

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 114 (1996)
Heft: 26

Artikel: Das Haus als Wärmespeicher
Autor: Humm, Othmar
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-78995>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 24.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Pilot- und Demonstrationsprojekte des Bundes und der Kantone
Othmar Humm, Zürich

Das Haus als Wärmespeicher

Eine schwere Konstruktion aus Betondecken und Kalksandsteinwänden, eine Hochwärmédämmung mit Zellulosefasern und Hit-Verglasungen sowie eine weitgehend verglaste Südfassade zur direkten Nutzung von Sonnenenergie sind die drei besonderen Merkmale des Niedrigenergiehauses Hansenburg in Grüningen. Im Gebäude, ein Pilot- und Demonstrationsprojekt im Rahmen von Energie 2000, werden eine ganze Reihe neuer Technologien erprobt.

Die Niedrigenergiebauweise ist mittlerweile durch eine Fülle unterschiedlicher Ansätze und Konzepte oder gar -Schulen- geprägt. Um diese Vielfalt zu ordnen, bietet sich eine Systematik der Speicherstrategie an, wobei die Differenzierung nach der (spezifischen) Größe, der Technologie und dem Temperaturniveau der Wärmespeicher erfolgen kann. Das Ordnungsprinzip ist naheliegend, denn die Speicherproblematik ist allen Niedrigenergiehäusern gemeinsam. Speicher brauchen viel Platz, sind teuer und ein kaum vernachlässigbarer Verlustfaktor. In Niedrigenergiehäusern wird Wärme üblicherweise in der Bausubstanz, in Wasser oder in Geröll, seltener in Glaubersalzen (Latentspeicher), sowie in mannigfaltigen Kombinationen dieser Medien gespeichert, um strahlungsarme Perioden zu überbrücken, seien diese nun saisonal, wochen- oder tageweise. Die Kombination von Wasserspeicher und schweren Geschossdecken ist wohl die häufigste Lösung. Beim Einfamilienhaus Hansenburg in Grüningen handelt es sich um ein Beispiel für den konsequenten Einsatz der Bausubstanz, vorab der Decken und der Wände, als Speichermedium. Dieses kombinierte Wohn-Büro-Haus speichert Wärme auf tiefem Temperaturniveau, was die Verluste reduziert und den Wirkungsgrad sowohl der solaren wie auch der elektrischen Wärmeerzeugung erhöht.

Wenig Energie trotz grosser Räume

Der dreigeschossige Hauptraum unter dem imposanten Giebel dominiert das Einfamilienhaus – nicht nur äußerlich. Von der gesamten Kubatur nach SIA von

2097 m³ (ohne angebaute Garage), entfallen nicht weniger als 22% (460 m³) auf die nach Süden weitgehend verglaste Wohnküche. Wohn- und Schlafzimmer, Sanitärs- und Waschräume gruppieren sich auf zwei Geschossen – westlich und nördlich – um dieses Zentrum. Im Untergeschoss liegen Büro- und Technikräume. Die Grundfläche (ebenfalls ohne Garage) misst 211 m², die mittlere Höhe nach SIA 116,94 m.

Wärme dämmen und Wärme speichern

Das Niedrigenergiehaus ist eine schwere Konstruktion aus Betondecken und Kalksandsteinen, deren opake Außenflächen mit Zellulosefasern gedämmt sind – ein allseitig mit Altpapierflocken eingepackter Massivbau. Die k-Werte (ohne Fenster) liegen zwischen 0,125 W/m² K und 0,15 W/m² K. Der mittlere k-Wert beträgt 0,265 W/m² K.

Im Vergleich zur verbesserten Wärmedämmung als Teil der sogenannten Standardlösung eins zur Erfüllung des Paragraphen 10a des Zürcher Energiegesetzes, die eine Reduktion aller k-Werte der Einzelbauteile um mindestens 30% gegenüber den Wärmedämmvorschriften verlangt, liegt der Wand-k-Wert des Hauses Hansenburg um weitere 30% tiefer. Nimmt man die Wärmedämmvorschriften als Basis, beträgt der k-Wert von „Hansenburg“ nur rund die Hälfte.

