zweiten Jahr der Wärmeverbrauch um über $10 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ im Vergleich zum Vorjahr, der Ertrag der Solarthermieanlage konnte auf den sehr guten Wert von knapp 50 % gesteigert werden. Dennoch kann die erwartete Deckung der Solarthermie von 78 % am Wärmeverbrauch nicht erreicht werden (vgl. Kapitel „Nutzung solarer Gewinne durch aktive Systeme“, S. 80).

Beim Monitoring konnte auch festgestellt werden, dass der Durchfluss der Fernwärme für ca. eine Minute gestartet wurde, wenn die Temperaturfühler hinter der Übergabestation nach längerem Stillstand auskühlen, obwohl der Puffer selbst ausreichende Temperaturen ausweist. Durch diesen Regelungsfehler wurden 2.000 kWh verbraucht, eine neue Regelung korrigierte das unnötige Abrufen der Fernwärme. Des Weiteren stellte sich im Laufe des Monitorings heraus, dass es immer wieder zu plötzlichen

Ausschlägen der Temperaturfühler von Puffer, Kollektoren und Außentemperatur kam, woraufhin sämtliche Fühler ausgetauscht wurden. An diesen Beispielen ist deutlich erkennbar, dass ein umfassendes Monitoring und eine kontinuierliche Kontrolle - vor allem vor dem Hintergrund immer komplexer werdender Anlagentechnik und unterschiedlicher Systemkomponenten verschiedenster Hersteller - unumgänglich ist, um eine frühzeitige Fehlererkennung sowie eine gezielte Anlagenoptimierung zu gewährleisten.

Der Stromverbrauch von Hilfsenergie und Lüftungsanlage wurde gemeinsam erfasst, wobei der wissenschaftlichen Begleitung nur einmal der Jahresverbrauch übermittelt wurde. Dieser liegt mit $7,1 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ um 108 % über dem errechneten Bedarf. Primärenergetisch wird bei den beiden Ingolstadt-Projekten lediglich der Strom gewertet, da sowohl die Wärmeenergie der Solaranlage als auch des Fernwärmenetzes (Abwärme aus Industrieprozessen) mit dem Primärenergiefaktor null angesetzt werden. Aus diesem Grund liegt auch der Primärenergieverbrauch mit $18,4 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ um 108 % über der Prognose.

In Abbildung 82 ist der monatliche Bedarf und Verbrauch der Wärmeenergie gegenübergestellt. Es ist gut

erkennbar, dass im ersten Jahr von Mai bis September der komplette Wärmeverbrauch über die Solaranlage gedeckt werden konnte, im zweiten Jahr wurde in diesem Zeitraum das Fernwärmenetz nur minimal in Anspruch genommen, obwohl der Wärmeverbrauch in diesem Zeitraum immer über dem berechneten Bedarf lag. Im Juni 2013 konnten knapp 30.000 kWh rein über die Sonnenenergie gewonnene Wärme genutzt werden. Auch bei diesem Projekt ist erkennbar, dass in der Übergangszeit deutlich mehr Wärme verbraucht wird als berechnet. In den Wintermonaten nähert sich der Verbrauchswert den Bedarfswerten wieder mehr an, obwohl bei den Innenraummessungen in drei Wohnungen deutlich höhere Temperaturen gemessen wurden als die in den Berechnung angesetzten $20,0 \text{ °C}$ (s. Abb. 83).



Abb. 84: West-Fassade mit privaten Freiflächen, Balkonen und der solarthermischen Anlage auf dem Dach

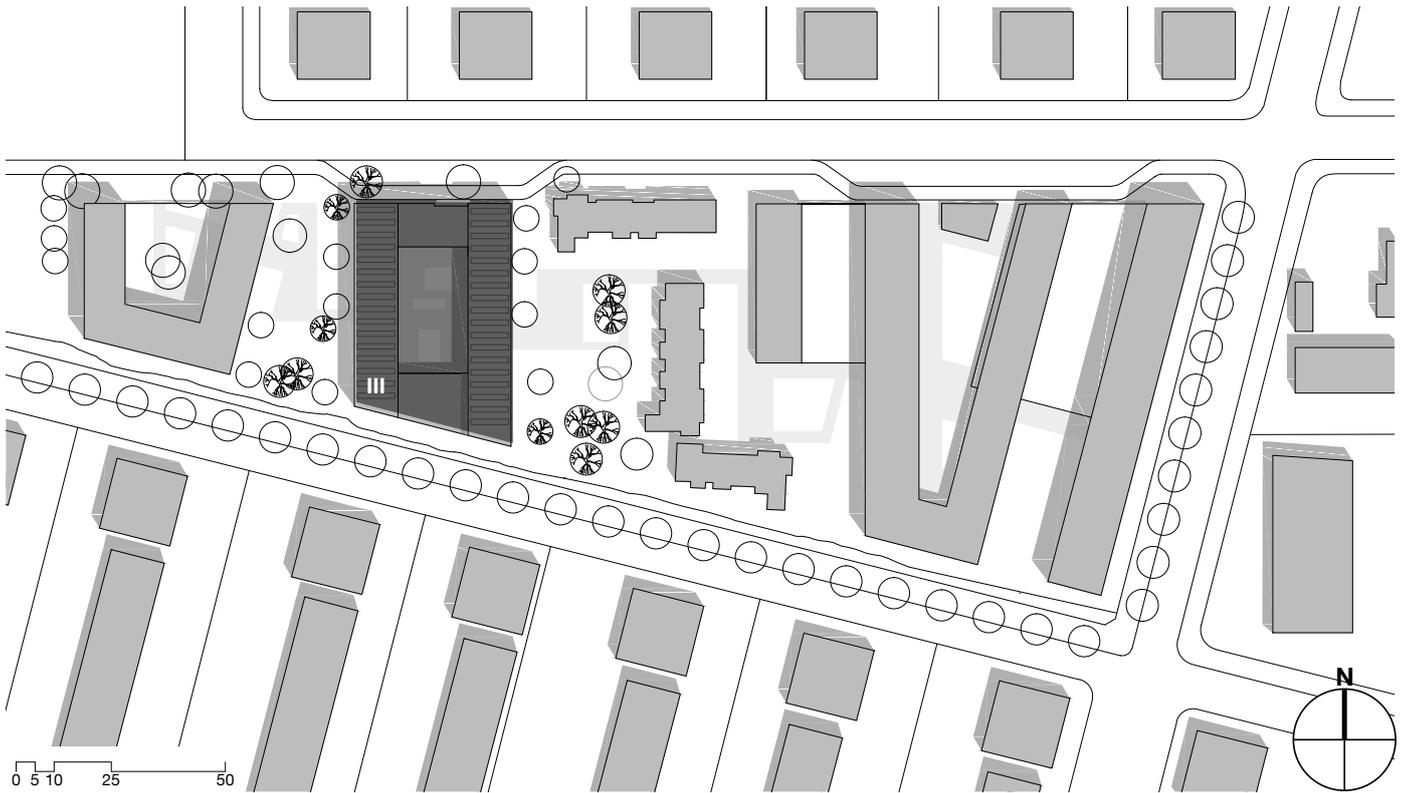


Abb. 85: Lageplan

Neubau

Standort

Albertus-Magnus-Straße 13
Ingolstadt

Bauherr

St. Gundekar-Werk Eichstätt
Wohnungs- und Städtebaugesellschaft mbH, Schwabach

Architekten

Behnisch Architekten, Stuttgart
Seibold + Seibold Architekten und Ingenieure, Eichstätt (Bauleitung)

HLS

TB Stampfer Ingenieurbüro für Gebäudetechnik, Salzburg

Bauzeit

Herbst 2009 - Herbst 2011

Wohneinheiten 35 Wohnungen

Nutzfläche A_N 2.753 m²

Konstruktion

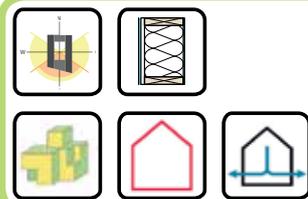
Holzrahmenbau aus Stegträgern mit Holzfaser-Einblasdämmung
Holzfenster mit Dreischeibenisolierverglasung
Brettstapeldecken mit Wärmedämmschüttung
Bodenplatte Beton + Perimeterdämmung

Haustechnik

Solarthermische Anlagen mit Pufferspeicher
Fernwärme
Radiatoren
zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

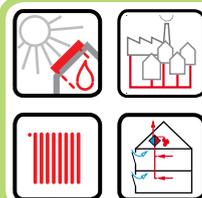
Transmissionswärmeverlust

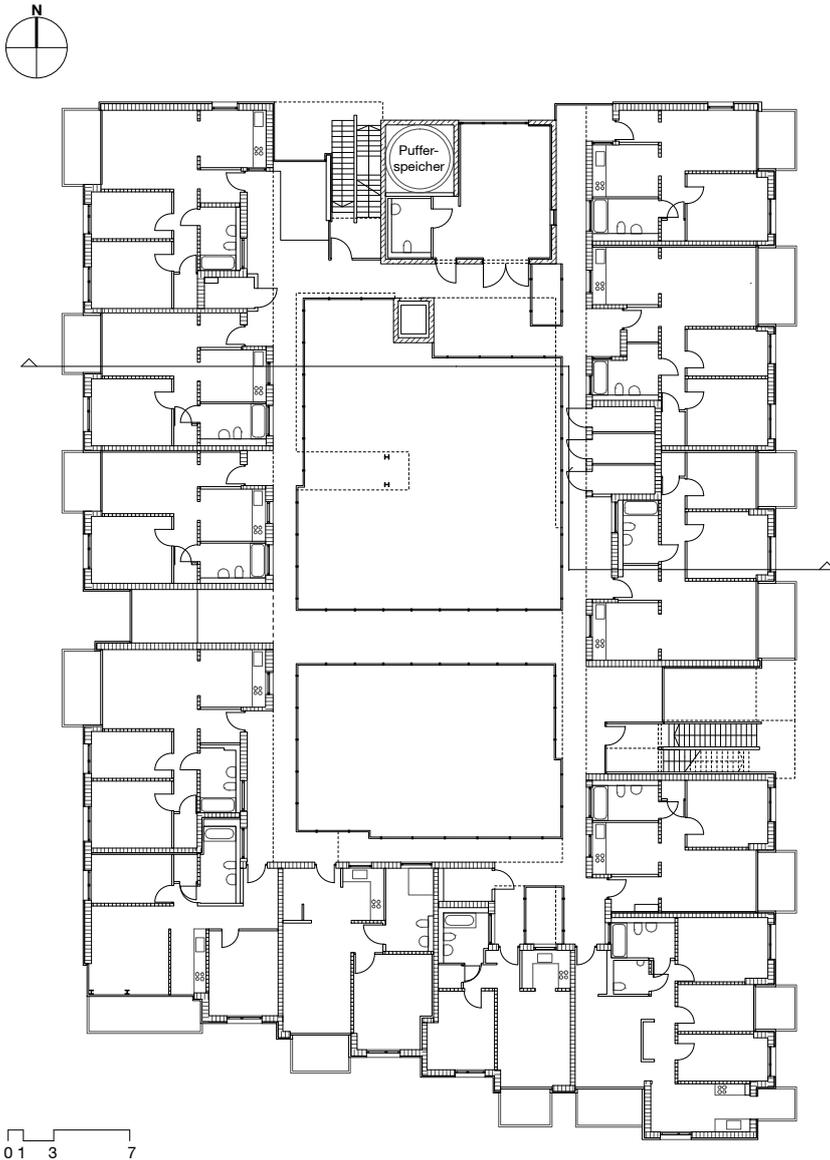
0,30 **-40%**
W/(m²K) EnEV 2009



Primärenergiebedarf

12,5 **-83%**
kWh/m²a EnEV 2009





0 1 3 7

Abb. 86: Regelgrundriss 1.OG

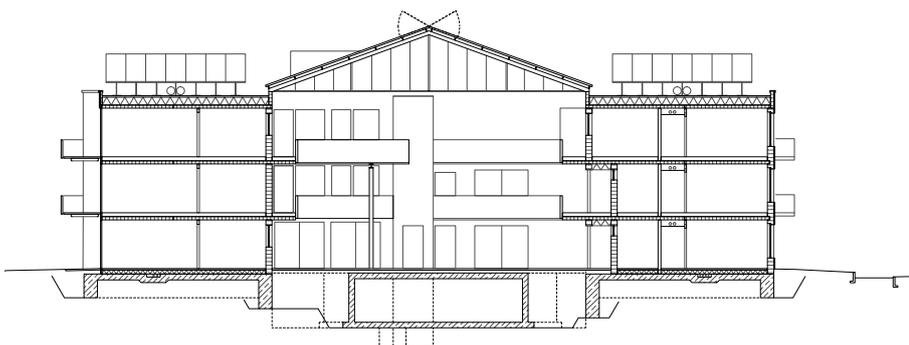


Abb. 88: Querschnitt durch das Atrium

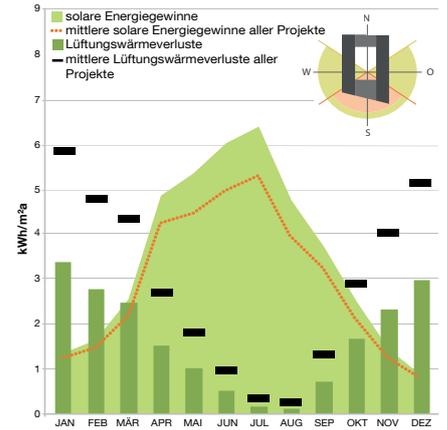


Abb. 87: Vergleich der solaren Energiegewinne mit den Lüftungswärmeverlusten

Gebäudekonzept

Das nachträglich in das Modellvorhaben aufgenommene Bauteil 2 in Ingolstadt entwickelt mit dem für den Wohnungsbau eher ungewöhnlichen Thema eines zentralen Atriums einen qualitätsvollen Gemeinschafts- und Erschließungsraum. Der überdachte Hof dient als Klimapuffer und ermöglicht z.B. im Winter die Vorerwärmung der Außenluft und damit eine geringere energetische Qualität der Fassade zum Atrium als zum Außenraum.

Das Atrium bietet einen geschützten Innenraum, der durch die mehrgeschossigen Lufträume und die umlaufenden Erschließungsbalkone im Vergleich zu mancher Laubengängerschließung den einzelnen Wohnungen eine individuelle Adresse gibt.

Jeder Wohnung ist ein eigener, vom Atrium abgewandter privater Freisitz zugeordnet. Das Bauteil 2 entspricht in seiner Schichtung dem Aufbau einer Zwiebel. Vom niedrigen Temperaturniveau des Atriums über eine Nebenraum- und Küchenzone bis zu den Wohnräumen an der Fassade ist in der Heizperiode eine leichte Steigerung des behaglichen Temperaturniveaus zu erwarten.

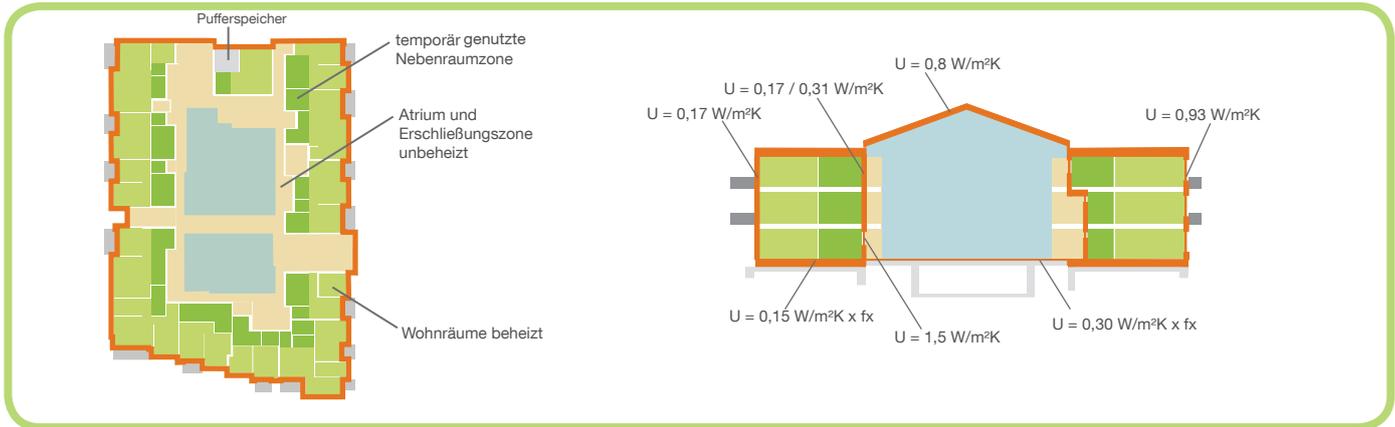


Abb. 89: Raumzonen und Klimagrenzen

Systemgrenze

Die verspielte und verschachtelte Grundrissgestaltung führt für ein Atriumgebäude zu einem relativen schlechten A/V_e -Verhältnis von $0,61 \text{ m}^{-1}$.

Der Baukörper beinhaltet zwei qualitativ unterschiedliche Dämmebenen. Die äußere Gebäudehülle weist einen sehr hohen Standard auf, während durch die stete, passive Vortemperierung des Atriums ein Abminderungsfaktor anzusetzen ist und ein deutlich geringerer energetischer Standard der Außenwände zum Atrium hin gewählt werden konnte.

Die zahlreichen Versprünge und Einschnitte der Treppenhäuser erschweren jedoch durch die Komplexität der Geometrie die Detailplanung und damit die Ausformulierung einer qualitativ homogenen thermischen Hülle.

Solare Energiegewinne

Neben den Fensterflächen, die großzügig bemessen sind, gelangt über die Verglasung des Atriums ausreichend Licht und Wärme in die Wohnungen. Das Atrium als Klimapuffer eröffnete den Architekten die entwerferische Freiheit, allseitig orientierte Wohneinheiten zu platzieren. Der Verglasungsanteil einer Wohnung konnte

so unabhängig von ihrer Orientierung identisch sein.

Sommerlicher Wärmeschutz

Die Verminderung der Sonneneinträge wurde mittels Rollläden vor allen Fenstern pragmatisch gelöst. Im Vergleich zu anderen Leichtbauten wurde in diesem Projekt mittels Radiatoren ein schneller regulierbares Heizsystem integriert. Dies wirkt sommerlicher Überhitzung entgegen.

Aus Mietersicht werden besonders die Wohnungen im oberen Stockwerk als im Sommer sehr warm bis zu warm empfunden; es sei schwierig durchzulüften.

Gebäudehülle

Die Gebäudehülle besteht aus einem Holzrahmenbau mit einer eingeblasenen Isofloc-Dämmung mit einem U-Wert der Außenwände von $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die U-Werte der Wände zum Atrium bewegen sich zwischen $0,17$ und $0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Wände entsprechen damit größtenteils dem sehr guten U-Wert der Hüllflächen, welche direkt an die Außenluft angrenzen.

Das Atrium hätte jedoch als unbeheizter Glasvorbau in die Berechnung in Form eines Korrekturfaktors mit einfließen können. Dies hätte die notwen-

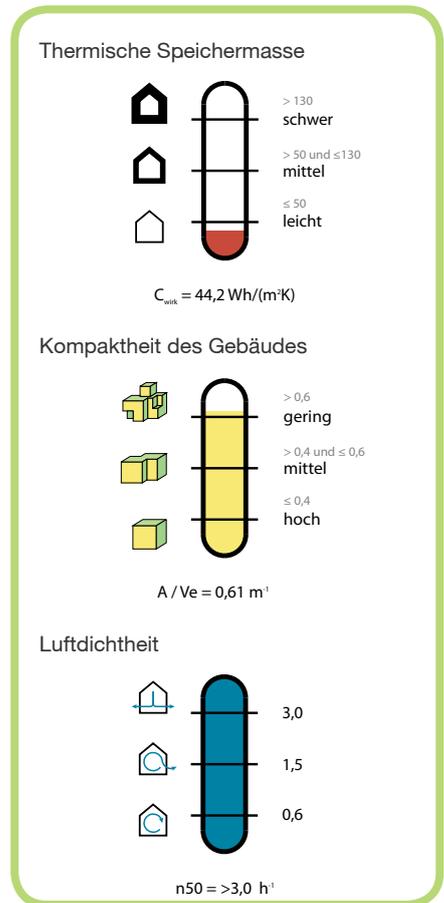


Abb. 90: energetisch relevante Eigenschaften



Abb. 91: Außenansicht von Osten



Abb. 92: Blick ins Atrium mit Erschließungsbereichen

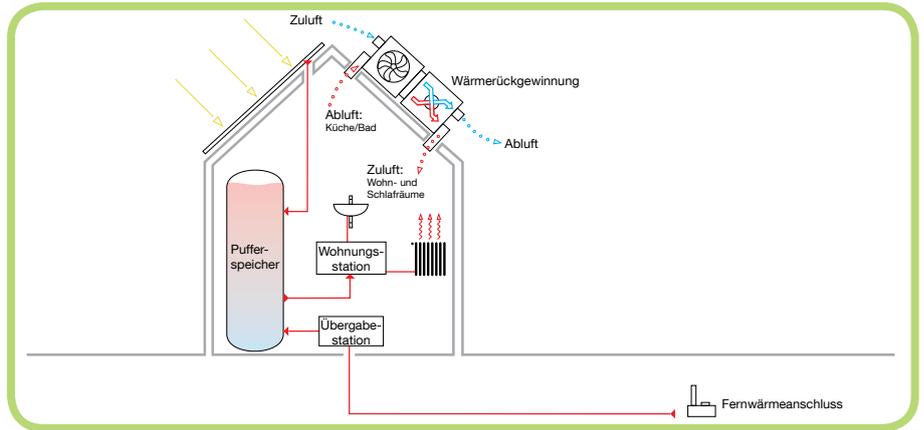


Abb. 93: Schematische Darstellung der Wärmeerzeugung, -speicherung und -übergabe sowie der Lüftungsanlage

digen U-Werte der inneren Wände ggf. deutlich reduziert.

Qualitätssicherung

Die hohen Anforderungen an die Detailplanung gerade in punkto einer Minimierung der konstruktiven Wärmebrücken waren zum Zeitpunkt des Baus noch nicht absehbar. Im Rahmen der Thermografieaufnahmen zeigten sich Qualitätsunterschiede zum eindeutig wärmebrückenarm geplanten Bauteil 1 in Ingolstadt. Der Einbau einer Lüftungsanlage bedingt prinzipiell verschärfte Anforderungen an die Luftdichtheit. Diese konnten in den gemessenen Wohnungen nicht immer eingehalten werden.

Technikkonzept

Das Technikkonzept wurde vom selben Ingenieurbüro geplant und umgesetzt wie beim Bauteil 1 in Ingolstadt, zudem war das Büro auch hier mit einem Monitoring beauftragt. Die Wärmeerzeugung, Speicherung und Übergabe sowie die mechanische Lüftungsanlage sind weitestgehend identisch. Die Unterschiede beziehen sich lediglich auf die Solarkollektorfläche, die hier nur 216 m² beträgt. Zudem gibt es nur einen Pufferspeicher, der ein Volumen von 77.000 l beinhaltet.

Da das realisierte Technikkonzept dem von Bauteil 1 entspricht, traten hier die gleichen Fehlerquellen wie Ausfall der Fühler, unkontrolliertes Nachheizen der Fernwärme, Probleme der Frischwasserstationen etc. auf. Die Erfahrungen aus dem umfangreichen Monitoring sind in der Projektevaluation „Ingolstadt Bauteil 1“ ausführlich beschrieben.

Heizung

Wärmeempfinden ist je nach Person unterschiedlich und die Frage der tatsächlichen Einstellung der Heizung wird teilweise auch von den Mitgliedern des gleichen Haushalts verschieden empfunden. Die befragten Haushalte haben zwischen Ende Oktober und Anfang November 2013 begonnen zu heizen, später als sie es sonst gewohnt waren. Sie haben keine Probleme mit der Handhabung und sind insgesamt zufrieden mit der Heizleistung.

Lüftung

Nach Anfangsschwierigkeiten und Sorgen, ob die Lüftungsanlage eventuell gesundheitsschädlich sei, sind die meisten Haushalte zufrieden mit der Lüftung und der entsprechenden Raumluftqualität. Die Befragten fühlen sich grundsätzlich wohl in ihren Räumen. Die Luftqualität wird überwiegend

als gut bis sehr gut beschrieben, nur eine Minderheit empfindet sie als zu trocken. Alle befragten Haushalte empfinden die Lüftungsanlage als so gut, dass nur wenig zusätzlich gelüftet werden muss, dennoch werden vor allem im Sommer gerne die Fenster geöffnet. Die Belüftung der Bäder wird positiv bis sehr positiv geschildert, die Entlüftung in der Küche sei manchmal nicht ausreichend.

Verbrauchswerte

Die Verbrauchswerte von Bauteil 2 unterscheiden sich von Bauteil 1. Im ersten Jahr gibt es ebenfalls zwischen September 2013 und August 2014 einen Mehrverbrauch an Wärme von 24,6 kWh/m²a (entspricht 47 %) im Vergleich zum errechneten Bedarf von 51,8 kWh/m²a. Durch die Nachbesserungen der Anlagentechnik konnte im zweiten Jahr der Verbrauch um ca. 10 kWh/m²a auf 65,1 kWh/m²a gesenkt werden und liegt damit noch um 26 % über den Bedarfswerten. Vergleicht man die monatlichen Werte, erkennt man, dass der spezifische Wärmeverbrauch in den Sommermonaten fast durchgehend doppelt so hoch liegt als in Bauteil 1, was an einem höheren Verbrauch an Warmwasser liegen könnte. Leider lagen jedoch auch hier keine getrennten Werte von Heizenergie und Warmwasser vor.

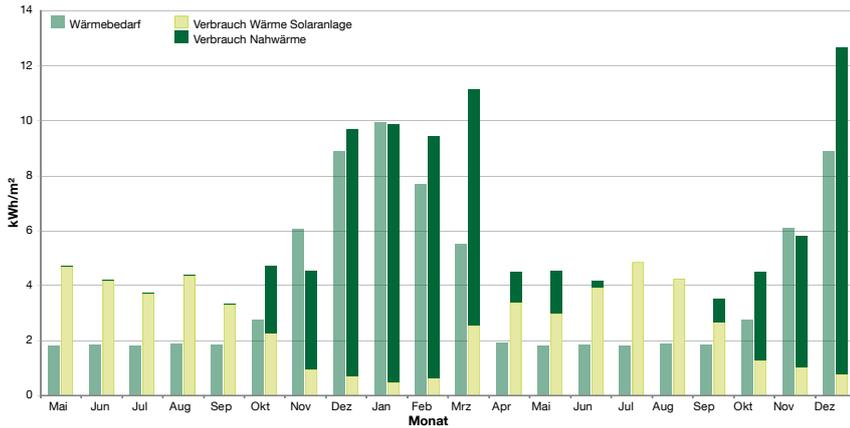


Abb. 94: Monatlicher Vergleich von Bedarf und Verbrauch an Wärmeenergie inkl. Deckungsanteil der Solarthermieanlage Mai 2012 bis Dezember 2013

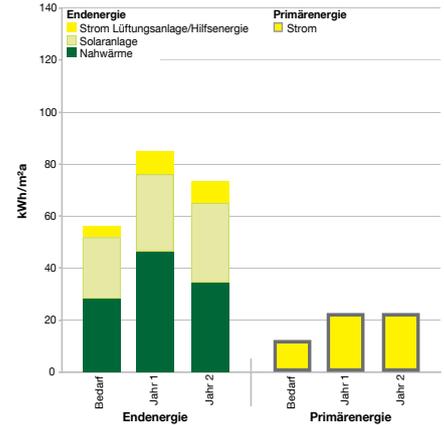


Abb. 95: Gegenüberstellung von Bedarf und Verbrauch

Dafür liegt der Deckungsanteil der solarthermischen Anlage in den zwei Jahren mit je ca. 30 kWh/m²a deutlich höher als berechnet, denn es wurde angenommen, dass ca. 24 kWh/m²a mit der Solarthermieanlage gedeckt werden können. Auch hier war der ertragreichste Monat der Juni 2013, es konnte ein Wärmeverbrauch von über 12.500 kWh gedeckt werden.

Der Stromverbrauch wurde der wissenschaftlichen Begleitung ebenfalls für den Zeitraum von einem Jahr übermittelt. Ähnlich wie bei Bauteil 1 liegt der Verbrauch hier mit 8,73 kWh/a fast doppelt so hoch wie der kalkulierte Bedarf, was sich in einem ebenfalls doppelt so hohen Primärenergieverbrauch widerspiegelt. In seiner Gesamtheit betrachtet ist ein Primärenergieverbrauchswert von 22,7 kWh/m²a aber ein guter Wert, der in diesem Fall jedoch darauf zurückzuführen ist, dass der Wärmeverbrauch wegen des Primärenergiefaktors der Fernwärme in Ingolstadt nicht mit einberechnet wird.

Mieterkommunikation

In dieser großen Wohnanlage, die aus insgesamt drei Bauteilen besteht, zogen in kurzer Zeit sehr viele Familien unterschiedlichster Herkunft und Soziallagen ein. Um die Kommunikation unter den Bewohnerinnen und

Bewohnern zu erleichtern, aber auch um mögliche Konflikte oder Missverständnisse gar nicht erst entstehen zu lassen, hat das St. Gundekar-Werk eine wichtige Initiative ergriffen und die Einrichtung einer Beratungsstelle der Katholischen Frauenarbeit im Quartier initiiert und finanziell unterstützt. Das Beratungsbüro mit Sprechzeiten und Gruppenangeboten von Gymnastik für Mütter bis zu Spielaktivitäten für Kinder verschiedener Altersgruppen befindet sich im Bauteil 2. Die Angebote werden sehr gerne von Familien mit Kindern in Anspruch genommen. Auch die Sozialberatung durch die Sozialarbeiterinnen wird hoch geschätzt.

In Bezug auf Probleme der energieeffizienten Handhabung der Technik war die Quartiersbetreuung jedoch im Allgemeinen kein Ansprechpartner. Hier wandten sich die Bewohnerinnen und Bewohner direkt an die Hausverwaltung bzw. Hausmeister. Es wurde von einigen Befragten Kritik geäußert, dass bei Schadensmeldungen in der Wohnung sehr spät oder keine Antwort gegeben werde, sodass immer wieder nachgehakt werden müsse.

Bei der dritten Befragung konnten die Befragten noch nicht wirklich absehen, wie sich die Energieeffizienz auf ihre Nebenkosten auswirkte. Auch wenn die Heizkosten relativ gering seien, empfanden sie die allgemeinen

Betriebskosten als sehr hoch, sodass die Ersparnis auf der einen Seite mit höheren Ausgaben auf der anderen Seite aufgehoben werde. Die verstärkte Beschäftigung mit Energieeffizienz führte bei einigen dazu, dass sie bewusster auf Stromersparnis achteten. Energieverschwendung in der Wohnanlage wurde bei den Lichtenanlagen, der automatischen Türöffnung oder bei Problemen mit dem Garagentor oder der Tür zum Atrium bemängelt. In welchem Verhältnis solche überschaubaren Mängel zu den erhöhten Betriebskosten wirklich standen, konnten die Befragten nicht realistisch einschätzen. Hier könnten Unzufriedenheiten durch gezielte Aufklärungsarbeit beseitigt werden.

Die Mieterinnen und Mieter beider Bauteile wurden aber auch zu verschiedenen Fragen oder empfundenen Missständen selbst aktiv. So wurden in Bezug auf die Gestaltung der Anlagen Unterschriften gesammelt, um Änderungen wie die Bestückung des Atriums mit urbaner Möblierung zu erreichen.

