

gen und keine energetischen Maßnahmen durchgeführt (Zielgruppenanalyse Gebäudetechnik, 2007).

Bei der Instandhaltung von Gebäuden wurde in der Vergangenheit in der Regel nur schadhafter Putz ausgebessert sowie neu gestrichen. Bei Neubauten wurde immer nur so viel Wärmeschutz betrieben, wie die kantonalen Vorschriften es forderten. In Anbetracht der langen Erneuerungszeiten von Fassaden (40 bis 60 Jahre) bei gleichzeitig immer restriktiveren Gesetzesauflagen besteht ein enormer Handlungsbedarf (Zielgruppenanalyse Gebäudetechnik, 2007). Der Gebäudereich liegt in der Hoheit der Kantone. Das verbleibende Energieeinsparpotenzial sowie die Wertsteigerung der Bestandsimmobilien erscheinen entsprechend groß zu sein.

Rund 45 % des Endenergieeinsatzes werden in der Schweiz für die Beheizung und Kühlung sowie für die Erstellung von Gebäuden und die Warmwasserbereitung aufgewendet, 40 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen sind auf die Verbrennung in den Schweizer Gebäuden zurückzuführen (50 % weniger Energieverbrauch im Gebäudesektor bis 2050, 2014). In der Schweiz entfallen alleine auf den Sektor der Haushalte ca. 27 % (siehe Abb. 1.1) des Endenergieverbrauchs.

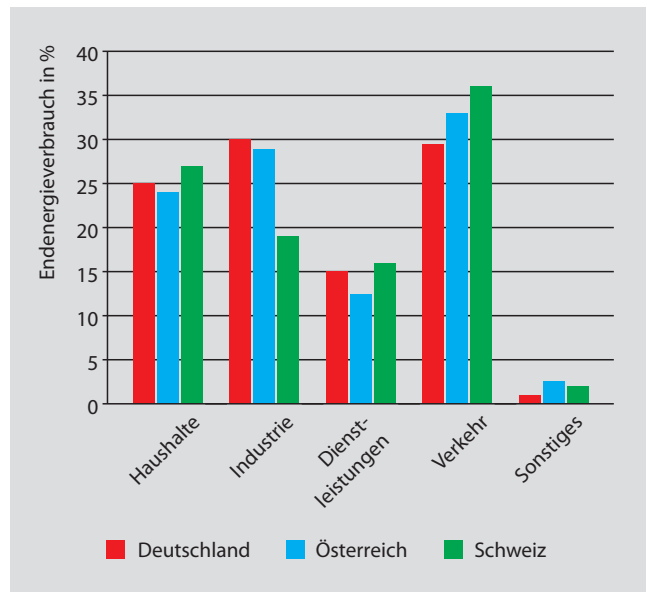
Beheizt werden die Wohngebäude in der Schweiz vorwiegend mit Öl (ca. 50 %). Gas (ca. 15 %), Holz (ca. 12 %), Wärmepumpen (10 %) und Elektrizität (10 %) haben einen deutlich geringeren Anteil als Energieträger (Gebäude und Wohnungen – Daten, Indikatoren, 2012).

Alt-Gebäude, die in Deutschland, Österreich oder in der Schweiz vor 1980 errichtet wurden, weisen einen ca. viermal so hohen Endenergieverbrauch und entsprechende Heizkosten im Vergleich zu neuen Gebäuden auf (siehe Abb. 1.2). Der durchschnittliche Endenergieverbrauch der Wohngebäude, mit dem Baualter vor 1980, in Deutschland, Österreich und der Schweiz liegt bei ca. 210 kWh/(m<sup>2</sup> · a). Im Laufe der Jahre konnte der Energieverbrauch der Gebäude durch die Einführung von z. B. Wärmedämmvorschriften in den einzelnen Ländern deutlich gesenkt werden.

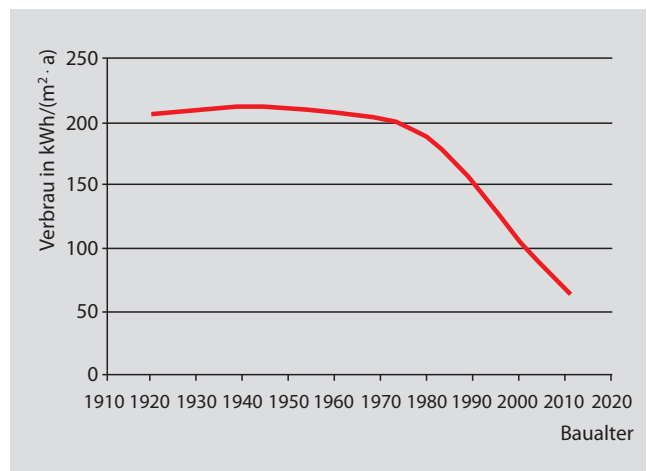
## 1.2 Energiepreisentwicklung und Motivation zur energieeffizienten Sanierung

