Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 117 (1999)
Heft: 33/34

Artikel: Haustechnik von morgen
Autor: Afjei, Thomas
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79774

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: 29.07.2025

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

Thomas Afjei, Zürich

Haustechnik von morgen

Ständig sich weiterentwickelnde Energiesparmassnahmen und eine immer effizienter werdende Haustechnik muss auch nach ihrem «Aufwand/Nutzen-Verhältnis» hinterfragt werden. Wirtschaftlichkeitsvergleiche verschiedener Systeme zeigen auf, ob ein passiv-solar optimiertes Niedrigenergiehaus in Massivbauweise oder als Leichtbau erstellt werden soll, welche Wärmepumpe bei einem Neubau, welche bei einem Altbau vorzuziehen ist und welches Komfortwärmesystem am kostengünstigsten abschneidet.

Einfache Höhlen, zeltartige transportable Tipis, thermisch behaglichere Pueblos (wegen der grossen Speichermasse), Massivbauten aus Backstein, Beton oder Lehm, CAD-gefertigte Systemhäuser in Holz-Grosstafelbauweise mit integrierter Haustechnik sind nur einige Etappen der Entwicklung und ein Spiegelbild der sich stetig entwickelnden Bedürfnisse nach Komfort, Behaglichkeit oder einfach nach einem angenehmen Zuhause. Mit den meisten anthropogenen Aktivitäten ist aber auch eine zusätzliche Belastung unserer Ökosphäre verbunden. Der Energieverbrauch ist nicht das alleinige Kriterium für die Höhe der Umweltbelastung. Vielmehr muss die Gesamtbelastung durch Bau, Betrieb, Abbruch und Entsorgung von Gebäude und Haustechnik über den gesamten Lebenszyklus berücksichtigt werden, inklusive aller vor- und nachgelagerten Prozessketten. Dort spielt die Art und Weise der Energiebereitstellung eine wichtige Rolle. Neben Behaglichkeits- und Ökologieuntersuchungen wird mit einem Wirtschaftlichkeitsvergleich sichergestellt, dass das optimale Heizsystem auch für jedermann erschwinglich ist: die «conditio sine qua non» für die rasche Umsetzung eines innovativen und integralen Energiekonzepts für die Häuser von morgen.

Niedrigenergiehäuser mit Energiekennzahlen kleiner als 160 MJ/m²a werden nach dem SIA-Absenkpfad in zehn Jahren ein gängiger Standard sein (SIA 2010). Die im Minergie-Standard verankerten «End-Energiekennzahlen Wärme» erfüllen heute schon diese Anforderungen. Der Heizleistungsbedarf von Gebäuden sinkt so auf rund die Hälfte konventioneller Bauten. Damit steigt der Anteil für die Warmwasserbereitung auf 30 bis 50% des gesamten Wärmebedarfs an (Bild 1). Um Verluste bei der Stromerzeugung zu berücksichtigen, wird im Minergie-Standard die zugeführte Elektrizität mit dem Faktor 2 gewichtet.

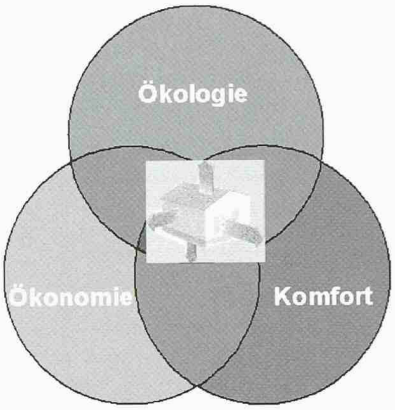
Das Ziel ist, einen hohen Komfort kostengünstig und mit möglichst geringer Umweltbelastung zu erreichen. Dafür müssen Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Gebäude als ganzes System behandelt werden (Bild 2). Zusätzlich werden neue Anforderungen an die Heizsysteme gestellt. Stärker als bei konventionellen Bauten wirken sich auch grosse Fensterflächen gegen Süden aus. Sie sind erforderlich um die passive Solarenergienutzung zu erhöhen.

Kostengünstige Niedrigtemperaturheizung mit Wärmepumpe

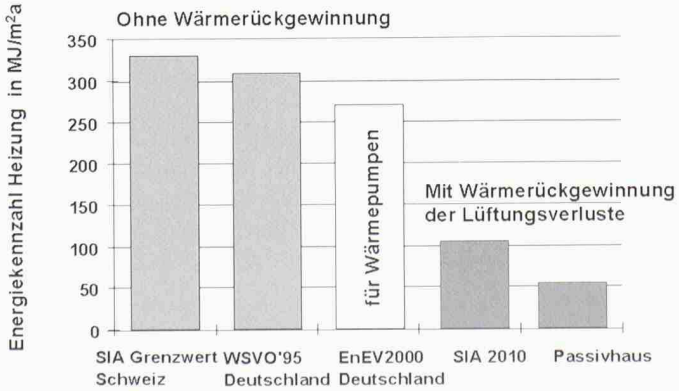
Im Projekt[1] «Kostengünstige Niedrigtemperaturheizung mit Wärmepumpe» des Bundesamts für Energie werden verschiedene Aspekte eines Gesamtsystems untersucht. Im Vordergrund steht dabei die Wärmeerzeugung durch Wärmepumpen. Bei der Umweltbelastung und der Wirtschaftlichkeit werden Vergleiche mit konventionellen Heizsystemen als Referenz aufgeführt. Die in diesem Artikel gezeigten Resultate entstanden hauptsächlich in der kürzlich abgeschlossenen Phase 2 und in der noch laufenden Phase 3 des Projekts[2]:

- I. 1/96–12/96: Machbarkeitsanalyse, Problemanalyse und Vorbereitung zum Bau eines Funktionsmusters
- II. 4/97–12/98: Ökologischer und ökonomischer Vergleich, Systemoptimierung, intelligente Regelung und Versuche mit Testanlagen
- III. 7/98–3/00: Messungen von drei Pilotanlagen[3], Ausarbeitung der Anforderungen für Minergie-Wärmepumpen, Basisgrundlagen für ein Planungshandbuch
- IV. 9/98–7/00: a) Planungshandbuch für Niedrigenergie- und Passivhäuser b) Marketinghandbuch entstanden in Zusammenarbeit mit der Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz

Unter Leitung der Informationsstelle für Elektrizitätsanwendung (Infel) arbeitet eine Arbeitsgemeinschaft an diesem Projekt, bestehend aus der Fachhochschule Zentralschweiz, der Ingenieurschule Wallis, dem Institut für Mess- und Regeltechnik der ETH-Zürich, den Ingenieurbüros Huber Energietechnik, Bircher und Keller AG sowie dem Büro Doka, das mit den ökologischen Untersuchungen beauftragt war. Das Projektteam wird von einer Begleitgruppe unterstützt.