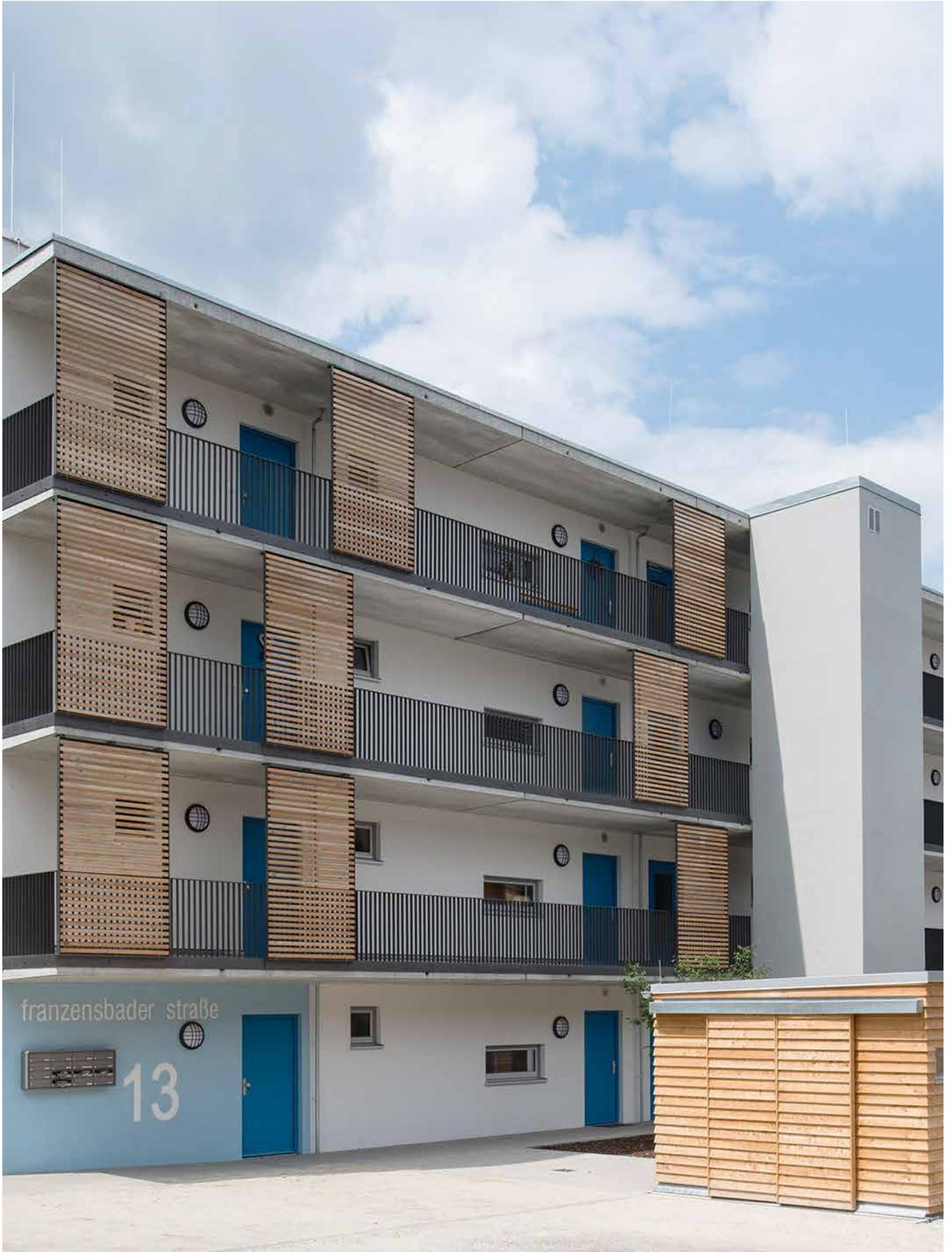


Abb. 96: Ost-Fassade mit Laubengängerschließung

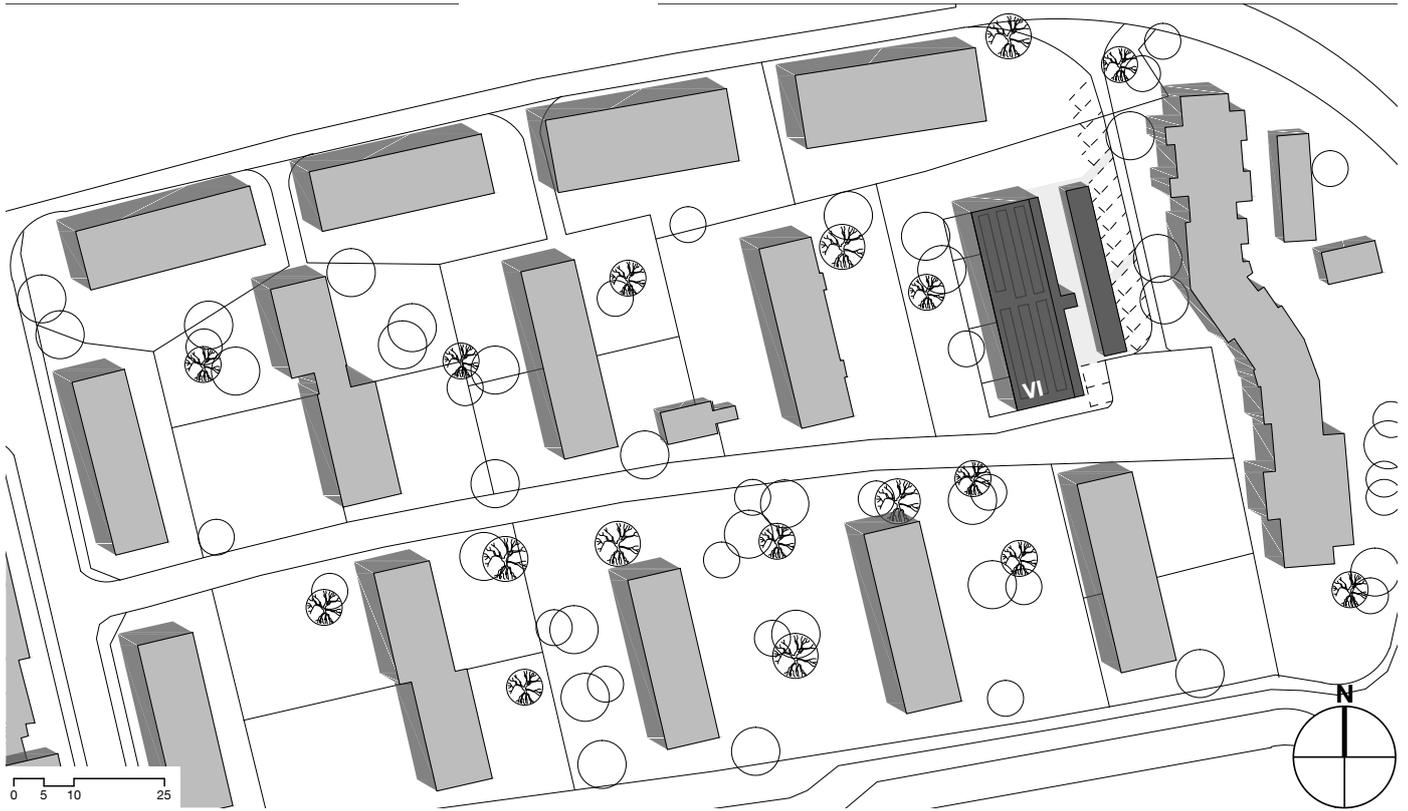


Abb. 97: Lageplan

Neubau

Standort

Franzensbader Straße 13
Marktrechwitz

Bauherr

STEWOG Stadtentwicklungs- und
Wohnungsbau GmbH, Marktrechwitz

Architekten

h.e.i.z.Haus Architektur.Stadtplanung
Partnerschaft, Dresden
Architekturbüro Sticht, Marktrechwitz
(Ausschreibung und Bauleitung)

HLS

Ingenieurbüro Dr. Scheffler & Partner
GmbH, Dresden
Ingenieurbüro I.B.I.G, Plößberg (Bau-
leitung)

Bauzeit

Mai 2012 - März 2014

Wohneinheiten 15 Wohnungen

Nutzfläche A_N 1.370 m²

Konstruktion

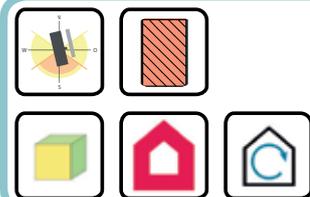
Perlitgefülltes Planziegelmauerwerk
Holzfenster mit Dreischeibenisolier-
verglasung
Betondecken mit Wärmedämmung
Bodenplatte Beton + Perimeter-
dämmung

Haustechnik

Sole-Wasser-Wärmepumpe
Gasbrennwertkessel
Radiatoren
dezentrale Lüftungsanlage mit
Wärmerückgewinnung
PV-Anlage

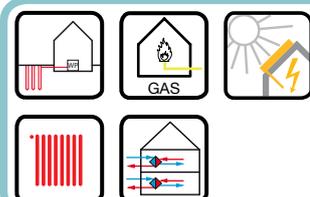
Transmissionswärmeverlust

0,30 **-40%**
W/(m²K) EnEV 2009



Primärenergiebedarf

30,4 **-49%**
kWh/m²a EnEV 2009



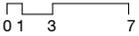
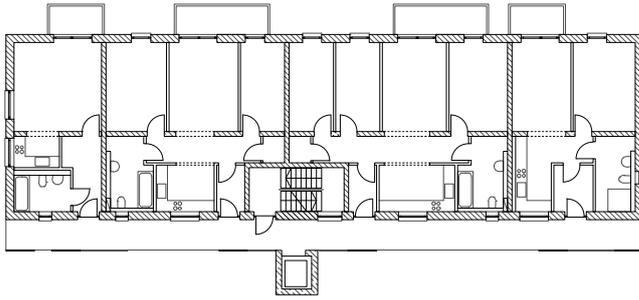


Abb. 98: Regelgrundriss 1. OG

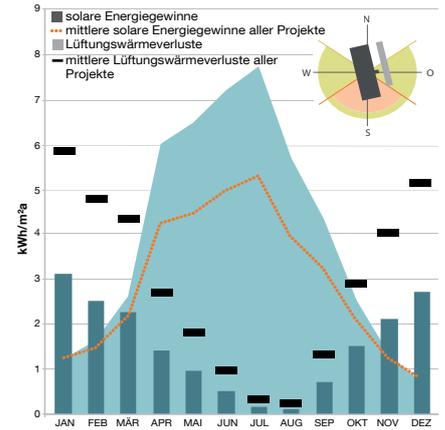


Abb. 99: Vergleich der solaren Energiegewinne mit den Lüftungswärmeverlusten

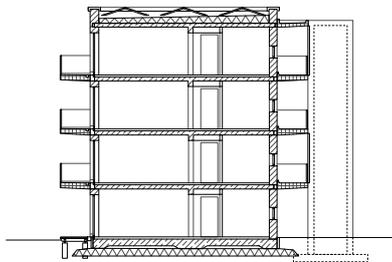


Abb. 100: Querschnitt

Gebäudekonzept

Das Marktredwitzer Modellvorhaben ist der erste Neubau dieses Wohnungsbaunternehmens seit vielen Jahren. Der ursprüngliche Gedanke einer Sanierung des bestehenden Gebäudes musste aus wirtschaftlichen Gründen verworfen werden. Es entstand ein sichtbar neuer Solitär in einem ansonsten homogenen Wohngebiet. Das Marktredwitzer Projekt überzeugt weniger durch innovative oder experimentelle Ansätze als durch sorgfältige Ausführung eines soliden und repetierbaren Gebäude- und Energiekonzeptes. Die Nutzung erneuerbarer Energien ist ganz selbstverständlich in ein schlankes Technikkonzept einbettet.

Dem schlichten Massivbau liegt mit der Erschließung über einen Laubengang im Osten und den privaten Freiräumen im Westen ein durchdachtes Gesamtkonzept zu Grunde. Die Proportionen der Wohnungen sowie die Größe der Balkone sind insgesamt auf eine gute Nutzbarkeit ausgerichtet.

Räumliche Qualität bietet im Grundriss die offene Verbindung zwischen Küche und Wohnen. Von außen ergibt sich aus dem Versatz der großen Balkone und ihren blauen Glasbrüstungen ein interessantes Fassadenspiel.

Die dezentralen, wohnungsspezifischen Lüftungsanlagen zeichnen sich in einer Abkofferung der Flurzonen in jeder Wohnung ab. Während dieser Versprung der Raumhöhen im Flur eine spannende Zäsur zwischen Raum und Erschließung darstellt, treten die Abkofferungen der Abluftleitungen in den einzelnen Wohnräumen unangenehm in Erscheinung (s. Abb. 110).

Die Idee des Wettbewerbs, den Grünraum zwischen den Wohnbauten durchfließen zu lassen, wie dies bei den Bestandsgebäuden der Fall ist, wurde leider durch die Nebenraum- und Stellplatzzone östlich des Gebäudes geschwächt. Diese Nebenraumzone ermöglicht jedoch die Einsparung eines Kellergeschosses sowie einen direkten und damit wartungsfreundlichen Zugang zur Technikzentrale im Erdgeschoß.

Systemgrenze

Die wärmetechnische Hüllfläche ist sehr kompakt um den Baukörper geführt. Sowohl in Grundriss wie auch in Schnittebene sind keine Versprünge ersichtlich. Allerdings schwächt das unbeheizte Treppenhaus, das in den Baukörper hineingezogen wurde, die scheinbar hohe Kompaktheit, das A/V_e -Verhältnisses erreicht einen Wert von $0,38 \text{ m}^{-1}$.

Thermische Speichermasse

		> 130 schwer
		> 50 und ≤ 130 mittel
		≤ 50 leicht

$C_{\dots} = 214 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$

Kompaktheit des Gebäudes

		> 0,6 gering
		> 0,4 und ≤ 0,6 mittel
		≤ 0,4 hoch

$A / V_e = 0,38 \text{ m}^{-1}$

Luftdichtheit

		3,0
		1,5
		0,6

$n_{50} = 0,56 \text{ | } 0,57 \text{ h}^{-1}$

Abb. 101: energetisch relevante Eigenschaften

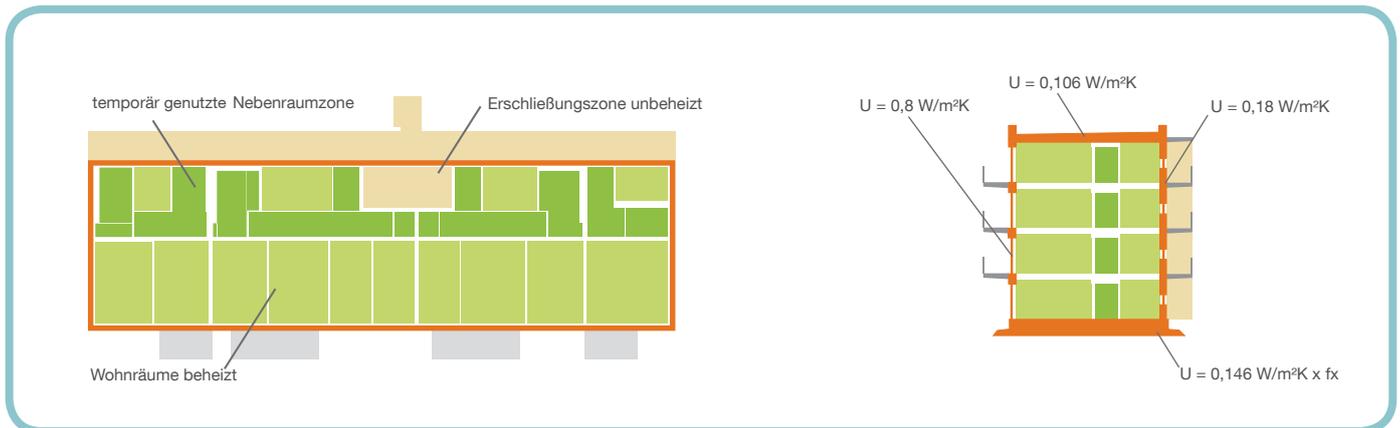


Abb. 102: Raumzonen und Klimagrenzen



Abb. 103: Gebäudeansicht von Westen



Abb. 104: Tageslichteintritt in Wohnräume

Solare Energiegewinne

Die Wohnräume sind sehr lichtdurchflutet (s. Abb. 104). Über ausreichend groß dimensionierte Fenster dringen die solaren Energiegewinne über die West-Fassade trotz weit ausladender Balkone in das Innere des Gebäudes vor. Die massive Bauweise des Gebäudes ermöglicht die Speicherung und zeitverzögerte Abgabe dieser Energiegewinne. Die Nebenraumzone im Osten kompensiert ihre Abkehr von der Sonne durch kleinere Fenster, die mit der Anforderung an die Privatheit bei einer Laubengangschließung einhergeht.

Sommerlicher Wärmeschutz

Leider blieb eine durchgängige Lösung des sommerlichen Wärmeschutzes unbeantwortet. Die weit auskragenden Balkone (Abb. 103) fangen

zwar einen Teil der Einstrahlung ab. Das aufgelockerte Fassadenbild der gegeneinander verspringenden Balkone ist jedoch dem sommerlichen Wärmeschutz nicht zuträglich und hätte den Einbau eines außen liegenden, beweglichen Sonnenschutzes notwendig gemacht. Der Massivbau ist durch die erhöhte Wärmespeicherefähigkeit der Wände dieser Problematik gegenüber etwas toleranter als dies eine mittelschwere Bauweise wäre.

Auch wenn im Bezug auf die Effizienz der Anlagentechnik ein niedertemperaturisiertes Wärmeübertragungssystem sinnvoll gewesen wäre, wirkt das schnell reagierende Heizsystem einer eventuellen Überhitzungsproblematik entgegen, indem Wärmeeinträge in jeder Wohnung im Vergleich zu einer Flächenheizung schnell gestoppt werden können.



Abb. 105: Luftdichtheitsmessung

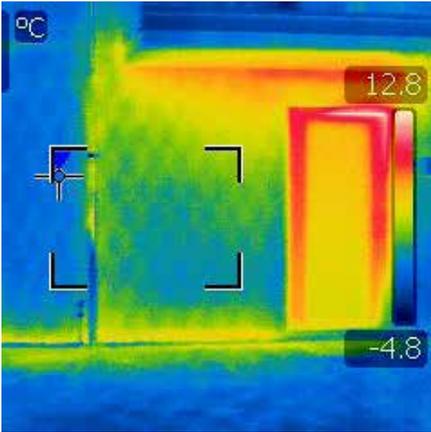


Abb. 106: Thermografieaufnahme einer Eingangstür

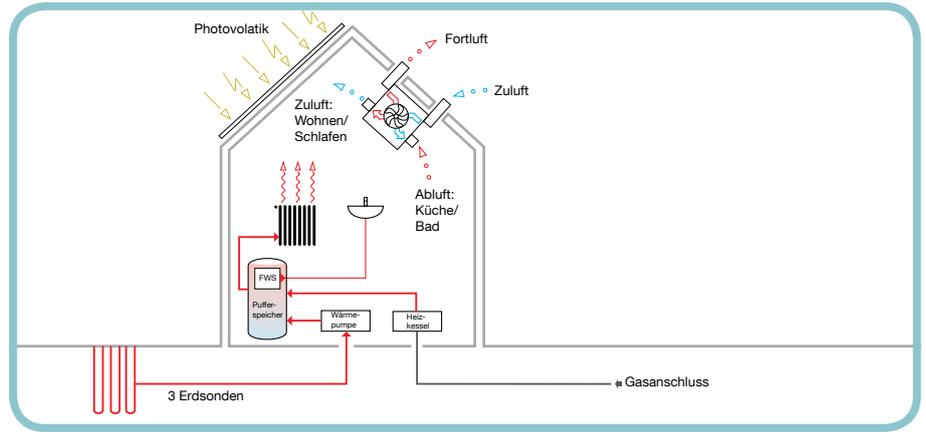


Abb. 107: Schematische Darstellung der Wärmeerzeugung, -speicherung und -übergabe sowie der Lüftungsanlage

Gebäudehülle

Der standardisierte Massivbau mit perlitgefüllten Planziegeln ist ein bauphysikalisch gut beherrschbares System, das durch die Lüftungsanlage sinnvoll ergänzt wird. Die U-Werte der Außenwände von 0,18 bis 0,20 W/m²a sind angemessen, dem Bausystem geschuldet jedoch etwas höher als bei anderen Projekten. Die Detaillierung der auskragenden Bauteile entspricht dem Stand der Technik und den Anforderungen einer minimierten Wärmebrückenwirkung.

Barrierefreiheit

Sehr positiv bewerteten alle Befragten die Barrierefreiheit im gesamten Haus, dies nütze nicht nur Rollstuhlfahrern, sondern auch Familien mit Kindern. Diese Qualität ist im Gegensatz zum umgebenden Siedlungsgebiet ein nicht zu vernachlässigender Mehrwert.

Technikkonzept

Die Wärmeerzeugung erfolgt in erster Linie mittels einer Sole-Wasser-Wärmepumpe, als Ergänzung kommt bei Spitzenlasten und zur Trinkwarmwasserbereitung zusätzlich ein Gaskessel zum Einsatz. Alle Wohnungen besitzen jeweils eine dezentrale Lüftungsanlage,

auf dem Dach ist eine großflächige PV-Anlage installiert.

Heizung

Vorbildlich in diesem Projekt ist die Nutzung von regenerativer Erdwärme in Verbindung mit einer Wärmepumpe gelöst. Insgesamt sind drei Erdsonden mit je 125 m Tiefe in die Erde gebohrt. Über eine Sole-Wasser-Wärmepumpe wird die in diesen Tiefen konstante Erdreichtemperatur von ca. 10 bis 12 °C auf die gewünschte Vorlauftemperatur von ca. 50 °C gebracht. Zur Spitzenlastabdeckung kommt ein Erdgasbetriebener Kessel mit 20 kW zum Einsatz. Dieser erhitzt zusätzlich den Speicher täglich einmal auf 70 °C, um Legionellenbildung zu vermeiden. Das tägliche Aufheizen bedeutet einen erhöhten Energieverbrauch, empfohlen wird normalerweise einmal pro Woche.

Beide Wärmeerzeugungssysteme speisen einen ca. 950 l fassenden Pufferspeicher, der eine Speichertemperatur von ca. 60 °C aufweist, darin ist eine Frischwasserstation integriert.

Bei einer Wärmequelle aus Geothermie ist ein niedertemperiertes Übergabesystem am effizientesten. Die strombetriebene Wärmepumpe arbeitet umso effektiver, je geringer der Temperaturunterschied von Quell- zu Vorlauftemperatur ist. Ein niedertem-

periertes, meist flächiges Heizsystem benötigt in der Regel eine Vorlauftemperatur von ca. 35 °C. Leider wurde im Planungsverlauf aus Kostengründen entschieden, in diesem Projekt Heizkörper zu verbauen, die eine Vorlauftemperatur von 50 °C besitzen. Die Wärmepumpe benötigt deshalb für den größeren Temperaturhub mehr Strom. Die Heizkörper sind mit einem Thermostatkopf mit den Stufen 1 bis 5 versehen und somit intuitiv zu bedienen.

Obwohl die Mieterinnen und Mieter zum Zeitpunkt der Befragung erst wenige Monate eingezogen waren, konnten sie doch schon beurteilen, dass sie im Frühjahr 2014 sehr wenig heizen mussten, anders als sie es gewohnt waren. Die Haushalte sind damit bisher zufrieden, wollten aber für eine Beurteilung erst den darauffolgenden Winter abwarten.

Lüftung

Als einziges Projekt des Modellvorhabens werden in Marktrechwitz wohnungsweise dezentrale Lüftungsgeräte verwendet, die einen dem Stand der Technik entsprechenden Wärmerückgewinnungsgrad von 80 % ausweisen. Dies hat den Vorteil, dass der Volumenstrom in jeder Wohnung individuell über ein zentrales Bedienfeld im Flur eingestellt werden kann



Abb. 108: Bedienelement der Lüftungsanlage im Flur



Abb. 109: Vertikale Leitungsverteilung im Flur vor dem Einbau der abgehängten Decke



Abb. 110: Abkoffnung für die Abluft im Schlafzimmer

(s. Abb. 108). Insgesamt kann zwischen sieben verschiedenen Lüftungsstufen gewählt werden, darunter auch die Funktion Stoßlüften und Ausschalten. Das ist in Bezug auf die Nutzerfreundlichkeit vorbildlich, denn es gibt keine Bevormundung durch eine zentrale Steuerung.

Die frische Zuluft wird über die Flure im Bereich des Laubengangs angesaugt. In der abgehängten Decke der Flure befindet sich das Lüftungsgerät, hier findet man trotz der deshalb abgehängten Decke eine ausreichende Raumhöhe vor. Die Abluft wird wie üblich in den Küchen und Bädern abgesaugt. In der Abstellkammer befindet sich die Wärmerückgewinnung, hier wird die Wärme der Abluft der Zuluft übertragen. Über einen abgekofferten Lüftungskanal in den Schlafräumen (s. Abb. 110) bzw. Bädern bei den außenliegenden Wohnungen wird die Abluft nach außen geführt. Diese Lösung ist vor allem in den Bädern durch die entstehenden Deckensprünge gestalterisch problematisch umgesetzt. Die ursprüngliche Planung von vier zentralen Abluftschächten konnte aber auf Grund von brandschutztechnischen Anforderungen und den damit einhergehenden hohen Kosten nicht umgesetzt werden. Die vorerwärmte Zuluft wird den Wohn- und Schlafräumen zugeführt. Um Kondensatbildung zu vermei-

den ist die Lüftungsanlage mit einem elektrisch betriebenen Defroster ausgestattet. Diese Nachheizung über Strom erhöht somit den Gesamtverbrauch des Gebäudes, eine Planung mit vorhandenen Wärmequellen des Gebäudes hätte eine effizientere Lösung darstellen können, zumal sich die Steigschächte der Warmwasserleitungen im selben Raum befinden.

75 % aller Haushalte wurden befragt, bis auf eine Person kommen alle gut mit der selbstregulierbaren Lüftungsanlage zurecht. Sie erfülle ihren Zweck sehr gut, die Luftqualität sei sehr gut, störende Luftzüge werden nicht empfunden. In der Regel stellen die Haushalte ihre Lüftungsanlage auf Steuerungsstufe 2 ein und verändern sie vor allem nach der Badbenutzung und während des Kochens.

Photovoltaikanlage

Auf dem Dach des Gebäudes befindet sich eine PV-Anlage, die den entstehenden Stromverbrauch der Wärmepumpe kompensiert. Die Anlage besteht aus 98 Modulen mit einer Leistung von je $250 W_p$, die im 15° -Winkel nach Osten bzw. Westen ausgerichtet sind. Somit kann zwar nicht der optimale Ertragswinkel von 30° realisiert werden, aber durch diese Wahl können geringere Abstände zwischen den Modulen eingehalten werden, da

sich die Module nicht gegenseitig verschatten. Dies führt zu einer größeren zu belegenden Fläche, insgesamt ergibt sich eine Leistung von $24,5 kW_p$. Der erzeugte Strom wird für die eigenen haustechnischen Stromverbraucher genutzt, überschüssige Energie wird ins öffentliche Netz gespeist.

Verbrauchswerte

Bis zum Redaktionsschluss gab es Probleme bei der Datenerfassung, die Wärmemengenzähler lieferten keine plausiblen Werte. Da das mit dem Monitoring beauftragte Ingenieurbüro die Fehlerquelle bisher nicht identifizieren konnte, können noch keine Aussagen zu den Verbrauchswerten getätigt werden.

Mieterkommunikation

Hierzu lagen zum Zeitpunkt der Befragung kurz nach dem Einzug noch kaum Erfahrungen vor. Der Kontakt zum zuständigen Mitarbeiter der STEWOG und die Hilfsbereitschaft bei auftretenden Fragen in der ersten Phase des Bezugs der neuen Wohnungen wurden ausdrücklich gelobt.



Abb. 111: Viergeschossiger Baukörper mit solarthermischer Anlage und Zwischenbaukörper

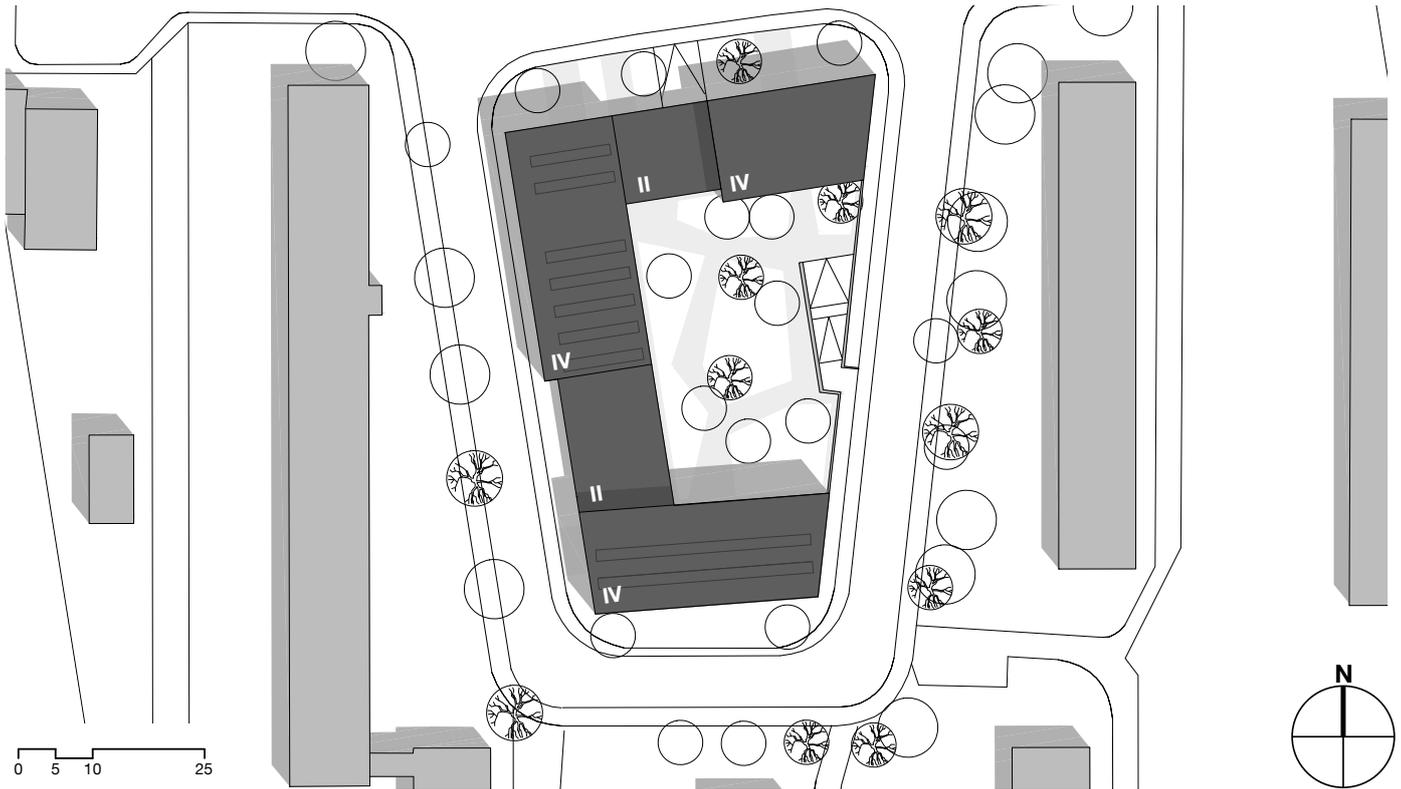


Abb. 112: Lageplan

Neubau

Standort

Agnes-Kunze-Platz 1-3
München

Bauherr

GWG Städtische Wohnungsgesellschaft München mbH

Architekten

dressler mayerhofer rössler architekten,
München
Bittenbinder und Kagerer GmbH, München
(Ausschreibung und Bauleitung)

HLS

Ingenieurbüro Lackenbauer, Traunstein
(Grundlagenermittlung)
en.eco Klaus Bundy Ingenieurbüro für
Energie- und Gebäudetechnik, München

Bauzeit

Januar 2012 - Oktober 2013

Wohneinheiten 57 Wohnungen

Nutzfläche A_N 4.998 m²

Konstruktion

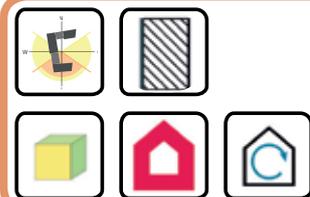
Porenbetonsteinwand verputzt
Holzfenster mit Dreischeibenisoler-
verglasung
Betondecken mit Wärmedämmung
Bodenplatte Beton + Perimeter-
dämmung

Haustechnik

Grundwasserwärmepumpe
Solarthermische Anlage
Gasbrennwertkessel
Fußbodenheizung
zentrale Lüftungsanlage mit Wärme-
rückgewinnung

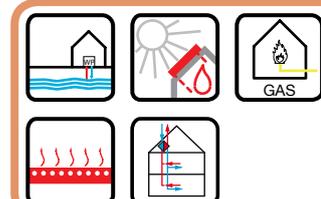
Transmissionswärmeverlust

0,26 **-47%**
W/(m²K) EnEV 2009



Primärenergiebedarf

28,8 **-51%**
kWh/m²a EnEV 2009



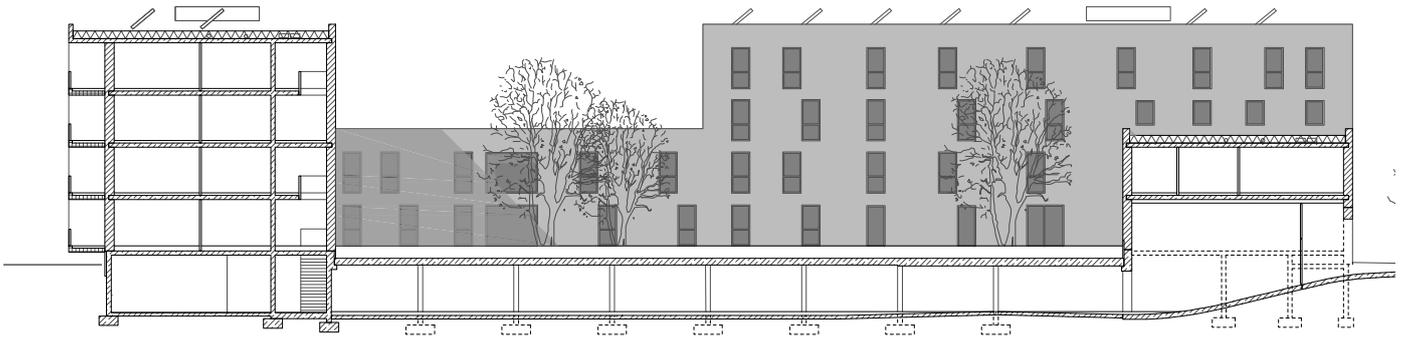


Abb. 113: Querschnitt

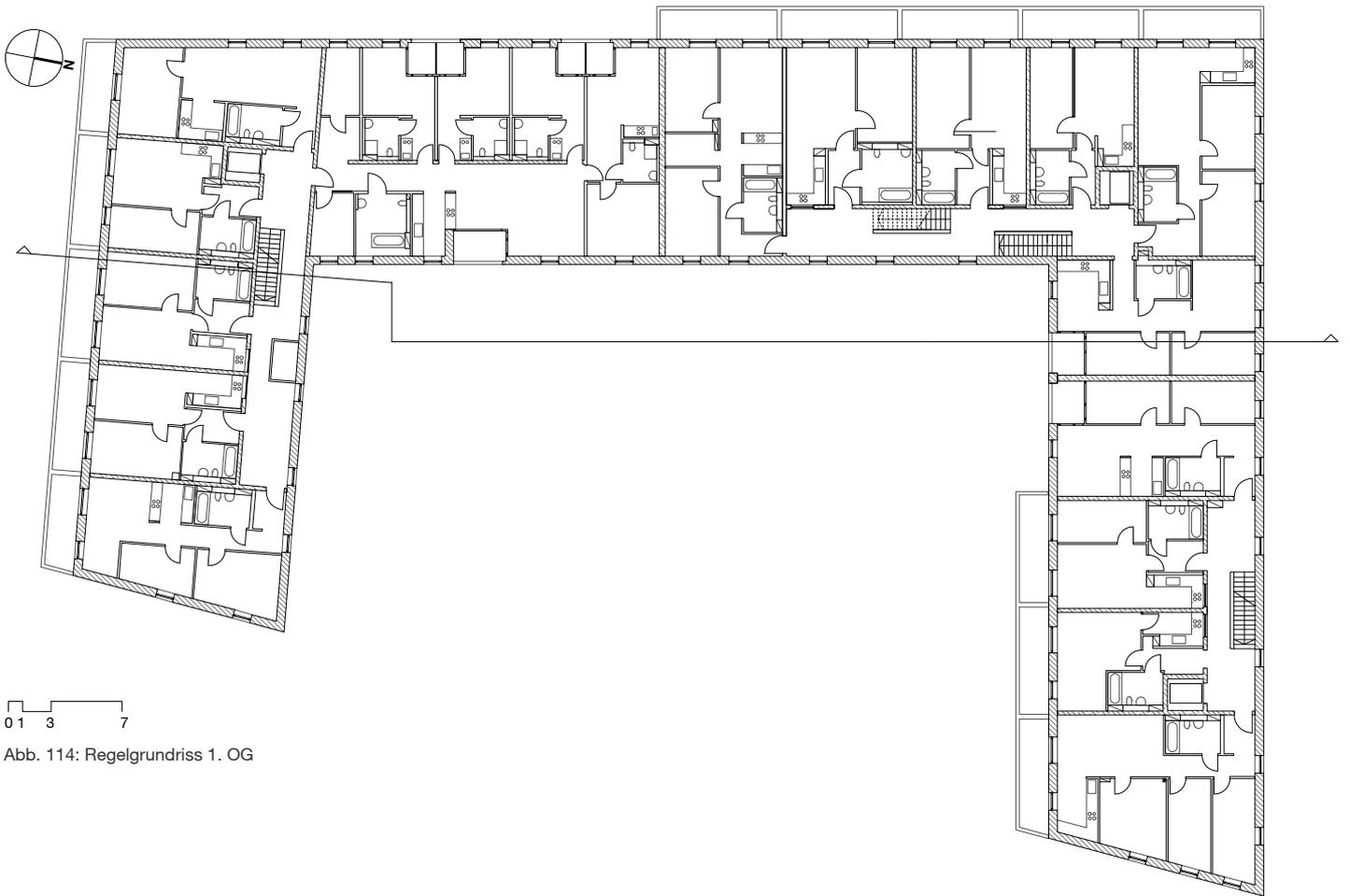


Abb. 114: Regelgrundriss 1. OG

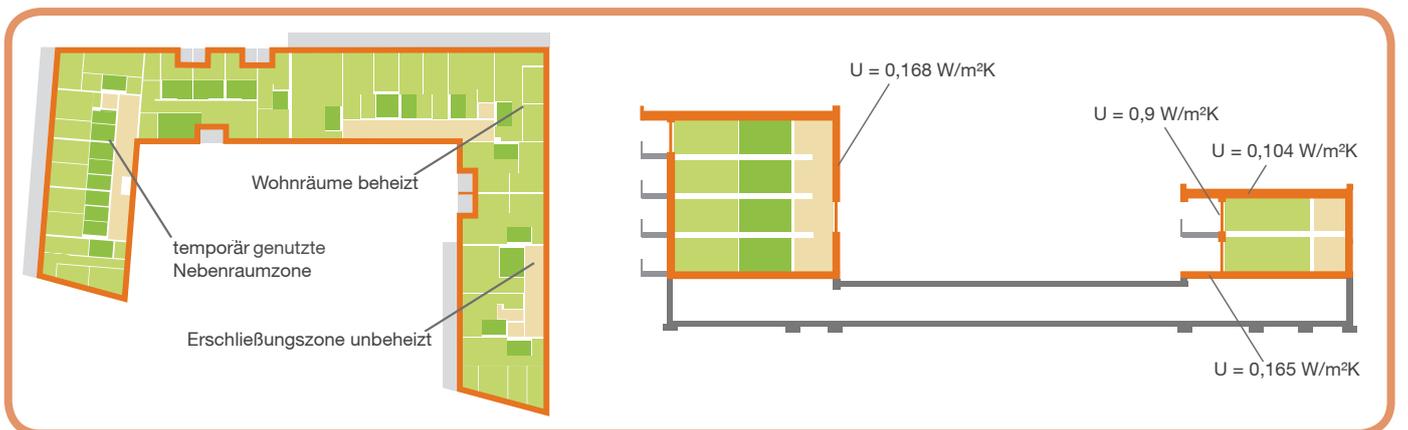


Abb. 115: Raumzonen und Klimagrenzen



Abb. 116: Ansicht der Nord- und West-Fassade

Schon in der Wettbewerbsauslobung wurde die Nutzung einer Solarthermieanlage zur Warmwasserbereitung in Kombination mit Grundwassernutzung zum Heizen angestrebt. Das gebaute Gebäude nutzt genau dieses System, zusätzlich ist zur Spitzenlastabdeckung ein Gaskessel in das Gesamtsystem integriert.

