



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Bundesamt für Energie BFE**

**Schlussbericht** 29. Januar 2010

---

# **Sanierung von Mehrfamilienhäusern auf Passivhausstandard**

Am Fallbeispiel Mehrfamilienhaus Lohstrasse  
6a/6b Kreuzlingen

---

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE  
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Auftragnehmer:**

dransfeldarchitekten  
Poststrasse 9a  
CH-8272 Ermatingen  
[www.dransfeld.ch](http://www.dransfeld.ch)

**Autoren:**

Johannes Vogel, dransfeldarchitekten, [vogel@dransfeld.ch](mailto:vogel@dransfeld.ch)  
Peter Dransfeld, dransfeldarchitekten, [dransfeld@dransfeld.ch](mailto:dransfeld@dransfeld.ch)  
René Naef, naef energietechnik, [naef@naef-energie.ch](mailto:naef@naef-energie.ch)

**BFE-Bereichsleiter:** Andreas Eckmanns

**BFE-Programmleiter:** Charles Filleux

**BFE-Vertrags- und Projektnummer:** 153315 / 101968

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	3
Abstract .....	4
Einleitung .....	5
Kernfragen .....	6
Der Passivhaus-Standard .....	7
Lohstrasse: Ausgangslage .....	10
Lohstrasse: Weg zum Passivhaus .....	12
Konkrete Sanierungsmassnahmen .....	14
Schlussfolgerungen .....	19
Anhang .....	22

# Abstract

## Zusammenfassung

Seit rund 10 Jahren wissen wir, wie man Häuser baut, die zehnmal weniger Energie verbrauchen als üblich bis zur Ölkrise 1973. Ebenso gute Werte für Sanierungen zu erreichen, ist ungleich schwieriger, da bestehende Strukturen und Ansprüche der Besitzer und Bewohner zu berücksichtigen sind. Am Beispiel eines Mehrfamilienhauses, das erst 1986 erstellt wurde, wird aufgezeigt, dass eine drastische Senkung des Energieverbrauchs durch Sanierung möglich ist – in realistischen Etappen und mit einem Resultat nahe dem Passivhausstandard. Dies ist – auch für eine grosse Zahl vergleichbarer Wohnbauten – möglich, wenn von Anfang an ein klares Sanierungskonzept verfolgt wird.

## Summary

Since about 10 years, we know how to build houses that consume 10 times less energy than a house that was designed before the oil crisis of 1973. To reach the same results in old-building renovation, is much more difficult: existing structures have to be respected as well as the requirements and possibilities of owners and residents have to be considered. With the example of an apartment building built in 1986, it is shown here that a dramatic reduction of energy consumption is possible by means of a renovation, in steps that are realistic and with a result that is close to the passive house label. This is possible – as well for a large number of othersimilar buildings – if a clear concept exists right from the beginning.

## Résumé

Depuis environ 10 ans, nous savons construire des maisons qui exigent 10 fois moins d'énergie qu'une maison construite avant la crise du pétrole de l'an 1973. Pour atteindre de tels bons résultats dans une renovation, les difficultés sont nettement plus grandes: des structures existantes doivent être respectées, de même les priorités et les possibilités des habitants et des propriétaires. Avec l'exemple d'une maison à appartements construite en 1986, ce travail démontre qu'une réduction frappante de la consommation d'énergie est possible dans une renovation, avec des etappes raisonnables et un résultat qui est proche du niveau de la maison passive. Ceci est possible – aussi pour un grand nombre de bâtiments comparables – si une conception claire existe depuis le début.

# Einleitung

## IEA task 37

Die Internationale Energie-Agentur (IEA, [www.iea.org](http://www.iea.org)) initiiert regelmässig Forschungsaufgaben im Energiebereich. Im Rahmen der Aufgabe 37 (task 37: advances housing renovation with solar and conservation) widmet sich ein Programm im Zeitraum 2006-2010 der Sanierung bestehender Gebäude auf einen sehr guten Energiestandard. Einer von vier Teilprojektleitern ist Prof. Robert Hastings, Agentur für Energie und Umwelt, Zürich-Wallisellen / Donau-Universität Krems (A). Unter seiner Regie sind vier Schweizer Projekte erarbeitet worden, deren Finanzierung vom Bundesamt für Energie (BFE) erfolgt ist. In diesem Rahmen ist die vorliegende Arbeit entstanden.

## Ziel der Arbeit

Neubauten mit sehr hoher Energieeffizienz, wie z.B. Passivhäuser, sind in Mitteleuropa noch immer selten, ihre Zahl nimmt aber rasch zu dank etablierter Baustandards. Höchste Energieeffizienz in Sanierungen zu erreichen, gestaltet sich schwieriger: Bauliche und geometrische Gegebenheiten müssen bewältigt werden, zudem erlauben die verfügbaren Mittel oft nur Teilsanierungen, die eine koordinierte Gesamtlösung erschweren. Trotz dieser Schwierigkeiten am konkreten Fallbeispiel gangbare Wege zu höchster Energieeffizienz aufzuzeigen, ist das Ziel dieses Projekts. Dazu wurde ein konkretes Objekt ausgewählt, das stellvertretend für eine grosse Zahl mitteleuropäischer Bauten steht und dessen Sanierung in Etappen in den kommenden Jahren grundsätzlich vorstellbar ist.

## Fallbeispiel Lohstrasse 6-8

Das untersuchte Objekt umfasst 19 Wohnungen. Es steht am Rande Kreuzlingens, einer Kleinstadt am Bodensee auf rund 450 Meter über Meer, wurde 1986 erstellt und vertritt damit eine grosse Zahl bestehender Bauten, die bereits einen ersten Wärmeschutz besitzen, dennoch aber einen für heutige Verhältnisse hohen Energieverbrauch aufweisen. Konkreter Sanierungsbedarf besteht vor allem für die Heizung. Dabei stellt sich die Eigentümerschaft zu Recht die Frage, ob eine Optimierung des Energiebedarfs mittelfristig Sinn macht. Da es sich um Eigentumswohnungen handelt, muss jede bauliche Massnahme durch die Mehrheit der Eigentümer getragen werden.

# Kernfragen

Der Umgang mit bestehenden Bauten ist herausfordernd, wenn wir höchste Energieeffizienz, wie wir sie zunehmend von Neubauten kennen, anstreben. Lösbar sind solche Bauaufgaben am ehesten, wenn das Gebäude günstige geometrische Voraussetzungen bietet, wenn der technische Zustand der Substanz eine sehr weit gehende Sanierung ohnehin notwendig macht und wenn die Bereitschaft zur entsprechenden Investition bei der Besitzerschaft vorhanden ist.

Solche günstigen Voraussetzungen sind aber selten. Wollen wir auch für den restlichen Gebäudebestand höchste Energieeffizienz erreichen, dann müssen wir uns mit den Tücken auseinandersetzen, die eine ungünstige Geometrie, ein vergleichsweise noch guter technischer Zustand, beschränkte finanzielle Mittel und schwierige Entscheidungswege bei einer komplex strukturierten Bauherrschaft mit sich bringen.

Das Gebäude Lohstrasse 6-8 steht stellvertretend für die grosse Zahl an Gebäuden, die solche Schwierigkeiten bieten: Gerade weil die Geometrie nicht ausgesprochen günstig ist, der Zustand eine umfassende Sanierung kaum rechtfertigt und sowohl die Mittel als auch die Vorstellungen in der verzweigten Eigentümergemeinschaft unterschiedlich sind, hoffen wir, an diesem Beispiel zwei Kernfragen näher zu kommen:

## **Erste Arbeitshypothese**

Die Schwierigkeiten, die eine Sanierung auf Passivhaus-Niveau gegenüber einem Neubau bietet, können wettgemacht werden durch die vorteilhafte Geometrie (Kompaktheit), die ein Mehrfamilienhaus gegenüber einem Einfamilienhaus besitzt.

## **Zweite Arbeitshypothese**

Eine Sanierung eines Mehrfamilienhauses auf Passivhausniveau ist nicht nur grundsätzlich machbar, sie ist auch in Etappen aufteilbar, die in sich Sinn machen und wirtschaftlich vertretbar sind.

# Der Passivhaus-Standard

Für energiesparende Bauten sind im den vergangenen zwei Jahrzehnten verschiedene Gebäudestandards und Gebäudeklassifizierungsverfahren entwickelt worden, welche sich nicht nur in den Qualitätsansprüchen ans jeweilige Objekt sondern auch in den Definitionen der Bezugsgrössen zum Teil erheblich unterscheiden. Obwohl mit denselben Begriffen gearbeitet wird, sind die geforderten Kriterien respektive die verwendeten Klassifizierungen oft nicht vergleichbar.

Um die vorliegende Arbeit an einem gebräuchlichen Standard orientieren zu können, wurde mit dem vom Passivhausinstitut in Darmstadt ([www.passiv.de](http://www.passiv.de)) entwickelten *Passivhausstandard* gearbeitet. Das *Passivhaus* ist ein in mehreren Ländern verwendeter Standard, der zu den strengsten zählt. Bei der Planung von Passivhäusern ist eine sehr genaue Erfassung aller in die Energiebilanz einflussenden Grössen notwendig.

Wesentliche Anforderungen dieses Standards werden in der Folge vorgestellt, wesentliche Begriffe werden im Sinne des Passivhaus-Standards verwendet.

Wie am Schluss der Arbeit aufgezeigt wird, darf angenommen werden, dass die gewonnenen Erkenntnisse sinngemäss auch für andere verbreitete Standards anwendbar sind, etwa den in der Schweiz verbreiteten Minergie-P-Standard.

## Idee des Passivhauses

Die dem Passivhaus zugrunde liegende Idee ist ein Gebäude, dessen Heizlast so gering ist, dass sie ausschliesslich über die Erwärmung der notwendigerweise zugeführten Frischluft gedeckt werden kann. Da die Wärmekapazität der Luft mit  $0.33\text{Wh}/(\text{m}^3 \times \text{K})$  sehr gering und die Zulufttemperatur begrenzt ist, kann auch nur eine begrenzte Wärmemenge, mit welcher entsprechend sparsam umgegangen werden muss, zugeführt werden.

## Heizwärme

Der Heizwärmebedarf eines Gebäudes ist die Summe aller Wärmeverluste abzüglich aller nutzbaren Wärmegewinne. Verluste entstehen bei Wohnhäusern durch Lüftung und durch Transmission, Gewinne durch Solarstrahlung über die Fenster und durch Abwärme von Haushaltsgeräten, haustechnischer Anlagen, Beleuchtung und Personen.

Passivhäuser zeichnen sich in erster Linie durch sehr geringe Transmissions- und Lüftungswärmeverluste  $Q_T$  und Lüftungsverluste  $Q_L$  und einen daraus resultierenden sehr geringen Heizwärmebedarf  $Q_H$  aus. Dieser kann zum Grossteil aus solaren und internen Wärmegewinnen  $Q_S$  und  $Q_I$  gedeckt werden. Der anzustrebende Grenzwert -bezogen auf die Energiebezugsfläche- beträgt

$$Q_H = Q_T + Q_L - Q_I - Q_S \leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{a}).$$

Die notwendige Heizwärme darf pro Jahr und Quadratmeter Wohnfläche also nicht mehr als 15 kWh betragen (was 1.5 Liter Öl entspricht).

## Heizlast

Damit die über den Abluftwärmetauscher vorgewärmte und mittels Nachheizregister temperierte Zuluft nicht über 52°C erwärmt werden muss, was zu schlechtem Raumklima (geringe Luftfeuchte, Geruchsbildung) führen würde, darf die max. Heizlast nicht mehr als

$$p \leq 10 \text{ W/m}^2$$

betragen. Das Gebäude darf also pro Quadratmeter Wohnfläche nicht mehr als eine Heizleistung von 10 W benötigen.

Heizkörper oder Bauteilheizungen (z.B. Fussbodenheizungen) sind dabei nicht vorgesehen. Die Raumheizung kann dank der sehr tiefen Heizlast ohne aktives Wärmeverteilsystem alleine über die zugeführte Frischluft erfolgen.

## Dichtigkeit

Eine sehr dichte Gebäudehülle ist für Passivhäuser unabdingbar zur Vermeidung unkontrollierter Wärmeverluste und zur Sicherstellung einer einwandfrei funktionierenden kontrollierten Lüftung bzw. Luftheizung. Der maximale stündliche Restluftwechsel darf bei einer Druckdifferenz  $\Delta P = 50 \text{ pa}$  das 0.6-fache Raumvolumen nicht überschreiten.

$$n_{50} \leq 0.6/h$$

Gebäudehüllen können nicht absolut dicht hergestellt werden; es ist also unvermeidlich, dass warme Luft das Gebäude ungenutzt verlässt und dass kalte Aussenluft eindringt. Typische Undichtigkeiten sind Kaminöfen, Dampfabzüge, Briefschlitze, Türfugen, Schlüssellöcher, Bauteilanschlüsse, nicht sachgerecht ausgeführte Dampfsperren, Leitungsdurchführungen, Leerrohre und Steckdosen, Revisionsöffnungen zu Installationsschächten aber auch Arbeitsfugen, Schwundrisse, Mörtelfugen und poröse Baustoffe wie Porenbeton oder Kalkmörtel (unverputztes Mauerwerk ist luftdurchlässig).

Um den strengen Grenzwert dennoch einzuhalten, muss beim Bau von Passivhäusern ein beträchtlicher Aufwand bei Planung und Bauleitung betrieben werden. Das Gebäude wird in der Regel vor Beginn der Ausbauarbeiten einem Druckdifferenztest unterzogen, weil spätere Mängelbehebungen nur schwer oder gar nicht möglich sind.

Da die innere Verkleidung der Aussenwände, im Falle von Mauerwerk der Innenputz, die Luftdichtigkeitsschicht darstellt sind hier besondere Massnahmen nötig. Leerrohre und

Steckdosen werden nach Möglichkeit in Innenwänden platziert. Durchdringungen mit Befestigungsmitteln werden vermieden. Fugen zwischen verputzter Aussenwand und roher Geschossdecke werden mit speziellen Dichtungsbändern abgeklebt, bevor der Unterlagsboden eingebracht wird.

## Wärmedämmung und Wärmebrücken

Die Gebäudehülle muss mit einer ausreichend starken und lückenlosen Wärmedämmung versehen sein. Der U-Wert des schwächsten opaken Bauteils darf  $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$  nicht überschreiten. Um diese Werte zu erreichen sind mit gängiger Wärmedämmung Dämmstärken von ca. 260 mm nötig. Zudem muss weitgehend wärmebrückenfrei gebaut werden, da Wärmebrücken bei hohen Dämmstärken stark ins Gewicht fallen. Dies gilt etwa für auskragende Balkonplatten, Vordächer, ungünstige Fensteranschlüsse, Stützen- und Wandaufleger, Fundamente oder Liftschächte.

## Fenster und Türen

können obige U-Werte nicht aufweisen. Fenster sollen darum den ungünstigeren Wärmeschutz durch solare Gewinne wettmachen. Hierfür sind U-Wert und Gesamtenergiedurchlassgrad der Fensterscheibe wie folgt abzustimmen:

$$U_g - 1.6 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K}) \times g < 0$$

Geeignet sind demnach z.B. Fensterscheiben mit U- Wert von 0.6 und  $g = 52\%$ .

Sinnvolle (südliche) Ausrichtung und Grösse der Fenster ist zur Nutzbarmachung solarer Wärmegewinne elementar. Ein Fensteranteil von ca. 35% der Fassadenfläche gilt bei entsprechender Ausrichtung als günstig.

