



Tools



**ENERGIEEFFIZIENZ
messen**

**Bauphysikalischer
Hintergrund**

**Verbesserung
der Behaglichkeit**

Hilfsmittel

**Messen, analysieren,
Resultate bewerten**



Wie verbessere ich die Behaglichkeit meines Hauses?

SIMULATIONEN UND MODELLIERUNGEN

Wenn sich ein (nicht aus der Baubranche kommender) Hausbesitzer für Renovierungsarbeiten entscheidet, weiß er oft gar nicht, dass es so viele Entscheidungshilfen gibt. Viele davon beruhen auf Modellierungen und Simulationen, die erst durch den Fortschritt der Softwareentwicklung ermöglicht wurden. Zwar beziehen sie sich hauptsächlich auf neue, industrielle Bautechniken, doch sind sie in der Planungsphase eine große Hilfe: **Man kann verschiedene Alternativen durchspielen, Irrtümer vermeiden, Dinge quantifizieren und überprüfen, ein bestimmtes Energieeffizienzlevel anstreben oder die Umweltfolgen beziffern.**

in Hinblick auf ÖKOLOGISCHES SANIEREN

Modellierungen bieten zahlreiche Vorteile:

- Vergleich von mehreren technischen Varianten, Effizienzzielen und Behaglichkeitsstufen
- Verständnis und Vermeidung komplexer Gebäudeschäden
- Auswahl der geeignetsten Lösung anhand von mehreren Qualitätskriterien und -indikatoren
- Abstand gewinnen vom bloßen Denken in Investitionskosten
- Überprüfung von Funktionsweisen und Behaglichkeit
- Kommunikation mit erfahrenen Fachleuten

EINSATZ VON SIMULATIONSPROGRAMMEN: warum, wer?

Diese Planungstools sollten teilweise schon in der Analysephase-Phase (Energietechnik, komplexe Gebäudeschäden, Bestimmung des Potenzials) verwendet werden, aber hauptsächlich während der Vorentwurfsplanung (s. Merkblatt PROJEKT .

Sie stellen die Grundlage dar für Entscheidungen, Auslegungen, direkte Kosten und Folgekosten und die Einbeziehung von Umweltschutzüberlegungen.

Sie werden normalerweise von Architektur- oder Fachingenieurbüros eingesetzt.



BEGRENZUNGEN: Resultate richtig interpretieren

- Rein technisches Know-how und der Einsatz von Informationstechnik erwecken manchmal den Eindruck, dass man das Thema vollständig im Griff hat. Das trifft aber nicht ganz zu. Die computergenerierten Ergebnisse sollten mit größter Vorsicht zur Kenntnis genommen, gründlich analysiert und kritisch hinterfragt werden.

- Wie der Mensch, hat auch jede Software ihre Grenzen. Nur, wenn man diese im Hinterkopf behält, kann man die Ergebnisse richtig interpretieren. Auch sollte man sie abgleichen mit den Erkenntnissen eines Fachmanns aus der Praxis, der durch langjährige Beobachtung und praktische Erfahrung sowie gesunden Menschenverstand viele physikalische Vorgänge kennt. Gerade hier können sich die Kenntnisse eines Fachingenieurs und das Wissen eines erfahrenen Handwerkers ergänzen.

wozu dienen diese Programme?

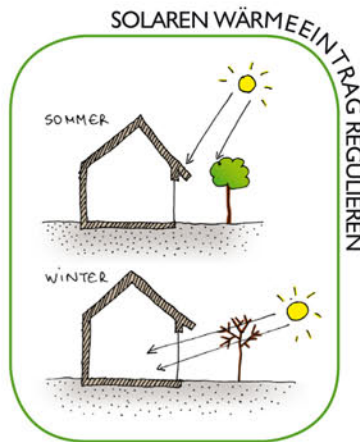
KOMFORT

Bestimmung der BEHAGLICHKEIT IM SOMMER

Solaren Wärmeeintrag regulieren

Dynamisch-thermische Gebäudesimulationen stellen dar, wie sich die Temperaturen in jedem Raum eines Wohngebäudes über das Jahr hinweg verändern. Dabei werden alle Eigenschaften der Bauteile, des Umfeldes und der Gebäudenutzung einbezogen.