Spezifikationen zu den einzelnen Bauteilen

Untergeschoßboden:

Kautschukbelag (3 mm), Verbundunterlagsboden (9 cm), Beton (20 cm), Schaumglas vollflächig (12 cm), Magerbeton (5 cm), k-Wert 0,21 W/m² K.

Erdberührte Außenwände:

Beton (18 cm), Polystyrol (20 cm), extrudiertes Polystyrol, gerillt, mit Glasvlies als Abdeckung (5 cm), k-Wert 0,186 W/m² K.

Aussenwände im Unter- und Erdgeschoss:

Mineralfarbe, Gipsputz, Recycling-Kalksandsteine (15 cm), leichte Distanzhalterkonstruktion aus Sperrholz (26 cm), Zellulosefasern (75 kg/m³, 26 cm), zementgebundene Holzspanplatten (ohne Hinterlüftung, 18 mm), Lasuranstrich (werkseitig); k-Wert 0,148 W/m² K.

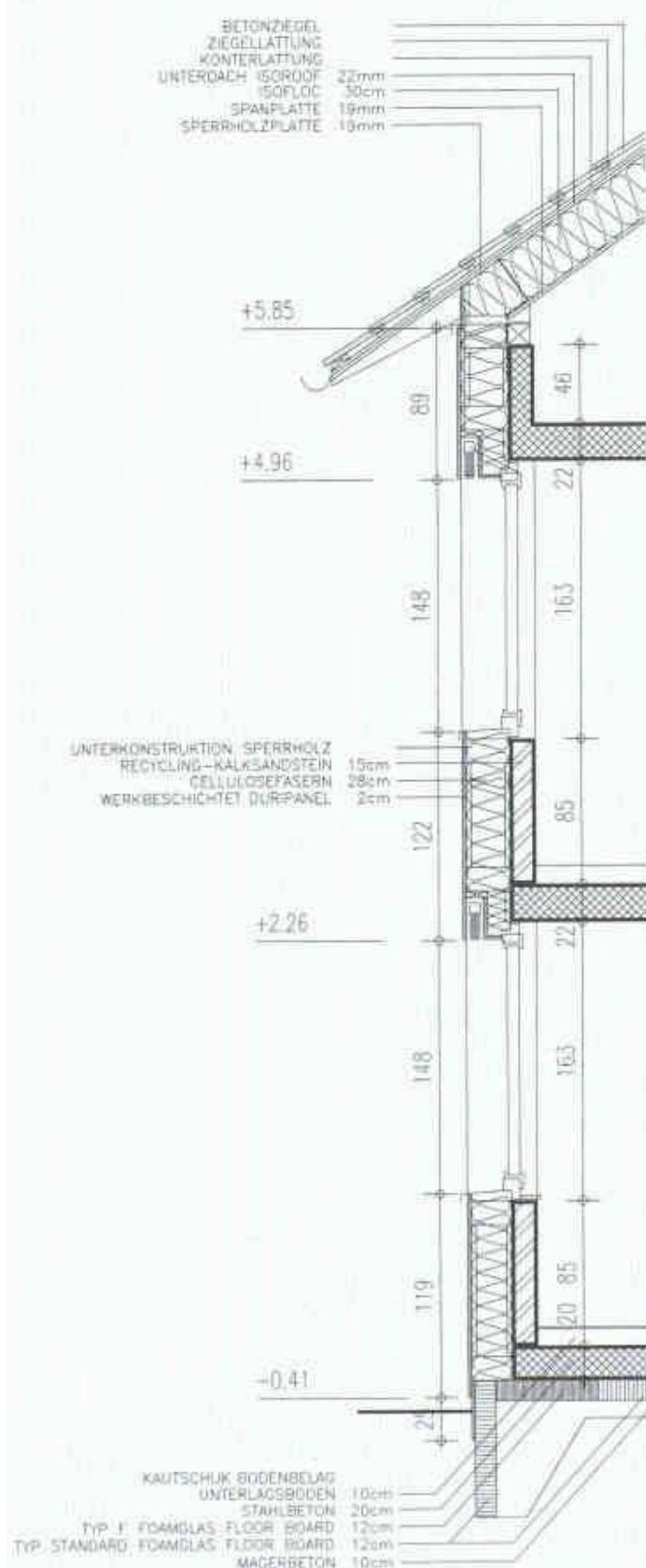
Aussenwände im Dachgeschoss:

Mineralfarbe, Gipsglättung, vorgefertigte Holzrahmenkonstruktion mit beidseitiger Beplankung aus Gipsfaserplatten (18 mm), leichte Distanzhalterkonstruktion aus Sperrholz (26 cm), Zellulosefasern (75 kg/m³, 26 cm), zementgebundene Holzfaserplatte (ohne Hinterlüftung, 18 mm), Lasuranstrich (werkseitig); k-Wert 0,148 W/m² K.

Dach:

Akustikplatten aus furnierten Röhrenspanplatten (25 mm), vorgefertigte Kastenkonstruktion aus Spanplatten (19 mm, Sparren 4 cm breit, 30 cm hoch, bitumi-





2

Das eingepackte Haus: Aufbau von Dach und Aussenwänden mit Traufdetail (oben) und Anschluss an den Untergeschossboden (Schnitte).

1

Wärmedämmung und Sonnenenergiegewinne sind die beiden Hauptthemen des grosszügigen, vom Architekten selbstgenutzten Einfamilienhauses mit einliegenden Büroräumen in Grünigen.

nierte Holzfaserplatte, 22 mm), Zellulosefasern im Kasten (zwischen den Sparren, 75 kg/m³, 30 cm), Konterlattung, Lattung, Betonziegel; k-Wert 0,126 W/m² K.

Fenster:

Holz-Metall-Konstruktion, Hit-Verglasung mit zwei einliegenden Folien (72 mm), k-Wert Glas 0,69 W/m² K, Fenster 0,85 W/m² K, g-Wert 0,48.

Zwischendecken:

Naturstein oder Massivparkett, Verbundunterlagsboden (9 cm), Beton (22 cm), Gipsputz, Leimfarbe.

Innenwände:

Recycling-Kalksandsteine (12 cm), beidseitig Gipsputz. (Recycling-Kalksandsteine werden aus Abbruchmaterial, unter Zumischung von frischem Kalk als Bindemittel, hergestellt.)

Der Beitrag der Sonne

Der Heizenergiebedarf nach SIA 380/1 - bei Niedrigenergiehäusern auch als Restheizbedarf bezeichnet - beträgt rund 5800 kWh oder 42 MJ/m² a. Die Verluste - Transmissions- und Lüftungswärmeverluste - summieren sich auf 22 700 kWh oder 163 MJ/m² a, die nutzbaren Gewinne aus Solarstrahlung und Abwärme von Personen und Geräten demnach auf 16 900 kWh. Die Sonne allein bringt - als Direktgewinn über die 109 m² grosse Fensterfläche - 12 600 kWh oder 55,5% des Bruttobedarfs. Die Energiebilanz zeigt zwei weitere interessante bauliche Merkmale: Die Fensterbilanz ist mit einem Nettogewinn von rund 2100 kWh deutlich positiv, und die Transmissionswärmeverluste der Fenster und der opaken Bauteile liegen - trotz eines hohen Fenster-EBF-Verhältnisses von 0,22 - mit 10 500 kWh bzw. 10 700 kWh pro Jahr gleichauf (EBF steht für Energiebezugsfläche). Der Grund liegt im ausgezeichneten k-Wert der Fenster von 0,85 W/m² K - bei gleichzeitig akzeptablem g-Wert von 0,48. Der Architekt würde bereits heute, ein Jahr nach Bezug, auf einen verbesserten k-Wert der Fenster drängen, sofern er dadurch nicht eine signifikante Verschlechterung des Gesamtenergieloses (g-Wert) in Kauf nehmen müsste. Ein Kaltluftabfall an dieser grossen, fast 8 m hohen Südfensterfläche kann nur durch hochdämmende Fenster oder - aber für diese Bauweise unüblich - Radiatoren verhindert werden. Die Energiebilanz des Gebäudes belegt einmal mehr, dass g- und k-Werte zwei Schlüsselgrössen sind, die für jedes Niedrigenergiehaus optimiert werden müssen.