Weil es in Passivhäusern keine Heizkörper gibt, besteht auch keine Möglichkeit einen Kaltluftabfall vor Fenstern oder Türen zu bremsen. Deshalb ist es unbedingt notwendig, dass diese Bauteile einen U-Wert aufweisen der eine Oberflächentemperatur garantiert, welche nicht mehr als 3K unter der Raumtemperatur liegt. Behaglichkeitskriterium: Das gesamte Fenster muss unter Berücksichtigung eventueller Einbauwärmebrücken folgenden U-Wert einhalten

$$U_{w\text{Einbau}} \leq 0.85 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$$

Dieser  $U_{w\text{Einbau}}$ -Wert ist nur mit speziellen gedämmten Fensterrahmen erreichbar.

## Lüftung

Passivhäuser sind zwingend mit einer kontrollierten Lüftung auszustatten. Die Aussenluft wird über ein Erdregister vorgewärmt und dann über wärmegeämmte Kanäle einem Wärmetauscher zugeführt, der die Wärme der Abluft nutzt. Bei Bedarf wird der Zuluft über ein Nachheizregister Heizwärme zugeführt. Ein Kanalsystem mit Schalldämpfern verteilt die Zuluft auf Wohn- und Schlafzimmer, während die Abluft Küchen und Bädern entnommen wird.

## Lohstrasse: Ausgangslage

Das Untersuchungsobjekt umfasst die Liegenschaften Lohstrasse 6a und 6b in Kreuzlingen. Sie befinden sich in einem Baukörper von rund 50 m Länge, der durch Abtreppung in vier Teile gegliedert und durch zwei Treppenhäuser erschlossen ist. Westlich anschliessend befindet sich die Liegenschaft Lohstrasse 8a und 8b, gleichzeitig und in gleicher Bauweise erstellt. Heizung und Tiefgarage dienen dem gesamten Komplex. Wichtigste Kennzahlen zum Untersuchungsobjekt:

Anzahl Wohnungen:	19
Beheiztes Volumen (V):	6'630 m <sup>3</sup>
Oberfläche der thermischen Hülle (A)	3'311 m <sup>2</sup>
Energiebezugsfläche gem. WofIV:	1'989 m <sup>2</sup>

## Nutzung

Im Untergeschoss sind Tiefgarage, Kellerräume und Heizung untergebracht. Im EG und in den Obergeschossen befinden sich 19 Wohnungen auf drei Etagen. Im Dachgeschoss wurden in Eigenregie Flächen ausgebaut, welche ursprünglich nicht dem Wohnen dienen.

## Kompaktheit und Kubatur

Mit einem Verhältnis von Volumen zu Oberfläche  $V/A$  von rund 0.5 ist das Gebäude eher kompakt, was eine relativ günstige Ausgangslage für den winterlichen Wärmeschutz bedeutet: Die Hauptvolumen sind kompakt, jedoch leicht voneinander verschoben. Zudem gibt es im kleineren Massstab Einschnitte und Aufbauten, die die Oberfläche vergrössern.

## Hülle und Wärmeschutz

Das Gebäude befindet sich mehrheitlich im Originalzustand von 1986. Es ist in Massivbauweise erstellt und besitzt keine Aussendämmung. Die Aussenwände sind aus 24 bzw. 30 cm starkem Bimsbetonmauerwerk erstellt und verputzt. Sie bieten einen der Erbauungszeit entsprechenden Wärmeschutz ( $U = 0.41 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$ ). Die Südfassade wurde nachträglich mit 6cm Mineralwolle gedämmt und mit einer hinterlüfteten Eternitverschalung

verkleidet, einzelne Aussenwände im Bereich der Gebäudeversätze sind ursprünglich aus ungedämmtem Backstein erstellt und nachträglich geringfügig nachgedämmt worden. Das Dach ist mit ca. 14 cm Glaswolle zwischen den Sparren gedämmt, die Garagendecke ist teilweise etwas nachgedämmt worden. Es sind noch die originalen Holzfenster von 1986 vorhanden. Deren U-Wert darf mit  $U = 2.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$  angenommen werden. Die auskragenden Balkonplatten und die Wände unter der Kellerdecke stellen Wärmebrücken dar, die jedoch wegen der insgesamt bescheidenen Wärmedämmung heute nur schwach ins Gewicht fallen.

## Dichtigkeit

Die Luftdichtigkeit der Gebäudehülle ist nicht bekannt. Es muss aber von einem  $n_{50}$ -Wert um 3/h ausgegangen werden, was für die Erstellungszeit üblich wäre. Dichtungen von Fenstern und Türen und viele Einbaudetails haben sich in der Baupraxis seither deutlich verändert. Die Dichtigkeit der Hülle dürfte deutlich unter dem heute üblichen und um ein Mehrfaches unter dem für Passivhäuser geforderten Wert liegen (0.6/h).

## Ausrichtung

Die Giebelseiten richten sich nach Süden und Norden und weisen nur wenige Fenster auf, während Ost- und Westseite grosse Flächen viele Fenster aufweisen.

## Lüftung

Das Gebäude wird heute im wesentlichen durch die Fenster belüftet; die Nasszellen verfügen über Abluftventilatoren ohne Wärmerückgewinnung. In einigen Wohnungen gibt es raumluftabhängige Kaminöfen, die trotz Glastüre Ventilation bewirken.

## Heizung

Die heutige Wärmeerzeugung geschieht mit einem Zweistoffbrenner (Öl/Gas) mit einer Leistung von 150 kW, der auch die benachbarte Liegenschaft Lohstrasse 8a+b versorgt. Da unser Objekt rund 55% des gesamten Wohnkomplexes ausmacht, dürfte es rund 80 kW beanspruchen. Damit ist eine Heizlast von  $40 \text{ W}/\text{m}^2$  abgedeckt, also gut das Vierfache des für Passivhäuser zulässigen Werts. Die Wärmeverteilung erfolgt über Konvektoren und Fussbodenheizung.

## Behaglichkeit

Die Behaglichkeit scheint im wesentlichen erfüllt. Ausnahmen sind Zugerscheinungen im Dachgeschoss.

## Technischer Zustand

Im Moment befindet sich das Gebäude in gutem technischen Zustand. Es ist ordentlich unterhalten und es ist, abgesehen von Energiefragen, kein wesentlicher Sanierungsbedarf auszumachen. Ausnahme ist die Wärmeerzeugung, die vermutlich in absehbarer Zeit ersetzt werden muss.

## Lohstrasse: Weg zum Passivhaus

Vor dem Formulieren konkreter Massnahmenvorschläge soll hier aufgezeigt werden, ob und wie die einzelnen Passivhaus-Anforderungen beim Mehrfamilienhaus Lohstrasse 6a+b umgesetzt werden können.

## Nutzung

Die Nutzung als Wohnhaus steht dem Erreichen des Passivhaus-Standards in keiner Weise im Wege.

## Kompaktheit und Kubatur

Die Kompaktheit des beheizten Volumens bietet gute Voraussetzungen für ein Passivhaus. Die relativ grosse Oberfläche im Bereich von Dachgauben und Balkonen sollte jedoch reduziert werden. Dies ist möglich durch Vergrösserung der Gauben bis zur Fassadenebene und Verglasen der Loggien. Damit wird die Wohnfläche grösser (+ 7 %) und die Hüllfläche kleiner (- 7 %). Das Verhältnis A/V verbessert sich damit um mehr als 10 % von 0.5 auf 0.44. Mit verhältnismässig kleinen Massnahmen wird damit der Energiehaushalt erheblich verbessert.

Beheiztes Volumen (V) neu:	7'046 m <sup>3</sup>
Oberfläche der thermischen Hülle (A) neu:	3'076 m <sup>2</sup>
Energiebezugsfläche gem. WoFIV neu:	2'082 m <sup>2</sup>

## Hülle und Wärmeschutz

Ermittelt man die Transmissionswärmeverluste nach Korrektur der Kubatur (s.o.), so ergibt sich eine Zahl von 251'000 kWh oder 120 kWh/m<sup>2</sup>a. Das ist rund das Vierfache des Werts, der für ein Passivhaus nötig ist. Will man die Hülle passivhaustauglich machen, muss also der Wärmeverlust durch Transmission auf rund 25 % reduziert werden. Dachflächen und Kellerdecke müssen somit eine Dämmstärke von 25-30 cm aufweisen, Flächen zu unbeheizten Räumen und Erdreich 12-16 cm. Für die Fenster ist von einem Einbauwert von  $U = 0.85 \text{ W/m}^2\text{K}$  auszugehen, wozu Dreifachverglasungen, optimale Rahmen und Einbausituationen nötig sind. Diese Massnahmen versprechen eine rechnerische Reduktion der Transmissionsluste auf 28.5 kWh, also auf das angestrebte Viertel des heutigen Werts. Dabei ist berücksichtigt, dass einige erhebliche Wärmebrücken nicht eliminiert werden können.

## Dichtigkeit

Stimmt die Annahme einer heutigen Dichtigkeit von 3/h (Luftwechsel bei einem Druckunterschied von 50 Pascal), dann muss die Dichtigkeit zum Erreichen der Passivhausanforderung um einen Faktor 5 (!) verbessert werden. Die Erfahrung zeigt, dass dies kaum möglich ist: Das nachträgliche Abdichten eines Hauses hat auch bei handwerklich erstklassiger Ausführung Grenzen. Vorwandinstallationen, Schächte, Durchdringungen und Risse führen dazu, dass ein Wert von 1.5/h bei einer Sanierung schwer zu unterschreiten ist. Dieser Wert ist aber erreichbar, was immerhin eine Verbesserung um rund einen Faktor zwei bedeutet. Gegenüber einem Passivhaus ist jedoch noch immer mit einem hohen ungewolltem Luftaustausch zu rechnen.

## Ausrichtung

Einzig Südfenster, die es hier fast nicht gibt, liefern im tiefen Winter ernsthafte solare Wärmegewinne. Ost- und West-Fenster, die unser Objekt bestimmen, liefern begrenzte Gewinne im Frühling und Herbst, vor allem aber unerwünschte Gewinne im Sommer (morgens und abends). Das Fehlen von Südfenstern ist ein Nachteil, der aufgrund der Gebäudeausrichtung nicht korrigiert werden kann.

## Lüftung

Zwei wesentliche Einschränkungen bestehen gegenüber dem Einbau einer ordentlichen kontrollierten Lüftung: Erstens ist anzunehmen, dass die Dichtigkeit der Hülle auch nach einer Sanierung nicht ganz genügt für eine Passivhauslüftung mit Luftheizung (s.o.) und zweitens ist das Führen der Luftkanäle beim nachträglichen Einbau nur mit sehr grossem Aufwand möglich. Es empfiehlt sich eine Alternative, die dem Passivhaus nicht vollauf entspricht: Durch Verwendung der vorhandenen Abluftanlagen in den Nassräumen wird die Abluft gesammelt. Die Zuluft dringt durch Undichtigkeiten sowie einzelne kontrollierte Klappen ins Gebäude, kann aber freilich auf diesem Wege nicht vorgewärmt werden. Dies bedingt das Vorhandensein einer anderen Wärmeverteilung (die hier vorhanden ist). Die Rückgewinnung der Wärme aus der Abluft mit einer Wärmepumpe ist möglich, sofern die

Lüftung regelmässig in Betrieb ist. Im Fall eines lediglich bedarfsgesteuerten Betriebs ist die Wärmerückgewinnung aufgrund des wechselnden Volumenströme schwierig. In jedem Fall ist eine solche Abluftanlage der reinen Fensterlüftung vorzuzuziehen. Diese birgt beim künftig dichten Haus das Risiko von Feuchteschäden, wenn die Bewohner nicht regelmässig kräftig lüften.

## Heizung

Auch wenn die Anforderungen an ein Passivhaus nicht ganz erreicht werden, ist mit einer Heizlast von nur einem Drittel der heutigen zu rechnen, Diese Heizlast ( $15\text{W}/\text{m}^2$ ) alleine über die Lüftung zu decken (s.o.) ist bei komfortablen Bedingungen nicht möglich. Umso mehr bietet es sich an, auf die bestehende Wärmeverteilung zurückzugreifen. Für die Wärmeerzeugung bestehen alle Optionen von fossilen Energieträgern über Holz, Wärmepumpe oder ein Blockheizkraftwerk, das neben Wärme auch Strom erzeugt. Wird in Etappen saniert, dann ist für den bald nötigen Heizungsersatz eine Lösung zu wählen, die im Zuge künftiger Sanierungsetappen sukzessive ihre Leistung reduzieren kann.

Die heutigen offenen Kamine (Cheminées, teilweise verglast) bergen zwei Schwierigkeiten. Zum einen würden sie im sanierten Haus so viel Wärme produzieren, dass regelmässig Überhitzung einträte. Zum anderen sind sie im ziemlich dichten Haus nur funktionsfähig, wenn sie eine separate Frischluftzufuhr erhalten oder die Bewohner gezielt Fenster öffnen während des Ofenbetriebs. Am sinnvollsten erscheint ein Ersatz durch kleinste Speicheröfen mit direkter Frischluftzufuhr, deren Leistung dem geringen Wärmebedarf des sanierten Hauses entspricht. Diese könnten dann, bei regelmässigem Betrieb, den gesamten Wärmebedarf einer Wohnung über einen Winter decken.

## Konkrete Sanierungsmassnahmen

Im folgenden wird aufgrund der vorangehenden Überlegungen ein Massnahmenplan vorgeschlagen, der nicht nur versucht, dem Ziel eines Passivhauses möglichst nahe zu kommen, sondern auch ein Vorgehen darstellt, das die Eigentümer überzeugen kann und soll. Von den zahlreichen in Frage kommenden Lösungen wählen wir einen sinnvoll erscheinenden Massnahmenplan aus, der etwas detaillierter betrachtet wird, ohne den Anspruch zu erheben, jedem anderen Vorgehen überlegen zu sein.

## Passivhaus?

Das vorangehende Kapitel hat gezeigt, dass die hundertprozentige Erfüllung der Passivhaus-Kriterien gewiss möglich (siehe Anhang), aber mit unverhältnismässigem Aufwand verbunden wäre, insbesondere wenn sukzessive Sanierungsschritte im bewohnten Haus geplant sind. Wesentliche Hindernisse für ein echtes Passivhaus sind die baulichen Schwierigkeiten, die geforderte Dichtigkeit zu erreichen, die geometrischen Schwierigkeiten, eine ordentliche kontrollierte Lüftung einzubauen und in der Folge die Schwierigkeit, die verbleibende Heizlast alleine über vorgewärmte Zuluft zu gewährleisten. Trotz dieser Vorbehalte können ganz wesentliche Merkmale des Passivhauses erreicht werden, zu denen wir einen drastisch reduzierten Energieverbrauch, hohen Komfort und eine hohe Funktionssicherheit und Langlebigkeit zählen. Das Ziel, ein hundertprozentiges Passivhaus

zu erreichen, wird jedoch an dieser Stelle explizit verlassen (Später wird sich zeigen dass hingegen der Minergie-P-Standard erreicht wird).

## **Wie etappieren?**

Ziel einer sinnvollen und für die Eigentümer überzeugenden Etappierung ist es, ein klares Ziel vor Augen zu haben, ohne überstürzte und wirtschaftlich fragwürdige Massnahmen zu treffen. Umso anspruchsvoller ist es, einen auf Jahrzehnte ausgelegten Massnahmenplan zu schaffen, dessen Vollendung erstens unsicher und zweitens sicherlich in anderen Händen – einer neuen Generation von Eigentümern – sein wird. Ob der Plan tatsächlich vollendet wird, wird nicht nur an der Qualität dieses Plans, sondern auch an der allgemeinen wirtschaftlichen Lage, an Energiepreisen und an Förderbedingungen liegen.

Wir gehen davon aus, dass ein Massnahmenplan umso überzeugender für die Eigentümer ist, wenn möglichst nur Teile saniert werden, die ohnehin ihre Lebensdauer erreicht haben. Das ist vorerst nur bei der Wärmeerzeugung der Fall, mittelfristig werden auch Dach und Fassade ein Alter erreichen, das eine Sanierung rechtfertigen kann.