2
Gesamtheitliche Betrachtung von Gebäude und Wärmeerzeugung

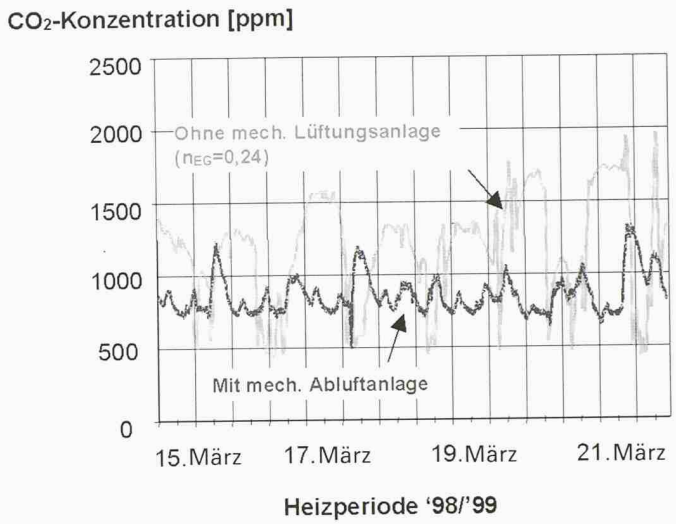


1
Vergleich der Grenzwerte für den Heizenergieverbrauch im Neubau

Mechanische Lüftungsanlagen

Auf Grund der immer dichteren Gebäudehüllen werden vermehrt mechanische Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (WRG) eingesetzt. Neben einem besseren Schallschutz, der besonders im urbanen Wohnungsbau zum Tragen kommt, profitieren auch Allergiker von der mit Pollenfiltern gereinigten Luft.

Die über die Rückgewinnung der Lüftungsverluste erreichte Energieeinsparung wird jedoch zu einem Grossteil vom Energieverbrauch der ständig laufenden Lüftermotoren kompensiert. Hier zeigen sich die Grenzen einer rein energetischen Betrachtung, weil die Jahresarbeitszahl kein Kriterium für die Raumluftqualität darstellt. In Bild 3 wird ein Beispiel mit und ohne mechanischer Lüftung gezeigt. Daraus ist ersichtlich, dass die vom SIA empfohlene Grenze von max. 1500 ppm in den meisten Zeiten auch dann noch eingehalten wird, wenn natürlich gelüftet wird[4]. Vorteilhafter ist eine mechanische Lüftungsanlage, mit der eine konstant hohe Luftqualität auch bei wechselnder Personenbelegung sichergestellt wird. Im weiteren können dann auch die Lüftungsverluste über einen Wärmetauscher oder eine Wärmepumpe teilweise zurückgewonnen werden (Bild 3).



3
Vergleich zweier Niedrigenergiehäuser mit und ohne Wohnungslüftung. Es werden die CO_2-Konzentrationen im Erdgeschoss gezeigt; n_{EG} gibt den während der Monate Dezember bis Februar gemessenen, mittleren stündlichen Luftwechsel im Erdgeschoss an

Ergebnisse der Simulationen

In der Phase 2 wurde ausgehend vom Noah-Haus das Gebäude so optimiert, dass passive Solargewinne besser genutzt werden können. Als Simulationswerkzeug wurde an der HTA Luzern das Programm TRNSYS (Transient System Simulation Programm) verwendet. Bild 4 zeigt eine Übersicht der simulierten Teilsysteme. Die dynamischen Simulationen des Gesamtsystems ergaben, dass die nach dem PPD-Indikator (Percentage of Persons Dissatisfied) berechnete Behaglichkeit bei guter Wärmepumpenregelung im speicherlosen Betrieb in allen untersuchten Fällen problemlos erreicht wird.

Beim Niedrigenergiehaus in Leichtbauweise (SIA 2010-L) ist der Komfort wegen häufiger Übererwärmung geringer. Eine Wohnungslüftung und Beschattungsvorrichtungen könnten hier Abhilfe schaffen.

Südseitige Fensterflächen

Bei der Optimierung eines Niedrigenergiehauses durch Vergrössern der südseitigen Fensterfläche zur passiven Solarenergienutzung wurde nur bei der Massivbauweise (SIA 2010-M) eine deutliche Reduktion des Heizenergiebedarfs erreicht. Sie betrug gegenüber dem «gewöhnlichen» Niedrigenergiehaus 13%. Infolge häufiger Betätigung der Beschattungseinrichtungen wird der Solarenergiegewinn bei der Leichtbauweise (SIA 2010-L) eingeschränkt, weil die Überschusswärme nicht zwischengespeichert werden kann.

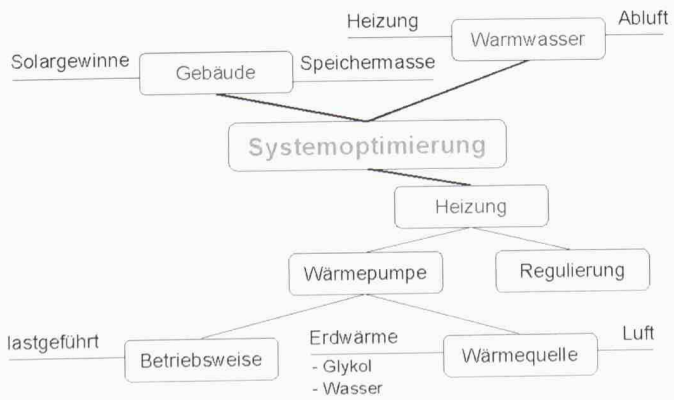
Luft/Wasser-Wärmepumpe

Eine leistungsgeregelte Luft/Wasser-Wärmepumpe mit zwei Leistungsstufen (60%, 100%) erzielte in den Simulationen eine 18% höhere Jahresarbeitszahl (4,0 anstatt 3,4) als eine Wärmepumpe mit fixer Drehzahl. Hauptursache ist die höhere Leitungsziffer im Arbeitsbereich der 1. Stufe, weil dort die Temperaturdifferenzen in den Wärmetauschern geringer sind als bei einer einstufigen Wärmepumpe. Die knapp 10% tiefere Schalthäufigkeit trägt auch zur Erhöhung der Jahresarbeitszahl bei. Nachteilig ist die kurze Umschaltung der Wärmepumpe auf die 2. Stufe nach Ende der EW-Sperrzeit. Hier wären noch Verbesserungen in der Regelung möglich. Die höheren Wärmepumpenkosten für zwei Leistungsstufen lassen sich bei den derzeitigen Strompreisen beim geringen Heizenergiebedarf von Niedrigenergiehäusern leider kaum amortisieren.

