

INGENIEURBÜRO für **Arbeitsgestaltung und Baubiologie**

Beratender Ingenieur UBI, freier Grundstücksachverständiger BDGS, Faching., Dipl.-Ing.oec., Ing. **Peter Rauch**
Mölkauer Str. 22, 04318 Leipzig, Tel. ü. 0341/2613034

Veranstalter: Bauberatungszentrum Leipzig

Schimmelpilzbildung infolge von Wärmebrückenbildung - Allgemeine Darstellung und Aufzeigen konstruktiver Mängel beim Dachgeschoßausbau

April 1994

Ort: Leipzig, Dittrichring 18-20 , Bauberatungszentrum Leipzig e.V.

Datum: 04.05.1994

Schlagwörter: Wirtschaftliche Energienutzung, Wärme, I. Hauptsatz, Strahlungswärme, Konvektor-Prinzip, Energieverbrauch, Brennwertkessel, Fußbodenheizung, Wasserdampfdiffusion, kapillare Leitfähigkeit, Hygroskopizität, Gleichgewichtsfeuchte, Feuchtigkeit in Wohnungen, Kondensatbildung, absolute und relative Luftfeuchtigkeit, Lüftungsaustausch, Luftwechselrate, Gas-Dampf-Gemisch, innen und außen Wärmedämmung, Dämmstoffe und ihre Eigenschaften, Schichtgrenztemperaturen, Sättigungsdampfdruckverlauf, Gebäudewärmeschutz, Novellierung der Wsch-VO, Primärenergiebedarf für Baustoffe, Schimmelpilzbildung und -beseitigung, biologischer Bautenschutz, Wärmebrücken, Schadensbilder, Lösungsmöglichkeiten, Luftdichtheit, Tauwasser, Dachausbau

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	2
2. Wärmeschutzanforderungen	3
2.1. Wirtschaftliche Energienutzung am Gebäude	
2.2. Was ist Wärme?	4
2.3. Wärmegewinnung	5
2.4. Wärmedämmung und Luftfeuchtigkeit	
2.4.1. Vorbemerkung	
2.4.2. Luftfeuchtigkeit	
2.4.3. Wärmedämmung	12
2.4.4. Wirtschaftliche und ökologische Aspekte zur Wärmedämmung	16
3. Probleme bei der Wärmedämmung	18
3.1. Problem der Schimmelpilzbildung	
3.2. Wärmebrücken	
3.3. Luftdichtheit	28
4. Problempunkte beim Dachausbau	29
5. Zusammenfassung	32
Checkliste um die Schimmelpilzentstehung zu vermeiden	32
Anlagen:	
1. Mollier-h,x-Diagramm	
2. Bilanz für Primärenergiebedarf beim Hausbau	

1. Einleitung

Ca. 50 % aller Baumaßnahmen sind Sanierungsmaßnahmen an vorhandener Bausubstanz. Leider werden Methoden ohne ihre langjährige Standzeit zu überprüfen bedenkenlos übernommen. Oft werden betriebswirtschaftliche Überlegungen vernachlässigt, so daß sich ein Teil der Sanierungs- bzw. Modernisierungsmaßnahmen als unwirtschaftlich entpuppen. Ganz zu schweigen davon, daß sich bisher bewährte Methoden nicht einfach auf alle Gebäude bedenkenlos übertragen lassen. Das betrifft sowohl die Kosten bei der Fassadeninstandsetzung mittels Vollwärmeschutz, die bei der ordnungsgemäßen Einbindung der Fensteranschlüsse, Vorsprünge, Balkone etc. schnell auf 240 DM/m² ansteigt.[1] Bei einer Wohnungsaußenfläche von ca. 20 m² müßte man gegenwärtig ca. 11.000 l Heizöl einsparen, um in die Gewinnzone zu kommen. Wird noch dazu die Südseite, die kaum beschattet wird, mit diesem Vollwärmeschutz versehen, so ist jede wirtschaftliche Betrachtung ohne Wert, da die Amortisationszeit sehr groß wird. Wichmann und Varsek 1986 haben z.B. durch Messungen festgestellt, daß Heizungswärme aus Solarstrahlung im Extremfall annähernd 40% ausmachen kann. Die Novellierung der WSch-VO geht nicht mehr streng von der k-Wert-Rechnung aus, sondern berücksichtigt auch die passive Energienutzung (Pkt. 2.1.) Gleiche wirtschaftliche Überlegungen sollten auch bei dem Dachgeschoßausbau durchgeführt werden. Jede nachträgliche Baumaßnahme verändert das statische und physikalische Verhalten eines Gebäudes. Diese sind in der Regel eine Innendämmung. Auch für denkmalgeschützte Gebäude kommt nur diese Variante in Frage. Dabei können bewährte Methoden nicht einfach auf ein anderes Gebäude übertragen werden. Es bedarf jedes Mal eine gründliche technische und technologische Überlegung, die sich am Ende auch wirtschaftlich trägt. Werden in den Planungsunterlagen der Baustoffhersteller Systeme vorgestellt, so lassen sich diese nicht einfach auf alle Varianten anwenden, da die praktische Realisierung auf Grund verschiedener konstruktiver Voraussetzungen,

z.B. der Dachstühle, dies nicht zuläßt. So müssen z.B. die Stiele, Mittelpfetten, Firstlaschen, Kopfbänder, Gratsprossen u.a. ordnungsgemäß in die geschlossene Wärmedämmschicht eingebunden und zum größten Teil auch diffusionsdicht verschlossen werden, dies ist in der Praxis an vielen Stellen nicht, bzw. nur unter sehr hohem fachlichen und handwerklichen Zeitaufwand möglich.

2. Wärmeschutzanforderungen

2.1. Wirtschaftliche Energienutzung am Gebäude

Wirtschaftlicher Einsatz der Wärmeenergie bedeutet im betriebswirtschaftlichen Sinne ein günstiges Verhältnis von Aufwand und Nutzen. Hier ist vom Aspekt der Schonung begrenzter Ressourcen und der Schutz der Umwelt auszugehen. Zunächst soll der Energiebedarf, insbesondere für die Raumbeheizung reduziert werden. Wärmeschutz auf sinnvollem Niveau ist neben dem energiebewußten Nutzerverhalten die wichtigste Maßnahme. Weiterhin ist durch bauliche Maßnahmen die passive Nutzung von Umweltenergie (z.B. Sonnenenergie - Fenster) zu gewährleisten. Als dritte Maßnahme sind konventionelle Heizsysteme im Sinne der rationellen Energieverwertung zum Einsatz zu bringen.

Die Maßnahmen zur wirtschaftlichen Nutzung von Energie am Gebäude beeinflussen sich wechselseitig. Sie stehen untereinander in einem sehr komplexen Systemzusammenhang. Eine Verbesserung in einem Bereich kann als unmittelbare Folge eine Verschlechterung in anderen Bereichen bewirken und damit im Extrem sogar ihre Bedeutung als wirtschaftliche Maßnahme verlieren. [2]

Die Ergebnisse einer Studie zur Optimierung einer solarunterstützten Wärmeversorgung für das Neubaugebiet Freital-Deuben [22] 1993 sollen hier sehr vereinfacht dargestellt werden.

Das geplante Mehrfamilienhaus in Freital benötigt pro Jahr einen Gesamtbrennstoffbedarf von ca. 150 kWh für Wärme pro Quadratmeter, davon 90 für Heizenergie, 25 für Warmwasser und 35 sonstiges. Die im Projekt wirtschaftlich effizienteste Maßnahme ist die Wärmeschutzverglasung, bessere Dämmung der Keller (10 cm Polystyrol) und Dach (20 cm Mineralwolle zwischen den Sparren), zusätzlicher Dämmung der Gebäudeaußenwand (30 cm Bims oder Dämmstein mit Polystyrolfüllung) sowie nach einer Optimierung ausgewählter Wärmepumpen verbleiben ein Restbedarf von 73 kWh/m²a. Die Mehrkosten betragen 84 DM/m² Wohnfläche, was zu ca. 3% Baukostensteigerung führt. Eine rein betriebswirtschaftliche Betrachtungsweise wird den sozialen und ökologischen Kosten der Energienutzung dem Problem nicht gerecht. Gegenwärtig liegen die Energiekosten (Gas oder Öl) bei ca. 6 Pf/kWh (in der Studie 5 Pf/kWh), so daß bei einfacher Betrachtung die Investitionszeit von ca. 20 Jahren vorliegt. In der Grafik werden die Wärmekosten der eingesparten Energie aufgeführt. Die anfallenden Investitionskosten wurden annuisiert (Zinssatz 8%, Nutzungszeit 25 Jahre bei baulichen Maßnahmen, 20 Jahre bei der Solaranlage, 15 Jahre bei Heizanlage und Wärmepumpe) und gemäß VDI 2067 in jährliche Kosten umgerechnet. Diese Kostengegenüberstellung betreffen den Neubau. Bei nachträglichen Wärmeschutzverbesserungen können wesentlich höhere Kosten entstehen. Diese hängen von verschiedenen Ausführungskriterien ab.

Gesamtkosten bezogen auf die eingesparte Wärmeenergie (Zins 6%, 16-25 Jahre)

<i>Brennwert</i>	<i>2-4 Pf/kWh</i>
<i>Fenster</i>	<i>7-9</i>
<i>Boden</i>	<i>7-12 Pf/kWh</i>
<i>Dach</i>	<i>9-22</i>
<i>Wärmepumpe EG</i>	<i>14</i>
<i>Bims o. Dämmstein</i>	<i>20-22</i>
<i>Solar</i>	<i>21-25</i>

<i>Thermohaut</i>	28-34
<i>3-fachWS-Glas</i>	30-32
<i>Wärmerückgew.</i>	31-43

2.2. Was ist Wärme?

Die Doppelbedeutung des Fachterminus Wärme hat historische Ursachen. Für ein logisch einwandfreies Verständnis gilt daher die Definition:

Wärme(Q) ist Energie, die an der Grenze zwischen Systemen verschiedener Temperatur auftritt und die allein auf Grund des Temperaturunterschiedes zwischen den Systemen übertragen wird. [3]

Nach Beendigung des Prozesses „Übertragung von Wärmeenergie“ gilt $Q = 0$ Energie, die in Form von Wärme über die Systemgrenze transportiert wurde, wird z.B. als innere Energie im Körper gespeichert. Für die Energieform Wärme ist eine Vorzeichenvereinbarung nötig.

Dem System zugeführte Wärme: $Q > 0$

Dem System abgeführte Wärme: $Q < 0$ [4]

Auf diese Grundlagen beruht die Novellierung der WSch-VO. Hier wird der Heizwärmebedarf Q_H aus der Bilanz des Transmissionswärmebedarf Q_T , des Lüftungswärmebedarf Q_L sowie die Berücksichtigung von internen Wärmegewinnen Q_I und solaren Wärmegewinnen Q_S gemäß folgender Gleichung

$$Q_H = 0,9(Q_T + Q_L) - (Q_I + Q_S) \text{ [kWh/a]}$$

direkt ermittelt. [5]

Damit wird sich an den Satz der Erhaltung und Umwandlung der Energie orientiert (I.Hauptsatz), er besagt:

Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden.

Es soll hiermit zum Ausdruck kommen, daß die Wärmeenergie, die in ein System (Haus) eingeführt wird auch wieder als Wärme oder in einer anderen Energieform entweicht, bis sich die beiden Systeme Haus und Umgebung in ihrem Energieniveau angleichen. Bei sehr niedrigen Außentemperaturen wird dem System Haus sehr viel Wärme abgeführt. Bei annähernd gleicher Raum- und Außentemperatur erfolgt kein Wärmeausgleich, sondern man kann feststellen, daß die Zimmertemperaturen ohne zu heizen leicht ansteigen. Die Ursachen liegen unter anderem an dem internen Wärmegewinn, wie beim Kochen, Körpertemperatur der Bewohner u.a. Ein Teil der verantwortlichen Größen, die in der o.g. Bilanz aufgeführt sind, führen zu einem sehr stark vereinfachten Ergebnis. Man kann von ca. 50 Einflußgrößen ausgehen, davon ist der größte Teil nicht erfaßbar. Allein der Wärmedurchgangskoeffizient, der als anerkannte Rechengröße zur Bewertung verschiedener Baustoffe Anwendung findet, kann nur über ein kompliziertes Meßverfahren über mehrere Tage hinreichend genau bestimmt werden. Aus wirtschaftlicher Sicht sollte das in der Bilanz erzielbare Ergebnis jedoch ausreichend sein. Es muß jedoch bedacht werden, daß sich z.B. durch die Durchfeuchtung des Mauerwerkes, Überschattung durch ein neues Gebäude auf der Südseite oder wachsende Bäume entscheidende Veränderungen auftreten können.

2.3. Wärmegewinnung

Bevor die Umstellung auf eine neue Heizung erfolgt, sollte jeder sich Gedanken darüber machen,

wie der jetzige Stand der Heizanlage ist und was er erreichen möchte. Eine einfache Anlage ist billiger, erfordert jedoch einen höheren Bedienungsaufwand. Andererseits bringt eine Verbesserung der Wärmeisolierung oft einen höheren Nutzen. In der Fachsprache wird von den Transmissionswärmeverlusten, die mit Hilfe der Wärmedurchgangskoeffizienten (k-Werte) beschrieben werden, gesprochen. Z.B. haben die meisten Häuser einen Wärmedurchgang von 1,50-2,0 W/m²K, das heißt im Winter geht etwa 40-50 Watt pro m² Außenwandfläche und Std. an Wärme verloren (Transmissionswärmeverlust). Bei einer guten Wärmeisolierung sind das nur noch ca. 13 Watt/m². Sie sparen damit theoretisch ca. 75% an Heizenergie. Dagegen bringt die Modernisierung der Heizung nur 10-20% Einsparung. Das ist wiederum abhängig vom Wirkungsgrad der alten Anlage. Auf der anderen Seite stehen gesetzliche Vorschriften, wie das Bundes-Immissionsgesetz, welche eindeutige Anforderungen an die Heizanlage stellen.

