

UNIVERSITÄT KASSEL
FACHGEBIET BAUPHYSIK
UNIV.-PROF. DR.-ING. GERD HAUSER

Bauschäden und energetische Sanierung

Vorlesungsskript

2003

Der Umdruck ist zum persönlichen, internen Gebrauch bestimmt.

Inhalt

1	Daten zum Gebäudebestand	3
1.1	Gesamtbestand	3
1.2	Wohnungsbestand	3
1.3	Gebäudebestand in öffentlicher Hand.....	6
1.4	Bestand an Baudenkmalern	6
2	Daten zu den Hochbauleistungen	6
3	Instandsetzungsbedarf	9
3.1	Alte Bundesländer	9
3.2	Neue Bundesländer	10
3.3	Deutschland	11
4	Begriffsdefinition „Bauschäden“	13
5	Bauschadensstruktur in Deutschland.....	14
5.1	Schadensschwerpunkte	14
5.2	Vermeidbare Bauschäden an Hochbauleistungen.....	18
5.3	Schlussfolgerungen des 3. Bauschadensberichts des BMBau vom 25.1.1996	18
5.4	Zeitliche Schadensentstehung	19
5.5	Instandsetzungsmaßnahmen	21
6	Energetische Sanierung	24
6.1	Bedeutung der Energieeinsparung	24
6.2	Energieverbrauch für die Beheizung von Wohngebäuden.....	26
6.2.1	Energieverbrauch und Umwelt.....	26
6.2.2	Daseinsvorsorge	30
6.2.3	Zusätzliche Effekte bei baulichen Heizenergieeinsparmaßnahmen	30
6.2.4	Zusätzliche Effekte bei anlagentechnischen Heizenergieeinsparmaßnahmen.....	32
6.2.5	Fazit	33
7	Energetische Struktur des Gebäudebestands in Deutschland.....	34
8	Verfahren für die Beurteilung des Zustandes von Hochbauten	39
8.1	Zerstörungsfreie Prüfverfahren	39
8.2	Zerstörende Prüfverfahren	40
8.3	Im Hochbau bewährte Prüfmöglichkeiten.....	40

8.3.1	Mauerwerksbauteile	40
8.3.2	Stahlbetonbauteile	44
8.3.3	Stahlbauteile	47
8.3.4	Holzbauteile	48
8.4	Mess- und Analyseverfahren zur wärmetechnischen Beurteilung von Gebäuden....	53
8.4.1	Erfahrungswerte	53
8.4.2	Infrarot-Thermographie	53
8.4.3	Messung der Transmissionswärmeverluste mit Wärmeflussmessern	55
8.5	Methoden zur Abschätzung der Lüftungswärmeverluste	58
8.5.1	Luftwechselfmessungen mit der Indikatorgas-Methode	58
8.5.2	Messung der Gebäudeundichtheiten mit der Differenzdruckmethode.	58
9	Verfahren zur Trockenlegung von Mauerwerk	63
9.1	Mauersäge	63
9.2	Bohrlochinjektion	64
9.3	Elektrophysikalische Sperren	66
10	Beispiele von Bauschäden	70
11	Literatur	71

1 Daten zum Gebäudebestand

1.1 Gesamtbestand

Der Gesamtbestand an Hochbauten auf dem Boden Deutschlands entzieht sich aufgrund seiner nach Nutzung, Bauweise, Größe und Alter äußerst heterogenen Struktur einer einfachen zahlenmäßigen Beschreibung. (So ist es wenig sinnvoll, z. B. Wochenendhäuser und Konzertsäle unter der Maßeinheit „Anzahl Gebäude“ oder Lagerhallen und Kathedralen unter der Maßeinheit „m³ umbauter Raum“ zu summieren.) Derartige globale Gesamtzahlen werden daher in der Statistik auch nicht geführt.

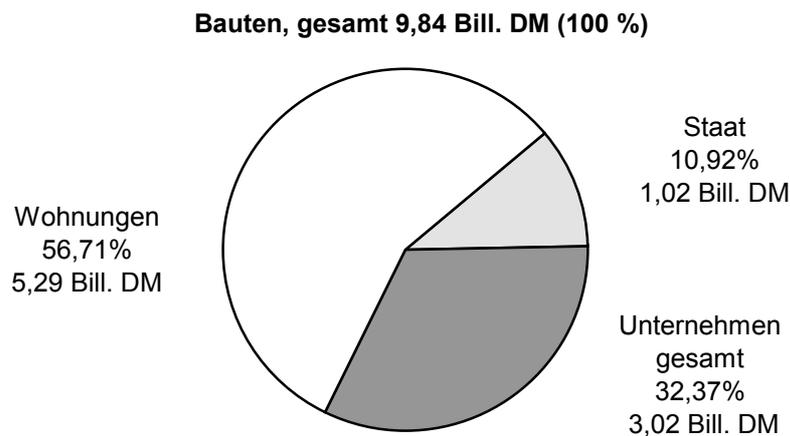


Bild 1.1: Brutto-Bau-Anlagevermögen 1992 der alten Bundesländer in Wiederbeschaffungspreisen.

Einen Überblick über die Größenordnung und die Anteile wesentlicher Sektoren des Baubestandes ergeben die in den volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen enthaltenen Angaben zum Bauvermögen in Wiederbeschaffungspreisen.¹ Das Brutto-Bau-Anlagevermögen betrug 1992 in den alten Bundesländern 9,34 Billionen DM. (Neuere Daten für die alten Bundesländer lagen Anfang 1995 nicht vor. Angaben für die neuen Bundesländer fehlen ganz.) Davon entfallen 56,6 % (5,29 Billionen DM) auf den Wohnungsbereich; 32,3% (3,02 Billionen DM) auf Unternehmen (ohne Wohnungswirtschaft) und 10,9 % (1,02 Billionen DM) auf den staatlichen Bereich.

