Kostengünstige Wärmepumpenheizung für Niedrigenenergiehäuser

Autor(en): **Afjei, Thomas**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **91 (2000)**

Heft 24

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-855630

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Kostengünstige Wärmepumpenheizung für Niedrigenergiehäuser

Technisches Planungshandbuch

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

■ Thomas Afjei

Einleitung

Zukünftige Niedrigenergiehäuser mit weniger als 160 MJ/m²a Endenergie oder Passivhäuser, welche nur mit einer Luftheizung auskommen, stellen neue Anforderungen an die Wärmeerzeugung und erfordern eine Lufterneuerungsanlage. Die kommende deutsche Energieeinsparverordnung EnEV und der schweizerische MINERGIE-Standard 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 der Fachhochschule beider Basel, der Fachhochschule Zentralschweiz, der Fachhochschule 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.

Adresse des Autors
Dr. *Thomas Afjei*
Fachspezialist Gebäudetechnik
Institut für Energie
Fachhochschule beider Basel
St. Jakob-Strasse 84
4132 Muttenz
E-Mail: t.afjei@fhbb.ch.

Inhalt des Handbuchs

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).

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

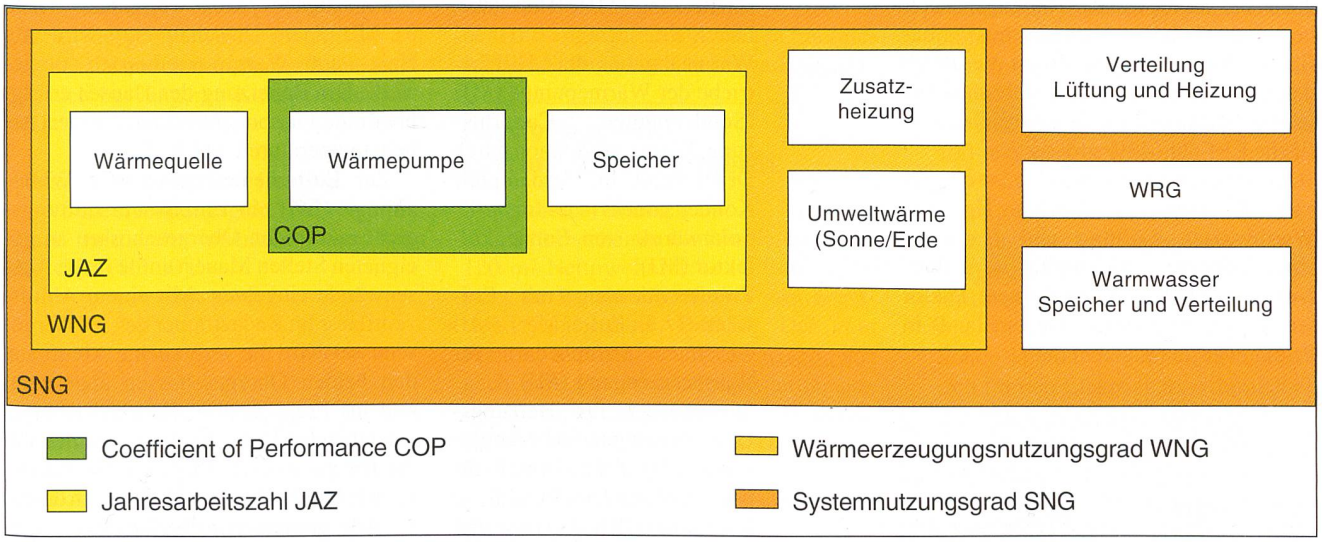

Bild 1 Systemgrenzen für COP, JAZ [RAVEL 96], WNG, SNG (ergänzt).

Grundlagen

Die verschiedenen Energiestandards 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 Wärme nicht überschritten werden [Fraefel 98]. Alle Flächen sind auf die mit dem Aussendämmperimeter berechnete Energiebezugsfläche (EBF) bezogen:

Neubauten		
E_{hw}	< 160 MJ/(m²·a)	45 kWh/(m²·a)
Baujahr vor 1990		
E_{hw}	< 320 MJ/(m²·a)	90 kWh/(m²·a)

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

Passivhaus

Der Nachweis des Passivhaus-Standards ist nach [SIAV 380/1] zu erbringen. Das Passivhaus-Institut in Darmstadt stellt ein Projektierungspaket zur Verfügung, das 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]. Alle Flächen sind auf die mit dem Innenperimeter berechnete beheizte Nettogeschosswohnfläche (NGF) bezogen. Beim Vergleich der beiden Flächen ergibt sich, dass die in der Schweiz übliche Energiebezugsfläche EBF 20–40% 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.