Ein Einzelofen oder besser der Kachelofen (Wirkungsgrad 90%), beheizt mit Holz, schneidet bei der Umweltbelastung gut ab. Dieser Ofen gibt seine Wärme überwiegend durch Strahlung ab. Es entsteht eine bessere Luftschichtung (vertikales Temperaturgefälle) und ist somit gegenüber dem Konvektor-Prinzip (Luft gleitet vorbei) im Vorteil. Bei Strahlungswärme (Kachelofen) wird die Wandoberfläche auf 18-20°C erwärmt. Die Lufttemperatur braucht nur 18°C betragen. Bei einer kalten Wandoberfläche (Konvektor-Prinzip) werden hingegen 24°C Lufttemperatur benötigt. Auf diese Weise können 30% Wärmeenergie gespart werden. Dieser Wärmespender ist wesentlich billiger in der Anschaffung gegenüber einer voll automatisierten Heizanlage. Seine Wartung ist einfacher und billiger und die Standzeit ist größer. Durch ihre Bauart sind sie gesundheitlich günstiger und angenehm und weisen noch zahlreiche andere baubiologische Vorteile auf, wie der Temperaturunterschied von Raum zu Raum (Reizklima), niedrigere Raumlufttemperatur, „hohe“ relative Luftfeuchtigkeit u.a. Es gibt Häuser mit 120-150 m² Grundfläche, bei denen zwei Kachelöfen mit Nachheizwänden in benachbarten Räumen die Beheizung und Warmwasserbereitung vollständig übernehmen. Dies konnte ich auch kürzlich in Kitzscher in einem Siedlungshaus, wo durch einen Luftschachtofen 4 Räume beheizt werden, sehen. Künftig soll der Ofeneinsatz durch einen Ölofen ersetzt werden. Ein wesentlicher Nachteil für den Kachelofen gilt, daß er auf Grund seiner großen Masse für kurzfristig beheizte Räume nicht geeignet ist. Ebenso gestaltet sich eine Regelung dieser Heizung als schwierig. Als zukunftsweisend im biologischen und wirtschaftlichen Sinn ist die Hypokastenheizung anzusehen. Das Prinzip beruht auf einer Vergrößerung der Strahlungsfläche durch Warmluftkammern, die senkrecht und waagrecht in Wänden und Decken angeordnet sind. In der Realität läßt sich aber nicht immer alles erfüllen. Zur Beheizung kann z.B. nur bestimmtes Holz (Hartholz) verwendet werden und es muß trocken sein. Das erfordert einen Lagerplatz und der Brennstoff muß ständig aufgelegt werden. Durch moderne Bauarten kann auch hier die Bedienung vereinfacht werden, ebenso ist der Staubanteil gering, das nach ein bis zwei Monaten Dauerbetrieb höchsten eine kleine Schaufel Asche anfällt. In der Praxis wird aber diese Heizungsart nur etwa 3% ausmachen können.

Aus verschiedenen Anwendungsgründen hat eine zentrale Heizanlage ein breites Anwendungsfeld gefunden. Die gebräuchliche Auslegung einer Warmwasserheizung in Glieder-, Platten- und Rohrheizkörper sowie artverwandte Bauformen zählt zu den Heizsystemen mit durchschnittlicher Trägheit. Es kann damit eine durchschnittlich genaue zentrale oder raumweise Regelung erfolgen. Hier ist auch eine Kopplung mit regenerativen Energien, wie Wärmepumpen, Wärmekollektoren u.a., technisch besser zu lösen.

Bei der Auswahl des Wärmeerzeugers spielen die Kennwerte Kesselgröße, feuerungstechnischer Wirkungsgrad, Betriebsbereitschaftsverlust, Emissionsverhalten und Regelungseigenschaften eine wichtige Rolle. Ausschlaggebend für die Bestimmung der Kesselgröße ist die erforderliche Nennwärmeleistung, diese muß dem Wärmebedarf des Hauses oder der Wohnung entsprechen. Beträgt der Energieverbrauch vielerorts noch zwischen 20 - 30 l Heizöl pro m² beheizte Fläche im Jahr, so schreibt die neue Wärmeschutzverordnung einen Verbrauch von unter 10 l/m² bzw.

Heizwärmebedarf von 54 bis 100 kWh/m² im Jahr vor. In Schweden wurde in Untersuchungen festgestellt, daß bei konstruktiv richtiger Ausführung Häuser mit einem Heizenergieverbrauch von 3 - 7 l Öl pro m² beheizte Fläche gebaut werden können. Die Anforderungen an das Niedrig-Energie-Haus liegen bei einem Heizölverbrauch zwischen 2,5-6,0 l pro Jahr und qm. Diese Verbrauchswerte werden an alle künftig zu errichtende Häuser gestellt. Die an die Bauausführung gestellten Anforderungen werden recht unterschiedlich diskutiert. Bei günstiger konstruktiver Auslegung des Hauses (einschließlich der Wärmeisolierung) können Niedertemperaturheizungen zum Einsatz kommen, ohne daß die Heizkörper sehr groß ausgelegt werden müssen. Ob nun Gas oder Heizöl als Energieträger zur Anwendung kommt, hängt von der örtlichen Gegebenheit ab. Erdgas kostet gegenüber einer vergleichbaren Menge Heizöl im Mittel etwas mehr. Dafür sind aber in der Regel die Anschaffungskosten einer Gasheizung billiger. Zu beachten ist jedoch, daß bei der Ölheizung ein Tank aufgestellt und bei der Gasheizung die Leitung verändert werden muß, bzw. es muß erst eine auf das Grundstück verlegt werden. Hier können schon finanzielle Unterschiede auftreten. Beim Kauf sollten stets eine Unit gegenüber einer beliebigen Kombination aus Brenner und Kessel bevorzugt werden, da diese im Betrieb günstigere Werte erwarten lassen. Bei gasbefeuerten Anlagen sollten auch die Brennwertkessel - sie nutzen die im Abgas enthaltene Wärme - zur Auswahl stehen. Z.B. stellen die Brennwert-Gas-Wandkessel eine interessante platzsparende Variante dar. Von der Seite des Schadstoffes weist z.B. der Olymp Öko-Heizautomat sehr gute Emissionswerte auf, die noch die Grenzwerte des Umweltzeichens RAL UZ 46 (Blauer Engel) und die strengen Abgasbestimmungen der Züricher Norm unterschreiten. Auch darauf sollte bei der Auswahl einer neuen Heizanlage geachtet werden, um auch künftigen Anforderungen gerecht zu werden. Oft muß bei einer Sanierung auch der Fußboden erneuert werden. Hier kann die Kombination einer Fußbodenheizung mit Heizkörper zum Einsatz kommen. Die Vorteile beider Systeme werden somit ausgenutzt. Die Fußbodenheizung übernimmt dabei die Grundheizung der ständig genutzten Räume. Durch den Fußboden erhält man eine große Strahlungsfläche. Die Temperatur des Fußbodens sollte dabei 25°C nicht überschreiten, eher etwas niedriger liegen. Durch die Heizkörper kann eine schnelle Anpassung an den Wärmebedarf erfolgen. Dabei ist zu beachten, daß eine Nachtabsenkung der Temperatur im massiven Haus mit äußerer Wärmeisolierung relativ wenig, aber in einem Fertigteilhaus doch eine Energieeinsparung bringt. Dies liegt an der Wärmespeicherfähigkeit des massiven Mauerwerkes. Wird das Heizungssystem an eine zentrale Regelung gekoppelt, so kann die Bereitstellung der entsprechenden Wärmemenge optimiert werden. Die Raumtemperatur ist sowohl bei normaler als auch bei niedriger Außentemperatur angenehm. Neben der genannten Kombination gibt es viele andere Varianten, wie die Fußboden-Randleisten-Heizung, Hypokastenheizung u.a. Heizen mit Strom, ist sicherlich in einigen Fällen eine gute Alternative. Die Kosten für den günstigen Nachtstrom liegen jedoch pro kWh etwa bei 14 Pf gegenüber bei Erdgas mit etwa 6 Pf. Auch wenn der Strom fast zu 100% in Wärme umgewandelt werden kann, ist zu beachten, daß die heimischen Kraftwerke, die den Strom erzeugen, im Verhältnis sehr unrentabel arbeiten und die Umwelt stark belasten. Aus baubiologischer Sicht sollten Heizungen, die einen hohen Konvektionsanteil (hohe Raumluftbewegung) besitzen, wie die Radiator-Heizung, direkte Warmluftheizung u.a., möglichst nicht zum Einsatz kommen. [21]

2.4 Wärmedämmung und Luftfeuchtigkeit

2.4.1. Vorbemerkung

In diesem Abschnitt muß auf die Erläuterung vieler Faktoren und Einflußmöglichkeiten verzichtet werden. Es soll daher nur auf bestimmte Punkte, die für das Verständnis der Problematik notwendig sind, eingegangen werden.

2.4.2. Luftfeuchtigkeit

Material und Feuchtigkeit

Das Sprichwort „Steter Tropfen höhlt den Stein“ weist darauf hin, das Wasser auf alles Feste auflösende Wirkung hat, und daß schon geringe Mengen an der falschen Stelle große Folgen haben können. [10]

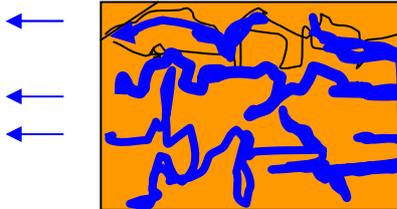
In allen kapillar-porösen Bauwerksteilen wird Feuchtigkeit gespeichert. Die Speicherung verläuft dynamisch und innerhalb desselben Bauteils oft sehr ungleichmäßig. Bei kapillar-porösen Bauwerksteilen stellt sich ein durchschnittlicher Dauerfeuchtigkeitsgehalt ein. Holz wird durch eine Gleichgewichtsfeuchtigkeit gekennzeichnet, ist jedoch auch hygroskopisch kann also aus der Luft Feuchtigkeit binden.

Man unterscheidet

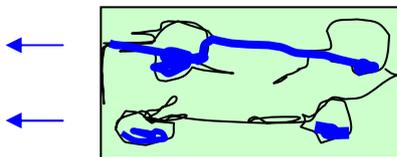
- Wasserdampfdiffusion: der Transport von Wasserdampf durch den Baustoff
- Kapillare Leitfähigkeit: der Transport von Flüssigkeit (Wasser) durch den Baustoff
- Hygroskopizität: die Fähigkeit eines Baustoffes, Wasser aufzunehmen und zu binden.

Bild 1: Feuchteverhalten verschiedener Baustoffe [9]

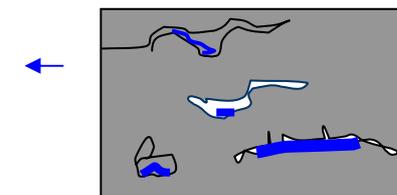
Gut ausgebildetes Kapillarsystem
Mit Kapillaren unterschiedlichen
Durchmessers:
Großes Wasseraufnahmevermögen,
großes Feuchteabgabevermögen Z.B.
Ziegel, Gips



Geschlossenzellige Struktur mit
Wenigen Kapillaren zwischen den Zellen:
Großes Wasseraufnahmevermögen,
geringes Feuchtigkeitsabgabevermögen:
z.B. Gasbeton



Struktur mit kleinen, abgeschlossenen Poren
und Kapillaren:
Geringes Wasseraufnahmevermögen, geringes
Feuchtigkeitsabgabevermögen: z.B. Schwer-
Beton, Blähton-Beton



Ziegel und Holz haben besonders günstige physikalische Eigenschaften und sind deshalb als raumumschließende Baustoffe zu empfehlen. Ihr wesentlicher Vorteil ist, daß sie kurzzeitige Feuchtigkeitsspitzen abbauen können, wie sie z.B. beim Duschen auftreten. Dämmstoffe müssen vor direkter Durchnässung geschützt werden, da ihre Wirkung auf vielen luftgefüllten Hohlräumen beruht. Füllen sich diese mit Wasser, so wird die Dämmwirkung drastisch verringert. Sie sind mit sorgfältig angebrachten Dampfsperren zu schützen. Bei Dämmstoffen mit höherer Gleichgewichtsfeuchte, wie Kokos, Stroh, Kork oder Zellulose, kann unter Umständen auf die Dampfsperre verzichtet werden. [10]

Luftfeuchtigkeit im Wohnraum

(Hier spielen die absolute und relative Luftfeuchte, die Sättigungstemperatur und der Wasserdampfdruck eine Rolle.) Die Feuchtigkeit der Luft wird als Wasserdampf bezeichnet,

welchen man nicht sehen, hören und riechen kann. Ständig erhöhte Feuchtigkeit in Wohnräumen führt zu gesundheitlichen Risiken, wie chronische Hustenanfälle und asthmatische Erkrankungen, im Extremfall besteht die Gefahr der Schwindsucht. In den überwiegenden Fällen sind Feuchtigkeitsursachen vielschichtig und können sich gegenseitig begünstigen.

Feuchtigkeit in Wohnungen

1. Entstehung durch Nutzung (Wasserdampfproduktion)

- Wannenbad 1 l pro Person
- Zimmerpflanze 0,5 bis 1 l pro Tag
- Atmung 1 Person ca. 0,1 l pro Stunde
- Schlafphase ca. 1 l pro Person
- Trocknen von Wäsche 4,5 kg 1-1,5 l

2. Durch Beschaffenheit des Gebäudes

2.1. Konstruktiv vorhanden

Schwachstellen der Konstruktion, Wärmebrücke

2.2. Innere Einwirkungen

Defekte an Wasserleitungen, Spritzwasser im Bad

2.3. Äußere Einwirkungen

Dachbereich, undichte Fenster, Türen, Wände durch Niederschlag

Aufsteigende Feuchtigkeit durch defekte Sperrung im Fundament- und Erdgeschoßbereich

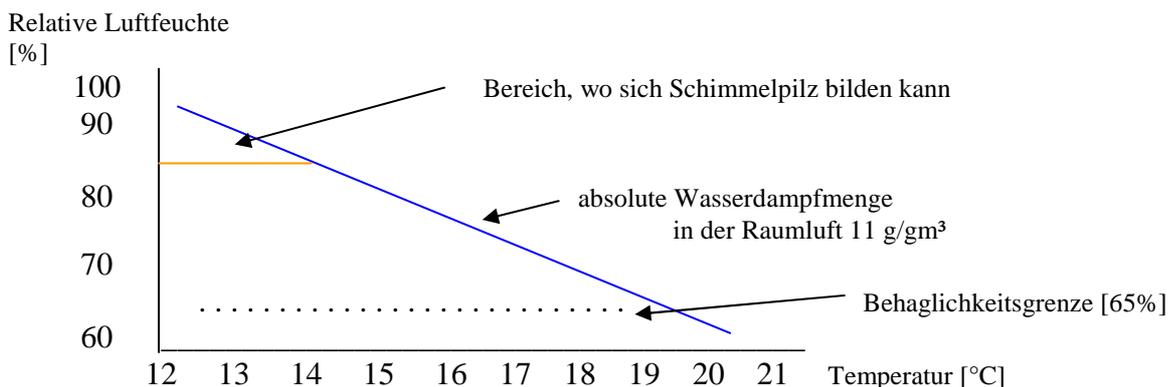
2.4. Im Neubau

Die baustoffbedingte Beimischung von Wasser (Gips, Kalk, Beton) muß über längere Zeit
Durch erhöhte Beheizung und Lüftung austrocknen

[7]

Eine zu große Feuchtigkeit in den Wohnräumen, die Behaglichkeit liegt bei etwa 65 % relative Luftfeuchtigkeit, führt einerseits zur Schädigung des Baukörpers und andererseits hat dies gesundheitliche Auswirkungen und im Extremfall kann sich Schimmelpilz bilden. In der nachstehenden Grafik wird die Abhängigkeit der relativen Luftfeuchtigkeit von der Temperatur aufgezeigt. Die absolute Luftfeuchtigkeit ist unverändert.