Ein genauer Blick auf den eigenen Umgang etwa mit Strom, Gas und/oder Öl kann sich in Zeiten mit stark steigenden Energiepreisen lohnen. Mit kleinen Veränderungen im Nutzerverhalten und gering investiven Maßnahmen lässt sich Energie einsparen. Nur ein Grad weniger im Raum kann den Energieverbrauch schon erheblich senken (Richtig heizen – und Geld sparen, 2012). In Gebäuden mit schlechter energetischer Bausubstanz ist es dagegen auch nicht ratsam, gar nicht zu heizen. Die raumumschließenden Wandoberflächen kühlen dadurch zu stark ab, das Schimmelrisiko nimmt zu und das massive Mauerwerk benötigt sehr viel Energie für das Wiederauffüllen der Speichermassen (Siebel/Willems, 2013).

Wo die Außendämmung nicht möglich oder nicht gewünscht ist, kann mit einer Innendämmung die thermische Situation deutlich verbessert werden. Darüber hinaus kann bei der energetischen Sanierung der Außenwände über die Innenseiten der natürliche dekorative Er-



**Abb. 1.1:** Endenergieverbrauch Deutschland, Österreich und der Schweiz nach Sektoren im Jahr 2011 (Quelle: Gebäudereport, 2012; Energiestatus Österreich, 2011; Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000–2013 nach Verwendungszwecken, 2013 und eigene Berechnungen)



**Abb. 1.2:** Mittelwert des Endenergieverbrauchs auf den Wohngebäudebereich in Deutschland, Österreich und der Schweiz nach Baualter (Quelle: Gebäudereport, 2012; Richner, 2013 und eigene Berechnungen)

neuerungszyklus etwa durch Malerarbeiten genutzt werden. Für Eigentümer und Nutzer stellen hohe Energiekosten ein wachsendes finanzielles Risiko dar. Investitionsentscheidungen zur Verbesserung der Energieeffizienz wie z. B. Innendämmungen hängen oft von deren Wirtschaftlichkeit ab. Hierfür ist der Blick auf die Entwicklung der Energiepreise unverzichtbar. Die Ausgaben der privaten Haushalte für Heizenergie (inkl. Warmwasser) haben sich im Zeitraum 1996 bis 2013 um über 100 % (siehe Abb. 1.3) erhöht. Ein Ende der Endenergiepreissteigerung ist nicht in Sicht. Auffallend ausgeprägt ist der Anstieg seit dem Jahr 2000. Der Anteil der Ausgaben für Wohnenergie an den gesamten Konsumausgaben der privaten Haushalte ist von ca. 3,5 % (1996) auf ca. 4,7 % (2012) gestiegen. Dagegen sind die verbrauchten Mengen an Wohnenergie, insbesondere Warmwasserbereitung und Beleuchtung, zwischen 1995 und 2014 beinahe konstant geblieben, im Bereich der



**Abb. 1.10:** Visualisierung der Einflussgrößen auf die Auswahl von Innendämmsystemen (Quelle: Wegerer, 2010)

### 1.8 Vernetzung der Einflussfaktoren auf die Auswahl von Innendämmsystemen

Wie erfolgt nun die praktische Umsetzung des zuvor beschriebenen Wissens zu den Innendämmsystemen auf das reale Objekt? Wie geht man mit dem Wissen um, welche Dämmmaßnahme die wirtschaftlichere ist? Wie wird die prognostizierte und geplante energetische Verbesserung durch Innendämmsysteme Wirklichkeit? Wie geht man mit den Vor- und Nachteilen einer Innendämmung im Projekt um? Wie werden die Wirk- und Schutzmechanismus des Innendämmsystems umgesetzt, wie werden sie Realität?