## **Erzielbare Energieersparnisse der Massnahmen**

Für die drei Massnahmenpakete wurde jeweils der Heizwärmebedarf nach Abschluss des betreffenden Pakets ermittelt. Hierfür wurden das Passivhaus-Projektierungs-Paket (PHPP) verwendet. Die Eingaben erfolgten auf Basis bekannter Daten, teilweise aufgrund realistischer Annahmen. Die Berechnungen zeigen, dass das Haus im Endzustand, also nach Vollendung aller drei Sanierungspakete, einen Heizwärmebedarf von 31 kWh/m<sup>2</sup>a erreicht. Bringt man den nutzbaren Anteil der zurückgewonnenen Wärme aus der Abluft in Abzug erhält man mit 23kWh/m<sup>2</sup>a einen Wert, der nahe an die Passivhausanforderung kommt (15 kWh/m<sup>2</sup>a). Gegenüber heute gelingt es, den Heizwärmebedarf um einen Faktor vier zu senken. Aufschlussreich ist zudem, dass der Minergie-P-Standard, wie am Schluss der Arbeit aufgeführt wird, erreicht wird.

## **Kosten der Massnahmen**

Für die vorgeschlagenen baulichen Sanierungsmassnahmen sind die zu erwartenden Kosten als Grössenordnungen erfasst worden. Basis dieser Kostenermittlung ist ein Berechnungswerkzeug, das der Kanton Thurgau für Energiediagnosen entwickelt hat. Die auf diesem Weg ermittelten Kosten erweisen sich erfahrungsgemäss als plausible Grössenordnungen. Dennoch verstehen sie sich ohne jede Gewähr. Eine ernsthafte Kostenschätzung würde die genauere Beschreibung der baulichen Leistungen voraussetzen und damit den Rahmen der vorliegenden Arbeit sprengen. Die Kostenangaben verstehen sich für 2009, es gilt somit auch der Vorbehalt der Teuerung sowie neuer baulicher Entwicklungen oder Anforderungen, die kostenrelevant sind. Die nachstehende Übersicht ergibt eine Grössenordnung von knapp 3.0 Mio. (oder 150'000 Franken pro Wohnung), verteilt auf einen Zeitraum von 20 Jahren:

Kosten Massnahme 1	CHF 450'000
Kosten Massnahme 2	CHF 600'000
Kosten Massnahme 3	CHF 1'800'000
<b>Kosten Sanierungsetappen total</b>	<b>CHF 2'850'000</b>

## Energiekosteneinsparung

Die jährliche Einsparung an Energiekosten entspricht zu heutigen Preisen rund 20'000 bis 30'000 Franken pro Jahr (1'000 bis 1'500 pro Wohnung). Die Einsparung an Energiekosten alleine dürfte kein genügender Grund sein, sich für die Sanierung in Schritten zu entscheiden. Verbindet man mit der Sanierung aber auch Komfortsteigerung, Wohnraumerweiterung und (ohnein anstehende) Unterhaltsarbeiten, dann lässt sich die vorgeschlagene Sanierung wirtschaftlich rechtfertigen.

## Massnahmenpaket 1: Ersatz Wärmeerzeugung, Dämmen der Kellerdecke, Zeitraum 2010 – 2012

Eine Sanierung der heutigen Wärmeerzeugung ist in absehbarer Zeit nötig, da der bestehende Kessel seine Lebensdauer bald erreicht hat. Diese Feststellung ist der Anlass für die Eigentümerschaft gewesen, sich mit dem Energiehaushalt ihres Gebäudes zu beschäftigen.

Zusammen mit der unbestrittenen Heizungssanierung schlagen wir vor, auch die Kellerdecke und die Wände gegen die Einstellhalle zu dämmen. Hierfür gibt es keine dringenden technischen Gründe, die erzielbaren Energieersparnisse sind aber spürbar, so dass die neue Wärmeerzeugung etwas kleiner als die heutige dimensioniert werden kann. Zudem ist diese Massnahme unabhängig durchführbar, mit relativ geringen Kosten und gleichzeitig einer Komfortsteigerung im Erdgeschoss verbunden. Einziger Nachteil dieser Massnahme ist eine gewisse Abkühlung des Untergeschosses (da es kaum noch von oben geheizt wird).

Die Heizungserneuerung betrifft auch die Nachbarliegenschaft Lohstr. 8a+b. Wir schlagen vor, eine Wärmepumpe mit Erdsonden und zusätzlich zwei Gasbrennwertkessel vorzusehen. Das ist aufwändiger als ein einfacher Ersatz von Kessel bzw. Brenner, bietet aber mehr Optionen für die Zukunft: Zum einen ist die spätere Loslösung von der Nachbarliegenschaft möglich (indem ihr einer der beiden Kessel zugewiesen wird). Zum anderen ist der Weg zum Fast-Passivhaus vorgespurt: Nach Abschluss der nachfolgend beschriebenen dritten Sanierungsetappe würde die Wärmepumpe alleine genügen, den dannzumal geringen Wärmebedarf zu decken. Vorläufig, nach Dämmung der Kellerdecke, könnte die Gesamtleistung der neu anzuschaffenden Wärmeerzeugung bereits in der Grössenordnung von 20 kW oder 25% geringer ausfallen.

Für die Dämmung der Kellerdecke sowie der Wände gegen die Einstellhalle schlagen wir eine Stärke von 20-30 cm vor, die dem Passivhausstandard entspricht und geometrisch keine Schwierigkeiten darstellt. Beide Massnahmen würden auf der Seite der Einstellhalle erfolgen und somit eine einfache Ausführung zulassen, die die Wohnräume baulich nicht tangiert.

<b>Kosten Ersatz Wärmeerzeugung (Anteil Lohstr. 6a+b)</b>	<b>CHF 200'000</b>
<b>Kosten Dämmungen Untergeschoss</b>	<b>CHF 250'000</b>

<b>Kosten total Massnahme 1</b>	<b>CHF 450'000</b>
---------------------------------	--------------------

<b>Reduktion des Heizwärmebedarfs:</b>	<b>von 118 auf 76 kWh/m<sup>2</sup>a</b>
--	--

## **Massnahmenpaket 2: Sanierung Dach, Zeitraum 2012 – 2020**

Als zweites Massnahmenpaket schlagen wir eine vollständige Sanierung des Dachs auf Passivhausstandard vor, bei der zugleich die Dacheinschnitte zu Gauben umgebaut werden. Dieses Paket verspricht die Beseitigung der heutigen Zugerscheinungen, eine Vereinfachung der Gebäudehülle (weniger Aussenhautfläche), einen geringen Gewinn an Wohnfläche, aber, gleichzeitig, auch einen Verlust an Aussensitzplätzen, der erst mit Paket 3 wieder wettgemacht wird. Dichtigkeit und Wärmedämmung der Dachflächen werden durch dieses Paket sehr deutlich verbessert. Auch wenn das heutige Dach zum Sanierungszeitpunkt vermutlich noch nicht am Ende seiner Lebensdauer sein wird, dürfte sich diese umfassende Massnahme rund 30 Jahre nach Erstellung mit erheblichen Energieeinsparungen und Komfortgewinn rechtfertigen lassen. Die Sanierung ist im bewohnten Zustand durchführbar, wenn vorübergehende Beeinträchtigungen akzeptiert werden.

Die Dämmstärke soll neu rund 45-50 cm neu betragen, indem auf das bestehende Unterdach eine Dichtigkeitsschicht gesetzt und darauf nochmals 30-40 cm Wärmedämmung aufgebracht werden. Diese besonders hohe Dämmstärke gleicht Wärmebrücken und geometrisch bedingte beschränkte Dämmstärken an anderen Bauteilen aus.

<b>Kosten neue Gauben und Dachflächenfenster</b>	<b>CHF 200'000</b>
--	--------------------

<b>Kosten Dachdämmung</b>	<b>CHF 400'000</b>
---------------------------	--------------------

<b>Kosten total Massnahme 2</b>	<b>CHF 600'000</b>
---------------------------------	--------------------

<b>Reduktion des Heizwärmebedarfs</b>	<b>von 76 kWh/m<sup>2</sup>a auf 69 kWh/m<sup>2</sup>a</b>
---------------------------------------	--

### **Massnahmenpaket 3: Fassadensanierung, Fensterersatz, Solaranlage, Abluftanlage, Zeitraum 2020 – 2030**

Mit dem vorgeschlagenen dritten und sehr umfangreichen Massnahmenpaket wird die Hülle und Wärmeerzeugung des Hauses, rund 40 Jahre nach seiner Erstellung, nahe an den Neubaustandard eines Passivhauses gebracht.

Das heutige Bimsmauerwerk ohne Dämmschicht soll neu mit einer Wärmedämmung von 26 cm versehen werden (z.B. Mineralwolle, hinterlüftet). Für den Fensterersatz schlagen wir neue Holz- bzw. Holzmetallfenster mit 3-fach-Isolierverglasung vor. Die Verwendung konventioneller Fensterrahmen, also der Verzicht auf hochdämmende Passivhaus-Rahmen, erscheint vertretbar. Die Aussenwand erreicht damit neu einen U-Wert von 0.15 die Fenster einen U-Wert von 0.95 W/m<sup>2</sup>K. Durch Verwendung zeitgemässer Fenster und entsprechende Montage wird auch die Dichtigkeit des Gebäudes deutlich verbessert.

Auf die bereits geringfügig gedämmte Südfassade soll nebst zusätzlicher Dämmung ein Feld von rund 80 m<sup>2</sup> Warmwasser-Sonnenkollektoren angebracht werden, das die Fassade damit weitgehend ausfüllt.

Für die Lüftung schlagen wir im Sinne der vorangegangenen Erwägungen eine bedarfsgesteuerte Abluftanlage vor, die auf der bereits bestehenden Lüftung basiert.

<b>Kosten Fensterersatz</b>	<b>CHF 350'000</b>
<b>Kosten neue Aussendämmung</b>	<b>CHF 600'000</b>
<b>Kosten Balkonersatz und Diverse</b>	<b>CHF 650'000</b>
<b>Kosten Sonnenkollektoren und Abluftsystem</b>	<b>CHF 200'000</b>
<b>Kosten total Massnahme 3</b>	<b>CHF 1'800'000</b>
<b>Reduktion des Heizwärmebedarfs</b>	<b>von 69 auf 32 kWh/m<sup>2</sup>a</b>

# Schlussfolgerungen

## Arbeitshypothese 1: Erreichen des Passivhaus-Standards

Diese erste Hypothese ist – zumindest für das vorliegende Fallbeispiel und die dafür entwickelten Szenarien – nicht ganz erfüllt worden. Die vom Passivhaus geforderte Dichtigkeit und die kontrollierte Passivhauslüftung könnten nur mit einem Aufwand an inneren Umbauten erreicht werden, der unverhältnismässig erscheint. Hingegen kann klar gesagt werden, dass man, mit durchaus vertretbaren und vernünftigen Massnahmen, in die Nähe des Passivhaus-Standards kommt.

Dies wird dadurch unterstrichen, dass das Erreichen des Minergie-P-Standards beim vorgeschlagenen Massnahmenpaket nachgewiesen wurde, eines Standards, der ebenfalls sehr hohe Massstäbe setzt.

## Arbeitshypothese 2: Sinnvolle Etappierbarkeit

Unter dem Vorbehalt, dass der Passivhaus-Standard nicht ganz erreicht wird, trifft die zweite Hypothese zu: Es ist tatsächlich eine Aufteilung der Sanierungsschritte in Etappen gut vorstellbar, die in sich Sinn machen, wirtschaftlich und technisch vertretbar sind und das Haus sukzessive einem tieferen Energieverbrauch zuführen.

## Mögliche Alternativen am Fallbeispiel

Sollte zum Zeitpunkt der Fassadensanierung auch eine Erneuerung der Nasszellen anstehen, dann wäre es denkbar, weitergehende Massnahmen in bezug auf Dichtigkeit und kontrollierte Lüftung zu realisieren, die den Energieverbrauch dem Passivhaus noch weiter annähern würden. Relativ breit ist das Feld möglicher Alternativen in der Wärmeerzeugung, die von einer Holzpelletsheizung bis zum Blockheizkraftwerk (z.B. mit Pellets betrieben) reichen.

## Übertragbarkeit auf andere Bauten

Das MFH Lohstrasse entspricht zahlreichen mitteleuropäischen Wohnbauten aus seiner Erbauungszeit. Gegenüber älteren Bauten ist sein bestehender Energieverbrauch (und damit das Sparpotenzial) bereits etwas reduziert. Neuere Bauten, etwa ab 1990, weisen wiederum bessere Dämmwerte und damit tiefere Verbräuche auf. Wesentlich verbessern würde sich die Energiebilanz unseres Fallbeispiels, wenn es in Ost-West-Richtung gestreckt wäre (statt Nord-Süd): Es hätte dann zahlreiche Südfenster mit entsprechenden solaren Gewinnen.

## Minergie P erreicht!

Die vorgeschlagene Sanierung erfüllt, wie gezeigt wurde, die Passivhaus-Anforderungen nicht, hingegen genügt sie den Anforderungen für das Label Minergie P. Wie sich die beiden Standards, die gleichermassen besonders hohe Ansprüche an den Energiehaushalt eines Gebäudes stellen, in unserem Fall unterschiedlich auswirken, soll hier kurz zusammengefasst werden.

In bezug auf die *Dichtigkeit* verlangt das Passivhaus konsequent die Einhaltung eines Luftwechsels von 0.6/h. Minergie P verlangt diesen Wert für Neubauten ebenfalls, akzeptiert bei Sanierungen hingegen eine weniger dichte Hülle mit einem Luftwechsel von 1.5/h. Dieser Wert wurde hier angenommen und als machbar angesehen, ohne das Haus einer radikalen Renovation (auch von innen) zu unterziehen.

Die *Lüftung* muss beim Passivhaus zwingend kontrolliert mit Erwärmung der Zuluft über einen Wärmetauscher erfolgen. Minergie P akzeptiert hingegen auch eine Abluftanlage mit nachströmender Frischluft wie hier vorgeschlagen (und mit vertretbarem baulichen Aufwand nachrüstbar).

Der *Heizwärmebedarf* ist beim Passivhaus strikt auf 15 kWh/m<sup>2</sup>a limitiert, einen Wert, den wir hier um gut 100% überschreiten. Minergie P sieht hingegen einen Grenzwert vor, der abhängig von der Geometrie des Gebäudes ist und für uns bei 24 kWh/m<sup>2</sup>a liegt. Zudem erlaubt Minergie P das Gegenrechnen von Gewinnen aus Wärmerückgewinnung und Solaranlage, so dass unser Sanierungskonzept Minergie P erfüllt.

Weitere Unterschiede zwischen Passivhaus und Minergie P sind in der Bemessung der Energiebezugsfläche, der Fensterfläche, der zulässigen U-Werte und zahlreichen weiteren Punkten zu finden. Auch die Berechnung des Primärenergieaufwands, eines entscheidenden Kriteriums, erfolgt sehr unterschiedlich.

## Schlussbemerkung

Die vorliegende Auseinandersetzung mit einem Mehrfamilienhaus, das stellvertretend für Tausende ähnlicher Bauten in Mitteleuropa steht, war überaus aufschlussreich.

Sie zeigt, dass nicht nur die wärmetechnische Sanierung von ungedämmten Bauten, wie sie bis 1970 entstanden, Sinn macht: Auch Bauten, aus der Zeit nach 1980, die bereits mit ersten Wärmeschutzmassnahmen versehen wurden, haben das Potenzial, ihren Energieverbrauch auf einen Bruchteil des heutigen Werts zu senken.

Zudem zeigt sich, dass eine solche ehrgeizige Sanierung durchaus in Etappen vorstellbar ist, die wirtschaftlich und technisch im bewohnten Haus vertretbar sind.