Die Fenster sind mit Sonnenschutzstöcken bestückt, die aber während der Heizperiode im Storenkasten bleiben.

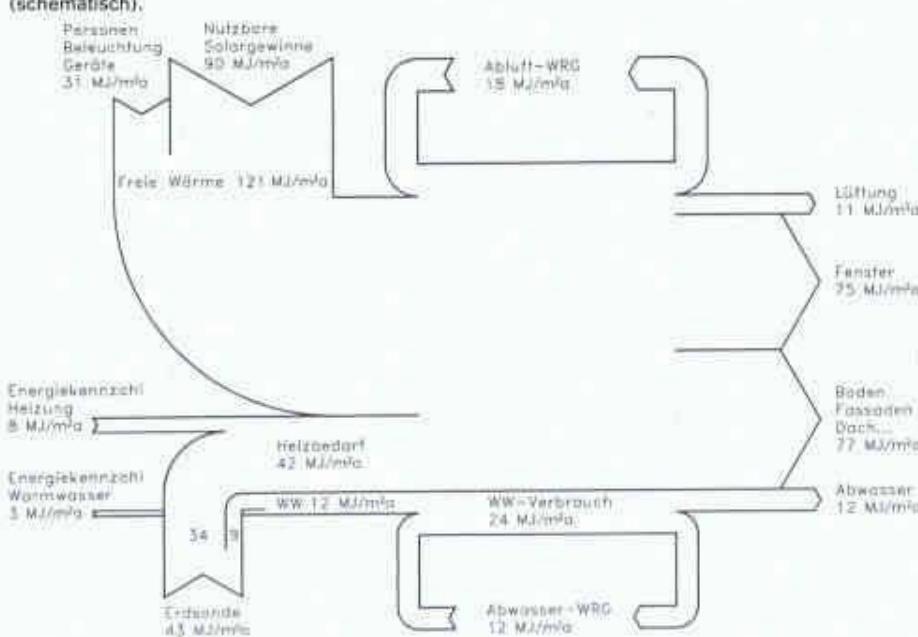
Luftersatz mit Wärmerückgewinnung

Das Niedrigenergiehaus wird ganzjährig mechanisch belüftet, denn ein ausreichender Luftersatz im gesamten Haus ist mit Fensterlüftung allein nicht sichergestellt.



3 Hauptgeschoss (oben) und Untergeschoss mit den Büro- und Technikräumen (Grundrisse).

4 Energieflussdiagramm des Hauses Hansenburg (schematisch).



Die Lufterneuerung erfolgt, wie heute in Niedrigenergiehäusern bereits Standard, über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Die Außenluft strömt über das Erdregister zur Luftvorwärmung und den Filter in den Gegenstrom-Plattenwärmetauscher. Diese Zuluft nimmt im Wärmetauscher Energie aus der Abluft auf und strömt über Kanäle in die Wohn- und Schlafräume. Die Abluft wird in den Sanitärräumen gefasst und der Lüftungsanlage zugeleitet. Das Erdregister besteht aus zwölf parallelen, in vier Schichten verlegten gerippten Kunststoff-Rohren mit einem Durchmesser von 100 mm. Während der Hinterfüllung der Baugrube wurde das Register lagenweise zwischen Baugrubenböschung und Kellerwand verlegt. Um den Radongehalt in der Zuluft minimal zu halten, liegt die eigentliche Außenluftfassung außerhalb des Erdreiches. Aus der Parallelführung der Rohre resultiert für die Außenluftzufuhr ein Querschnitt von $0,1 \text{ m}^2$, der - bei einer Zuluftmenge von $200 \text{ m}^3/\text{h}$ - eine Luftgeschwindigkeit von lediglich $0,6 \text{ m/s}$ ermöglicht.