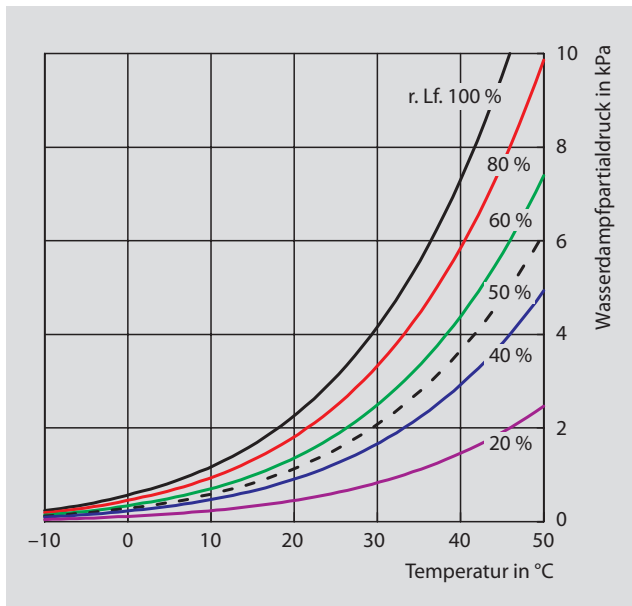
Es gibt keine eindeutige Antwort. Es gibt kein ultimatives Innendämmsystem. Es gibt nicht das Innendämmsystem. Die Darstellung in Abbildung 1.10 vermittelt einen Eindruck davon, welche Einflussgrößen bei der Auswahl eines Innendämmsystems mindestens eine Rolle spielen und damit beachtet werden müssen. Es wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben. Aufgrund dieser Vielfalt von Einflüssen gibt es die verschiedenen Varianten an Innendämmungen, die sich nur im Dämmstoff (z. B. aus künstlichen oder natürlichen Rohstoffen) oder auch in ihrem kompletten System (z. B. diffusionsoffen, feuchtetolerant) unterscheiden können. Für jede reale Situation kann eine passende Lösung gefunden werden.

Hier hilft es, den in Wegerer (2010) erstmals publizierten Entwurf für einen Fragenkatalog heranzuziehen. Die Beantwortung der darin formulierten Fragen zielt auf die objektive Beurteilung und Bewertung der realen Situation in Bezug auf den Zustand des zu sanierenden Gebäudes, die Einflüsse durch die Nutzung von innen und das Klima von außen, die Bauteilanschlüsse usw.

Bei der individuellen Erstellung eines Fragenkataloges bzw. der Beantwortung der Fragen ist unbedingt zu beachten, dass

- die Bewertung nicht isoliert erfolgen darf, der Zusammenhang immer wieder klar sein muss,
- jede Einflussgröße ein Ausschließungsgrund für die Auswahl eines Innendämmsystems sein kann und damit umgekehrt der entscheidende Grund, ein bestimmtes Innendämmsystem zu verwenden,
- in Abbildung 1.10 nebeneinander dargestellte Einflussgrößen sich nicht zwingend direkt beeinflussen,
- dem Planer nicht die Verantwortung abgenommen wird zu entscheiden, was tatsächlich gemacht wird (beachte: wurde kein Planer für das Projekt beauftragt, wird der Ausführende zum Planer mit dessen Verantwortungen) und
- erst wenn die letzte Frage (und es ist gleichgültig, welche dies ist) beantwortet wurde, die Entscheidung für das anzuwendende Innendämmsystem erfolgen sollte.

Nun besteht aufgrund der Vielfalt von verfügbaren Innendämmsystemen die Möglichkeit, dass mehrere von ihnen in die engere Auswahl für die Anwendung kommen. Hier hilft es, Simulationsrechnungen einzubeziehen, die bei der Entscheidung helfen. An der vorgestellten Reihenfolge (Simulation möglichst erst am Ende des Entscheidungsprozesses einzubeziehen) ist erkennbar, dass es möglich ist, ohne Simulationsrechnungen auszukommen, wenn die reale Situation eindeutig ist. Andererseits ist es empfehlenswert, Simulationsrechnungen im Zweifelsfall auch bei immer wieder als nachweisfrei deklarierten Konstruktionen einzusetzen. Nachweisfrei bezieht sich häufig nur auf ausgewählte definierte Randbedingungen und kann sich nie auf genau das



**Abb. 3.1:** Zusammenhang der relativen Luftfeuchte (r. Lf.), der Temperatur und des Wasserdampfpartialdrucks

### Relative Luftfeuchte

Die relative Luftfeuchte (r. Lf.) ist eine der maßgebenden Größen im Bereich des Feuchteschutzes. Durch sie wird verdeutlicht, bis zu welchem Grad die Luft den max. möglichen Wassergehalt besitzt. Die r. Lf. bezieht sich somit immer auf den Sättigungszustand. Hierbei spielt es keine Rolle, ob als Bezugsgröße die Wasserdampfsättigungskonzentration oder der Wasserdampfsättigungspartialdruck verwendet wird.