Bild 2: Kritischer Bereich der Kondensatbildung für Schimmelbefall [15 S. 121]



Es wird deutlich, daß bei einer Absenkung der Lufttemperatur die relative Luftfeuchtigkeit ansteigt. Weisen einige Bauteile auf Grund ihrer Baustoffzusammensetzung oder durch geometrische Formen an ihrer Oberfläche eine niedrigere Temperatur als ihre Umgebung auf, so ist an dieser Fläche eine höhere relative Luftfeuchtigkeit erkennbar. Diese Beobachtung kann man an den Fensterscheiben älterer Bauart feststellen (Feuchtigkeitsfallen). Treten feuchte Wände oder Wandflächen auf, so sollte neben einer Erhöhung der Lüftungsrate die Raumtemperatur erhöht werden. Allerdings kostet eine Temperaturerhöhung ca. 6% mehr Wärmeenergie (dies ist abhängig

von der Raumgröße und dem Wärmedurchgangskoeffizienten. Auf eine Nachtabsenkung, um Energie zu sparen, sollte in diesem Fall verzichtet werden, wenn kritische Bauteile vorhanden sind.

Lüftungsaustausch

Eine intensive Lüftung der Räume ist erforderlich, um die verbrauchte Atmenluft (höherer CO₂-Gehalt) auszutauschen, die Luftfeuchtigkeit und die Radioaktivität zu senken. In Schweden wurde in stark wärmegeämmten Wohnungen eine Erhöhung von der Dosis 110 μmrem bis auf 380 mrem festgestellt. (Jede radioaktive Strahlung - ob natürlich oder künstlich- ist lebensfeindlich. (Prof. Fritz-Niggli) Empfehlenswert ist daher ein Luftwechsel von 2 bis 3. [11] Neben diesem Fakt ist die Reduzierung der Luftfeuchtigkeit ein wichtiger Aspekt der Lüftung. In Busse [15 S. 144] wird auf eine Mindestanforderung an Luftaustausch in Wohnungen von $0,8 \text{ h}^{-1}$ bei vorgeschriebenem Mindestwärmeschutz (DIN 4108) von $k \dot{y}=1,38 \text{ W/m}^2\text{K}$ gefordert, wonach keine Schimmelpilzbildung erfolgt. (Durch die Novellierung sind wesentlich höhere Anforderungen gestellt.) Durch das Fraunhofer Institut wurde die Luftwechselzahl untersucht. In der nachfolgenden Tabelle werden einige Werte aufgeführt.

Tabelle 1: Luftwechselzahl [15 S. 152]

Lüftungsart	Luftwechselrate	Dauer der Lüftung für einen Luftaustausch
Geschl. Fenster und Türen	0,0 bis 0,5	Mindestens 2 Std. (je dichter die Fenster, so geht der Wert gegen unendlich)
Fenster gekippt	0,5 bis 2,0	0,5 bis 2 Std.
Halb geöffnete Fenster	5 bis 19	6 bis 12 Minuten
Völlig offene Fenster	9 bis 15	4 bis 7 Minuten
Querlüftung	40	1,5 Minuten

Diese Luftwechselrate bezieht sich jedoch nur auf die Reduzierung der Luftfeuchtigkeit, nicht auf die Senkung der Radioaktivität und anderer Giftstoffe (Formaldehyd, Dämpfe u.a.) in der Raumluft. Absolut dichte Fenster sind ungünstig. Die Argumente, täglich 3 bis 4 mal kräftig lüften, erfordern immer die Anwesenheit eines „Lüfters“, ganz zu schweigen von der Gewohnheit. Auch bei Abwesenheit erhöht sich die Luftfeuchtigkeit z.B. durch die Zimmerpflanzen. Die Lüftung ist die wichtigste Maßnahme um die Zimmerfeuchtigkeit zu senken. Die Folgen der Gummilippendichtungen an den Fensterflügeln entsprechend den Forderungen der Wärmeschutzverordnung von 1984 bezüglich des Fugendurchlaßwertes bildeten die Geburtsstätte von Tausende von mit Schimmelpilz befallene Räume in der Bundesrepublik. In Schweden wurde daher eine zusätzliche Zwangsbe- und Entlüftung eingeführt. Es gibt einfache Systeme, die nur aus dem Schlafzimmer, der Küche und dem Badezimmer die Luft absaugen und durch regelbare Lüfterdosen in den Wänden der Wohnräume Luft nachströmen lassen.[10] Die Bedeutung der Lüftung soll noch einmal in der nachfolgenden Tabelle gezeigt werden.

Tabelle 2: Abgeführte Feuchtigkeitsmenge aus dem Raum in Abhängigkeit von der Außentemperatur [12]

Außenlufttemperatur	Aus dem Raum abgeführte Feuchtigkeitsmenge in [g/h] Diffusion durch die Außenwand	Aus dem Raum abgeführte Feuchtigkeitsmenge in [g/h] Durch einfachen Luftwechsel
- 20 °C	5,5	437
- 10 °C	4,8	378
0 °C	3,2	242
+ 10 °C	0,4	15

Allerdings ist die gesamte Problematik wesentlich komplizierter, wie sie hier dargestellt wird. An einem Beispiel soll dies verdeutlicht werden.

Exkurs: Es soll in einem 50 m³ großen Zimmer ein einfacher Lüftungsaustausch erfolgen. Die Zimmertemperatur beträgt 17 °C mit einer relativen Luftfeuchtigkeit 85%. Die Außenluft hat eine Temperatur von 5°C mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von 90%. Nach dem einfachen Luftaustausch beträgt die relative Luftfeuchtigkeit 65 %. Jedoch sind etwa Lüftungswärmeverluste von ca. 140 W aufgetreten.

Berechnung:

Gegeben: $t = 17^\circ\text{C}$, $\phi = 85\%$, $p = 0,1 \text{ MPa}$, $R_G = 287,1 \text{ Nm/kgK}$ (Gaskonst. Luft), $R_D \dot{y} = 461,5 \text{ Nm/kgK}$ (Gaskonst. Wasserdampf), $h = 44 \text{ kJ/kg}$ (Enthalpie) [aus dem Mollier-h,x-Diagramm für feuchte Luft Anlage 1], Raumvolumen 50 m³

$$m_G = \frac{p - \phi p_s}{R_G T} \times V = \frac{10^5 - (0,85 \times 1936,3) \text{ N/m}^2}{287,1 \text{ Nm/kgK} \times 290 \text{ K}} \times 50 \text{ m}^3 = 59 \text{ kg trockene Luft}$$

$$m_D = \frac{\phi p_s}{R_D T} \times V = \frac{0,85 \times 1936,3 \text{ Nm}^2}{461,5 \text{ N/kgK} \times 290 \text{ K}} \times 50 \text{ m}^3 = 0,615 \text{ kg Wasserdampf}$$

Berechnung von $p_s = 288,88(1,098 + \vartheta / 100)^{8,02} \text{ [N/m}^2\text{]}$

Die Wasserdampfmenge entspricht 10,4 g/kg_{Luft} aus m_D/m_G (vergleiche Mollier-Diagramm Anlage 1) bzw. $x_1 = 12,3 \text{ g/m}^3$ aus 0,615 kg/50 m³_{Luft} (vergleiche Maier-Diagramm Bild 3)

Bild 3: Luftfeuchtigkeit und Taupunkttemperatur (als Anlage)

Die Berechnung für die 50m³ Außenluft erfolgt analog wie oben. Es ergeben sich folgende Werte

$T = 5^\circ\text{C}$, $\phi = 90\%$, $p = 0,1 \text{ MPa}$, $m_G = 62,1 \text{ kg trockene Luft}$, $m_D = 0,306 \text{ kg Wasserdampf}$ bzw. $x_2 = 6,1 \text{ g/m}^3_{\text{Luft}}$

Die Raum- und Außenluft werden gemischt.

$$x_m = \frac{m_{G1} x_1 + m_{G2} x_2}{m_{G1} + m_{G2}}$$

$$= \frac{1,18 \text{ kg/m}^3 \times 12,3 \text{ g/m}^3 + 1,24 \text{ kg/m}^3 \times 6,1 \text{ g/m}^3}{\dots}$$

$$1,18 \text{ kg/m}^3 + 1,24 \text{ kg/m}^3$$

$$= 9,1 \text{ g Wasserdampf/m}^3_{\text{Luft}}$$

Es wird eine Mischungsgerade in das Mollier-h,x-Diagramm projiziert. (siehe Bild 4). Es können so die anderen Werte entnommen werden. Es ergibt für die Enthalpie $37,5 \text{ kJ/kg}$, $t = 14^\circ\text{C}$, $\phi = 90\%$ (relat. Luftfeuchtigkeit).

Bild 5: Erwärmung eines Gas-Dampf-Gemisches

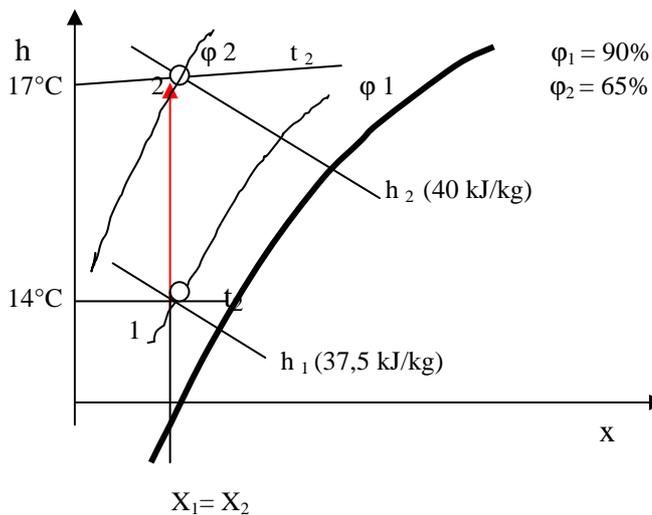
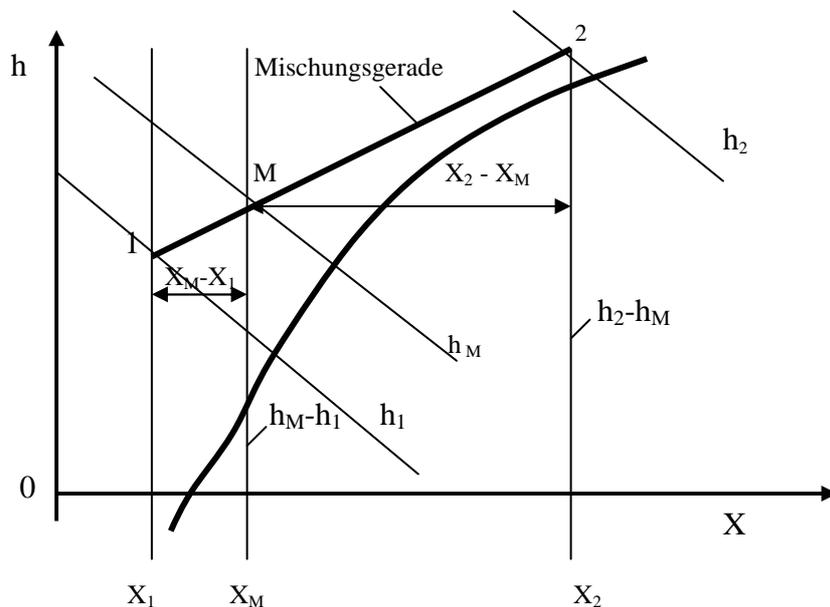


Bild 4: Mischen zweier Gas-Dampf-Gemische



Es ist zu einer Abkühlung der im Raum befindlichen Mischluft gekommen. Damit ist eine Energieabführung erfolgt. Bei 50 m^3 beträgt dies

$$50 \text{ m}^3 \times 1,18 \text{ kg/m}^3 (44 \text{ kJ/kg} - 37,5 \text{ kJ/kg}) \times 278 \times 10^{-4} \text{ kWh} \\ \text{-----} = 0,106 \text{ kWh} \\ \text{1 kJ}$$

Um wieder die Innentemperatur von 17°C zu erreichen, muß eine Wärmeenergie von

$$2,5 \text{ kJ/kg} \times 50 \text{ m}^3 \times 1,2 \text{ kg/m}^3 = 150 \text{ kJ bzw. } 42 \text{ Wh}$$

zugeführt werden (siehe Bild 5).

Die einfache Lüftung bedarf bei den gegebenen Ausgangswerten ca. 140 Wh Wärme. Beträgt in diesem Beispiel die Außenwand 10 m² mit einem k-Wert von 0,5 W/m²K und einem Fensteranteil von 3,5 m² mit k= 1,5 w/m²K, so ergibt dies bei dem Temperaturunterschied von 15 K (20°C innen und 5°C außen)

$$(3,5 \text{ m}^2 \times 1,5 \text{ W/m}^2\text{K} + 6,5\text{m}^2 \times 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}) \times 15\text{K} \times 1 \text{ h} = 127,5 \text{ Wh.}$$

Bei dieser Berechnung entspricht der Lüftungswärmeverlust etwas mehr als die Transmissionswärmeverluste.

Die ermittelten Werte von Herrn Dr. Maier [13] erfolgen auf der Berechnungsgrundlage nach der DIN 4108 nach dem A/V-Verfahren und einer Luftwechsellzahl von 0,4 bis 0,6. Bei seinem Beispiel beträgt der Lüftungswärmeverlust 20 % am Gesamtwärmeverlust bei einem k-Wert von 0,725 W/m²K.

Aussage: Um Schwitzwasserbildung an den Wandoberflächen zu vermeiden, muß die Raumfeuchtigkeit hinausgelüftet werden. Die damit hinaus geführte Wärme nimmt in ihrem Verhältnis zum Transmissionswärmeverlust zu, so besser die Wärmeisolierung des Gebäudes ist. Es ist somit aus technischer und wirtschaftlicher Sicht eine Grenze der sinnvollen Wärmedämmung gesetzt. Diese liegt etwa bei einem k-Wert 0,5 bis 0,4. Für eine Wärmerückgewinnung mit mechanischen Anlagen, um die Lüftungswärmeverluste zu verringern kann gegenwärtig nur schwierig ein Wirtschaftlichkeitsnachweis erbracht werden. [13] Hier spielt die richtige Wartung, sonst entsteht eine Brutstätte für Bakterien und Pilze, der Wirkungsgrad, die Lärmbelästigung und andere Faktoren eine Rolle.