Gebäudekonzept

Das Münchner e%-Projekt ist ein monolithischer Massivbau aus Porenbeton mit einer großen Varianz an Wohnungen und einem ambitionierten Technikkonzept.

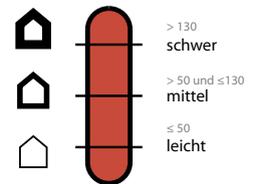
Unabhängig von der Orientierung umschließen Lochfassaden mit bodentiefen Fenstern das Gebäude. Hinter diesen Fassaden gibt es verschiedenste Wohnformen, die Größen der Woh-

nungen variieren von 1- bis 4-Zimmer-Wohnungen, als Nutzung finden sich auch zwei Senioren-WGs und eine Wohngruppe für Menschen mit Behinderung.

Der nördliche Baukörper beinhaltet den geförderten Wohnungsbau, während im südlichen Teil die frei finanzierten Einheiten liegen. Besondere Wohnformen befinden sich im südlichen Gebäudeteil. Die viergeschossigen Kopfbauten bilden mit den zweigeschossigen Verbindungsbauten ein dreiseitig geschlossenes Ensemble um einen geschützten, leicht erhobenen Innenhof.

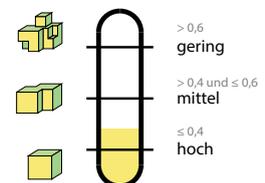
Die Treppenhäuser und Erschließungsflure sind jeweils an der Fassade angeordnet und fungieren auch als Gemeinschaftsbereiche. Großzügige Balkone als private Freiräume ragen

Thermische Speichermasse



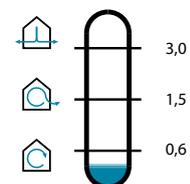
$C_{\text{wsk}} = 156 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$

Kompaktheit des Gebäudes



$A / V_e = 0,42 \text{ m}^{-1}$

Luftdichtheit (je Gebäudekörper)



$n_{50} = 0,33 \mid 0,35 \mid 0,30 \text{ h}^{-1}$

Abb. 117: energetisch relevante Eigenschaften

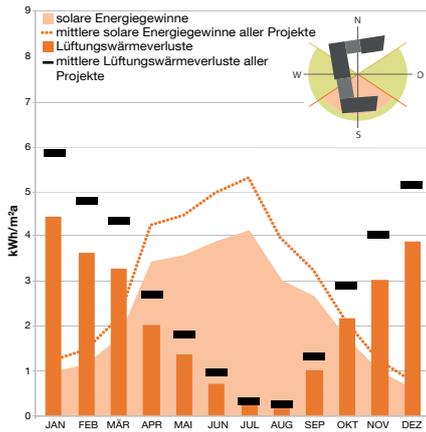


Abb. 118: Vergleich der solaren Energiegewinne mit den Lüftungswärmeverlusten



Abb. 119: Tageslichteintrag in einem Wohnzimmer



Abb. 120: Loggia in der Senioren-WG



Abb. 121: Tageslichteintrag im Treppenhaus

im Süden und Westen in den Straßenraum und den Innenhof hinein. Die nordwest- und süd-orientierten Fassaden werden gleichartig behandelt, obwohl die Südfassade zur besseren Nutzung der solaren Energiegewinne hätte ausgelegt werden können.

Systemgrenze

Ähnlich wie das Bauteil 1 in Ingolstadt steht das beheizte Volumen kompakt und eingehüllt auf der Tiefgarage.

Bei Wohnungen mit Loggien tritt ein Versprung der Systemgrenze im Grundriss auf. In der Schnittebene wurden diese Loggien folgerichtig übereinander angeordnet, sodass sich ein relativ gutes A/V_0 -Verhältnis von $0,42 \text{ m}^{-1}$ ergibt.

Solare Energiegewinne

Die Lochfassaden des Gebäudes sorgen für eine ausreichende Belichtung der fassadennahen Räume. Die auskragenden Balkone im Süden sind der Verschattung in den Sommermonaten, nicht jedoch der solaren Energiegewinne im Winter dienlich. Eine Differenzierung der Verglasungsanteile in Bezug auf die Gebäudeorientierung wäre auch bei der gewählten Bauweise ein weiterer Schritt zur Steigerung der Energieeffizienz gewesen.

Sommerlicher Wärmeschutz

Dem sommerlichen Wärmeschutz wurde nur an den Fenstern des Erdgeschosses in Form von Rollos als außenliegender Sonnenschutz genüge getan. Die nicht einsehbaren Fenster der oberen Geschosse weisen keinen Sonnenschutz auf. Die auskragenden

Balkone der Westfassaden sind nicht wirksam, um einer sommerlichen Überhitzung entgegen zu wirken.

Gebäudehülle

Die Gebäudehülle besteht aus hochwärmedämmendem Porenbetonmauerwerk mit 48 cm Stärke und einem U-Wert von $0,168 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Holzfenster wurden mit einer Dreifachverglasung versehen.

Die im Planungsprozess aufgewandte Sorgfalt gegenüber den energetischen Belangen lässt sich an minimierten Wärmebrücken und sauber detailierten Bauteilübergängen erkennen.

Qualitätssicherung

Im Rahmen des Luftdichtigkeitstest nach DIN 13829 Verfahren B wurden überdurchschnittliche n_{50} - Werte je

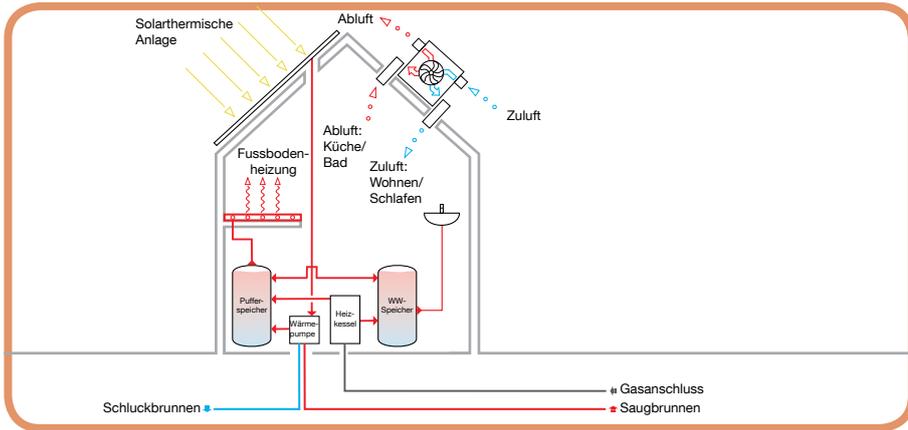


Abb. 122: Schematische Darstellung der Wärmeerzeugung, -speicherung und -übergabe sowie der Lüftungsanlage



Abb. 123: Thermostatregler für die Fußbodenheizung

Haus zwischen 0,30 und 0,35 h⁻¹ erzielt.

Technikkonzept

Die Wärmeerzeugung besteht aus drei Komponenten: einer Grundwasserwärmepumpe, einer solarthermischen Anlage sowie einem Gas-Brennwertkessel. Die Wohnungen werden mittels Fußbodenheizung beheizt, die Lüftung übernimmt eine zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

Heizung

Im gesamten Modellvorhaben e% - Energieeffizienter Wohnungsbau ist das Wärmeerzeugungssystem des Projekts in München das komplexeste mit drei unterschiedlichen Energiequellen. Für die niedertemperaturisierte Heizwärme kommt primär eine energieeffiziente Grundwasserwärmepumpe zum Einsatz. Der Saugbrunnen befindet sich am südöstlichen Rand des Grundstücks, über einen Wärmetauscher werden dem Grundwasser rund 4 Kelvin Wärme entzogen und dem ca. 11 Meter entfernten Schluckbrunnen zugeführt. Zur Umsetzung dieser Lösung war die Genehmigungspflicht der Grundwasserbohrung einzuhalten.

Folgerichtig erfolgt die Wärmeübergabe in den einzelnen Räumen durch

eine Fußbodenheizung, was in Kombination mit der Niedertemperaturwärme eine sehr effiziente Lösung darstellt. Mittels Raumthermostaten im Bereich der Türen kann die gewünschte Temperatur eingestellt werden, auf diesen befinden sich leicht verständliche Temperaturangaben.

Die Mieterinnen und Mieter äußerten übereinstimmend, dass sie wenig und auch nicht durchgehend in allen Räumen heizen müssen. Sie sind zufrieden mit dem Funktionieren der Fußbodenheizung. Die Bedienbarkeit wird als „leicht“ bezeichnet. Die barrierefreie Anbringung des Thermostats an der Wand wurde von einigen Haushalten als zu niedrig bemängelt, da es dadurch zu versehentlichen Einstellungen kommen könne.

Als zweite Komponente zur Wärmeerzeugung ist das Gebäude mit einer Solarthermieanlage ausgestattet, die insgesamt eine Fläche von ca. 170 m² aufweist. Für eine maximale Effizienz übernimmt sie je nach solarem Eintrag sinnvollerweise unterschiedliche Aufgaben: bei niedrigen Erträgen wird die Wärme zur Vorerwärmung des Grundwassers genutzt. Der von der Wärmepumpe zu verrichtende Temperaturhub reduziert sich dementsprechend, was die Leistungszahl der Wärmepumpe erhöht. Bei mittlerem Temperaturniveau werden die Erträge zum

Heizen verwendet. Bei ausreichend hohem Temperaturniveau im Sommer übernimmt die solarthermische Anlage die Erwärmung des Trinkwarmwassers.

Sowohl von der solarthermischen Anlage als auch von der Wärmepumpe werden zwei Pufferspeicher bedient, die zusammen 15.000 l fassen. Durch die Speicherung wird somit bei wechselndem Heizwärmebedarf ein zu häufiges Anspringen der Wärmepumpe verhindert.

Das dritte Wärmeerzeugungssystem ist ein erdgasbetriebener Brennwertkessel. Dieser kommt zur Unterstützung der Gebäudeheizung bei sehr tiefen Außentemperaturen sowie für die Erzeugung des Hochtemperaturheizwassers für die Trinkwassererwärmung zum Einsatz. Das Trinkwasser wird in zwei 500 l großen Brauchwasserspeichern gespeichert, die im Durchlaufprinzip erwärmt werden.

Trotz der vielen Komponenten ist den Planern ein stimmiges Gesamtkonzept gelungen. Dies setzt jedoch eine gut funktionierende Regelungstechnik voraus, hier gab es anfangs größeren Anpassungsbedarf. Kurz nach Einbau der Anlagentechnik meldete die beauftragte Firma Insolvenz an, die bis dato umgesetzte Regelung hatte viele fehlerhafte Einstellungen. Somit



Abb. 124: Technikkomponenten auf dem Dach

übernahme der Gaskessel bei Bezugsgang vorübergehend die komplette Wärmeversorgung. Auch die Solaranlage wies lange Zeit Mängel wie defekte Regulierventile auf, die Wärmepumpe wurde erst im Frühjahr 2014 in Betrieb genommen. Die Fehlerbehebung der Regelungstechnik konnte letztendlich erst Ende des Sommers 2014 abgeschlossen werden.

Ein weiteres Problem bestand darin, dass der Einbau der Wärmemengenzähler nicht von Anfang an erfolgte. Grund war, dass die Firma, die mit der Dämmung der Leitungen beauftragt war, die Passstücke, an denen sich die Wärmemengenzähler befinden, überdeckelte. Auf Grund von Gewährleistungsproblemen und zeitlicher Verzögerung fand die Installation der Zähler erst im Herbst statt.

Aus Gründen der fehlerhaften Einstellungen in Kombination mit fehlenden und nicht vergleichbaren Daten ist deshalb eine qualifizierte Evaluierung der Verbräuche zum Zeitpunkt des vorliegenden Schlussberichts nicht möglich.

Lüftung

Das Gebäude besitzt eine mechanische Lüftungsanlage mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 80 %. Die viergeschossigen Bauteile haben jeweils ein eigenes Lüftungsgerät, das die darunterliegenden Wohnungen sowie anteilig die angrenzenden Wohneinheiten der Zwischengebäude zentral versorgt. Eine horizontale Verteilung der Lüftungskanäle erfolgt auf dem Dach (s. Abb. 125), wo diese von der Dachdämmung umhüllt werden, die als Gefälledämmung ausgeführt

ist. Logischerweise liegen die Kanäle in den höher ausgeführten Bereichen der Gefälledämmung, so dass Wärmeverluste weitestgehend vermieden werden können. Die vertikale Verteilung erschließt die jeweiligen übereinander liegenden Wohnungen. Der wohnungsweise Auslass befindet sich im Bereich der Bäder in der abgehängten Decke. Um die Raumhöhe nicht zu sehr einzuschränken, wird die Decke im Bereich der Badewanne bzw. Dusche nicht abgehängt, was in Kombination mit den vielen Revisionsöffnungen die Deckenansicht der Bäder optisch sehr unruhig wirken lässt (s. Abb. 127). Innenhalb der jeweiligen Wohnungen ist die horizontale Kanalführung in der Stahlbetondecke integriert (s. Abb. 126), so dass hier die Raumhöhe nicht beeinträchtigt wird.

Durch die zentrale Versorgung können



Abb. 125: Lüftungsleitungen auf dem Dach vor der Überdämmung

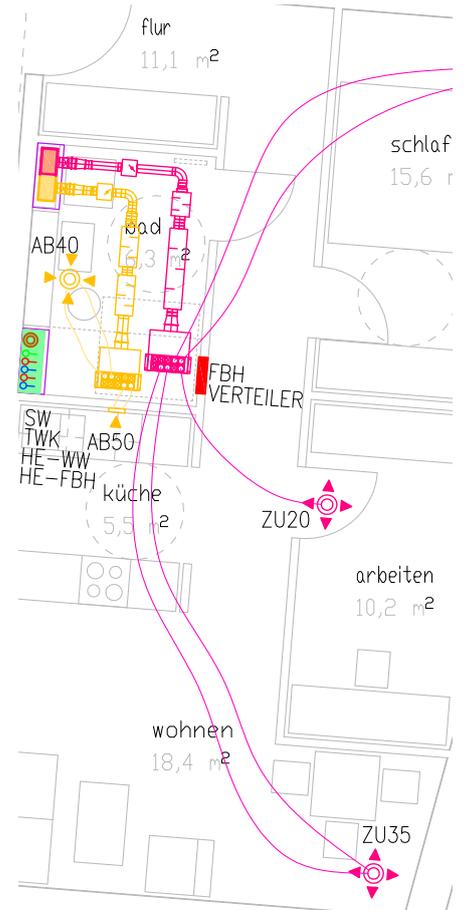


Abb. 126: Vertikale Leitungsverteilung in den Schächten und horizontale Verteilung der Lüftungsrohre in der Betondecke

die Bewohnerinnen und Bewohner konzeptbedingt keine eigenen Einstellungen des Volumenstroms vornehmen. Dennoch ist der überwiegende Teil der befragten Haushalte mit der Funktionstüchtigkeit der Lüftungsanlage zufrieden. Geräusche werden teilweise wahrgenommen, aber nicht in allen Fällen als störend empfunden, vereinzelt wird Kritik am verspürten Luftzug geäußert. Insgesamt gab eine Mehrheit an, dass das für sie neuartige System der Haustechnik „einfach zu verstehen“ sei bzw. „nach kurzer Eingewöhnung ok“ sei. Die Qualität der Raumluft und die Behaglichkeit werden von der überwiegenden Mehrheit als gut bis sehr gut bezeichnet.

Dies wird von der mobilen Messdatenerfassung bestätigt: wenn auch die drei gemessenen Wohnungen nicht auf alle übertragbar sind, so zeigten

die Daten dieser Wohnungen, dass im Messzeitraum wahrscheinlich keine zusätzliche Fensterlüftung vorgenommen wurde.

Mieterkommunikation

Von den befragten Haushalten gaben etwa 70 % an, dass sie sich durch die GWG München ausreichend informiert fühlen. Ihnen wurde die energiesparende Bauweise und Technik der Wohnung bzw. des Hauses ausreichend erläutert. Auch das Mieterinformationsblatt wurde zur Klärung von offenen Fragen herangezogen und die Mehrzahl bewertete es als verständlich. Ein Viertel der Befragten hatte es jedoch noch nicht gelesen oder war der Meinung, das Mieterinformationsblatt sei überflüssig, denn die persönliche Einweisung sei ausreichend gewesen.



Abb. 127: Teilabgehängte Decke im Badezimmer



Abb. 128: Süd-Fassade mit privaten Freiflächen

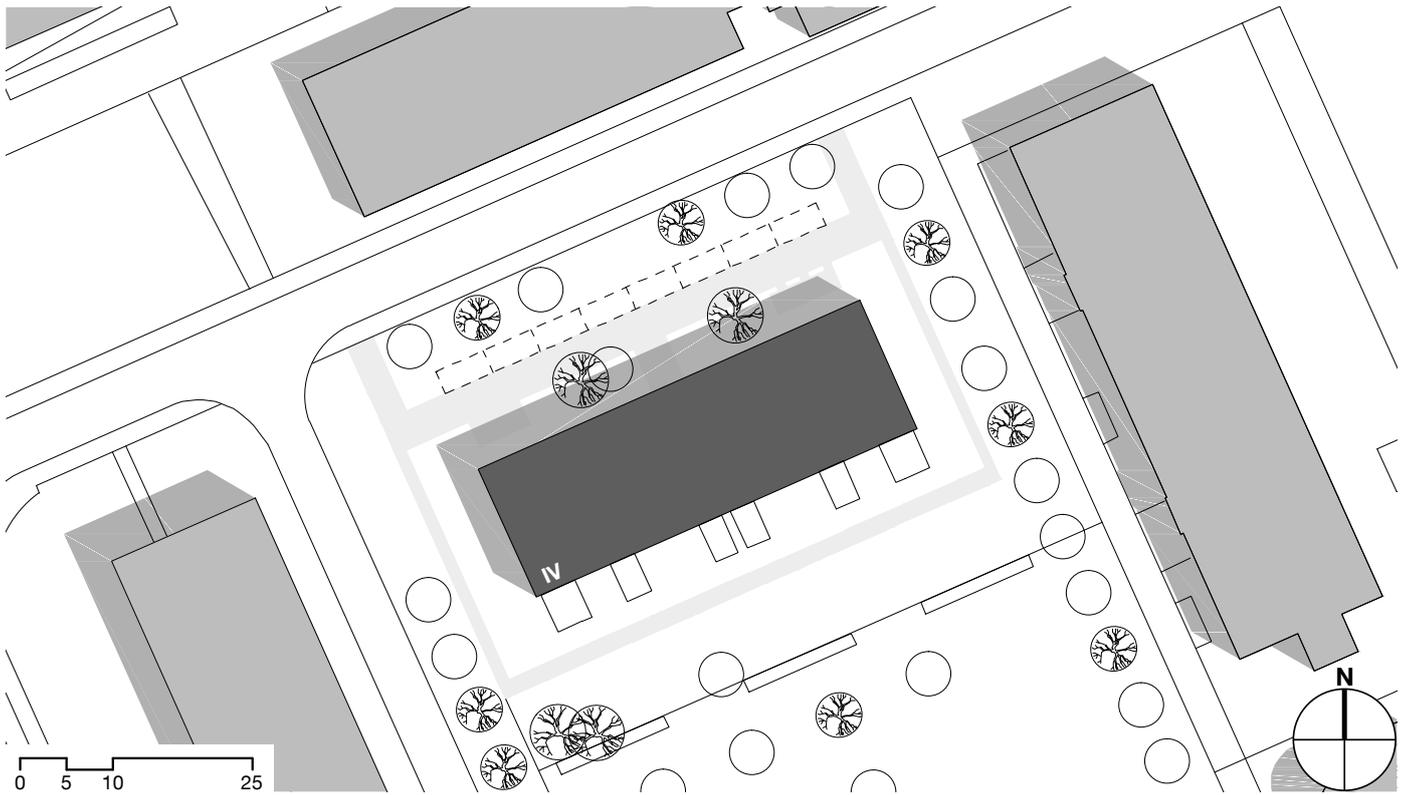


Abb. 129: Lageplan

Neubau

Standort

Heinz-Rühmann-Straße 3
Neu-Ulm

Bauherr

NUWOG Wohnungsgesellschaft der
Stadt Neu-Ulm GmbH

Architekten

Dietrich Schwarz Architekten AG,
Zürich
nps Bauprojektmanagement GmbH,
Ulm (Bauleitung)

HLS

Planungsbüro für Gebäudetechnik
Rüdiger Sonnenstädt, Ehingen

Bauzeit

April 2011 - November 2012

Wohneinheiten 24 Wohnungen

Nutzfläche A_N 2.375 m²

Konstruktion

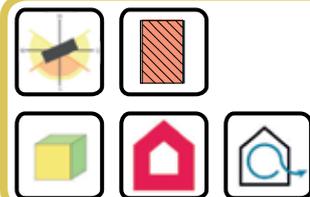
Hochwärmedämmendes Planziegel-
mauerwerk mit Riemchen
Betonfassade mit Wärmedämm-
verbundsystem
Holzfenster mit Dreischeibenisoler-
verglasung
PCM gefüllte Fensterelemente
Betondecken mit Wärmedämmung
Bodenplatte Beton + Perimeter-
dämmung

Haustechnik

Fernwärme
Fußbodenheizung
Abluftanlage

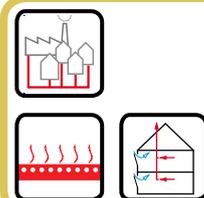
Transmissionswärmeverlust

0,35 **-30%**
W/(m²K) EnEV 2009



Primärenergiebedarf

22,0 **-52%**
kWh/m²a EnEV 2009



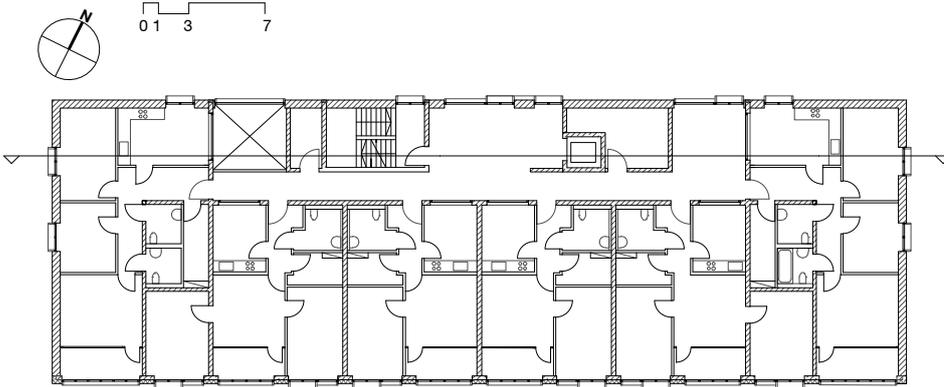


Abb. 130: Regelgrundriss 1.OG

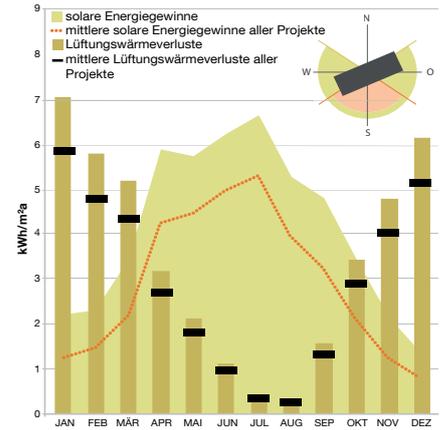


Abb. 131: Vergleich der solaren Energiegewinne mit den Lüftungswärmeverlusten

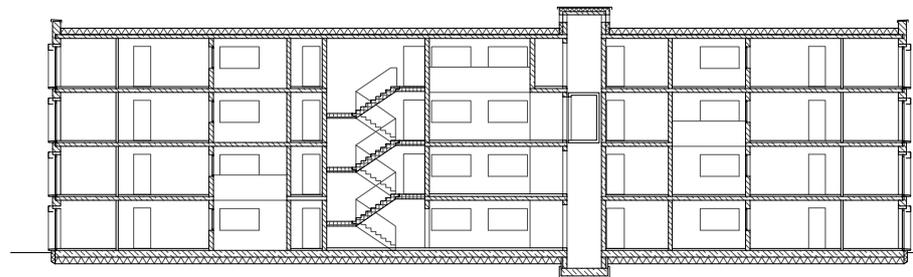


Abb. 132: Längsschnitt



Abb. 133: Süd-West-Ansicht des Gebäudes



Abb. 134: Innenansicht Wohnzimmer zum geöffneten Wintergarten

Eine besondere Zielsetzung des Modellprojekts „Westliches Albertinum“ in Neu-Ulm war es, ein Mehrgenerationenhaus zu schaffen, das alle Funktionen innerhalb eines einfachen, kompakten Baukörpers unterbringt. Wichtig war dem Bauherrn eine Vermeidung von Wärmedämmverbundsystemen.

Im Bebauungsgebiet gibt es ein bestehendes Fernwärmenetz mit Anschlusszwang. Die Wärmeerzeugung erfolgt durch ein erdgasbetriebenes Blockheizkraftwerk mit Kraft-Wärme-Kopplung.

Gebäudekonzept

Das Gebäudekonzept fokussiert das Thema Lowtech, der Nahwärmeanschluss vor dem Haus wird genutzt und entspricht somit den Vorgaben des Wettbewerbs. Die Lüftungstechnik wurde zur Erfüllung der hygienisch notwendigen Anforderungen ausgelegt.

Solare Energiegewinne

Die Orientierung des Baukörpers Richtung Süden führt folgerichtig zum Versuch eines hohen Ausnutzungsgrades der solaren Wärmegevinne im Energiekonzept. Im Entwurfsstadium war eine klare Gliederung von Nord nach Süd zu erkennen. Die Erschließungs-

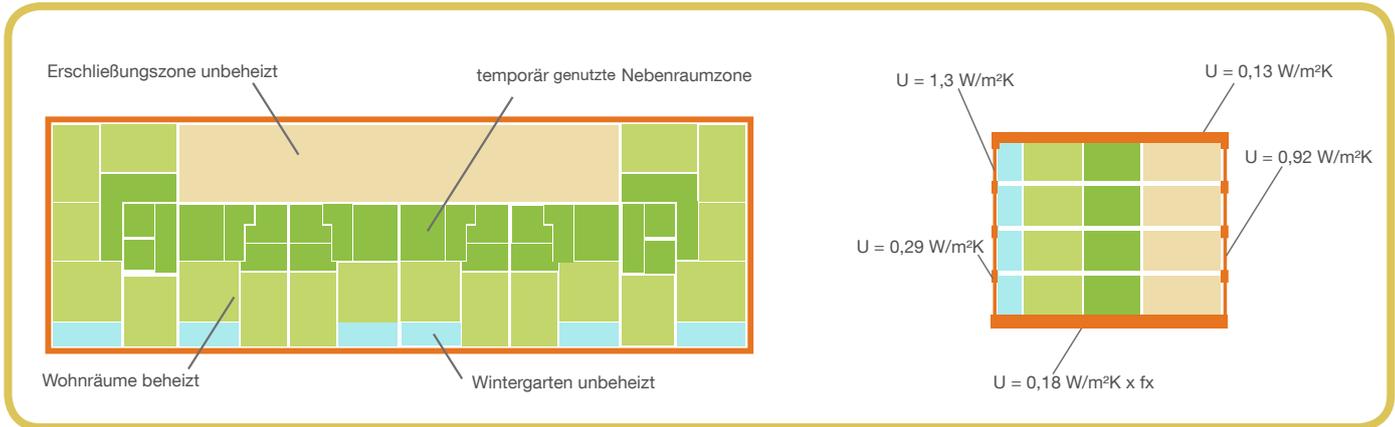


Abb. 135: Raumzonen und Klimagrenzen

zone wurde konsequenterweise im Norden angeordnet. Sie geht an der Wohnungseingangstür in eine Zone untergeordneter Nutzungen wie Bäder und Küchen über. Die Räume im Süd-Westen öffnen sich in Richtung des grünen Innenhofes des Quartiers.

Die Südfassade wurde fast vollständig aufgeglast, während die Nordfassade einen deutlich geringeren Verglasungsanteil aufweist. Die Südfassade leitet neben dem Tageslicht die Wärme in den Raum. In diesem Modellprojekt wurden zum zeitverzögerten Eintrag der Wärme zum Teil besondere Verglasungselemente mit Latentwärmespeicher verwendet.

Den räumlichen Übergang zwischen Innen und Außen bilden Pufferzonen, die je nach Jahreszeit als Wintergärten oder Loggien nutzbar sind. Das im Wettbewerb starke Konzept der unterschiedlichen Zonen wurde im Rahmen der Ausführung etwas verschliffen.

Die konsequente Südorientierung von Wohnräumen und Wintergärten sowie die bodentiefen Verglasungen ermöglichen eine optimale Ausnutzung der solaren Energiegewinne. Zur Erhöhung des Ausnutzungsgrades trägt auch die Entscheidung für eine massive und damit eher schwere Bauweise bei.