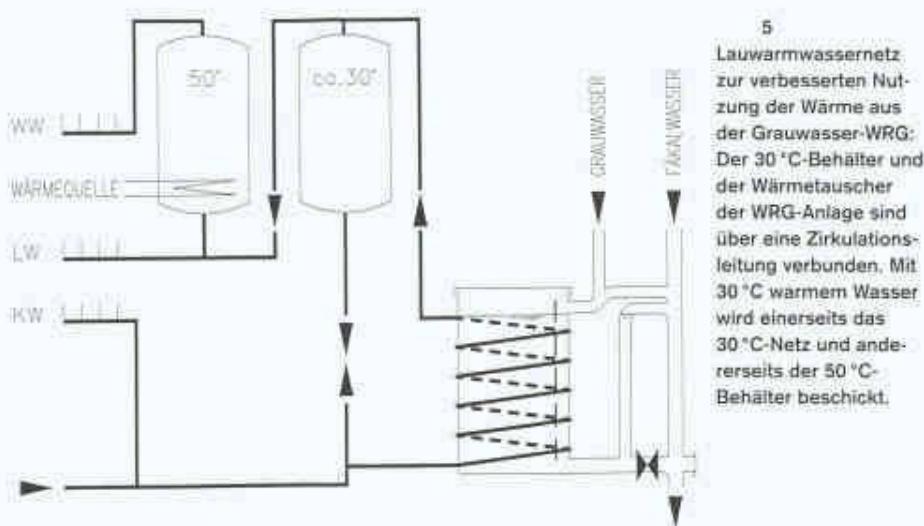
Die Luftführung über das Erdregister konkurriert mit der Wärmerückgewinnung (niedrigere Temperaturgradienten). Es geht dabei aber weniger um Energiesparen, als um den Frostschutz, den das Erdregister garantiert.

Die Zuluftverteilung innerhalb der Wohnung erfolgt über flache Kanäle aus Stahlblech mit einem Querschnitt von 5 cm auf 10 cm, die in die Unterlagsböden verlegt sind. Die einstufige Lüftungsanlage ist mit zwei Ventilatoren von je 100 W elektrischer Leistung ausgerüstet und stellt eine Zuluftmenge von 25 m^3 pro Person und Stunde sicher. 80% beträgt - nach Herstellerangaben - die Rückgewinnungsquote des Lüftungsaggregates.

Auf Empfehlung der Koordinationstelle für Wärmeforschung im Hochbau an der Empa sind Lüftungsanlagen in Niedrigenergiehäusern in der Regel anhand der spezifischen Zuluftmenge und nicht des Luftwechsels zu dimensionieren. Die Zuluftquoten liegen zwischen 10 m^3 und 50 m^3 pro Person und Stunde, wobei der niedrige Wert für gute Verhältnisse mit Nichtrauchern in grossen Räumen, der höhere für Raucher in engen Zimmern gilt.

Gute Voraussetzungen für eine Wärmepumpe

Im Technikraum steht eine Wärmepumpe mit einer thermischen Leistung von $7,2 \text{ kW}$. Primärseitig ist das Heizaggregat mit einer Erdsonde verbunden, die 170 m abgeteuft ist. Die Dimensionierung der Sonde - 35 W/m statt 55 W/m - garantiert, dass die



Baujahr	1995
Kubatur nach SIA	2390 m ³
Baukosten (BKP 2)	605 Fr./m ³
Energiebezugsfläche	503 m ²
Heizenergiebedarf nach SIA 380/1	42 MJ/m ² a
Energiekennzahl Heizung	8 MJ/m ² a
Energiekennzahl	
Warmwasser	3,3 MJ/m ² a
Energiekennzahl Wärme	11,3 MJ/m ² a

Eckdaten des Wohn- und Bürohauses Hansenburg in Grüningen (Planungswerte).

