

Energiesparhäuser - Bericht über eine Optimierung

Autor(en): **Schäfer, Ueli**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **113 (1995)**

Heft 33/34

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78758>

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.

Ueli Schäfer, Binz

Energiesparhäuser – Bericht über eine Optimierung

Unter Berücksichtigung von Jahreswärmebilanzen, Erstellungs- und Betriebskosten wurden für die Siedlung Chienbergreben in Gelterkinden BL konstruktive und heiztechnische Varianten durchgerechnet. Leichtbau mit maximaler Wärmedämmung ausen, massive Decken innen und einfache, Doppelspurigkeit vermeidende Heizsysteme erwiesen sich als am effizientesten. Die Arbeit wurde durch die Fachstelle für Solararchitektur an der ETH unterstützt. Der Kanton Basel-Landschaft hat einen Förderbeitrag nach dem Energiegesetz zugesichert.

Die Siedlung «Chienbergreben» in Gelterkinden BL ist das Projekt einer Wohnbaugenossenschaft mehrheitlich junger Familien aus dem Raum Baselland/Baselstadt. Acht Einfamilienhäuser und neun Wohn-

Wohnwert, niedrige Baukosten, ökologische Landnutzung und Baukonstruktion und ein geringer Energieverbrauch.

Das Vorprojekt 1:200 über die ganze Siedlung (Bild 1) und provisorische Ausführungspläne 1:50 einer Doppelhaushälfte, die für einen Teilkostenvoranschlag zur Überprüfung des m^3 -Preises gemacht worden waren, dienten als Grundlagen für die Studie.

Das Projekt befindet sich in der Phase der Detailprojektierung und Ausschreibung. Der Baubeginn ist für Frühsommer 1995 vorgesehen.

Vergleichsbasis

Die Untersuchung bezieht sich auf den Energieverbrauch der Bauten und ihrer Bewohner während dem Betrieb. Als Basis diente ein Einfamilienhaus, gedämmt gemäss den kantonalen Grenzwerten, je Doppelhaus mit einer Ölzentralheizung

und mit $10 m^2$ Sonnenkollektoren zur Warmwasserbereitung im Sommer. Zweischalen-Mauerwerk und Kellerdecke mit 10 cm, das Ziegeldach mit 12-cm-Mineralwolle-Isolation, die Fenster mit einem Misch-k-Wert von $1,5 W/m^2K$ und ein minimaler, natürlicher Luftwechsel (0,3) ergaben einen Wärmeleistungsbedarf von $0,97 W/Km^2EBF$.

Der Jahresenergieverbrauch je m^2 Energiebezugsfläche (EBF) wurde mit einem selbst entwickelten, graphischen Verfahren (Bild 2) ermittelt:

Mittlere monatliche Aussentemperaturen und Sonnenscheinstunden, hier für die Station Basel-Binningen, bilden, von Hand verbunden, eine ellipsenförmige Kurve. Diese wird von einer ausgezogenen, schrägen Linie, der gebäudespezifischen Heizgrenze, geschnitten. Alles über der Heizgrenze bis zur angenommenen mittleren Raumtemperatur von $19^\circ C$ wird durch die internen Wärmequellen (Allgemeinstrom ohne Warmwasser, Personenabwärme), die diffuse Einstrahlung ($70 W/m^2 \times 8 h$) durch alle und die direkte Einstrahlung ($500 W/m^2$ während den Sonnenscheinstunden, reduziert um einen Ausnutzungsgrad) durch die Süd Fenster gedeckt. Die verbleibende Kurve darunter ergibt die Heiztage und, multipliziert mit dem jeweiligen Abstand zur Heizgrenze, die Heiztagdage.

