Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 118 (2000)

Heft: 47: Nachhaltigkeit

Artikel: Kostengünstige Wärmepumpenheizung für Niedrigenergiehäuser: technisches Planungshandbuch

Autor: Afjei, Thomas

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-80006

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: 07.07.2025

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

Thomas Afjei

Kostengünstige Wärmepumpenheizung für Niedrigenergiehäuser

Technisches Planungshandbuch

Bei den derzeitigen Energiepreisen werden Bauträger wieder hellhörig, wenn es ums Energiesparen geht. Zum «Gewusst wie» leistet das in diesem Artikel beschriebene Planungshandbuch einen Beitrag. Es erklärt systematisch Grundlagen und Kennzahlen für Niedrigenergiehäuser mit Wärmepumpenheizung, es zeigt einen strukturierten Planungsablauf und beschreibt Praxiserfahrungen mit drei Pilotanlagen, welche über zwei Jahre detailliert gemessen wurden.

Das Technische Handbuch

Das Handbuch besteht aus drei Teilen:

- Grundlagen (Begriffe, Systemgrenzen, Kennzahlen, Kostensituation, Methodik der ökologischen Beurteilung, Charakteristiken verschiedener Gebäudetypen, Richtwerte und Regelkonzepte)
- Planungsvorgehen (Integrale Planung, Machbarkeitsabklärung, Vorprojekt, Projekt und Gerätetechnik)
- Praxisbeispiele Niedrigenergie- und Passivhaus (Systembeschreibung, Energiebilanz, Kosten)

Das Handbuch richtet sich primär an technisch vorgebildete Leser, wie Planer, Ingenieure, Energieberater, Wärmepumpenhersteller und Architekten. In den folgenden Abschnitten werden Kennzahlen, ein Niedrigenergie- und ein Passivhaus vorgestellt.

Das Handbuch ist ab Dezember bei ENET, Egnacherstr. 69, 9320 Arbon erhältlich, Fon 071 4400255, Fax 071 4465082, E-Mail enet@temas.ch. Preis: CHF 40.–.

Zukünftige Niedrigenergiehäuser mit weniger als 160 MJ/(m^2a) Endenergieverbrauch oder Passivhäuser, welche nur mit einer Luftheizung auskommen, stellen neue Anforderungen an die Wärmeerzeugung und erfordern eine Lufterneuerungsanlage. Der schweizerische Minergie-Standard und die kommende, deutsche Energieeinsparverordnung EnEV zielen in diese Richtung. Es ist daher wichtig, dass Architekten, Hersteller und Installateure auf diesen neuen Markt und dessen Erfordernisse optimal vorbereitet sind.

Das BFE-Projekt «Kostengünstige Niedrigtemperaturheizung mit Wärmepumpe» startete 1996 und wird Ende 2000 abgeschlossen [NTH Web]. Die Arbeiten wurden innerhalb einer Arbeitsgemeinschaft durchgeführt, bestehend aus den Fachhochschulen beider Basel, der Zentralschweiz, dem Wallis, dem Institut für Mess- und Regeltechnik der ETH-Zürich, dem Fraunhoferinstitut für Solare Energiesysteme, den Ingenieurbüros Huber Energietechnik, Bircher + Keller AG sowie dem Büro Doka.

Grundlagen

Die beiden wichtigen Energiestandards für Niedrigenergiehäuser sind wie folgt definiert.

Minergie

Minergie ist eine eingetragene Qualitätsmarke. Eigentümer der Marke Minergie sind die Kantone Zürich und Bern (www.minergie.ch). Damit ein Gebäude den Minergie-Standard erfüllt, dürfen die folgenden Energiekennzahlen für Wärme nicht überschritten werden [Fraefel 98] (Alle Flächen sind auf die mit dem Aussendämmperimeter berechnete Energiebezugsfläche, EBF bezogen):

Neubauten
$E_{hww} < 160$ MJ / (m^2a), 45 kWh / (m^2a)
Baujahr vor 1990
$E_{hww} < 320$ MJ / (m^2a), 90 kWh / (m^2a)

Dabei wird nur die dem Gebäude für Heizung und Warmwasser zugeführte Energie (Brennstoffe, direkt nutzbare Fernwärme) eingerechnet. Elektrizität für die Wärmeerzeugung, Belüftung und Klimatisierung wird doppelt (Faktor 2,0) gerechnet.