Es bleibt abzuwarten, ob der ehrgeizige Absenkungspfad für den Energieverbrauch bei Bauten wie dem hier untersuchten Mehrfamilienhaus tatsächlich vermehrt eingeschlagen wird. Steigende Energiepreise und das wachsende Bedürfnis, sich davon unabhängig zu machen, sprechen dafür.

Ein wesentliches Hindernis wird freilich darin bestehen, einen Sanierungsplan anzugehen, dessen Umsetzung zwei Generationen von Besitzern und Bewohnern betrifft. Ungleich einfacher sind Beispiele von Bauten älteren Datums, an denen jahrzehntelang kaum etwas erneuert wurde: Hier lässt sich ohne weiteres eine einmalige Sanierung, wie hier beschrieben aber ohne Etappen, vertreten.

Mein Dank gilt zum Schluss der internationalen Energieagentur (IEA), ihrem Programmleiter Robert Hastings sowie dem Bundesamt für Energie für das erwiesene Vertrauen und die Beauftragung mit dieser anspruchsvollen Aufgabe. Ebenso zu Dank verpflichtet sind wir Jost Rüegg, dessen kritischer Input als Vertreter der Eigentümer von grossem Wert war. Mein Dank gilt schliesslich meinen Mitarbeitern Christoph Hahn für die Vorbereitung der Arbeit sowie Johannes Vogel, der sich hartnäckig und sehr sorgfältig mit den Tücken des Energiehaushalts unseres Objekts auseinandergesetzt hat; besonderer Dank gilt abschliessend René Naef, der als ausgesprochen kompetenter und erfahrener Planer erfolgreicher Niedrigstenergiebauten viele Fragen der Haustechnik, aber auch des gesamten Energiehaushalts kritisch beleuchtet und untersucht hat.

Januar 2010 Peter Dransfeld

# Anhang



**Bild oben: Ansicht von Nordosten**

Die vier Teilbaukörper sind in der Höhe und seitlich jeweils leicht voneinander versetzt.

**Bild unten: Ansicht von Südosten**

Schwach erkennbar am rechten unteren Bildrand die Zufahrt zur Einstellhalle (Tiefgarage).

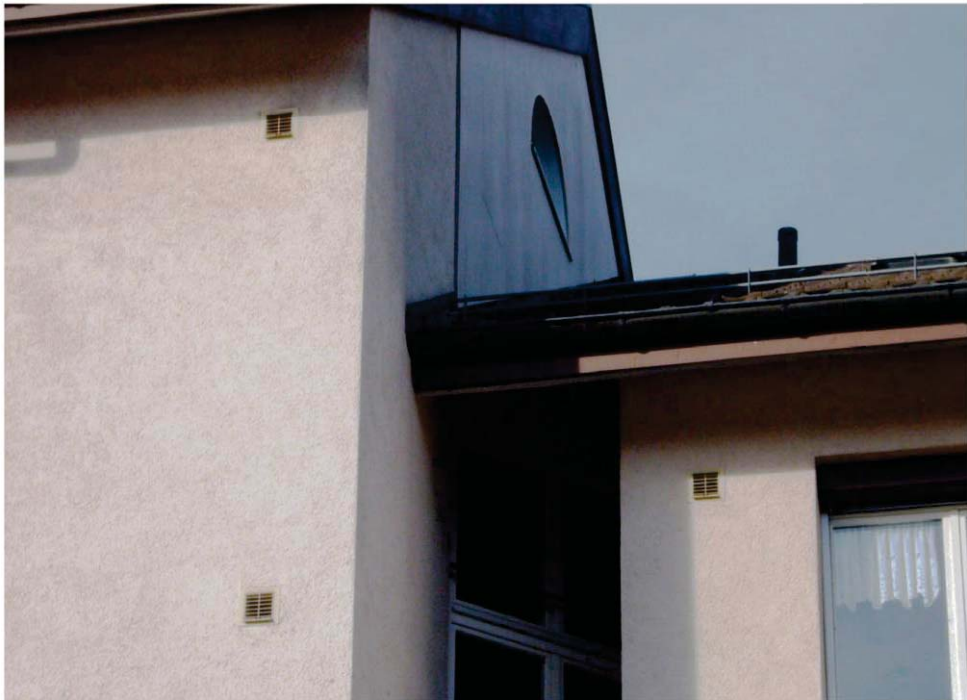


**Bild oben: Ansicht von Südwesten**

Die südliche Giebelwand ist als einzige bereits nachträglich verkleidet und geringfügig gedämmt worden.

**Bild unten: Ansicht von Nordosten**

Die nördliche Giebelwand ist, wie Ost- und Westwände, verputzt ohne Verkleidung oder Zusatzdämmung.



**Bild oben: Dachgaube**

Die Gaube mit eingeschnittener Terrasse ist wärmetechnisch eine besondere Schwachstelle. Darum wird empfohlen, hier die Kubatur zu vereinfachen.

**Bild unten: Versatz zweier Hausteile**

Die Giebelwände zwischen den Hausteilen wurden ursprünglich in ungedämmtem Backstein erstellt, nachträglich geringfügig von aussen gedämmt.

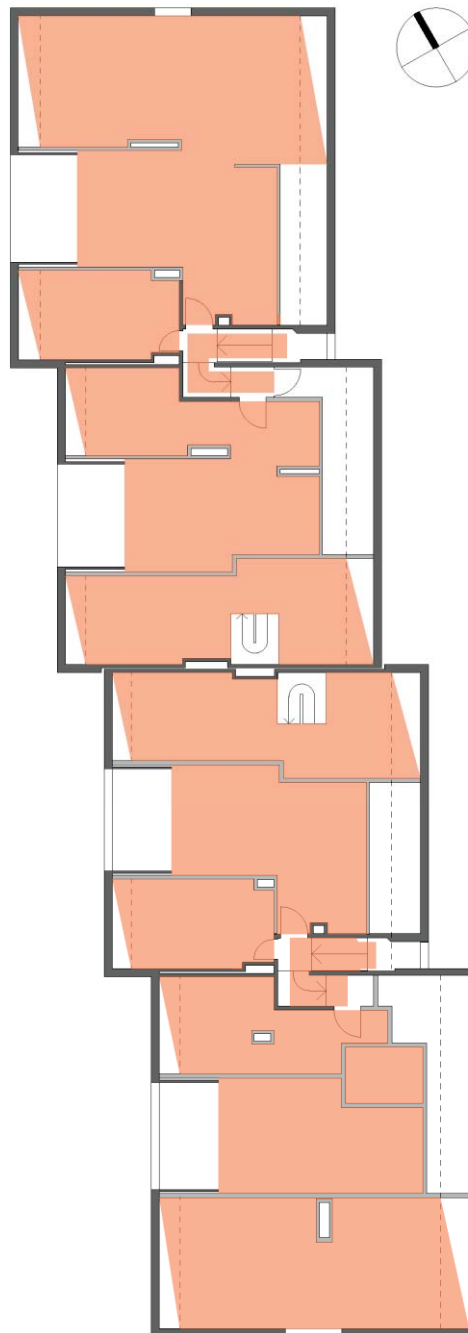


**Bild oben: Loggia**

Auch die eingezogenen Loggien stellen Schwachstellen für den Wärmeschutz dar. Hier wird ebenfalls eine Bereinigung der Kubatur empfohlen.

**Bild unten: Balkon**

Die auskragende Balkonplatte (höchstwahrscheinlich ohne Kragplattenanschluss) ist ebenso eine Schwachstelle, deren Bereinigung empfohlen wird.

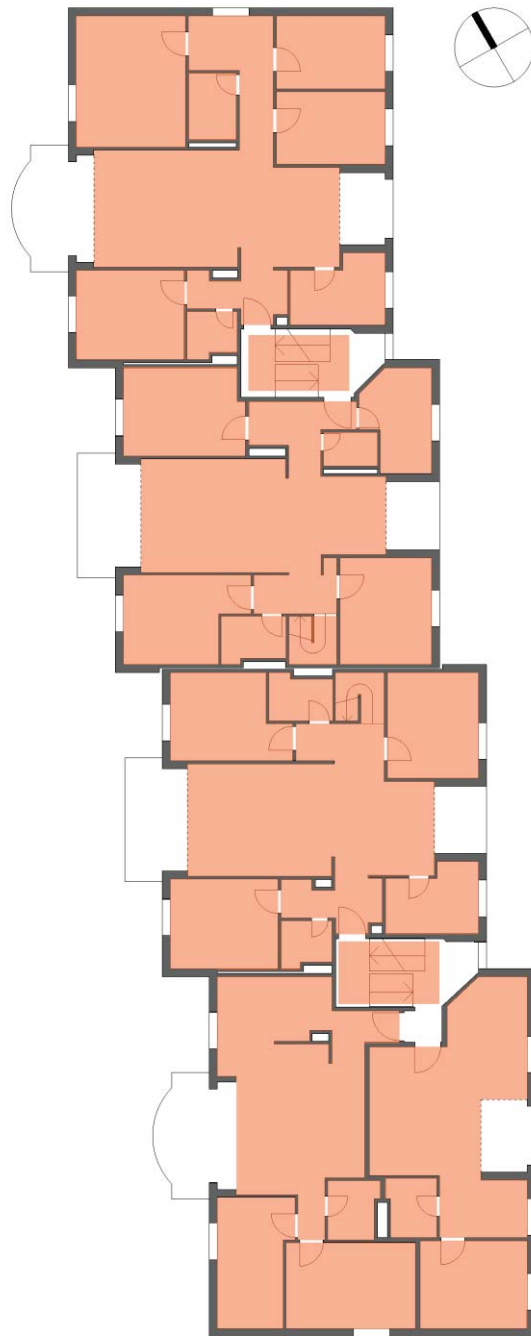


**Bild: Grundriss Dachgeschoss mit Energiebezugsfläche Bestand**

Gemäss Passivhaus-Projektierungspaket wird als Energiebezugsfläche der Anteil der Wohnfläche nach der deutschen Wohnflächenverordnung betrachtet, der sich innerhalb der thermischen Hülle befindet.

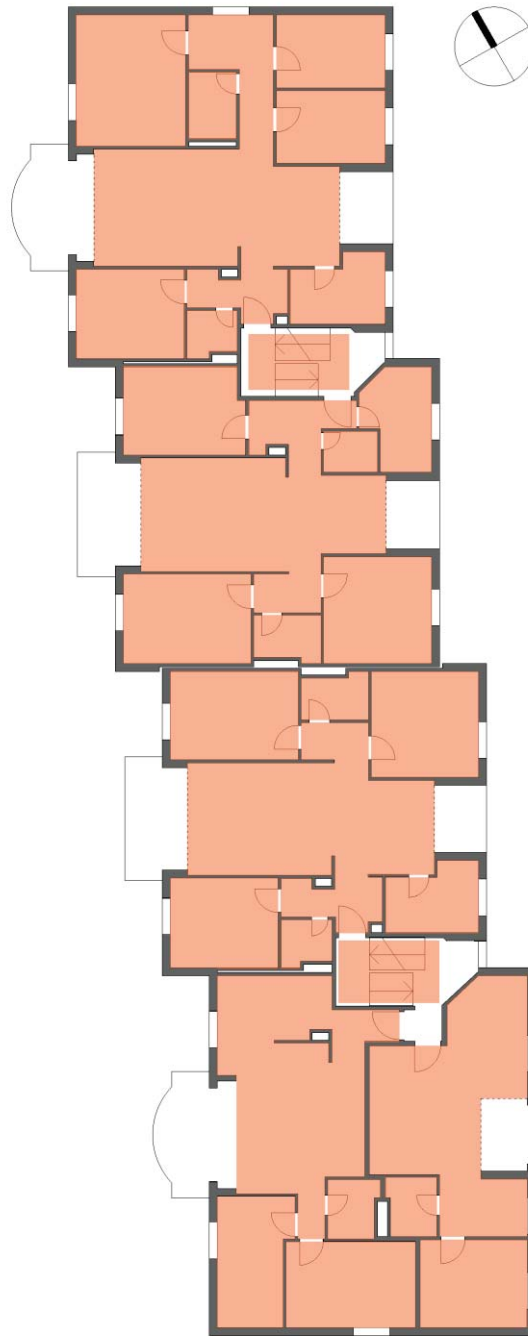
Dies im Gegensatz zur Energiebezugsfläche nach Schweizer SIA-Norm 380/1, die im wesentlichen der Bruttogeschossfläche entspricht (also auch Aussenwände einschliesst).

Flächen in Dachschrägen und unausgebaute Flächen sind reduziert bzw. nicht gezählt.



**Bild: Grundriss 2. Obergeschoss mit Energiebezugsfläche Bestand**

Interne Schächte werden nicht gezählt, Treppenhäuser nur mit reduzierter Fläche.

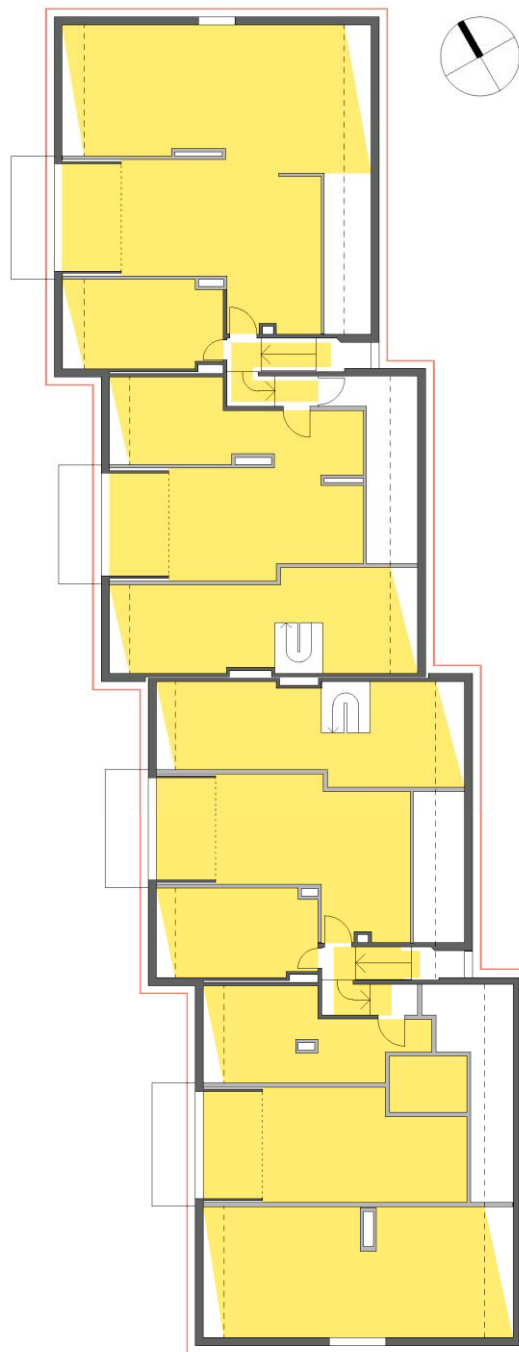


**Bild: Grundrisse 1. Obergeschoss / Erdgeschoss mit Energiebezugsfläche Bestand**



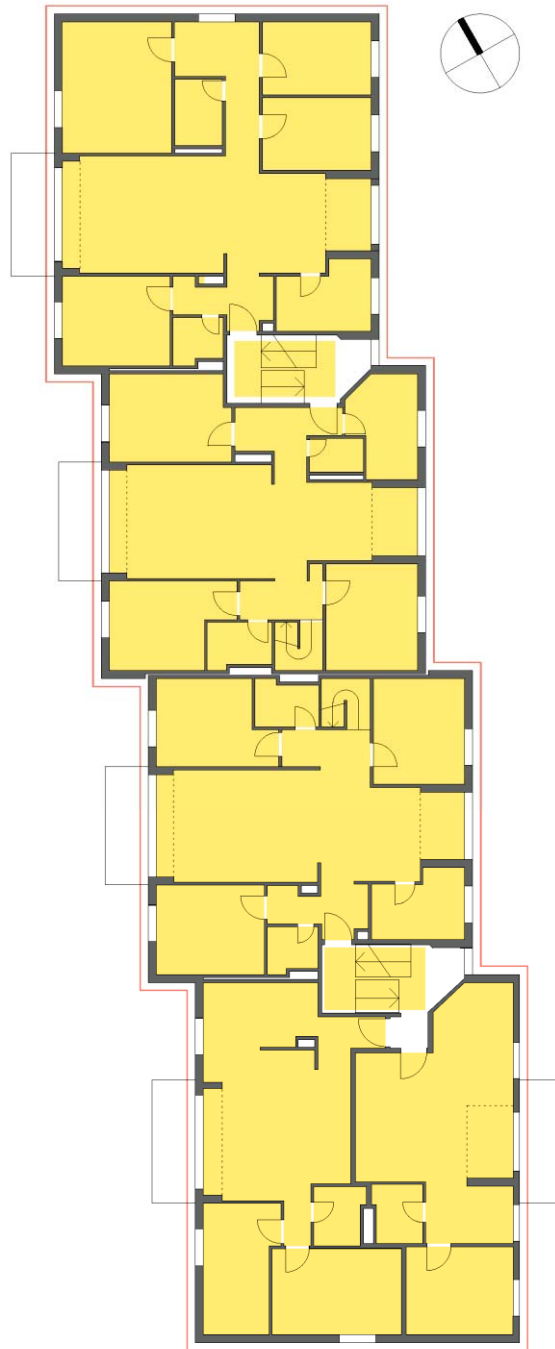
**Bild: Grundriss Untergeschoss mit Energiebezugsfläche Bestand**

Lediglich die aktiv beheizten Räume werden voll gezählt (z.B. Waschküche), andere temperierte Räume werden reduziert gezählt. In der Mitte des Gebäudes durchschneidet die Einstellhalle den Grundriss.