1.2 Wohnungsbestand

Der dritte Bauschadensbericht der Bundesregierung vom 25.01.1996 (Bezugsjahr 1992) befasst sich schwerpunktmäßig mit der größten Gruppe des Hochhausbestandes - dem Wohnungsbestand. Von erhöhtem, allgemeinen öffentlichen Interesse sind weiterhin der in staatlichem Besitz befindliche Hochbaubestand (Bund, Länder, Kommunen) sowie die unter Denkmalschutz stehenden Gebäude. Auf diese beiden Teilmengen des Gesamtbestandes wird daher in den folgenden Abschnitten ebenfalls eingegangen werden.

¹ Begriffsbestimmungen zum Zahlenmaterial siehe Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 18 Vermögensrechnung.

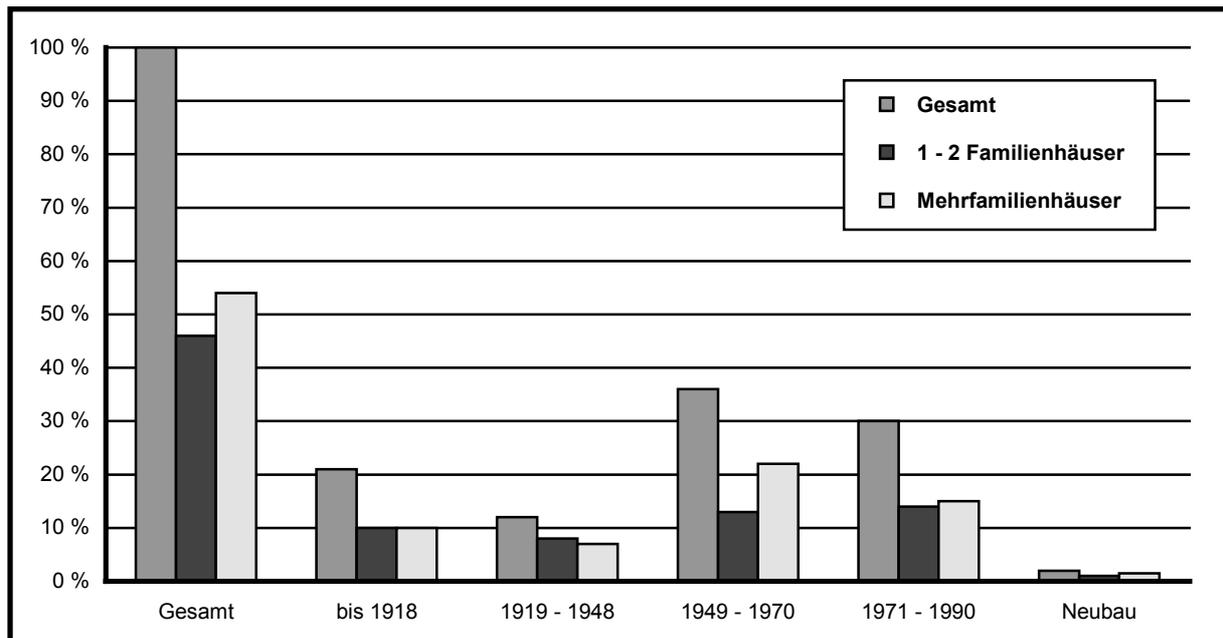


Bild 1.2: Wohnungsbestand in Deutschland nach Baualtersklassen (Stand 1992).

Die rund 34 Mio. Wohnungen der Bundesrepublik Deutschland befinden sich zu 54,4% in Mehrfamilienhäusern und zu 45,6% in Ein- und Zweifamilienhäusern. In den alten Bundesländern weicht dabei die Anzahl der Wohnungen in Ein- und Zweifamilienhäusern nicht wesentlich von der Anzahl Wohnungen in Mehrfamilienhäusern ab (13,2 Mio. zu 13,8 Mio.), während in den neuen Bundesländern mehr als zwei Drittel aller Wohnungen aufgrund der seit 1958 bevorzugten Fertigteilbauweisen sich in Mehrfamilienhäusern befinden. Rund ein Fünftel aller Wohnungen in der Bundesrepublik Deutschland wurde bis zum Jahr 1918 errichtet und 13 % im Zeitraum zwischen den beiden Weltkriegen. Mehr als ein Drittel stammt aus der Nachkriegszeit zwischen 1949 und 1970.

Tabelle 1.1: Bestand an Wohnungen in Deutschland (Stand 1992).

Bereich	Gebäudeart	Bestand an Wohnungen (in Wohngebäuden)	Altersstruktur (Baujahr) Wohnungen				
			bis 1918	1919 -1948	1949 -1990	1971 -1990	Neubau bis 1992
			in Mio.				
Alte Länder	<u>Gesamt</u>	26,97	4,50	3,09	10,63 ²⁾	8,17 ²⁾	0,58
	1 - 2 FH	13,21	2,35	1,73	4,26 ²⁾	4,60 ²⁾	0,27
	MFH	13,76	2,15	1,36	6,37 ²⁾	3,57 ²⁾	0,31
Neue Länder ¹⁾	<u>Gesamt</u>	7,04	2,42	1,34 ³⁾	1,37 ³⁾	1,88	0,03
	1 - 2 FH	2,29	1,10	0,68 ³⁾	0,28 ³⁾	0,22	0,01
	MFH	4,75	1,32	0,66 ³⁾	1,09 ³⁾	1,66	0,02
Davon MFH-Beton-Fertigteilbauweisen 1958 - 1990	<u>Gesamt</u>	2,17			0,57	1,60	
Gesamtes Bundesgebiet	<u>Gesamt</u>	34,01	6,92	4,43	12,00	10,05	0,61
	1 - 2 FH	15,50	3,45	2,41	4,54	4,82	0,28
	MFH	18,51	3,47	2,02	7,46	5,23	0,33
			in %				
	<u>Gesamt</u>	100,0	20,4	13,0	35,3	29,6	1,8
	1 - 2 FH	45,6	10,1	7,1	13,4	14,2	0,8
	MFH	54,4	10,2	5,9	21,9	15,4	1,0
		¹⁾ in Wohn- und Nichtwohngebäuden	²⁾ bis 1968 / ab 1969	³⁾ bis 1945 / ab 1946			