Die Programme erstellen punktuelle oder kumulierte Temperaturkurven, bestimmen den Wärmespeicherfähigkeitsgrad und die Innenraumbehaglichkeit. Sie unterstützen ebenfalls die Berechnung und Optimierung von Wärme- bzw. Kühlungsbedarf, da die Simulation eine Annäherung an echte Verbrauchswerte, angelehnt an eine spezifische Nutzung, ermöglicht. Das gilt allerdings nicht für die in Frankreich zugelassenen Softwares zur Berechnung von Energiekennzahlen, welche nur einen „normalen“ Verbrauch berechnen können. In Niedrigenergie-Häusern bzw. stark wärmegedämmten Gebäuden ist die Kühlung im Sommer eines der wichtigsten Bewertungskriterien. Eine architektonisch oder bautechnisch schlecht regulierte Wärmezufuhr durch Sonnenlicht oder Wärmequellen im Innern kann dazu führen, dass das Gebäude praktisch nicht mehr benutzbar ist. Mit der Sanierung oder dem Umbau eines älteren Gebäudes geht häufig eine Veränderung der bauphysikalischen Gegebenheiten oder eine Umnutzung einher.

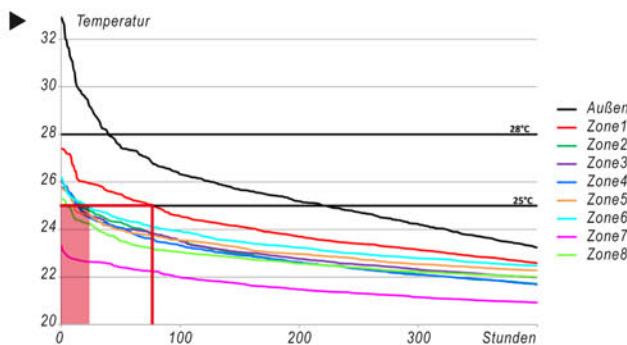


hier spricht der Architekt

Die Bewertung der Effizienz von Baustoffen, Wänden und Heizungsanlagen erfolgt im Hinblick auf eine größtmögliche Behaglichkeit.

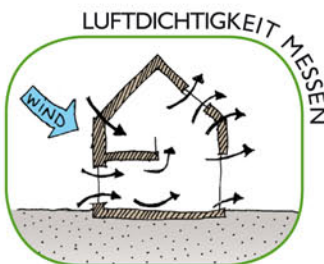
Dynamisch-thermische Simulation in Hunsbach: abnehmende Temperaturverteilung pro Raum über ein Jahr, bei normalen Wetterverhältnissen, Überlüftung und Sonnenschutz

Auf der x-Achse die Zahl der Stunden, in denen eine bestimmte Temperatur überschritten wurde; auf der y-Achse die erreichten Außentemperaturen. Zum Beispiel: In der Zone (d.h. Raum) 1 wurde die 25°C-Marke während ca. 80 Stunden überschritten, in den anderen Räumen nur während 0–25 Stunden. Damit ist die allgemeine Behaglichkeit des Hauses im Sommer als zufriedenstellend einzustufen.