Systemgrenze

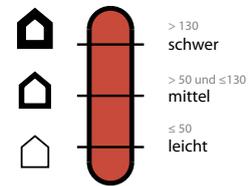
Die Dämmebene umfasst großzügig den kompakten Baukörper. Dies führt zu einem sehr guten A/V_e -Verhältnis. Loggien und unbeheizte Erschließungszonen liegen jedoch innerhalb dieses Dämmvolumens. In den Sommermonaten ist durch eine Öffnung der Loggien die Vergrößerung der Gebäudehüllflächen möglich, die Kompaktheit verringert sich und kann über eine größere Hüllfläche Wärme aus den Wohneinheiten nach außen bringen.

Sommerlicher Wärmeschutz

Im Sommer dienen Lamellenraffstoren zur Verschattung der Räume. Die Loggien sind offenbar, so dass sich die tatsächliche Gebäudehüllfläche im Sommer erhöht und gleichzeitig die Deckenplatten als Verschattung der Wohnzimmerfassade fungieren. Die bauliche Verschattung ist bei süd-orientierten Gebäuden eine sinnvolle und wartungsarme Alternative zu beweglichen Verschattungssystemen.

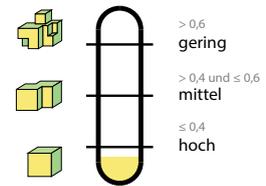
Im Vergleich zum Modellvorhaben in Augsburg lassen sich die Loggien über Faltelemente großzügiger öffnen. Dies sollte das Überhitzungsproblem der Loggien im Sommer reduzieren. Der sommerliche Wärmeschutz ist dementsprechend sehr schlüssig gelöst.

Thermische Speichermasse



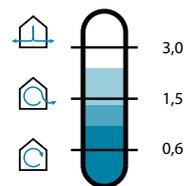
$C_{\text{mit}} = 156,2 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$

Kompaktheit des Gebäudes



$A / V_e = 0,38 \text{ m}^{-1}$

Luftdichtheit (je Gebäudekörper)



$n_{50} = 0,96 \mid 1,38 \mid 2,29 \text{ h}^{-1}$

Abb. 136: energetisch relevante Eigenschaften



Abb. 137: Außenansicht Fenster mit GlassX - Element bzw. außenliegendem Sonnenschutz



Abb. 138: Innenansicht eines Fensters mit GlassX-Element



Abb. 139: Gemeinschaftsbereich



Abb. 140: Blick vom Gemeinschaftsbereich zu den Wohnungseingängen



Abb. 141: Anschluss der Fensterrahmen

Gebäudehülle

Das Gebäude ist ein Massivbau aus Ziegeln, der an regulären Außenwänden einen U-Wert von $0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$ aufweist. Die Fenster der Loggia wurden als Zweischeibenverglasung mit einem U-Wert von $1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$, die übrigen Fenster in Dreischeibenverglasung mit einem U-Wert von $0,92 \text{ W/m}^2\text{K}$ ausgeführt. Im Gegensatz zum Augsburger Modellvorhaben wurde hier die Wärmedämmebene nach innen gezogen.

In den Schlafräumen wurde jeweils ein Fenster der Fassade durch ein mit PCM gefülltes Glaselement mit einem U-Wert von $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ ersetzt. Diese Füllung kann Wärmeenergie aufnehmen und zeitversetzt nach innen abgeben. Die Wärmeaufnahme ist über ein vorgelagertes Prismenglas vor allem bei niedrigen Sonnenständen möglich. Nach Aussage des Herstellers übernimmt dieses Prismenglas bei hohen Sonnenständen wie im Sommer auch die Funktion des Sonnenschutzes, da die einfallende Strahlung nicht absorbiert sondern reflektiert wird.

Beim Vergleich der gemessenen Temperaturen von Wohn- und Schlafzimmer aus der mobilen Datenerfassung lassen sich allerdings keine nennenswerten zeitlichen Temperaturver-

schiebungen erkennen. Um diese zu erreichen, müsste vermutlich ein großflächigerer Bereich mit den Elementen realisiert werden.

Qualitätssicherung

Die Luftdichtigkeitstests in Neu-Ulm brachten gute Ergebnisse und unterschritten die Anforderungen der EnEV für Gebäude mit Lüftungsanlage. Es zeigte sich jedoch, dass unzureichende Abdichtungsmaßnahmen beispielsweise im Bereich von Schächten sich sehr deutlich niederschlagen. Der Luftdichtigkeitstest ist dementsprechend zum Zeitpunkt der Fertigstellung der Luftdichtheitsebene auch im Massivbau sinnvoll. Die Thermografieaufnahmen sind durch die Vorsatzschale des Mauerwerkes von außen nicht qualitativ zu bewerten. Es zeigte sich jedoch im Innenraum, dass geometrisch anspruchsvolle Detailpunkte wie der vorgesezte Raffstorekasten oder die Eckanschlüsse der Loggien erhöhte Aufmerksamkeit in Planung und Ausführung bedürfen.

Gemeinschaftsräume

Aus der Idee des Entwurfes heraus sollte die üppige Erschließungszone mit Gemeinschaftsräumen einen Raum für soziale Interaktionen schaffen. In dieser Form hat sie sich jedoch nach Einschätzung der Bewohner

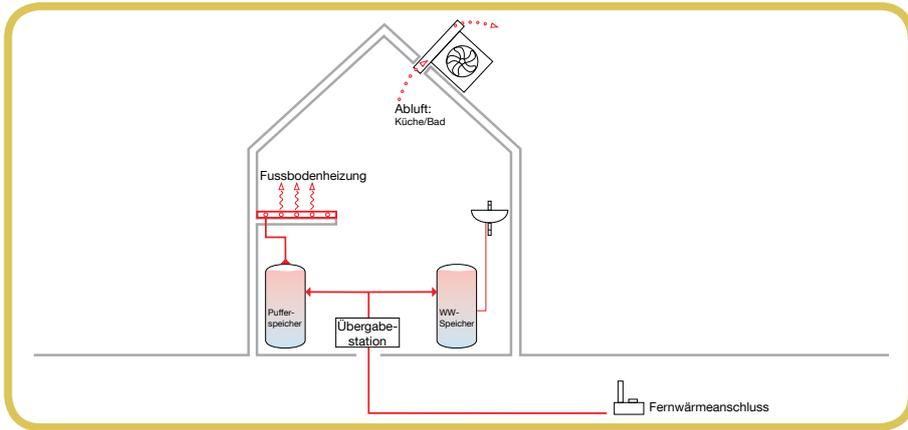


Abb. 142: Schematische Darstellung der Wärmeerzeugung, -speicherung und -übergabe sowie der Lüftungsanlage



Abb. 143: Leitungsverteilung in der Erdgeschossdecke

nicht etabliert. Aus der Sicht mehrerer Befragter vor allem deswegen, da entgegen den Ankündigungen diese Räume nicht so ausgestattet wurden, dass Kommunikation möglich sei. So stellen die großzügigen Räume für manche Bewohner nur ein „ärgerliches leeres Versprechen“ dar. Einer Nutzung steht nach Auskunft mancher Befragter auch die Hellhörigkeit des Hauses entgegen, außerdem lasse der Alltag vieler nicht ausreichend Zeit für die Kommunikation im Hausflur. Andere formulieren positiv, dass jeder Haushalt sein eigenes Leben führen könne und nicht zu viel Kontakt mit den Nachbarn gegeben sei.

Die offen einsehbaren Küchenfenster werden von allen Befragten weniger als Möglichkeiten für Kommunikation empfunden, als vielmehr als Eingriff in die Privatsphäre, weshalb auch mehrere Haushalte die Fenster mit Folien beklebt haben, obwohl das eigentlich „nicht gewünscht“ sei.

Technikkonzept

Heizung

Da in dem Bebauungsgebiet ein Anschlusszwang an das Fernwärmenetz besteht, ist das Gebäude an dieses angeschlossen. Die Empfehlung der wissenschaftlichen Begleitung zu prüfen, ob eine Nutzung des Fernwärmrücklaufs möglich ist, wie es für ein

Flächenheizsystem ausreichend wäre, wurde leider nicht umgesetzt. Werden Häuser mit einem Niedertemperaturübergabesystem an den Rücklauf von vorhandenen Wärmenetzen angeschlossen, kann durch eine weitere Temperaturabsenkung des Rücklaufs die Effizienz der Wärmenetze nochmals erheblich gesteigert werden. Allerdings ist hier im Vorfeld zu prüfen, ob der zuständige Wärmeversorger solche Umsetzungen vorsieht.

Da das Gebäude keinen Keller besitzt, befindet sich der Haustechnikraum im Erdgeschoss neben dem Eingangsbereich. Hier sind zwei kleine Speicher mit je 693 l Volumen verbaut, einer für das Warmwasser des Heizsystems mit einer Vorlauftemperatur von 35 °C, der zweite für die Trinkwarmwasserbereitung mit 70 °C Vorlauftemperatur.

Vom Technikraum ausgehend erfolgt die vertikale Verteilung aller Wasserleitungen (s. Abb. 143) und führt zu insgesamt sechs horizontalen Steigleitungen im Bereich der Badezimmer. Durch diese Umsetzung ergeben sich kürzere Leitungslängen als bei einer etagenweisen Verteilung.

Sämtliche Wohnungen sind mit einer Fußbodenheizung ausgestattet und raumweise individuell steuerbar. Die Temperatureinstellung kann an den Thermostaten vorgenommen werden,

die sich immer in Türnähe befinden. Dort ist die gewünschte Gradzahl direkt abgebildet, was eine nutzerfreundliche Bedienbarkeit ermöglicht. Sowohl Fernwärmeanschluss samt Speichern als auch die Fußbodenheizung wurden mittels Contracting mit den Stadtwerken Neu-Ulm umgesetzt.

Womit alle Befragten mehr oder minder große Schwierigkeiten haben ist das systembedingte, träge Ansprechverhalten der Fußbodenheizung. In Verbindung mit der solaren Wärmenutzung stellt dies eine ungünstige Kombination dar. Die Sonnenstrahlung erhitzt das Gebäude recht schnell, durch das lange Nachheizen des Fußbodens entsteht in den Räumen eine Überhitzung der Raumtemperatur. Dagegen dauert es sehr lange, bis das Heizsystem die Wärme abgeben kann, wenn die Sonne die Zimmer nicht mehr ausreichend mit Wärme versorgt und die Räume geheizt werden sollen.

Aus diesem Grund sollten Gebäude, deren Konzept sehr stark auf solare Nutzung ausgelegt ist, schnell regelbare Wärmeübergabesysteme besitzen, um die Tagesschwankungen und Lastspitzen gut auszugleichen.

Lüftung

Um Kosten einzusparen besitzt die Wohnanlage, entgegen dem ursprüng-

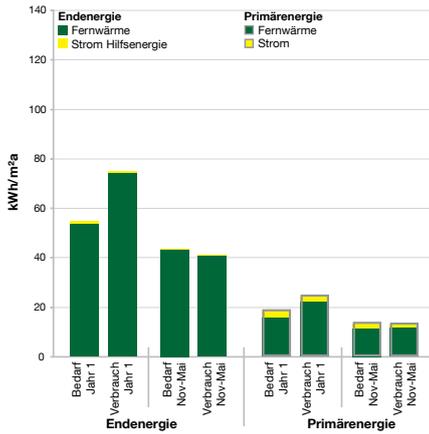


Abb. 144: Gegenüberstellung von Bedarf und Verbrauch

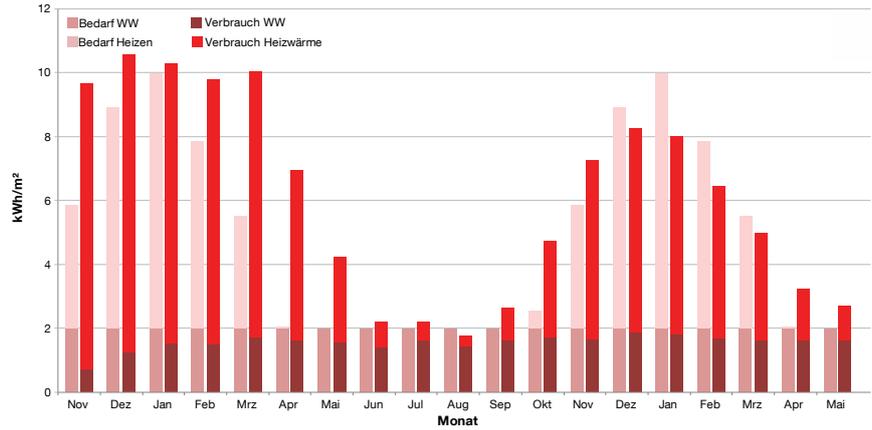


Abb. 145: Monatlicher Vergleich von Bedarf und Verbrauch an Heizenergie und Warmwasser von November 2012 bis Mai 2014

lichen Wettbewerbsbeitrag, lediglich eine mechanische Abluftanlage. Somit gibt es auch keine Wärmerückgewinnung zur Minimierung der Lüftungswärmeverluste, der Heizwärmebedarf erhöht sich entsprechend. Die Abluftöffnungen sind in den innenliegenden Küchen und Bädern installiert. In Kombination mit Überströmöffnungen in den Fenstern wird der Mindestluftwechsel sichergestellt. Die Luftqualität in der Wohnung wird von der Mehrzahl der Befragten als positiv angegeben. Zu Beginn wurde die Lüftungsanlage im Dauerbetrieb gefahren, jedoch beklagten sich mehrfach Bewohner darüber, u.a. wegen Zugscheinungen und hoher Lärmbelastung. Diese Aussagen deuten auf einen zu hoch eingestellten Volumenstrom hin, doch statt diesen an die Räume anzupassen, wurde die Steuerung umgestellt und die Lüftungsanlage wird nun über den Lichtschalter aktiviert. Bei Nichtbenutzung wird in einem Zeitintervall die Abluftanlage eingeschaltet.

Diese Änderung unterstützt somit die vorher beschriebenen vorkommenden Überhitzungsprobleme, da die Abluftanlage die warme Innenluft nicht mehr aus den Räumen transportieren kann. Dass die neue Steuerung nicht optimal ist, zeigen auch die Aussagen der Mieter. Sie berichten besonders im Sommer oft zusätzlich zu lüften, da sonst die Luft stickig würde.

Die Abluftanlage im Badezimmer wird von den Befragten aus unterschiedlichen Gründen als „nicht optimal“ bezeichnet. Sie sei laut, nicht effektiv und es besteht die Befürchtung, dass sie nicht ökonomisch sei. Die Werte aus der mobilen Datenerfassung zeigen, dass die Luftfeuchte nach dem Duschen bzw. Baden nach ca. 2 Stunden wieder auf dem Ursprungsniveau liegt. Bei dem Projekt Ansbach mit ähnlichem Lüftungskonzept wird die Luftfeuchte mit lediglich 30 Minuten deutlich schneller wieder abgeführt.

Ebenso nach dem Kochen werde teilweise die Dunstabzugshaube zusätzlich angestellt, denn die Feuchtigkeit verschwinde zwar relativ rasch, die Gerüche jedoch weniger. Kritisiert wurde auch, dass die Lüftungsanlage – auch nachdem Nachbesserungen vorgenommen wurden – sehr laut sei und es Zugscheinungen gebe. Die Kopplung von Licht und Lüftung wurde stark kritisiert. Allerdings sei dies nach Meinung der Mieter besser als die Dauerbelüftung davor.

Als Optimierungsmaßnahme sollte die Lüftungsanlage wieder auf Dauerbetrieb umgestellt werden, jedoch mit einem optimierten und niedrigerem Volumenstrom. Zusätzlich wäre es sinnvoll, ähnlich wie in Ansbach, einen Schalter nachzurüsten, der den Volumenstrom kurzzeitig nach Bedarf

erhöht. Dies würde die seitens der Bewohner beschriebenen Probleme in den Küchen und Bädern sowie die Überhitzungsproblematik deutlich minimieren.

Verbrauchswerte

Die Verbrauchswerte von Heizung und Warmwasser wurden wohnungsweise im 15-Minuten-Takt aufgezeichnet, es war allerdings kein Ingenieurbüro mit einem umfassenden Monitoring beauftragt.

Im ersten Betriebsjahr lag der tatsächliche Wärmeverbrauch mit 75,2 kWh/m²a um 39 % höher als der angesetzte Bedarf von 53,9 kWh/m²a. Dies kann auch damit zu tun haben, dass sich die neuen Bewohner und Bewohnerinnen erst an das träge System der Fußbodenheizung gewöhnen mussten. Dies wird außerdem in Gesprächen mit den Bewohnerinnen und Bewohnern deutlich, die Heizungseinstellung wird mehrmals täglich nach den aktuellen Behaglichkeitsanforderungen geändert.

Die Hilfsenergie für die Heizzentrale liegt mit 0,74 kWh/m²a ca. 49 % über dem Bedarf, trägt aber aufgrund der geringen Einflussgröße nicht wesentlich zum Primärenergieverbrauch bei. Weil der Stromverbrauch der Abluftanlagen nicht auf einem eigenen Strom-

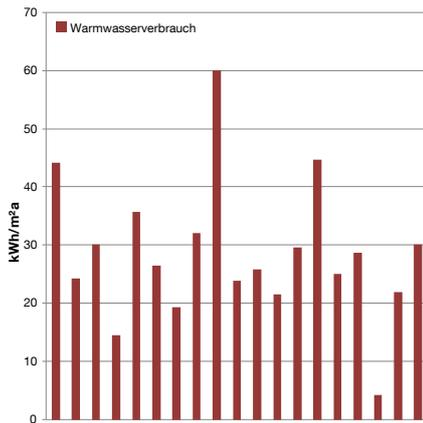


Abb. 146: Unterschiedlicher Warmwasserverbrauch der Wohnungen von Januar bis Dezember 2013

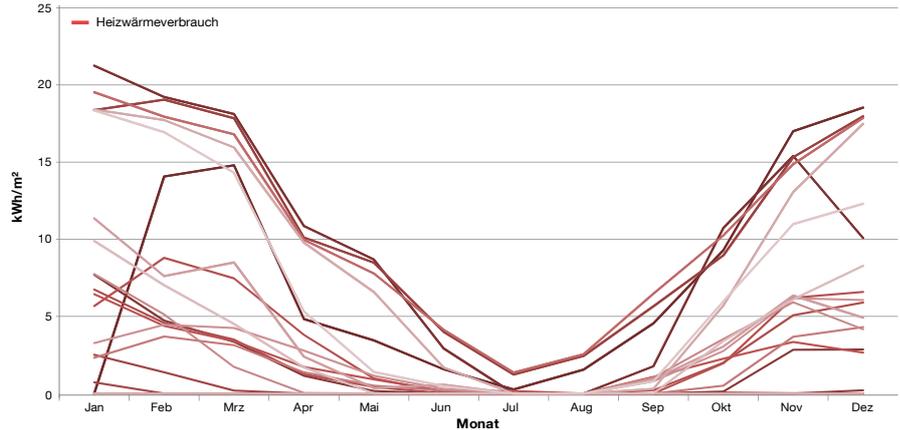


Abb. 147: Vergleich des monatlichen Heizwärmeverbrauchs der einzelnen Wohnungen von Januar bis Dezember 2013

kreis liegt, konnte dieser nicht gesondert ermittelt werden und ist nicht in den Werten enthalten. Da auch im EnEV-Nachweis kein Hilfsstrom für die Lüftungsanlage angesetzt wurde, wird dieser Posten in Abb. 144 vernachlässigt und fließt deshalb nicht in die Untersuchung von Bedarf und Verbrauch mit ein.

In der zweiten Messperiode, die nur acht Monate umfasst und in diesem Fall von November bis Mai reicht, beträgt die Abweichung des Wärmeverbrauchs von der Berechnung nur noch 4 %, obwohl die Heizperiode über die Winter- und Übergangsmonate vollständig enthalten ist.

Die Daten der Heizwärme wurden witterungsbereinigt, dennoch kann man ebenfalls hier gut sehen, dass vor allem in der Übergangszeit deutlich mehr geheizt wird als in der EnEV 2009 angesetzt. In den kältesten Monaten des Jahres von Dezember bis Februar liegt der Heizwärmeverbrauch jedoch unter den Bedarfswerten, dies könnte von der guten Nutzung der solaren Wärmegewinne bei tiefstehender Wintersonne stammen.

Dennoch kann man in Abbildung 146 erkennen, dass der Verbrauch von Warmwasser von Wohnung zu Wohnung extrem unterschiedlich ausfällt. Der Vergleich des monatlichen Heiz-

wärmeverbrauchs (s. Abb. 147) zeigt außerdem deutlich das unterschiedliche Heizverhalten der Mieter und Mieterinnen. Viele liegen stark unter dem Bedarf und heizen teilweise nur minimal oder gar nicht, bei anderen Wohnungen ist ein Heizwärmeverbrauch selbst in den Sommermonaten zu sehen. Nachdem dieses Phänomen aufgefallen ist, wurden die Wärmemengenzähler überprüft, jedoch konnte hier kein Fehler entdeckt werden. Bei der weiteren Untersuchung stellte sich heraus, dass einige Mieter das Regelventil des Stellmotors abmontiert hatten, sie hofften dadurch das Ansprechverhalten der Fußbodenheizung zu beschleunigen. Dies hatte zur Folge, dass in diesen Wohnungen dauerhaft Wärme auf maximalem Niveau abgerufen wurde, was den Wärmeverbrauch in die Höhe trieb. Da nicht genau bestimmt werden konnte, wann dieser Eingriff in die Regelung passierte, muss davon ausgegangen werden, dass die hier gezeigten Verbrauchswerte unter anderem durch diesen Eingriff so hoch ausfallen. In welchem Maße sich die Verbräuche nach der Korrektur weiter entwickeln, kann im Rahmen des vorliegenden Berichts nicht mehr überprüft werden, es ist aber davon auszugehen, dass der Gesamtverbrauch des Gebäudes sinken wird.

Mieterkommunikation

Alle Haushalte hatten das Mieterinformationsblatt erhalten und dieses begrüßt. Bei Problemen wenden sie sich direkt an die Wohnungsbaugesellschaft und es wird auf ihre Anliegen eingegangen, auch wenn nicht alle Fragen lösbar sind. Sie sind an Energiesparfragen auch jenseits des Heizungsverbrauchs interessiert; so wurde auf Initiative der Mieterinnen und Mieter die Lichtanlage im Hausflur von manueller auf automatische Abschaltung umgestellt, damit sichergestellt wird, dass sie nicht unnötig in Betrieb ist.

Projektübergreifender Vergleich

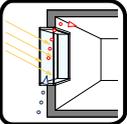
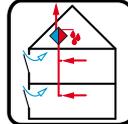
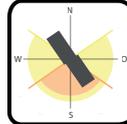
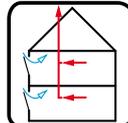
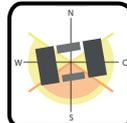
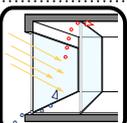
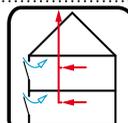
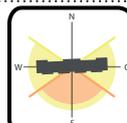
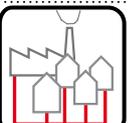
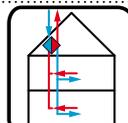
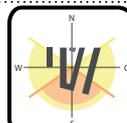
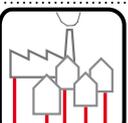
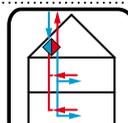
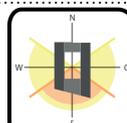
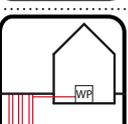
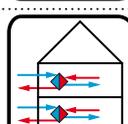
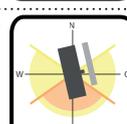
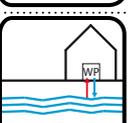
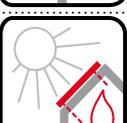
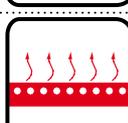
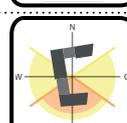
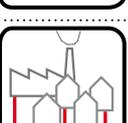
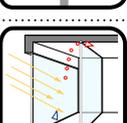
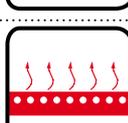
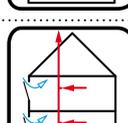
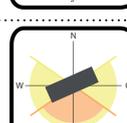
		Wärmeerzeugung	Solarenergie- nutzung	Wärme- übergabe	Lüftungs- konzept	Orientierung	Transmissions- wärmeverlust	Primärener- gieverbrauch	
Amberg AMB	Modernisierung	 PELLETS	 GAS					0,26 W/m ² K	78,4 kWh/m ² a
		 PELLETS						0,21 W/m ² K	12,0 kWh/m ² a
Augsburg AUG	Modernisierung	 PELLETS						0,30 W/m ² K	13,9 kWh/m ² a
Ingolstadt Bauteil 1 ING BT 1							0,27 W/m ² K	18,4 kWh/m ² a	
Ingolstadt Bauteil 2 ING BT 2							0,30 W/m ² K	22,7 kWh/m ² a	
Marktrechwitz MRW			 GAS					0,30 W/m ² K	
München MUC			 GAS					0,26 W/m ² K	
Neu-Ulm NULM								0,35 W/m ² K	21,7 kWh/m ² a

Abb. 148: Übersichtsmatrix bezüglich Energieversorgungskonzept, Gebäudehülle und Primärenergieverbrauch aller Projekte des Modellvorhabens

Alle Projekte des Modellvorhabens „e% - Energieeffizienter Wohnungsbau“ reagieren in einem Höchstmaß auf die äußeren Rahmenbedingungen. Konzeptuell sind sie in sich schlüssig.

Die Technikkonzepte sind auf die jeweiligen Bedürfnisse der Gebäude

angepasst. Geringe passive solare Gewinne über die Gebäudehülle beispielsweise werden durch ein ambitioniertes Energiekonzept kompensiert, bei den Modernisierungen werden Schwächen und Stärken des jeweiligen Objektes erkannt und durch gut durchdachte Eingriffe behoben.

Insgesamt ist ein breites Spektrum an Gebäudekonzepten entstanden, ob nun Massiv- oder Holzbau, schlankes Technikkonzept oder eine Modernisierung der „kleinen Schritte“, alle Gebäude stehen für eine unter den gegebenen Rahmenbedingungen modellhafte und vorbildliche Lösung.

		AMB		ANS		AUG		ING 1		ING 2		MRW		MUC		NULM		
		Bedarf	Verbrauch															
Endenergie Wärme	Gesamt	35,7	58,3	55,3	57,1	64,0	56,5	44,8	56,7	51,8	65,1	18,8	*	20,3	*	53,9	54,5	[kWh/m ² a]
	Anteil Solarthermie	-	-	-	-	-	-	35,1	27,9	23,6	30,6	-	-	9,6	*	-	-	
	Wärmepumpe	4,9	4,9	-	-	-	-	-	-	-	-	3,0	*	3,5	*	-	-	
Endenergie Strom	Hilfsenergie	3,0	3,1	3,8	2,1	1,7	1,0	3,4	7,1	4,8	8,7	4,4	*	3,0	*	2,0	1,8	
	Anteil PV	-	-	1,9	1,9	-	-	-	-	-	-	2,2	*	-	-	-	-	
	Gesamt	7,9	8,0	1,9	0,2	1,7	1,0	3,4	7,1	4,8	8,7	5,2	*	6,5	*	2,0	1,8	
Primärenergie		27,7	78,4	16,1	12,0	17,2	13,9	8,9	18,4	12,5	22,7	30,4	*	28,8	*	22,0	21,7	

Tab. 1: Errechneter Bedarf und gemessener Verbrauch an Endenergie Wärme, Endenergie Strom und Primärenergie. (*siehe Text für Erläuterungen)

Vergleich von Energiebedarf zu Energieverbrauch

Energiebedarf

In Abbildung 149 ist der nach EnEV 2009 berechnete Energiebedarf der acht begleiteten Projekte dargestellt und differenziert zwischen Nutzenergie, Endenergie und Primärenergie. Der jeweilige errechnete Bedarf wurde nach den zulässigen Bilanzierungsmethoden der Energieeinsparverordnung durchgeführt. Hierbei ist anzumerken, dass beide Projekte in Ingolstadt sowie das Projekt in Neu-Ulm ursprünglich nach der damals gültigen Fassung der EnEV 2007 bilanziert wurden und von der wissenschaftlichen Begleitung zur besseren Vergleichbarkeit untereinander auf den gemeinsamen Stand der EnEV 2009 umgerechnet wurden.

Für einen besseren Vergleich von Bedarf und Verbrauch wurden zudem teilweise Korrekturen von der wissenschaftlichen Begleitung vorgenommen, da nicht alle Energieausweise den tatsächlichen Stand der Ausführung abbildeten: in Amberg wurde die Trinkwasserbereitung im Nachweis komplett mit Nahwärme berechnet, es erfolgte eine Abänderung zur ausgeführten Abluft-Wärmepumpe mit 95 % Deckung und 5 % Deckung über das Wärmenetz (Angaben des planenden Ingenieurbüros). In Neu-Ulm wurde

der fehlende Hilfsenergiebedarf der Abluftanlage ergänzt. Bei beiden Ingolstadt-Projekten wurde die Wärmeversorgung komplett mit Fernwärme berechnet, hier wurde eine Aufteilung auf Fernwärme und der Solarthermieanlage vorgenommen. Der Anteil der Solarthermie wurde aus Ertragsberechnungen des Ingenieurbüros bestimmt. Hierbei ist anzumerken, dass die Wärme der Solarthermieanlage im Nachweis nach EnEV 2009 nicht aufgeführt wird, sondern den Endenergiebedarf um deren Anteil reduziert. Für den Abschlussbericht wurde dieser Wert aber für die Vergleichbarkeit der begleiteten Projekte mit aufgenommen.

Der Trinkwarmwasserbedarf ist nach EnEV 2009 mit 12,5 kWh/m²a zuzüglich der Speicher- und Übergabeverluste angegeben. Rechnet man diese dazu, ergibt sich bei allen Projekten ein Warmwasserbedarf um die 20 kWh/m²a. Beim Heizwärmebedarf unterscheiden sich die Projekte deutlicher: hier spielen Faktoren wie Transmissionswärmeverluste, solare Gewinne und Lüftungswärmeverluste eine entscheidende Rolle. Die Projekte mit einer Wärmerückgewinnung können damit den Heizwärmebedarf bilanziell deutlich reduzieren.

Beim Endenergiebedarf weisen vor allem die Projekte niedrige Werte auf,

die ihre Wärme teilweise mittels einer Wärmepumpe erzeugen, ob für Trinkwarmwasser wie in Amberg oder Heizwärme wie in Marktredwitz oder München. Zudem haben die Projekte, die Fernwärme nutzen, den Vorteil, dass bei der Übergabestation nur geringe Wärmeverluste entstehen. Wird die Wärme über Energieträger vor Ort erzeugt, kommen wie beispielsweise in Augsburg übliche 30 % Erzeugerverluste hinzu. Deutliche Unterschiede sind bei den Projekten in Ansbach und Neu-Ulm bei der Nutzenergie und der Endenergie ablesbar (s. Abb. 149).

Durch die unterschiedlichen Faktoren für die Umrechnung von End- zu Primärenergie verschieben sich die Verhältnisse allerdings wieder. Da die Faktoren Gewinnungs-, Umwandlungs- und Transportverluste beinhalten, entstehen durch die Nutzung regenerativer Energien deutliche Vorteile. Folgende Primärenergiefaktoren wurden nach EnEV 2009 bzw. nach Angaben der jeweiligen Stadtwerke zur Berechnung herangezogen:

Solarthermie	0,0
Holzpellets	0,2
Erdgas	1,1
Strom	2,6
Fernwärme Ingolstadt	0,0
Fernwärme Amberg	0,2
Fernwärme Neu-Ulm	0,31

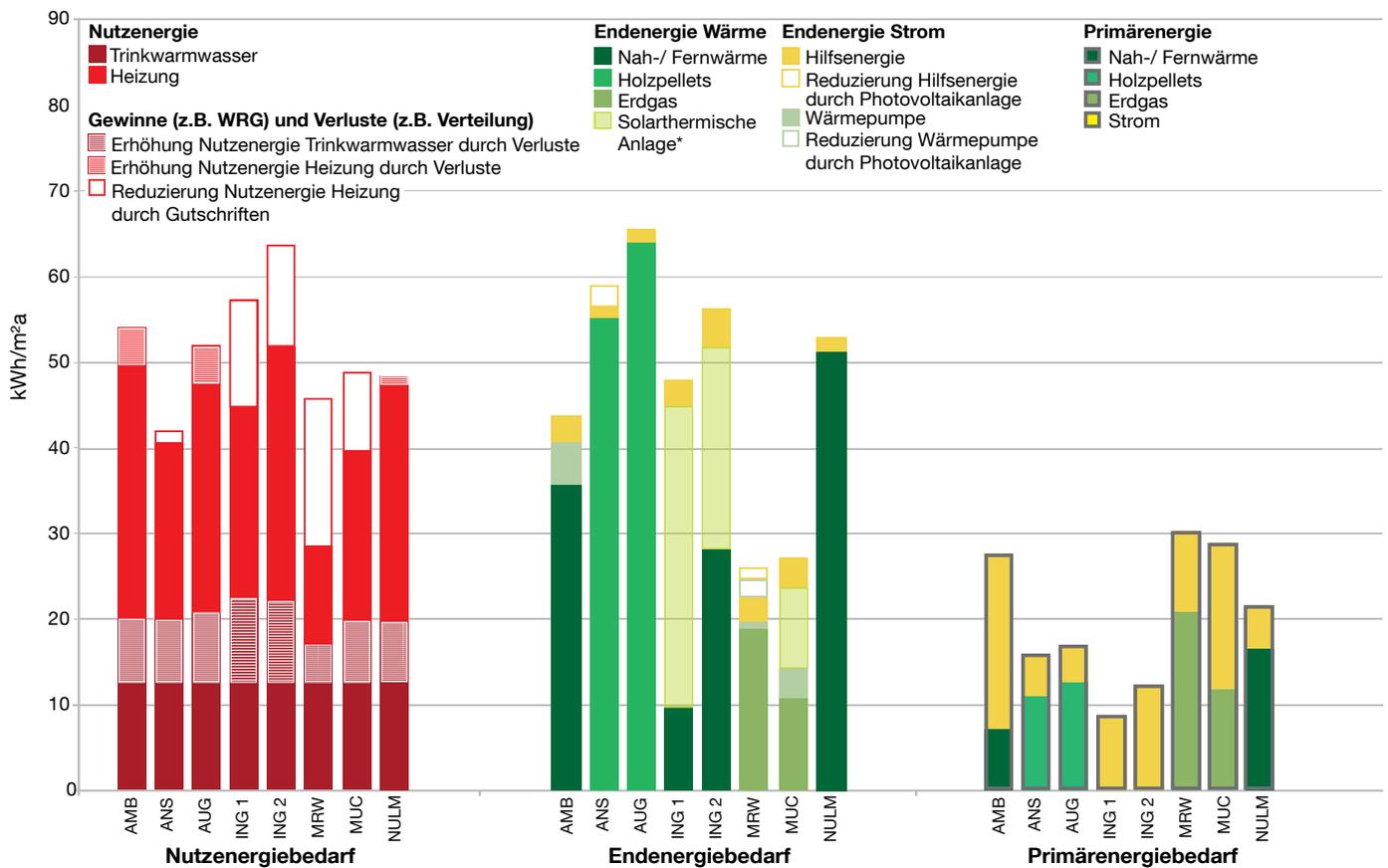


Abb. 149: Gegenüberstellung von Nutz-, End- und Primärenergiebedarf (* = ursprüngliche Deckung laut EnEV-Nachweis durch 100% Fernwärme, Anteil Solarthermie selbst ermittelt; nach EnEV 2009 wird Solarthermie nicht dem Endenergiebedarf angerechnet)

Durch die kontinuierliche Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien im öffentlichen Netz verbessert sich der Faktor für Strom fortlaufend. Gemäß EnEV 2007 wurde ein Faktor von 3,0 angenommen, in der EnEV 2014 sinkt dieser auf 2,4 und ist seit dem 01.01.2016 auf 1,8 abgesenkt (EnEV 2016).