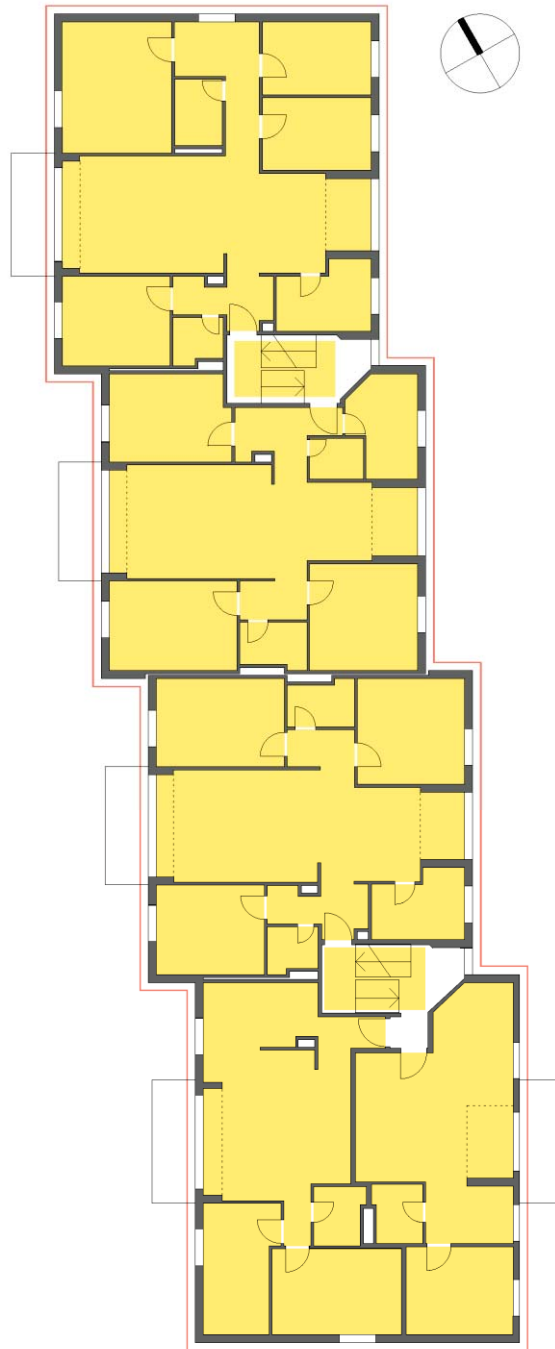
**Bild: Grundriss Dachgeschoss mit Energiebezugsfläche saniert**

Die dünne rote Linie zeigt den Verlauf der neuen Aussenwärmedämmung. Die Energiebezugsfläche hat sich durch das Einschliessen der eingezogenen Balkone vergrössert.



**Bild: Grundriss 2. Obergeschoss mit Energiebezugsfläche saniert**

Auch hier hat sich die Energiebezugsfläche durch Einbezug der vormaligen Loggien vergrößert.



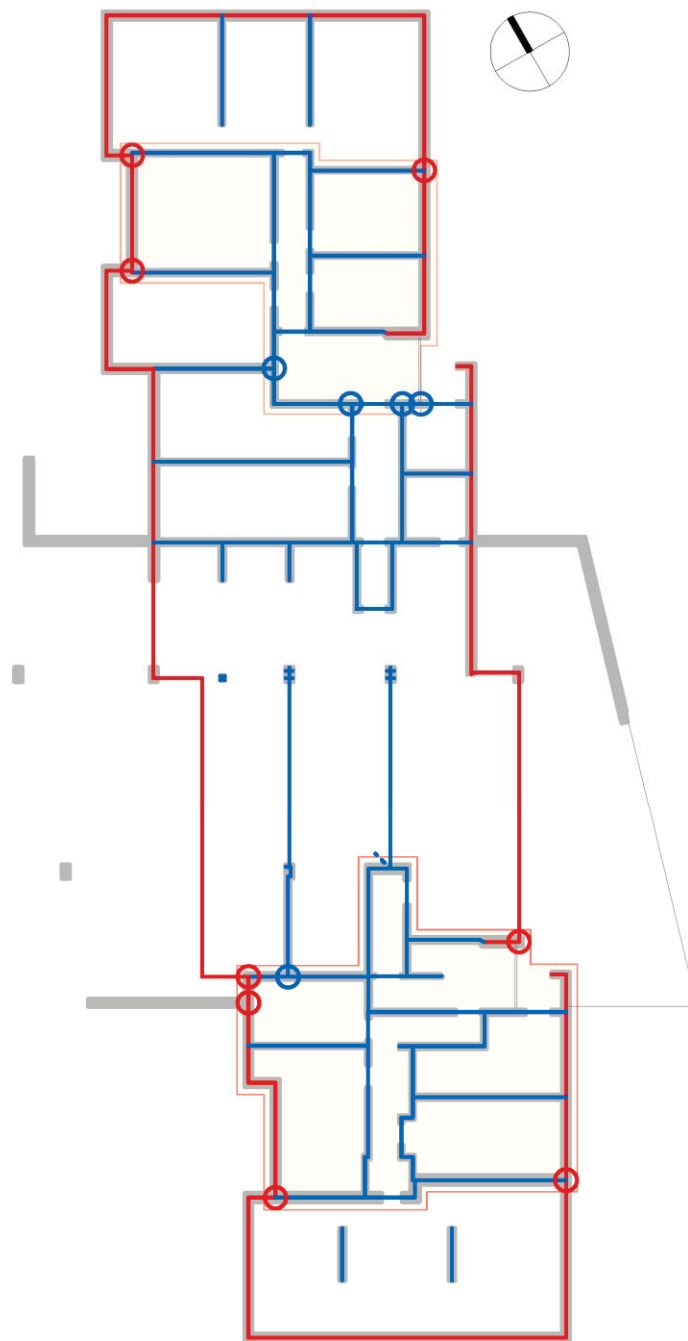
**Bild: Grundriss 1. Obergeschoss / Erdgeschoss mit Energiebezugsfläche saniert**

Die Energiebezugsfläche hat sich durch Einbezug der vormaligen Loggien in gleicher Weise wie im 2. Obergeschoss verändert.



**Bild: Grundriss Untergeschoss mit Energiebezugsfläche saniert**

Die Energiebezugsfläche ist unverändert geblieben. Neu sind jedoch die warmen Räume konsequent durch eine Dämmung umschlossen (rote Linie).



### Bild: Wärmebrücken nach Sanierung

Rot sind die Wärmebrücken am Fuss der Aussenwände dargestellt: Die künftig im Warmen liegenden Aussenwände der Wohngeschosse ruhen auf der kalten Kellerwand. Im Neubau würde man hier einen gedämmten Mauerfuss verwenden.

Blau sind die Wärmebrücken dargestellt, die Mauerfüsse oder Mauerkronen von Innenwänden bilden (Wände auf der gedämmten Bodenplatte oder unter der gedämmten Kellerdäche).

Kreise stellen senkrecht verlaufende lineare Wärmebrücken dar, die warme mit kalten Bauteilen verbinden (z.B. zusammenhängende Aussenwände zwischen gedämmten und ungedämmten Räumen).

# Passivhaus-Projektierung

## ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME

Klima: <b>Konstanz</b>		Innentemperatur: <b>20.0</b> °C	
Objekt: <b>MFH Lohstrasse Bestand</b>		Gebäudetyp/Nutzung: <b>Mehrfamilienhäuser</b>	
Standort: <b>Kreuzlingen</b>		Energiebezugsfläche A <sub>EG</sub> : <b>2082.0</b> m <sup>2</sup>	

Bauteile	Temperaturzone	Fläche m <sup>2</sup>	U-Wert W/(m <sup>2</sup> K)	Temp.-faktor f <sub>t</sub>	G <sub>t</sub> kWh/a	pro m <sup>2</sup> Energiebezugsfläche kWh/(m <sup>2</sup> a)
1. Außenwand Außenluft	A	1086.4	0.584	1.00	50481	
2. Außenwand Erdsreich	B	88.2	2.879	0.63	12803	
3. Dach/Decken Außenluft	A	925.6	0.620	1.00	45648	
4. Bodenplatte	B	192.5	2.321	0.63	22530	
5. Boden geg. unbeheizt	B	243.5	1.218	0.63	14953	
6. Wand geg. unbeheizt	B	109.0	3.434	0.63	18875	
7. Türen gegen unbeheizt	X	12.0	3.846	0.68	2497	
8. Fenster	A	412.1	2.529	1.00	82901	
9. Außentür	A			1.00		
10. Wbrücken außen (Länge/m)	A			1.00		
11. Wbrücken Perimeter (Länge/m)	P			0.63		
12. Wbrücken Boden (Länge/m)	B			0.63		
Summe aller Hüllflächen		3069.3				

**Transmissionswärmeverluste Q<sub>T</sub>** Summe: **250687** kWh/a pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche: **120.4**

<b>Lüftungsanlage:</b>	effektiver Wärmebereitstellungsgrad der Wärmerückgewinnung η <sub>eff</sub> <b>0%</b>	wirksames Luftvolumen V <sub>l</sub> m <sup>3</sup> <b>4944.8</b>	A <sub>l</sub> m <sup>2</sup> <b>2082.0</b>	lichte Raumhöhe h m <b>2.38</b>	A <sub>l</sub> · h m <sup>3</sup> <b>4944.8</b>
Wärmerückstellungsgrad des Erdreichwärmelübert: η <sub>EWG</sub> <b>0%</b>	energetisch wirksamer Luftwechsel n <sub>e</sub> <b>0.355</b>	Φ <sub>WEG</sub> kWh/a <b>0.00</b>	Φ <sub>WEG</sub> kWh/a <b>0.201</b>	Φ <sub>WEG</sub> kWh/a <b>0.556</b>	Φ <sub>WEG</sub> kWh/a <b>0.556</b>

**Lüftungswärmeverluste Q<sub>L</sub>** Summe: **72145** kWh/a pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche: **34.7**

<b>Summe Wärmeverluste Q<sub>V</sub></b>	Q <sub>T</sub> kWh/a <b>250687</b>	Q <sub>L</sub> kWh/a <b>72145</b>	Reduktionsfaktor Nacht-/Wochenendaussenkung <b>1.0</b>	Summe kWh/a <b>322832</b>	pro m <sup>2</sup> kWh/(m <sup>2</sup> a) <b>155.1</b>
--	------------------------------------	-----------------------------------	--	---------------------------	--

<b>Wärmeangebot Solarstrahlung Q<sub>S</sub></b>	Ausrichtung der Fläche	Abminderungsfaktor vgl. Blatt Fenster	g-Wert (senk. Einstr.)	Fläche m <sup>2</sup>	Globalstr. Heizzeit kWh/(m <sup>2</sup> a)	Summe kWh/a	pro m <sup>2</sup> kWh/(m <sup>2</sup> a)
	1. Nord	0.47	0.77	14.88	144	773	
	2. Ost	0.31	0.77	166.69	307	12408	
	3. Süd	0.47	0.77	16.14	374	2178	
	4. West	0.38	0.77	214.40	174	10842	
	5. Horizontal	0.00	0.00	0.00	349	0	
						26201	12.6

<b>Interne Wärmequellen Q<sub>I</sub></b>	κ <sub>ind</sub> <b>0.024</b>	Länge Heizzeit t <sub>h</sub> <b>205</b> d/a	spezif. Leistung q <sub>i</sub> W/m <sup>2</sup> <b>5.00</b>	A <sub>IK</sub> m <sup>2</sup> <b>2082.0</b>	Summe kWh/a <b>51096</b>	pro m <sup>2</sup> kWh/(m <sup>2</sup> a) <b>24.5</b>
---	-------------------------------	--	--	--	--------------------------	---

Freie Wärme Q <sub>F</sub>	Q <sub>S</sub> + Q <sub>I</sub> = <b>77297</b> kWh/a	pro m <sup>2</sup> kWh/(m <sup>2</sup> a) <b>37.1</b>
Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten	Q <sub>F</sub> / Q <sub>V</sub> = <b>0.24</b>	
Nutzungsgrad Wärmegewinne η <sub>Q</sub>	(1 - (Q <sub>T</sub> / Q <sub>V</sub> ) <sup>2</sup> ) / (1 - (Q <sub>F</sub> / Q <sub>V</sub> ) <sup>2</sup> ) = <b>100%</b>	
<b>Wärmegewinne Q<sub>G</sub></b>	η <sub>Q</sub> · Q <sub>F</sub> = <b>77251</b> kWh/a	pro m <sup>2</sup> kWh/(m <sup>2</sup> a) <b>37.1</b>
<b>Heizwärmebedarf Q<sub>H</sub></b>	Q <sub>V</sub> - Q <sub>G</sub> = <b>245581</b> kWh/a	pro m <sup>2</sup> kWh/(m <sup>2</sup> a) <b>118</b>

Grenzwert kWh/(m <sup>2</sup> a)	<b>15</b>	Anforderung erfüllt?	<b>nein</b>
----------------------------------	-----------	----------------------	-------------

### Tabelle: Ermittlung Wärmebedarf Bestand

Die Berechnung erfolgt nach Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP). Sie ergibt für das heutige Gebäude einen Heizwärmebedarf von 118 kWh pro m2 und Jahr.