2.4.3. Wärmedämmung

Die neue Wärmeschutzverordnung ist ein Schritt hin zu einer Verbesserung des Wärmeschutzes und soll sich somit wirksam auf eine Senkung der benötigten Heizenergie auswirken. Bei den künftigen Neubauten soll vornherein gemäß neuester technischer und technologischer Erkenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten gebaut werden. Anders sieht es bei der Sanierung von Altbausubstanz aus.

Technische Lösungen werden vielfach auf ein beliebiges Gebäude übertragen, ohne die Machbarkeit tiefgründig zu prüfen. In den seltensten Fällen erfolgt eine wirkliche Wirtschaftlichkeitsrechnung. Die Fehler, die man in der alten Bundesrepublik vor 20 Jahren begangen hat, werden in den neuen Bundesländern um so intensiver betrieben. Mag das Instandsetzungsvolumen im Interesse einer florierenden Produktion bestimmter Baustoffe dienen, verantwortungsbewußt, wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll kann dies jedoch nicht bewertet werden. [1] In diesem Zusammenhang soll Herr Prof. Dr. C. Meier (Nürnberg) zitiert werden: „eine Novellierung der bestehenden Wärmeschutzverordnung dient weniger der Energieeinsparung, sondern viel mehr dem Dämmstoffumsatz!“ [14] Ein Teil der zum Einsatz kommenden Dämmstoffe werden in der Tabelle 3 nach ihren Eigenschaften aufgeführt.

Tabelle 3: Dämmstoffe und ihre Eigenschaften (Planen, Bauen & Wohnen S. 38)

Dämmstoff	Wärmeleitfähigkeit.	Baustoffklasse	Einsatzbereich	Baubiologisches Verhalten
Mineralwolle	0,035 bis 0,05	A 1/ A 2 nicht brennbar	Flach- und Steildach, Außendämmung, Kerndämmung, Innendämmung	Umstritten, aber keine nachweisbare Gesundheitsgefährdung
Polystyrol-Hartschaum	0,035 bis 0,04	B 1 /B 2 schwer /normal entflammbar	Dach, Außenwand, Innenwand, Kerndämmung (Imit Zulassung) Fußboden	Umstritten, aber keine nachweisbare Gesundheitsgefährdung
Polyurethan-Hartschaum	0,020 bis 0,035	B 1 /B 2 schwer /normal entflammbar	Dach, Gründach, Fundamente (mit Zulassung), Kerndämmung, Innendach	Umstritten, aber keine nachweisbare Gesundheitsgefährdung
Schaumglas	0,045 bis 0,06	A 1 nicht brennbar	Fundamente, Flach- u. Terrassendach, Außenwand, Innenwand, Fachwerk	Baubiologisch unbedenklich
Perlite	Unter 0,1	A 1 nicht brennbar	Dämmschüttung, Decke und Fußboden	Baubiologisch unbedenklich
Blähton	0,08 bis 0,02	A 1 nicht brennbar	Dämmschüttung, Außenwand, Fachwerk, Innenwand Fußboden u. Decke	Baubiologisch unbedenklich
Zellulose-Dämmstoff	0,045	B 2 normal entflammbar	Dach, Außenwand, Innenwand, Decke	Baubiologisch unbedenklich

In den nachfolgenden Beispielen wurde eine 36-er Ziegelwand mit einer Wärmedämmung versehen und nach ihrem theoretischen Verhalten und einem möglichen Tauwasserausfall betrachtet.

Tabelle 4: Wandaufbau der Varianten

Schichtenfolge	Varianten						d[m]	λ [W/mK]	d/ λ [m ² K/W]	μ_{\min}	μ_{\max}	1/ Δ
	V1	V2	V3	V4	V5	V6						
Kunstharputz	x	x					0,003	0,70	0,004	50	200	
Polystyrol		x					0,12	0,041	2,92	40	100	
			x				0,06	0,041	1,46	40	100	
Kalkzementputz	x	x	x	x	x	x	0,02	0,87	0,02	15	35	1,05
HWL-Platte						x	0,05	0,093	0,54	2	5	
Ziegel (1800)	x	x	x	x	x	x	0,365	0,81	0,45	5	10	5,47
Kalkzementputz	x	x	x	x	x	x	0,02	0,87	0,02	15	35	1,05
Mineralfaserpl.				x			0,04	0,041	0,92		1	0,06

Schichtenfolge	Varianten						d[m]	λ [W/mK]	d/ λ [m ² K/W]	μ_{\min}	μ_{\max}	1/ Δ
	V1	V2	V3	V4	V5	V6						
Korkplatte				x	x		0,01	0,045	0,22	20	30	
PE-Folie				(x)						100000		
Gipskartonplatte				x			0,012	0,21	0,06	8	0,14	

$$1/\alpha_a = 0,04, \quad 1/\alpha_i = 0,13$$

Klimatische Randbedingungen: Winter $\vartheta_a = -10^\circ\text{C}$, $\vartheta_i = +20^\circ\text{C}$
 $P_a = 208 \text{ N/m}^2$, $P_i = 1170 \text{ N/m}^2$ (Wasserdampfdruck)
Dauer 1440 h
Sommer P_a und $P_i = 982 \text{ [N/m}^2]$
 P_{s_a} und $P_{s_i} = 1404 \text{ [N/m}^2]$ (Wasserdampfsättigungsdruck)

Die Variante 4 ist eine Innendämmung und wird als Beispiel nach der bauphysikalischen Nachweis des Tauwasserausfalls nach DIN 4108 Teil 5 berechnet: Bei diesem Beispiel Innendämmung wurde mit Absicht die Dampfsperre nicht berücksichtigt. (Es wird ausgegangen, daß die vorhandene mit >1% kaputt und damit unwirksam ist.)

Berechnung des K- Wertes

$$k = \frac{1}{1/\alpha_a + d/\lambda + 1/\alpha_i} = \frac{1}{0,04 + 0,02 + 0,45 + 0,02 + 0,96 + 0,06 + 0,13} = \frac{1}{1,68}$$

$$k = 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Ermittlung der Schichtgrenztemperatur:

Es wird das $1/k \cdot \vartheta$ -Diagramm (Bild 6.1.[siehe Anlage]) erstellt. Die $1/k$ -Werte werden auf die Abszisse aufgetragen. Auf die Ordinate werden die Temperaturpunkte von -10°C bis $+20^\circ\text{C}$ aufgetragen. Durch die Schnittpunktbildung kann die jeweilige Schichttemperatur abgelesen werden.

Ermittlung des Sättigungsdampfdruckes:

Die Berechnung erfolgt nach der Formel

$$P_s = f(\vartheta)$$

$$\begin{aligned} 0^\circ\text{C bis } 30^\circ\text{C} & \quad P_s = 288,88(1,098 + \vartheta/100)^{8,02} \text{ [N/m}^2] \\ -20^\circ\text{C bis } 0^\circ\text{C} & \quad P_s = 4,689(1,486 + \vartheta/100)^{12,3} \text{ [N/m}^2] \end{aligned}$$

Sie betragen für die Temperaturen

a = -10	$P_{s_a} = 260$
$a_o = -9,5$	$P_{s_{a_o}} = 272$
1/2 = -9,0	$P_{s_{1/2}} = 291$
2/3 = -1,0	$P_{s_{2/3}} = 563$
3/4 = -0,5	$P_{s_{3/4}} = 587$
4/5 = 16,8	$P_{s_{4/5}} = 1915$
$i_o = 17,8$	$P_{s_{i_o}} = 2040$
i = 20	$P_{s_i} = 2338$

Berechnung des Diffusionswiderstandsfaktors :

$$1/\Delta = \mu \times d \times 1,5 \times 10^6$$

Die Werte sind in der Tabelle 4 eingetragen.

Der Sättigungsdampfdruck und der Diffusionswiderstand wird in ein Diagramm übertragen. Gleichzeitig wird auch der Wasserdampfdruck eingezeichnet (Bild 6.2. [siehe Anlage]). Nach dieser Aussage fällt eine große Menge an Tauwasser an.

Im Bild 7 wird der Dampfdruckverlauf im Sommer aufgezeigt. Berechnung der ausfallenden und austrockenbare Tauwassermenge G_K und G_T :

Im Winter stündl. anfallende Menge Im Sommer stündlich austrocknende Menge:

$$g_K = g'' - g'$$

$$g_T = g'' + g'$$

$$g_K = \frac{1170-578}{0,2 \times 10^6} - \frac{578-208}{7,37 \times 10^6}$$

$$g_T = \frac{1404-982}{0,2 \times 10^6} + \frac{1404-982}{7,37 \times 10^6}$$

$$g_K = 2,9 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2\text{h}$$

$$g_T = 2,16 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2\text{h}$$

im Winter anfallende Menge

im Sommer austrocknende Menge

$$G_K = 2,9 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2\text{h} \times 1440 \text{ h}$$

$$G_T = 2,16 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2\text{h} \times 2160 \text{ h}$$

$$= 4,19 \text{ kg/m}^2$$

$$= 4,68 \text{ kg/m}^2$$

In diesem Fall würde die anfallende Tauwassermenge über den Sommer wieder abtrocknen. Jedoch dürfte dieses Beispiel auch zeigen, daß bereits im späten Herbst die **Wärmeleitfähigkeit des durchfeuchteten Isoliermaterials stark zunimmt** und ab Winter fast keine Wärmeisolierung vorhanden ist. Im Punkt 3.3. Luftdichtheit wird das Problem der Dampfsperren näher angesprochen.

Im Bild 8.1. und 8.2. wird der Temperaturverlauf der 6 Varianten dargestellt. In der Variante 1 ist deutlich eine starke Abkühlung an der Innenoberfläche erkennbar. Bei unzureichender Lüftung ist eine hohe Gefahr der Schimmelpilzbildung gegeben. Bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 60% erfolgt an der Wandoberfläche eine Erhöhung auf ca. 85% (siehe Bild 3). Eine ständige und ausreichende Lüftung ist erforderlich. Das ist auch ein wesentlicher Grund, weshalb nach dem Einbau neuer dichter Fenster eine erhöhte Schimmelpilzbildung zu beobachten ist. Grundsätzlich ist als erstes der Wärmedurchgangskoeffizient durch eine zusätzliche Wärmeisolierung zu verbessern. In der Variante 2 wird eine Außenisolierung mit 12 cm Dämmstoff gezeigt. Gegenüber Variante 1 kommt es zu einer Wärmeenergieeinsparung (Verringerung der Transmissionswärmeverluste) bei 20°C innen und -5°C außen von 31 W/m²h. Ein Feuchtigkeitsausfall kann an der Grenzschicht Kunstharzputz und Dämmschicht auftreten. Aus diesem Grund ist eine hinterlüftete Vorsatzschale die bessere Variante. Die Variante 3 entspricht der Variante 2 nur mit einer normalen Dämmstoffdicke. Die Innenwandtemperatur liegt noch in einem günstigen Bereich. Die Variante 4 wurde ausführlich berechnet. Es kommen etwa der gleiche k-Wert wie bei Variante 2 und 3 zustande. Jedoch gibt es hier zwei entscheidende Nachteile. Es ist ein ordnungsgemäßes Dichtungskonzept für die Dampfsperre erforderlich (siehe Pkt. 3.3.), sonst kommt es zu einem sehr hohen Feuchtigkeitsausfall. Ein weiterer Nachteil besteht

darin, daß der Gefrierpunkt bis an die Dämmstoffschicht reicht. Die Speicherwirkung der Massivwand geht verloren und des weiteren kann die Erosion im Mauerwerk günstig wirken. Die Variante 5 stellt im eigentlichen Sinn keine Wärmeisolierung dar. Jedoch ist erkennbar, daß durch eine 1 cm starke Korkplatte an der Innenwand die Temperatur um fast 2°C ansteigt und sich der k-Wert um 0,4 W/m²K verbessert. Es wird mit einem geringen Aufwand ein hoher Effekt erzielt. Die relative Luftfeuchtigkeit nimmt an der Wandoberfläche etwa um 18% zu. Rechnerisch ergibt es an der Grenzschicht zwischen Kork und Innenputz ein Feuchtigkeitsausfall. Kork ist ein sorptionsoffener Werkstoff, so daß die Gefahr einer zu starken Durchfeuchtung weniger besteht. Es sollte jedoch besser ständig kontrolliert werden. Die Variante 6 ist eine Außenisolierung (HWL-Platte) und innen eine Korkplatte. Die erreichbaren k-Werte sind zufriedenstellend (nach der WschVO sollen k-Werte von 0,4 erreicht werden). Mit dieser Variante könnte bei einem denkmalgeschützten Haus eine Wärmeisolierung erreicht werden ohne die Bausubstanz in ihrem Charakter zu verändern. Die Schichtdicke muß jeweils angepaßt werden.

2.4.4. Wirtschaftliche und ökologische Aspekte zur Wärmedämmung

Zunächst möchte ich einen Auszug zitieren, den ich mich inhaltlich anschließen kann.

Merksätze zum Gebäudewärmeschutz

“Zusammenfassend sei auf 4 Merksätze zum Gebäudewärmeschutz hingewiesen, bei deren Beachtung grundsätzliche Fehler bei der Konzeption von Wärmeschutzmaßnahmen vermieden werden.

1. Wirtschaftliche Dämmung ist gleichzusetzen mit einem homogenen Wärmeschutzmantel um das Gebäude. Dies bedeutet bei den nichttransparenten Außenflächen einen nach außen hin überall gleichen Wärmedurchgangskoeffizienten, auch zu den erdberührten Bauteilen.

2. Um unnötige Energieverluste und Feuchtigkeitsschäden zu vermeiden, ist auf Wärmebrücken und bauphysikalisch richtige Anordnung der Wärmedämmung in der Außenfront besonders zu achten. Durch einen äußeren Wärmeschutzmantel können diese Nachteile weitgehend vermieden werden.

3. Effektive Außenflächenkonstruktionen zur Energieeinsparung werden mit k-Werten von 0,45-0,55 W/m² erzielt.“ [17]

Mit der Novellierung der Wärmeschutzverordnung sind im 4. Abschnitt Anforderungen für bauliche Änderungen bestehender Gebäude enthalten. Nach dem soll im Fall der Erneuerung durch Bekleidungen oder Vorschalungen sowie Mauerwerks-Vorsatzschalen, aber auch bei Einbau von Dämmschichten der Wärmedurchgangskoeffizient für Außenwände den Wert von 0,4 W/m²K nicht überschreiten. [18]

Mit der Variante 6 wurde der erforderliche Wert annähernd erreicht. Nur kann dies Methode nicht bei allen denkmalgeschützten Gebäuden angewendet werden. Diese Frage wird durch die neue Wsch-VO leider nicht beantwortet.