Messung der Luftdichtheit der Gebäudehülle

Die Luftdichtheit eines Gebäudes bedingt seinen Energieverbrauch (direkte Wärmeverluste), die Behaglichkeit zu jeder Jahreszeit (Durchzug bzw. problematische Regulierung des Wärme-/Kältehaushalts) sowie eventuell auch Materialschäden (aufsteigende und stagnierende Feuchtigkeit, abplatzender Putz, Schimmel usw.). Diese Dichtigkeit ist heute messbar (Leckagestrom) und man kann sogar feststellen, wo genau die undichten Stellen sind. Die entsprechenden Tests können im Bestand, im Verlauf und nach Abschluss von Bauarbeiten vorgenommen werden und sind auch bei Neubauten sinnvoll oder sogar vorgeschrieben. Dadurch können die oben erwähnten Probleme vermieden und die angestrebte Energieeffizienz umgesetzt werden. Bei dem Blower-door-Test wird ein Ventilator in der Regel mit Hilfe einer Plane und einem flexiblen Rahmen luftdicht in eine Fenster- oder Türöffnung eingebaut. Mit dem Ventilator wird zwischen dem Inneren des Gebäudes und der Außenluft eine Druckdifferenz in Form eines Über- oder Unterdruckes erzeugt. Damit diese Druckdifferenz von ca. 50 Pascal aufrecht erhalten werden kann, muss der Ventilator laufend eine bestimmte Luftmenge fördern, deren Größenordnung von den Undichtheiten (Leckagen) in der Gebäudehülle abhängt. Anhand der Messwerte bestimmt eine Software den volumenbezogenen Leckagestrom, der in Frankreich mit Q4 (in m³/h.m² bezogen auf Außenwandflächen) und im Rest Europas mit N50 (Volumen/h) angegeben wird. Gleichzeitig kommt künstlicher Rauch zum Einsatz, um die undichten Stellen in der Gebäudehülle sichtbar zu machen, die natürlich dann behoben werden müssen. Ergänzt wird dieses Verfahren idealerweise noch durch Wärmebildkameras (nur während der Heizperiode).

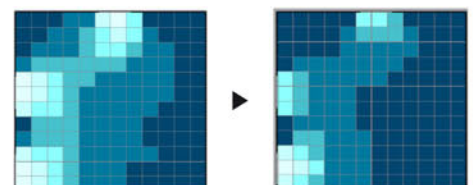


Simulation von TAGESLICHTEINFALL



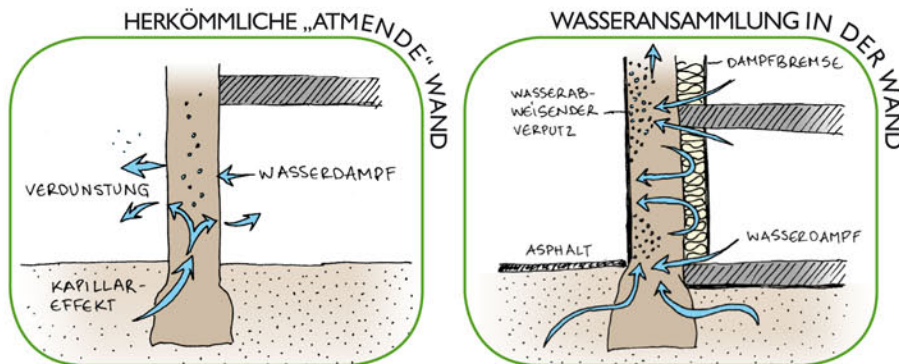
Der Stromverbrauch vor allem durch Beleuchtung und Elektrohaushaltsgeräte stellt heute einen der größten Ausgabenposten in Privathaushalten und Dienstleistungsunternehmen dar. Einen Raum mit so viel natürlichem Licht wie möglich und der bestmöglichen künstlichen Beleuchtung zu versorgen, ist Anliegen jeder umweltbewussten und auf Lebensqualität setzenden Architektur. Die entsprechenden Computerprogramme können alle Elemente des Raumes wie Proportionen, Farben, Einzelheiten von Fenstern und Verglasung integrieren und stellen dann die Intensität und Verteilung des Lichtes auf jeder Wand dar. Sie berechnen wie gleichmäßig und wie hell ein Raum ausgeleuchtet ist und wie viele Stunden Tageslicht er bekommt. Auch die Wirkung der künstlichen Beleuchtung kann berechnet werden. Auf diese Weise lässt sich die Behaglichkeit eines Zimmers beurteilen und in der Folge verbessern. Bei Renovierungsarbeiten lohnt sich eine solche Simulation im Vorfeld auf jeden Fall.