Quellen: Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau;

1. Haus und Wohnung im Spiegel der Statistik; 1994.
2. Wohnbauten in Fertigteilbauweise in den neuen Bundesländern - Ausmaß und Schwerpunkt der Bauschäden, Aug. 1993, Statistisches Bundesamt.
3. Statistisches Jahrbuch 1994 für die Bundesrepublik Deutschland; Bautätigkeit und Wohnungen.
4. Gebäude und Wohnungszählungen vom 25.05.87, Heft 3, Gebäude und Wohnungen, Teil 1, Struktur und Nutzung des Gebäudestandes.
5. Wüstenrot-Stiftung; Die Modernisierung des industriellen Wohnungsbaus in der ehem. DDR, Band 1 und 2; Deutsche Verlagsanstalt, 1993.
6. Krehl u.a.; Wohnbausubstanz und Wohnbaubedarf in der DDR; Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 1990.

Es ist hervorzuheben, dass der prozentuale Anteil der Wohnungen bei mehr als 50 Jahre alten Mehrfamilienhäusern (Baualterstufe bis 1948) in den neuen Bundesländern mit 41,7 % (rund 2 Mio. Wohnungen) erheblich über dem Prozentsatz in den alten Bundesländern mit 25,5 % (3,5 Mio. Wohnungen) liegt. Dies ist einer der Gründe, warum im Bauschadensbericht ein besonderes Gewicht auf die Untersuchung dieses Mehrfamilienalthausbestandes der neuen Bundesländer gelegt wurde.

1.3 Gebäudebestand in öffentlicher Hand

Bezogen auf das Brutto-Bau-Anlagevermögen des Jahres 1992 in Wiederbeschaffungspreisen befinden sich ca. 11 % (1.02 Bill. DM) des Gebäudebestandes in öffentlicher Hand (Angaben nur für die alten Bundesländer). Dieser Gebäudebestand mit einem sehr breiten Nutzungsspektrum von Kindergärten bis Kasernen ist den Kommunen, den Ländern oder dem Bund zuzuordnen. Wie die durchgeführten Untersuchungen im Zuge des vorliegenden Berichts ergeben, liegen weder für den kommunalen Bereich (Deutscher Städtetag; Kommunale Geschäftsstelle für Verwaltungsvereinfachung), noch für den Länderbereich (Länder-Finanzministerien), noch für den Bundesbereich (Oberfinanzdirektoren) ins Detail gehende Daten über die Struktur dieses Gebäudebestandes vor.

1.4 Bestand an Baudenkmälern

Zur Anzahl der Baudenkmäler in Deutschland liegen nur widersprechende Schätzungen vor. So schätzt die Kultusministerkonferenz die Anzahl der Kulturdenkmäler in Gesamtdeutschland auf ca. 1,3 Mio., während der Zentralverband des Deutschen Handwerks 1988 die Anzahl der Bauwerke unter Denkmalschutz für die alten Bundesländer mit 2 Mio. angab.

2 Daten zu den Hochbauleistungen

Der Baubestand der Bundesrepublik Deutschland wird kontinuierlich durch Neubauleistungen vergrößert. Zugleich werden angesichts des großen Bestandes in sehr großem Umfang Bauleistungen zur Instandsetzung und Modernisierung erbracht.

Der 2. Bauschadensbericht (1988) beschrieb die Situation für das Jahr 1985. Wie aus Bild 2.1 und Tabelle 2.1 ersichtlich, hat im Bereich der alten Bundesländer in den Jahren 1985 bis 1992 der Umfang der jährlichen Bauleistungen um rund 30 % zugenommen. Während im ersten Jahr nach der Vereinigung nur 6,9 % der Hochbauleistungen in den neuen Bundesländern getätigt wurden, betrug dieser Anteil 1992 bereits 14,2 %. Der Anteil der Bauleistungen im Wohnungsbau am gesamten Hochbauvolumen war in den alten Bundesländern mit rund 63 % wesentlich höher als in den neuen Bundesländern mit 37 %.