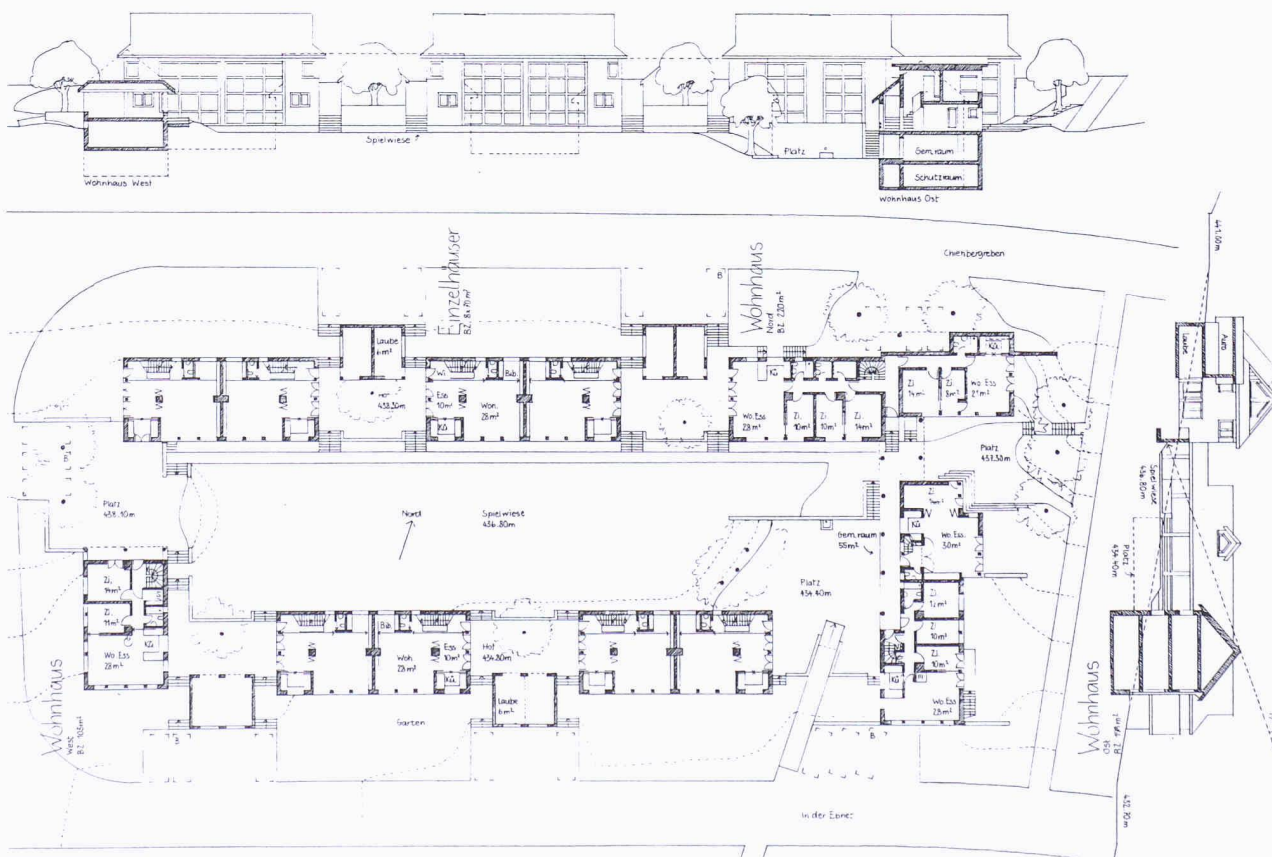


Bild 1.
Siedlung Chienbergreben, Gelterkinden

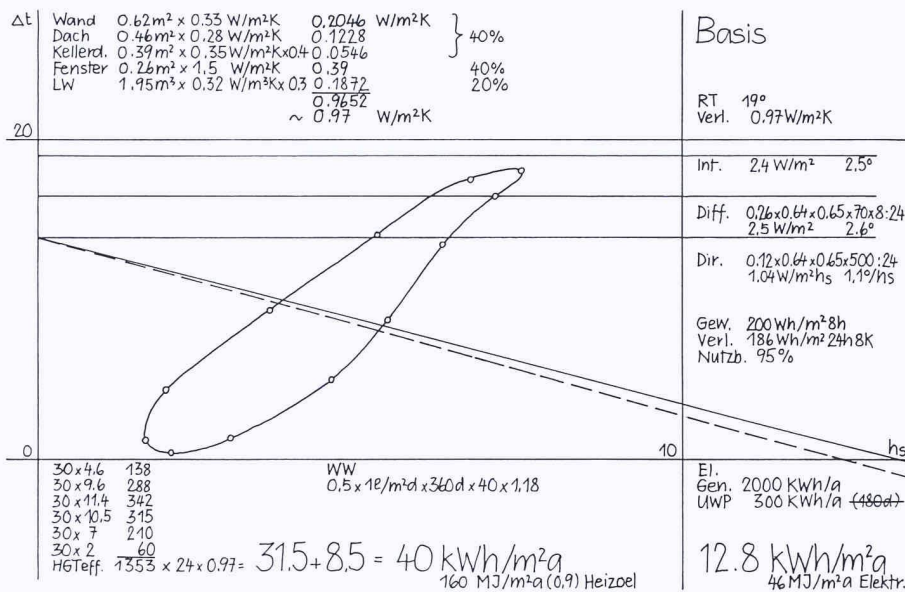


Bild 2.

Jahresenergieverbrauch pro m² EBF für ein Doppelhaus mit 0,97 W/Km² EBF Wärmebedarf

und dezentraler Ölzentralheizung und Brauchwasserkollektoren

Werden diese mit 24 h und dem Wärmeleistungsbedarf ($0,97 \text{ W/Km}^2 \text{ EBF}$) multipliziert, ergibt sich für das Basishaus ein Nettowärmeverbrauch von $31,5 \text{ kWh/m}^2 \text{ EBFa}$, zu dem $8,5 \text{ kWh/m}^2 \text{ EBFa}$ für die Warmwasserbereitung im Winterhalbjahr hinzukommen. Dividiert mit einem Anlagewirkungsgrad von 0,9 resultiert daraus die Energiekennzahl Heizöl von $160 \text{ MJ/m}^2 \text{ EBFa}$. Hinzu kommt die Energiekennzahl Elektrizität von $46 \text{ MJ/m}^2 \text{ EBFa}$ aus 2000 kWh/a Allgemein- und 300 kWh/a Umwälzpumpenstrom verteilt auf 180 m^2 Energiebezugsfläche pro Haus.