Primärenergiekennwert		
P_{hwve}	< 432 MJ/(m²·a)	120 kWh/(m²·a)
Raumheizung (Nutzenergie)		
Q_h	< 54 MJ/(m²·a)	15 kWh/(m²·a)

Systemgrenzen

In diesem Handbuch soll die Systemabgrenzung (Bild 1) verwendet werden.

Kennzahlen

Kennzahlen werden verwendet, um die Effizienz verschiedener Heizungssysteme mit Wärmepumpe und Wärmerückgewinnung zu beurteilen. Im Folgenden werden die wichtigsten vorgestellt. Zur Beurteilung des Gesamtsystems wird die neue 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 (zum Beispiel Erdregister, Sonnenkollektor) werden im WNG bilanziert, Umweltwärme als Wärmequelle für die Wärmepumpe wird nicht eingerechnet.

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

$Q_{WP,hw}$ von der Wärmepumpe abgegebene Wärme (MJ)

$Q_{Z,hw}$ Wärmeproduktion der Zusatzheizung (MJ), (Heizstäbe, Durchlauferhitzer)

$Q_{Aux,hw}$ Wärmeabgabe der Hilfsbetriebe der Wärmepumpe (MJ) (Sondenpumpe, Carterheizung, Wärmeproduktion durch Druckabfall in Verdampfer/Kondensator)

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 Heizungs-Umwälzpumpen und Ventilatoren (MJ), (ohne Anteil für Überwindung Druckverlust in Verdampfer/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 [SIAV 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_{hw} wird wie folgt berechnet:

$$SNG_{hw} = \frac{Q_w + Q_h + Q_{WRG}}{E_{Haustechnik}}$$

Messresultate der Pilotanlagen

Erdwärmesonden-Wärmepumpe mit Beistellboiler

Systembeschreibung

Beim Gebäude (Bild 2) handelt es sich um ein Eck-Reiheneinfamilienhaus mit 174 m² beheizter Fläche auf drei Geschossen und einem unbeheizten Keller. Die Wärme für die Raumheizung und das Warmwasser wird mit einer Sole/Wasser-Wärmepumpe erzeugt, die primärseitig mit einer Erdwärmesonde verbunden ist. Die Wärmepumpe ist ohne Pufferspeicher und Mischventil direkt mit dem Wärmeabgabesystem verbunden (Bild 3). 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 Einzelraum-Lüftungsgerät und in den Obergeschossen an geeigneten Stellen Mauerventile in die Aussenwände eingebaut. Mit einem Abluftventilator im Badezimmer des 1. 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.

Alle gemessenen Kennzahlen beziehen sich auf eine Innentemperatur von

Bild 2 Minergie-Doppeleinfamilienhaus in Grafstal.

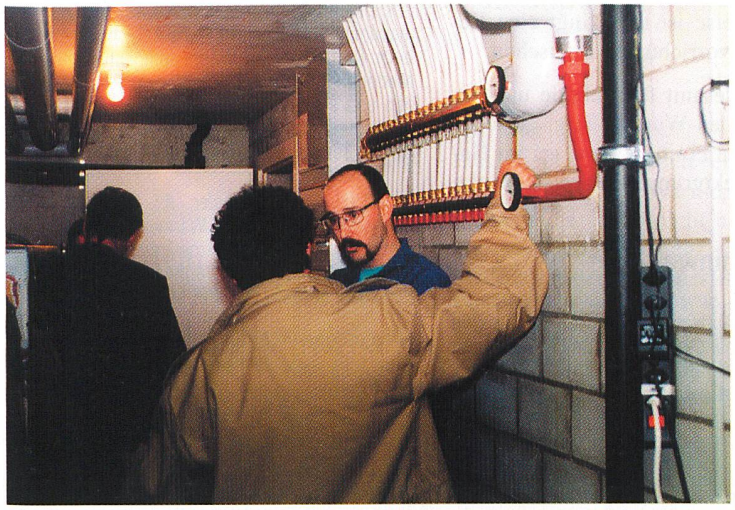

Bild 3 Heizkreisverteiler.

23 °C (ausgelegt wurde die Anlage auf 20 °C). Dennoch funktionierte die Anlage auch bei längeren Kälteperioden einwandfrei.