In Mrd. DM

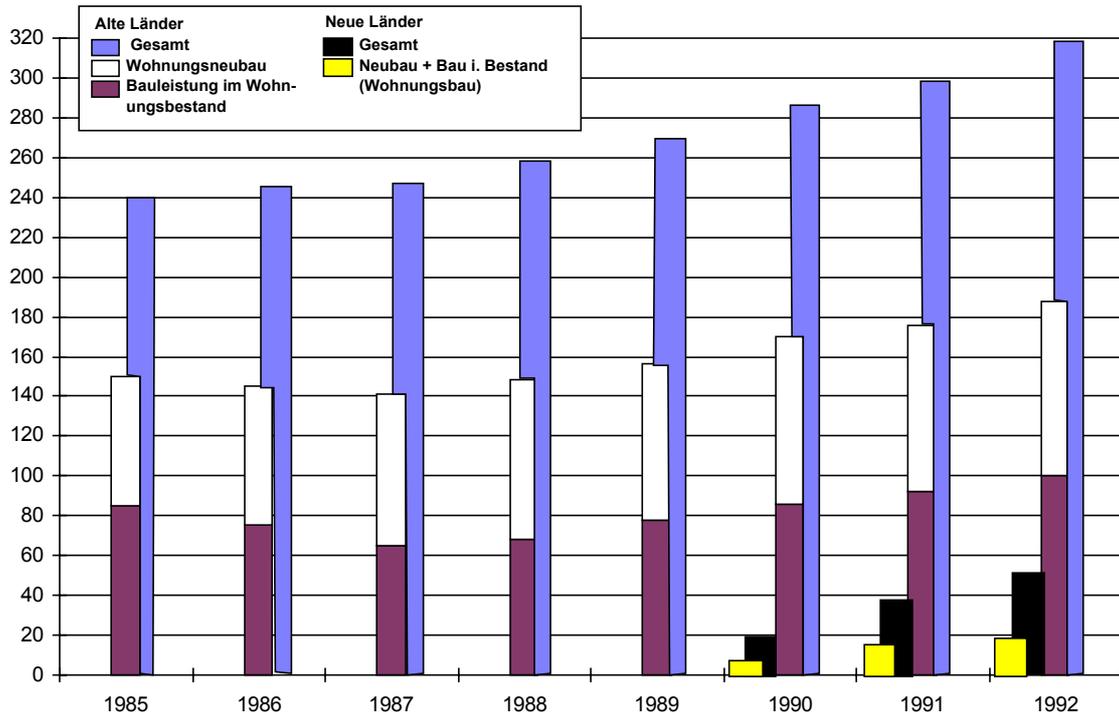


Bild 2.1: Hochbauleistung 1985-1992 in den alten und - ab 1990 - neuen Bundesländern in Preisen von 1992.

Für den Bereich des Wohnungsbaus ist eine Differenzierung zwischen Neubauleistungen und Bauleistungen im Bestand möglich. In den alten Bundesländern hat von 1985 bis 1992 der Umfang der Arbeiten im Wohnungsbaubestand um rund 40 % zugenommen. Es fällt auf, dass zumindest in Bezug auf den Wohnungsbau ein überwiegender Teil der Hochbauleistungen in den neuen Bundesländern sich mit 71,5 % auf Arbeiten im Bestand bezieht, während dieser Arbeit in den alten Bundesländern bei 46,7 % liegt. Darin spiegelt sich der erhebliche Nachholbedarf in den neuen Bundesländern an Instandsetzungs- und Modernisierungsleistungen an Wohnungsgebäuden wider.

Tabelle 2.1: Hochbauleistungen in Mrd. DM in Deutschland in Preisen von 1992

Jahr	Bereich	Hochbauvolumen in Mrd. DM		
		Gesamt	Hochbauvolumen Wohnungsbau	
			Neubau	Bauleistung im Bestand
1985	Alte BRD	240,6	85,8	65,7
1986	Alte BRD	244,8	76,4	74,2
1987	Alte BRD	245,5	69,1	79,4
1988	Alte BRD	256,7	72,1	83,1
1989	Alte BRD	270,9	82,3	81,2
1990	<u>Gesamt</u>	309,1		
	Alte Länder	287,8	91,1	85,5
	Neue Länder	21,3	9,1 (Gesamt)	
1991	<u>Gesamt</u>	337,3		
	Alte Länder	298,1	95,0	89,0
	Neue Länder	39,2	14,7 (Gesamt)	
1992 (Prognose)	<u>Gesamt</u>	365,4	110,5	106,0
	Alte Länder	313,6	105,1	92,1
	Neue Länder	51,8	5,4	13,9

3 Instandsetzungsbedarf

3.1 Alte Bundesländer

Der Instandsetzungsbedarf im Wohnungsbestand der alten Bundesländer liegt insgesamt bei ca. 46 Mrd. DM im Jahre 1992. Dabei entfallen etwa 43 % auf den langfristigen, ca. 31 % auf den mittelfristigen und 25 % auf den kurzfristigen Instandsetzungsbedarf.

Der Instandsetzungsbedarf im Bestand der Ein- und Zweifamilienhäuser ist erheblich höher als bei den Mehrfamilienhäusern, obwohl die Anteile der Wohnungen in den beiden Gebäudearten annähernd gleich groß sind. Ursache hierfür ist vor allem der Sachverhalt, dass bei Ein- und Zweifamilienhäusern aufgrund der Bauart und der Wohnungsgröße auf jede Wohnung ein wesentlich größerer Anteil an Außenbauteilen entfällt, der verstärkt der Alterung und dem Verschleiß unterworfen ist.

Der Anteil des langfristigen Instandsetzungsbedarfs überwiegt mit 43 % am Gesamtbedarf deutlich den des kurz- und mittelfristigen Bedarfs. Schäden oder Mängel entwickeln sich überwiegend durch einen mehr oder weniger langsam fortschreitenden Prozess, der zunächst keinen unmittelbaren Handlungsablauf nach sich zieht, so dass anfänglich die Instandsetzung unterbleibt. Auffallend hoch ist der Instandsetzungsbedarf bei Wohnungen, die in der Zeit zwischen den beiden Weltkriegen erbaut wurden. Besonders in der Spanne zwischen dem 30igsten und 50igsten Standjahr eines Gebäudes fallen durch den eingetretenen Verschleiß einer erhöhten Zahl von Bauteilen und Komponenten hohe Kosten an. Zwar haben seit Beginn der 70er Jahre die Instandsetzungsleistungen und seit der ersten Hälfte der 80er Jahre die werterhöhenden Umbau- und Ausbaumaßnahmen im Altbaubestand sehr stark zugenommen, dennoch ist der Instandsetzungsbedarf gerade bei Gebäuden dieser älteren Altersklassen erheblich.