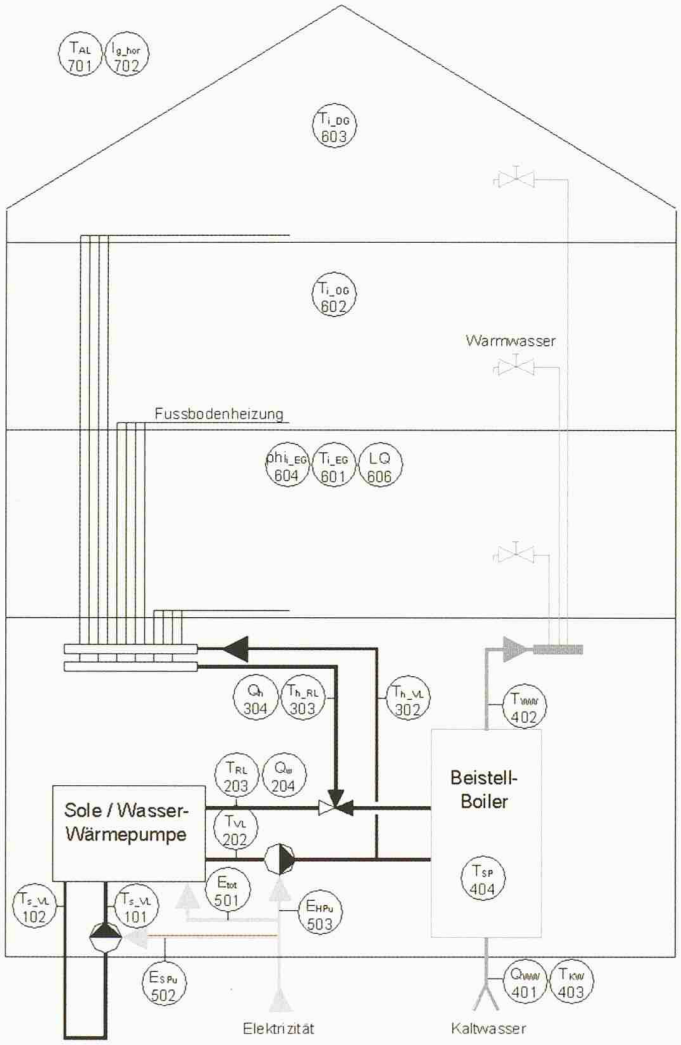
Messungen an drei Pilotanlagen

Die Pilotanlagen sollen die am meisten verwendeten Anlagevarianten abdecken und neue Erkenntnisse für die Verbesserung der Systemintegration bringen. Diese Verbesserungen beziehen sich auf alle in Bild 2 gezeigten Bereiche. Die Arbeitszahl ist das wichtigste Kriterium für die energetische Effizienz. Gibt sie doch das Verhältnis zwischen Nutzen (Raumheizung und Warmwasser) und Aufwand (Ener-

4
Optimierung des Gesamtsystems Gebäude-Heizung-Warmwasserbereitung durch dynamische Simulationsmodelle mit TRNSYS



5
Noah-Haus nach Minergie-Standard, Pilotanlage 1 «Grafstal», Kanton Zürich (Alfredo Piatti AG). Das Bild zeigt den Bau eines Holz-Leichtbaus in Grosstafelbauweise (Häring AG, Pratteln, BL). Eine Haushälfte wird in einem Tag auf dem vorbereiteten Fundament errichtet



6
Vereinfachtes Systemschema der Pilotanlage Grafstal mit den wichtigsten Messgrössen. Durch den Verzicht auf Pufferspeicher, Thermostatventile und Überströmer konnte die Anlage schnell und kostengünstig installiert werden. Auch hier gilt: Weniger ist mehr!

gieverbrauch, Wärmeerzeugung und Wärmetransport) an. In den folgenden Bildern werden erste, d.h. vorläufige Ergebnisse gezeigt. Sie basieren auf Messungen während einiger Wochen, in denen die Anlage weiter optimiert wurde. Der Energieverbrauch für die restliche Zeit wurde mit den Heizgradtagen der entsprechenden Klimaregion hochgerechnet. Somit geben die vorgestellten Ergebnisse nur einen ersten Anhaltswert. Wenn die Phase 3 nach der Heizperiode '99/'00 abgeschlossen ist, liegen genauere Messungen vor. Folgende Varianten werden bei den Pilotanlagenmessungen berücksichtigt:

Pilotanlage 1: Grafstal

- Anlagenkonzept: Erdsondenwärmepumpe mit Beistellboiler
- Standort: 8310 Grafstal (Bild 5)
- Höhe über Meer: 556 m.ü.M.
- Gebäudebauweise: Holz-Leichtbau mit Stülpschalung
- Energiebezugsfläche: 174 m^2
- Heizenergiebedarf nach SIA 380/1: 224 MJ/m^2a

Arbeitszahlen

In Bild 7 sind die Arbeitszahlen für das ganze System (Endenergieverbrauch) und für die Teilsysteme «Raumheizung» und «Warmwasser» jeweils mit und ohne Umwälzpumpen aufgeführt. Bei Berücksichtigung aller Umwälzpumpen (Heizung und Sole) steigt der elektrische Energiebedarf um ein Viertel. Ein Grund dafür ist die Solepumpe, welche 200 W aufnimmt und im Sommer durch ein Modell mit weniger Leistungsaufnahme ersetzt wird, was bei einer 100 m langen Erdsonde problemlos möglich ist. Die relativ tiefe Arbeitszahl «Warmwasser» von 2,8 ist in erster Linie auf die Speicherverluste zurückzuführen. Die Brutto-Arbeitszahl ohne Speicherverluste wäre mit 3,8 um etwa 20 % höher. Auch hier musste ein Kompromiss zwischen hoher energetischer Effizienz und günstigen Installationskosten gefunden werden.