Dennoch besitzt Strom auch dann noch den höchsten Primärenergiefaktor, elektrische Verbraucher wie Wärmepumpen oder Lüftungsanlagen wirken sich entsprechend negativ auf den gesamten Primärenergiebedarf aus. So positionieren sich die Projekte, die eine Wärmepumpe besitzen, mit einem um die 30 kWh/m²a deutlich höheren Primärenergiebedarf als die anderen Projekte ohne Wärmepumpe, die zwischen ca. 9 und 18 kWh/m²a liegen. Die beiden Bauteile in Ingol-

stadt haben den Vorteil, dass standortbedingt die Fernwärme mit dem Primärenergiefaktor 0,0 bewertet wird, da hier die Abwärme aus Industrieprozessen genutzt wird. Wäre der gleiche Faktor von 0,31 wie in Neu-Ulm angesetzt, so läge der Primärenergiebedarf für die Wärmeenergie von Bauteil 2 bei 20 kWh/m²a. Dementsprechend ist es unabdingbar, die Gegebenheiten vor Ort genau zu untersuchen und ein stimmiges Gesamtkonzept zu entwickeln.

Energieverbrauch

Weit wichtiger als die theoretischen, errechneten Bedarfswerte sind die real gemessenen Verbräuche der Projekte. Wie schon in den einzelnen Projektevaluationen dargestellt, liegen nicht von allen Projekten Verbrauchsdaten über mindestens ein komplettes Jahr vor.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 150 dargestellt, aufgeteilt zwischen End- und Primärenergieverbrauch sowie einem fiktiven Primärenergieverbrauchswert. Hier wird angenommen, dass der gesamte Wärmeverbrauch der Projekte mit Erdgas gedeckt wird, somit kann eine direkte Vergleichbarkeit der Wärmeverbräuche aufgezeigt werden. Die linke, helle Darstellung jedes Balkenpaares zeigt die Bedarfswerte, die rechte, dunkle Darstellung zeigt die Verbrauchswerte. Anzumerken ist, dass nur Verbrauchsdaten der jeweils letzten 12 Monate in die Auswertung eingegangen sind, da hier teilweise die Anlagentechnik optimiert werden konnte und die Bewohnerinnen und Bewohner Zeit hatten, sich an die neuen Systeme zu gewöhnen.

Endenergetisch betrachtet liegen die Wärmeverbräuche der Projekte für

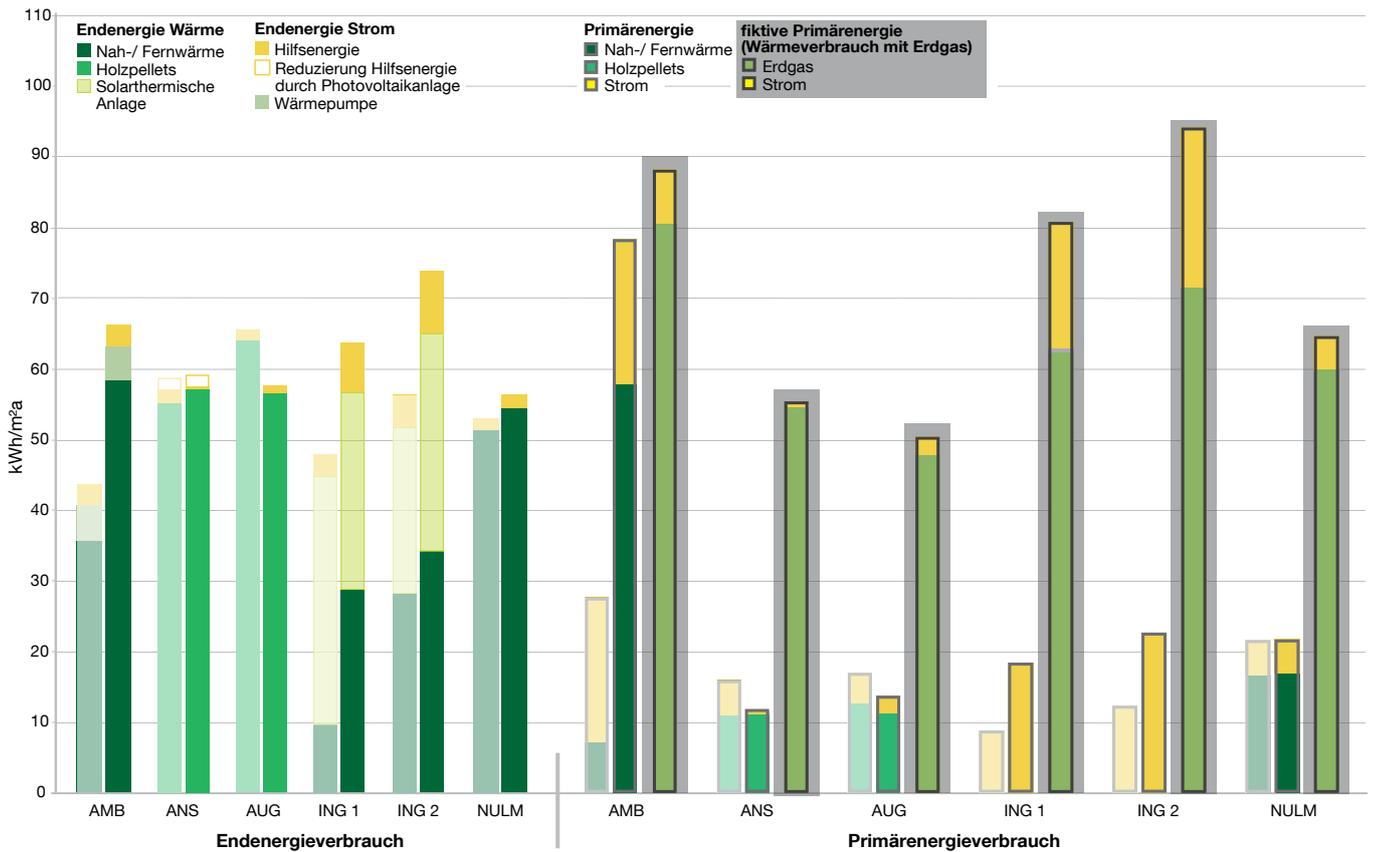


Abb. 150: Vergleich und Gegenüberstellung von Bedarf (linke Säule) und Verbrauch (rechte Säule) der End- und Primärenergie

Heizenergie und Trinkwarmwasser relativ nah beisammen. Am geringsten ist dieser mit 54,5 kWh/m²a in Neu-Ulm, Ingolstadt Bauteil 2 markiert mit 65,1 kWh/m²a das obere Ende. Dazwischen liegen die Projekte in Augsburg mit 56,5 kWh/m²a, Ingolstadt Bauteil 1 mit 56,7 kWh/m²a, Ansbach mit 57,4 kWh/m²a und Amberg mit 58,3 kWh/m²a, in Amberg zuzüglich von 4,9 kWh/m²a Stromverbrauch für die Wärmepumpe. In Amberg wurde bei der Bestimmung des Endenergieverbrauchs zudem der Zählerwert der Fernwärme an der Hausübergabestation ausgewertet, Erzeuger- und Speicherverluste der Heizzentrale sind im Wert der Endenergie somit nicht inkludiert und addieren sich erst bei der Betrachtung der Primärenergie. Die Endenergiewerte in Amberg weisen deshalb eine ähnliche Größe wie beispielsweise in Augsburg auf, wobei

hier Erzeuger- und Speicherverluste schon beinhaltet sind.

Um eben diese Ungleichheiten zu bereinigen, wurde ein fiktiver Primärenergieverbrauchswert berechnet, mit der Annahme, dass der gesamte Wärmeverbrauch jedes Projektes mit einem Gaskessel gedeckt werden würde (s. Abb. 150 - grau hinterlegte Balken). In diesem Fall hat der Gaskessel keine Erzeugerverluste. Somit können die Wärmeverbräuche der Projekte direkt miteinander verglichen werden.

Vergleicht man die Bedarfs- und Verbrauchswerte der Wärmeenergie, weisen Neu-Ulm mit 1 % und Ansbach mit 3 % die geringsten Abweichungen zum errechneten Wärmeenergiebedarf auf. Augsburg hingegen unterschreitet den Bedarfswert erfreulicherweise um 12 %. Die beiden Ingolstadt-

Projekte zeigen einen Mehrverbrauch von 26 % bzw. 27 %, Amberg übersteigt den berechneten Wärmebedarf um 63 %; die Ursachen dafür liegen hauptsächlich in der Trinkwasserbereitung und sind in der Projektevaluation Amberg beschrieben. Allgemein gültige Rückschlüsse zwischen Bedarfs- und Verbrauchswerten lassen sich auf Grund der geringen Anzahl von evaluierten Gebäuden schwer ziehen, dennoch kann man anhand der Teilnehmer des Modellvorhabens feststellen, dass die Projekte mit einfacher Technik (Pelletkessel und Fernwärmeanschluss, reine Abluftanlage) einerseits die Bedarfswerte präziser treffen bzw. sogar unterschreiten, auf der anderen Seite insgesamt die niedrigsten Wärmeverbräuche aufweisen. Die Stromverbräuche für Hilfsenergie und Abluftanlagen liegen hier bei bzw. unter den Bedarfswerten. Ansbach

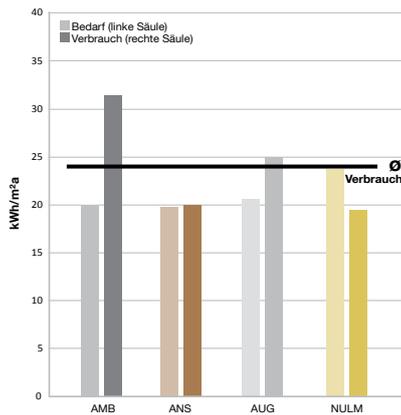


Abb. 151: Vergleich von Bedarf und Verbrauch an Warmwasser

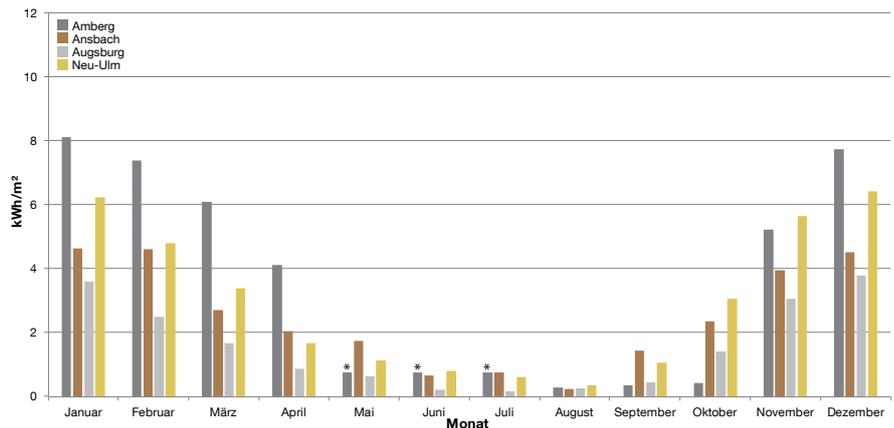


Abb. 152: Vergleich des monatlichen Heizwärmeverbrauchs (* = Ausfall des Wärmemengenzählers von Mai bis Juli; gemittelte Werte)

konnte mit der Photovoltaik-Anlage deutlich mehr Stromertrag erzielen als berechnet, in allen Monaten bis auf November und Dezember konnte der Verbrauch komplett gedeckt werden. Der Hilfsenergieverbrauch fällt mit lediglich 0,2 kWh/m²a deutlich geringer aus als im Bedarf berechnet. In den Ingolstadt-Projekten weicht der Stromverbrauch um 110 % (Bauteil 1) bzw. 83 % (Bauteil 2) vom errechneten Bedarf ab (ausführlichere Erläuterungen hierzu s. S. 82 „Einfluss von Lüftungsanlagen auf den Energieverbrauch“).

Aus eben diesem Grund besitzen die beiden Ingolstadt-Projekte, obwohl ihnen der Wärmeverbrauch nicht angerechnet wird, aus primärenergetischer Sicht nicht mehr den wie im Bedarf berechneten niedrigsten Primärenergieverbrauch, sondern reihen sich hinter Ansbach und Augsburg ein, Ingolstadt Bauteil 2 auch hinter Neu-Ulm. Diese Projekte profitieren vom guten Primärenergiefaktor der Fernwärme bzw. Pellets und dem niedrigen Stromverbrauch für Hilfsenergie sowie der Abluftanlage. In Amberg liegt die Ursache des fast dreifach höheren Primärenergieverbrauchs im Vergleich zum Bedarf neben der nicht wirkungsvoll funktionierenden Warmwasserbereitung hauptsächlich an der durch die Ausfälle des Pelletkessels bedingten häufigen Nutzung des Gaskessels (s. S. 18 ff). Durch diese Ausfälle ist der

Referenzzeitraum der letzten 12 Monate in Amberg energetisch schlechter als das vergleichbare Vorjahr, in denen der Pelletkessel konstanter lief. Da aber davon auszugehen ist, dass der Pelletkessel in Zukunft wieder konstanter läuft und die Warmwasserbereitung optimiert wurde, kann auch hier ein guter Wert erwartet werden.

Insgesamt bestätigt sich, dass durch eine möglichst hundertprozentige Deckung des Wärmeverbrauchs mit regenerativen Energien in Kombination mit einem niedrigen Anteil an stromverbrauchender Hilfsenergie sehr gute Ergebnisse des Primärenergieverbrauchs erzielt werden können. So benötigte Ansbach lediglich 12,0 kWh/m², auch das Sanierungsprojekt Augsburg verbrauchte nur 13,9 kWh/m² an Primärenergie.

Leider konnten wegen Problemen bei der Datenerfassung bei den Projekten Marktredwitz und München, die beide einen Großteil ihrer Wärme über strombetriebene Wärmepumpen erzeugen, keine Verbrauchswerte ausgewertet werden.

Verbrauch Warmwasser

Die vom Ingenieurbüro zur Verfügung gestellten Datensätze in Ingolstadt lieferten nur die gesamten Wärmeverbräuche und unterschieden nicht

zwischen Heizenergie- und Warmwasserverbrauch; daher können keine vergleichbaren Werte herangezogen werden. Da hier dezentrale Trinkwasserstationen verbaut sind, wäre ein Vergleich zu zentralen Systemen besonders interessant gewesen.

Von den Projekten Amberg, Ansbach, Augsburg und Neu-Ulm konnten die Verbräuche der letzten 12 Monate ausgewertet und für den Vergleich herangezogen werden.

Beim Warmwasserverbrauch zeigen sich im Projekt Amberg die höchsten Verbräuche, obwohl die Netzverluste der Nahwärme und die ineffiziente Funktionsweise der Abluft-Wärmepumpe noch nicht inkludiert sind. Mit 31,6 kWh/m²a liegt der Warmwasserverbrauch um ca. 50 % über dem Bedarf. Das geht vor allem auf die hohen Zirkulationsverluste zurück, die im Rahmen des Monitorings aufgedeckt werden konnten und die nach der Optimierungsmaßnahme deutlich reduziert werden konnten (s. S. 18 ff).

Auch in Augsburg wurden 20 % mehr Warmwasser verbraucht als berechnet, während in Ansbach und Neu-Ulm der Verbrauch etwa bei den errechneten ca. 20 kWh/m²a liegt (s. Abb. 151). Bei den erfassten Projekten ergibt sich so ein durchschnittlicher Warmwasserverbrauch von 24,0 kWh/m²a.

	AMB	ANS	AUG	ING BT 1	ING BT 2	MRW	MUC	NULM
H_T [W/m ² K]	0,269	0,212	0,302	0,27	0,3	0,3	0,264	0,35
Endenergiebedarf [kWh/m ² a]	43,6	57,2	65,7	48,2	56,6	24,0	26,8	55,9
H_T zu Endenergiebedarf	6,2	3,7	4,6	5,6	5,3	12,5	9,9	6,3
Endenergieverbrauch [kWh/m ² a]	66,3	57,6	57,5	63,8	73,8	*	*	56,4
H_T zu Endenergieverbrauch	4,1	3,7	5,3	4,2	4,1	*	*	6,2

Tab. 2: Kennwerte von Gebäudehülle und Endenergiebedarf /-verbrauch (*siehe Text für Erläuterungen)

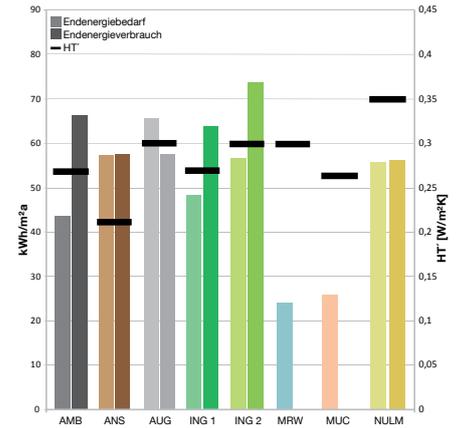


Abb. 153: Verhältnismäßigkeit der Transmissionswärmeverluste zu Endenergiebedarf bzw. -verbrauch

Verbrauch Heizenergie

In Abbildung 152 ist der monatliche Heizwärmeverbrauch der jeweils letzten 12 Monate der Projekte Amberg, Ansbach, Augsburg und Neu-Ulm im direkten Vergleich zu sehen. Wie zu erwarten, liegt in den Wintermonaten bei allen Projekten der höchste Verbrauch vor, in den Sommermonaten der geringste. Dennoch zeigen sich zwischen den Projekten deutliche Unterschiede in absoluten Zahlen: so fällt der Heizwärmeverbrauch von Amberg in fast allen Monaten doppelt so hoch aus wie in Augsburg, obwohl in Amberg der Jahresverbrauch mit 42,9 kWh/m²a nur um 22 % vom Bedarf abweicht. Auch in Neu-Ulm beträgt die Abweichung 22 %, insgesamt liegt der jährliche Heizwärmeverbrauch bei 35,1 kWh/m²a.

Im Projekt Ansbach zeigt sich gegenüber Neu-Ulm in der Heizperiode ein geringerer Heizwärmeverbrauch, in den Übergangszeiten liegt Ansbach etwas über Neu-Ulm, was auf die gute Nutzung der solaren Gewinne des süd-orientierten Gebäudes hinweist. In Augsburg beträgt der Heizwärmeverbrauch lediglich 18,5 kWh/m²a und liegt damit 38 % unter dem Bedarf. Dieser sehr gute Wert ergibt sich wie in Ansbach hauptsächlich aus den Nutzerverhalten in den Wintermonaten.

Nach den angewendeten Bilanzierungsmethoden sollte sich bei allen Projekten der Heizwärmebedarf auf den Zeitraum von November bis März beschränken. Dennoch ist bei allen Projekten auch in den Sommermonaten ein geringer Heizwärmeverbrauch zu beobachten. Extreme Abweichungen zur Berechnung ergeben sich vor allem in den Übergangsmonaten April und Oktober. Liegt hier nach dem Berechnungsverfahren kein Heizwärmebedarf vor, wurden im April noch durchschnittlich 2,1 kWh/m²a, im Oktober 1,8 kWh/m²a verbraucht. Die Bewohnerinnen und Bewohner heizen also auch in Gebäuden mit hohem Dämmstandard länger bzw. früher als allgemein angenommen wird. Demgegenüber zeigen die Daten, dass in den Wintermonaten tendenziell weniger verbraucht wird als berechnet.

Analyse der Verhältnismäßigkeit der Transmissionswärmeverluste zu Endenergiebedarf bzw. Endenergieverbrauch

Die Analyse der Verhältnismäßigkeit der Gebäudehülle zum Endenergiebedarf bzw. Endenergieverbrauch (s. Tab. 2 und Abb. 153) zeigt, dass sehr geringe Verbräuche nicht allein über die Reduktion der Transmissionswärmeverluste erreichbar sind. In Neu-Ulm und Augsburg ließen sich

zum Beispiel bessere Endenergieverbräuche trotz einer geringeren Dämmqualität der Hüllflächen erreichen als in Ingolstadt. Bei den Bestandsgebäuden Augsburg und Amberg war eine optimale Sanierung aller Bauteile und damit die Minimierung der Transmissionswärmeverluste nicht möglich. Augsburg unterschreitet jedoch mit 57,4 kWh/m²a die Prognose der EnEV-Berechnung. Bei Neu-Ulm ist es ähnlich: Obwohl der spezifische Transmissionswärmeverlust H_T mit 0,35 W/m²K um 39 % unter dem Ansbacher Wert liegt, ist deren Endenergiebedarf etwas höher prognostiziert.

Die beiden Gebäude mit Wärmepumpen in Marktrechwitz und München weisen bei nahezu gleichen H_T -Werten wie die Ingolstädter Projekte einen deutlich geringeren Endenergiebedarf auf. Da wegen des späten Fertigstellungszeitpunktes im Projektverlauf bzw. durch Probleme der Verbrauchsdatenerfassung bei diesen Projekten keine Verbrauchswerte eines gesamten Jahres vorliegen, kann hier der tatsächliche Jahresverbrauch nicht ermittelt werden. Es ist jedoch zu beobachten, dass der Endenergiebedarf der Gebäude durch ein erhöhtes Dämmmaß der Außenbauteile nicht deutlich zu verringern war.

Der Ausnutzungsgrad der solaren Gewinne und die Speichermöglichkeit eines



Abb. 154: Ost-West-Orientierung in Ingolstadt Bauteil 1



Abb. 155: Atriumsbau in Ingolstadt Bauteil 2

Baukörpers sind neben den Hüllflächen die wichtigsten Parameter zur Verringerung der Verbräuche.

Konzeptionell bedingte Einflüsse auf den Energieverbrauch

Das grundsätzliche Konzept eines jeden begleiteten Gebäudes ergibt sich aus den Rahmenbedingungen vor Ort und ist ein in sich schlüssiges Ergebnis der Entscheidungsprozesskette.

Die west- bzw. südorientierten Bauten in Marktredwitz und Neu-Ulm reagieren folgerichtig mit einer großen Verglasung Richtung Süden. Es handelt sich in beiden Fällen um Massivbauten. Die solaren Gewinne der großen Südverglasung können über die internen Speichermassen aufgenommen und zeitverzögert an den Innenraum weitergegeben werden.

Die ost-west-orientierten Baukörper in Ansbach und Ingolstadt Bauteil 1 sind hingegen deutlich verschlossener. Eine Reduktion der Transmissionswärmeverluste über den hohen Dämmstandard und deutlich kleinere Öffnungsanteile machen die energetischen Nachteile der Ost-West-Orientierung beherrschbar. Ein Überschuss an solaren Gewinnen stellt für einen mit geringen Speichermassen versehenen Holzbau stets ein Risiko der

Überhitzung dar. Auch hier kommt der geringere Öffnungsanteil dem Gebäudekonzept entgegen.

Aus wissenschaftlicher Sicht ist es nicht schlüssig, warum zum Beispiel technische Insellösungen wie Ingolstadt Bauteil 1 und 2, die mit hohem technischen Aufwand aus Solarthermieanlagen, Pufferspeichern und Lüftungsanlagen Wärme generieren, neben einer regenerativ gespeisten Fernwärmetrasse errichtet wurden. Die vom kirchlichen Wohnungsbaunternehmen gesetzten Ziele zum Einsatz der regenerativen Energien wurden damit allerdings umgesetzt. Gerade der spezielle Rahmen des Modellvorhabens bot den Wohnungsgesellschaften und Planern die Möglichkeit, anspruchsvolle Lösungsansätze zu erarbeiten, die auch auf andere Standorte übertragbar sind.

Die entwerferische Idee des Bauteils 2 in Ingolstadt ist energetisch zu hinterfragen. Das entwurfsbedingte Atrium in der Gebäudemitte stellt ohne Zweifel einen starken räumlichen Zugewinn für das Wohnumfeld dar. Das Atrium wird sehr gerne von Familien mit Kindern genutzt. Der geschützte Raum wird zum Rollerfahren, Gruppenspielen aber auch zum Plausch der Mütter verwendet. Manche Familien würden sich noch Bänke und auch das eine oder andere Spielgerät wün-

schen. Der Sandkasten wurde jedoch von allen Bewohnerinnen und Bewohnern gleich ob mit oder ohne Kinder kritisiert, da der Sand sehr trocken sei und sich der Staub überall absetze.

Aus energetischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten erscheint eine reine Ost-West-Orientierung der Baukörper bei gleichzeitiger Integration der Freiräume ins Atrium sinnvoller.

Die Annahme, das Atriumdach finanziere sich aus den geringeren Dämmstandards der angrenzenden Wände, erschließt sich nur, wenn diese Wände „wertig“ sind. Einsparungen an Wänden der Nebenraumzonen sind weniger rentabel als Einsparungen an den höher aufgeglasteten Umfassungsflächen. Eine Dreischeibenverglasung könnte auf Grund der Zwischentemperaturzone des Atriums beispielsweise auf eine Zweischeibenverglasung reduziert werden. Das Atrium wäre dann Teil des Wohnraums und ein Teil der Balkone somit auch im Winter nutzbar. Hierfür müssten sich allerdings die nach außen orientierten Räume ins Atrium orientieren und die ins Atrium orientierten Räume an der Außenfassade liegen.

Das Bauteil 2 in Ingolstadt ist erst zu einem späteren Zeitpunkt in das Modellvorhaben nachgerückt, so dass eine Beratung der wissenschaftlichen



Abb. 156: Das Projekt in Augsburg vor der Sanierung



Abb. 157: Das Projekt in Augsburg nach der Sanierung



Abb. 158: Wettbewerbsentwurf zur Sanierung in Marktredwitz

Begleitung in der Entwurfsphase nicht möglich war.

Auch in den Bestandsprojekten war eine größtmögliche konzeptuelle Konstanz zu erwarten. Auf der einen Seite wurde das bestehende Gebäude in Amberg, mit gut funktionierenden Wohnungsgrundrissen ausgestattet, mit kleinen, nicht allzu aufwendigen Eingriffen aufgewertet. In ihrer Grundrissstruktur blieben die gut angenommenen Wohnungen bis auf kleinere Änderungen unverändert.

Das Projekt in Augsburg hingegen, ausgestattet mit einer wärmebrückentechnisch problematischen Hülle und an einer viel befahrenen Straße gelegen, bedurfte einem ganz anderen, umfassenderen Konzept. Die neue Hülle, die wie eine zweite Haut vor den Balkonen liegt, ist eine sinnvolle energetische Maßnahme, aber vor allem ist sie ein Zugewinn an Wohnqualität. Die Balkone werden ganzjährig als Loggien nutzbar und den eher knapp bemessenen Grundrissen als Erweiterung zugeschlagen.

Abgesehen von den angeführten kleineren Kritikpunkten ist der Ansatz aller Projekte sowohl im architektonischen als auch im technischen Konzept stets schlüssig und reagiert auf die örtlichen Rahmenbedingungen.

Vergleich der drei ursprünglichen Modernisierungsmaßnahmen

Die beiden realisierten Modernisierungsprojekte sind von der konzeptuellen Herangehensweise vollkommen unterschiedlich. Während in Amberg eine sehr sensible Modernisierung der „kleinen Schritte“ angestoßen wurde, die trotz einer konsequenten Modernisierung der Außenhaut und der Innenräume das Gesicht des Gebäudes wahr, schafft die Augsburger Modernisierung ein komplett neues äußeres Erscheinungsbild der Gebäude. Eine vorgefertigte Fassade löst die Schwachstellen der bestehenden Wohnhäuser. Die Hüllflächen wurden saniert und ermöglichen durch die Verlagerung der Glasebene in die Loggienbereiche neben der Endenergieeinsparung einen deutlichen Zugewinn an Wohnqualität. Die neue Fassade umhüllt die Probleme des Bestandsgebäudes, die konstruktiven Wärmebrücken ebenso wie den Schallschutz. Die Sanierung betrifft primär die Fassade, während die Wohnungen in ihrer Struktur unverändert blieben.

Die kleinen Maßnahmen von Amberg führen zu einer ganzheitlichen Sanierung von innen heraus und damit zum Bewahren und Weitertragen bestehender Qualitäten.

Im Gegensatz dazu wird beim Augsburger Projekt - nicht weniger modellhaft - ein gänzlich anderer Weg der Modernisierung gewählt. Die neue Haut und die Modernisierung von außen gibt dem Gebäude eine bisher nicht vorhandene architektonische Qualität. Die Entscheidung für unterschiedliche Wege der Modernisierung ist nachvollziehbar und immer am spezifischen Objekt zu treffen.

Der ursprüngliche Marktredwitzer Ansatz war sehr innovativ, das Bestandsgebäude sollte nicht nur aufgestockt, sondern auch teilweise entkernt und von Grund auf umgewandelt werden. Hierzu wären sehr große Eingriffe notwendig gewesen. Ab einer gewissen Tiefe der Eingriffe ist der Erhalt der bestehenden Gebäudestruktur präzise zu hinterfragen.

In Marktredwitz wurde die Voruntersuchung einer möglichen Bestandssanierung nicht erstellt. Bei genauer Betrachtung der alten Bausubstanz und Entwicklung einer behutsamen Modernisierung ohne tiefgreifende Eingriffe in die Grundrissstruktur wäre die Sanierungswürdigkeit des Gebäudes eventuell anders, also unter Umständen als realisierbarer bewertet worden.



Abb. 159: Solarthermische Anlage in München



Abb. 160: Warmwasserspeicher in Ingolstadt Bauteil 1



Abb. 161: Photovoltaikanlage in Ansbach

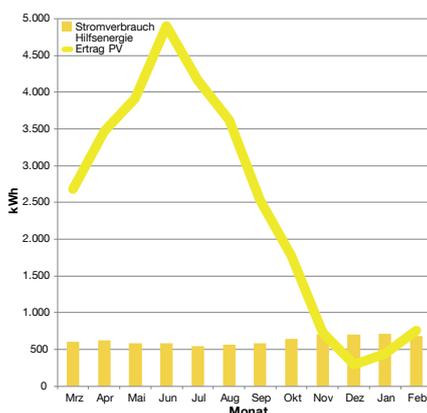


Abb. 162: Stromverbrauch der Hilfsenergie und Stromertrag durch die PV-Anlage in Ansbach

Standort	Fläche Solarthermie	Nutzfläche	Fläche Solarthermie/ 10m ² Nutzfläche	solare Deckungsrate des Wärmeverbrauchs
München	170 m ²	4.998 m ²	0,34	-
Ingolstadt BT 1	862 m ²	7.378 m ²	1,17	49 %
Ingolstadt BT2	216 m ²	2.753 m ²	0,78	47 %

Tab. 3: Grunddaten der solarthermische Anlagen

Nutzung solarer Gewinne

Alle teilnehmenden Projekte nutzen Solarenergie entweder durch aktive Systeme wie solarthermische Anlagen und Photovoltaik oder durch passive Maßnahmen wie Vorerwärmung der Zuluft, Orientierung der Fensterflächen nach Süden usw. (s. Abb. 148).

Nutzung solarer Gewinne durch aktive Systeme

Fünf der acht Projekte nutzen aktive Systeme zur Nutzung von Solarstrahlung. Ansbach und Marktredwitz haben eine Photovoltaikanlage zur Stromerzeugung auf dem Dach installiert, München und die beiden Projekte in Ingolstadt gewinnen durch solarthermische Anlagen Warmwasser. Dieses wird in den drei Gebäuden sowohl zur Warmwasserversorgung als auch zum Heizen verwendet.

Für Bauherren stellt sich häufig die Frage, ob ein solches System auch für ihr Bauvorhaben sinnvoll wäre. Dies hängt natürlich maßgeblich von den Gegebenheiten vor Ort ab, die Entscheidung sollte mit den anderen technischen und konzeptuellen Komponenten ein stimmiges Gesamtkonzept ergeben.