# Passivhaus-Projektierung

## ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME

Klima: <input type="text" value="Konstanz"/> Objekt: <input type="text" value="MFH Lohstrasse Massnahmenpaket 1"/> Standort: <input type="text" value="Kreuzlingen"/>	Innentemperatur: <input type="text" value="20.0"/> °C Gebäudetyp/Nutzung: <input type="text" value="Mehrfamilienhäuser"/> Energiebezugsfläche A <sub>ext</sub> : <input type="text" value="2082.0"/> m <sup>2</sup>
---	---

	Bauteile	Temperaturzone	Fläche m <sup>2</sup>	U-Wert W/(m <sup>2</sup> K)	Temp.-faktor f	G <sub>t</sub> kWh/a	kWh/a	pro m <sup>2</sup> Energie- bezugsfläche
1.	Außenwand Außenluft	A	1086.4	0.361	1.00	79.6	31213	
2.	Außenwand Erdreich	B	88.2	0.151	0.63	79.6	673	
3.	Dach/Decken Außenluft	A	825.6	0.376	1.00	79.6	27693	
4.	Bodenplatte	B	192.5	0.162	0.63	79.6	1577	
5.	Boden geg. unbeheizt	B	243.5	0.205	0.63	79.6	2522	
6.	Wand geg. unbeheizt	B	109.0	0.231	0.63	79.6	1272	
7.	Türen gegen unbeheizt	X	12.0	1.218	0.68	79.6	791	
8.	Fenster	A	412.1	2.529	1.00	79.6	82901	
9.	Außentür	A			1.00			
10.	Wärbrücken außen (Länge/m)	A			1.00			
11.	Wärbrücken Perimeter (Länge/m)	P	134.0	0.300	0.63	79.6	2027	
12.	Wärbrücken Boden (Länge/m)	B	186.0	0.300	0.63	79.6	2814	
	Summe aller Hüllflächen		3089.3					

**Transmissionswärmeverluste Q<sub>T</sub>**

	Summe	153484
	kWh/(m <sup>2</sup> a)	73.7

**Lüftungsanlage:**

effektiver Wärmeerhaltungsgrad der Wärmerückgewinnung Wärmeerhaltungsgrad des Erdreichwärmeübertr.	wirksames Luftvolumen V <sub>l</sub> m <sup>3</sup>	A <sub>ext</sub> m <sup>2</sup>	lichte Raumhöhe m	
	0%	2082.0	2.38	=
	0%	4944.8		

**Lüftungswärmeverluste Q<sub>L</sub>**

energetisch wirksamer Luftwechsel n <sub>L</sub>	n <sub>L, ausser</sub> 1/h	Φ <sub>pass</sub>	n <sub>L, aus</sub> 1/h	
	0.355	(1 - 0.00)	+ 0.201	=
	0.556			

V <sub>l</sub> m <sup>3</sup>	n <sub>L</sub> 1/h	C <sub>sub</sub> kWh/(m <sup>3</sup> K)	G <sub>t</sub> kWh/a	
	4945	0.556	0.33	=
	72145			

**Summe Wärmeverluste Q<sub>V</sub>**

	Q <sub>T</sub> kWh/a	Q <sub>L</sub> kWh/a	Reduktionsfaktor Nacht-/Wochenend- absenkung	
	( 153484	+ 72145	) * 1.0	=
	225628			

**Wärmeangebot Solarstrahlung Q<sub>S</sub>**

Ausrichtung der Fläche	Abminderungsfaktor vgl. Blatt Fenster	g-Wert (senk. Einstr.)	Fläche m <sup>2</sup>	Globalstr. Heizzeit kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/a
1. Nord	0.47	0.77	14.88	144	773
2. Ost	0.31	0.77	166.69	307	12408
3. Süd	0.47	0.77	16.14	374	2178
4. West	0.38	0.77	214.40	174	10842
5. Horizontal	0.00	0.00	0.00	349	0
	Summe				26201
					12.6

**Interne Wärmequellen Q<sub>I</sub>**

kh/d	Länge Heizzeit dia	spezif. Leistung q <sub>i</sub> W/m <sup>2</sup>	A <sub>ext</sub> m <sup>2</sup>	kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)
	0.024	205	4.00	2082.0	40877
					19.6

**Freie Wärme Q<sub>F</sub>**

	Q <sub>S</sub> + Q <sub>I</sub>	67078
	kWh/a	32.2

**Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten**

	Q <sub>F</sub> / Q <sub>V</sub>	0.30
--	---------------------------------	------

**Nutzungsgrad Wärmegewinne η<sub>0</sub>**

	(1 - (Q <sub>S</sub> / Q <sub>V</sub> ) <sup>2</sup> ) / (1 - (Q <sub>F</sub> / Q <sub>V</sub> ) <sup>2</sup> )	100%
--	---	------

**Wärmegewinne Q<sub>G</sub>**

	η <sub>0</sub> * Q <sub>F</sub>	66968
	kWh/a	32.2

**Heizwärmebedarf Q<sub>H</sub>**

	Q <sub>V</sub> - Q <sub>G</sub>	158660
	kWh/a	76

**Grenzwert**  kWh/(m<sup>2</sup>a) **Anforderung erfüllt?**

### Tabelle: Ermittlung Wärmebedarf nach Sanierungspaket 1

Nach der ersten Sanierungsetappe (Sanierung Heizung und Keller) sinkt der Heizwärmebedarf auf 76 kWh/m<sup>2</sup>a.

# Passivhaus-Projektierung

## ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME

Klima:       Innentemperatur:  °C  
 Objekt:       Gebäudetyp/Nutzung:   
 Standort:       Energiebezugsfläche A<sub>ext</sub>:  m<sup>2</sup>

Bauteile	Temperaturzone	Fläche m <sup>2</sup>	U-Wert W/(m <sup>2</sup> K)	Temp.-faktor f	G <sub>1</sub> kWh/a	pro m <sup>2</sup> Energiebezugsfläche
1. Außenwand Außenluft	A	1086.4	0.342	1.00	79.6	29541
2. Außenwand Erdreich	B	88.2	0.151	0.63	79.6	673
3. Dach/Decken Außenluft	A	825.6	0.105	1.00	79.6	7764
4. Bodenplatte	B	192.5	0.162	0.63	79.6	1577
5. Boden geg. unbeheizt	B	243.5	0.205	0.63	79.6	2522
6. Wand geg. unbeheizt	B	109.0	0.231	0.63	79.6	1272
7. Türen gegen unbeheizt	X	12.0	1.218	0.68	79.6	791
8. Fenster	A	412.1	2.529	1.00	79.6	82901
9. Außentür	A			1.00		
10. Wbrücken außen (Länge/m)	A			1.00		
11. Wbrücken Perimeter (Länge/m)	P	134.0	0.300	0.63	79.6	2027
12. Wbrücken Boden (Länge/m)	B	186.0	0.300	0.63	79.6	2814
Summe aller Hüllflächen		3089.3				

**Transmissionswärmeverluste Q<sub>T</sub>**  
 Summe  kWh/a       kWh/(m<sup>2</sup>a)

**Lüftungsanlage:**  
 effektiver Wärmeerstellungsgrad der Wärmerückgewinnung  $\eta_{eff}$ :   
 Wärmeerstellungsgrad des Erdreichwärmeübertr.:  $\eta_{EWR}$ :   
 energetisch wirksamer Luftwechsel  $n_{eff}$ :  (1:  +  =

**Lüftungswärmeverluste Q<sub>L</sub>**  
 $V_L$  m<sup>3</sup>:        $n_{eff}$  1/h:        $C_{p,air}$  Wh/(m<sup>3</sup>K):        $G_L$  kWh/a:        kWh/(m<sup>2</sup>a)

**Summe Wärmeverluste Q<sub>V</sub>**  
 $Q_T$  kWh/a:        $Q_L$  kWh/a:       Reduktionsfaktor Nacht-/Wochenend-absenkung:        kWh/a       kWh/(m<sup>2</sup>a)

**Wärmeangebot Solarstrahlung Q<sub>S</sub>**  
 Ausrichtung der Fläche:       Abminderungsfaktor vgl. Blatt Fenster:       g-Wert (senk. Einstr.):       Fläche m<sup>2</sup>:       Globalstr. Heizzeit kWh/(m<sup>2</sup>a):        kWh/a       kWh/(m<sup>2</sup>a)

**Interne Wärmequellen Q<sub>I</sub>**  
 kh/d:       Länge Heizzeit dia:       spezif. Leistung q<sub>i</sub> W/m<sup>2</sup>:       A<sub>int</sub> m<sup>2</sup>:        kWh/a       kWh/(m<sup>2</sup>a)

**Wärmegewinne Q<sub>G</sub>**  
 Freie Wärme Q<sub>F</sub> kWh/a:        kWh/(m<sup>2</sup>a)  
 Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten  $Q_F / Q_V$ :   
 Nutzungsgrad Wärmegewinne  $\eta_{G}$ :   
 $\eta_{G} \cdot Q_F$ :  kWh/a       kWh/(m<sup>2</sup>a)

**Heizwärmebedarf Q<sub>H</sub>**  
 $Q_V - Q_G$ :  kWh/a       kWh/(m<sup>2</sup>a)  
 Grenzwert  kWh/(m<sup>2</sup>a)      Anforderung erfüllt?

### Tabelle: Ermittlung Wärmebedarf nach Sanierungspaket 2

Nach der zweiten Sanierungsetappe (Dach) sinkt der Heizwärmebedarf auf 69 kWh/m<sup>2</sup>a.

# Passivhaus-Projektierung

## ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME

Klima: **Konstanz**  
 Objekt: **MFH Lohstrasse Massnahmepakete 1+2+3**  
 Standort: **Kreuzlingen**

Innentemperatur: **20,0** °C  
 Gebäudetyp/Nutzung: **Mehrfamilienhäuser**  
 Energiebezugsfläche A<sub>ext</sub>: **2082,0** m<sup>2</sup>

Bauteile	Temperaturzone	Fläche m <sup>2</sup>	U-Wert W/(m <sup>2</sup> K)	Temp.-faktor f	G <sub>t</sub> kWh/a	pro m <sup>2</sup> Energiebezugsfläche
1. Außenwand Außenluft	A	1086,4	0,131	1,00	79,6	11350
2. Außenwand Erdreich	B	88,2	0,151	0,63	79,6	673
3. Dach/Becken Außenluft	A	825,6	0,105	1,00	79,6	7764
4. Bodenplatte	B	192,5	0,162	0,63	79,6	1577
5. Boden geg. unbeheizt	B	243,5	0,205	0,63	79,6	2522
6. Wand geg. unbeheizt	B	109,0	0,231	0,63	79,6	1272
7. Türen gegen unbeheizt	X	12,0	1,218	0,68	79,6	791
8. Fenster	A	412,1	0,948	1,00	79,6	31083
9. Außentür	A			1,00		
10. Wbrücken außen (Länge/m)	A			1,00		
11. Wbrücken Perimeter (Länge/m)	P	134,0	0,300	0,63	79,6	2027
12. Wbrücken Boden (Länge/m)	B	186,0	0,300	0,63	79,6	2814
Summe aller Hüllflächen		3089,3				

**Transmissionswärmeverluste Q<sub>T</sub>**  
 Summe = **61874** kWh/a      **29,7** kWh/(m<sup>2</sup>a)

**Lüftungsanlage:**  
 effektiver Wärmeerhaltungsgrad der Wärmerückgewinnung η<sub>eff</sub>: **0%**  
 Wärmeerhaltungsgrad des Erdreichwärmehuberts η<sub>geo</sub>: **0%**  
 energetisch wirksamer Luftwechsel n<sub>1</sub>: **0,355** (1 · 0,00) + 0,008 = **0,362** 1/h

**Lüftungswärmeverluste Q<sub>L</sub>**  
 V<sub>l</sub> m<sup>3</sup>: **4945**      n<sub>1</sub> 1/h: **0,362**      C<sub>Lu</sub> Wh/(m<sup>3</sup>K): **0,33**      G<sub>t</sub> kWh/a: **79,6**  
 = **47050** kWh/a      **22,6** kWh/(m<sup>2</sup>a)

**Summe Wärmeverluste Q<sub>Y</sub>**  
 ( **61874** kWh/a + **47050** kWh/a ) · Reduktionsfaktor Nacht-/Wochenend-absenkung **1,0** = **108924** kWh/a      **52,3** kWh/(m<sup>2</sup>a)

**Wärmeangebot Solarstrahlung Q<sub>S</sub>**  
 Ausrichtung der Fläche:  
 1. Nord: **0,49** · **0,55** · **14,88** m<sup>2</sup> · **144** kWh/(m<sup>2</sup>a) = **579** kWh/a  
 2. Ost: **0,36** · **0,55** · **166,69** m<sup>2</sup> · **307** kWh/(m<sup>2</sup>a) = **10182** kWh/a  
 3. Süd: **0,50** · **0,55** · **16,14** m<sup>2</sup> · **374** kWh/(m<sup>2</sup>a) = **1651** kWh/a  
 4. West: **0,42** · **0,55** · **214,40** m<sup>2</sup> · **174** kWh/(m<sup>2</sup>a) = **8616** kWh/a  
 5. Horizontal: **0,00** · **0,55** · **0,00** m<sup>2</sup> · **349** kWh/(m<sup>2</sup>a) = **0** kWh/a  
 Summe = **21027** kWh/a      **10,1** kWh/(m<sup>2</sup>a)

**Interne Wärmequellen Q<sub>I</sub>**  
 kh/d: **0,024**      Länge Heizzeit dia: **205**      spezif. Leistung q<sub>i</sub> W/m<sup>2</sup>: **2,10**      A<sub>int</sub> m<sup>2</sup>: **2082,0**  
 = **21460** kWh/a      **10,3** kWh/(m<sup>2</sup>a)

**Wärmegewinne Q<sub>G</sub>**  
 Freie Wärme Q<sub>F</sub>: **Q<sub>S</sub> + Q<sub>I</sub> = 42487** kWh/a      **20,4** kWh/(m<sup>2</sup>a)  
 Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten: **Q<sub>F</sub> / Q<sub>Y</sub> = 0,39**  
 Nutzungsgrad Wärmegewinne η<sub>10</sub>: **(1 - (Q<sub>L</sub> / Q<sub>Y</sub>)<sup>10</sup>) / (1 - (Q<sub>T</sub> / Q<sub>Y</sub>)<sup>10</sup>) = **99%**  
 η<sub>10</sub> · Q<sub>F</sub>: **42253** kWh/a      **20,3** kWh/(m<sup>2</sup>a)**

**Heizwärmebedarf Q<sub>H</sub>**  
 Q<sub>Y</sub> - Q<sub>G</sub>: **66671** kWh/a      **32** kWh/(m<sup>2</sup>a)

Grenzwert: **15** kWh/(m<sup>2</sup>a)      Anforderung erfüllt? **nein**

### Tabelle: Ermittlung Wärmebedarf nach Sanierungspaket 3

Nach dem dritten und letzten Sanierungspaket (Fenster, Fassade, Kollektoren) sinkt der Wärmebedarf auf 32 kWh/m<sup>2</sup>a, also auf rund ein Viertel des ursprünglichen Wertes.