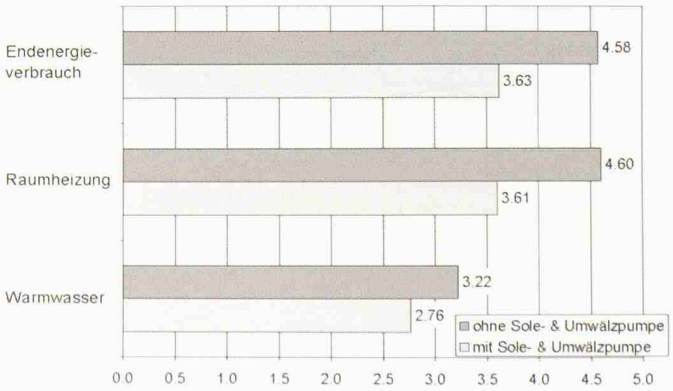
In Grafstal wurde während einiger Wochen auch eine gleichstrombetriebene Klein-Umwälzpumpe mit Synchronmotor eingesetzt. Die Entwicklung des Prototyps (MC 10) erfolgte im Rahmen des BFE-Projekts «Felderprobung einer Stromspar-Kleinumwälzpumpe». Ihre Drehzahl kann stufenlos zwischen 1500 und 3600 U/min variiert werden und sie nimmt dabei eine elektrische Leistung zwischen 5 und 25 W auf. Derartige Umwälzpumpen haben einen rund doppelt so hohen Wirkungsgrad ($\eta \approx 30\,\%$) wie die üblicherweise eingesetzten «Nassläufer» mit einem Wirkungsgrad zwischen 8 und 15 %. Von Vorteil ist auch, dass die neu entwickelte Pumpe ohne Druckmessung über ein Kennfeld differenzdruckgesteuert betrieben werden kann. In der nächsten Heizperiode sollen zusätzliche Erfahrungen im Dauerbetrieb gewonnen werden.

Pilotanlage 2: Schötz

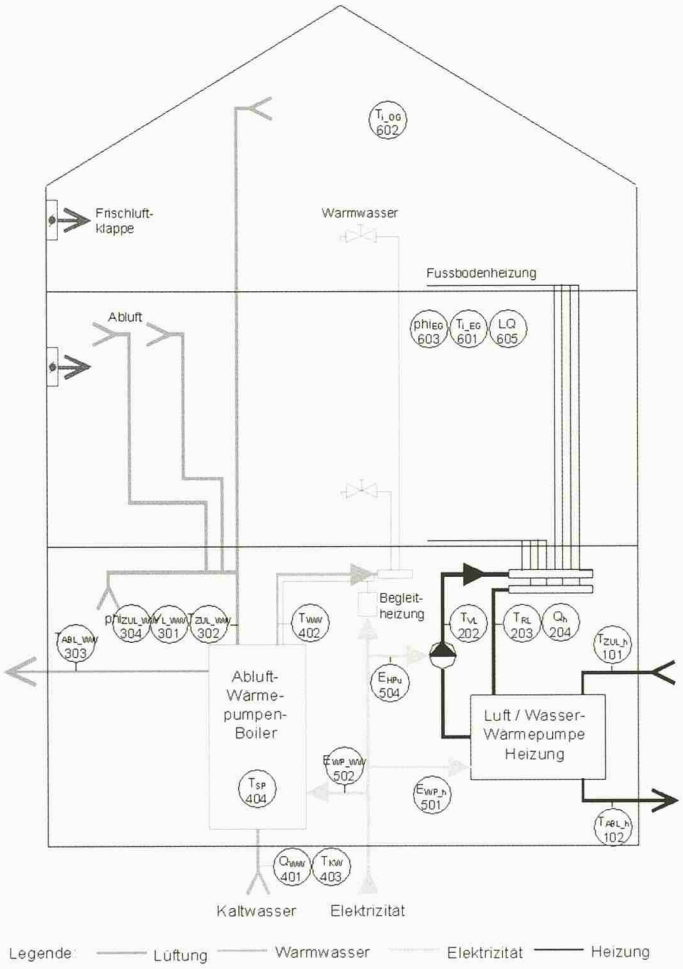
- Anlagenkonzept: Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Abluft-Wärmepumpen-Boiler
- Standort: 6247 Schötz, Kanton Luzern
- Gebäudebauweise: Holz-Leichtbau mit Aussenwärmedämmung
- Höhe über Meer: 508 m.ü.M.
- Energiebezugsfläche: 154,5 m^2
- Heizenergiebedarf nach SIA 380/1: 181 MJ/m^2a

Arbeitszahlen

Bild 9 zeigt die Arbeitszahlen der Luft/Wasser-Wärmepumpe, jeweils mit und



7
Arbeitszahlen Pilotanlage Grafstal mit und ohne Sole- und Umwälzpumpe



8
Vereinfachtes Systemschema der Pilotanlage Schötz mit den wichtigsten Messgrössen. Die Luft/Wasser-Wärmepumpe geht direkt auf die Bodenheizung. Die separate Abluft-Warmwasserwärmepumpe saugt über die Nasszellen (Bad, WC, Trockenraum) warme und feuchte Luft ab. Frische Luft strömt über Mauerventile zu. Mit der mechanischen Lüftung wird ein 0,36-facher Luftwechsel erreicht. Die WW-Wärmepumpe ist so klein dimensioniert, dass sie 10 bis 12 Stunden pro Tag läuft. Die Lüftung bleibt auch in Betrieb, wenn die Wärmepumpe kein Warmwasser produziert

ohne Umwälzpumpe sowie die Arbeitszahlen des Abluft-Wärmepumpen-Boilers inklusive Ventilator, jeweils mit und ohne Speicherverluste. Die Arbeitszahl des Abluft-WP-Boilers (WP: Wärmepumpe) ist stark abhängig von der Lufteintrittstemperatur. Auf Wunsch des Eigentümers wird zur Befeuchtung auch Luft aus dem unbeheizten Trockenraum angesogen. Dadurch sinkt die Eintrittstemperatur gegenüber der Raumtemperatur um bis zu 8 K, was eine Verschlechterung der Arbeitszahl bis 20 % zur Folge hat.

Energiebilanz

Bild 10 zeigt die gemessenen oder aus den Messwerten ermittelten Energieflüsse in Form eines Energieflussdiagrammes für die Messperiode von Woche 05/'99 bis Woche 13/'99. Für die gesamte Heizperiode 1998/1999 wäre mit einem Elektrizitätsverbrauch von etwa 88 MJ/m^2 a zu rechnen gewesen. Dieser Wert wurde mit den gemessenen Heizgradtagen (Raumtemperatur 20 °C, Heizgrenze 12 °C) aus den Messwerten ermittelt und mit Daten von langjährigen Mittelwerten der Station Luzern auf eine volle Heizperiode hochgerechnet. Zur Erhöhung der Jahresarbeitszahl werden im Sommer folgende Massnahmen durchgeführt:

- 1. Verstärkung der Isolation des Warmwasserspeichers (er ist im unteren Teil, wo der Kondensator aussen anliegt, unzureichend isoliert)
- 2. verlustarme Synchronmotoren mit Permanentmagnet für die Ventilatoren der Abluft-Wärmepumpe
- 3. Abschalten der Begleitheizung (sie benötigt mehr Strom als die gesamte Abluft-Wärmepumpe!)