Variantenbildung

Die Klimakurve blieb konstant, gegeben durch die Mittelwerte der Station Basel-Binningen. Die Heizgrenzenlinie hingegen wurde variiert, durch Veränderung des Wärmeleistungsbedarfs (andere k-Werte, grössere/kleinere Verglasungsflächen, mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung) und der Einstrahlungsgewinne (grössere/kleinere Verglasungsflächen, andere g-Werte), aber nicht der inneren Wärmequellen, die stets gleich eingesetzt wurden.

Verglichen wurden die Energiekennzahlen für Brennstoff- und Stromverbrauch und die Jahreskosten aus Energie- (mit aktuellen Preisen) und Betriebskosten (Wartung der Energiesysteme, ohne Erneuerung) und 10 % Annuität für Verzinsung und Amortisation der Differenz zur Basisvariante bei den Erstellungskosten.

Die Liste der Bauteile umfasste Aussenwände, Fenster mit allfälligen Storen, Läden oder Vorhängen, Dach, erdberührte

Kellerwände, Keller- und Zwischendecken, Zwischenwände und die halbe Haustrennwand zum Nachbarn, jene der Anlageteile die Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung in der Siedlung (bei zentralen Anlagen) und im Haus, die Wärmeabgabe, Warmwasserbereitung über WP-Boiler, Umformer und Sonnenkollektoren und allfällige Wärmerückgewinnungen, z.B. mit einer Zuluft-Abluftanlage. Luftführende Fenster- und Wandkollektoren und Massenspeicher zur Unterstützung der Raumheizung wurden ebenfalls miteinbezogen.

Für die Kosten wurden Erfahrungswerte eingesetzt, wo diese fehlten, Richtpreise eingeholt. Bauteile wurden in m^2 herausgeschnittener Fläche ohne Anschlüsse berechnet und entsprechend ihrem Flächenanteil auf $1 \text{ m}^2 \text{ EBF}$ umgelegt, Anlageteile als Gesamtsumme ermittelt und auf die bediente Fläche verteilt. Umgerechnet auf $1 \text{ m}^2 \text{ EBF}$ ergab dies für die Basisvariante $1011 \text{ Fr./m}^2 \text{ EBF}$. Bei $3,5 \text{ m}^3 \text{ SIA/m}^2 \text{ EBF}$ zu 630 Fr./m^3 sind dies 54 % der Gebäudekosten ohne bzw. 47 % mit Honoraren.

Leichte Hülle, schwere Decken

Die erste Vergleichsrunde galt der Konstruktion. Die Heizanlage blieb konstant. Der konstruktive Aufbau, besonders der Aussenwände und der Zwischendecken, wurde variiert.

Das Projekt sah aussen einen Wandquerschnitt von 37 cm vor. Hielt man sich daran, variierte der k-Wert von $0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Zweischalen-Mauerwerk 12/10/15) bis $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Leichtwand mit 26-cm-Isolation). Die Kosten reichten von 254 Fr./m^2 (Mau-

erwerk mit Stülpschalung) bis 300 Fr./m^2 (Leichtwand). Brachte man alle Wände auf den k-Wert von $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$, so verringerte sich die Bandbreite aber auf 289 Fr./m^2 (Mauerwerk mit Stülpschalung, 46 cm stark) bis 320 Fr./m^2 (Zweischalen-Mauerwerk, 53 cm stark).

Ausser Konkurrenz sozusagen lief ein Kühlhaussandwich mit 17-cm-PU-Isolation mit. Mit innenliegenden Betonstützen 20/20 kam es ebenfalls auf 37 cm Wandstärke, bei einem k-Wert von $0,115 \text{ W/m}^2\text{K}$ und Kosten um 180 Fr./m^2 .

Ähnliches zeigte sich bei den Zwischendecken: Beton mit gestrichener Untersicht, Trittschallisolation und Parkett auf Unterlagsboden war mit 201 Fr./m^2 etwa gleich teuer wie eine Holzdecke mit Balken mit 180 cm Abstand, eingetuteter Deckenschalung, Bodenrost 12/6 auf Neoprenlagern, Mineralwolldämmung und rohen Fichtenriemen (214 Fr./m^2). Tonhourdis und Ziegelfertigdecken andererseits waren deutlich teurer.

Bezogen auf den ganzen Bauteilkatalog (Bild 3) zeigten sich, bedingt durch Anpassungen bei den angrenzenden Bauteilen, noch kleinere Unterschiede, so dass maximale Wärmedämmung kombiniert mit optimaler Wärmespeicherung den Ausschlag gab für Leichtwände und Betondecken. Minimale Konstruktionsstärken und guter Trittschallschutz für die Geschosswohnungen waren weitere Argumente.