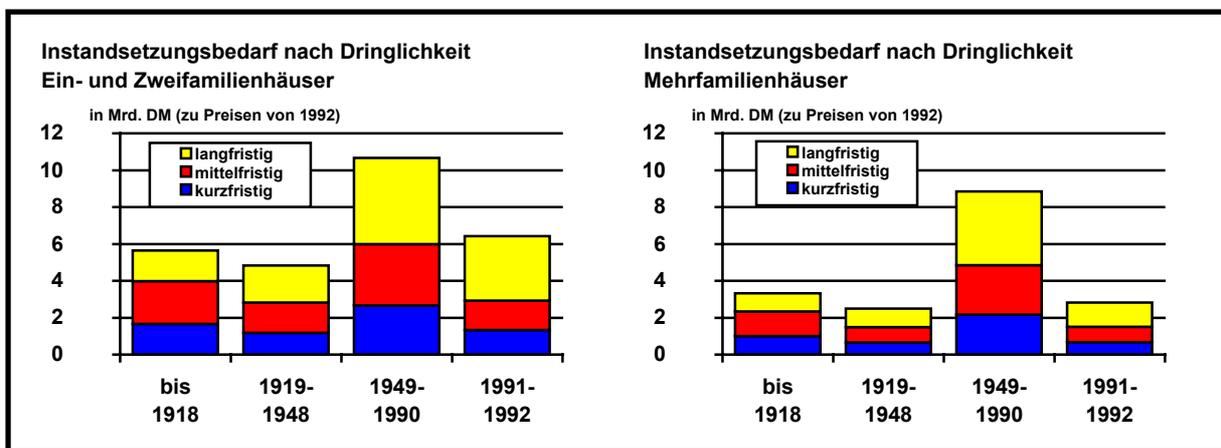


Bild 3.1: Instandsetzungsbedarf im Wohnungsbestand der alten Bundesländer nach Dringlichkeit, differenziert nach Baualtersklassen. (Quelle: GEWOS)

3.2 Neue Bundesländer

Der durch die Erhebung ermittelte Instandsetzungsbedarf des Wohnungsaltbaubestandes der neuen Bundesländer von rund 83 Mrd. DM übersteigt bei weitem das im Jahr 1992 erbrachte Gesamt-Hochbauvolumen der neuen Länder von 51,8 Mrd. DM (der Bedarf beträgt somit 160 % des gesamten Hochbauvolumens inkl. Neubauten). Hieraus wird deutlich, dass die erforderlichen Gelder nicht in kurzer Zeit aufgebracht werden können. Daher wurde der Instandsetzungsbedarf differenziert nach Dringlichkeitsstufen gegliedert. 40 % der Instandsetzungskosten, d.h. 33,2 Mrd. DM, müssen kurzfristig zur Erhaltung des Bestandes aufgewendet werden.

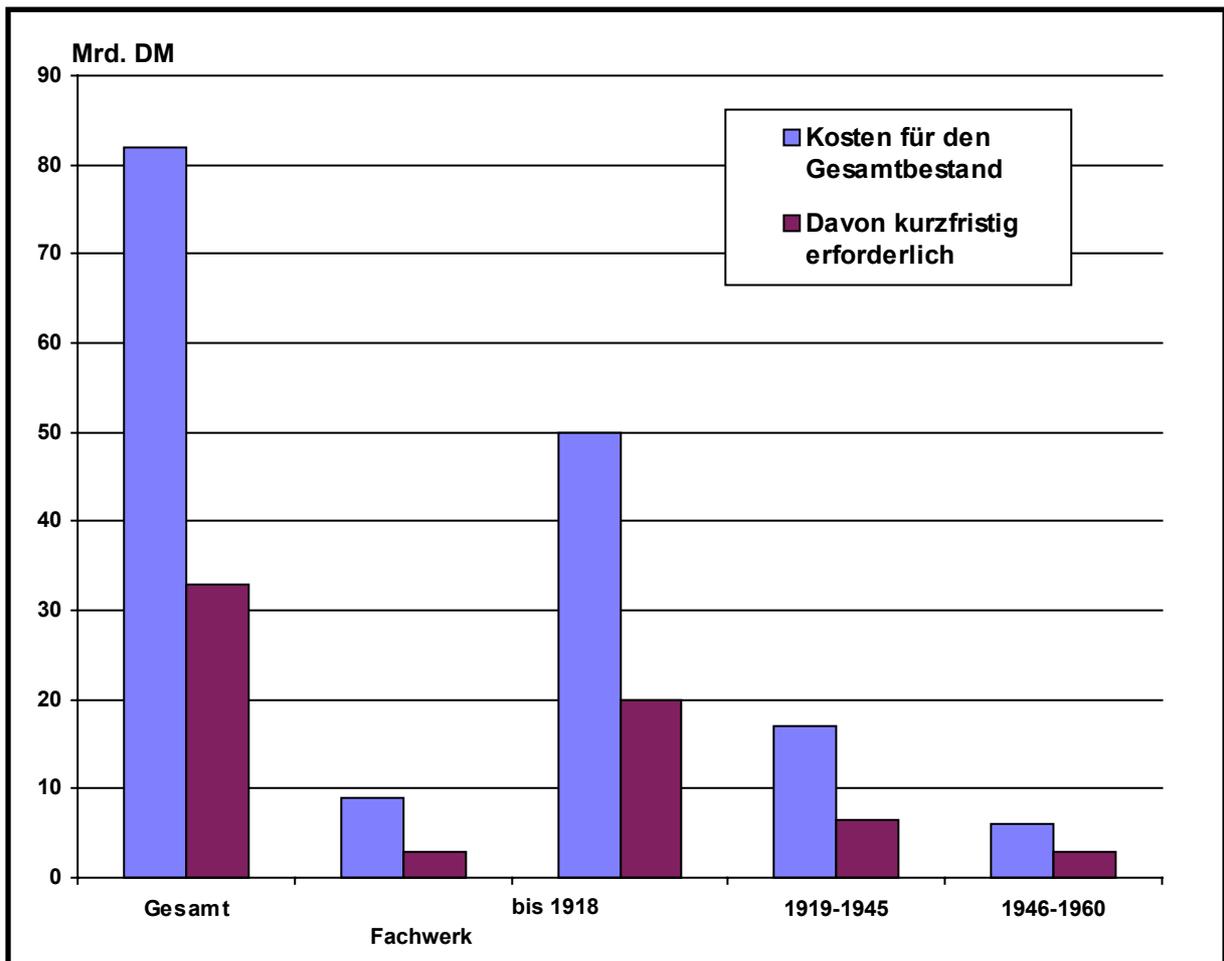


Bild 3.2: *Instandsetzungsbedarf an nicht industriell errichteten Mehrfamilienhäusern in den neuen Bundesländern nach Baualtersklassen und Dringlichkeit*