Der Fakt, daß der Heizenergieverbrauch reduziert werden muß, um den CO₂-Ausstoß zu reduzieren, läßt sich nicht vom Tisch wischen. Gebäude mit einem Heizenergieverbrauch von 130 bis 180 kWh/m²a bzw. 13 bis 18 l Heizöl sind einfach unwirtschaftlich und belasten die Umwelt. Die künftigen Anforderungen werden auf einen Verbrauch von 54 bis 100 kWh/m² a orientiert (vgl. Abschnitt 2.3.). Ich selber wohnte über 10 Jahre in einem Altbau mit einem k-Wert von 1,9 w/m²K und verbrauchte jährlich ca. 25 bis 35 Zentner Brikett bei einer Wohnfläche von 100 m². Zuzüglich des Gasverbrauches des unwirtschaftlichen Gamat 1000 und etwas Heizstrom kam ich auf einen **Verbrauch von ca. 100 kWh/m²a**. Das Geheimnis besteht in zwei Punkten, bis auf die

Wintermonate Nov. bis Feb. wird die Außenwand durch die Sonne aufgewärmt, so daß außer den genannten Monaten nur relativ wenig geheizt werden mußte. Ungünstig wirkte sich die Nordseite ca. 1/3 der Außenfläche und die nicht isolierte kalte Treppenhausewand zum Bad sowie die undichten Fenster und Türen aus. Der zweite Punkt ist das Nutzerverhalten. Es wurden die genutzten Räume beheizt, so daß die Behaglichkeitstemperatur erreicht wurde. Dieses Beispiel sollte nur verdeutlichen, daß man per Gesetz theoretisch so und soviel Mio. t CO₂-Ausstoß verringern kann, jedoch standortspezifische Faktoren und andere Kriterien unter den Tisch gewischt werden.

Die Angemessenheit von Material und Aufwand

Die Eigenschaft der zur Zeit auf dem Markt befindlichen Baumaterialien ist kritisch zu bewerten. Die meisten Funktionen - Statik, Dämmen, Speichern, Dichte - lassen sich auch mit natürlichen oder naturnahen Materialien ausführen. Der Einsatz von veredelten Stoffe oder Kunststoffe können auch mitunter durch den geringeren Pflegeaufwand und einer höheren Lebenserwartung den bis zum hundertfachen Energieaufwand gegenüber natürlicher Baustoffe, z.B. Holz, nicht rechtfertigen. Eine Verwendung von Aluminium bei Fensterrahmen stellt einen unnötigen Energie- und Rohstoffverbrauch dar. Holzfensterrahmen haben sich über Jahrhunderte bewährt. In den nachfolgenden Zahlen (Stand 1982) soll eine kleine Auswahl des Primärenergiebedarfes verschiedener Baustoffe gegenübergestellt werden:

Lehm	ca.1 bis 2 kWh/t km Transport
Leichtziegel	500 kWh/t (450 kWh/m ²) Rohstoffbereitstellung, Herstellung 800 bis 1200°C Brenntemperatur
Zement	1.000 kWh/t (1700 kWh/m ²) bei Herstellung Kohlen- u. Schwefeloxide und ca. 1 kg/t Staub, Freisetzung von Säuren und Chrombestandteile
Glas	6.000 kWh/t (15.000 kWh/m ² 3□)
Eisen	3.500 kWh/t (25.500 kWh/m ² 3□)
Aluminium	72.500 kWh/t (195.000 kWh/m ² 3□)
Polystyrol	18.900 kWh/t (20.000 kWh/m ² 3□)
Holz	300 kWh/t durch Fällen, Trocknen, Sägen, Hobeln, Transport [19 S.226-238]

Mit dieser kleinen Auswahl soll gezeigt werden, daß die Herstellung bestimmter Baustoffe zum Teil eine beträchtliche Energie benötigen. Die nachträgliche Wärmeisolierung mit sogenannten Superdämmungen benötigt eine große Menge an zusätzlichen Baustoffen, die bereits eine hohe Herstellungsenergie beinhalten, wie Isoliermaterial, Stützen, Halterungen u.a. Der zum Teil sehr hohe Arbeitsaufwand soll dabei nicht vergessen werden.

In der Anlage 2 wird der Primärenergiebedarf für die Erstellung eines Reihenhauses bei unterschiedlicher Fertigung und Materialeinsatz dargestellt. Für das industriell Vorgefertigte wird ein Energiebedarf von 222.400 kWh, das konventionelle 160.100 kWh, die gleiche Art aber mit gesunden Baustoffen 109.300 kWh und für das Naturhaus 53.500 kWh benötigt. [19 S.242]

Eine gesamtheitliche Betrachtung, die von der konstruktiven Lösung, der Nutzungszeit bzw. -art über die Auswahl der Baustoffe, bis hin zu der Nutzung günstiger natürlicher Einflüsse (z.B. Solarenergie) reichen, wird in den seltensten Fällen durchgeführt. Nur unter diesem Gesichtspunkt kann eine ökonomische und sogleich ökologische Lösung gefunden werden.

3. Probleme bei der Wärmedämmung

3.1. Schimmelpilzbildung

Schimmelpilze können an verschiedenen Bauteilen vorkommen. Zunächst soll geklärt werden, warum man eine Vermeidung anstreben soll und worin die Ursachen deren Entstehung liegen. Die Pilze setzen sich aus drei wesentlichen Bestandteilen zusammen

Sporen - Myzel - Fruchtkörper.

Die Samen der Pilze werden Sporen genannt. Diese befinden sich wie Staubteilchen in unserer Atemluft und sind wie Bakterien oder Viren ein fester Bestandteil unserer Umwelt. Konzentrationen, dieser Sporen ergeben sich immer dort, wo ein bereits vorhandener Pilz die Sporen produziert. Mikropilze der Gattungen *Aspergillus*, *Penicillium*, *Absidia*, *Mucor* und *Rhizopus* sind nur durch direkten Kontakt übertragbar. Sie wirken auf einen gesunden Menschen in der Regel nicht aus, jedoch ist das menschliche Immunsystem durch Krankheit geschwächt, so wirken diese als Krankheitserreger. Hier spielen vor allem die Stoffwechselprodukte bestimmter Schimmelpilze, die eine Vergiftung hervorrufen, eine Rolle. So können im geschwächten Immunsystem eingeatmete Sporen von *Aspergillus fumigatus* auskeimen und Lungenentzündungen, Tuberkulose oder Tumore hervorrufen.[7] Nicht alle Pilzkulturen sind schädlich. So wurden z.B. durch ein Österreichisches Institut die Anwendung von Pilzen zum Zweck des Hausfassadenschutzes sowie Farbgestaltung untersucht. So bringt die Kultur *Epicoccum nigrum* ein recht gutes (labormäßiges) Ergebnis beim Fassadenschutz. [8] Treten im Haushalt Schimmelpilze auf, so sollten keine handelsüblichen Mittel zur Bekämpfung Anwendung finden. Ihre fungizide (pilztötende Substanz) basiert auf Chlor-, Schwefel-Stickstoff- und organische Zinnverbindungen. Es erfolgt praktisch ein Austausch eines Giftes durch ein anderes. Eine vorübergehende, oberflächliche Beseitigung des Schimmelpilzes kann mit

- hochprozentigen Essig (Essigessenz)
- Spiritus
- medizinischen Alkohol
- Salmiakverdünnung (Konzentration so hoch, wie verträglich) erfolgen. Die Stellen werden gut durchgetränkt und ausgerieben. Die Augen und Schleimhäute sind zu schützen und es ist intensiv zu lüften.

Die richtige und endgültige Beseitigung ist erst durch die Beseitigung der Ursachen möglich. Die befallenen Bauteile sollten, wenn möglich, entfernt werden. Erfolgt dies nicht, so kann immer wieder eine neue Ansiedlung erfolgen, da die Lebensbedingungen auf ein breites Spektrum der Klimafaktoren verteilt ist. Als Nahrung dient überwiegend Glucose, Maltose und Saccharose (z.B. Tapetenkleister, Raufasertapete, Dispersionsfarben, Holz, Papier, Textilien, Kunststoff und Gummi durch beigefügte Weichmacher sowie Staub), gute Wachstumsbedingungen liegen bei einem pH-Wert zwischen 2 bis 6,5 auch bis 8 (natürliche Umwelt liegt bei pH 7) und einer Temperatur von 0°C bis +40°C vor. Auch werden keine Ansprüche an die Zusammensetzung der Atmosphäre gestellt. Verbessern sich die Lebensbedingungen wieder, so können selbst scheinbar abgestorbenes Myzel (gewebeartige Geflecht, wichtigster Bestandteil des Pilzes) auch nach Monaten neu auskeimen.

Ein wichtiger Wachstumsfaktor ist der Wassergehalt der Umgebung.

3.2. Wärmebrücken

Wärmebrücken entstehen an kritischen Stellen in Gebäuden. Das sind kalte Oberflächen, die meist durch materialspezifische Eigenschaften verursacht werden. Die Eigenschaften der Materialien werden durch die Struktur und Dichte bestimmt, die verantwortlich für die Dämmeigenschaft (Wärmeleitfähigkeit) ist. Beton, Stahlbeton und Metalle sind gute Wärmeleiter und kühlen daher

schneller ab.

Tabelle 3: Schwachstellen und Wärmebrücken in Gebäuden, die in folge Abkühlung zu Tauwasserniederschlag führen können

Beschaffenheit des Gebäudes		
<i>konstruktiv vorhanden</i>	<i>konstruktive Veränderung</i>	<i>Nutzung</i>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Bauwerksöffnungen 2. ungenügende Außendämmung 3. unbeheizte Räume 4. feuchte Baustoffe 5. Materialanordnung 6. Kanal und Schächte 7. Leitungsführungen 8. geometrisch bedingte Wärmebrücken 9. Vorsprünge, Balkone 10. Deckenaufleger 11. Stützen 12. Rolladenkästen 13. Kellerdecken u. -wände 14. unbelüftbare Räume 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Innendämmung 2. Innenisolierung 3. teilweise Außendämmung 4. luftdichte Fenster 5. Schwachstellen beim Dachstuhl ausbau 6. Wintergärten, Erker 7. Bauschäden an Gebäudehüllen, 8. undichte Dampfsperren und Durchfeuchtung der Dämmstoffe 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Möblierung 2. Wandverkleidungen 3. falsche Lüftung 4. Heizkörperanordnung 5. ungenügende Heizung

Nach dem die konstruktiven Schwachstellen genannt wurden, soll auf eine natürliche Erscheinung hingewiesen werden, die oft unterschätzt wird. In jedem Raum ist eine Luftwalze (siehe Bild 9).

Bild 9: Luftwalze in Räumen (Es kommt zum Wärmeaustausch)

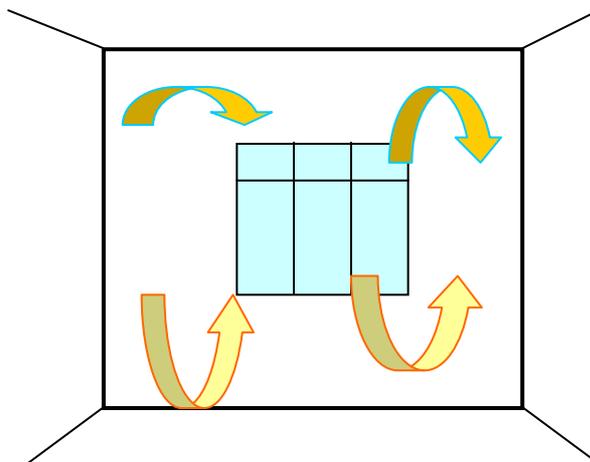


Bild 11.4.: Balkonplatte

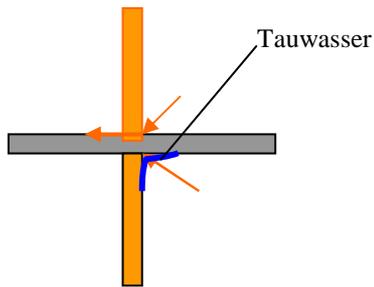
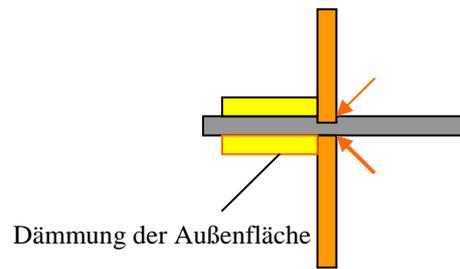


Bild 11.5. Lösungsmöglichkeit



Durch eine schlecht eingebundene Decke kann verstärkt Wärme abfließen (Bild 11.6. und Lösung Bild 11.7.). Dies trifft auch zu, wenn das Wärmedämmsystem nicht ordnungsgemäß den Ringanker bzw. den Dachanschluß isoliert.

Bild 11.6 Deckenaufleger

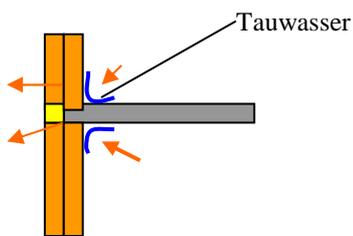
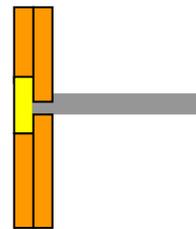


Bild 11.7 Lösungsmöglichkeit mit zusätzlicher Dämmung



Die Fensterstürze und auch die Rahmen sind aus Beton und haben eine höhere Wärmeleitfähigkeit als die Außenwand. Eine Einbindung muß daher sehr sorgfältig erfolgen. Bei einer Außendämmung von 6 cm ist die Isolierung an den Fensterlichtern mit 1 bis 2 cm oder gar ein Verzicht sehr ungünstig. Im Bild 11.8. und 11.9. wird das Problem und die sorgfältige Einhüllung des Fenstersturzes dargestellt.