Zweifach-Verglasung

Auch die zweite Vergleichsrunde bezog sich auf die Gebäudehülle: Welches ist die optimale Verglasung, wenn man nicht nur den Wärmeverlust nach aussen, sondern auch die Einstrahlung ins Innere berücksichtigt und Jahresbilanzen rechnet?

Hier war das örtliche Klima, die Gebäudeform, die opake Gebäudehülle und das Heizsystem konstant. Variiert wurde der k-Wert des Glases von $2,8 - 0,65 \text{ W/m}^2\text{K}$ und seine «Periferie»: Isolierläden mit zwei 5 mm starken Holzspan-Seiten und 3 cm PU-Schaum im Kern verbessern den Wärmewiderstand der Fenster um $1,26 \text{ m}^2\text{K/W}$. Sie können im Winter während 14 Nachtstunden geschlossen sein. Zuluft-Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung reduzieren den Lüftungswärmeverlust auf einen Drittel. Beide Massnahmen verringern den Gesamtwärmebedarf und vergrössern so den relativen Anteil der Glasfläche am Wärmehaushalt. Zusammen haben sie den grössten Effekt.

Das Diagramm aus sechzehn Jahreswärmebilanzen (Bild 4) zeigt ein Optimum für Zweifach-Verglasungen mit einer IR-re-

flektierenden Beschichtung, mit k-Wert 1,1 bzw. 1,3 $\text{W/m}^2\text{K}$ und g-Werten von 0,57 bzw. 0,64. Dreifach-Verglasungen mit zwei beschichteten Gläsern mit k-Wert 0,65 $\text{W/m}^2\text{K}$ und g-Wert 0,37 bringen, im gegebenen Mix von Süd-, West- und Nordfenstern, nur in Kombination mit einer Zuluft-Abluftanlage noch eine kleine zusätzliche Einsparung. Hätte man die Verminderung des Tageslichteinfalls bei tieferem g-Wert mitberücksichtigt und die Glasfläche entsprechend vergrößert, so wäre das Ergebnis noch deutlicher ausgefallen.

Spezialgläser wie HIT und Superglass wurden aus Kostengründen nicht miteinbezogen. Sie zeigen aber den gleichen Zusammenhang von k-Wert-Verbesserung und g-Wert-Verschlechterung.

Direktgewinn

In der dritten Vergleichsrunde wurden die Heizsysteme auch variiert. Hier ging es darum, alle Kombinationen, die irgendwie aussichtsreich schienen, zu bilanzieren und die Energiekennzahlen ($\text{MJ/m}^2\text{EBFa}$) und Jahreskosten ($\pm \text{Fr./m}^2\text{EBFa}$) miteinander zu vergleichen.

Das Ergebnis wurde in ein Diagramm (Bild 5) eingetragen, mit Jahresmehr- oder -minderkosten auf der Abszisse und Energiekennzahlen auf der Ordinate. Ziel war, Aussenseiter auszuschneiden und das Feld für einen detaillierteren Vergleich zu verkleinern.

Links vom Strich, d.h. sparsam mit Energie und Geld zugleich, sind nur Varianten mit dem oben erwähnten Kühlhaus-sandwich, das aus ästhetischen Gründen bereits ausgeschieden war. Dies zeigt jedoch, dass das eigentliche Sparpotential nicht in den Energiesystemen liegt, sondern in den Bauteilen, z.B. in der Vereinfachung des Schichtenaufbaus und der Montage.

Ganz rechts, mit Mehrkosten von 2000 bis 3600 Fr./Jahr für ein Einfamilienhaus, stehen die Varianten mit Luftkollektoren und Massenspeichern. Ihr Kosten-Nutzen-Verhältnis war immer ein Problem. In der sehr gut gedämmten Gebäudehülle, die den Bedarf noch stärker in den Winter verschiebt, waren sie nicht mehr vertretbar. Wir entschieden uns für Direktgewinn.

Einfache Heizung, sparsame Lüftung

Die vierte und letzte Vergleichsrunde galt den Varianten im Mittelfeld. Zwei zentrale Heizsysteme, Holzschnitzelfeuerung und Diesel-Blockheizkraftwerk (BHKW) stehen zwei dezentralen Einzelfeuerungen gegenüber, Holzofen mit zusätzlicher Spei-