3.3 Deutschland

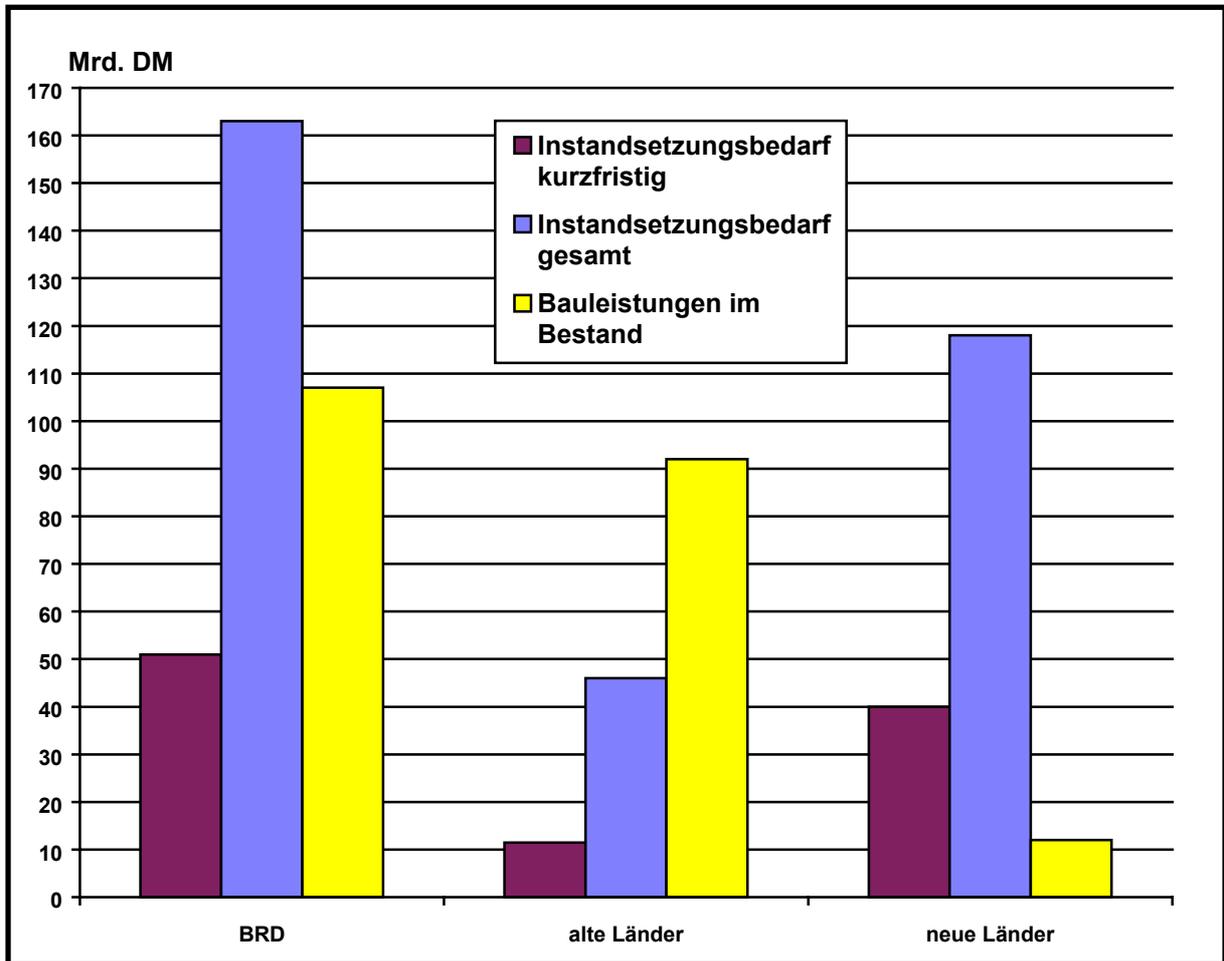


Bild 3.3: Gegenüberstellung der Bauleistung im Bestand und des Instandsetzungsbedarfs an Wohngebäuden in Deutschland (1992).

Eine Gegenüberstellung der im Zeitraum 1990 bis 1994 bereits durchgeführten Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen am nicht industriell errichteten Wohnungsbestand der neuen Bundesländer (siehe Bild 3.3) mit dem kurzfristig erforderlichen Instandsetzungsbedarf zeigt, dass nach der Vereinigung der beiden Teile Deutschlands bis 1994 besonders an den jüngeren Altersgruppen Modernisierungsarbeiten und Instandsetzungsarbeiten durchgeführt wurden, während die besonders instandsetzungsbedürftige Gruppe der Fachwerkgebäude der Baujahre 1918 und auch der Mauerwerksbau der gleichen Altersklasse nur im äußerst geringen Umfang bearbeitet wurde. Investitionen finden zur Zeit also nicht an den besonders instandsetzungsbedürftigen Gebäuden statt.