Passivhaus

Der Nachweis des Passivhaus-Standards ist analog SIA 380/1 zu erbringen. Das Passivhaus-Institut in Darmstadt stellt ein Projektierungspaket zur Verfügung, welches die erforderlichen Berechnungen erleichtert. Eine vereinfachte Version für die Vorprojektphase und eine Checkliste sind gratis über das Internet zu beziehen (http://www.passiv.de/). Die folgenden Kennzahlen müssen eingehalten werden [Feist 99].

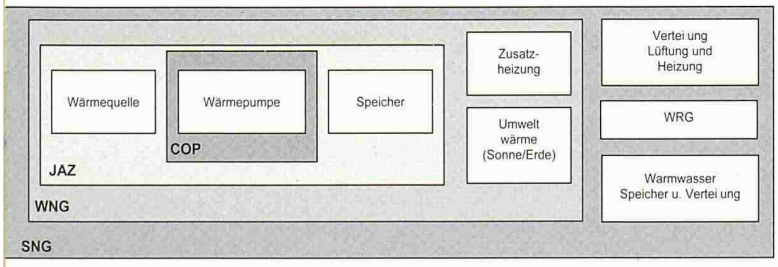
Primärenergiekennwert:
$P_{hwwve} < 432\ MJ/(m^2a)$, $120\ kWh/(m^2a)$

Raumheizung (Nutzenergie):
$Q_h < 54\ MJ/(m^2a)$, $15\ kWh/(m^2a)$

Als Bezugsfläche wird die nach der zweiten deutschen Berechnungsverordnung ermittelte Wohnfläche (ohne Terrassen und Balkone) verwendet. Beim Vergleich der beiden Flächen ergibt sich, dass die in der Schweiz übliche Energiebezugsfläche EBF 10–20 % grösser ist. Im Primärenergiekennwert ist der gesamte Primärenergieeinsatz für Heizung, Warmwasser, Lüftung und Haushaltstrom enthalten. Elektrizität wird dreifach gerechnet, d.h. mit einem Faktor von 2,97 (Strommix in Deutschland) in Primärenergie umgerechnet.

Systemgrenzen

Im Planungshandbuch «Kostengünstige Wärmepumpenheizungen für Niedrigenergiehäuser» wird folgende Systemabgrenzung verwendet:



1

Systemgrenzen für COP (Coefficient of Performance), JAZ (Jahresarbeitszahl) [Ravel 96], WNG (Wärmeerzeugungsnutzungsgrad), SNG (Systemnutzungsgrad, ergänzt)

Kennzahlen

Kennzahlen werden verwendet, um die Effizienz von Heizungssystemen mit Wärmepumpe und Wärmerückgewinnung zu beurteilen. Im Folgenden werden die wichtigsten vorgestellt. Zur Beurteilung des Gesamtsystems wird die Kennzahl Systemnutzungsgrad eingeführt [NTH4 00].

Wärmeerzeugungsnutzungsgrad (WNG)

Der Wärmeerzeugungsnutzungsgrad WNG dient der Beurteilung der Effizienz der Wärmeerzeugung über eine Jahresperiode. Er bildet die korrespondierende Vergleichsgrösse zum Jahresnutzungsgrad von fossilen Heizkesseln. Demzufolge sind keine Umwälzpumpen für die Wärmeverteilung, keine Lüftungsventilatoren und keine thermischen Speicher- und Verteilverluste enthalten. Direkt (nicht über die Wärmepumpe) genutzte Wärmegewinne (etwa Erdregister, Sonnenkollektor) werden im WNG bilanziert, Umweltwärme als Wärmequelle für die Wärmepumpe wird nicht eingerechnet.

$$WNG_{hww} = \frac{Q_{WP,\,hww} + Q_{Z,\,hww} + Q_{Kol} + Q_{ErdAUL}}{\Sigma E_{Haustechnik} - \Sigma E_{Förd}}$$