	Einzelanforderungen		Systemanforderungen	
	k-Werte	Im Vergleich zum Grenzwert SIA 380/1	Heizenergiebedarf	Im Vergleich zum Grenzwert SIA 380/1
Wohn-Büro-Haus Hansenburg	0,15 W/m ² K	37%	42 MJ/m ² a	13%
Verbesserte Wärmedämmung der Standardlösung 1, § 10a des Energiegesetzes des Kantons Zürich	0,21 W/m ² K	52%	-	
Wärmedämmvorschriften des Kantons Zürich	0,5 W/m ² K	75%	300 MJ/m ² a	90%
Zielwerte SIA 380/1	0,3 W/m ² K	75%	280 MJ/m ² a	85%
Grenzwert SIA 380/1	0,4 W/m ² K	100%	330 MJ/m ² a	100%

Wand-k-Wert des Niedrigenergiehauses im Vergleich mit typischen Anforderungen

	Energiebedarf, Energiegewinn	spezifischer Verbrauch je m ² Energiebezugsfläche
Verluste		
Transmissionsverluste durch die Fenster	10 500 kWh	75 MJ/m ² a
durch Wände, Boden und Dach	10 700 kWh	77 MJ/m ² a
Wärmebedarf für Lüftung	1 500 kWh	11 MJ/m ² a
Summe	22 700 kWh	163 MJ/m ² a
Gewinne		
Sonnenstrahlung	12 600 kWh	90 MJ/m ² a
Abwärme Personen und Elektrizität	4 300 kWh	31 MJ/m ² a
Freie Wärme (Summe der Gewinne)	16 900 kWh	121 MJ/m ² a
Heizenergiebedarf	5 800 kWh	42 MJ/m ² a
Energiebedarf Warmwasser	1 700 kWh	12 MJ/m ² a
Energiebedarf Wärme	7 500 kWh	54 MJ/m ² a
Endenergieverbrauch bzw. Energiekennzahl für Raumwärme bei einer Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe von 5,0	1 160 kWh	8,5 MJ/m ² a
Warmwasser bei einer Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe von 3,7	460 kWh	3,3 MJ/m ² a
Endenergieverbrauch bzw. Energiekennzahl Wärme	1 620 kWh	11,6 MJ/m ² a

Wärmeenergiebilanz des Hauses Hansenburg in Grüningen. Im Wärmebedarf für Lüftung sind die Verluste durch Türen und Ritzen sowie die Wärme aus der Rückgewinnung der mechanischen Luftheuerung eingerechnet. Im Wärmebedarf für Warmwasser ist die nutzbare Wärme aus dem Grauwasser berücksichtigt. Alle Angaben sind Planungswerte.

Quelltemperatur nie unter 4 °C fällt. Im Primärkreislauf zirkuliert ganzjährig Wasser, ohne Zusatz von Frostschutzmittel (Glykol). Der Verzicht auf den Wasserzusatz hat nicht nur ökologische, sondern auch energetische Vorteile: Ein Glykol-Wasser-Gemisch verursacht, aufgrund der höheren Viskosität, einen Mehrverbrauch an Förderenergie. Die Wärmepumpe arbeitet mit sehr niedrigen Vorlauftemperaturen - höchstens 27 °C - auf eine selbstregulierende Fußbodenheizung. Die Wärmeabgabe ist vom Temperaturunterschied zwischen Fußbodenoberfläche (höchstens 24 °C) und Raum bestimmt. Mit schwindernder Temperaturdifferenz nimmt der Wärmestrom naturgemäß ab, in Zeiten solarer Einstrahlung ändert sich dessen Richtung - die Wärme wird gespeichert. Diese Art der Bodenheizung ist bereits Stand der Technik: In mehreren Bauten - darunter in den «Boller-Häusern» in Wädenswil und im «Heureka-Haus» in Hedingen - wird die Wärme auf diese Weise verteilt respektive gespeichert, und die Erfahrungen sind, von Anfangsschwierigkeiten abgesehen, sehr gut.