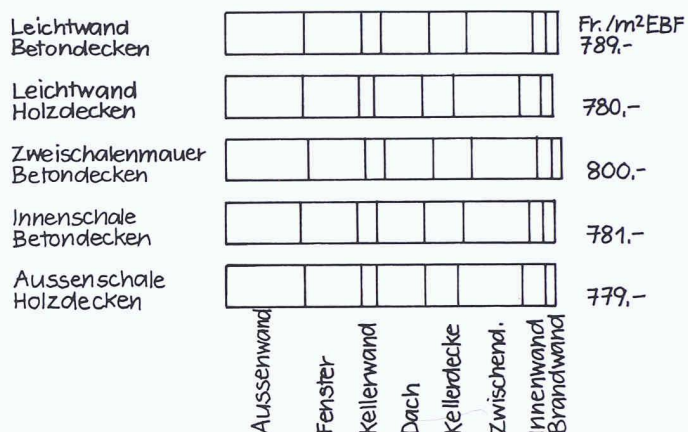


Bild 3.
Kosten verschiedener Konstruktionen je m^2EBF

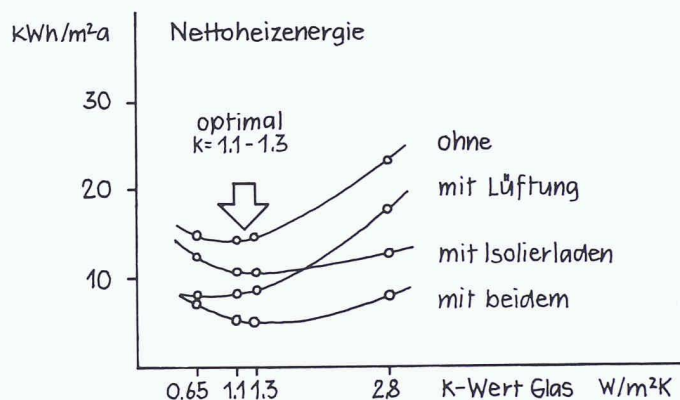


Bild 4.
Nettoheizenergiebedarf je $\text{m}^2\text{EBF/Jahr}$ für verschiedene Fenster-k-Werte.

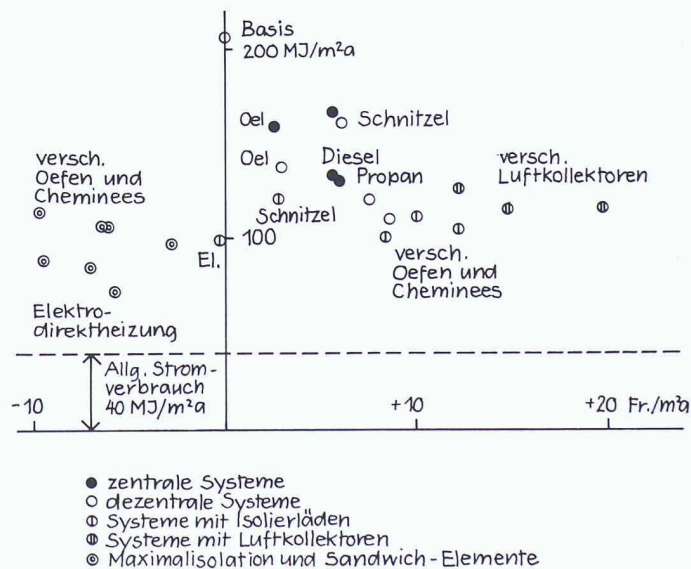


Bild 5.
Jahresmehr- oder -minderkosten und Energiekennzahlen für verschiedene Energiesysteme

cher- und Abgabefläche im OG und Warmluft-Cheminée mit freier Luftzirkulation in die angrenzenden Räume. Alle wurden mit den vier Ausrüstungsstufen des Glasvergleichs kombiniert, so dass sechzehn Varianten entstanden, dargestellt in einem Balkendiagramm (Bild 6):

Die Kosten steigen mit dem Wechsel von zentralen zu dezentralen Anlagen, der Energieverbrauch andererseits sinkt. Der Brennstoffverbrauch der Varianten mit Schnitzelfeuerung ist höher als jener der

Einzelheizungen, weil die Warmwasserbereitung im Winter darin eingeschlossen ist. Ihr Stromverbrauch ist dennoch nicht kleiner, da der ganzjährige Pumpenbetrieb des zentralen Systems dem eingesparten Wärmepumpenboiler-Strom für 40 % des Warmwasserverbrauchs gerade entspricht. Die beiden Einzelheizungen erreichen deshalb die niedrigsten Jahresenergiekennzahlen. Sie unterscheiden sich nur im Verbrennungswirkungsgrad und im Preis. Nicht berücksichtigt ist die unterschiedliche Le-