Der Vergleich der Projekte mit solarthermischen Anlagen in Tabelle 3

zeigt, dass München mit 0,34 den niedrigsten Anteil an Fläche solarthermischer Anlage pro 10 m² Nutzfläche besitzt, Bauteil 1 in Ingolstadt mit 1,17 mit Abstand den höchsten. Nach Hay 2011 wird als Richtwert eine Kollektorfläche von 0,5 - 0,8 pro 10 m² beheizter Wohnfläche empfohlen. Obwohl Bauteil 2 in Ingolstadt nur ca. 2/3 der Kollektorfläche von Bauteil 1 besitzt, kommen beide Projekte mit 47 % bzw. 49 % auf fast die gleiche solare Deckungsrate des Gesamtverbrauchs; von München liegen keine vergleichbaren Werte vor. Bauteil 2 erfüllt somit die Prognose der solaren Deckungsrate von 46 %. Dass Bauteil 1 die berechnete solare Deckungsrate von 78 % am Gesamtwärmeverbrauch trotz der großen Wasserspeicher nicht erzielen kann, liegt an der Problematik der zeitlichen Differenz zwischen solarem Ertrag und Wärmeverbrauch. Von Oktober bis April reicht die solarthermische Anlage nicht mehr aus, den Wärmeverbrauch zu decken. Im Winter, wenn die Solarstrahlung am geringsten ist, liegt jedoch der größte Heizwärmebedarf vor.

Dennoch kann in dieser Zeit nicht einmal der Warmwasserverbrauch gedeckt werden. Demgegenüber wird im Sommer zeitweise so viel Ertrag erreicht, dass die Wärme nicht mehr aufgenommen und gespeichert werden kann. Somit kann die konzeptionelle

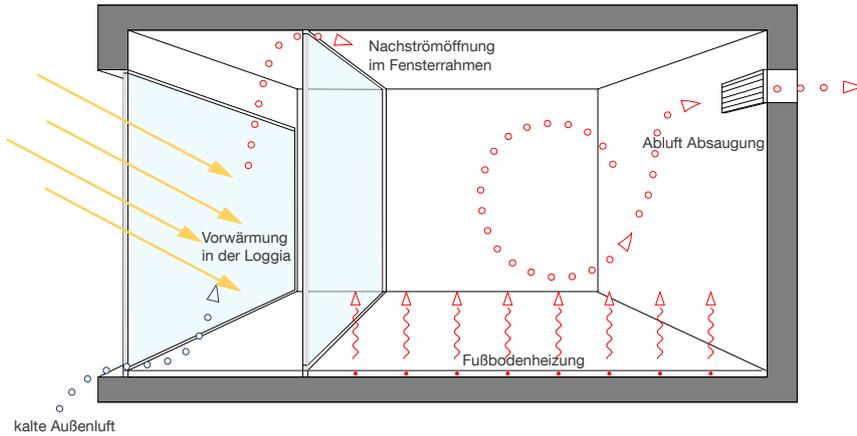


Abb. 163: Funktionsweise der passiven Solarnutzung durch Vorwärmung der Luft in den Loggien

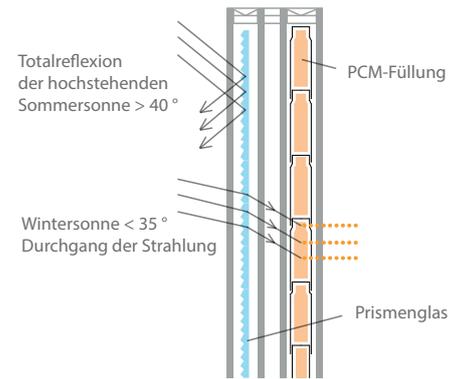


Abb. 164: GlassX-Element in Neu-Ulm

Idee dieses Modellprojektes einer maximalen Ausnutzung der Solarenergie in der Realität nicht in vollem Umfang umgesetzt werden.

Nachträglich kann festgestellt werden, dass in diesen Fall eine Reduzierung der solarthermischen Fläche mit einem Richtwert nach Hay 2011 auf ungefähr 575 m² sinnvoller gewesen wäre. Die restliche Fläche von 285 m² hätte mit einer Photovoltaikanlage belegt werden können: mit einem jährlichen Stromertrag von ca. 31.000 kWh hätte damit der jährliche Stromverbrauch der Anlagentechnik von 27.600 kWh abgedeckt werden können.

Die Projekte in Ansbach und Marktredwitz besitzen je eine Photovoltaikanlage, die im Zeitraum von März bis Dezember 2014 einen Stromertrag von ca. 28.000 kWh bzw. 20.000 kWh erzielen konnte. In beiden Projekten wird der Ertrag soweit als möglich für die haustechnischen Stromverbraucher verwendet, der Überschuss wird in das öffentliche Netz gespeist.

In Ansbach kann durch den Ertrag der PV-Anlage bis auf die Monate November und Dezember der komplette Stromverbrauch der Hilfsenergie gedeckt werden. Durch den verlustfreien Transport und die vielfältige Einsetzbarkeit (Heizen, Kühlen, Elektromobilität, elektrische Verbraucher etc.)

kommt der Ressource Strom im Hinblick auf die geplante Energiewende in Deutschland auch im Gebäudesektor eine zunehmend bedeutende Rolle zu.

Nutzung solarer Gewinne durch passive Systeme

Die passive solare Energienutzung ist durch eine mittlere bis schwere Bauart und große Verglasungsanteile in den Baukörpern in Marktredwitz, Neu-Ulm und Augsburg intelligent gelöst.

Solare Energiegewinne gelangen ins Innere der Wohnungen, werden in massiven Bauteilen gespeichert und zeitversetzt wieder abgegeben. Dieses System funktioniert in allen Massivbauten in gleicher Art und Weise. In den Holzbauten, vor allem in Ansbach, wurden Dickholzelemente und freiliegende Holzdecken eingesetzt, um einen vergleichbaren Effekt zu erreichen. Gemäß DIN 4108-6 konnte z.B. das Gebäude in Ansbach als mittelschwere Bauart eingestuft werden und diesen Effekt nutzen.

Als neues Bauteil der Baustoffindustrie wurde beim Projekt in Neu-Ulm ein Wärmespeichersystem in die Fassade integriert. Ein Drittel der Schlafraumverglasung wurde durch ein GlassX-Element ersetzt. Dieses spezielle Element nimmt die tief einfallende Sonnenstrahlung im Winter auf,

der darin befindliche Latentwärmespeicher schmilzt und gibt die Wärme durch erneuten Wechsel des Aggregatzustandes zeitverzögert wieder ab.

In der mobilen Messdatenerfassung konnte dieser Zeitversatz jedoch nicht erfasst werden, dies kann an einem zu kleinen Anteil der Elemente an der Gesamtfassade begründet sein. Eine genauere Untersuchung dieser Zusammenhänge fällt jedoch eher in den Bereich der Produktentwicklung als in die Begleitforschung eines Wohnungsbauprojekts, das aus einer Vielzahl einzelner Komponenten besteht.

Die Vorwärmung der Zuluft ist eine weitere passive Maßnahme zur Nutzung der solaren Energiegewinne. In Amberg wurde dies durch den Ersatz der alten Verglasung durch Kastenfenster umgesetzt. Die verglasten Loggien in Augsburg und Neu-Ulm arbeiten nach demselben Prinzip.

Die solare Temperierung der Zuluft ist vor allem in den Wintermonaten wertvoll. In den Sommermonaten ist sie jedoch nicht gewünscht, da der Nutzer in diesem Zeitraum einen vollwertigen Balkon nutzen möchte. Die Wintergärten haben den Vorteil offenbar zu sein. Je weiter die Verglasung zur Seite schiebbar ist, desto geringer sind die Einschränkungen des Nutzerkomforts.



Abb. 165: Loggia in Neu-Ulm



Abb. 166: GlassX-Element mit Latentwärmespeicher in Neu-Ulm



Abb. 167: Weit ausragende Balkone in Marktredwitz

In den Übergangsmonaten haben diese einfachen passiven Maßnahmen jedoch das Problem der mangelnden Steuerbarkeit der Temperierung. Es kann zu Überhitzung kommen oder die Loggia bleibt bei zu niedrigen Temperaturen komplett geöffnet und entzieht dem Wohnraum somit Wärme.

Die Wintergärten überhitzen, sofern der Sonnenschutz nicht geschlossen ist, oder zum falschen Zeitpunkt komplett geöffnet wird. Über die qualitativ minderwertigere innere Hüllfläche dringt die Wärme auch in die Wohnräume ein.

Sommerlicher Wärmeschutz

Der sommerliche Wärmeschutz wurde bei vielen Projekten nicht ausreichend gelöst.

Während auf süd-orientierten Fassaden mit einem steilen Einfallswinkel der Solarstrahlung zu rechnen ist, ist der Einfallswinkel bei ost-west-orientierten Gebäuden sehr flach. Die logische Konsequenz, welche in Ingolstadt Bauteil 1, München und Ansbach verfolgt wurde, ist die Minimierung des Verglasungsanteils der Ost-West-Fassaden. Zudem wurden den bodentiefen Fenstern umlaufende Balkone vorgelagert. Die statische Verschattung über Balkone kann jedoch häufig, gerade bei einer mittel-

schweren Bauart wie in Ansbach, zur Überhitzung des Innenraumes führen.

Eine bauliche Verschattung süd-orientierter Baukörper kann sich hingegen gut bewähren, da der Einfallswinkel der Sonne in den Sommermonaten relativ steil ist. Dafür ist jedoch eine ausreichend weite Auskragung unumgänglich, wie in Marktredwitz und bei geöffneten Wintergärten in Neu-Ulm realisiert. Ein Verspringen der baulichen Verschattung vor der Fensterebene, wie am Beispiel Marktredwitz mit dem Ziel eines bewegten Fassadenspiels erfolgt, kann jedoch eine zusätzliche bewegliche Verschattung erforderlich machen.

Vorbildlich gelöst ist die Verschattung beim Bauteil 2 in Ingolstadt. Die rein manuelle Regelbarkeit bei leichten bis mittelschweren Baukörpern kann in manchen Fällen nicht ausreichend sein.

Einfluss von Lüftungsanlagen auf den Energieverbrauch

Keines der teilnehmenden Projekte besitzt ein ausschließlich natürliches Lüftungskonzept. Alle Projekte sind mit mindestens einer Abluftanlage ausgestattet, sie entsprechen somit der im Mai 2009 neu aufgelegten DIN 1946-6 „Lüftung von Wohngebäuden“. Durch bessere Materialien

nimmt die Luftdichtigkeit von Gebäuden immer mehr zu, der Luftaustausch durch Infiltration auf Grund von Undichtigkeiten in der Gebäudehülle wird auf ein Minimum reduziert. Um einen notwendigen Luftwechsel auch bei Abwesenheit zu garantieren, muss deshalb ein Lüftungskonzept nach DIN 1946-6 nachgewiesen werden.

Die Projekte Amberg, Ansbach, Augsburg und Neu-Ulm verfügen über eine Abluftanlage, die in den Bädern und Küchen die verbrauchte Luft absaugt. Durch den erzeugten Unterdruck strömt durch definierte Öffnungen in der Fassade, die meist im Fenster integriert sind, frische Außenluft nach.

Die beiden Projekte in Ingolstadt sowie das Modellvorhaben in München besitzen eine zentrale Lüftungsanlage mit Zu- und Abluft, in Marktredwitz ist diese wohnungsweise dezentral ausgeführt. In allen vier Fällen sind diese sogenannten „Komfortlüftungen“ mit einer Wärmerückgewinnung ausgestattet, welche die Raumwärme der Abluft über einen Wärmetauscher der frischen Zuluft zuführt. Durch die Wärmerückgewinnung sollen Lüftungswärmeverluste in der kalten Jahreszeit minimiert und eine Reduzierung des Heizwärmeverbrauchs erreicht werden. Diese Heizenergieeinsparung zeigt aber nur Wirkung, wenn die Nutzer die Lüftungsanlage vorschriftsge-



Abb. 168: Gekipptes Fenster in Marktrechwitz

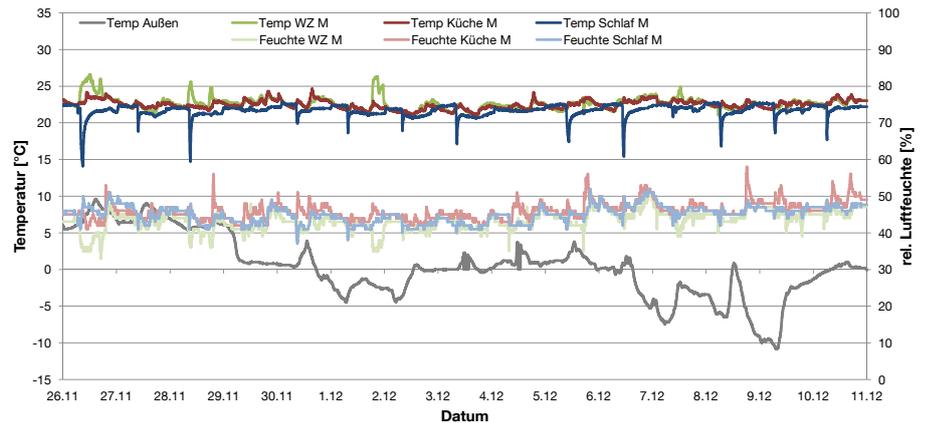


Abb. 169: Visualisierung der Innenaummessungen in einem Haushalt in Ingolstadt Bauteil 2

mäß benutzen und nicht zusätzlich über die Fenster lüften. Zudem muss beachtet werden, dass bei einer Komfortlüftung ungefähr doppelt so viel Strom für Hilfsenergie benötigt wird als bei einer reinen Abluftanlage. Da der Primärenergiefaktor für Strom hoch ist, sollte das Einsparpotenzial durch die Wärmerückgewinnung ebenso entsprechend hoch sein. Untersucht wird dies exemplarisch am Projekt Ingolstadt Bauteil 2, da von den anderen Projekten mit mechanischer Lüftungsanlage in München und Marktrechwitz keine Verbrauchsdaten eines kompletten Jahres vorliegen.

Der Vergleich bezieht sich auf Werte des vorliegenden EnEV-Nachweises sowie den Verbrauchsdaten: der Nutzenergiebedarf für die Heizung liegt bei $36,67 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, durch Verluste (z.B. Verteilverluste) und Gewinne (u.a. durch Wärmerückgewinnung) resultiert ein Endenergiebedarf von $30,02 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Dabei spart die Wärmerückgewinnung bei 0,6-fachem Luftwechsel $8,37 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ an Heizenergie ein. Hierbei ist anzumerken, dass die Norm-Anlagen-Luftwechselrate nach DIN 4701-10 bei $n = 0,4 \text{ h}^{-1}$ liegt und diese Luftwechselrate in der Realität auch so umgesetzt wurde. Demnach würde der Endenergiebedarf zum Heizen auf $18,1 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ reduziert werden können.

Der Einsatz von Strom für die Hilfsenergie der Lüftungsanlage wird nach DIN 4701-10 mit $3,3 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ angenommen, zusammen mit der Hilfsenergie für die Anlagentechnik von $1,0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ergibt das einen jährlichen theoretischen Strombedarf von $4,3 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ bzw. 11.710 kWh/a . Prozentual entfallen damit ca. 75 % auf die Lüftungsanlage, ca. 25 % auf die restliche Hilfsenergie.

Der tatsächlich gemessene Stromverbrauch für beides beträgt insgesamt ca. 24.000 kWh/a . Eine Differenzierung zwischen den Verbrauchern kann in diesem Fall nicht vorgenommen werden, da beide Posten auf einem gemeinsamen Schaltkreis liegen. Bei einer spezifischen Ventilatorenleistung von $0,6 \text{ Wh/m}^3$, die anhand der vorliegenden Verbräuche realistisch erscheint und einem Volumenstrom von $3.200 \text{ m}^3/\text{h}$ ergibt sich ein Verbrauch von ca. 16.800 kWh/a für das Lüftungsgerät.

Der gemessene Wärmeverbrauch von Warmwasser und Heizenergie liegt mit $65,1 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ um 24 % über dem Bedarf des vorliegenden EnEV-Nachweises und um 61 % darüber, wenn man den in der Realität umgesetzten Luftwechsel von $n = 0,4 \text{ h}^{-1}$ ansetzt. Für diesen Mehrverbrauch können mehrere nicht identifizierbare Einflussfaktoren verantwortlich sein, wie

ein höherer Warmwasserverbrauch, höhere Innenraumtemperaturen oder Lüftungswärmeverluste durch zusätzliches Fensterlüften.

Da die erhaltenen Messdaten keine Differenzierung von Heizenergie und Warmwasserverbrauch zulassen, wird der durchschnittliche Warmwasserverbrauch der anderen Projekte herangezogen, bei denen dieser genau ermittelt werden konnte und bei $24,0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ liegt (s. Abb. 151).

Bei den Innenaummessungen ist in den drei untersuchten Wohnungen eine durchschnittliche Temperatur von $22,2 \text{ °C}$ aufgezeichnet worden. Da pro Kelvin höherer Temperatur ca. 6 % Mehrverbrauch entsteht, lassen sich ca. $6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ den höheren Temperaturen zuschreiben. Nach der Bereinigung von Warmwasser- und höheren Innenraumtemperaturen verbleibt somit eine Differenz von $17,0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ zum Heizenergiebedarf von $18,1 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (s. Tab. 4).

Betrachtet man die Daten der Innenaummessungen der Wohnungen, in denen eine mechanische Zu- und Abluftanlage verbaut wurde, ist festzustellen, dass in elf von zwölf untersuchten Haushalten zusätzlich über die Fenster gelüftet wurde. In Abbildung 169 zeigt dies exemplarisch

Wärmeverbrauch gesamt (Hzg + WW)	65,1 kWh/m ² a
Abzüglich Ø WW-Verbrauch	- 24,0 kWh/m ² a
Abzüglich Korrektur für erhöhte Innenraumtemperaturen	- 6,0 kWh/m ² a
Heizwärmeverbrauch nach Abzügen	35,1 kWh/m ² a
Heizwärmebedarf (mit Luftwechsel n=0,4 h ⁻¹)	18,1 kWh/m ² a
nicht zuweisbare Abweichung (Heizwärmeverbrauch - Heizwärmebedarf)	17,0 kWh/m ² a

Tab. 4: Berechnung zur Bereinigung des Wärmeverbrauchs am Beispiel Ingolstadt Bauteil 2

die dunkelblaue Linie (Temperatur im Schlafzimmer), die regelmäßig extrem stark nach unten abfällt und so auf regelmäßiges Stoßlüften hindeutet. Auch in den anderen Räumen kann man ab und an eine stärkere Temperaturschwankung ablesen, wenn auch nicht so häufig und regelmäßig. Die Aussagen der Nutzer bei den vorgenommenen Befragungen bestätigen die Analyse der Daten: hier gaben sogar alle befragten Mieterinnen und Mieter an, zusätzlich zur mechanischen Lüftungsanlage das Fenster zu öffnen.

Es ist zu bezweifeln, dass die erwähnte Differenz von 17 kWh/m²a komplett auf Lüftungswärmeverluste durch zusätzliches Lüften über die Fenster zurückzuführen ist. Dennoch kann angenommen werden, dass die Wärmerückgewinnung nicht die erwünschten Einsparungen mit sich bringt, die theoretisch möglich wären.

Somit bleibt die Erkenntnis, dass man durch den in der Realität höheren Stromverbrauch der Lüftungsanlage in Kombination mit einem schlechteren Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung auf Grund des nutzerbedingten zusätzlichen Lüftens über das Fenster den Einbau einer mechanischen Lüftungsanlage im mehrgeschossigen Wohnungsbau aus energetischer Sicht in Frage stellen sollte. Bauherren

sollten sich deshalb bewusst sein, dass in der Realität Nutzereinflüsse den Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung stark beeinflussen und die zu erzielende Reduzierung von Lüftungswärmeverlusten geringer ausfallen können als es das Berechnungsverfahren vorgibt.

Qualitätssicherung

Die Umsetzung von Luftdichtigkeitsprüfungen, Thermografieaufnahmen und einem Anlagenmonitoring als wichtige Bausteine der Qualitätssicherung wurden von der wissenschaftlichen Begleitung stets betont und sollten prinzipiell bei allen Modernisierungen und Neubauten verwirklicht werden, dennoch nahmen diese nicht bei allen Projekten einen gleich hohen Stellenwert ein.

Luftdichtigkeitsmessungen

Grundsätzlich sollten bei allen Neubaumaßnahmen und Bestandsgebäuden mindesten zwei Luftdichtigkeitsprüfungen durchgeführt werden: eine nach Fertigstellung der Luftdichtigkeitsebene und eine zweite nach Fertigstellung des Gebäudes. Die Luftdichtigkeitsprüfung ist bestanden, wenn die Mindestanforderungen für Wohngebäude, in diesem Fall nach EnEV 2009, und damit die DIN 4108-7 erfüllt sind:



Abb. 170: Luftdichtigkeitsmessung während der Bauphase in München

- ohne raumlufttechnischen Anlagen
 $n_{50} \leq 3,0 \text{ h}^{-1}$
- mit raumlufttechnischen Anlagen
 $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$

Da keines der Projekte über ein rein natürliches Lüftungskonzept verfügt, musste der niedrigere Grenzwert von $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$ stets eingehalten werden. Im Passivhausbereich sind deutlich niedrigere Werte zu erwarten. München und Ansbach weisen hier mit $n_{50} = 0,3 \text{ h}^{-1}$ bzw. $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ außerordentlich gute Werte auf. Nachdem die Transmissionswärmeverluste der Gebäude im Modellvorhaben als sehr gering einzustufen sind, steigt die Relevanz der Lüftungs- und Infiltrationswärmeverluste für die Energiebilanz des Gebäudes.

Aus bauphysikalischen und auch konstruktiven Gründen ist im Holzbau noch stärker auf eine durchgängige Ausführung der Luftdichtigkeitsebene zu achten. Das Projekt in Ansbach ist beispielhaft für eine sorgfältige Detailplanung und ein gutes Messkonzept: Nach einer ersten Messung zum Zeitpunkt der Erstellung der Luftdichtigkeitsebene ist eine Kontrollmessung nach Fertigstellung des Gebäudes veranlasst worden.

Bei allen Neubauten in Holzbauweise wurden die Luftdichtigkeitsmessungen relativ zeitnah nach Fertigstellung der Dicht-

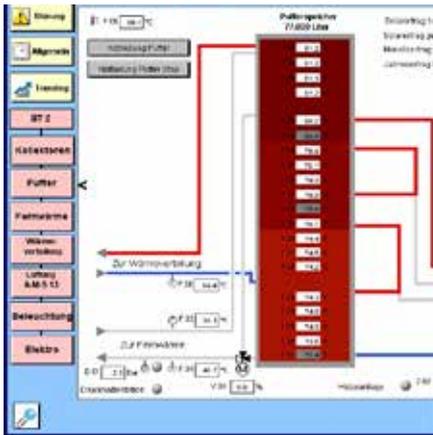


Abb. 171: Screenshot des Programms zur Visualisierung des Anlagenmonitorings in Ingolstadt

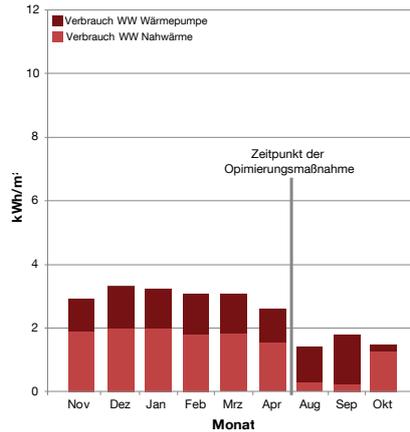


Abb. 172: Reduzierung des Warmwasserverbrauchs in Amberg durch Optimierungsmaßnahmen



Abb. 173: Außenansicht in Augsburg vor der Sanierung

heitsebene bzw. Einbau der Fenster durchgeführt.

Zu diesem Zeitpunkt können Schwachstellen gut lokalisiert werden. Solange der Innenausbau noch nicht fertiggestellt ist, sind Nachbesserungen einfach und unter geringem Kostenaufwand zu bewerkstelligen.

Unplanmäßige Undichtigkeiten im Bereich der Fenster lassen sich häufig noch zu einem späteren Zeitpunkt korrigieren. Bei Werten, die zum Zeitpunkt der Messung sehr nahe an die vorgeschriebenen Grenzwerte herankommen, sind die Ortung und Beseitigung von Leckagen angezeigt.

Die Qualität der Gebäudehülle bzw. die Luftdichtheit des Gebäudes lässt sich über die Detaillierung der Bauteile während der Planung, die Auswahl der Komponenten bei der Ausschreibung und einen reibungslosen Bauprozess steuern. Gerade bei Fenstern und Türen ist darauf zu achten, dass sie die erwarteten Dichtigkeitseigenschaften erfüllen.

Thermografieaufnahmen

Thermografieaufnahmen sind ein wichtiger weiterer Punkt der qualitätssichernden Maßnahmen. Sie sollten bei Bestandsgebäuden vor und nach der Sanierung durchgeführt werden.

Die Aufnahmen vor der Sanierung zeigen in der Regel überhöhte Wärmeverluste an Schwachstellen von Dach und Fassade auf, die im Rahmen der Werk- und Detailplanung zu entschärfen sind. Ein gutes Beispiel hierfür ist die Laubengängerschließung in Augsburg; neben Undichtigkeiten im Bereich der Wohnungseingangstüren ließen sich die Temperaturunterschiede am Anschlusspunkt der Betondecken zu den Gebäudeaußenwänden gut darstellen. Nach Fertigstellung der Maßnahmen ist die Erfolgskontrolle mit Messungen unumgänglich. Bei Gebäuden mit hinterlüfteten Fassadensystemen ist vor allem der Blick von innen auf die Übergänge zwischen Decken und Außenwänden von Bedeutung. Bei monolithischen Bauweisen oder außenliegendem Dämmsystem können auch Außenaufnahmen Schwachstellen sichtbar machen. Vor- und Rücksprünge der Hüllflächen und die Anschlusspunkte der Balkone sollten thermografisch untersucht werden.

Die Thermografieaufnahmen dienen als Nachweis einer in der Planung angestrebten Ausführungsqualität und decken etwaige kleine Schwachstellen auf. Punkte, an denen einfache Nachbesserungen ein hohes Einsparpotenzial nach sich ziehen, sind zum Beispiel die Außentüren.

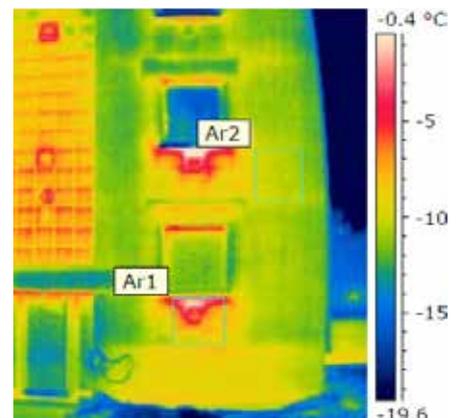


Abb. 174: Thermografieaufnahme in Augsburg vor der Sanierung



Abb. 175: Außenansicht in Augsburg nach der Sanierung

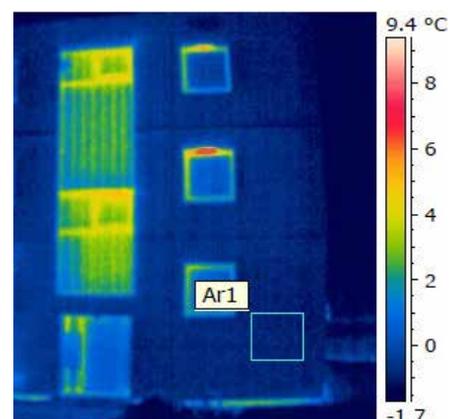


Abb. 176: Thermografieaufnahme in Augsburg nach der Sanierung

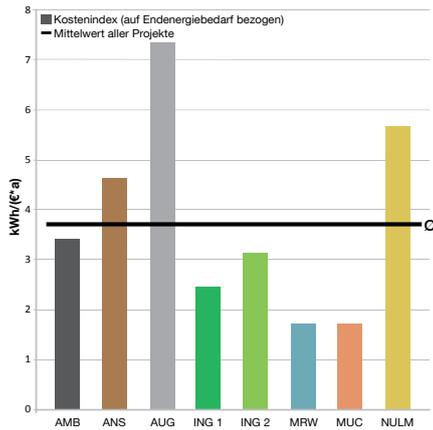


Abb. 177: Kostenindex bezogen auf den Endenergiebedarf

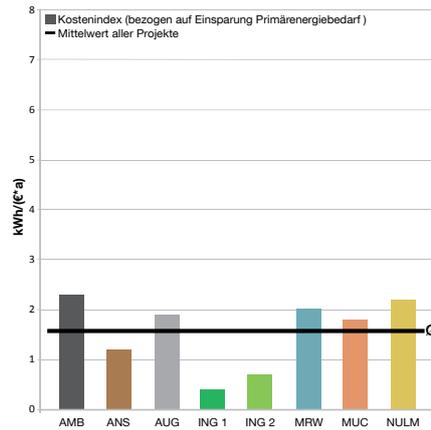


Abb. 178: Kostenindex bezogen auf die Einsparung des Primärenergiebedarfs



Abb. 179: Innenausbau in Neu-Ulm

Anlagen-Monitoring

Von der wissenschaftlichen Begleitung wurde eine Handlungsempfehlung für die Wohnbaugesellschaften erstellt, in der Hinweise zur Durchführung und Notwendigkeit eines Anlagenmonitorings erläutert wurden. Wichtig bei einem Monitoring ist es, Strom- und Wärmemengenzähler so zu setzen, dass Energie-Input und -Output sowie die Betriebsweise und -dauer der Anlagentechnik nachvollzogen werden können. Deshalb sollten vor und nach Wärmeerzeugern sowie vor Speichern und Verteilern Wärmemengenzähler sitzen, die den Volumenstrom sowie die Vor- und Rücklauftemperaturen erfassen. Stromzähler für Wärmeerzeuger und Pumpen lassen Rückschlüsse auf Betriebsdauern und -zeiten zu. Die erhobenen Daten können mittels eines Online-Zugangs direkt abgerufen werden oder über Datenlogger gespeichert und anschließend analysiert werden.

Teilweise setzten die teilnehmenden Projekte ein Monitoring um: Nur in den beiden Projekten in Ingolstadt sowie in Amberg wurde ein Monitoring extern beauftragt und durchgeführt. Obwohl Marktredwitz und Ansbach ebenfalls mit der notwendigen Technik ausgestattet sind, erfolgte hier nach Kenntnis der wissenschaftlichen Begleitung

bisher keine Auswertung des Anlagenbetriebs durch die Betreiber.

Dabei zeigen die drei Projekte, bei denen ein Monitoring durchgeführt wurde, deutlich, wie sinnvoll diese Maßnahme ist. So fiel beispielsweise in Ingolstadt durch zu hohe Rücklauftemperaturen der Frischwasserstationen auf, dass deren Hydraulik defekt war und einzelne Komponenten ausgetauscht werden mussten. Durch die Überwachung der Solarthermieanlage konnten fehlerhafte Kollektoren identifiziert werden. Darüber hinaus ermöglichte das Monitoring, das Zusammenspiel von Fernwärme, Pufferspeicher und solarem Ertrag zu optimieren. All diese Maßnahmen führten zu einer Effizienzsteigerung der Solarthermieanlage, der Wärmeverbrauch wurde um fast 20 % reduziert.

Auch in Amberg zeigte erst das Monitoring Defizite in der Warmwasserbereitung auf (s. S. 18 ff.). Die durchgeführten Optimierungsmaßnahmen steigerten den Anteil der Wärmepumpe an der Warmwassererzeugung um 10 %. Durch die Verlegung der Zirkulationsleitung sank der Anteil des Nahwärmenetzes für die Warmwasserbereitstellung um 76 % deutlich (s. Abb. 172).

Kosten

Die Basis für die durchgeführte Bewertung der Baukosten sind folgende drei Parameter: der Kosten-Index, die Untersuchung des energieeffizienten Einsatzes der Kostengruppe 400 und der quantitative Kostenvergleich der Projekte.