Jahresarbeitszahl von fünf

Die hohe Quell- und die tiefe Heiztemperatur des Wärmepumpenbetriebes ermöglicht eine Leistungsziffer (COP) von 5,5 sowie eine Jahresarbeitszahl von 5,0 (Angaben des Herstellers). Die Wassererwärmung erfolgt ebenfalls über diese Wärmepumpe, wobei für diesen Zweck zeitweise ein zweiter, mit 55 °C arbeitender Kondensator zum Einsatz kommt. Messungen während dreier Monate im Winter 1995/96 ergaben eine «gemischte» Arbeitszahl für beide Betriebsweisen - Raumheizung und

Wassererwärmung – von 5,2. Als Kältemittel wird halogenfreies R1270 eingesetzt.

Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser

Kernstück der Anlage zur Rückgewinnung von Wärme aus dem Grauwasser ist ein Wärmetauscher, der aus einem Sammelbehälter mit einer deutlichen Temperaturschichtung und einem diesen Behälter umhüllenden Rohrregister besteht. Die Wärme gelangt aus dem Grauwasserbehälter in den wasserführenden Stahlrohrmantel und durch Schwerkraftzirkulation in den höher liegenden Vorboiler. Dieser speist den Hauptboiler, in dem die Nachwärmung auf etwa 50°C über die Wärmpumpe erfolgt. Dieses System hätte einen grundsätzlichen Nachteil: Da das Warmwasser beim Zapfen im Verhältnis 1:1 mit Kaltwasser vermischt wird, fällt das Grauwasser nur halbwarm, aber in doppelter Menge an – im Vergleich zum Warmwasser. Damit ist ein theoretischer Wirkungsgrad bei der Grauwasser-WRG von höchstens 50% möglich. Der Ersatz eines Teils des Kalt- und des Warmwas-

sernetzes durch ein Lauwarmwassernetz erhöht den frischwasserseitigen Durchsatz im Rohrregister des Wärmetauscher und verbessert den Wirkungsgrad des Systems. Ein praktischer Wirkungsgrad von gegen 50% scheint nach den ersten Erfahrungen realistisch.

Der Abfluss in die Kanalisation ist sozusagen das letzte Energieloch, das im konsequenten Niedrigenergiebau zu stopfen ist. Ob der in Grüningen eingebaute Prototyp die Hoffnungen erfüllt, werden Messungen zeigen. Nach den Vorstellungen der Konstrukteure könnte das Gerät in zwei Jahren in Serie gehen. In Erwartung dieser Innovation sollten beim Bau von Niedrigenergiehäusern zwei Vorfahrungen getroffen werden: Das Grauwasser – Abwasser ohne WC und Küche, aber mit Wasch- und Abwaschmaschine – sollte separat geführt werden. Es empfiehlt sich zudem, die Kalt- und Warmwasserverteiler zentral und gut zugänglich anzurichten, um später einen Teil der Leitungen als Lauwarmwassernetz betreiben zu können.

Adresse des Verfassers:
Othmar Humm, Fachjournalist Technik und Energie, 8050 Zürich

P+D – ein Teil von Energie 2000

Das Haus Hansenburg in Grüningen ist ein Pilot- und Demonstrationsprojekt des Kantons Zürich und des Bundesamtes für Energiewirtschaft im Rahmen des schweizerischen Aktionsprogrammes Energie 2000. Das Gebäude soll, ebenfalls mit Unterstützung des Kantons und des Bundes, in der nächsten Heizperiode ausgemessen werden. Beim Messprojekt geht es weniger um die Verifizierung der tiefen Energieverbrauchswerte als um die Bewertung der einzelnen Technologien – Wärmedämmung, Wohnungslüftung, Speicherverhalten, solarer Direktgewinn und Wärmerückgewinnung – als Beitrag zu einem Niedrigenergiehausbau, der alle neuzeitlichen Ansprüche an Komfort und Behaglichkeit erfüllt. Die Messungen werden von der Koordinationsstelle für Wärmeforschung im Hochbau an der Empa begleitet.