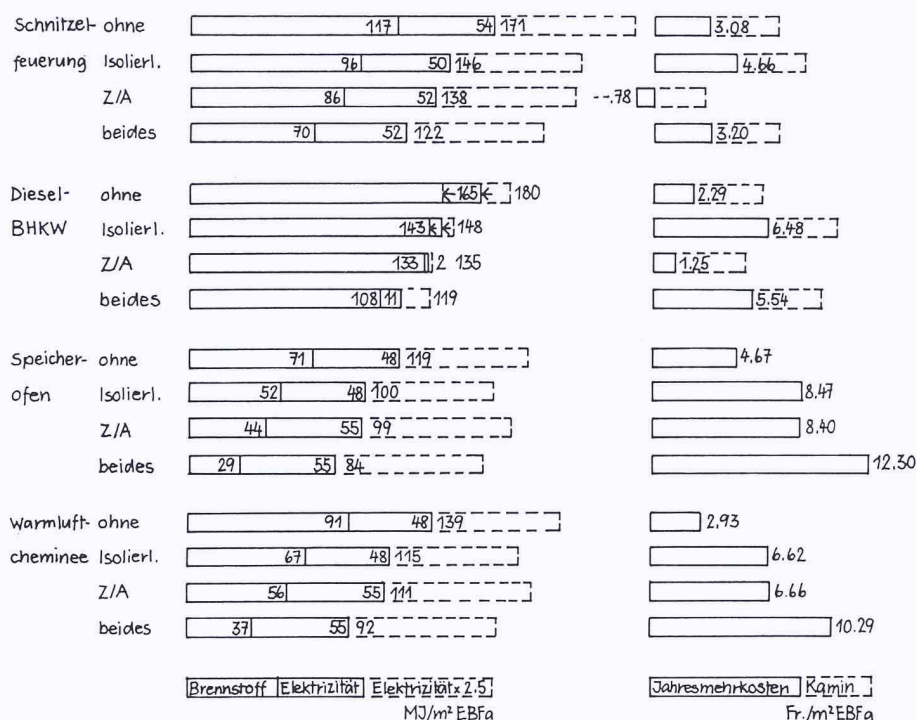


Bild 6.
Energiekennzahlen und Jahresmehrkosten für
vier ausgewählte Wärmeenergiearten und
Ausrüstungsstandards

bensdauer der Feuerungen, im Vergleich untereinander und zu den zentralen Systemen.

Bemerkenswert ist das Diesel-BHKW, das trotz nur 1000 h/a Laufzeit und einem mit 50 000 Fr. eingesetzten Katalysator konkurrenzfähig ist und im Jahresmittel den Stromverbrauch der Siedlung kompensiert. Es ist in der weiteren Bearbeitung des Projekts dennoch in den Hintergrund gerückt, weil eine so kleine Anlage (32 kW Strom, 40 kW Wärme) zum erstenmal ausgeführt worden wäre und der Energieträger nicht erneuerbar ist.

Ein weiteres interessantes Detail zeigt sich im Vergleich zwischen Isolierläden und Zuluft-Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung: Ohne Berücksichtigung der höheren Wertigkeit der Elektrizität gegenüber dem Brennstoff ist die Zuluft-Abluftanlage besser. Wird diese berücksichtigt, gewinnt der antriebsfreie Isolierladen.

Kollektoren zur Brauchwarmwasserbereitung

Der Vergleich sieht bei den Gemeinschaftsheizungen eine zentrale Warmwasserbereitung mit 48 m² Kollektoren und 3 m³ Speicher vor. Bei den Einzelheizungen sind es 10 m² pro Gebäude, kombiniert mit je einem Wärmepumpenboiler pro Wohnung. Mit den Kollektoren sollen 50 bzw. 60% des Warmwasserverbrauchs gedeckt werden.

Auf den ersten Blick ist die zentrale Kollektoranlage einfacher und wirtschaftlicher. Sie hat aber aufwendige Massnahmen bei der Siedlungswärmeverteilung zur Folge: Gibt es nur Fernleitungen für Heizwasser, muss die gesammelte Sonnenenergie zweimal umgeformt und in den Häusern ein weiteres Mal gespeichert werden. Werden Fernleitungen für Heiz- und Warmwasser gebaut, nehmen Kosten und Leitungsverluste zu. Die einfachste Anlage entsteht, wenn man in der Fernleitung Warmwasser, das ohnehin mehr als 60 % des jährlichen Wärmebezugs ausmacht, zirkulieren lässt und damit auch heizt. Bei Zuluft-Abluftanlagen mit nur einem Wärmetauscher pro Wohnung schien uns dies möglich. Deshalb sind diese Varianten im Balkendiagramm relativ günstiger als jene mit einer Verteilung mit Radiatoren.

Dezentrale Kollektoranlagen sind einfacher zu bauen, da die Verknüpfung mit der Heizung entfällt. Als teurere Kleinanlagen belasten sie dafür die Jahreskosten zusätzlich mit 2.50 Fr./m² EBFa.

Kompromisse beim Ausführungsprojekt

Nicht ganz unerwartet entschied sich die Bauherrngruppe zuletzt für eine zentrale Holzschnitzelfeuerung und eine Wärmeverteilung mit Radiatoren. Das geringere technische Risiko, der Komfort der zentralen Wärmeenergie und ein hoher Anteil

erneuerbarer Energie (Holz) sprachen dafür. Um Kosten zu sparen und dem Problem der doppelten Siedlungsverteilung für Heiz- und Brauchwarmwasser aus dem Weg zu gehen, sind statt der zentralen Kollektoranlage dezentrale Elektro- oder Wärmepumpenboiler vorgesehen, die in der Heizperiode über die Fernleitung vorgewärmt werden.