Pilotanlage: 3: Fully

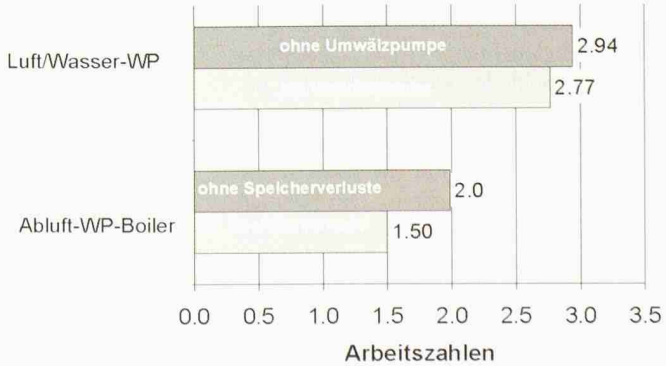
- Anlagenkonzept: Modul bestehend aus Luft/Luft-Wärmepumpe mit Wärmerückgewinnung (WRG) und integriertem Abluft-Wärmepumpe-Boiler
- Standort: 1926 Fully (VS)
- Gebäudebauweise: Massivbau mit Aussenwärmedämmung
- Höhe über Meer: 500 m.ü.M.
- Energiebezugsfläche: 264 m^2
- Heizenergiebedarf nach SIA 380/1: 105 MJ/m^{2}a (nach WRG)

Anlageschema und Messkonzept

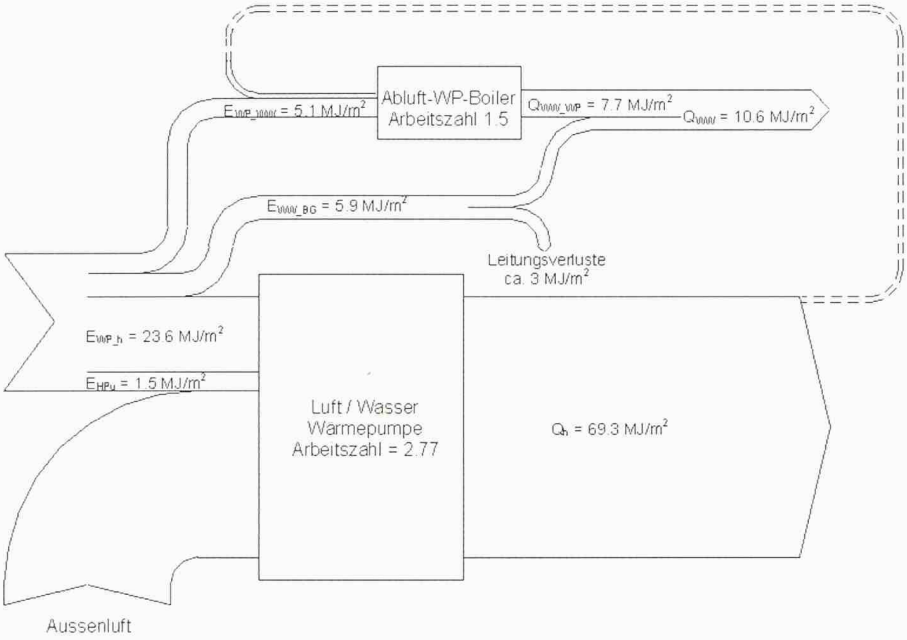
Das Hauptziel dieser Messungen ist die Untersuchung des integrierten Haustechnikmoduls HTM 200, insbesondere die Ermittlung dessen Jahresarbeitszahl und der Raumluftqualität. Dies ist von besonderem Interesse, weil damit eine Luftheizung mit den Bodenheizungen der ersten beiden Pilotanlagen verglichen werden kann. Zu diesem Zweck wurde das in Bild 11 gezeigte Mess-System vorgesehen. In ihm ist auch das direkt kondensierende Grundlastmodul (GLH) eingezeichnet, das jedoch nicht Gegenstand dieser Messungen war.

Die bis dato gemessenen Wochenarbeitszahlen der Wärmepumpe (Heizen und Warmwasser) liegen für die betrachtete Messperiode bei rund 2,0. Zählt man die mit dem Wärmetauscher und dem Erdregister gewonnene Wärme hinzu, werden Wochenarbeitszahlen von bis zu 2,8 erreicht (Mittelwert: 2,25). Der Wochennutzungsgrad, in dem auch die elektrische Zusatzheizung berücksichtigt ist, unterscheidet sich kaum davon, weil die elektrischen Heizstäbe wenig in Betrieb waren.

Normalerweise reicht die aus der Abluft zurückgewonnene Wärme nicht aus, um ein gemäss Minergie-Standard wärmegedämmtes Gebäude mit einer Wärmepumpe alleine zu beheizen. Entweder sind zusätzliche Wärmequellen oder weit umfangreichere Wärmedämmmassnahmen



9
Arbeitszahlen Luft/Wasser-WP und Abluft-WP-Boiler



10
Energieflussdiagramm Schötz für die Wochen 5/'99 bis 13/'99. EWP_h = Elektrizitätsverbrauch WP zur Deckung des Heizenergiebedarfes. EWP_WW = Elektrizitätsverbrauch WP zur Deckung des Energiebedarfs WW. EWP_BG = Elektrizitätsverbrauch der Begleitheizung für die WW-Leitung. EHPu = Elektrizitätsverbrauch Umwälzpumpe. Qh = Nutzenergie Heizung, QWW = Nutzenergie Warmwasser. QWW_WP = Nutzenergie Warmwasser, gedeckt mit Abluft-WP-Boiler

erforderlich. Beim vorliegenden Projekt ist auch zu berücksichtigen, dass Fully (VS) in einer ausgesprochen milden Klimaregion liegt. Wäre dieselbe Anlage z.B. in der Region Zürich installiert, müsste die Zusatzheizung (Elektroeinsatz) wesentlich häufiger in Betrieb genommen werden. In diesem Fall wäre zu überprüfen, ob der Minergie-Standard noch erreicht würde.