Gemessene Kennzahlen Grafstal

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

$$WNG_{hw} = \frac{Q_{WP,h} + Q_{WP,w}}{E_{WP,h} + E_{WP,w} + E_{SP}} = 4.29$$

Systemnutzungsgrad SNG_{hw}

$$SNG_{hw} = \frac{Q_h + Q_w}{E_{WP,h} + E_{WP,w} + E_{SP} + E_{F\,rd}} = 3.95$$

Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe alleine beträgt 4.76. Der Anteil der Hilfsaggregate am gesamten Energieverbrauch liegt damit bei etwa 20%.

Passivhaus mit Lüftungskompaktgerät

Systembeschreibung

Das freistehende Einfamilienhaus mit 120 m² Nettowohnfläche (170 m² EBF) steht in Bruchsal/Büchenau bei Karlsruhe (Deutschland, Bild 4). Der vom Planer berechnete Heizwärmebedarf nach dem Passivhaus-Projektierungspaket [Feist 99] liegt unter 14 kWh/m²·a. Der «Blower Door Test» ergab hohe Luftdichtheit von $n_{50} < 0.6\ h^{-1}$.

Das Fraunhofer ISE misst im Auftrag der Energie Baden-Württemberg EnBW die Leistungsfähigkeit eines Lüftungskompaktgerätes mit Wärmepumpe, WRG und einem Warmwasserspeicher, welches das Haus mit frischer Luft und Wärme versorgt.

Bei einem Luftvolumenstrom von 140 m²/h beträgt der Anlagenluftwechsel 0.5 h⁻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) 8 m² gross ist.

Gemessene Kennzahlen Büchenau (Passivhaus)

Wärmeerzeugungsgrad WNG_{hw}

$$WNG_{hw} = \frac{Q_{WP,h} + Q_{WP,w} + Q_{Z,h} + Q_{Z,w} + Q_{Erd,AUL} + Q_{Kol}}{E_{WP,h} + E_{WP,w} + E_{Z,h} + E_{Z,w} + E_{Kol} + E_{Aux,hw}} = 4.09$$

Systemnutzungsgrad SNG_{hw}

Der Grund dafür, dass der SNG_{hw} höher liegt als der WNG_{hw} liegt in der Wärmerückgewinnung der Lüftung. Vernachlässigt man diese, so erhält man einen SNG_{hw} von 2.8.

$$SNG_{hw} = \frac{Q_h + Q_w + Q_{WRG}}{E_{WP,h} + E_{WP,w} + E_{Z,h} + E_{Z,w} + E_{Kol} + E_{Aux,hw} + E_{F\,rd}} = 4.5$$

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 so knapp wie möglich ausgewählt werden. Das heisst, vom berechneten Leistungsbedarf sollte eher die nächst kleinere Pumpe als die nächst grössere Wärmepumpe gewählt werden.
- Der Energieverbrauch der Solepumpe konnte um den Faktor drei gesenkt werden. Er liegt jetzt bei 70 W für eine 100-m-Sonde. Kälteträger ist eine 25-%-Aethylenglykol-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

Bild 4 Passivhaus in Büchenau/Bruchsal (Fraunhofer ISE [NTH4 00]).

der Luftqualität. Die Kombination von Einzelraumlüftung und Mauerventilen mit zentraler Absaugung in den Nasszellen ist eine besonders kostengünstige Lösung (1999: rund 3500 Franken). Allerdings ist auf eine ausreichende Schalldämmung 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.

Dem Bundesamt für Energie und der Energie Baden-Württemberg, welche diese Arbeiten ermöglichten, sei im Namen der Projektgruppe vielmals gedankt.

Literaturhinweise

[EWSDRUCK] *Huber, A.*: Auslegungssoftware EWSDRUCK zur Auslegung der Solepumpe für eine Erdsonde. Forschungsprogramm Umgebungs- und Abwärme, Wärmekraftkopplung (UAW). Bundesamt für Energie (BFE), Bern CH, 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 CH, 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 CH, 2000.

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

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

Das Handbuch ist ab Dezember bei ENET, Egnacherstrasse 69, CH-9320 Arbon zum Preis von 40 Franken erhältlich.
Tel. +41-(0)71-440 02 55,
Fax +41-(0)71-446 50 82,
E-Mail enet@temas.ch

Chauffage par pompe à chaleur avantageux pour des bâtiments à faible consommation d'énergie

Manuel de planification technique

Compte tenu des actuels prix de l'énergie, les maîtres d'ouvrage deviennent de nouveau attentifs quand il s'agit d'économiser l'énergie. Le manuel de planification décrit dans le présent article apporte une contribution à la «manière de savoir comment s'y prendre». Il explique systématiquement certaines bases et caractéristiques, montre le déroulement d'une planification structurée et décrit les expériences pratiques faites avec trois installations pilotes mesurées en détail sur plus de deux ans.