Bild 11.8. Fenstersturz

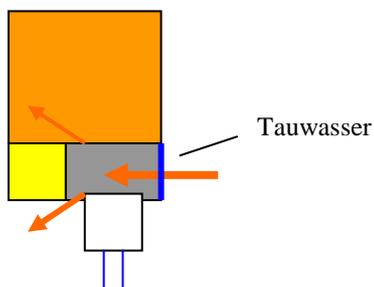
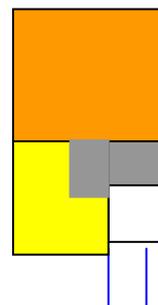


Bild 11.9. Lösungsmöglichkeit durch um die Ecke gezogene Dämmung



Innendämmung

Durch die Innendämmung steigt die Oberflächentemperatur an der Zimmerinnenwand, jedoch kühlt das gedämmte Bauteil hinter der Innendämmung mehr ab als ohne. (siehe Pkt. Wärmedämmung Bild 8.1. [Variante 4]) Infolge begrenzter Bauteile im Inneren (Wände, Decke, Böden) kann die Innendämmung nur teilweise ausgeführt werden. Durch die anzubringende Dampfsperre soll der Dämmstoff vor Feuchtigkeit aus der Raumluft geschützt werden, da sonst die Dämmwirkung sehr stark gemindert wird. (Die Mineralfaser von ISOVER sehen nach der Wasseraufnahme [Schnee durch die Dachhaut] wie weiße Glaswolle und gelbe Klunkern aus. Auf jedem Fall kann jeder Schwamm neidisch werden.) Durch die Dampfsperre wird jedoch die Sorption (Fähigkeit der Baustoffe, Wasserdampf aufzunehmen und wieder abzugeben) verhindert und es kann bei Spitzenbelastungen der Raumluftfeuchtigkeit schneller zu Tauwasserbildung kommen. Im Bild 12.1. und 12.2. kommt es zur Schimmelpilzbildung an den Anschlußstellen zu den anbindenden Bauteilen (Wände, Deck).

Maßnahmen: richtiges Heizen und Lüften besonders nach dem Backen und Duschen u.a. ist zu lüften bei Innendämmung kommt vor die Dampfsperre sorptionsoffene Stoffe wie Gipskarton oder Putz Unterbrechung durch Wände, Decken und Böden um 1 m in den Raum hinein verlängern

Bild 12.1. Innendämmung mit Schadensbild

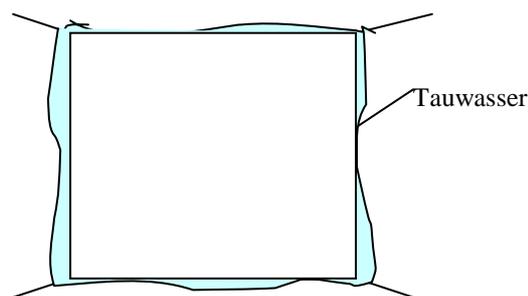
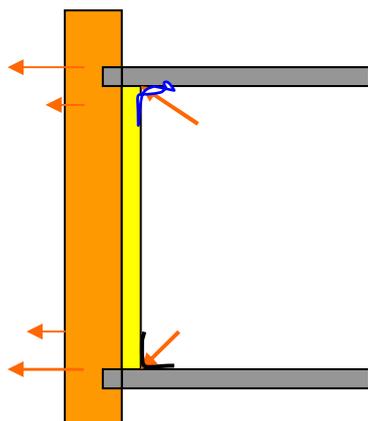
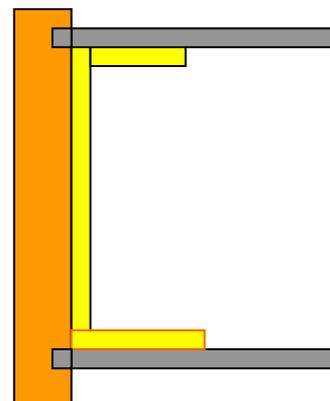


Bild 12.2. Innendämmung Schnitt



12.2. Lösungsmöglichkeit



Das Dach hat in seiner ursprünglichen Funktion die Aufgabe des Wetterschutzes. Im nicht ausgebauten Dachraum können Schäden an der Dachhaut sehr gut kontrolliert werden. (Grundsätzlich sollten Holzteile von mindestens drei Seiten kontrollierbar sein, um eventuelle Holzschäden zu erkennen.) In der Regel verfügen solche Dächer über eine ständige Querlüftung

(von Giebel zu Giebel). Kleine Mengen eintretender Niederschlagsfeuchtigkeit oder Kondenswasserbildung unter der Dachhaut werden durch diesen Luftstrom abgelüftet und sind damit unproblematisch. Verschiedene Zwänge führen zum Ausbau der Dachgeschosse auch zu Wohnzwecken. Neben der Einschränkung der Sichtkontrolle des Dachhautzustandes, wodurch kleine Schäden unbemerkt bleiben, können eine Reihe möglicher Wärmebrücken zu Feuchtigkeitsbildung an den Innenwänden im ausgebauten Dachgeschoss führen. Der Dachausbau ist seinem Wesen nach eine Innendämmung mit allen Kriterien, die dabei wirksam werden können. Im Bild 13.1. und 13.2. wird ein Sparrendach gezeigt, wo markante Punkte der Schimmelpilzbildung aufgezeigt werden. [7] In den Bildern 13.3. werden Lösungen aufgezeigt. Es ist wichtig ein durchgängiges System (Fläche) zu erreichen. In der Praxis werden jedoch Pfettendächer mit Gauben ausgebaut. Hier sind extra die Pfosten, Kopfbänder, Doppelzangen und die Mittelpfette richtig einzubinden. Im Pkt 3.3. wird ausführlicher darauf eingegangen. Bei diesem Konstruktionen ist eine Fugendichtheit nur über einen sehr großen Aufwand möglich.

Bild 13.1. Dachausbau mit Schadensbild

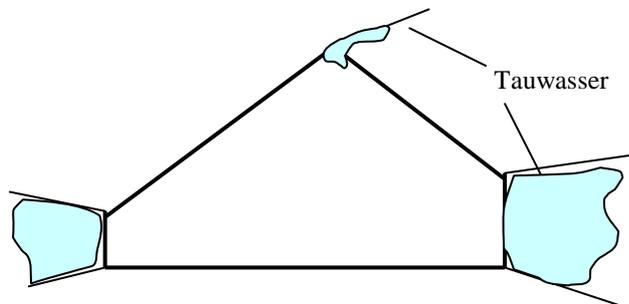


Bild 13.2. Schnittansicht mit Fehler

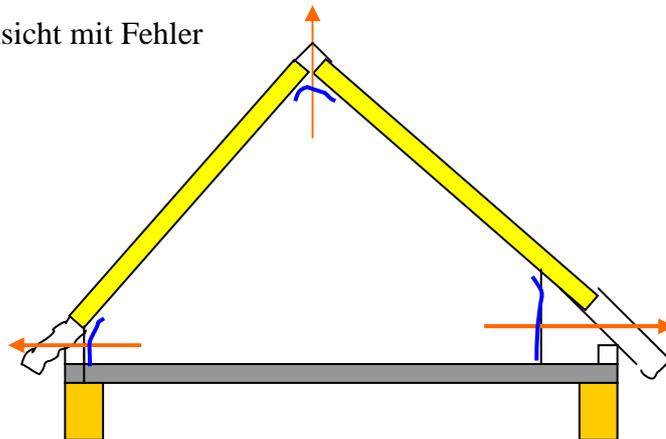
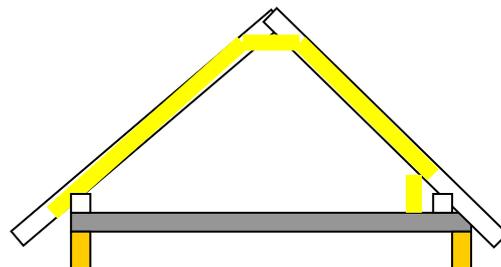


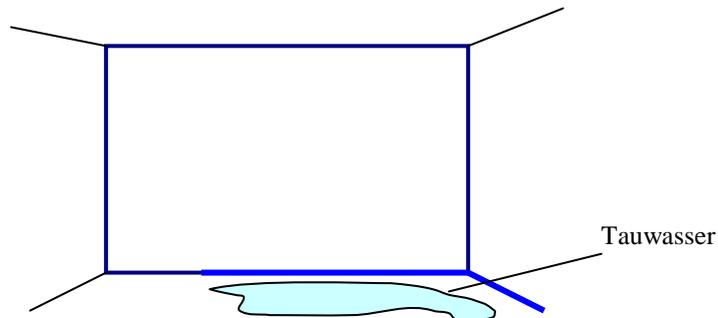
Bild 13.3. Lösungsmöglichkeit, die Dämmung wird zum Fußboden gezogen (Innenliegende Dampfbremse ist nicht eingezeichnet)



A n d e r e k o n s t r u k t i v e U r s a c h e n

Im Bild 14.1. hat sich Schimmelpilz an den Fußbodenecken und auf dem Fußboden gebildet. (Im betrachteten Fall liegt keine aufsteigende Feuchtigkeit vor.)

Bild 14.1.: Schadensbild auf dem Fußboden zum Untergeschoß



Ursachen: Behinderung der Luftströmung

Unzureichende Lüftung

keine o. ungenügende Wärmedämmung des Fußbodens

inhomogene Materialstrukturen z.B. verschiedene Dichte des Betons

Lösung: An die Unterseite wird eine Wärmedämmung angebracht, die 50 cm an der Wand herunter reicht. (Bild 14.3.)

Bild 14.2. Schnittansicht

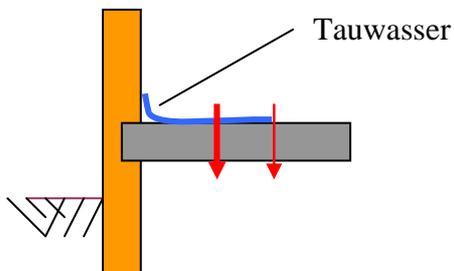
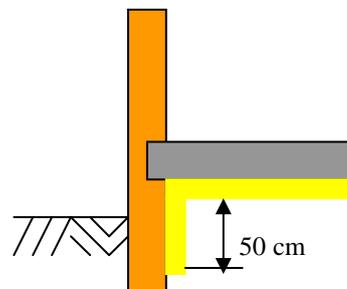


Bild 14.3. Lösungsmöglichkeit durch Dämmung an der Unterseite

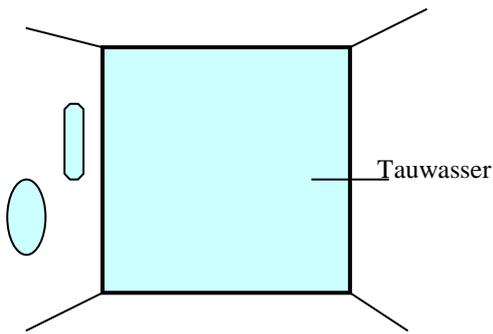


Weitere Schadensbilder können auftreten, wenn das Mauerwerk unterschiedlich durchfeuchtet ist. (Bild 15)

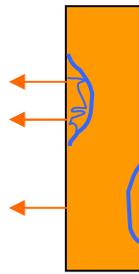
Ursachen: fehlende Wetterschalen (z.B. Außenputz) unzureichende Beheizung, Baufeuchtigkeit im Neubau, unterschiedliche Materialien, hier sollte gerade bei der Wiederverwendung alter Mauersteine auf ihre Güte geachtet werden.

Maßnahmen: Heizung und Lüftungsgewohnheiten Überprüfen, bei geringem k-Wert zusätzliche Außendämmung setzt jedoch Austrocknung der Bauteile voraus!

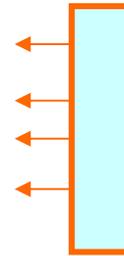
Bild 15: Durchfeuchtete Wände



a) teilweise



b) vollständig



Im Bild 16.1. treten Merkmale auf, die durch eine falsche Bauausführung verursacht wurden. Werden gut dämmende Mauersteine, wie z.B. unipor-Ziegel oder Gasbetonsteine nicht mit dämmendem Mörtel verarbeitet, so können die Fugen deutlich sichtbar werden. Das gleiche gilt, wenn im Mauerwerk ein Wechsel zu schlecht dämmenden Mauersteinen erfolgt oder sich Leitungsschächte (Bild 16.2.) oder Stahlstützen (Bild 16.3.) im Mauerwerk befinden. Hier ist der Wärmedurchgang größer.

Bild 16: Falscher Mauermörtel und Wechsel von Mauersteinen mit unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit sowie Leitungskanal

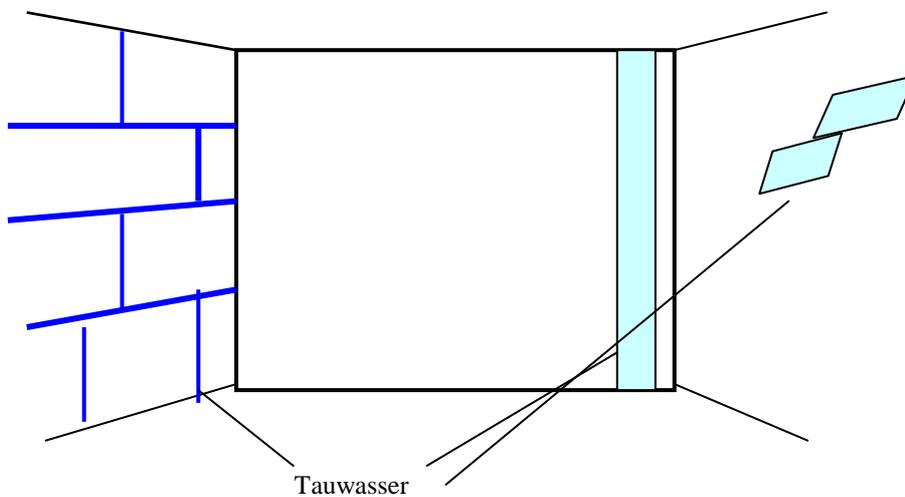


Bild 16.2. : Leitungskanal

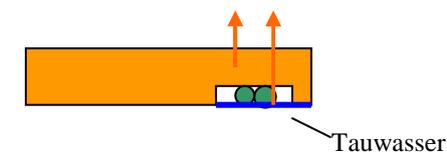
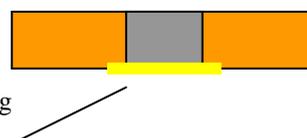
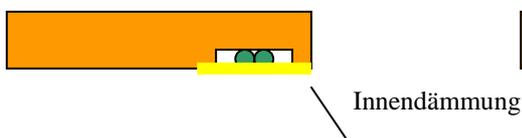
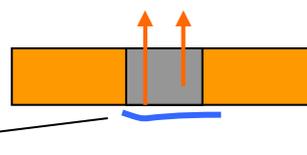


Bild 16.3. : Stahlbetonstütze



Fenster

Das Problem Fenster in bezug auf die Wärmedämmung ist sehr umfangreich. Es soll daher nur auf wenige Punkte eingegangen werden. Das Entfernen noch vollständig intakter Mehrscheibenfenster, wie in der Praxis oft zu erleben, ist unsinnig. Jedoch muß hier beachtet werden, wie groß ist der Fensterflächenanteil an der Gesamtaußenwand, liegt eine Nord- oder Südseite vor und wieweit wirkt der temporäre Wärmeschutz vor. Eine energetische Verbesserung eines Fensters mit Isolierverglasung ($k_F=2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$) kann durch einen Rolladen auf $k=1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, mit einem Klappladen auf $k=1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, mit einem Rollo (Gewebe) auf $k=1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ verbessert werden.[20] Ein Problem ist der Mauerwerksanschluß der Fenster. Im Bild 17 werden verschiedene Varianten ohne Dämmung und mit Außen-, Kern- sowie Innendämmung aufgezeigt. Darunter sind die verbesserten Ausführungen dargestellt. Die Anschlüsse bereiten auf ihre Dichtigkeit Probleme (Bild 18).