Umweltbelastung im Vergleich

Ständig sich weiterentwickelnde Energiesparmassnahmen und eine immer effizienter werdende Haustechnik muss auch nach ihrem «Aufwand/Nutzen-Verhältnis» hinterfragt werden. In der vorliegenden Analyse sollte daher die Frage «Kann der ökologische Mehraufwand eines Niedrigenergiehauses die ökologischen Entlastungen durch die Einsparung von Wärmeenergie möglicherweise kompensieren?» beleuchtet werden. Es können nun Unterschiede zwischen den betrachteten Noah- und den SIA 2010-Gebäuden in Bezug auf diese Frage ausgewertet werden. Dabei werden nur die Heizenergie-Einsparungen betrachtet. Die Brauchwarmwasser-Bereitstellung wird aus dieser Frage ausgeklammert, da der Warmwasserbedarf bei allen Gebäudevarianten derselbe ist.

Um festzustellen, ob sich der Zusatzaufwand für den Bau des hier betrachteten SIA 2010-Gebäudes (Energiekennzahl Heizung $E_H = 134\ MJ/m^2a$) relativ zum in der Phase 1 untersuchten Noah-Gebäude ($E_H = 174\ MJ/m^2a$) überhaupt ökologisch lohnt, können die Umweltbelastungen aus diesem Zusatzaufwand verglichen werden mit den durch die erzielte Heizenergieeinsparung vermiedenen Umweltbelastungen (ebenfalls relativ zum Noah-Gebäude). Dazu wird ein sogenannter Payoff-Index definiert. Der Payoff-Index (Bild 13) wird für jeden einzelnen der neun Umwelteffekte folgendermassen berechnet:

$$\text{Payoff-Index} = U : U_V$$

U = Umweltbelastung entstanden durch den Zusatzaufwand für Energieeinsparung

U_V = Vermiedene Umweltbelastung entstanden durch Energieeinsparung

Es resultiert eine dimensionslose Zahl wobei gilt:

- Payoff-Index < 1
  (Zusatzaufwand lohnt sich bezüglich des entsprechenden Umwelteffektes)
- Payoff-Index > 1
  der Zusatzaufwand lohnt sich nicht (bezüglich des entsprechenden Umwelteffektes)

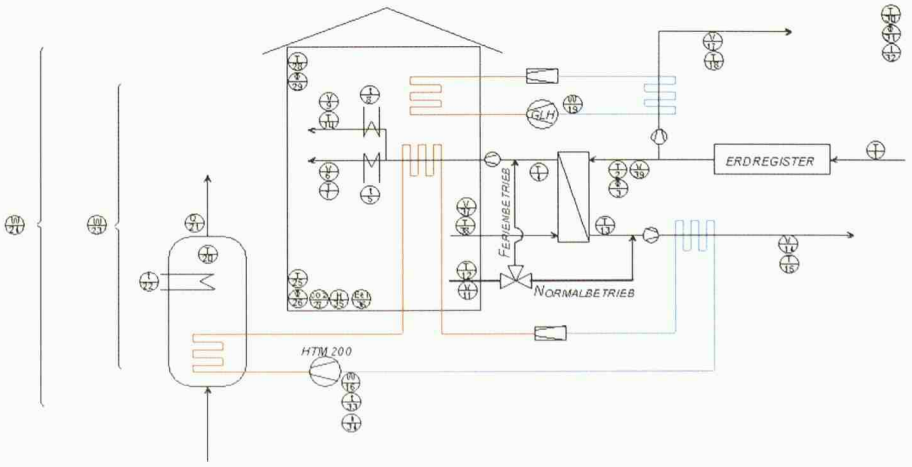
Für die Berechnung der Umwelteffekte wurden folgende Annahmen zugrunde gelegt:

- CH-Strommix mit Import und 0 % Transitanteil (schlechter als reiner Inlandstrommix, besser als Euro-Mix) (UCPTE[5])
- 100 % Kältemittelleckage über die Lebensdauer der Wärmepumpe
- 94–97 % Kessel-Jahresnutzungsgrad (moderne Geräte mit Brennwerttechnik)

Resultatediskussion «Payoff»

Bei relativ hochbelastenden Wärmebereitstellungsvarianten ist die vermiedene Umweltbelastung durch Energieeinsparung relativ hoch, was den Payoff-Index kleiner, also vorteilhafter werden lässt. Bei den hochbelastenden Varianten Öl und Elektro liegen bei beiden Bauweisen alle Indexe unter 1. Dies bedeutet, dass sich der Zusatzaufwand vor allem bei diesen Varianten bezahlt machen würde, da sie hochbelastende Energiequellen einsparen.

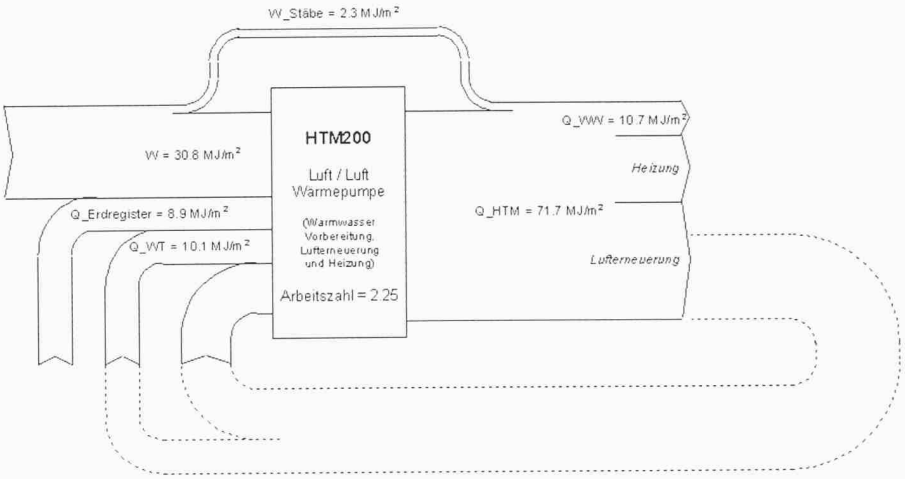
11
Vereinfachtes Systemschema der Pilotanlage Fully mit den wichtigsten Messgrössen



Nicht so deutlich fällt die Beurteilung der anderen Varianten[6] aus. Bei den Wärmepumpen liegen die Payoff-Indices für Wintersmog, Versauerung, Überdüngung, Sommersmog und Schwermetalle über 1. Das heisst, dass sich bezüglich dieser Umwelteffekte der Zusatzbauaufwand bei Verbesserung der Gebäudeisolation nicht lohnt. Eine Wärmepumpe mit höherer Jahresarbeitszahl könnte hier mit weniger Aufwand mehr erreichen.

Bei der Gasheizung und der Leichtbauweise liegen die Payoff-Indices bei den Effekten Schwermetalle, Wintersmog, Versauerung, Radioaktivität, Ozonzerstörung und Überdüngung auch über 1.