Das neue Diagramm (Bild 7) zeigt ein widersprüchliches Ergebnis: Der Heizwärmebedarf sinkt wegen der besseren Wärmedämmung um 44 % von 31,5 auf 17,7 kWh/m²a. Die Jahresenergiekennzahl hingegen nimmt nur um 6 % oder 12 MJ/m²a ab, da Holzfeuerung und Siedlungsfernheizung mehr Wärme verlieren und der Stromverbrauch wegen dem Verzicht auf Kollektoren fast verdoppelt ist. Dafür sind die Jahresmehrkosten mit 0.96 Fr./m² EBFa gering.

Dazu kommen Kompromisse in der Bauausführung: An mehreren Stellen wurde das Konzept der Leichtbauwände durchbrochen. Die Brandschutzvorschriften verlangten gemauerte Wandflügel von zusammen 1 m Breite bei den Haustrennwänden, Abstandsvorschriften der Bauordnung massive Wandteile überall, wo der Abstand von 3 m zu benachbarten Haupt- und Nebenbauten unterschritten ist.

Schliesslich schien es sinnvoll, die Sanitärräume auch im Bereich der Aussenwände zu ummauern, so dass die Leitungen leichter eingelegt und Wandplatten angebracht werden können. Jetzt sind noch 73 % der Aussenwände mit 26 cm Mineralwolle und k-Wert 0,15 W/m²K isoliert, die übrigen 27 % nur mit 16 cm und k-Wert 0,25.

Um Speichermasse zu gewinnen, sind die Erdgeschossdecken mit in die Schalung gelegten Dreischichtplatten von unten isoliert. Inzwischen wünschten aber die meisten Bauherren, statt der vorgesehenen Tonplatten im Mörtelbett, Fichtenriemen mit Lattenrost und Mineralwollezwischenlage zu verlegen. Diese zweiseitige Isolation ist aufwendig, und 35 % der Speichermasse des Gebäudes gehen verloren.

Am stärksten wird die Optimierung allerdings relativiert durch die Einzelkamine, die trotz zentraler Wärmeenergie in allen Wohnungen eingebaut und mit individuell dazugekauften Einzelöfen angeschlossen werden. Das Balkendiagramm zeigte, dass bereits die im Wohnungspreis eingerechneten Kamine allein den Kostenvorteil der zentralen Systeme (ohne Isolierläden und Zuluft-Abluftanlagen) aufheben. Sie werden zudem je nach Häufigkeit des Gebrauchs den Betrieb der zentralen Feuerung stören und den Wirkungsgrad und Schadstoffausstoss der gesamthaft verbrauchten Holzmenge verschlechtern.

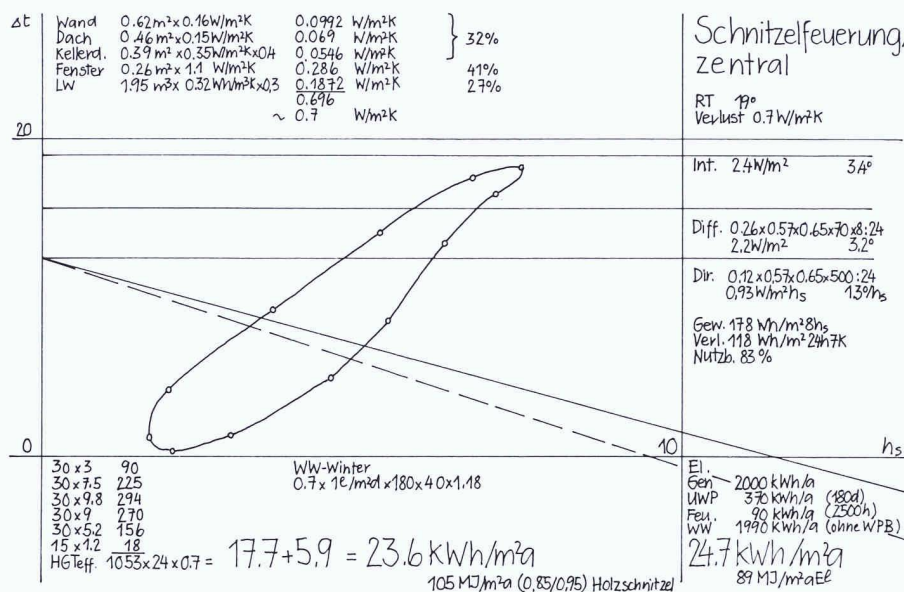


Bild 7.