Bild 17: Mauerwerksanschlüsse der Fenster

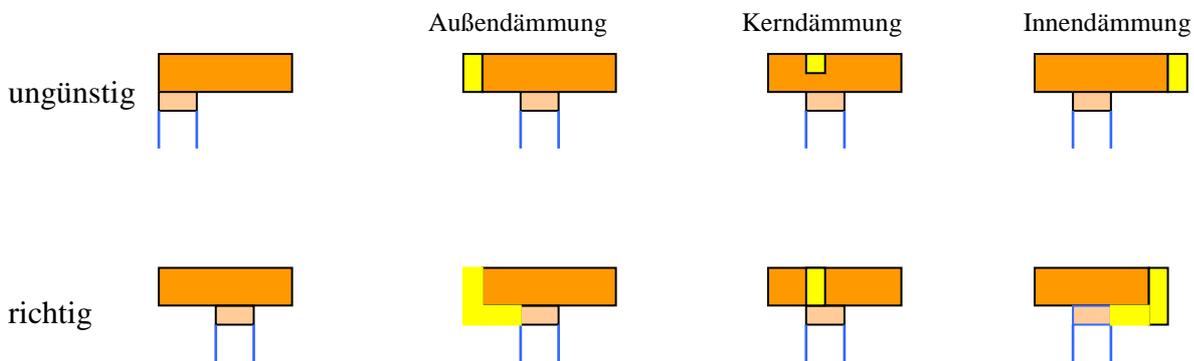
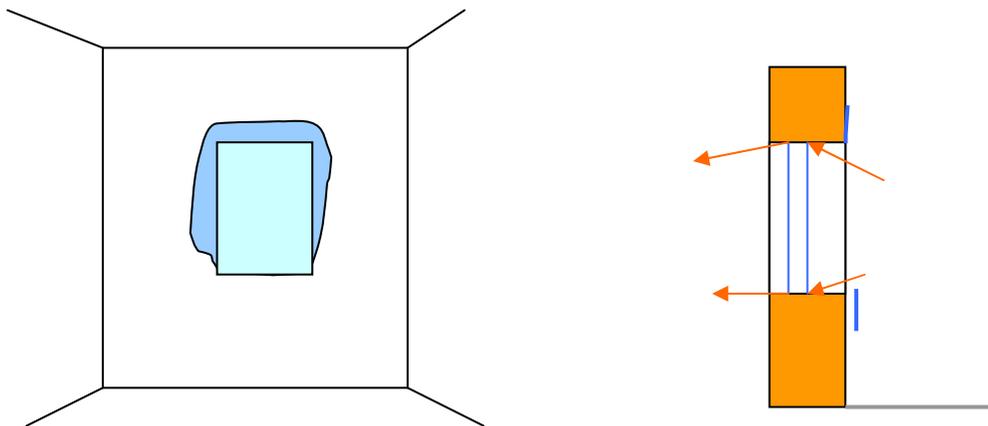


Bild 18: Undichte Fensteranschlüsse

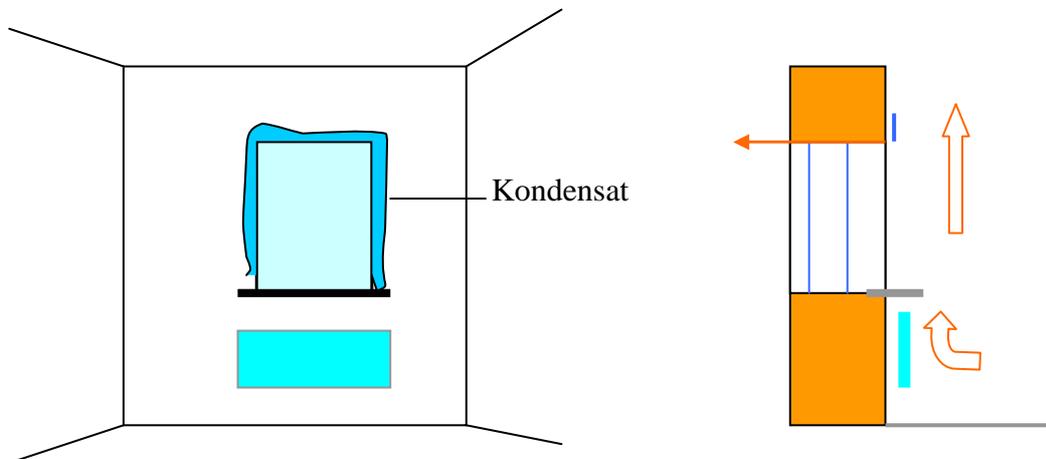


Die Fugen sind elastisch zu verschließen. Geeignet sind Dämmstoffstreifen, -fasern oder -stricke. Die richtige Anordnung der Heizkörper spielt ebenso eine wichtige Rolle.

Im Bild 19 wird der Wärmestrom durch das überragende Fensterbrett verändert, so daß der

Fensterkopf nicht ausreichend erwärmt werden kann, wie vergleichsweise andere Bauteile.

Bild 19: Veränderter Wärmestrom durch überstehende Fensterbank



3.3. Luftdichtheit

Bei großflächigen Dachkonstruktionen gibt es im allgemeinen kaum Probleme, um eine Luftdichtheit zu erreichen. Jedoch bestehen die Dächer auch aus kleinen Bauelementen, so daß eine große Zahl an Fugen entstehen kann (Bild 20).

Bild 20:

(Bild 20 ist nicht erstellt. Es zeigt die Kontaktpunkte Mittelfette, Sparren und Zangen sowie Sparrenpfettenanker.)

Die Herstellung einer luftdichten Innenwand im ausgebauten Dach bedingt daher einen erhöhten planerischen und handwerklichen Aufwand, welcher allgemein sehr unterschätzt wird. So einfach, wie es in vielen Werbespots z.B. im Bild 21 dargestellt wird, ist es in den wenigsten Fällen.

Bild 21:

(Bild 21 ist nicht erstellt. Hier kann jedes beliebige Foto eines Baumarktprospektes eingesetzt werden, was den Dachgeschoßausbau zeigt.)

Neben Wärmeverluste durch Wärmebrückenbildung bewirkt auch der Luftdurchsatz durch Fugen in Außenbauteile erhebliche Wärmeverluste, die die Transmissionswärmeverluste übersteigen können. Bei diesem Transport wird die Luft abgekühlt und es kommt zur Kondensatbildung (Tauwasser). Im Abschnitt Pkt. 2.4.3. wurde rechnerisch aufgezeigt, wie viel Tauwasser sich bei einer Innendämmung bilden kann, wenn die Dampfsperre fehlt bzw. undicht ist. Pohl und Horschler [16] haben dieses Problem näher betrachtet. Eine Fuge mit einer Breite von 2 mm, einer Tiefe von 100 mm und einer Länge von 1,00 m und einer Druckdifferenz von nur 6 Pascal (Windstärke 2) ergeben einen Luftvolumenstrom von ca. 15 m³/h m. Wird dies auf die Dimension des k-Wertes übertragen, so tritt bei einer Fuge von 1 m Länge ein Lüftungswärmeverlust von ca. 5 W/m²K auf. Bei einem gedämmten Dach mit einem k-Wert von 0,2 W/m²K bedarf es keiner

weiteren Diskussion. Daneben werden bei einer Lufttemperatur von 20°C mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50% durch die o.g. Fuge pro Stunde ca. 130 g/Wasserdampf in das Außenbauteil transportiert. Feuchtigkeitsschäden sind zwangsläufig die Folge.

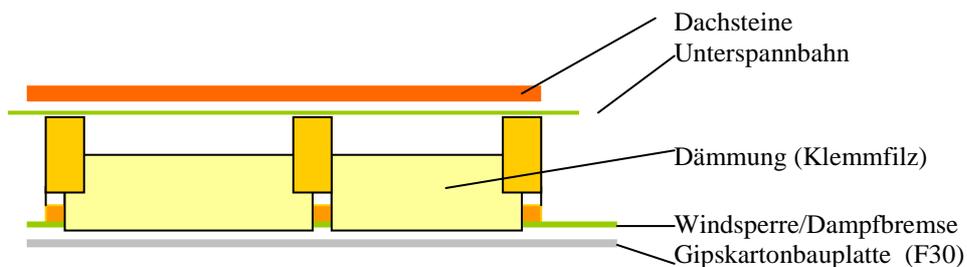
Nur über eine konsequente Planung aller Anschlußbereiche und eine gewissenhafte Ausführung kann eine annähernde Luftdichtheit erreicht werden.

Die Herstellung der Luftdichtheit in der Fläche bereitet in der Regel keine Schwierigkeiten. Besondere Probleme treten bei Bauteilen auf, welche die luftdichte Schicht durchdringen, wie z.B. Schornsteine, Wechsel von Dachschräge zum Kniestock, Dachflächenfenster, Lüftungsleitungen, Heizungsanschlüsse u.a. Auf diese Probleme soll im folgenden Punkt eingegangen werden.

4. Problempunkte beim Dachausbau

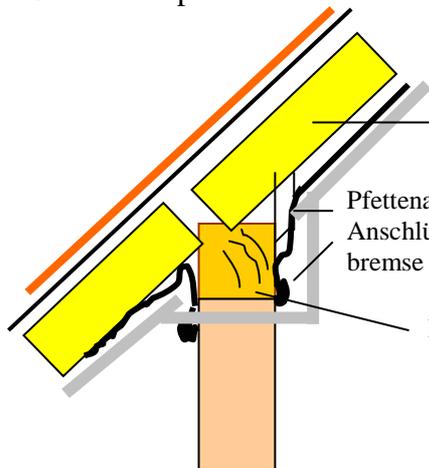
In den vorangehenden Punkten wurde bereits auf viele Ausführungsfehler hingewiesen. Durch fehlende Dichtungskonzeptionen, mangelhafter Bauzeichnungen, wo nur allgemeine Hinweise, wie der Schichtaufbau, entnehmbar sind, führen zu sehr zeit- und äußerst kostenaufwendigen Ausführungen, die ein sehr hohes handwerkliches Geschick bedürfen. Im Bild 22 wird eine Draufsicht auf eine Dachschräge gezeigt. In der Praxis sind die Dachsparren unregelmäßig aufgelegt und bilden somit keine Flucht. Um eine glatte Wandoberfläche zu erhalten, müssen Dachlatten oder Profile mit Abhänger horizontal oder vertikal abgehängt werden. Zwischen die Sparren wird das Isoliermaterial fugendicht eingeschoben. Ungleichmäßigkeiten treten an den zusätzlich angebrachten Dachlatten auf. Das Anbringen der Dampfsperre an der glatten Fläche bereitet keine Schwierigkeiten.

Bild 22: Schnitt durch eine gedämmte Dachhaut (Hinterlüftet)



Wärmebrücken entstehen an der Firstfette (Bild 13.2.), Mittelfette (Bild 23.1.) und Fußfette (Bild 23.2.). Das Isoliermaterial kann in vielen Fällen nicht luftdicht hinter die Balken geschoben werden, ohne die Hinterlüftung zu unterbrechen. Im Punkt 3.3. wurde auf die Bedeutung der Luftdichtheit hingewiesen. Das Bild 24 zeigt eine Mittelfette mit Kopfband und Stiel sowie Zange. Die Folienanschlüsse werden mit Dichtband und teilweise mit Heftklammern an den Holzbalken angeschlossen. Dies dürfte mehr eine optische Lösung sein. Da sich auf dieser Schicht die Feuchtigkeit bildet ist es nur eine Frage der Zeit bis die Klammern durchgerostet sind.

Bild 23.1.: Mittelpfette



23.2. Fußpfette

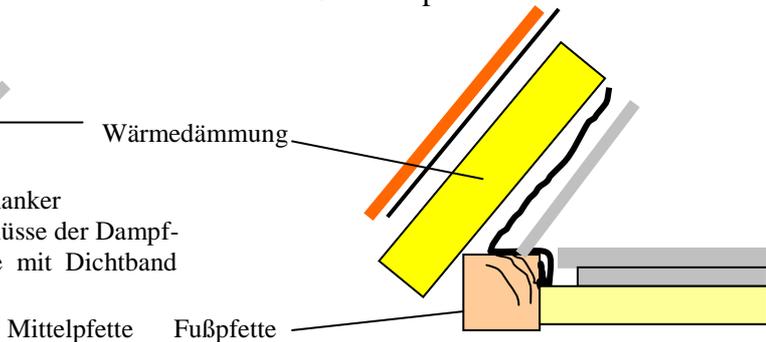
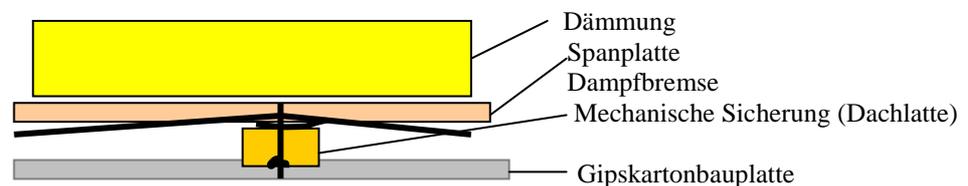


Bild 25: Mittelpfettenbalken mit Dampfsperre

(Bild ist hier nicht dargestellt.)

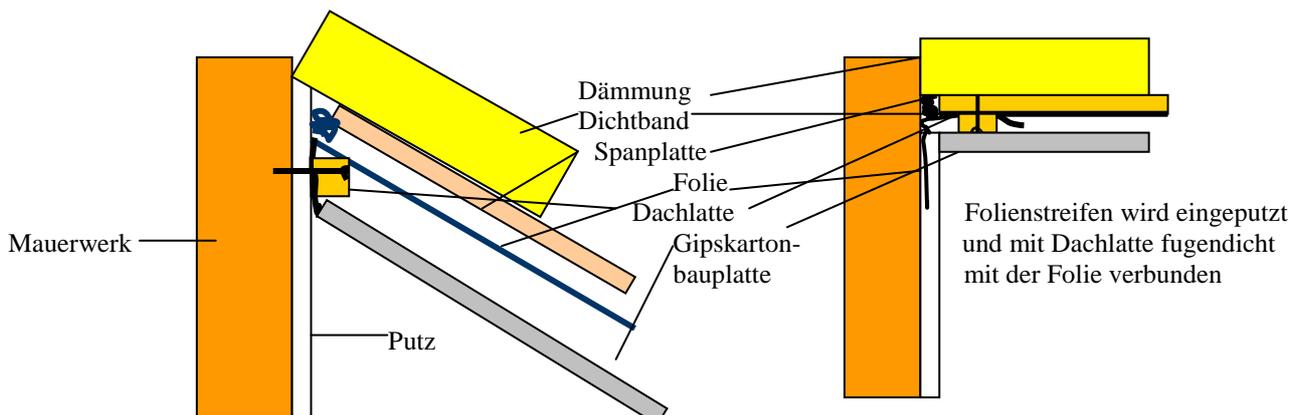
Konstruktiv richtig wird es auf dem Bild 25 gezeigt, was aber bei dieser Balkeneinbindung nicht machbar ist.