Es kann also festgehalten werden, dass es durchaus Wärmesysteme gibt, für die sich der Zusatzaufwand für eine Energieeinsparung ökologisch gesehen teilweise nicht lohnt. Zwar kann durch die Energieeinsparung der direkte Energieverbrauch und die einhergehende Umweltbelastung reduziert werden. Die Umweltbelastungen aus dem Zusatzaufwand in der Gebäudeinfrastruktur vermögen jedoch diese Einsparungen bei gewissen Umwelteffekten zu kompensieren. Dem ist entgegenzuhalten, dass das als Standard betrachtete Noah-Gebäude mit 174 MJ/m²a bereits einen unterdurchschnittlichen Energieverbrauch aufweist, die Energieeinsparung daher relativ gering ist, was die Payoff-Indices in die Höhe treibt. Zudem gilt die Untersuchnung nur strikt für die untersuchten Fallbeispiele und kann nicht verallgemeinert werden. Der Zusatzaufwand stammt beispielsweise zu einem beträchtlichen Teil aus dem Kupfer für das Lukarnendach, welches bei der Vergrösserung der südgerichteten Lukarnenfenster entsprechend vergrössert wurde. Dies zeigt, dass der ökologische Zusatzaufwand für eine Energieeinsparung nicht zwingend aus den offensichtlichen Materialien (hier Wärmedämmung und Fensterglas) stammen muss, sondern sich an überraschenden Gebäudeteilen manifestieren kann.



12
Die gemessenen oder aus den Messwerten ermittelten Energieflüsse sind in einem Energieflussdiagramm des HTM 200 für die Messperiode (Wo. 52/98-16/99) dargestellt:
W = Elektrizitätsverbrauch (Verdichter, Ventilatoren und Regelung). W_Stäbe = Elektrizitätsverbrauch der Heizstäbe (Warmwasser und Luft-Nacherwärmung). Q_Erdregister = Wärme, die aus dem Erdregister entzogen wurde. Q_WT = Wärme, die aus dem Wärmetauscher zurückgewonnen wurde. Q_WW = Nutzenergie Warmwasser. Q_HTM = Gesamte Nutzenergie, die vom HTM 200 geliefert wurde

Was wiederum ein Hinweis darauf ist, dass pauschalisierte Betrachtungsweisen nicht immer richtig sein müssen. Eine differenzierte und fallspezifische Betrachtungsweise ist daher bei der Beurteilung von Energieeinsparungen angebracht. Dabei ist zu beachten, dass aufgrund der Unsicherheiten in Ökobilanzen Schlussfolgerungen nicht auf kleinsten Unterschieden in den Resultaten basieren dürfen. Relative Unterschiede im Bereich unter 20 % sind als nicht signifikant anzusehen.

Wirtschaftlichkeit im Vergleich

Für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen wurden folgende Varianten berücksichtigt:

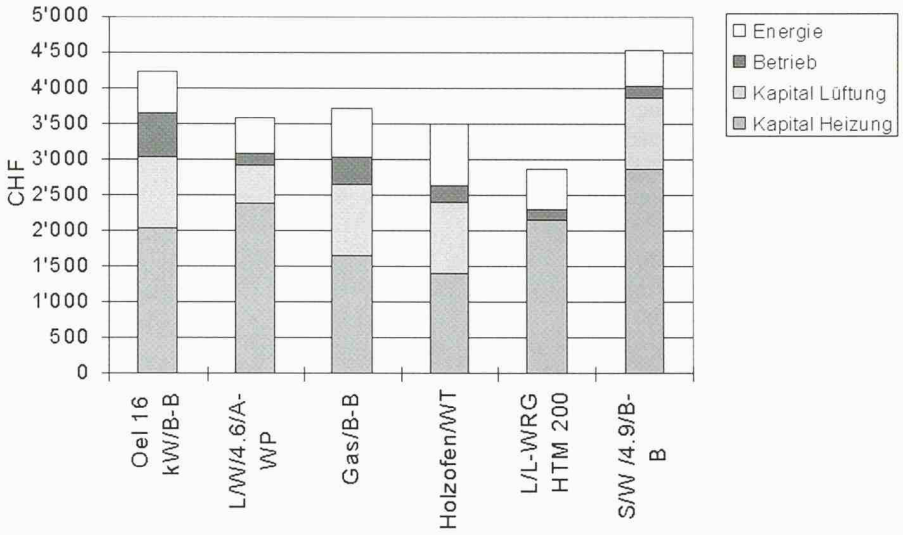
- Öl 16 kW-BB: Ölheizung mit Beistellboiler; Jahresnutzungsgrad 94 %, inklusive Lüftungsanlage
- L/W/4,6/AWP: Monovalente L/W-Wärmepumpenheizung mit Abluft-Wärmepumpen-Boiler
- Gas-BB: Gasheizung mit Beistellboiler; Jahresnutzungsgrad 97 %, inklusive Lüftungsanlage
- Holzofen-WT: Holzzentralheizung mit Zu- und Abluftsystem
- S/W/4,9/B-B: Sole/Wasser-Wärmepumpenheizung mit Beistellboiler, inklusive Lüftungsanlage
- L/L-WRG: Luft/Luft-Wärmepumpe mit Wärmerückgewinnung

Um die Vergleichbarkeit der Systeme zu ermöglichen, wurden bei den fossilen Heizungen und bei der Sole/Wasser-Wärmepumpe die Kosten für eine Lüftungsanlage hinzu addiert, beim Abluft-Wärmepumpen-Boiler wurden lediglich die Kosten für die Luftführung extra ausgewiesen. Bei der Luft/Luft-Wärmepumpe mit WRG (Wärmetauscher) sind systembedingt die Kapitalkosten für die Lüftung in der Heizung enthalten und können nicht separat ausgewiesen werden. Die Auswertung von Offerten führte auf die im Bild 14 dargestellten Jahresgesamtkosten (bestehend aus Investitions-, Betriebs und Unterhaltskosten). Die Grafik verdeutlicht, dass die Luft/Luft-Wärmepumpe mit Abluftwärmerückgewinnung am kostengünstigsten ist. Diese speziell für Niedrigenergiehäuser geeignete Variante wird deshalb in der Phase 3 noch genauer untersucht. Die Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Abluft-Wärmepumpenboiler, der Holzofen und die Gasheizung mit Wohnungslüftung weisen rund 20 % höhere Jahreskosten auf und sind ebenfalls