# Passivhaus-Projektierung

## ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME

Klima: <input type="text" value="Konstanz"/> Objekt: <input type="text" value="MFH Lohstrasse Passivhaus"/> Standort: <input type="text" value="Kreuzlingen"/>	Innentemperatur: <input type="text" value="20.0"/> °C Gebäudetyp/Nutzung: <input type="text" value="Mehrfamilienhäuser"/> Energiebezugsfläche A <sub>ext</sub> : <input type="text" value="2082.0"/> m <sup>2</sup>
--	---

Bauteile	Temperaturzone	Fläche m <sup>2</sup>	U-Wert W/(m <sup>2</sup> K)	Temp.-faktor f	G <sub>0</sub> kWh/a	kWh/a	pro m <sup>2</sup> Energie- bezugsfläche
1. Außenwand Außenluft	A	1086.4	0.131	1.00	79.6	11350	
2. Außenwand Erdreich	B	88.2	0.151	0.63	79.6	673	
3. Dach/Decken Außenluft	A	825.6	0.105	1.00	79.6	7764	
4. Bodenplatte	B	192.5	0.162	0.63	79.6	1577	
5. Boden geg. unbeheizt	B	243.5	0.205	0.63	79.6	2522	
6. Wand geg. unbeheizt	B	109.0	0.231	0.63	79.6	1272	
7. Türen gegen unbeheizt	X	12.0	1.218	0.68	79.6	791	
8. Fenster	A	412.1	0.872	1.00	79.6	28599	
9. Außentür	A			1.00			
10. Wbrücken außen (Länge/m)	A			1.00			
11. Wbrücken Perimeter (Länge/m)	P	134.0	0.300	0.63	79.6	2027	
12. Wbrücken Boden (Länge/m)	B	186.0	0.300	0.63	79.6	2814	
		Summe aller Hüllflächen	3089.3				

**Transmissionswärmeverluste Q<sub>T</sub>**

	Summe	<input type="text" value="59389"/>
	kWh/(m <sup>2</sup> a)	<input type="text" value="28.5"/>

**Lüftungsanlage:**

effektiver Wärmerückstellungsgrad der Wärmerückgewinnung Wärmerückstellungsgrad des Erdreichwärmeübertr.	wirksames Luftvolumen V <sub>l</sub> m <sup>3</sup>	A <sub>RA</sub> m <sup>2</sup>	lichte Raumhöhe m	$A_{RA} \cdot \text{lichte Raumhöhe} = 2082.0 \cdot 2.38 = 4944.8$	
	<input type="text" value="78 %"/>			<input type="text" value="4944.8"/>	
	energetisch wirksamer Luftwechsel n <sub>L</sub>	<input type="text" value="0.355"/>	$\Phi_{\text{PMS}}$	<input type="text" value="0.85"/>	$\Phi_{\text{PMS}} + \Phi_{\text{PMS}} = 0.85 + 0.040 = 0.094$
			$\Phi_{\text{PMS}}$	<input type="text" value="0.040"/>	

**Lüftungswärmeverluste Q<sub>L</sub>**

	V <sub>l</sub> m <sup>3</sup>	n <sub>L</sub> 1/h	C <sub>pe</sub> Wh/(m <sup>3</sup> K)	G <sub>0</sub> kWh/a	$V_l \cdot n_L \cdot C_{pe} \cdot G_0 = 4945 \cdot 0.094 \cdot 0.33 \cdot 79.6 = 12153$	kWh/(m <sup>2</sup> a)
					<input type="text" value="12153"/>	<input type="text" value="5.8"/>

**Summe Wärmeverluste Q<sub>V</sub>**

	Summe	<input type="text" value="71542"/>
	kWh/a	<input type="text" value="34.4"/>

**Wärmeangebot Solarstrahlung Q<sub>S</sub>**

Ausrichtung der Fläche	Abminderungsfaktor vgl. Blatt Fenster	g-Wert (senk. Einstr.)	Fläche m <sup>2</sup>	Globalstr. Heizzeit kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)
1. Nord	0.49	0.55	14.88	144	579	
2. Ost	0.36	0.55	166.69	307	10182	
3. Süd	0.50	0.55	16.14	374	1651	
4. West	0.42	0.55	214.40	174	8616	
5. Horizontal	0.00	0.00	0.00	349	0	
					Summe	<input type="text" value="21027"/>
					kWh/(m <sup>2</sup> a)	<input type="text" value="10.1"/>

**Interne Wärmequellen Q<sub>I</sub>**

khd	Länge Heizzeit dia	spezif. Leistung q <sub>i</sub> W/m <sup>2</sup>	A <sub>RA</sub> m <sup>2</sup>	kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)
	<input type="text" value="0.024"/>	<input type="text" value="205"/>	<input type="text" value="2.10"/>	<input type="text" value="21460"/>	<input type="text" value="10.3"/>

**Freie Wärme Q<sub>F</sub>**

	Q <sub>I</sub> + Q <sub>S</sub>	<input type="text" value="42487"/>
	kWh/a	<input type="text" value="20.4"/>

**Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten**

	Q <sub>F</sub> / Q <sub>V</sub>	<input type="text" value="0.59"/>
--	---------------------------------	-----------------------------------

**Nutzungsgrad Wärmegewinne η<sub>0</sub>**

	(1 - (Q <sub>V</sub> / Q <sub>I</sub> ) <sup>2</sup> ) / (1 - (Q <sub>V</sub> / Q <sub>S</sub> ) <sup>2</sup> )	<input type="text" value="97 %"/>
--	---	-----------------------------------

**Wärmegewinne Q<sub>G</sub>**

	η <sub>0</sub> * Q <sub>F</sub>	<input type="text" value="41154"/>
	kWh/a	<input type="text" value="19.8"/>

**Heizwärmebedarf Q<sub>H</sub>**

	Q <sub>V</sub> - Q <sub>G</sub>	<input type="text" value="30388"/>
	kWh/a	<input type="text" value="15"/>

**Grenzwert**  kWh/(m<sup>2</sup>a) **Anforderung erfüllt?**

### Tabelle: Ermittlung Wärmebedarf ideale Passivhausanierung

Würde man das Haus in letzter Konsequenz als Passivhaus sanieren, dann würde sich der Wärmebedarf auf 15 kWh/m<sup>2</sup>a, den für Passivhäuser zulässigen Wert, reduzieren. Der grosse Sprung von der vorgeschlagenen Sanierung (letzte Seite) rührt daher, dass beim echten Passivhaus der Ertrag aus der Wärmerückgewinnung die Zuluft heizt und damit den rechnerischen Wärmebedarf für die Heizung senkt, während bei der vorgeschlagenen Sanierung der Ertrag aus der Wärmerückgewinnung das Brauchwasser heizt und somit ohne Einfluss auf den Heizwärmebedarf ist.

## Passivhaus-Projektierung ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME

Klima: <input type="text" value="Konstanz"/>		Innentemperatur: <input type="text" value="20.0"/> °C	
Objekt: <input type="text" value="MFH Lohstrasse Passivhaus 90°"/>		Gebäudetyp/Nutzung: <input type="text" value="Mehrfamilienhäuser"/>	
Standort: <input type="text" value="Kreuzlingen"/>		Energiebezugsfläche A <sub>ext</sub> : <input type="text" value="2082.0"/> m <sup>2</sup>	

Bauteile	Temperaturzone	Fläche m <sup>2</sup>	U-Wert W/(m <sup>2</sup> K)	Temp.-faktor f	G <sub>1</sub> kWh/a	pro m <sup>2</sup> Energie- bezugsfläche
1. Außenwand Außenluft	A	1086.4	0.131	1.00	79.6	11350
2. Außenwand Erdreich	B	88.2	0.151	0.63	79.6	673
3. Dach/Decken Außenluft	A	825.6	0.105	1.00	79.6	7764
4. Bodenplatte	B	192.5	0.162	0.63	79.6	1577
5. Boden geg. unbeheizt	B	243.5	0.205	0.63	79.6	2522
6. Wand geg. unbeheizt	B	109.0	0.231	0.63	79.6	1272
7. Türen gegen unbeheizt	X	12.0	1.218	0.68	79.6	791
8. Fenster	A	412.1	0.872	1.00	79.6	28599
9. Außentür	A			1.00		
10. Wbrücken außen (Länge/m)	A			1.00		
11. Wbrücken Perimeter (Länge/m)	P	134.0	0.300	0.63	79.6	2027
12. Wbrücken Boden (Länge/m)	B	186.0	0.300	0.63	79.6	2814
Summe aller Hüllflächen		3689.3				

**Transmissionswärmeverluste Q<sub>T</sub>**

A <sub>ext</sub> m <sup>2</sup>	lichte Raumhöhe m	Summe	kWh/(m <sup>2</sup> a)
2082.0	2.38	59389	28.5

**Lüftungsanlage:**

effektiver Wärmebereitstellungsgrad der Wärmerückgewinnung η <sub>eff</sub>	wirksames Luftvolumen V <sub>l</sub> m <sup>3</sup>	A <sub>ext</sub> m <sup>2</sup>	lichte Raumhöhe m	Summe	kWh/(m <sup>2</sup> a)
31%	78%	2082.0	2.38	4944.8	
Wärmebereitstellungsgrad des Erreichwärmeverbr. η <sub>extro</sub>	energetisch wirksamer Luftwechsel n <sub>l</sub> 1/h	ρ <sub>l, ausser</sub> 1/h	Φ <sub>extro</sub>	ρ <sub>l, inner</sub> 1/h	
	0.355	(1 - 0.85)	0.040	0.094	
	V <sub>l</sub> m <sup>3</sup>	n <sub>l</sub> 1/h	C <sub>u,air</sub> kWh/(m <sup>3</sup> K)	G <sub>l</sub> kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)
	4945	0.094	0.33	12153	5.8

**Lüftungswärmeverluste Q<sub>L</sub>**

Q <sub>T</sub> kWh/a	Q <sub>L</sub> kWh/a	Reduktionsfaktor Nacht-/Wochenendauslenkung	Summe	kWh/(m <sup>2</sup> a)
59389	12153	1.0	71542	34.4

**Summe Wärmeverluste Q<sub>V</sub>**

Abminderungsfaktor vgl. Blatt Fenster	g-Wert (weir. Einstr.)	Fläche m <sup>2</sup>	Globalstr. Heizzeit kWh/(m <sup>2</sup> a)	Summe	kWh/(m <sup>2</sup> a)
0.37	0.55	166.69	144	4935	
0.47	0.55	16.14	306	1275	
0.46	0.55	214.40	376	20343	
0.48	0.55	14.88	171	670	
0.00	0.00	0.00	349	0	
				Summe	27223

**Wärmeangebot Solarstrahlung Q<sub>S</sub>**

Abminderungsfaktor vgl. Blatt Fenster	g-Wert (weir. Einstr.)	Fläche m <sup>2</sup>	Globalstr. Heizzeit kWh/(m <sup>2</sup> a)	Summe	kWh/(m <sup>2</sup> a)
0.37	0.55	166.69	144	4935	
0.47	0.55	16.14	306	1275	
0.46	0.55	214.40	376	20343	
0.48	0.55	14.88	171	670	
0.00	0.00	0.00	349	0	
				Summe	27223

**Interne Wärmequellen Q<sub>I</sub>**

kh/d	Länge Heizzeit dia	spezif. Leistung q <sub>h</sub> W/m <sup>2</sup>	A <sub>ext</sub> m <sup>2</sup>	Summe	kWh/(m <sup>2</sup> a)
0.024	205	2.10	2082.0	21460	10.3

**Wärmegewinne Q<sub>G</sub>**

Freie Wärme Q <sub>I</sub> kWh/a	Q <sub>S</sub> + Q <sub>I</sub> kWh/a	Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten Q <sub>G</sub> / Q <sub>V</sub>	Summe	kWh/(m <sup>2</sup> a)
21460	48684	0.68	46164	22.2

**Heizwärmebedarf Q<sub>H</sub>**

Nutzungsgrad Wärmegewinne η <sub>10</sub>	(1 - (Q <sub>L</sub> / Q <sub>V</sub> ) <sup>10</sup> ) / (1 - (Q <sub>T</sub> / Q <sub>V</sub> ) <sup>10</sup> )	η <sub>10</sub> * Q <sub>G</sub> kWh/a	Q <sub>V</sub> - Q <sub>G</sub> kWh/a	Grenzwert kWh/(m <sup>2</sup> a)	Anforderung erfüllt? (ja/nein)
	95%	46164	25379	15	ja

### Tabelle: Ermittlung Wärmebedarf ideale Passivhaussanierung, Grundriss gedreht

Würde man gegenüber der idealen Passivhaus-Sanierung auf der Vorseite zusätzlich den Grundriss des Hauses um 90 Grad drehen, würde der Heizwärmebedarf noch weiter auf 12 kWh/m<sup>2</sup>a sinken. Grund dafür sind die deutlich höheren passiv solaren Gewinne über Fenster.

Für diese Berechnung wurde angenommen, dass die Solarkollektoren unverändert südseitig angebracht wären (also dann an einer Längsseite und nicht mehr an der Giebelwand).

Diese Betrachtung ist von Interesse, da zahlreiche bestehende Mehrfamilienhäuser statt in Nord-Süd-Richtung in Ost-West-Richtung gestreckt sind und somit in bezug auf solare Gewinne bessere Voraussetzungen bieten.

Noch bessere Ergebnisse wären erzielbar, wenn durch geeignete Umbaumaßnahmen die Fenster- bzw. Verglasungsfläche nach Süden noch erhöht werden könnte.

**Projekt:**

MINERGIE, Version 11a, zu verwenden bis 31. März 2010

**MFH Sanierung  
Lohstrasse 6a + 6b**

P 1	<b>Wärmeerzeugung A</b>	Lüftungsgerät mit Abluft-Wärmepumpe (keine Z			Deckungsgrad [%]	
P 2	Beschreibung der Anlage (Marke, Typ etc.)				Heizung	Warmwasser
P 3	Jahresarbeitszahl aus Standardwert	-		2.5		
P 4	Jahresarbeitszahl berechnet (Beilage)	-	Berechnung beilegen			
P 5	Jahresarbeitszahl gewählt	-			2.5	
P 6	Mittl. elektr. Leistungsaufnahme der WP	W		2800		
P 7	Wärmeleistungsbedarf Gebäude SIA 384/201	kW		43.3		
P 8	Vorlauf-Temperatur Heizung	°C		35		
P 9	Temperatur Warmwasser	°C		45		
P 10	Zugeführte Elektrizität (ungewichtet)	kWh/m2			5.8	
P 11	Benötigte Wärme	kWh/m2			14.5	
P 12					16.5	90.0
					<b>16</b>	<b>53</b>
P 13	<b>Wärmeerzeugung B</b>	Wärmepumpe, Erdwärmesonde, nur Heizung			Deckungsgrad [%]	
	Beschreibung der Anlage (Marke, Typ etc.)				Heizung	Warmwasser
	Jahresarbeitszahl aus Standardwert	-		3.1		
	Jahresarbeitszahl berechnet (Beilage)	-		3.5		
	Jahresarbeitszahl gewählt	-			3.5	
	Mittl. elektr. Leistungsaufnahme der WP	W				
	Wärmeleistungsbedarf Gebäude SIA 384/201	kW				
	Vorlauf-Temperatur Heizung	°C				
	Zugeführte Elektrizität (ungewichtet)	kWh/m2			4.8	
	Benötigte Wärme	kWh/m2			16.7	
						78
P 14	<b>Wärmeerzeugung C</b>	Elektro-Wassererwärmer			Deckungsgrad [%]	
	Beschreibung der Anlage (Marke, Typ etc.)				Heizung	Warmwasser
	Nutzungsgrad aus Standardwert	%		90		
	Nutzungsgrad berechnet (Beilage)	%				
	Nutzungsgrad gewählt	%			90	
	Temperatur Warmwasser	°C		60		
	Zugeführte Elektrizität (ungewichtet)	kWh/m2			0.5	
	Benötigte Wärme	kWh/m2			0.4	
						2
P 15	<b>Wärmeerzeugung D</b>	Solarenergie thermisch, Heizung + WW			Deckungsgrad [%]	
	Beschreibung der Anlage (Marke, Typ etc.)				Heizung	Warmwasser
	Absorberfläche	m2		80		
	Nettoertrag pro m2 Absorberfläche	kWh/m2	350	durch Berechnung	350	
	Vorlauf-Temperatur Heizung	°C				
	Temperatur Warmwasser	°C		40		
	Benötigte Wärme	kWh/m2			10.7	
	Zugeführte Energie (ungewichtet)	kWh/m2			10.7	
					6.5	51.7
					<b>6</b>	<b>45</b>
P 16	<b>Übertrag weitere Wärmeerzeugungen</b>	nachgewiesen durch zusätzliche Beiblätter			Deckungsgrad [%]	
P 17	Anlage				Heizung	Warmwasser
P 18	Zugeführte Elektrizität (ungewichtet)	kWh/m²a				
P 19	Benötigte Wärme	kWh/m²a				
P 20	Zugeführte Energie (ohne Strom, gewichtet)	kWh/m²a				
P 21					Kontrolle Deckungsgrad [%]	100 100

**Tabelle: Deckungsgrad Heizung und Warmwasser saniert**

Die Berechnung nach SIA 380/1 zeigt auf, dass im Endzustand nach allen drei Sanierungsetappen rund 6 % der Heizung und 45 % des Brauchwassers solar gedeckt werden können.