Lichtverteilung im Raum, vorher/nachher: der durch die Dämmschicht reduzierte Lichteinfall muss ausgeglichen werden



Simulation von AUFSTIEGENDER FEUCHTIGKEIT IN WÄNDEN

Funktionsweise alter Wände



Wasser kommt in Wänden in zwei Aggregatzuständen vor: **flüssig** (Regen auf der Verputzoberseite, durch Lecks sowie durch Kapillareffekt aufsteigende Nässe im Wandinnern) und **gasförmig** (Unterschiede von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit der Innen- und Außenluft erzeugen ein Druckgefälle und damit die Wanderung von Wassermolekülen durch die Baustoffe). Dieses Wasser kann nur durch Verdunstung entweichen.

Wenn die Verdunstung unmöglich ist (wasserdichte Verputze oder Tapeten), **kondensiert das Wasser in der Wand und diffundiert**. Die Baustoffe erreichen bald ihren **Sättigungsgrad** und **erleiden im Laufe der Zeit Feuchteschäden** wie Zusammensacken, Frostschäden, Schimmel, Risse oder Ablösungen.

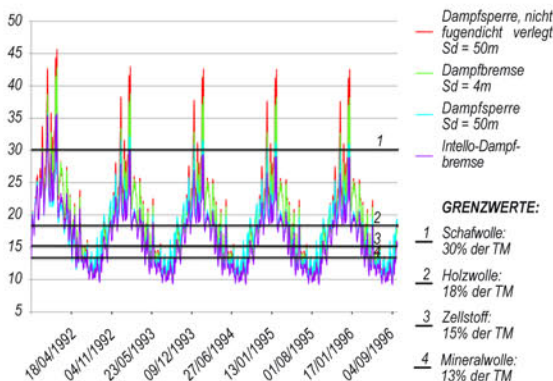
Simulation von Nässeausbreitung mittels Kapillarkraft

Nach dem gleichen Prinzip kann man ebenfalls modellhaft darstellen, wie sich der Baustoff an bestimmten Stellen unter Einwirkung von Kapillarkraft und Schlagregen verhält. So erklären sich Schäden im Erdkontaktbereich wie vorzeitiges Altern von Putz, hölzernen Schwellen oder sogar von Mauerwerk, die durch die Einwirkung von Frost noch schlimmer werden. Um dem vorzubeugen, sollten die Materialeigenschaften in Bezug auf die Diffusionsoffenheit genau analysiert werden.

Bestimmung von verdunstungsfördernden Baustoffen

Dieses Thema nimmt in der Forschung einen großen Platz ein, besonders im Zusammenhang mit energieeffizienten Altbauanierungen. Die Ausbreitung von Feuchte in den Wänden lässt sich modellieren und bringt interessante Erkenntnisse. Solche spezifischen Untersuchungen wurden in der Vergangenheit nur selten herangezogen (Methodik unausgereift), aber heute kann man damit den Taupunkt, den Wassergehalt der Baustoffe, die Feuchtigkeitskonzentration an den Schnittstellen sowie die Ausbreitung der Nässe genau bestimmen. Davon ausgehend wird dann der genaue Wasserdampfdiffusionswiderstand (μ und s_d -Wert) berechnet und ein in Bezug auf Sorptionsfähigkeit, Luftdurchlässigkeit bzw. Wasserundurchlässigkeit geeignetes Baumaterial gewählt. Dessen Dicke sowie die hygrothermische Beschaffenheit der Wand beeinflussen die beschriebenen Erscheinungen erheblich.