Beteiligte

Bauherrschaft, Architektur und Energiekonzept: *Rudolf Fraefel*, dipl. Architekt ETH/SIA, Hansenburg 6, 8627 Grüningen

Heizungs- und Sanitärplanung: *Huastechnik Rechberger*, 8050 Zürich

Lüftungsplanung: *Rudolf Fraefel*
Wärmerückgewinnung aus dem Grauwasser-System: *Dr. Ruedi Kriesi* und *Rudolf Fraefel*

Daniel Klooz, Winterthur, Thomas Leutenegger, Zollikon

Dieselbus, Trolleybus oder gar Erdgasbus?

Beispiel eines ökonomisch-ökologischen Vergleichs

Die Frage, ob auf einer Buslinie des öffentlichen Verkehrs Dieselbusse, Erdgasbusse oder Trolleybusse eingesetzt werden sollen, lässt sich nicht ohne weiteres beantworten. Trolleybusse sind vergleichsweise emissionsarm, aber bezüglich Betrieb relativ teuer. Anderseits sind Busse mit Antriebssystemen auf der Basis fossiler Energieträger (z.B. Dieselöl oder Erdgas) kostengünstiger, weisen jedoch im Vergleich zu Trolleybussen Nachteile bei den Umweltwirkungen auf.

nannte Breite-Linie, aus Altersgründen vollständig (Busse und Fahrleitung) erneuern müssen. Die Bedeutung dieser Fragestellung reicht jedoch über die Stadt Winterthur hinaus, da z.B. im Massnahmenplan Lufthygiene des Kantons Zürich [1] und auch in anderen Kantonen vorgeschlagen wird, Dieselbusse aus lufthygienischen Gründen wenn möglich durch Trolleybusse zu ersetzen.

Die Umweltschutzfachstelle der Stadt Winterthur hat deshalb die verschiedenen Busantriebssysteme – Trolleybus, Erdgasbus, Dieselbus – in einem ökonomischen und ökologischen Vergleich durch das Ingenieurunternehmen E. Basler & Partner evaluieren lassen. Ziel des Vergleichs ist es, eine Entscheidungsgrundlage für die Busystemwahl bereitzustellen, die sowohl die Systemkosten als auch die System-Umweltwirkungen als Parameter berücksichtigt.

tigt. Der Vergleich wurde konkret am Fallbeispiel der Winterthurer Breite-Linie durchgeführt. Die Methodik kann jedoch auch für andere Buslinien angewendet werden. Der Bericht, welcher den Vergleich dokumentiert, enthält im Anhang alle wesentlichen Grundlagen für die Adaption der Methodik auf andere Buslinien [2].

Überblick über das methodische Vorgehen

Hinweise zum Vorgehen

Der Vergleich der drei verschiedenen Bussysteme erfolgt aufgrund einer Gegenüberstellung ihrer Kosten und ihrer Umweltbelastungen. Dabei werden nur diejenigen Umweltbelastungen in den Vergleich einbezogen, in welchen sich die einzelnen Antriebsvarianten signifikant unterscheiden. Die Umweltbelastungen, ausgedrückt in Umweltbelastungspunkten, ermöglichen den Vergleich und die Bewertung der verschiedenen Umweltwirkungen der drei Busantriebssysteme auf der Basis des Prinzips der ökologischen Knappheit.

Damit der Vergleich der einzelnen Umweltwirkungen miteinander möglich

Ausgangslage und Zielsetzung

Diese Frage stellte sich auch den Winterthurer Verkehrsbetrieben, die eine ihrer bestehenden Trolleybuslinien, die soge-