$Q_{WP,hww}$	von der Wärmepumpe abgegebene Wärme [MJ]
$Q_{Z,hww}$	Wärmeproduktion der Zusatzheizung [MJ] (Heizstäbe, Durchlauferhitzer)
Q_{Kol}	Solarwärme von Sonnenkollektor [MJ]
Q_{ErdAUL}	Zulufterwärmung mit Erdwärme (z.B. Erdregister) [MJ]
$E_{Haustechnik}$	Gesamter Strombedarf für Wärmeerzeugung [MJ]
$E_{Förd}$	Strombedarf für Heizungspumpen und Ventilatoren [MJ] (ohne Anteil für Überwindung Druckverlust inVerdampfer/Kondensator und ohne Speicherladepumpe)

Systemnutzungsgrad (SNG)

Der Systemnutzungsgrad SNG ermöglicht die energetische Beurteilung des gesamten Haustechniksystems (Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung, Lüftung). Der SNG eignet sich für den Vergleich von unterschiedlichen Systemkonzepten bei einer vorgegebenen Luftwechselrate und einem Norm-Warmwasserverbrauch. Beim SNG wird die Wärmerückgewinnung WRG zur Haustechnik gezählt, da bei vielen Kombigeräten die WRG fest in das Wärmeerzeugungsmodul integriert ist. Deshalb wird der Wärmebedarf (im Gegensatz zur Norm [SIA 380/1] ohne Berücksichtigung der WRG) mit dem wirklichen Luftwechsel bestimmt. Dies hat zur Folge, dass bei einer guten WRG der SNG grösser sein kann als der WNG. Somit lassen sich aber auch Lüftungssysteme mit und ohne WRG vergleichen.
Der kombinierte Systemnutzungsgrad SNG_{hww} wird wie folgt berechnet:

$$SNG_{hww} = (Q_{ww} + Q_h + Q_{WRG}) / \Sigma E_{Haustechnik}$$

Q_{WRG} Wärmerückgewinnung an Heiztagen [MJ]

Messresultate der Pilotanlagen

Erdwärmesonden – Wärmepumpe mit Beistellboiler

Beim Gebäude handelt es sich um ein Eck-Reiheneinfamilienhaus mit 174m² beheizter Fläche auf drei Geschossen und einem unbeheizten Keller. Die Wärme für die Raumheizung und das Warmwasser wird mit einer Sole/Wasser-Wärmepumpe erzeugt, welche primärseitig mit einer Erdwärmesonde verbunden ist. Die Wärmepumpe ist ohne Pufferspeicher und Mischventil direkt mit dem Wärmeabgabesystem verbunden. Mit einem Umschaltventil wird von Heiz- auf Warmwasserbetrieb umgestellt. Die Beheizung des Hauses erfolgt über eine Fussbodenheizung mit den Arbeitstemperaturen 34/29 °C.

Zur Lufterneuerung sind im Wohnzimmer (EG) ein Einzelraumlüftungsgerät und in den Obergeschossen an geeigneten Stellen Mauerventile in die Aussenwände eingebaut. Mit einem Abluftventilator im Badezimmer des ersten Obergeschosses wird die verbrauchte Abluft aus den beiden Obergeschossen abgesogen und ins Freie geführt. Durch den dabei entstehenden Unterdruck im Innern kann die frische Aussenluft durch die Mauerventile kontrolliert ins Gebäude strömen.

Die Kennzahlen beziehen sich auf eine gemessene Innentemperatur von 23 °C (ausgelegt wurde die Anlage auf 20 °C). Dennoch funktionierte die Anlage auch bei längeren Kälteperioden einwandfrei.

Gemessene Kennzahlen Grafstal

Wärmeerzeugungsgrad WNG_{hww} bei einer mittleren Innentemperatur von 23 °C [NTH3 00]

$$WNG_{hww} = \frac{Q_{WP,h} + Q_{WP,ww}}{E_{WP,h} + E_{WP,ww}} = 4{,}29$$

Systemnutzungsgrad SNG_{hww}

$$SNG_{hww} = \frac{Q_h + Q_{ww}}{E_{WP,h} + E_{WP,ww} + E_{Förd}} = 3{,}95$$

Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe alleine beträgt 4,76. Der Anteil der Hilfsaggregate am gesamten Energieverbrauch liegt damit bei etwa 20 %.

Passivhaus mit Lüftungskompaktgerät

Das freistehende Einfamilienhaus mit 120m² Netto-Wohnfläche (170m² EBF) steht in Bruchsal/Büchenau bei Karlsruhe (Deutschland). Der vom Planer berechnete Heizwärmebedarf nach dem Passivhaus-Projektierungspaket [Feist 99] liegt unter 14kWh/(m²a). Der Blower Door Test ergab eine hohe Luftdichtheit von nL50 < 0.6 h-1.