**Projekt:**

MINERGIE, Version 11a, zu verwenden bis 31. März 2010

<b>MFH Sanierung</b>
<b>Lohstrasse 6a + 6b</b>

Gebäudedaten, Lüftung und Grenzwert:			1	2	3	4	Total/Mittel
N1	Klimastation + Nutzungen	Güttingen	MFH				
N2							
N3	EBF	m2	2601				<b>2601</b>
N4	Qh-MP mit Standardluftwechsel	kWh/m2	18.9				<b>18.9</b>
N5	Q <sub>ww</sub> Wärmebedarf Warmwasser	kWh/m2	20.8				<b>20.8</b>
N6	Therm. Aussenluftvolumenstrom	m3/m2h	0.86				<b>0.86</b>
N7	Heizwärmebedarf Qh,eff	kWh/m2	21.4				<b>21.4</b>
N8	Lüftungsanlagentyp		Abluft+WP				
N9	Wärmeabgabesystem		Kombination				
N10	Strombedarf Lüftungsanlage	kWh/m2	2.56				<b>2.56</b>
N11	Strom Hilfsbetriebe / Kühlung	kWh/m2					
N12	Grenzwert	kWh/m2	30.0				<b>30.0</b>
N13							
N14	<b>Massgebender Grenzwert</b>	<b>kWh/m2</b>	<b>30.0</b>				<b>30.0</b>

	η oder JAZ	Gewich- tung	Deckungsgrad		gewichteter Endenergiebedarf		Wärmebedarf kWh/m <sup>2</sup>
			Heizung	Warmwasser	Strom kWh/m <sup>2</sup>	andere kWh/m <sup>2</sup>	
N15	Abluft-Wärmepumpe ohne ZUL	2.5	2	16.0%	53.0%	11.6	14.5
N16	Erdsonden-WP, Heizung	3.5	2	78.0%		9.5	16.7
N17	Elektro-Wasserenwärmer	0.9	2		2.0%	0.9	0.4
N18	Solarenergie Heizung + WW			6.0%	45.0%		10.7
N19							
N20	Strombedarf Lüftungsanlage		2			5.1	
N21	Strom Hilfsbetriebe						
N22	<b>Total:</b>			<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>27.1</b>	<b>42.2</b>

Erfüllung der Anforderungen:		Anforderung	Berechneter Wert	Erfüllt?
N23	Primäranforderung an Gebäudehülle	25.2 kWh/m2	18.9 kWh/m2	Ja
N24	Grenzwert MINERGIE - P	30.0 kWh/m2	27.1 kWh/m2	Ja
N25	Thermischer Komfort im Sommer			Ja

Zusatzanforderungen	erfüllt?	<input checked="" type="checkbox"/> Nachweis beigelegt (Zutreffendes ankreuzen)
N27	Haushaltgeräte	Ja <input type="checkbox"/> Datenblätter Haushaltgeräte sofern bekannt
N28		
N29		
N30		
N31		
N32		
N33		
N34	Luftdichtigkeit der Gebäudehülle	Nein <input type="checkbox"/> Luftdichtigkeit - Protokoll mit Prüfwerten

Beilagen gem. 'Checkliste für Antragsstelle' siehe:	
<a href="http://www.minergie.ch">www.minergie.ch</a>	
N35	<input type="checkbox"/>
N36	<input type="checkbox"/>
N37	<input type="checkbox"/>
N38	<input type="checkbox"/>
N39	<input type="checkbox"/>
N40	<input type="checkbox"/>
N41	<input type="checkbox"/>

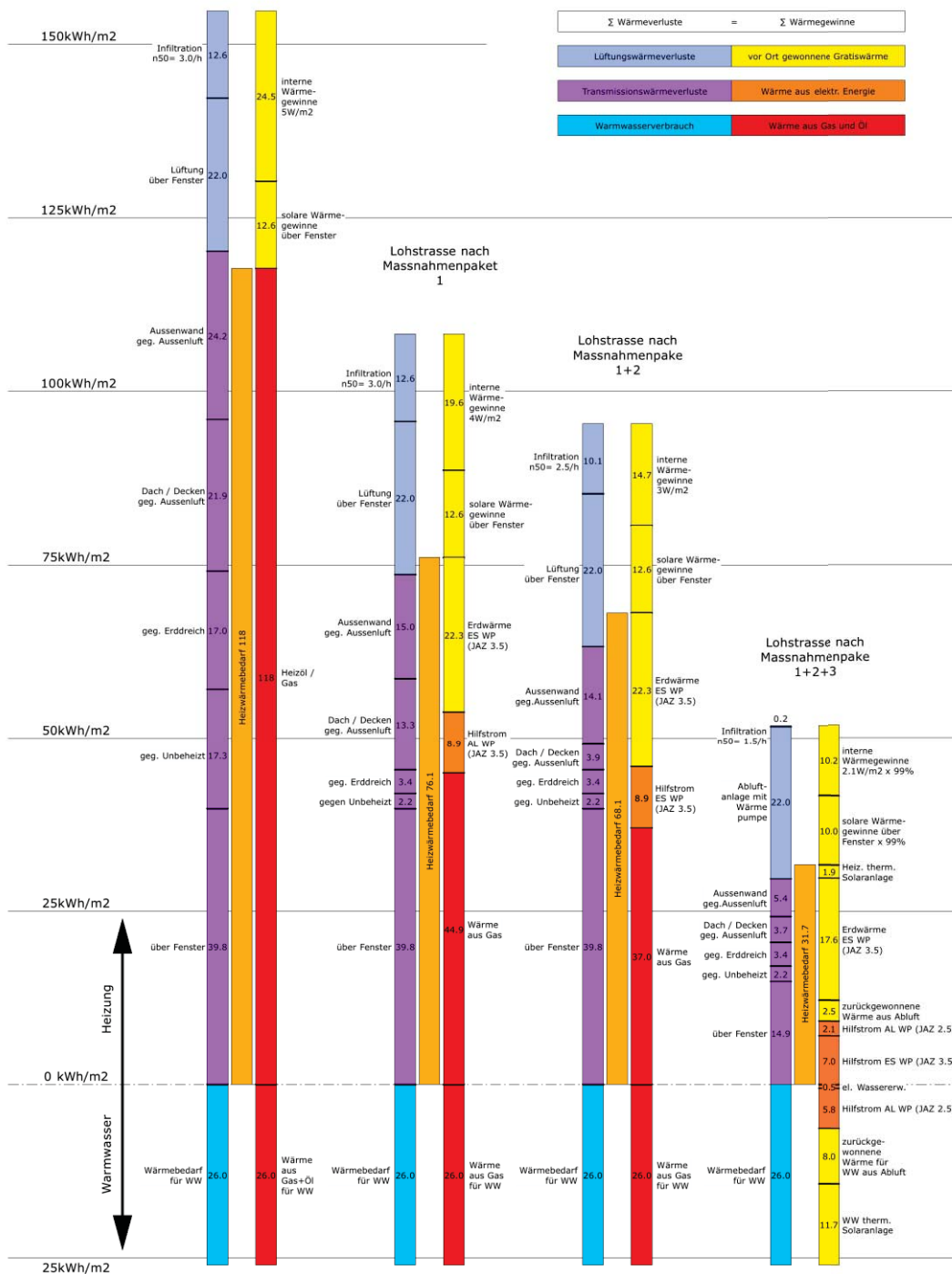
N42 Ort, Datum  Unterschrift Antragstellende:

N43 Ort, Datum  Unterschrift Fachplanende 1 und 2:

**Tabelle: Nachweis Minergie P**

Während der Passivhaus-Standard mit dem Sanierungsprojekt nicht ganz erreicht wird, können die ebenfalls sehr strengen Minergie-P-Anforderungen, wie hier gezeigt wird, eindeutig erfüllt werden.

Lohstrasse Bestand



## **Balkendiagramm: Energiebilanz Bestand und nach Sanierungsetappen 1-3**

Diese Grafik illustriert die berechnete Veränderung des Energiehaushalts bei den einzelnen Sanierungsschritten und zeigt auf, wie der Heizwärmebedarf sukzessive auf rund einen Viertel, der Aufwand an fremder Energie (Öl, Gas oder Strom) sogar auf 10 % sinkt.

### **Allgemein**

Die vier Balkengruppen zeigen den Zustand vor der Sanierung, nach der 1. Sanierungsetappe, nach der 2. Sanierungsetappe und nach der 3. Sanierungsetappe. Der Warmwasserhaushalt zeigt nach unten, der Heizungshaushalt nach oben.

Der linke Balken (kalte Farben) zeigt jeweils die Energieverluste bzw. Verbräuche durch Transmission, Lüftung und Warmwasserverbrauch.

Der rechte Balken (warme Farben) zeigt jeweils die Energiegewinne durch interne Quellen, durch die Sonne, Erdwärme, interne Quellen, sowie Strom, Öl und Gas.

Der mittlere Balken (orange) zeigt jeweils, wieviel Wärme den Räumen zugeführt werden muss (Differenz aus Heizungsverlusten und internen / solaren Gewinnen).

### **Lohstrasse Bestand**

Der grosse Teil aller Wärmeverluste (rund 120 kWh/m<sup>2</sup>) erfolgt durch Transmission, wobei die Fenster mit rund 40 kWh/m<sup>2</sup> die grösste einzelne Verlustquelle darstellt. Der Verbrauch an Öl und Gas liegt bei 144 kWh/m<sup>2</sup>a. Dass er gegenüber dieser Berechnung tatsächlich nur bei 113 kWh/m<sup>2</sup>a liegt, zeigt, dass die rechnerischen Annahmen für Aussenklima, Physik der Hülle und Benutzerverhalten die tatsächlichen Verhältnisse nicht einwandfrei wiedergeben. Die Aussagekraft der folgenden Betrachtungen in ihren wesentlichen Grössenordnungen wird dadurch jedoch nicht geschmälert.

### **Lohstrasse nach Massnahmenpaket 1**

Die deutliche Minderung der Transmissionsverluste im Untergeschoss verbessert die Bilanz deutlich, die Fenster machen nun die Hälfte aller Transmissionsverluste aus. Da zusätzlich Erdwärme und etwas Strom genutzt werden, sinkt der Verbrauch an Öl und Gas auf rund die Hälfte.

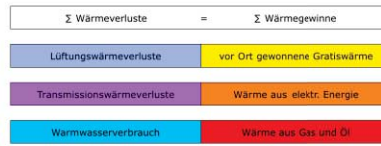
### **Lohsstrasse nach Massnahmenpaket 1+2**

Die weitere Senkung der Transmissionsverluste (im Dach) bringt eine weitere spürbare Verbesserung der Bilanz, die weniger deutlich ist, da das Dach schon vorher teilweise gedämmt war.

### **Lohstrasse nach Massnahmenpaket 1+2+3**

Die Sanierung der Fassade (insbesondere der Fenster) senkt die Transmissionsverluste auf ein Drittel des heutigen Werts. Zudem verschwinden die Infiltrationsverluste fast vollständig dank dem Unterdruck der Lüftungsanlage. Die konsequente Nutzung von Umgebungswärme macht Öl und Gas überflüssig, erfordert aber rund 15kWh/m<sup>2</sup>a an Hilfsstrom. Sukzessive gesunken sind auch die internen Gewinne unter der Annahme laufend besserer Elektrogeräte.

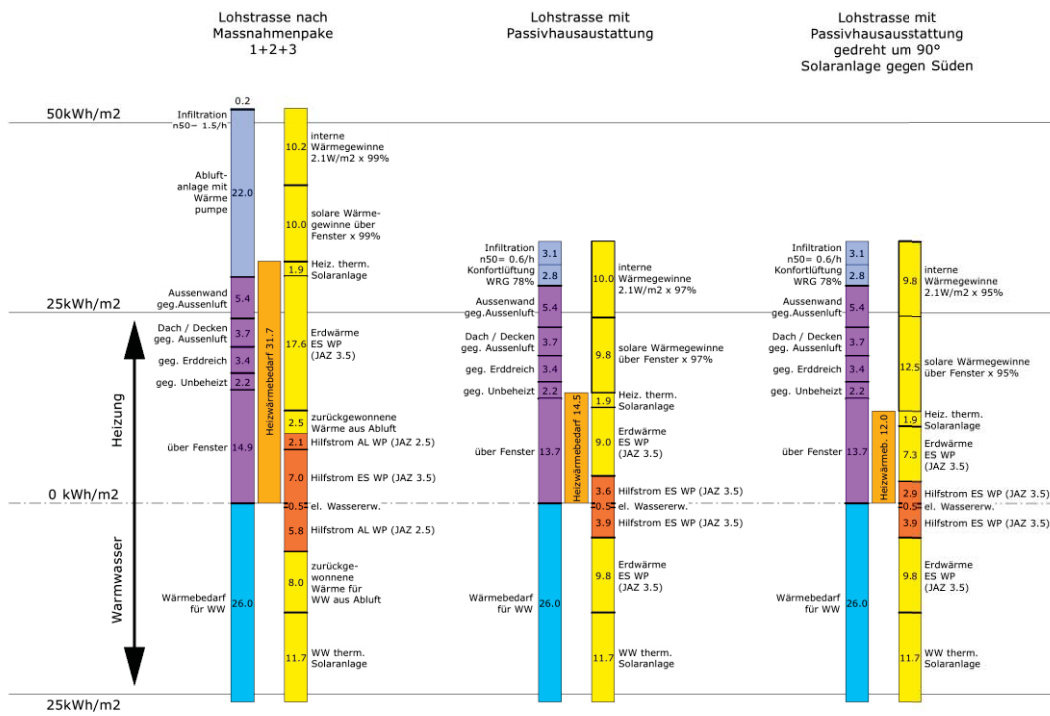
150kWh/m2



125kWh/m2

100kWh/m2

75kWh/m2



### **Balkendiagramm: Energiebilanz nach Sanierung und idealer Passivhaus-Sanierung**

Diese Grafik vergleicht, in gleicher Darstellung wie auf der Vorseite, die konkret vorgeschlagene Sanierung mit einer idealen und konsequenten Passivhaus-Sanierung und, als drittes, mit einer einer Passivhaus-Sanierung, in der das Gebäude um 90 Grad gedreht ist.

### **Lohstrasse nach Massnahmenpaketen 1+2+3**

Diese Darstellung entspricht genau derjenigen der Vorseite: Das gemäss Massnahmenplan sanierte Haus hat einen Transmissions- und Lüftungsverlust um 50 kWh/m<sup>2</sup>a, der durch interne und solare Gewinne sowie etwas Hilfsstrom gedeckt wird. Der Warmwasserbedarf wird weitgehend durch Solarwärme und Abluftwärme gedeckt.

### **Lohstrasse mit Passivhausausstattung**

Bei dieser Variante sind die Transmissionsverluste nahezu unverändert (gering). Deutlich reduziert sind zusätzlich die Lüftungsverluste danke einer dichteren Hülle und Komfortlüftung mit direkter Zulufterwärmung. Der rechnerische Heizwärmebedarf reduziert sich dadurch sehr deutlich auf 15 kWh/m<sup>2</sup>a (den für Passivhäuser geforderten Wert).

### **Lohstrasse mit Passivhausausstattung gedreht um 90 Grad**

Würde das Haus in Ost-West-Richtung gestreckt stehen, hätte es eine grosse und gut nutzbare Südfassade, die nebst dem Kollektorfeld auch hohe solare Gewinne über die Fenster zuliesse. Dementsprechend reduziert sich der Bedarf an Energie bei dieser Annahme zusätzlich, die hier zwar hypothetisch ist, aber zahlreichen bestehenden Wohnhäusern entspricht.