Wassergehalt der Trockenmasse (M in %)



Beispiel Ludwigswinkel - Innendämmung: Veränderung des Wassergehaltes der Dämmschicht im Kontakt mit dem Sandstein, über 4 Jahre. Vergleich mit unterschiedlichen Dampfbremsen und Angabe des Sättigungsgrads je nach Isoliermaterial. Selbst wenn der Wassergehalt tendenziell nicht zuzunehmen, sondern gleich zu bleiben scheint, ist die Lebensdauer des Dämmstoffes wohl nur durch eine einwandfrei verarbeitete Dampfbremse mit variablem s_d in Kombination mit Schafwolle gewährleistet. Alles andere führt zu einem beinahe permanenten Sättigungszustand, der den Aufbau des Dämmstoffes beeinträchtigt und Schimmelbefall bewirken kann.

Bestimmung der Dämmstärke

Eine überdimensionierte Isolierung ist wenig sinnvoll - die Dicke der Dämmschicht sollte wirtschaftlich sein, zur anvisierten Behaglichkeit führen und sich vor allem nicht in irgendeiner Form gesundheitsgefährdend auswirken. Vor einer endgültigen Entscheidung bietet sich also eine Kosten-Nutzen-Problempotential-Rechnung an (s. Merkblatt Materialien).

VORSICHT

- Hat man seine Wände zuverlässig **luftdicht** gemacht, ist unbedingt für eine angemessene **Belüftung** aller Räume zu sorgen. Vorrangiges Ziel muss hier die Raumluftqualität sein, die sich direkt auf die Gesundheit der Bewohner auswirkt.

- **Außen- oder Innendämmung?** Die raumseitige Dämmung vermindert die Wärmespeicherfähigkeit und die hygrothermische Regulierungsfähigkeit des Hauses und verstärkt die Wärmebrücken, welche zu Energieverlust und langfristig zu Materialschäden führen können. Eine Außendämmung umgeht diese Probleme, schadet aber häufig der Ästhetik.

- Der Begriff **Lichtzufuhr** (Einheit: lux) ist nicht mit dem **Wärmeeintrag** (Einheit: Kalorien) zu verwechseln. In alle Bereiche des Hauses muss zu jeder Jahreszeit die jeweils optimale Menge Tageslicht eingebracht werden: im Winter so viel wie möglich, im Sommer und auch zu bestimmten Zeiten im Frühjahr und Herbst eher wenig. In sehr stark wärmedämmten Gebäuden kann es im Sommer sehr unbehaglich werden, wenn neben den Wärmequellen im Innern das Sonnenlicht und die Wärme von außen die Raumluft noch zusätzlich aufheizen.

KENNWERTE

Luftdichtheit: Ein energieeffizientes Einfamilienhaus muss in Frankreich einen Koeffizienten von Q_{4psurf} ausgedrückt in $m^3/h/m^2$ kalte Wand erreichen, im Rest Europas gilt der Wert N50 in $Volumen/h$, bezogen auf eine in Gesamtleckagefläche in cm^2 . Angestrebt wird $Q_{4}<0,6$ bzw. $N50<1$.

Tageslichtfaktor: Für einen Wohnraum oder ein Arbeitszimmer (Lesen, Unterhaltung, Schauen) sind mindestens 200 bis 250 lux anzustreben, 100 lux in Fluren, 350-400 in Ateliers usw. Je höher dieser Wert, desto mehr natürliches Licht bekommt der Raum und desto weniger künstliches Licht ist erforderlich.

Behaglichkeit im Sommer und Winter: Für optimale Behaglichkeit müssen die Innenraumtemperaturen so gleichmäßig wie möglich sein ($19^\circ - 22^\circ C$) und die relative Luftfeuchtigkeit stabil zwischen 40% und 60% liegen. Bei normalen sommerlichen Wetterverhältnissen sollte die Obergrenze von $27^\circ C$ und ein $3^\circ C$ -Temperaturgefälle zwischen draußen und drinnen höchstens für eine Dauer von 10% der Aufenthaltszeit bzw. 50 Stunden überschritten werden. Die Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsregulierung kann auch über die physikalischen Eigenschaften wie Wärmespeicherfähigkeit, Dichte oder Hygroskopie der im Innenausbau verwendeten Baustoffe erfolgen (s. Merkblatt MATERIALIEN auswählen).