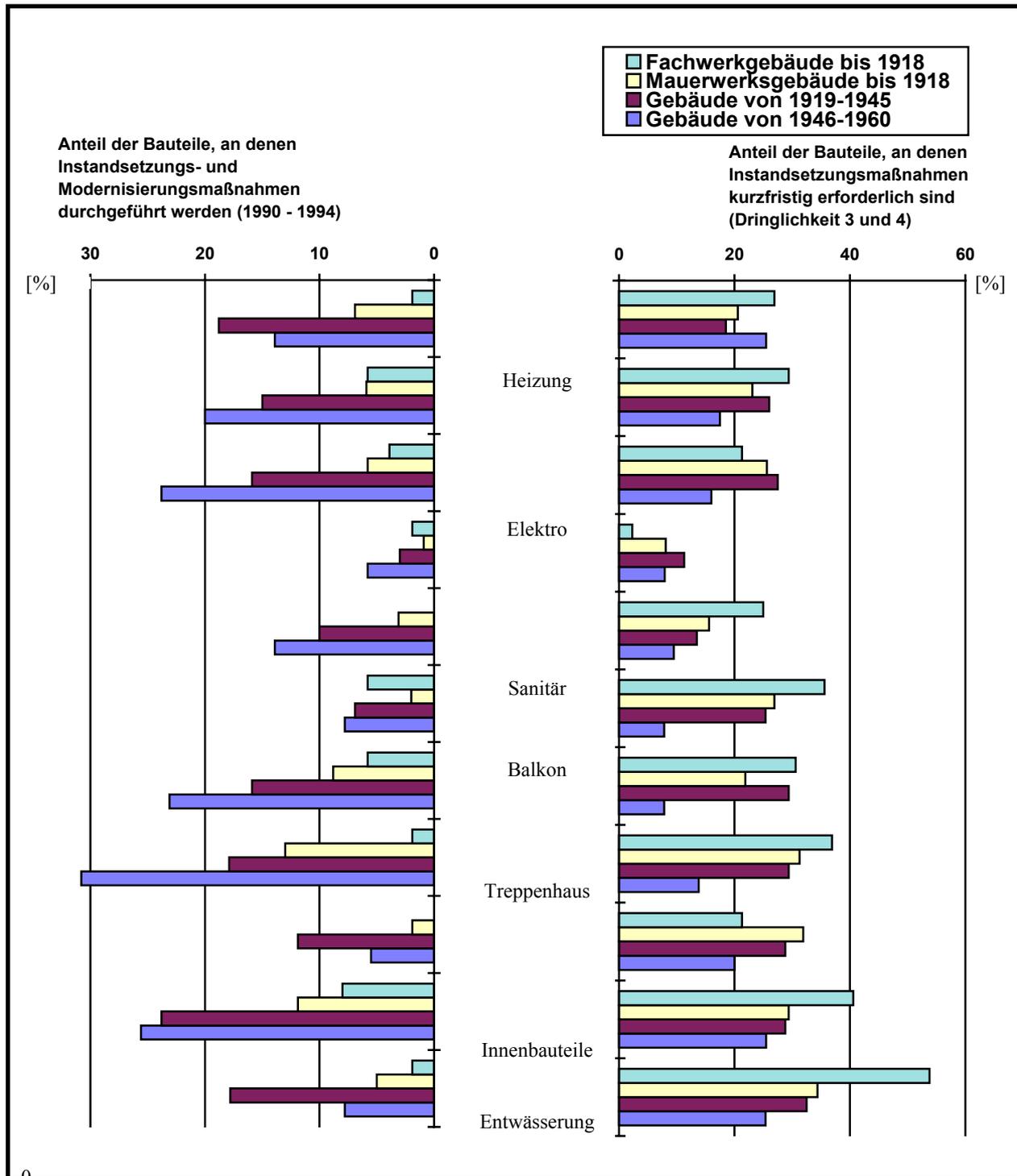


Bild 3.4: Vergleich bereits durchgeführter Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen (1990-1994) mit noch kurzfristig erforderlichen Instandsetzungsmaßnahmen (ab 1995) nach Baualterstufen und Bauteilen (nicht industriell errichteter Mehrfamilienhausbestand der neuen Bundesländer).
Quelle: AIBAU

4 Begriffsdefinition „Bauschäden“

Der Begriff des Bauschadens wird in der Literatur nicht einhellig definiert und unterschiedlich ausgelegt. Die sich mit Bauschäden wohl am stärksten auseinandersetzen Autoren verwenden folgende Definition:

Schild und Mitarbeiter [1]:

Als Bauschäden sollen Erscheinungen an Bauten bzw. deren Teilen bezeichnet werden, die eine Veränderung der materiellen (technischen, physikalischen, chemischen) Eigenschaften des Gebäudes darstellen, dadurch den Wert und/oder die Nutzbarkeit im Vergleich zu einer gewöhnlichen Beschaffenheit herabmindern und damit wirtschaftlich nachteilige Folgen haben.

Diese Definition leitet den Begriff „Bauschaden“ vom Begriffsinhalt der „Bauschädigung“ her und interpretiert diese als nachteilige Veränderung, die das Gebäude als materiellen Gegenstand betrifft. Danach stellen die Bauschäden eine nach der Erscheinungsform abgegrenzte Teilmenge der „Baumängel“ dar, die als Begriff der Gesamtheit der ungünstigen Erscheinungen am Bau umfassen. Deren Definition hat folgenden Wortlaut: Als Baumängel sollen Zustände an Bauten bezeichnet werden, die den Wert und/oder die Tauglichkeit (Nutzbarkeit) des Gebäudes im Vergleich zu einer gewöhnlichen Beschaffenheit herabmindern und damit wirtschaftlich nachteilige Folgen haben.

Darunter fallen also sowohl die Nutzbarkeit und/oder den Wert mindernde Zustände der Zuordnung, Formgebung und Dimensionierung von Bauten und von Bauteilen in Grund- und Aufriss und der Sonnen-, Wärme- und Schallschutzvorkehrungen als auch die als Bauschäden definierten Veränderungen der materiellen Eigenschaften von Bauten.

Im Rahmen einer Befragung über Bauschäden im Wohnungsbau in Nordrhein-Westfalen verwenden die Autoren folgende vereinfachte Bauschadensdefinition: „Betrachten Sie bitte alle Erscheinungen (Bauschädigungen) an Ihrem Gebäude oder Teilen desselben als Bauschaden, die Ihnen, Ihren Mietern oder gewährleistungspflichtigen Dritten (z.B. dem Bauunternehmer, dem Architekten oder ähnlichen) Kosten verursacht haben bzw. bei einer Behebung verursacht würden oder einer Wertminderung des Gebäudes oder eines seiner Teile zur Folge haben. Vernachlässigen Sie bitte Schäden, die Kosten unter DM 100,- verursacht haben.“

Zimmermann [2] führt folgendes aus:

Der Jurist kennt den Begriff Bauschaden nicht; er kennt nur die Begriffe Mangel des Werks und Bauwerksmangel.