Bild 25: Luftdichter Anschluß, Folienstoß z.B. bei Decken zum unbeheizten Dachraum



Die Sparrenpfettenanker verursachen zusätzliche Unebenheiten. Werden die scharfen Kanten nicht umgeschlagen (Veränderung der statischen Festigkeit des Bauteils), so wird die Folie zerstochen. Ein weiterer Problempunkt ist die Zwischenwand auf dem Dachboden (Bild 24 links oben). Solange eine einigermaßen gerade verputzte Wand vorhanden ist, kann mit einer Dachlatte das Dichtungsband angedübelt werden. Aber unverputztes Mauerwerk hat teilweise Unebenheiten von mehreren Zentimeter und dieses ist nicht ohne weiteres luftdicht zu verschließen. Da bleiben die Varianten im Bild 26 und 27 nur Wünsche.

Bild 26: Luftdichter Wandanschluß Variante 1 Bild 27: Luftdichter Wandanschluß Variante 2



Im Bild 28 wird die mit Gipskarton verschaltete Mittelpfette dargestellt. Der hohe Arbeitsaufwand ist optisch nicht mehr zu erkennen.

Heizungsrohre hinter der Ständerwand lassen sich ebenso schlecht einbinden. Wie im Bild 29 werden Teile der Sanitäreanlage außerhalb der Dampfsperre installiert. Um in diesem Fall die Wasseruhr abzulesen und den Hauptwasserhahn betätigen zu können muß die Dampfsperre aufgetrennt werden. In die Gipskartonbauplatte wird eine Revisionsklappe aus Blech eingesetzt. An dieser Stelle ist nicht nur die Dampfsperre aufgehoben, sondern auch die Wärmeisolierung. Hier kann sich nur die Frage gestellt werden, warum überhaupt eine Dampfsperre angebracht wurde (siehe Pkt. 3.3.)

Bild 28

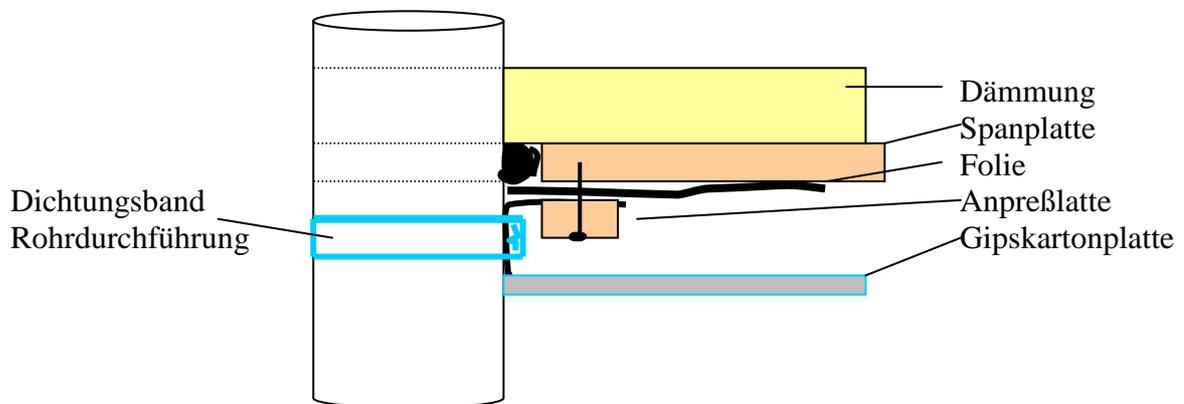
(Bild 28 nicht dargestellt)

Bild 29

(Bild 29 nicht dargestellt)

Dabei brauchte die Wasseruhr nur innerhalb der Innendämmung und Dampfsperre installiert werden. Das selbe trifft auch für die gesamte Heizungsanlage zu. Die Rohre gehen Mehrfach durch die Dampfsperre. Wie kompliziert ein exakter luftdichter Anschluß aufgebaut ist zeigt das Bild 30.

Bild 30

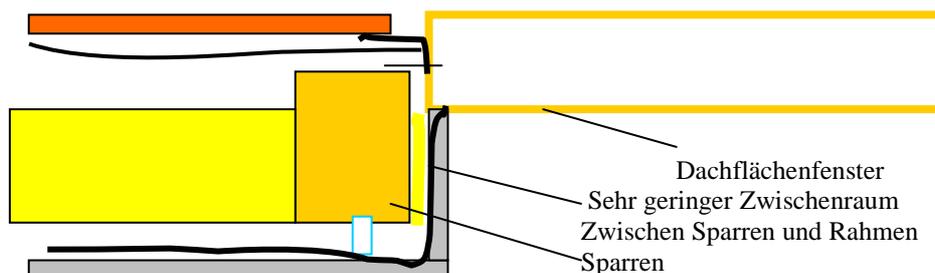


Eine schlechte Lösung sind die Dachfenster (Bild 31). Optisch konnte das Fenster gut Luftdicht abgeschlossen werden. Laut Einbauanleitung für die Fenster werden die Folienränder an die inneren Wangen angeklebt. Da die Fenster in der Regel nicht durch die Trockenbauer eingesetzt werden, ist aus technologischen Gründen die vorgesehene Technik nicht anwendbar. Das größere Problem besteht aber in der ausreichenden Wärmeisolierung der Fensterlichten (Bild 31.1.).

Bild 31

(Bild 31 ist nicht dargestellt.)

Bild 31.1. Vereinfachte Schnittansicht



In fast allen Fällen konnte eine Isolierung von 2 bis max. 3 cm in einem Fall überhaupt keine eingebunden werden. Dazu entstehen relativ große Fugen zwischen Fensterrahmen und den Dachsparren die nur in den wenigsten Fällen richtig mit Wärmeisolierung ausgestopft werden können. Die Wärmebrücke braucht nicht einmal mehr berechnet werden.

5. Zusammenfassung

Das Problem der Schimmelpilzbildung entsteht in vielen Fällen erst nach einer Sanierung. Daher sollen zusammenfassend und ergänzend auf nachfolgende Kriterien hingewiesen werden.

Vor der Entscheidung zum Einbau neuer Fenster ist der Wärmeschutz hinsichtlich des Regelquerschnittes als auch hinsichtlich der Detailpunkte sorgfältig zu überprüfen. Liegt der Wärmedurchlaßwiderstand unter ca. $1,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ und/oder werden Wärmebrücken festgestellt, so sollte zunächst die Verbesserung des Wärmeschutzes geplant und ausgeführt werden, bevor die Fenster in Angriff genommen werden können. Eine überzogene Fugendichtheit stellt kein positives Qualitätsmerkmal dar. Oft müssen nach auftreten von Tauwasser die Lippendichtungen entfernt werden. Nach dem Einbau neuer Fenster ist täglich mehrfach eine Stoßlüftung und die Einhaltung einer Mindestbeheizung erforderlich. Hierfür gibt es besondere Merkblätter des Bundesministerium für Raumordnung. [23 S. 71]

Bei der Planung der Verbesserung des Wärmeschutzes sollte immer von einer äußeren Wärmeisolierung ausgegangen werden. Die Gefahr von Wärmebrückenbildung ist so am geringsten. Dabei sollten alle Bauteile, wie Außenwände, Keller und Dach, möglichst gleichmäßig isoliert werden. Eine Superdämmung an einem Bauteil ist unsinnig. Durch die notwendige Lüftung entstehen Lüftungswärmeverluste, diese sollten in einem wirtschaftlichen Verhältnis zum Transmissionswärmeverlust liegen.

Bei allen Sanierungsmaßnahmen sollte eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgen, die verschiedene Maßnahmen und Varianten beinhaltet.

Unter der üblichen Dacheindeckung aus Dachziegel oder Dachsteinen ist eine zusätzliche wasserableitende Schicht in Form einer Unterspannbahn einzubauen. Die Unterlüftung ist durch den Einbau von Konterlatten herzustellen. Zwischen dem Unterdach und der Wärmedämmung ist in der Planung eine Luftschichthöhe von 4 bis 5 cm vorzusehen. Die vorgesehene Mindesthöhe von 2 cm für die Be- und Entlüftung kann eventuell durch aufplustern oder verrutschen der Dämmbahnen geschlossen werden und ein Feuchtigkeitsabtransport durch Konvektion, Diffusion oder Niederschlag kann nicht erfolgen. Schematische Darstellung im Bild 35. Die Dampfsperrschichten sind nur dann als Windsperre geeignet, wenn sie im Bereich von Stößen und Anschlüssen absolut luftundurchlässig ausgebildet werden. Ansonsten kommt es zu Zugserscheinungen, Temperaturabsenkungen mit erhöhten Heizaufwendungen, Durchfeuchtung der Wärmedämmung und im Extremfall zu Wassereintritt nach innen. [24 S. 6-9]

Checkliste um die Schimmelpilzentstehung zu vermeiden

1. Überprüfung der Lüftungsgewohnheiten, Querlüftung 3-4 mal täglich, 5-15 Minuten lang;
2. Kontrolle der Raumlufttemperatur, die Differenz innerhalb einer Wohnung sollte 4 K nicht überschreiten;
3. Erhöhtes Feuchtigkeitsaufkommen beim Backen, Braten, Kochen, Duschen, Baden sofort direkt ins Freie ableiten. Keine Verteilung der Feuchtigkeit in der Wohnung durch geöffnete Türen zu lassen.
4. Einsatz technischer Hilfsmittel (Entlüftungseinrichtung)
5. Messung der Feuchtigkeit mit einem Hygrometer, 65% relative Luftfeuchtigkeit sollten als Obergrenze eingehalten werden.
6. Einrichtungsgegenstände an Außenwänden sind nicht luftstrombehindernd anzuordnen (mind. 5

- cm Abstand zur Wand). Raumecken sind möglichst frei zu halten.
7. Verwendung diffusionsoffener Baustoffe, Vermeidung von Dampfbremsen und „atmungsdichter“ Stoffe, Folien, Tapeten oder Farben.
 8. Austrocknung feuchter Bauteile vor jeder Sanierung!
 9. Nachträgliche, zusätzliche Dämmmaßnahmen immer so anordnen, daß die Dämmschicht möglichst weit außen liegt, also dort, wo der Wärmeverlust am größten ist.

Literatur:

- [1] Gudrun Jahn; Bauexperten sind uneins über geeignete Instandsetzungsmaßnahmen an Großtafelbauten, bauplan-bauorg 6/93 S. 252
- [2] RKW; Fachwissen Bau, Wirtschaftliche Energienutzung an Gebäuden, RKW-Verlag Eschborn 1989
- [3] Baehr, H.D.; Thermodynamik. 3. Aufl. Berlin/Göttingen/Heidelberg; Springer-Verlag 1973
- [5] Wolf-Hagen Pohl, Steffan Horschler; Novellierung der Wärmeschutzverordnung; Deutsche Bauzeitschrift 2/94 S. 99
- [7] Bieberstein, Horst; Schimmelpilze in Wohnräumen - was tun? Omega Verlag 1989
- [8] Bauwerkzerstörung und Sanierung durch Mikroorganismen 3/88, Österreichisches Institut für angewandte Forschung und Produktmarketing
- [9] Eichler, Arndt; Wärme- und Feuchtigkeitsschutz VEB Fachbuchverlag 1982
- [10] König, Holger; Wege zum gesunden Bauen, Ökobuchverlag Staufen 1991,
- [11] Gesundes Wohnen, Institut für Baubiologie Rosenheim 1980
- [12] Künzel, H.; Müssen Außenwände „atmungsfähig“ sein? wksb 25/1980
- [13] Meier, Claus; Die Lüftungswärmeverluste, RKW Merkblatt 76
- [14] Maier, Claus; Berlin-Brandenburgische Bauwirtschaft 13/93
- [15] Buss, Harald; Schimmelpilze in Wohnungen, Bauschäden- beurteilen und beheben durch konkrete Lösungen im Detail, WEKA-Verlag 1991
- [16] Pohl, W.-H., Horschler, S.; Novellierung der Wärmeschutzverordnung, Auswirkungen auf die Planung und Ausführung im Bereich des Daches, Deutsche Bauwirtschaft 2/94 S. 99-103
- [17] Meier, Claus; Der sinnvolle Gebäudewärmeschutz- Konzeption und Nachweis, RKW Merkblatt 68
- [18] Ehm, Herbert; Die Neufassung der Wärmeschutzverordnung, Die Wirtschaft 1/94 Sonderbeilage
- [19] P. u. M. Krusche u.a.; ökologisch Bauen, Herausgegeben vom Umweltbundesamt, Bauverlag 1982
- [20] Prox, Werner; Passive Sonnenenergienutzung - Planungshinweise und Bauteile RKW Merkblatt 80
- [21] Umweltbundesamt; Leitfaden zum ökologisch orientierten Bauen, Verlag C.F. Müller, Karlsruhe 1991
- Bundesbauministerium; Energiesparbuch für das Eigenheim 1991 Institut für Baubiologie; Schriftenreihe 5, Gesunde Heizung
- Rationalisierungs-Gemeinschaft „Bauwesen“; Wirtschaftliche Energienutzung am Gebäuden, planerische und konstruktive Grundlagen, RKW-Verlag, 1989
- Ztschr. Bauplan-bauorga 4-5/92, Brennwert-Gas-Wandkessel
- Ztschr. Haus & Wohnung 10/92, Heizen mit Strom
- Ztschr. Bauen, planen & wohnen 3/92, Heizungssanierung
- Ztschr. Bauplan-bauorg 2/93, Vorgeplante Koordination sich ergänzender heizungs- und lüftungstechnischer Systeme
- [22] BINE Informationsdienst Bonn, Nr.13/1993
- [23] Ostwald, Rainer, Altbausanieung, Inst. für Sachverständigenwesen e.V., 11.1.93 in Leipzig
- [24] Dahmen, Günter; Sanierungsmaßnahmen an geneigten Dächern, Inst. für Sachverständigenwesen e.V., 11.1.93 in Leipzig