Zusammenfassung der Ergebnisse, Energieeffizienz vorher/nachher

>@ Alle Detailstudien stehen im Anhang und lassen sich downloaden (s. Link auf der Außenhülle)

Maßnahmenpaket zur ERREICHUNG VON FAKTOR 4

Gebäudehülle: Raumseitige Wärmedämmung Wände und Böden mit 10-112cm Isoliermaterial ($R = 2,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$) + Dampfsperre mit variablem S_d -Wert

Dach: Isolierung des Dachstocks (Hunspach) bzw. der Dachflächen (Ludwigswinkel) mit ca. 30cm Dämmung ($R=5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$)

Fenster: neue Fenster mit Doppelverglasung bzw. Kastenfenster zur Erreichung eines $U_w = 1,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Heizung: Öfen und elektrische Heizkörper werden durch einen einzigen, zentralen Heizkessel ersetzt; Wärmetransport durch Warmwasser und Abstrahlung über thermostatregulierte Heizkörper (die Beibehaltung von Holzöfen als Zusatzwärmequelle wird in den vorschriftskonformen Berechnungen nicht berücksichtigt)

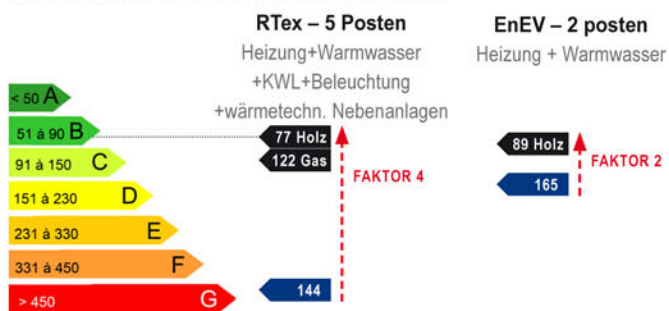
Lüftung: feuchtegesteuerte Abluftanlage

Warmwasser: zentrale Warmwassererzeugung mittels erdgas- oder pelletbetriebenem Brennwertkessel, 300l-Speicher

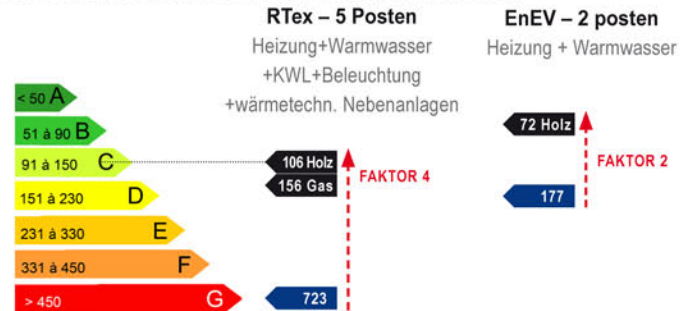
Luftdichtheit: globale Abdichtung der Gebäudehülle: fehlerfreie Verlegung von Dampfbremsen, Fenster absolut dicht (Einfassungen unterfüttert, Flügelfalzdichtungen, Fugenleisten), Ersatz oder Nachrüstung der Außentüren, spezifische Abdichtung von Rohr- und Kabeldurchführungen, Lüftungsöffnungen, Kamin usw.