13
Payoff-Indizes für das betrachtete SIA2010 Noah-Gebäude in Leichtbauweise (Bild 5). Die Umwelteffekte wurden nach der Ecoindicator95-Methode berechnet. Bei Werten unter 1 lohnt sich aus ökologischer Sicht der Zusatzaufwand

Zusatzaufwand Leichtbau	Wärmevariante L/W-WP	S/W-WP	Öl	Gas	Elektro
Treibhauseffekt	0,73	0,92	0,11	0,15	0,25
Ozonzerstörung	0,38	0,48	0,05	1,2	0,13
Sommersmog	1,8	2,3	0,22	0,68	0,62
Versauerung	2,2	2,8	1	3,3	0,75
Überdüngung	1,9	2,4	0,48	1,1	0,64
Schwermetalle	1,1	1,4	0,47	3,7	0,39
Karzinogene	0,53	0,67	0,19	0,29	0,18
Wintersmog	2,3	2,9	1	3,7	0,79
Radioaktivität	0,08	0,1	0,71	1,5	0,03

kostengünstig. Der Ölkessel und die Sole/Wasser-Wärmepumpe in Kombination mit Wohnungslüftung erreichen die höchsten Jahreskosten. Hauptursache dafür sind die Kapitalkosten für die Wohnungslüftung. Liesse man diese weg, würde sich die Rangfolge entsprechend verschieben. Beim Vergleich wurde davon ausgegangen, dass die Zusatzkosten für den Betrieb der Ventilatoren durch Einsparungen bei den Lüftungsverlusten kompensiert werden. Auch bei der Luft/Luft-Wärmepumpe ist bauseitig mit höheren Kosten zu rechnen, weil zusätzliche Massnahmen zur Deckung des Heizenergiebedarfs erforderlich sind, wie bereits bei «Anlageschema und Messkonzept Fully» erwähnt wurde.



14
Vergleich der Jahresgesamtkosten verschiedener Heizsysteme für Niedrigenergiehäuser

Schlussfolgerungen

▪

Bei einem passivsolar optimierten Niedrigenergiehaus (SIA 2010) kann mit Massivbauweise gegenüber dem Leichtbau eine 13%-ige Reduktion des Heizenergiebedarfs erreicht werden.

▪

Beim Leichtbau, wie auch beim Massivbau einer ersten Optimierungsvariante mit stark vergrösserten Fensterflächen, muss zur Vermeidung von Überhitzung die Beschattungseinrichtung so oft betätigt werden, dass die damit verbundene Einschränkung der passiven Sonnengewinne zu keiner Reduktion des Heizenergieverbrauchs führt, da die erzielten Mehrgewinne durch die erhöhten Wärmeverluste der Fenster kompensiert werden.

▪

Eine leistungsgeregelte Luft/Wasser-Wärmepumpe mit zwei Leistungsstufen (60%, 100%) erzielt in den Simulationen eine 18% höhere Jahresarbeitszahl als eine Wärmepumpe mit fixer Drehzahl. Rein wirtschaftlich betrachtet ist die Zusatzinvestition für eine zweistufige Wärmepumpe im Niedrigenergiehaus bei Einsparungen von etwa sFr. 30.- p.a. kaum gerechtfertigt. Anders sieht es hingegen bei der Altbausanierung aus, wo die Mehrkosten für Pufferspeicher und hydraulischer Entkopplung eingespart werden können.

▪

Der Wirtschaftlichkeitsvergleich der untersuchten Komfortwärmesysteme zeigt, dass die Kesselheizungen kombiniert mit einem Zuluft/Abluft-Wärmetauschersystem keine Kostenvorteile mehr aufweisen. Am kostengünstigsten schneidet die Luft/Luft-Wärmepumpe mit Abluftwärmerückgewinnung ab. Die Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Abluft-Wärmepumpenboiler, der Holzofen und die Gasheizung mit Zuluft/Abluft-Wärmetauscher erreichen mit Jahreskosten von etwa 3500 Franken rund 20% höhere Werte. Wesentlich höher liegen sowohl die Ölheizung wie auch die Sole/Wasser-Wärmepumpe, wenn sie mit einer mechanischen Wohnungslüftung mit Zuluft/Abluft-Wärmetauscher ergänzt werden.

▪

Bei den Ökobilanzen stellte sich heraus, dass die Umweltbelastung durch die Gebäude-Erstellung eine vergleichbare Grössenordnung erreicht, wie die der Wärmebereitstellung (Herstellung und Betrieb).

▪

Bei der durch den Gebäudebau verursachten Umweltbelastung, konnten zwischen Leichtbau- und Massivbauweise keine signifikanten Unterschiede gefunden werden. Eine Absenkung der Energiekennzahl (SIA 2010 oder Minergie) lohnt sich ökologisch vor allem bei hochbelastenden Varianten, wie Öl- und Elektrodirektheizung, wo in allen Wirkkategorien eine Verbesserung erreicht wurde.

▪

Bei den Wärmepumpen fällt dieser Vergleich weniger prägnant aus, weil bei fünf der neun Wirkkategorien die Umweltbelastung durch den Zusatzbauaufwand grösser ist, als die infolge der Energieeinsparung vermiedene Umweltbelastung. Hier könnten jedoch Systeme mit höherem Jahresnutzungrad Abhilfe schaffen.

Adresse des Verfassers
Thomas Affei, Dr. sc. techn. ETH, Projektleiter Infel, Informationsstelle für Elektrizitätsanwendung, Lagerstrasse 1, 8021 Zürich

Anmerkungen

[1] *Affei Th., Betschart W.,. Bircher R., Doka G., Geering H.-P., Giger Th., Ginsburg S., Glass A., Huber A., Shafai E., Wetter M., Wittwer D., Zweifel G.*: Kostengünstige Niedrigtemperaturheizung mit Wärmepumpe, Phase 2: Ökologischer und ökonomischer Vergleich, Systemoptimierung, intelligente Regelung, Versuche

[2] Der ausführliche Schlussbericht des BFE-Forschungsprojekts der Phase 2 (siehe Anm.[1]) kann zum Preis von 65.- unter der ENET-Artikel-Nummer 30937 bezogen werden bei: ENET, Administration und Versand, Postfach 130, 3000 Bern 16. Tel.: 031/350 00 05, Fax 031/352 77 56.

[3] Mit Unterstützung der Schweizer Elektrizitätswirtschaft, Ressort Markt und Kunden

[4] Bad und WC wurden über einen zeitrelaisgesteuerten Abluftventilator entfeuchtet.

[5] UCPTE: Union pour la coordination de la production et du transport de l'électricité

[6] Andere Varianten: Luft/Wasser-WP, Sole/Wasser-WP, Gas