Die r. Lf. wird gemäß DIN EN ISO 9346 mit dem griechischen Buchstaben  $\varphi$  gekennzeichnet. Da sie ein Verhältnis beschreibt, besitzt sie keine Einheit und wird im Allgemeinen in % angegeben.

relative Luftfeuchte:

$$\varphi = \frac{v}{v_{\text{sat}}} \cdot 100 \% = \frac{p_v}{p_{v,\text{sat}}} \cdot 100 \% \quad (3.5)$$

mit

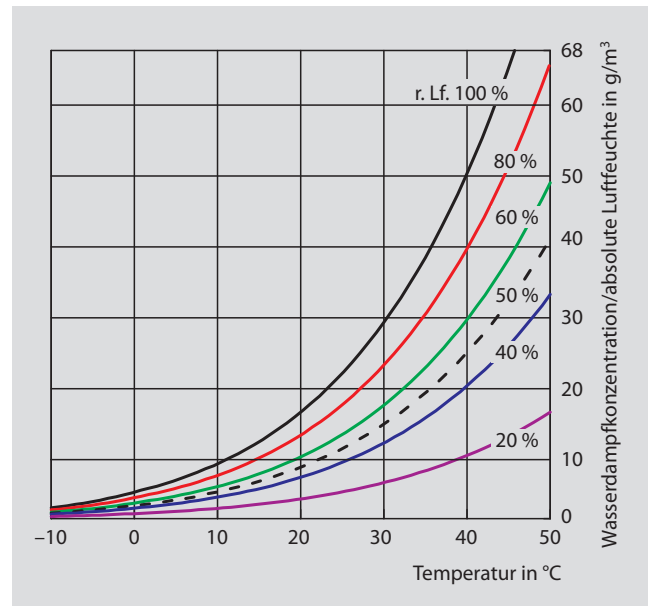
- $\varphi$  relative Luftfeuchte
- $v$  Wasserdampfkonzentration in  $\text{kg}/\text{m}^3$
- $v_{\text{sat}}$  Wasserdampfsättigungskonzentration in  $\text{kg}/\text{m}^3$
- $p_v$  Wasserdampfpartialdruck in Pa
- $p_{v,\text{sat}}$  Wasserdampfsättigungspartialdruck in Pa

Abb. 3.1 zeigt den Zusammenhang der relativen Luftfeuchtigkeit, der Temperatur und des Wasserdampfpartialdrucks. Die Kurve der 100 % r. Lf. entspricht dem Wasserdampfsättigungspartialdruck.

### Absolute Luftfeuchte

Die absolute Luftfeuchte entspricht sowohl in Bedeutung wie auch in Kennzeichnung und Einheit der Wasserdampfkonzentration (vgl. Kapitel 3.1.1, Abschnitt Wasserdampfkonzentration). Auch durch sie wird die Masse des Wassers in der Luft beschrieben.

absolute Luftfeuchte:  $v$  in  $\text{kg}/\text{m}^3$



**Abb. 3.2:** Zusammenhang der relativen Luftfeuchte (r. Lf.), der Temperatur und der Wasserdampfkonzentration bzw. der absoluten Luftfeuchte

Abb. 3.2 zeigt den Zusammenhang der r. Lf., der Temperatur und der Wasserdampfkonzentration bzw. der absoluten Luftfeuchte. Die Kurve der 100 % r. Lf. entspricht der Wasserdampfsättigungskonzentration.

### Wasserdampfdiffusion

Durch Wasserdampfdiffusion wird gasförmiges Wasser transportiert. Da es sich bei Diffusionsvorgängen um einen Stofftransport im molekularen Bereich handelt, können einzelne Moleküle auch Feststoffe durchdringen. Die Diffusionsgeschwindigkeit und Stoffmenge, welche hierbei bewegt wird, hängt vom zu durchdringenden Material und von der Ausprägung des antreibenden Potentials ab. Die Wasserdampfdiffusion wird durch Wasserdampfpartialdruckdifferenzen bzw. durch Wasserdampfkonzentrationsdifferenzen hervorgerufen. Je höher die Differenz, desto stärker ist das antreibende Potenzial. Ähnlich wie bei der Wärmeströmung erfolgt die Diffusion stets vom Bereich mit hohem Wasserdampfpartialdruck zum Bereich mit geringerem Wasserdampfpartialdruck, d. h. in Richtung des Wasserdampfpartialdruckgefälles. Abb. 3.3 zeigt beispielhaft, welche Wasserdampfpartialdrücke sich bei Klimabedingungen von 23 °C und 50 % r. Lf. sowie bei 0 °C und 80 % r. Lf. einstellen. Ebenfalls ersichtlich werden die Wasserdampfpartialdruckdifferenz  $\Delta p_v$  und die sich daraus ergebende Diffusionsrichtung, wenn beide Klimate z. B. durch eine Ziegelwand getrennt sind.

### Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl

Jeder Baustoff setzt dem Feuchtetransport durch Diffusion einen gewissen Widerstand entgegen. Die Höhe des Widerstandes bestimmt zusammen mit dem Wasserdampfpartialdruckgefälle die diffusiv transportierte Wassermenge. Dieser regelnde Effekt wird z. B. beim Einsatz von Dampfbremsen genutzt. Um den Diffusionswiderstand verschiedener Materialien vergleichbar zu machen, wird die **Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl** als Kennwert verwendet.



Abb. 4.9: Bläherperlit

#### 4.1.5.7 Bläherperlit und Bläherperlit-Platten (EPB)

##### Herstellung und Rohstoffe

Als Ausgangsstoff für Bläherperlit dient Perlit, ein glasartiges Gestein aus der Lava unterseeischer Vulkane. Zum Aufblähen werden gemahlene Körner schnell auf etwa 1.000 °C erhitzt, wobei sie sich um ein Vielfaches aufblähen. Um Platten herzustellen, mischt man aufgeblähtes Perlit mit Zellulosefasern, fügt ein Bindemittel (oftmals Stärke) hinzu und presst die Platten in Formen. Nachträglich erfolgt eine Hydrophobierung mit Bitumen oder Kunstharz. Bläherperlit lässt sich auch mit Mineralwolle kombinieren, woraus z. B. Trittschalldämmplatten hergestellt werden. Der sehr temperaturbeständige Dämmstoff ist – als gepresste Platte – auch in druckbelasteten Anwendungen zugelassen.

##### Lieferformen und Verarbeitung

Bläherperlit ist als Schüttgut in Säcken erhältlich und hat Korndurchmesser von etwa 2 bis 8 mm. Dämmplatten aus Bläherperlit werden in Dicken zwischen 20 und 100 mm angeboten. Beim Verarbeiten müssen keinerlei außergewöhnliche Schutzmaßnahmen ergriffen werden. Die Platten lassen sich einfach zusägen, fräsen oder bohren. Bei der Verarbeitung von Schüttungen ist es aufgrund der großen Staubbelastung ratsam, eine Atemschutzmaske zu tragen.

### Eigenschaften

Tabelle 4.13: Zusammenstellung der Eigenschaften von Bläherperlit und Bläherperlit-Platten (EPB)

Symbol oder Größe	Einheit	Eigenschaft und Beschreibung
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	65–150 (lose) 100–250 (Platten)
$\lambda$	W/(m · K)	0,042–0,055
$\mu$	–	2–8 (lose) 5–8 (Platten ohne Bitumen)
Brandklasse		A1 als Platte mit anorganischen Bindemitteln B2 mit organischen Bindemitteln A1 als lose Schüttung ohne Bindemittel oder Imprägnierung (DIN 4102-1) C-s1, d0 bis D-s1, do (Euroklasse für Platten)
c	J/(kg · K)	850–1.000
$\sigma_{10}$	kPa	k. A.
$\sigma_{mt}$	kPa	k. A.
S'	MN/m <sup>3</sup>	k. A.
DS	%	k. A.
Temperaturbeständigkeit	°C	110–800
EPD		vorhanden für Perlite (Ökobaudat)
Anwendung		DI, DEO, DES, WAB, WAP, WI, WTR, WTH
Produktnorm		DIN EN 13169 (für Gebäude)
$\Phi$	%	ca. 95
u bzw. $\psi$	Masse-%	06, – 2,5 – 29 (50 % r. F. – 80 % e. F. – 98 % r. F.)
$u_{max}$ bzw. $u_F$	%	k. A.
w	kg/(m <sup>2</sup> · √h)	100–120
B	cm/√h	k. A.
WAK	Vol.-%	k. A.
€	€/m <sup>2</sup> bzw. €/ (m <sup>2</sup> · 1 m <sup>2</sup> · K/W)	15–20 €/m <sup>2</sup> für 1,0 m <sup>2</sup> · K/W