NORMVERBRAUCH gemäß gesetzlicher Vorschrift (EnEV bzw. RTex)

DREISEITHOF IN HUNSPACH, FACHWERK



EINDACHHAUS IN LUDWIGSWINKEL, NATURSTEIN

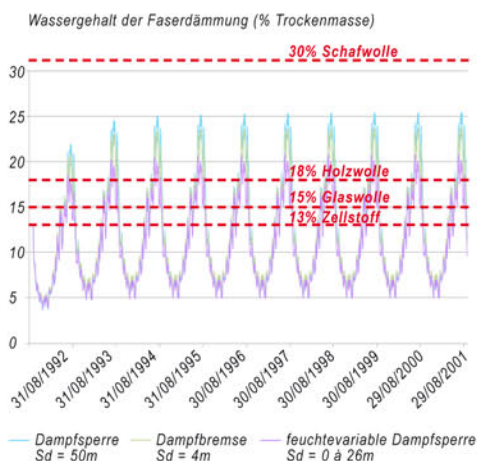


(in kWhEU/m²Wohnfläche.Jahr ; blau: im Bestand, schwarz: nach Sanierung)

ERGEBNISSE FÜR DAS HAUS IN HUNSPACH

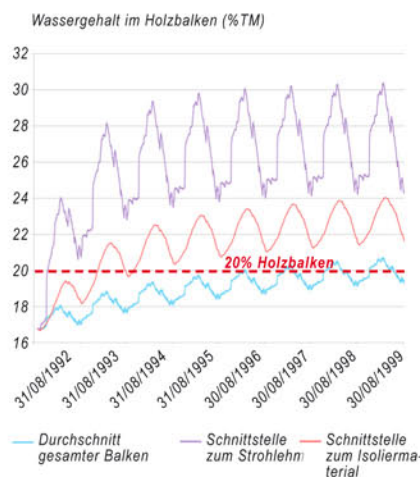
Dynamisch-thermische und hygroscopische SIMULATIONEN

INNENDÄMMUNG MIT FASERPLATTEN



An diesem Beispiel zeigt sich die Auswirkung verschiedener Dampfsperren auf den Wassergehalt des Innendämmstoffes (auf der x-Achse die Zeit, hier 10 Jahre, auf der y-Achse die Entwicklung des Wassergehaltes in % der Trockenmasse). Der Sättigungsgrad wird bei jedem Material erreicht. Überall scheint Schafwolle die beste Lösung zu sein.

NACHTEILE EINER WASSERDAMPFUNDURCHLÄSSIGEN DÄMMUNG



An diesem Beispiel werden die Nachteile von Dämmmaterialien deutlich, die eine Dampfsperre bilden, also beispielsweise Styropor- oder Polyurethanplatten, Kunststofffolien und Vakuumpalten. Auf der x-Achse ist die Zeiteinheit hier 7 Jahre, die y-Achse gibt die Entwicklung des Wassergehaltes in % der Trockenmasse im Gebäck an.

Im gesamten Balken steigt der Wassergehalt rasch an. Der Grenzwert von 20% Trockenmasse ist nach 6 Jahren erreicht. An der Schnittstelle zur Dämmung stabilisiert sich der Wassergehalt des Balkens nicht, sondern steigt jedes Jahr weiter - das Isoliermaterial verhindert ein Abtrocknen des Balkens nach innen.

Wo der Balken am Strohlehm anliegt, ist der Wassergehalt bei allen getesteten Dämmstoffen sehr hoch. Dieses Ergebnis ist allerdings auslegungsbefürdigt, denn die verwendete Software betrachtet vorrangig das von außen über den (stark hygroscopischen) Putz und Strohlehm eindringende Wasser, wobei in der Praxis die Wände durch Dachüberstände oder sogar Außenisolierung (Fassadenverkleidung an den wetterseitigen Giebeln) geschützt sind. Daraus kann man schließen, dass solche 'mechanischen' Schutzvorrichtungen in jedem Fall in gutem Zustand erhalten werden sollten.

Wasserdichte Kunststoffdämmungen sind vor allem bei raumseitiger Dämmung zu vermeiden, insbesondere, wenn natürlich diffusionsoffene Wände aus Naturstein oder Strohlehm vorhanden sind.