Das Fraunhoferinstitut für Solare Energiesysteme misst im Auftrag der Energie Baden-Württemberg die Leistungsfähigkeit des Lüftungs-Kompaktgerätes mit Wärmepumpe, der WRG und des Warmwasser-Speichers, welche das Haus mit frischer Luft und Wärme versorgen. Bei einem Luftvolumenstrom von 140 m³/h beträgt der Aussenluftwechsel 0,5h–1. Ein Luft-Erdregister sorgt für die winterliche Vorerwärmung der Aussenluft. Die Brauchwassererwärmung wird von einer thermischen Solaranlage unterstützt, die aus architektonischen Gründen (Andeuten eines Satteldaches) mit 8m² grosszügigig ist.

Gemessene Kennzahlen Büchenau (Passivhaus)

Wärmeerzeugungsgrad WNG_{hww}=

$$\frac{Q_{WP,h} + Q_{WP,ww} + Q_{Z,h} + Q_{Z,ww} + Q_{ErdAUL} + Q_{Kol}}{E_{WP,h} + E_{WP,ww} + E_{Z,h} + E_{Z,w} + E_{Kol} + E_{Aux,hww}}$$

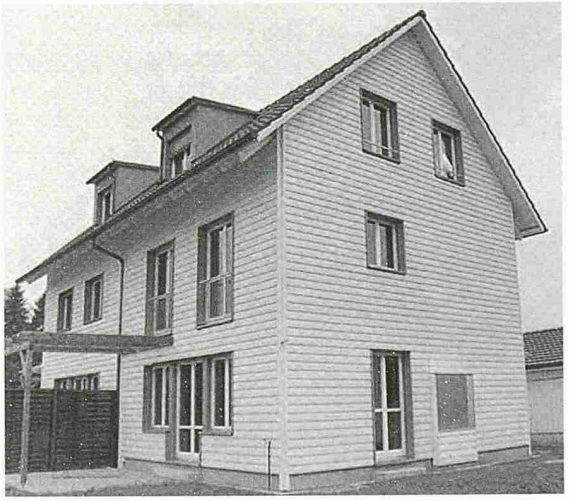
$$= 4{,}09$$

Systemnutzungsgrad SNG_{hww} =

$$\frac{Q_h + Q_{ww} + Q_{WRG}}{E_{WP,h} + E_{WP,ww} + E_{Z,h} + E_{Z,ww} + E_{Kol} + E_{Aux,hww} + E_{Förd}}$$

$$= 4{,}5$$

Der Grund dafür, dass der SNG_{hww} höher liegt als der WNG_{hww} liegt in der Wärmerückgewinnung der Lüftung. Vernachlässigt man diese, so erhält man einen SNG_{hww} von 2,8.



2
Minergie-Doppeleinfamilienhaus in Grafstal

3
Passivhaus in Büchenau/Bruchsal (Fraunhofer ISE [NTH4 00])

Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse

Die Erfahrungen aus dem Anlagenbetrieb über zwei Jahre zeigen:

- Das einfache Hydraulikschema (direkte Einbindung ohne Speicher und Thermostatventile) funktioniert dank des Selbstregeleffekts von Niedrigtemperaturheizungen einwandfrei.
- Die Wärmepumpe sollte, um lange Betriebsintervalle zu erreichen, so knapp wie möglich ausgewählt werden. Das heisst, vom berechneten Leistungsbedarf sollte eher die nächst kleinere Pumpe als die nächst grössere Wärmepumpe gewählt werden.
- Die Leistungsaufnahme der Solepumpe konnte um den Faktor drei gesenkt werden. Sie liegt jetzt bei 70 W für eine 100 m-Sonde. Kälteträger ist eine 25 %-Ethylenglykol-Wasser-Mischung. Simulationsergebnisse ergaben für die Erdwärmesonden dieser Länge ein Optimum bei 4 K Temperaturdifferenz zwischen Ein- und Austritt. In diesem Bereich, in dem die Sonde laminar betrieben wird, ergibt sich für den Elektrizitätsverbrauch ein Minimum [NTH3 00; EWSDRUCK].
- Eine Lufterneuerungsanlage ist wegen der Dichtheit der Gebäudehülle erforderlich. Die nachträgliche Installation einer Einzelraumlüftung in Grafstal brachte eine markante Verbesserung der Luftqualität. Die Kombination von Einzelraumlüftung und Mauerventilen mit zentraler Absaugung in den Nasszellen ist eine besonders kostengünstige Lösung (1999: etwa Fr. 3500.–). Auf eine ausreichende Schalldämmung ist zu achten.
- Eine Wärmerückgewinnung hat gegenüber der reinen Abluftnutzung Vorteile. Die Abluft-Wärmepumpe bringt keine Energieersparnis (Der Vorteil der höheren Quellentemperatur wird vom schlechteren Verdichter-COP von Kleinstwärmepumpen kompensiert).
- Um Überhitzung im Gebäude bei einfallender Sonnenstrahlung zu vermeiden, sollte das Gebäude viel Masse besitzen (Dämpfung der Temperaturschwingungen). Bei Leichtbauten in Holzbauweise ist unbedingt eine Beschattungsvorrichtung vorzusehen.

Thomas Afjei, Dr., Institut für Energie, Fachhochschule beider Basel, Muttenz/Zentrum für Energie und Nachhaltigkeit im Bauwesen (ZEN), E-Mail:afjei@fhbb.ch

Literatur

[EWSDRUCK] Huber, A.: Auslegungssoftware EWSDRUCK zur Auslegung der Solepumpe für eine Erdsonde. Forschungsprogramm Umgebungs- und Abwärme, Wärmekraftkopplung (UAW). Bundesamt für Energie (BFE), Bern, 1999 (Excelblatt zum Herunterladen: http://www.waermepumpe.ch/fe).

[Feist 99] Feist, W.; Baffia, E.; Schnieders, J.: Passivhaus Vorprojektierung, 99. Fachinformation PHI-1999/3. Passivhaus-Institut, Darmstadt, D, 1999. Download von www.passivhaus-institut.de

[Fraefel 98] Fraefel, R.: Das Minergie-Haus, Planungshilfe für Baufachleute. Baudirektion des Kanton Zürich, AWEL, Abt. Energie, Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern, 1998, Bezug: bei allen kantonalen Energiefachstellen oder über das Internet: www.minergie.ch/planung/index.html

[NTH Web] http://www.waermepumpe.ch/fe/projekte/nth

[NTH3 00] Afjei, Th.; Betschart, W.; Bircher, R.; Bonvin, M.; Geering, H. P.; Ginsburg, S.; Keller, P.; Shafai, E.; Wittwer, D.; Zweifel, G.: Kostengünstige Niedrigtemperaturheizung mit Wärmepumpe. Schlussbericht Phase 3: Messungen an drei Funktionsmustern, Benutzereinfluss, Vergleich verschiedener Heiz- und Regelkonzepte. Forschungsprogramm Umgebungs- und Abwärme, Wärmekraftkopplung (UAW). Bundesamt für Energie (BFE), Bern, 2000.

[NTH4 00] Afjei, Th.; Bühring, A.; Dürig, M.; Huber, A.; Keller, P.; Shafai, E.; Widmer, P.; Zweifel, G.: Kostengünstige Niedrigtemperaturheizung mit Wärmepumpe. Schlussbericht Phase 4: Technisches Handbuch: Kostengünstige Wärmepumpenheizungen für Niedrigenergiehäuser, Grundlagen, Planungsvorgehen und Praxisbeispiele. Forschungsprogramm Umgebungs- und Abwärme, Wärmekraftkopplung (UAW). Bundesamt für Energie (BFE), Bern, 2000.

[RAVEL 96] Gabathuler, R.; Baumgartner, T.; Mayer, H.; Szodoky, G.: Wärmepumpen: Planung, Bau und Betrieb von Elektrowärmepumpenanlagen. Impulsprogramm Ravel, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern, 1993. EDMZ 724.356d

[SIA 380/1] Vernehmlassungsentwurf SIA 380/1: Energie im Hochbau, Zürich, 1999

Dem Bundesamt für Energie und der Energie Baden-Württemberg, welche diese Arbeiten ermöglichten, möchte ich im Namen der Projektgruppe vielmals danken.