Kosten-Index

Der Kosten-Index ergibt sich aus den Kosten der Kostengruppen 300 und 400 der DIN 276-1, welche im Rahmen der Kostenfeststellungen von den Wohnungsbaugesellschaften ermittelt wurden. Die Kosten beziehen sich, wie alle anderen Größen im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung, auf die Energiebezugsfläche gemäß EnEV 2009. Die Energiebezugsfläche ist jedoch nicht mit der Wohnfläche gleichzusetzen. Neu-Ulm weist z.B. eine mittlere Energiebezugsfläche von 99 m² pro Wohneinheit auf, während beim Bauteil 2 in Ingolstadt, bei welchem die Atrien konsequent aus der Berechnung heraus genommen wurden, nur durchschnittlich 79 m² pro Wohneinheit zum Tragen kommen. Da wie in früheren Kapiteln erwähnt nicht von allen Projekten ganzjährige Verbrauchswerte vorliegen und die Gründe für große Abweichungen nicht vergleichbar sind, wird der Endenergiebedarf aller Projekte als Berech-

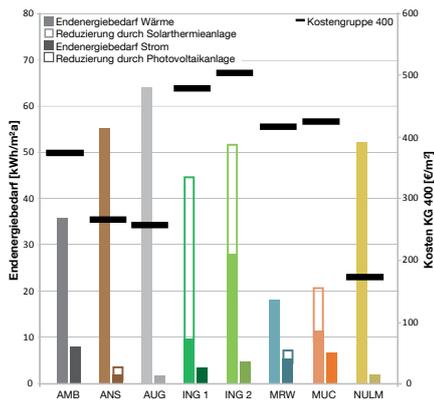


Abb. 180: Effizienter Einsatz der Kostengruppe 400 nach Endenergiebedarf

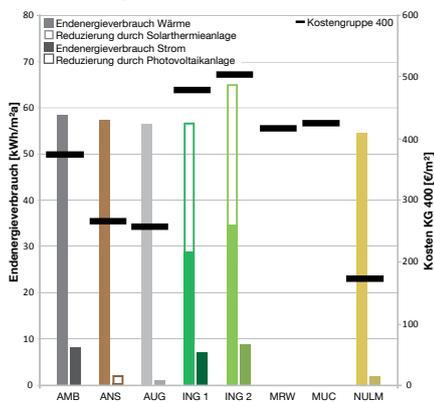


Abb. 182: Effizienter Einsatz der Kostengruppe 400 nach Endenergieverbrauch

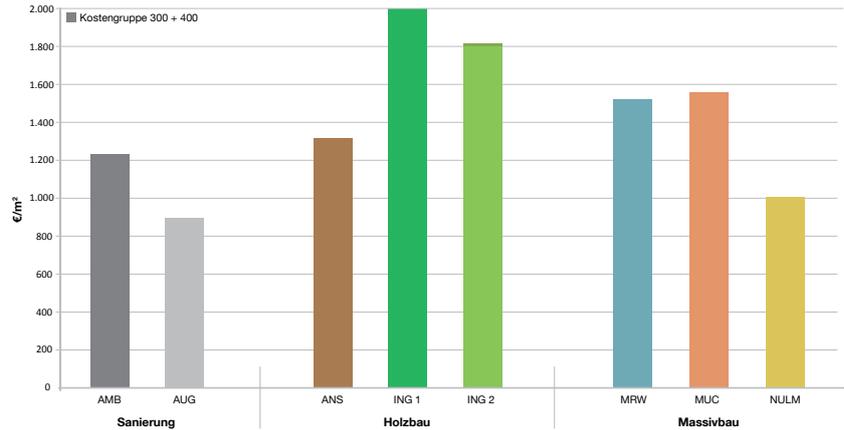


Abb. 181: Quantitativer Kostenvergleich der Kostengruppe 300 und 400

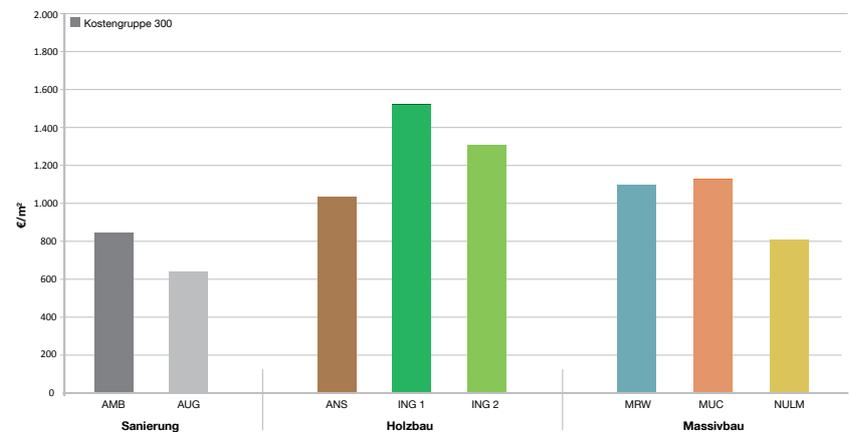


Abb. 183: Quantitativer Kostenvergleich der Kostengruppe 300

nungsgrundlage verwendet. In Bezug auf den Endenergiebedarf ergibt der Index sich aus folgender Formel:

$$\frac{\text{Endenergiebedarf des Modellprojekts } 60 \text{ kWh/m}^2\text{a}}{\text{Kosten } 2000 \text{ €/m}^2(A_N)} \cdot 100 = \text{Kosten-Index } 3,0 \text{ kWh/€a}$$

Abbildung 177 verdeutlicht, dass in Ansbach, Augsburg und Neu-Ulm ein niedriger Endenergiebedarf zu verhältnismäßig niedrigen Kosten – im Rahmen der Kostenfeststellung – umgesetzt werden konnte. Ein überdurchschnittlich hoher Indexwert bedeutet eine effiziente Ausnutzung der eingesetzten Kosten. Marktredwitz und München halten sich bei einem sehr niedrigen Indexwert die Waage. Einen mittleren Indexwert erreichen die Ingolstädter Projekte sowie Amberg, da trotz hohem Kostenaufwand nur durchschnittliche Endenergiebe-

darfe erreicht werden.

Der Kosten-Index kann als zweite Variante auch auf den Primärenergiebedarf bezogen ermittelt werden. Die Formel hierzu lautet:

$$\frac{\text{Referenzgebäude } 100 \text{ kWh/m}^2\text{a} - \text{Modellprojekt } 60 \text{ kWh/m}^2\text{a}}{\text{Kosten } 2000 \text{ €/m}^2(A_N)} \cdot 100 = \text{Primärenergieeinsparung } 40 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

bei Kosten (brutto) KG 300 + 400 von 2000 €/m²A_N. Daraus folgt:

$$\frac{\text{Primärenergieeinsparung } 40 \text{ kWh/m}^2\text{a}}{\text{Kosten } 2000 \text{ €/m}^2(A_N)} \cdot 100 = \text{Kosten-Index } 2,0 \text{ kWh/€a}$$

Der auf die Primärenergieeinsparung bezogene Kosten-Index gibt an, wie teuer die Kilowattstunde erzeugte Einsparung in der Erstellung des Bauwerkes ist. In Amberg und München

kann eine hohe Primärenergieeinsparung bei moderaten Kosten erreicht werden (vgl. Abb. 178). Die Primärenergieeinsparung in Marktredwitz und in den Ingolstädter Projekten ist außerordentlich hoch, allerdings vor dem Gesichtspunkt eines sehr hohen Kosteneinsatzes. Das Neu-Ulmer Projekt ist sehr ausgeglichen, da eine hohe Energieeinsparung bei relativ niedrigem Kosteneinsatz erreicht wird.

Effizienter Einsatz der Kostengruppe 400

In der Kostengruppe 400 wird die technische Gebäudeausstattung erfasst. Die wissenschaftliche Begleitung warf die Frage auf, ob aus einem vergleichsweise hohen monetären Aufwand für die Anlagentechnik auch eine dementsprechend hohe Einsparung resultiert.



Abb. 184: Messgeräte zur Innenraummessung

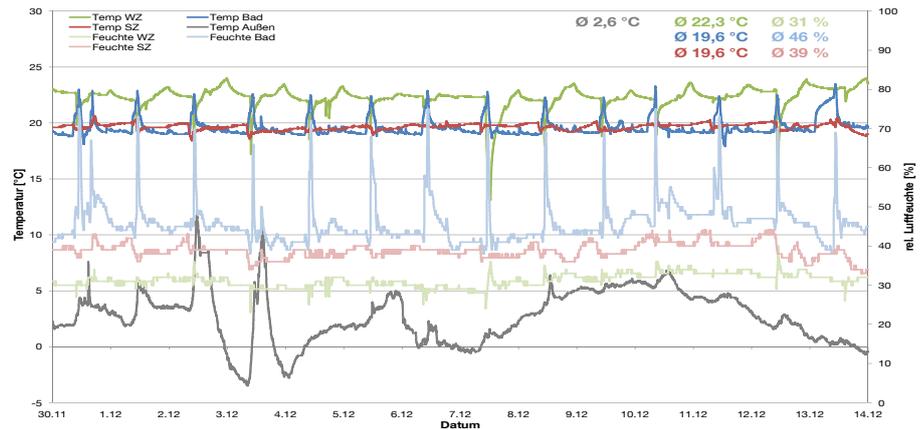


Abb. 185: Grafische Auswertung der Innenraummessung der Beispielfamilie

In Abbildung 180 lässt sich sehr gut erkennen, dass ein hoher Einsatz finanzieller Mittel für die technische Gebäudeausstattung zu niedrigen Endenergiebedarfswerten führen kann, z.B. durch den Einsatz einer Wärmepumpentechnologie wie in München und Marktredwitz. Leider konnte diese Aussage nicht an den Wärmepumpenprojekten validiert werden, da durch die späte Fertigstellung der Projekte keine vollständigen Verbrauchsdaten eines Jahres vorhanden waren.

Dass ein hoher Einsatz der Kostengruppe 400 nicht zwangsweise einen geringeren Verbrauch ergeben muss, zeigen jedoch die Ingolstädter Modellvorhaben. Der hohe Kosteneinsatz kann sich gerade nicht in niedrigeren Verbräuchen niederschlagen. Die hohen Verbräuche werden allerdings in den Ingolstädter Projekten zu einem großen Anteil durch die solarthermischen Anlagen abgefangen und somit nicht direkt als Heizkosten an den Mieter weitergegeben. Dies betrifft im Modellvorhaben eher Gebäude, die mit einer Vielzahl technischer Komponenten ausgerüstet sind.

Konventionelle Konzepte oder Konzepte mit geringem Aufwand der technischen Gebäudeausstattung führen kaum zu sehr niedrigen Endenergieverbräuchen. Die Betrachtung der realen Verbräuche in Abb. 182 zeigt

aber, dass diese dennoch allesamt niedriger liegen als bei den Konzepten mit hohem technischem Aufwand, sie weisen auch keine nennenswerten Abweichungen zum errechneten Bedarf auf.

Quantitativer Kostenvergleich

Die durchschnittlichen Sanierungskosten der beiden untersuchten Projekte in Augsburg und Amberg liegen bei 1.058 €/m², jeweils auf die Energiebezugsfläche A_N bezogen. Die Massivbauten sind mit durchschnittlich 1.354 €/m² um 200 €/m² teurer und die Holzbauten im Vergleich zum Massivbau mit 1.710 €/m² wiederum teurer (vgl. Abb. 181).

Zwischen Sanierung eines Bestandsgebäudes und Neubau in Massivbauweise sowie zwischen den Massivbauten und einem Neubau in Holzbauweise liegt jeweils eine Kostendifferenz von ca. 21 %.

Im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsberechnung ist im Falle einer Sanierung immer abzuwägen, ob der Wert des Bestandsgebäudes den Wert eines Ersatzrohbaus schon unterschreitet. Außerhalb dieser rein wirtschaftlichen Betrachtung steht natürlich auch der Gedanke der Nachhaltigkeit und des ressourcenschonenden Bauens als Entscheidungskriterium.

Die Unterschiede zwischen Gebäuden mit sehr schlanken Technikkonzepten wie z.B. Neu-Ulm und Ansbach werden im Vergleich zu Projekten der gleichen Bauweise ohne Betrachtung der Kostengruppe 400 deutlich. Der Ansbacher Holzbau ist bezogen auf seine Erstellungskosten durchweg mit einem hochwärmedämmten Ziegelbau vergleichbar.

Die Amberger Sanierung liegt in Bezug auf die Baukosten deutlich über dem Augsburger Projekt. Die niedrigeren Kosten sind vor allem auf den Verzicht von Eingriffen in den Innenräumen zurückzuführen.

Vergleich des subjektiven und objektiven Nutzerverhaltens

In den Wintermonaten stellte die wissenschaftliche Begleitung in jedem Projekt des Modellvorhabens in jeweils drei Wohnungen Messgeräte auf, um das Nutzerverhalten zu dokumentieren. Die Geräte speichern Daten der Innenraumtemperatur und relativer Luftfeuchte im Minutentakt und lassen Rückschlüsse auf das Heiz- und Lüftungsverhalten der Haushalte zu. Die Geräte zeichneten Daten in drei Räumen pro Wohnung über den Zeitraum von einem Monat auf, wobei nur die letzten zwei Wochen ausgewertet wurden, um eine Verfälschung durch ein eventuell verändertes Verhalten

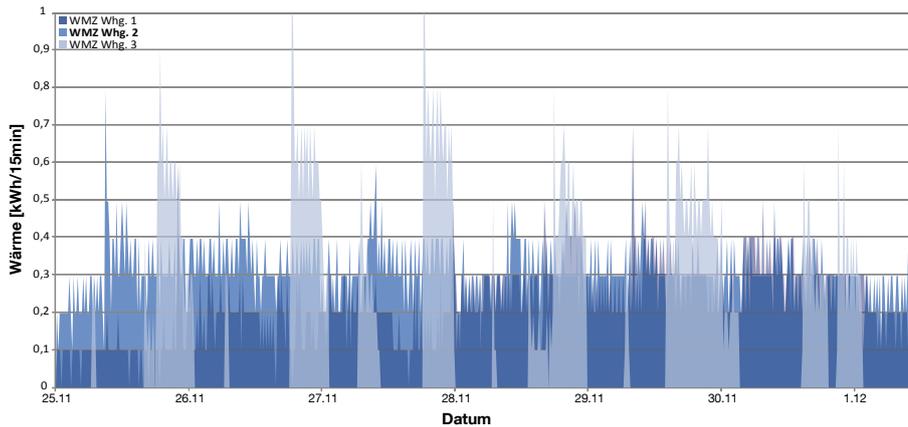


Abb. 186: Zeitlicher Wärmeverbrauch während dem Messzeitraum der Beispielfamilie (Wohnung 2 - mittleres blau)

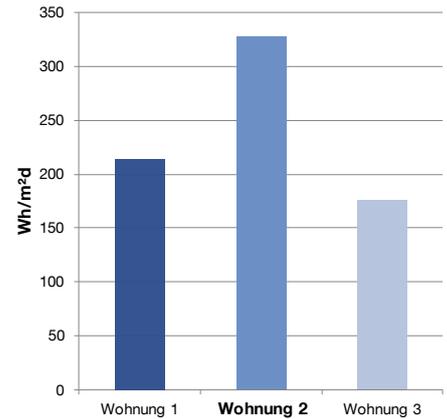


Abb. 187: Durchschnittlicher Wärmeverbrauch während dem Messzeitraum der Beispielfamilie (Wohnung 2 - mittleres blau)

aufgrund der Geräteaufstellung zu vermeiden.

Die Aussagen aus der Mieterbefragung zur Heizung und Lüftung in diesen Wohnungen wurden mit den erhobenen Daten abgeglichen, sodass die subjektive Einschätzung den objektiven Daten gegenübergestellt werden konnte. Grundsätzlich kann eine Kongruenz von Selbstwahrnehmung und Messdatenergebnissen konstatiert werden.

Die gewünschten Temperaturen – die den gemessenen Daten entsprachen – wurden aus Sicht aller Mieterinnen und Mieter mit kürzeren Heizperioden erreicht, als sie dies aus früheren Mietverhältnissen gewöhnt waren.

Ganz überwiegend stimmt das subjektiv beschriebene Verhalten über Temperaturschwankungen durch Lüften oder auch ausgiebiges Duschen und Baden mit den Messdaten überein. Dies sagt jedoch nichts darüber aus, ob die gemessenen Temperaturen als angenehm empfunden werden oder ob und wie Heizungen eingestellt wurden. In allen Fällen wurde die nach DIN 15251 als behaglich definierte relative Luftfeuchtigkeit in dem Bereich von 30 % - 65 % erreicht. Nur in einem Fall wurde diese als „nicht behaglich“ empfunden.

Die Wohnzimmertemperatur und -luftqualität wurden überwiegend positiv bewertet, in Einzelfällen als zu trocken. Die Temperatur im Schlafzimmer wurde in einem Fall trotz immer ausgeschalteter Heizung als zu hoch empfunden. Im Bad gab es die meisten Unsicherheiten bezüglich sinnvoller Lüftung und auch die meisten Empfehlungen der wissenschaftlichen Begleitung für eine mögliche Änderung des Verhaltens.

Die Haushalte erhielten nach der erfolgten Messung Vorschläge, wie Lüftung und Heizung noch besser aufeinander abgestimmt werden könnten. Ob diese befolgt werden, konnte nicht erhoben werden.

Im Folgenden wird an einem konkreten Beispiel veranschaulicht, welche Erkenntnisse aus objektiver Messung und subjektiver Wahrnehmung gewonnen werden können.

Bezüglich des Umgangs mit der Heizung ergab die Befragung eines Ehepaars in einem Zwei-Personenhaushalt, dass das Wohnzimmer täglich geheizt wird, allerdings oft erst ab dem Nachmittag oder am Abend. Mehr sei nicht nötig, da die Wohnung sehr warm sei. Das bestätigen auch die Messergebnisse (s. Abb. 185): die Innenraumtemperatur des Wohnzimmers (grüne Linie) steigt ab dem

späten Nachmittag bzw. frühen Abend bis ca. 23 Uhr an und fällt dann wieder langsam ab. In der Früh ist ein starker Abfall der Temperatur zu verzeichnen, was sich mit der Aussage deckt, dass in der Früh gelüftet wird. Allerdings sinkt die Temperatur für ca. eine Stunde, bevor sie wieder steigt, was der Aussage eines 10-minütigen Lüftens entgegensteht. Die Durchschnittstemperatur im Wohnzimmer betrug 22,3 °C.

Die Temperatur im Schlafzimmer wird als „viel zu warm“, empfunden, obwohl dort nie geheizt werde. Die Messung zeigt (rote Linie), dass im Schlafzimmer relativ konstante Temperaturen zu sehen sind, die Durchschnittstemperatur betrug hier 19,6 °C. In der Früh ist ebenfalls ein Rückgang der Innenraumtemperatur durch Lüften zu sehen, allerdings weit weniger stark als im Wohnzimmer.

Im Bad hingegen wird die Heizung täglich angestellt, denn so die Aussage der Bewohnerin, auch adressiert an ihren Mann:

„Ja, also mein Mann duscht immer sehr lange und braucht ein paar Stunden dafür. Also das Bad heizt er täglich. Aber ich hoffe du machst das im Sommer nicht.“

Anhand der blauen Linie wird die-

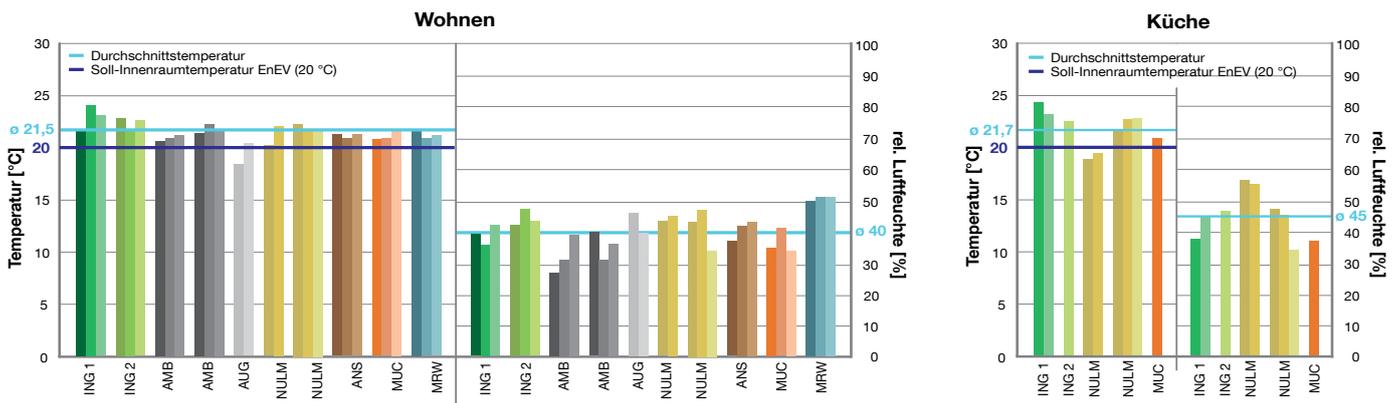


Abb. 188: Durchschnittliche Innenraumtemperaturen mit relativer Luftfeuchte von Wohnzimmer und Küche während des Messzeitraums im Vergleich (jede erfasste Wohnung entspricht einem Balken)

se Aussage bestätigt, die Temperatur steigt für ca. 2 Stunden von ca. 19 °C auf 22 °C an und sinkt nach ca. 3 Stunden auf das Ausgangsniveau. Nachts wird das Bad nicht geheizt, dennoch sei die Temperatur am Morgen nicht niedrig:

„Wir haben jetzt schon in der Früh, also heute Morgen zum Beispiel, 21 Grad im Bad gehabt, ohne Heizung an.“

Die Messungen zeigen in der Früh durchschnittlich 19 °C an. Die Durchschnittstemperatur im Bad liegt bei 19,6 °C. Beklagt wird in dem Gespräch allerdings auch, dass die Heizung nicht immer richtig funktioniere, aber das ginge allen im Haus ähnlich. Mit der Abluftanlage ist das Ehepaar zufrieden, allerdings wird gerne und häufig zusätzlich gelüftet.

„Also ich mach das automatisch in der Früh. Ich bin daheim und dann will ich das. Und auch wenn es am Nachmittag dann schön ist, dann haben wir auch den ganzen Nachmittag offen. Aber im Winter ist das ja nicht der Fall, dann mach ich schnell wieder zu. Also im Winter lüfte ich in der Früh so 15 Minuten und dann am Abend noch mal so 10 Minuten. Eigentlich machen wir das nur im Wohnzimmer und im Schlafzimmer. Und in der Küche mache ich halt nach

dem Kochen auf und dann wieder zu. Und ich mach dann auch ganz auf, weil das geht schneller.“

Besonders im Bad wird ausgiebig gelüftet:

„Im Bad muss ich weit auf machen, weil mein Mann derart heiß duscht und lange im Bad ist. Wir haben ja 2 Fenster im Bad und die mache ich auf und dann ist das auch sehr schnell wieder trocken. Und auch tagsüber wenn wir daheim sind, dann kippe ich die Fenster. Aber man findet nichts, das stockt oder grün wird. [...] Also die Lüftung funktioniert im Bad, aber wir lassen im Bad meistens beide Fenster gekippt.“

Da aus den Messdaten durch eine dauerhafte Kipplüftung bei gleichzeitigem Heizen der Räume die konstant verlaufende Temperaturkurve nicht ablesbar ist, waren die zusätzlichen Aussagen der Bewohner besonders aufschlussreich.

Aus dem Vergleich der Messdaten in allen drei Haushalten in dieser Wohnanlage ließ sich folgern, dass dieser Haushalt in dem gemessenen Zeitraum den mit Abstand höchsten Wärmeverbrauch hatte (s. Abb. 186 und Abb. 187), obwohl der Haushalt - außer im Wohnzimmer - die niedrigsten Innenraumdurchschnittstemperaturen

hatte. Aus den Werten wurde geschlossen, dass beim Lüften die Fenster nicht allzu lange geöffnet werden. Die entstehende Luftfeuchte im Bad werde in der Regel schnell wieder gesenkt, vermutlich durch Öffnen des Fensters.

Entgegen der Interpretation aus den gemessenen Werten wird laut Aussage des Ehepaars in allen Räumen ausführlich und lange gelüftet, möglicherweise der Grund für die im Vergleich höchsten Heizkosten. Das Ehepaar ist jedoch insgesamt sehr zufrieden:

„Die Luft fühlt sich gut an und das ist in allen Räumen. Also ich bin schon eine, die gerne Fenster aufmacht und richtig lange offen lässt.“

Die Luftqualität sei hervorragend, es rieche immer angenehm.

„Also die Wohnung ist ideal, ganz ehrlich.“

Nutzerakzeptanz und Zufriedenheit

In allen Wohnanlagen und in jeder der Befragungsrunden wurden jeweils ältere und jüngere Mieterinnen und Mieter, alleinwohnende Personen, Ehepaare und Familien mit Kindern befragt. Die überwiegende Mehrzahl

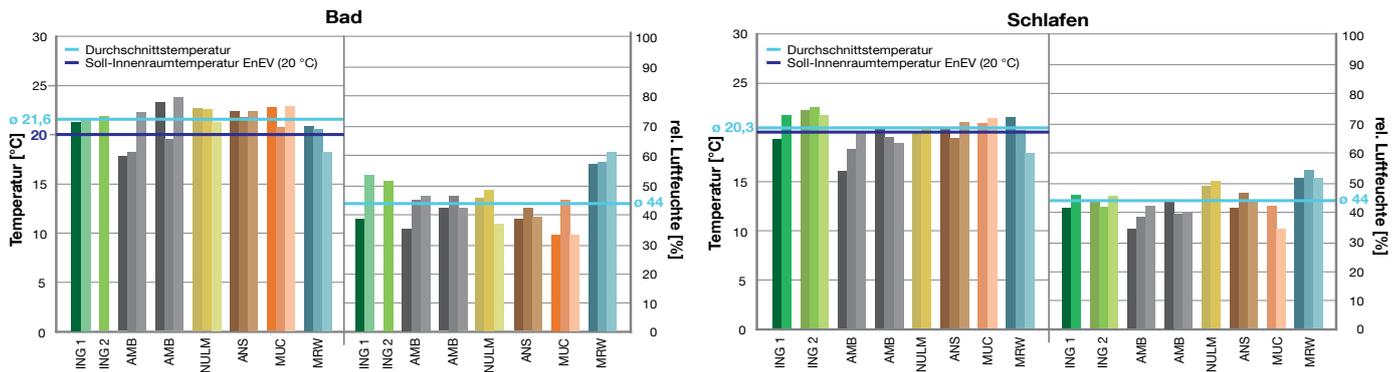


Abb. 189: Durchschnittliche Innenraumtemperaturen mit relativer Luftfeuchte von Bad und Schlafzimmer während des Messzeitraums im Vergleich (jede erfasste Wohnung entspricht einem Balken)

der Befragten war jünger als 65 Jahre, sehr vereinzelt wurden über 70 jährige Personen befragt. Die Mehrzahl der Befragten waren Frauen, in den zweiten und dritten Befragungsrunden waren in Mehrpersonenhaushalten häufig beide Partner anwesend. Kinder waren nicht in die Interviews einbezogen. Zwischen 40 % bis 70 % der Mitglieder der befragten Haushalte sind nicht in Deutschland geboren. Sprachschwierigkeiten gab es jedoch kaum, nur in zwei Fällen wurden die Interviews in englischer Sprache durchgeführt.

Grundsätzlich wurde in der Mieterbefragung davon ausgegangen, dass die befragten Haushaltsmitglieder kompetente und rationale Experten ihrer Situation sind, dies hat sich in den Befragungen durchaus bestätigt. Allerdings kann auch festgestellt werden, dass Wege gesucht werden müssen, sie noch besser über den Umgang mit neuen Techniken zu informieren, ohne sie zu bevormunden. Deshalb wurden die befragten Haushalte immer auch nach aus ihrer Sicht möglichen Verbesserungen befragt.

Durchgängig war die Situation so, dass die Mieterinnen und Mieter ein großes Bedürfnis hatten, ihre Erfahrungen mitzuteilen und dabei ernst genommen zu werden. Dabei nahmen die Gespräche über Kommunikationswege und Schwierigkeiten in der

Kommunikation mit den Wohnbau-gesellschaften und Beobachtungen zur „Energieverschwendung“ in den Hausanlagen oft einen größeren Zeitraum ein als das Gespräch über die Handhabung der Technik und das Wohlbefinden in der Wohnung.

Wenn im Folgenden aus den qualitativen Interviews vor allem auch Kritisches zitiert wird, dann unter dem Aspekt, dass hieraus sowohl Hinweise für die Wohnungsbauunternehmen gewonnen werden können, wie Mieterinnen und Mieter noch besser auf die spezifischen Bedingungen ihrer energieeffizienten Wohnung vorbereitet werden können und welches Fehlverhalten auch aus irrationalen Ängsten bzw. Fehlinformationen resultieren, die durch bessere Kommunikation vermieden werden können.

Kriterien für den Einzug in die Projektwohnungen

„Ich bin froh, dass ich eine neue Wohnung habe, die so einigermaßen günstig von der Miete ist. Das ist okay. [...] Und eigentlich wollte ich auch [...] keine fensterlose Küche, ein fensterloses Bad wollte ich auch nicht unbedingt, aber am freien Markt sind die Wohnungen noch teurer. Also ich war froh - ich war zur richtigen Zeit bei der NUWOG am richtigen Ort. Das hat gut gepasst da war ich froh, dass

ich hier alles super und zur Arbeit ist es auch nicht allzu weit, ich kann zur Not laufen, also alles passt.“
(Neu-Ulm)

Kriterien für die Entscheidung der Mieterinnen und Mieter für eine Wohnung sind in erster Linie die Lage in Bezug auf Arbeitsplätze oder vorhandene soziale Netzwerke, sowie der Zuschnitt der Räume in der Wohnung. Die Energieeffizienz interessiert sie, aber für eine Entscheidung ist diese nicht ausschlaggebend. Das bedeutet jedoch nicht, dass die Personen nicht allgemein interessiert wären an Fragen der Ressourcenschonung und Energieeffizienz. In vereinzelt Fällen hatten sich die zukünftigen Mieterinnen und Mieter schon durch lokale Zeitungsartikel oder im Internet informiert.

Umgang mit der Technik

Die Handhabung und Beurteilung der Technik sowie Zufriedenheit oder Unzufriedenheit mit dem Heizungs- und Lüftungssystem hatten keinen konkreten Bezug zum Alter, Geschlecht oder Migrationshintergrund der Befragten, hier sind keine Muster erkennbar. In einigen Fällen, in denen Ehepaare befragt wurden, äußerten diese teilweise voneinander abweichende Behaglichkeitskriterien in Bezug auf

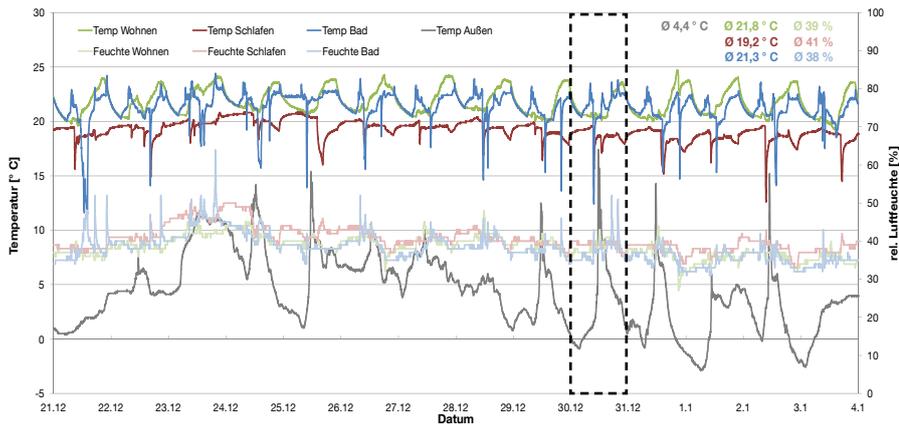


Abb. 190: Die Temperaturkurve zeigt einen Haushalt, in dem trotz mechanischer Lüftungsanlage extrem viel zusätzlich über die Fenster gelüftet wird

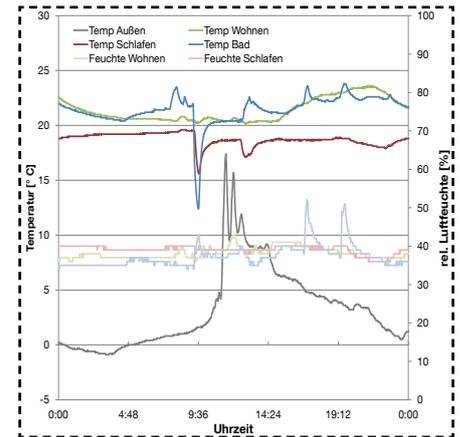


Abb. 191: Abbildung eines exemplarischen Tages, Ausschnitt aus Abb. 190

Wärmeempfinden oder Zegerscheinungen, die jedoch nicht eindeutig dem einen oder dem anderen Geschlecht zugeordnet werden konnten.

Zufriedenheit mit der Heizung

Generell war die Zufriedenheit mit den Heizsystemen und ihrer Handhabung hoch. Dies gilt sowohl für Radiatoren als auch für die Wohnungen mit Fußbodenheizung. Bei Letzterem bedurfte es in einigen Fällen der Umgewöhnung und Umstellung von Heizgewohnheiten. In allen Wohnprojekten äußerten die Befragten, dass sie weniger und später als in vorherigen Mietverhältnissen oder vor der Modernisierung mit dem Heizen begannen. Die Verbrauchsdaten zeigen, dass in allen Projekten die Heizperioden bis weit in die Übergangsmonate hineinreicht, teilweise sogar bis in den Sommer (s. S. 77 „Verbrauch Heizenergie“).

Der Umgang mit Fußbodenheizungen war für fast alle Befragten neu und von daher gewöhnungsbedürftig. Die meisten der befragten Haushalte in München, Ansbach und Neu-Ulm sind damit zufrieden. Allerdings handhaben nicht alle diese Wärmeregulierung nach den – durchaus zur Kenntnis genommenen – Vorschlägen, die Heizung nicht ständig aus und anzuschalten, sondern das gewünschte Level einzustellen und beizubehalten.

Besonders in den Haushalten, in denen die Bewohnerinnen und Bewohner den ganzen Tag aushäusig sind, stellen sie häufig morgens die Heizung aus und erst am Abend an, manche stellen die Heizung auch in der Nacht ganz aus. Von den befragten 63 Haushalten in den drei Projekten stellen nach ihren Angaben elf Haushalte die Heizungen an und aus und sind dann aber teilweise unzufrieden mit der Leistung bzw. Trägheit der Anlage.

Behaglichkeitsempfinden

Die thermische Behaglichkeit der Aufenthaltsräume wird allgemein als gut beschrieben, die passgenauen Einstellungen für die Wohlfühltemperatur werden erreicht. Anhand der gemessenen Daten der Innenraumtemperaturen (s. Abb. 190 und 191) ist erkennbar, dass die durchschnittlichen Temperaturen deutlich von den Soll-Innenraumtemperaturen der EnEV 2009 von 20,0 °C abweichen. Lediglich die Schlafzimmer nähern sich mit 20,3 °C diesem Wert an.

Durch die gute Gebäudedämmung empfinden manche Haushalte selbst im Winter bei ausgeschalteten Heizungen die Temperaturen in ihren Schlafzimmern als zu hoch. In allen Wohnanlagen wird dann zusätzlich durch Fensteröffnen gelüftet, unabhängig vom Lüftungssystem.