Jahresenergieverbrauch je m²EBF für ein Doppelhaus mit 0,7 W/Km²EBF Wärmebedarf, mit zen-

traler Schnitzelfeuerung, Radiatorenheizung und Elektroboilern mit Vorwärmung

Zusammenfassung

Das Projekt einer Siedlung mit Doppelhäusern und Wohnungen war Anlass, die bisher gemachten Erfahrungen mit energiesparenden Bauten zu überprüfen und die Zielrichtung zukünftiger Aufgaben allenfalls neu zu bestimmen.

Für die aktuelle Projektierung entstand ein etwas zwiespältiges Resultat, geprägt durch die Unsicherheit, die ein umfangreiches und lange dauerndes Variantenstudium und das Durchspielen unerprobter Lösungen hervorruft, durch die besonderen Bedingungen aber auch der Zusammenarbeit mit einer Bauherrengruppe mit unterschiedlichen Präferenzen und Ansprüchen.

Für weitere Arbeiten in Zukunft ergab sich aber eine Klärung: Die einmal vermutete Gleichwertigkeit «offensiver» (mehr Sonnenenergie) und «defensiver» (mehr Dämmung) Strategien besteht nicht. Diffus und direkt eingestrahle Sonnenenergie leistet zwar immer noch einen grossen Beitrag an die Wärmebilanz. Aber der dazu notwendige apparative Aufwand sollte um so geringer sein, je besser das Gebäude gedämmt ist.

Wie auch bereits gebaute Beispiele zeigen, sind Häuser mit ganz niedrigem Energieverbrauch möglich. Der Schwerpunkt der Anstrengungen liegt aber nicht beim Heizsystem und der Wahl der Energieträger, sondern beim Gebäude. Je besser dieses gemacht ist, desto einfacher können jene werden.

Adresse des Verfassers:

Ueli Schäfer, Dipl. Arch. BSA/SIA, Zollikonstrasse 20, 8122 Binz

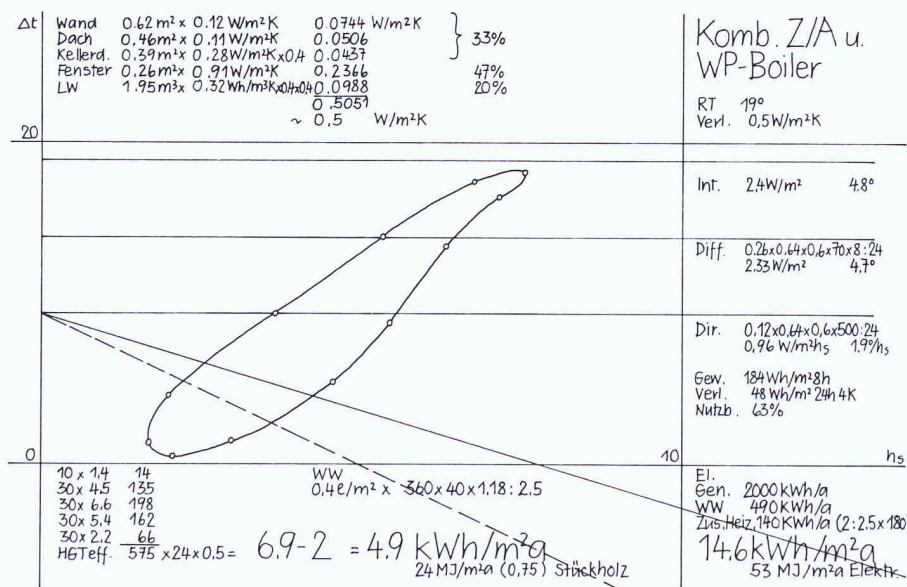


Bild 8.

Jahresenergieverbrauch je m²EBF für ein Doppelhaus mit 0,5 W/Km²EBF Wärmebedarf und

dezentralen Zuluft-Abluftanlagen mit Wärmepumpenboilern und Brauchwasserkollektoren

Ausblick

Nachträglich scheint, dass nur ein noch unterschiedenerer Schritt in Richtung Nullheizenergie, mit noch besseren k-Werten der opaken Aussenflächen, mit Isolierläden an den Fenstern und mit Zuluft-Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung, die Konflikte zwischen Erstellungskosten und Energieverbrauch und zwischen Einfachheit der Anlagen und Bequemlichkeit im Betrieb hätte lösen können.

Dabei ginge es nicht darum, mit aufwendigen Speichersystemen die Beheizung

auf 20°C auch an kalten, sonnenarmen Wintertagen sicherzustellen, sondern den Verbrauch mit baulichen Massnahmen soweit zu reduzieren, dass die Restwärmeerzeugung mit den Einzelfeuerstellen, die ohnehin angeschafft werden, für alle zumutbar würde.

Zur Kontrolle dieser Behauptung wurde ein solches System durchgerechnet (Bild 8): In der Annahme, ein leistungsfähigerer Dämmstoff als Mineralwolle käme zum Einsatz, wurde bei den opaken Aussenbauteilen ein Wärmeleitwert von $0,03 \text{ mK/W}$ eingesetzt. Die Fenster erhielt