In den Küchen sowie Wohn- und Schlafzimmern wurden Durchschnittstemperaturen zwischen 21,5 °C und 21,7 °C gemessen. Da nach BINE 2014 pro Kelvin höherer Temperatur ein Mehrverbrauch an Heizenergie von 6 % entsteht, tragen die Nutzerinnen und Nutzer durch ihr Heizverhalten wesentlich zu einem anderen als dem berechneten Wärmeverbrauch des Gebäudes bei.

Allgemein kann festgestellt werden, dass die Temperaturen auch innerhalb eines Objekts sehr unterschiedlich ausfallen können, wie in Amberg festgestellt. Dennoch sind Tendenzen identifizierbar: außer in den Bädern liegen die beiden Projekte in Ingolstadt immer über den Durchschnittstemperaturen, in Marktredwitz liegen diese meistens darunter.

„Die Wohnung ist generell sehr warm. Sie haben, wenn Sie da gucken da unten, garantiert 20 Grad. Durch diese Belüftung oder diesen Luftaustausch hier drin haben Sie immer ständig gleiche Wärme in allen Räumen. Meine Frau regt sich jedes Mal auf, weil im Schlafzimmer 20 Grad sind, das mag sie nicht. Wir lüften halt dann, dann ist es kühler. Wir haben die Heizung eigentlich nur an im Bad gegen Abend, wenn einer duscht oder sonst irgendwas. Lassen sie dann so lange bis wir in das Bett

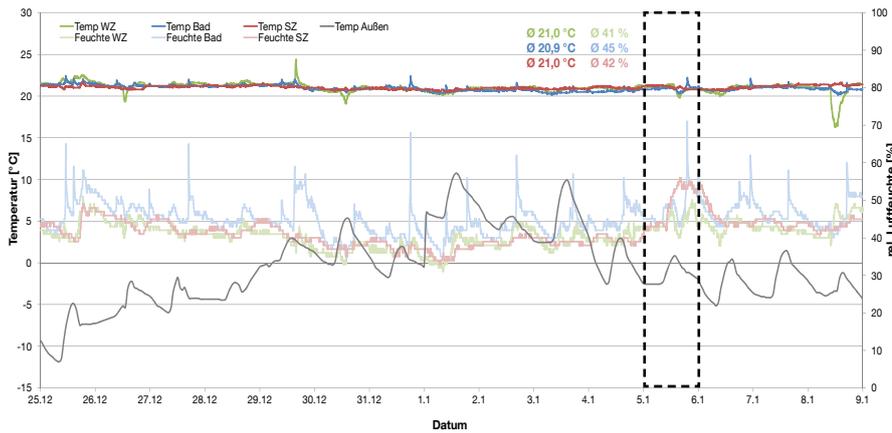


Abb. 192: Die Temperaturkurve zeigt einen Haushalt mit mechanischer Lüftungsanlage, in dem sehr selten zusätzlich über die Fenster gelüftet wird

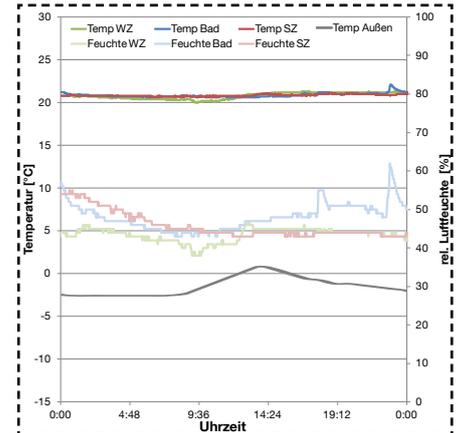


Abb. 193: Abbildung eines exemplarischen Tages, Ausschnitt aus Abb. 192

gehen an und hier im Wohnzimmer und sonst nirgends. [...] Der erste wo aufsteht macht die Heizung an und wenn man dann gebadet oder geduscht hat machen wir sie wieder aus. Und im Wohnzimmer machen wir sie meistens erst am Nachmittag an. Im Winter, wenn es kalt ist. Jetzt machen wir sie vielleicht am Abend einmal an. Wie gesagt es sind hier ständig 20 Grad drin, ohne Heizung. Wenn Sie die Heizung anmachen haben Sie so 22 Grad und mehr brauche ich nicht, also wir brauchen nicht mehr sage ich mal. Die in der Küche ist sowieso vollkommen umsonst die Heizung, die war auch noch nie an. In der Küche haben Sie ja Wärmequellen genug, ob das der Toaster ist, die Kaffeemaschine oder sonst irgendwas. Also wir brauchen in der Küche keine Heizung. Wir haben jetzt hier [Anm.: Wohnzimmer] drin 20,3 Grad. Die Tage wo jetzt Sonne war haben wir die Heizung nicht einmal abends angemacht, weil diese 20, 21 Grad sind immer da. Da brauche ich keine Heizung. Gut, wie gesagt, wenn draußen im Winter 10 Grad Minus sind oder was laufen natürlich die Heizungen im Wohnzimmer und im Bad, ist klar, aber sonst nichts.“ (Ingolstadt Bauteil 1)

Lüftungsanlagen

Auch die Lüftungsanlagen werden in der überwiegenden Mehrzahl positiv

bewertet. Einige Haushalte merken fast erstaunt an, dass sie kaum oder gar keine Geräusche hörten oder dass es keine Zugerscheinungen gäbe. Diesbezüglich sind jedoch die Empfindungen unterschiedlich, auch unter den einzelnen Mitgliedern des gleichen Haushaltes.

Unsicherheiten an mehreren Projektstandorten gibt es bezüglich der Staubentwicklung, d.h. in den Modernisierungsprojekten scheint es mehr zu stauben als vorher, und in den Neubauprojekten - so in Ingolstadt und München - wird von stärkerer Staubentwicklung bzw. Staubpartikeln in den Filtern berichtet.

„Wir haben eine Zwangsbelüftung in den Schlafräumen, die ist in Ordnung, muss ich sagen. Die haben wir früher nicht gehabt und die bewährt sich ganz gut.“ [...] Ja das ist so eigentlich nicht schlecht, aber Feinstaub wenn in der Luft ist, den habe ich natürlich dann jetzt in der Wohnung. [...] Also das ist aufgefallen, wir haben schon mehr Staub. Speziell im Klo und im Bad ist das bemerkbar, weil da hat man das ja früher nicht gehabt, die Belüftung. Und das zieht jetzt praktisch mehr oder weniger zieht es den Staub in die zwei Räume auf jeden Fall rein. Da kann ich das feststellen.“ (Augsburg)

„Ja gut, also wegen der Lüftung hatte ich halt nur damals gehört, dass sie so schlecht sein soll. Weil die schlechte Luft rein bringt – keine Ahnung. Das hat mir am Anfang schon Angst gemacht, aber das hat sich dann mit der Zeit gelegt. Also gestört hat mich das nie. Das Gerät hat mich nur etwas unsicher gemacht, dass da irgendwelche Bakterien reinkommen und man atmet die dann mit der Luft ein, das hab ich mal so gehört und das hab ich im Fernsehen gesehen. Und das soll halt so gefährlich sein. [...] Die Lüftungsanlage soll wohl nicht so gut sein, aber bis jetzt... Also ehrlich gesagt, man spürt ja gar nichts. Also bei vielen war es ziemlich laut, aber bei mir halt nicht. [...] Also bei uns funktioniert das.“

(Ingolstadt Bauteil 2)

„Also die Lüftung läuft. Also ich kann nicht wirklich sagen wie jetzt der Unterschied ohne Lüftung ist. Also Fensteraufreißen im Wohnzimmer ist was anderes, wie dieses Dauerlüften. Aber wir haben nie das Gefühl, dass wir schlechte Luft in der Wohnung haben. Was ich weiß ist, dass alles trocken ist durch die Lüftung. Allgemein ist das angenehm, aber im Schlafzimmer ist es zu warm. Nachteil ist natürlich, im Sommer wenn es draußen heiß ist, dann krieg ich auch die warme Luft rein. Im Sommer wird es warm. Also müsste man dann mal überlegen,



Abb. 194: Mieterbefragung in Augsburg



Abb. 195: Mieter in Marktrechwitz

ob man die Lüftung tagsüber nicht ausschaltet und nur nachts laufen lässt. Aber das muss zentral gesteuert werden für alle dann.“ (Amberg)

Auch empfinden mehrere Haushalte die Wohnungen als zu trocken, selbst wenn die Feuchtigkeitsmessung Werte ergibt, die der Norm für das Wohlfühlen entsprechen.

„... aber kleinen Nachteil gibt's trotzdem. Wenn die Kinder zum Beispiel krank sind, dann ist die Luft viel zu trocken. Bei 38% Luftfeuchtigkeit sind die Luftwege meistens trocken und das hindert dann eben den Heilungsprozess. Ich würde mir wünschen, dass da bisschen mehr Feuchtigkeit drin wäre, vielleicht so bis 50, also wirklich nicht so trocken wie jetzt. Man spürt's auch bei sich, man kommt einfach nicht weg vom Husten. Und Staub gibt's viel wegen der trockenen Luft.“ (Ingolstadt Bauteil 2)

Auch in den Projekten mit mechanischer Lüftung in Ingolstadt Bauteil 1 und 2, Marktrechwitz und München werden die Fenster aufgemacht, auch bei Kälte und im Winter. Von allen befragten Haushalten gab nur einer an, dass nicht zusätzlich gelüftet werde. Insbesondere in Bad, Toilette und in den Schlafzimmern wird zusätzlich stoßgelüftet, wobei dies auch länger als 10 Minuten dauern kann. Auch in

den Auswertungen der Innenraummessungen lassen sich deutliche Unterschiede bezüglich der Häufigkeit und Dauer des zusätzlichen Lüftens über die Fenster feststellen (s. Abb. 190 bis 193). Ob Lüftungssysteme selbst reguliert werden konnten (wie in Marktrechwitz) oder völlig ohne Eingriffsmöglichkeiten geregelt werden (wie in Ingolstadt) spielte kaum eine Rolle für die Zufriedenheit mit dem Lüftungssystem.

Insgesamt kann konstatiert werden, dass die Haushalte mit mechanischer Lüftungsanlage doch mehr lüften als es vom System und damit für einen sparsamen Umgang mit Energie vorgesehen ist. Der Fakt, dass mit der Komfortlüftung wie in Marktrechwitz, München und Ingolstadt eigentlich gar nicht gelüftet werden müsste, könnte von daher noch stärker kommuniziert werden, z.B. in Gesprächen mit den Mieterinnen und Mietern. In den Mieterinformationsblättern wurde zwar immer betont, dass Fensterkippen kontraproduktiv für die Energieeffizienz sei, aber es hätte noch deutlicher herausgestellt werden können, dass auf Lüften prinzipiell verzichtet werden solle.

In den Wohnprojekten mit Abluftsystemen in Amberg, Augsburg, Ansbach und Neu-Ulm lüften alle Haushalte zusätzlich durch Fensteröffnen, es

bestehen jedoch teilweise Unsicherheiten darüber, ob das korrekt sei. Andererseits betonen aber alle Mieter und Mieterinnen, dass ihnen bewusst sei, dass sie nur stoßlüften bzw. kurz lüften sollen und sie versuchen, sich daran zu halten.

In Neu-Ulm äußerten sich allerdings sechs von neun der befragten Haushalte in der zweiten Befragungsrunde im April 2014 kritisch gegenüber der Lüftungsanlage, wobei relativierend gesagt werden muss, dass die Kritikpunkte konträr zueinander lagen: Von „zu laut“ und „zu viel Zug“ bis zu es würde gar nicht gespürt werden, dass die Lüftung angestellt sei. In einem Fall wurde berichtet, dass die Lüftung entgegen der technischen Vorgaben nicht eingeschaltet wurde, wenn die Einschaltung selbst geregelt werden konnte oder in den Fällen, in denen die Bewohnerinnen und Bewohner die Luftzufuhr nicht selbst regulieren können, sie die Lüftungen abgeklebt haben.

„Ich schalte auch die Lüftung dann aus. Ich weiß das ist nicht gewünscht, [...] aber es kostet mich auch Strom. [...] ich mache die Sicherung natürlich aus. Das würde ich gerne in der Küche machen, kann ich aber nicht, da steht der Kühlschrank, das geht nicht. Sonst würde ich das in der Küche auch praktizieren, geht aber



Abb. 196: Mieterbefragung in Augsburg



Abb. 197: Mieterbefragung in Augsburg

nicht. Schade, schade, schade. Aber im Bad ich gehe Früh, ich bin dann zehn Stunden oder zwölf Stunden außer Haus da läuft die ganze Zeit die Lüftung und trocknet meine Handtücher mit Strom? Das ist nicht effizient in meinen Augen.“ (Neu-Ulm)

„Also, wir haben ja da einen Trick. Sie sehen da ist so eine Folie drauf [Anm.: Abzug im Bad] und die machen wir zu und wenn es das eben braucht, dann tun wir die weg und dann zieht es. Weil sonst ist es zu kalt, die nimmt alles weg.“ (Augsburg)

Kosten – Nutzen

„Und mich ärgert, dass ich im Badezimmer die Lüftung nicht selbst regulieren kann, sondern, dass die durchläuft.“ (Neu-Ulm)

Ob sich die Energieeffizienz letztlich auch positiv für den eigenen Geldbeutel auswirken würde, wurde eher skeptisch gesehen und hat sich für viele auch nicht mit den ersten Abrechnungen, die sie zum Zeitpunkt der Befragungen erhalten hatten, geklärt. Für die einzelnen Haushalte waren keine Effekte auf die Kosten eines später einsetzenden und geringen Heizwärmeverbrauchs nachzuvollziehen. Waren die Heizkosten auf der einen Seite niedrig, erschienen ihnen die Betriebskosten, insbesondere auch

für Strom sehr hoch. Die Haushalte konnten sich nicht erklären, warum sie im Verhältnis zu ihren Nachbarn höhere Nachzahlungen hatten oder auch größere Summen erstattet bekamen. Das führte teilweise zu Unzufriedenheit, das durch bessere Informationen vermieden werden könnte.

Unzufriedenheit und Kritik an den Wohnungen und Wohnanlagen wurde also weniger in Bezug auf die Heiz- und Lüftungssysteme geäußert, zumal es durchaus Verständnis für Anfangsschwierigkeiten gab. Die Betonung und Bejahung der ressourcenschonenden Heizsysteme führten jedoch häufig zu einer kritischen Betrachtung von Energieverschwendung in der Wohnanlage überhaupt, auf den Umgang mit Licht und Strom in den Fluren, Garagen und in den Außenanlagen.

„Und das nennt sich dann energieeffizientes Haus, wo ich dann auch immer irrtümlicherweise dachte das bedeutet energiesparsam, bis meine Tochter mal gesagt hat ‚Mutti, das ist ein Denkfehler von dir. Energieeffizienz bedeutet, dass die Energie ausgenutzt wird.‘ Und dann habe ich gesagt ‚Ach so und deswegen haben wir 25 Leuchten hier in der einen Etage, obwohl zwei es auch tun würden.“ (Neu-Ulm)

Mieterkommunikation

Die Mieterinformationsblätter, die in allen Modellprojekten an die Mieterinnen und Mieter verteilt wurden, werden überwiegend positiv beurteilt. Alle Mietparteien fanden es wichtig und gut, dass ihnen diese zur Hand gegeben wurden. Jedoch hatte eine große Anzahl der Haushalte diese nicht weiter gelesen und meinte, dass sie für auftretende Notfälle seien bzw. sie sich bei Fragen doch lieber an zuständige Sachverständige der Wohnungsgesellschaften wenden.

Kernerkenntnisse technische Adaptivität, Gebäudehülle und Gebäudekonzept

- Der Erfolg der frühzeitigen und ganzheitlichen energetischen Beratung, von der Konzeptionierung über die Planung und Ausführung bis hin zum Monitoring, wird durch die gemessenen Verbrauchswerte bestätigt.
- Eine einfache Anlagentechnik (monovalente Wärmeerzeugung und Abluftanlage) kann ebenso günstige Endenergieverbräuche erzielen wie technisch und wirtschaftlich hochambitionierte Systeme.
- Projekte, die ihren Wärmeverbrauch durch einen hohen Anteil regenerativer Energien decken und einen geringen Anteil an stromverbrauchender Hilfsenergie benötigen, erzielen die niedrigsten Primärenergieverbräuche. Projekte mit einem höheren Einsatz von haustechnischen Stromverbrauchern wie z.B. mechanischen Lüftungsanlagen oder Wärmepumpen weisen die höchsten Primärenergieverbrauchswerte auf.
- Ein Anlagenmonitoring ist unabhängig vom Technikkonzept empfehlenswert, bei komplexeren Techniksystemen aber unabdingbar, um Fehler aufzudecken und die Energieverbräuche zu optimieren. Entsprechende Schnittstellen für die Datenerfassung müssen bereits in der Planungsphase im Technikkonzept vorgesehen werden.
- Die Berechnungen der Energiebedarfe gemäß der Energieeinsparverordnung unterscheiden sich von den gemessenen Verbräuchen leicht bis stark. Die Abweichungen der gemessenen Verbräuche von den berechneten Bedarfswerten sind bei einfacheren Technikkomponenten auffallend niedriger als bei den komplexeren Technikkonzepten.
- Das Nutzerverhalten hat einen erheblichen Einfluss auf entstandene Abweichungen: Bei mechanischen Lüftungssystemen entscheidet das Nutzerverhalten maßgeblich über einen effizienten Wärmeverbrauch. Die vom Nutzer gewählten Innenraumtemperaturen liegen mit Ausnahme der Schlafzimmer um durchschnittlich 1,5 °C über dem Standardwert der Berechnungsverfahren von 20,0 °C. Zudem wird vor allem in den Übergangszeiten deutlich mehr und länger geheizt.
- Die Baukosten unterscheiden sich nach den Bauweisen Holzbau und Massivbau, liegen aber im Einzelfall bei guter Planung in ähnlichen Größenordnungen und sind immer konzeptabhängig. Die durchschnittlichen Baukosten der untersuchten Modellvorhaben liegen im Holzbau bei 350 €/m² Wfl. höher als beim Massivbau, allerdings beweist das Projekt in Ansbach, dass Kostenequivalenz ebenso möglich ist.
- Eine energetisch optimierte Gebäudehülle ergibt sich aus einer gut durchdachten Systemgrenze, die durchgängig wärmebrückenreduziert geplant, in der Ausführung überwacht und nach Fertigstellung der Luftdichtigkeitsebene und nach Einzug der Bewohner geprüft wird.

Gerade durch die Langzeitbegleitung von der Planungsphase bis zur Auswertung der mehrjährigen Monitorings konnte die interdisziplinär vertretene Gruppe der wissenschaftlichen Begleitung relevante energetische Fragen an konkreten Projekten beleuchten. Die Übertragbarkeit auf andere Projekte ist gewährleistet, auch wenn empirisch belastbare Belege der Erkenntnisse der einzelnen Projekte des Modellvorhabens noch komplettiert werden müssten. Die gewonnenen Ergebnisse können aber für weitere Wohnbauprojekte im geförderten oder frei finanzierten Bereich wertvolle Annahmen in den Planungs- und Bauprozess einbringen.

Die hohen energetischen Anforderungen des Modellvorhabens „e% - Energieeffizienter Wohnungs-

bau“, die Transmissionswärmeverluste und den Primärenergiebedarf der EnEV 2009 um mindestens 40 % zu unterschreiten, konnten alle Projekte deutlich erfüllen. Weitaus wichtiger als die berechneten Bedarfswerte sind allerdings die im tatsächlichen Betrieb gemessenen Verbräuche. Auch hier konnte, mit Ausnahme eines Projekts, die Unterschreitung des Primärenergieverbrauchs um 40 % erzielt werden. So unterschreitet das Projekt in Ansbach mit einem Primärenergieverbrauch von 12,0 kWh/m²a die Anforderungen um ganze 78 %.

Auffallend sind die guten Verbrauchswerte der hier untersuchten Projekte mit „einfacher“ Anlagentechnik wie in Ansbach, Augsburg und Neu-Ulm. Durch die Kombination aus einem hohen Deckungsgrad der Wärmeener-

gie mit regenerativen Energien sowie einem geringen Einsatz von stromverbrauchender Hilfsenergie konnten hier die niedrigsten Verbrauchswerte aller untersuchten Modellvorhaben erzielt werden.

Die beiden evaluierten Projekte in Ingolstadt mit einer zentralen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung überschritten auf Grund des hohen Stromverbrauchs für die Lüftungstechnik die errechneten Bedarfswerte hingegen deutlich. Beim Wärmeverbrauch wurde hier der große Einfluss des Nutzers durch sein Lüftungsverhalten deutlich. Im Allgemeinen konnte festgestellt werden, dass noch viel Aufklärungsarbeit mit der Handhabung von mechanischen Lüftungsanlagen besteht. Alle befragten Haushalte, die mit einer solchen Technik ausgestattet

Kernerkenntnisse sozialwissenschaftliche Adaptivität

- Die Mieterinnen und Mieter stehen dem Themenfeld der Energieeffizienz und der Energieeinsparung äußerst aufgeschlossen gegenüber. Ihr Wohnverhalten beeinflusst maßgeblich die Energieverbräuche.
- Die Nutzerkommunikation ist entscheidend für ein „technikkonformes“ Wohnen, das für eine hohe Energieeffizienz und einen geringen Energieverbrauch notwendig ist.
- Es ist für die Kalkulation des meist knappen Gesamtbudgets für die Mietkosten entscheidend, dass die Warmmiete in ihren Bestandteilen von geringeren Heizkosten, aber möglicherweise erhöhten Betriebskosten, transparent ist. Die Planbarkeit der Warmmiete dient der Mieterzufriedenheit und vermeidet Konflikte.
- Die Regulierbarkeit der mechanischen Lüftungsanlagen ist wünschenswert, aber nicht allein ausschlaggebend für eine hohe Nutzerakzeptanz.
- Die Energieverbräuche und die komplexen Zusammenhänge der sich gegenüberstehenden Kostenersparnis bei dem Heizsystem zu wahrscheinlichen Kostenerhöhungen für Wartung und Stromkosten sind ohne weitere Erläuterung für die Nutzer schwer nachvollziehbar. Information und Beratung sind wichtig, um die Nutzerinnen und Nutzer zu unterstützen, eingefahrene Verhaltensweisen den neuen Umständen anzupassen.

waren, gaben demzufolge an, zusätzlich im Winter über Fenster zu lüften, was einen erhöhten Heizwärmeverbrauch zur Folge hat.

Bezüglich der Qualitätssicherung ist das Modellvorhaben in Amberg ein gutes Beispiel dafür, dass bei immer komplexer werdender Gebäudetechnik ein Anlagenmonitoring sowohl zur Optimierung als auch zur Fehlererkennung dringend zu empfehlen ist. Dort konnten durch ein nachträglich beauftragtes Monitoring bestehende Fehlerquellen aufgedeckt und behoben und der Verbrauch deutlich reduziert werden.

Eine sehr gut gedämmte Gebäudehülle (mit entsprechend hohen Kosten) führte ab einem gewissen Punkt nicht mehr zu deutlich niedrigeren Verbrauchswerten. An den Beispielen Ansbach und Neu-Ulm wird deutlich, dass Neu-Ulm trotz 60 % schlechterer Transmissionswärmeverluste fast die gleichen Verbrauchswerte wie Ansbach erzielt. Ein niedriger Endenergiebedarf resultiert aus einer guten Abstimmung von Gebäudehülle und technischen Komponenten. Sehr niedrige Verbrauchswerte können nur eingehalten werden, wenn schon in der Planungsphase auf eine durchgängige Systemgrenze mit einem Minimum an Wärmebrücken geachtet wird. Eine energetisch hochwertige,

den Anforderungen an die Luftdichtigkeit entsprechende Gebäudehülle wird durch eine gute Planung sowohl der Details wie auch der Bauabläufe gewährleistet. Schlussendlich helfen Luftdichtigkeitstests in der Bauphase die geforderten Werte nachzuweisen und Leckagen zum frühest möglichen Zeitpunkt zu orten, und zwar nicht nur wie gesetzlich vorgeschrieben für Holzbauten, sondern idealerweise auch freiwillig für Massivbauten.

Die Befragungen der Mieterinnen und Mieter haben bei aller Unterschiedlichkeit der Bedürfnisse der Haushalte ergeben, dass sich alle mit der Frage des sparsamen Heizens und der richtigen Lüftung auseinandersetzen. Das Wärmeempfinden - sowohl in den Monaten, in denen geheizt wird, als auch im Sommer ist sehr unterschiedlich und kann weder geschlechtsspezifisch noch alters- oder kulturspezifisch gedeutet werden.

In den Modernisierungsprojekten konnten die Befragten sehr direkt ihr Heizverhalten vergleichen und gaben an, dass sie später heizen. Auch die Befragten in den neuen Wohnprojekten gaben an, dass sie später zu heizen begannen als in ihren vorherigen Wohnungen. Die Frage der Energieeffizienz ist angesichts des großen Wohnungsbedarfs in einigen der Projektstandorte kaum ausschlaggebend für die

Entscheidung eine Wohnung zu mieten. Das heißt jedoch nicht, dass die überwiegende Anzahl der Befragten nicht an Fragen des sinnvollen Umgangs mit Energie interessiert wäre. Bei der Entscheidung für die Wohnung kalkulieren sie die Kosten der Warmmiete. Unzufriedenheiten entstehen dann, wenn hohe Nachzahlungen bei der Jahresabrechnung entstehen und sie die unterschiedlichen Kosten bei den dann erfolgenden Vergleichen mit den Abrechnungen der Nachbarhaushalte nicht nachvollziehen können. Transparente Informationen durch die Wohnbaugesellschaften sind noch notwendiger, wenn es sich um neue, ungewohnte technische Systeme handelt.

Dass für die Mieterzufriedenheit die Kommunikation mit den Wohnbaugesellschaften wesentlich ist, ist keine neue Erkenntnis. Wesentlich ist jedoch, dass in Konfliktfällen rasche Antworten und nachvollziehbare Abläufe für die Behebung von Schäden oder Reklamationen gegeben werden. Die in allen Wohnprojekten ausgegebenen Mieterinformationsblätter wurden geschätzt, aber die direkte Kommunikation mit der Hausverwaltung bevorzugt, besonders bei Störungen oder Defekten. Insgesamt ergaben die Mieterbefragungen, dass eine hohe Zufriedenheit bei Wohnkomfort wie der gefühlten Behaglichkeit existiert.

Folgende Abbildungen wurden von der Obersten Baubehörde zur Erstellung der Abschlussberichtes der wissenschaftlichen Begleitung des Modellvorhabens e% - Energieeffizienter Wohnungsbau zur Verfügung gestellt. Jegliche weitere Verwendung, auch in Auszügen, ist nicht gestattet.

Abb. 1, 2: © Oberste Baubehörde, Sachgebiet IIC2

Abb. 8, 9, 27, 45, 66, 84, 96, 111, 128, 154, 155, 156, 194, 195, 196, 197 : © Oberste Baubehörde,
Fotografin: Julia Schambeck

Folgende Abbildungen wurden freundlicherweise zur Verwendung in diesem Abschlussbericht zur Verfügung gestellt. Jegliche weitere Verwendung, auch in Auszügen, ist nicht gestattet.

Abb. 4: © STEWOG Stadtentwicklungs- und Wohnungsbau GmbH, Marktredwitz

Abb. 6, 7: © Büro Wilhelm, Amberg

Abb. 18: © Atelier Unterrainer, Feldkirch

Abb. 19: © Christian Eberhardt ev Architekten GmbH, Kümmersbruck/Theuern

Abb. 78, 171: © TB Stampfer Ingenieurbüro für Gebäudetechnik, Salzburg

Abb. 126: © Ingenieurbüro Lackenbauer, Traunstein

Abb. 134, 165: © Michael Heinrich, München

Abb. 158: © h.e.i.z. Haus Architektur Stadtplanung, Dresden

Abb. 63, 161: © Joseph-Stiftung Kirchliches Wohnungsunternehmen, Bamberg

Alle anderen Abbildungen und Tabellen, soweit diese nicht oben aufgeführt sind, sind durch die Autoren des Abschlussberichtes und deren Mitarbeitern erstellt worden. Diese sind zitierfähig unter Angabe der vollständigen Quelle. Jegliche weitere Verwendung, auch in Auszügen, ist nicht gestattet.

Die verwendeten Abkürzungen in diesem Abschlussbericht beziehen sich auf folgende Quellen:

- BayBO 2008 Bayerische Staatsregierung: Bayerische Bauordnung (BayBO), Bekanntmachung 14.08.2007
- BINE 2014 BINE Informationsdienst: Altbau - Fit für die Zukunft; FIZ Karlsruhe, Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen, Stand: Oktober 2014; ISSN: 1438-3802
- DIN 276-1 DIN 276-1: Kosten im Bauwesen – Teil 1: Hochbau, Stand Dezember 2008
- DIN 1946-6 DIN 1946-6: Raumluftechnik – Teil 6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung, Stand: Mai 2009
- DIN 4108-6 DIN V 4108-6: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarf, Stand Juni 2003
- DIN 4108-7 DIN 4108-7: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden – Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele, Stand Januar 2011
- DIN 4701-10 DIN V 4701-10: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen - Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, Stand: August 2003
- DIN 13829 DIN EN 13829: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden, Differenzdruckverfahren (ISO 9972:1996, modifiziert) Deutsche Fassung EN 13829:2000, Stand: Februar 2001
- DIN 15251 DIN EN 15251: Eingangparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumlufqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Deutsche Fassung EN 15251:2007, Stand: Dezember 2012
- DVGW 551 DVGW-Arbeitsblatt W 551:2004-04: Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.: Trinkwassererwärmung- und Trinkwasserleitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Vermeidung des Legionellenwachstums; Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen; Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn, 2004
- EnEV 2007 Bundesregierung: Energieeinsparverordnung (EnEV), Bekanntmachung 24.07.2007
- EnEV 2009 Bundesregierung: Energieeinsparverordnung (EnEV), Bekanntmachung 29.04.2009
- EnEV 2014 Bundesregierung: Energieeinsparverordnung (EnEV), Bekanntmachung 18.11.2013
- EnEV 2016 Bundesregierung: Energieeinsparverordnung (EnEV), Bekanntmachung 18.11.2013 , Stand 01.01.2016
- Hay 2011 Hayner, M.; Ruoff, J.; Thiel, D.: Faustformel Gebäudetechnik für Architekten; Deutsche Verlages-Anstalt, München, 2010
- e% 2010 Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr (Hrsg.): e% - Energieeffizienter Wohnungsbau, Planungshilfen für den Geschosswohnungsbau, München 2010.
- Wohnmodelle Pawlitschko, Roland; Sandeck, Karin: Wohnmodelle Bayern VI, Modellvorhaben e%, Energieeffizienter Wohnungsbau, Callwey Verlag, München 2014.

Herausgeberin

Oberste Baubehörde
im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr
Sachgebiet Technische Angelegenheiten des Wohnungsbaus,
Experimenteller Wohnungsbau
Franz-Josef-Strauß-Ring 4
80539 München



Redaktion und Gestaltung

Dipl.-Ing. Philipp Vohlidka

Redaktion des Herausgebers

Dipl.-Ing. Karin Sandeck
Dipl.-Ing. Florian Plajer
Dipl.-Ing. Franziska Spreen

Wissenschaftliche Begleitung im Auftrag der Obersten Baubehörde

Technische Universität München

Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik
Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Gerhard Hausladen (bis 2013)
Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Bauen
Prof. Dipl.-Ing. Thomas Auer (ab 2014)
Dipl.-Ing. Philipp Vohlidka

Hochschule Augsburg

Energieeffizienz Design E2D, Prof. Dipl.-Ing. Georg Sahner
Walburga Quittel, M.Eng.

Hochschule Coburg

Fakultät Soziale Arbeit und Gesundheit, Prof. Dr. Gabriele Franger-Huhle
Irina Kobrin, M.A.
Katharina Grimm, B.A.

Die Abbildungen und die zugehörigen Bildrechte wurden von der wissenschaftlichen Begleitung sowie den am Modellvorhaben beteiligten Bauherren, Planern sowie dem Herausgeber zur Verfügung gestellt. Die Veröffentlichung gibt die Erkenntnisse, Einschätzungen und Empfehlungen der wissenschaftlichen Begleitung des Modellvorhabens wieder.

Gestaltung des Covers

Büro Bernard Kommunikationsdesign, München

Druck

Gebr. Geiselberger GmbH, Altötting
Der Druck erfolgte auf umweltzertifiziertem Papier Helo Fat 112g/m².
Der Satz erfolgte in Helvetica Regular und Bold 9,5 und 11 Punkt.

Die Veröffentlichungs- und Verwertungsrechte liegen beim Herausgeber.
München, September 2017

Weitere Informationen zum Experimentellen Wohnungsbau finden Sie unter
www.experimenteller-wohnungsbau.bayern.de



Experimenteller
Wohnungsbau



Hinweis

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbenden oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Wollen Sie mehr über die Arbeit der Bayerischen Staatsregierung erfahren?



BAYERN|DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung.

Unter Telefon (0 89) 12 22 20 oder per E-Mail an direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

Bezahlbare Energieeffizienz ist realisierbar!

Im Auftrag der Obersten Baubehörde begleiteten die TU München und die Hochschulen Augsburg und Coburg acht Geschosswohnungsbauten des Modellvorhabens „e% - Energieeffizienter Wohnungsbau“ vom ersten Moment über die Realisierung bis zum Monitoring.

Die Handlungsfelder dieser wissenschaftlichen Begleitung umfasste die Gebäudekonzeption und Gebäudehülle, die Gebäudetechnik und die technische wie sozialwissenschaftliche Adaptivität der teilnehmenden Projekte.

Die Ergebnisse der jahrelangen wissenschaftlichen Begleitung der Projekte aus ganz Bayern belegen die Erfüllung der im Modellvorhaben gesetzten Ziele, u.a. die Unterschreitung der Vorgaben der Energieeinsparverordnung 2009 um mindestens 40 % bei hohem Wohnwert, kostenoptimiertem Bauen und architektonischer Qualität und können als Best-Practice-Beispiele für weitere Wohnbauprojekte dienen.