Nach dem Werkvertragsrecht des BGB hat der Unternehmer seine Werkleistung so herzustellen, dass diese die zugesicherten Eigenschaften hat und nicht mit Fehlern behaftet ist, die den Wert oder die Tauglichkeit zu dem gewöhnlichen oder zu dem nach dem Vertrag vorausgesetzten Gebrauch aufheben oder mindern. Hieraus lässt sich folgende Definition ableiten:

Ein Bauwerksmangel ist das Fehlen einer zugesicherten Eigenschaft einer Werkleistung oder ein Fehler, der den Wert oder die Tauglichkeit einer Werkleistung zu dem gewöhnlichen oder zu dem nach dem Vertrag vorausgesetzten Gebrauch aufhebt oder mindert.

Hier muss kurz auf den Bezug von Mangel und Schäden eingegangen werden. Rechtlich besteht zwischen Mangel und Schaden eine wesentliche Verschiedenheit. Mangel haftet einer Sache an; nur einer Person kann ein Schaden zugeführt werden: Schaden ist jeder Nachteil, den eine natürliche oder juristische Person selbst oder an einem ihrer Güter durch ein bestimmtes Ereignis erleidet. Im weiteren Sinne kann ein Schaden auch einer Vielzahl

von Personen entstehen (z.B. volkswirtschaftlicher Schaden). Nach dem weitesten Verständnis wird der Schaden mit dem Mangel gleichgesetzt.

5 Bauschadensstruktur in Deutschland

5.1 Schadensschwerpunkte

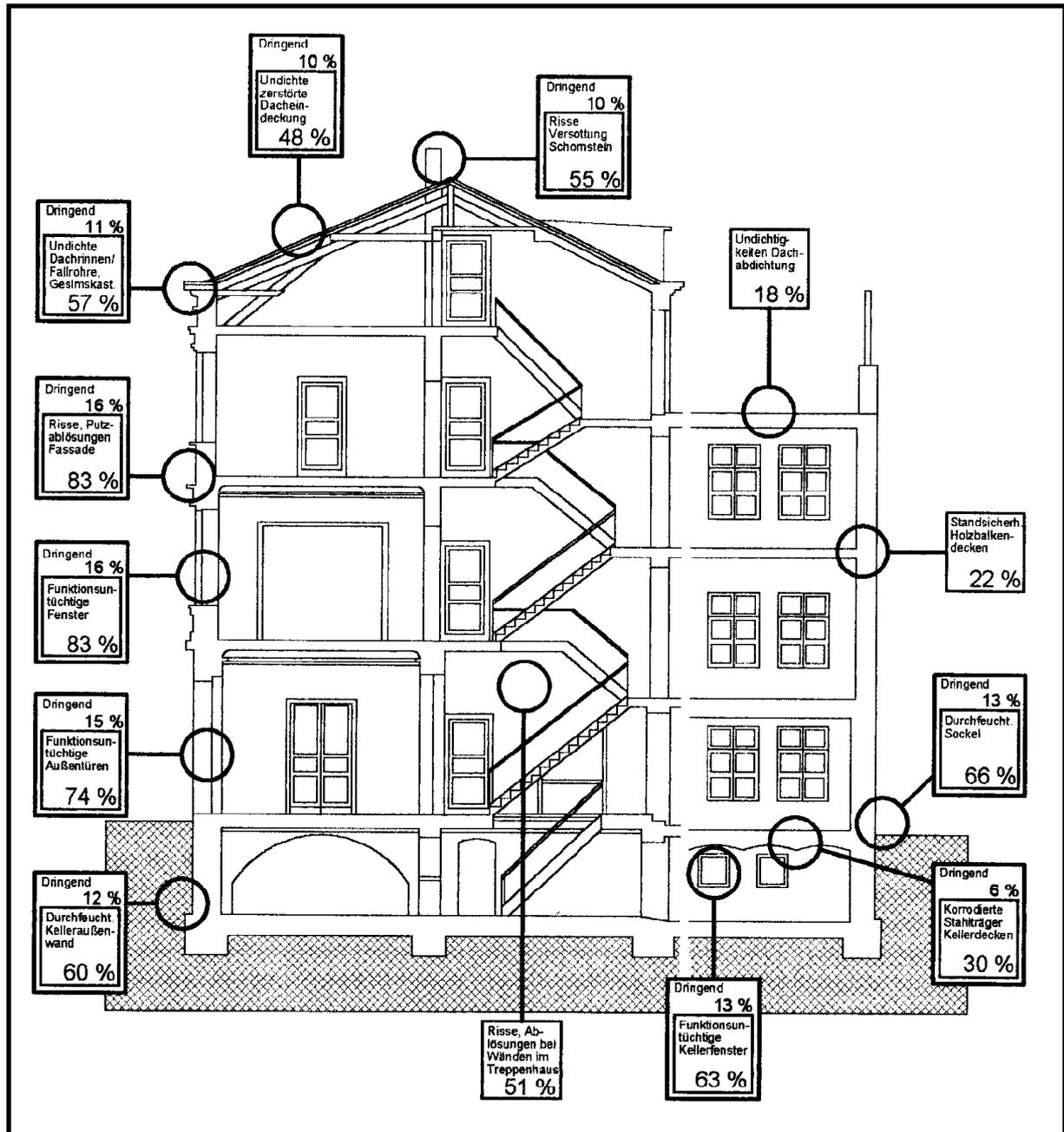


Bild 5.1: Schadensschwerpunkte am nicht industriell errichteten Mehrfamilienhausbau (bis 1960) der neuen Bundesländer (Häufigkeit schadhafter Bauteile). Quelle: AIBAU

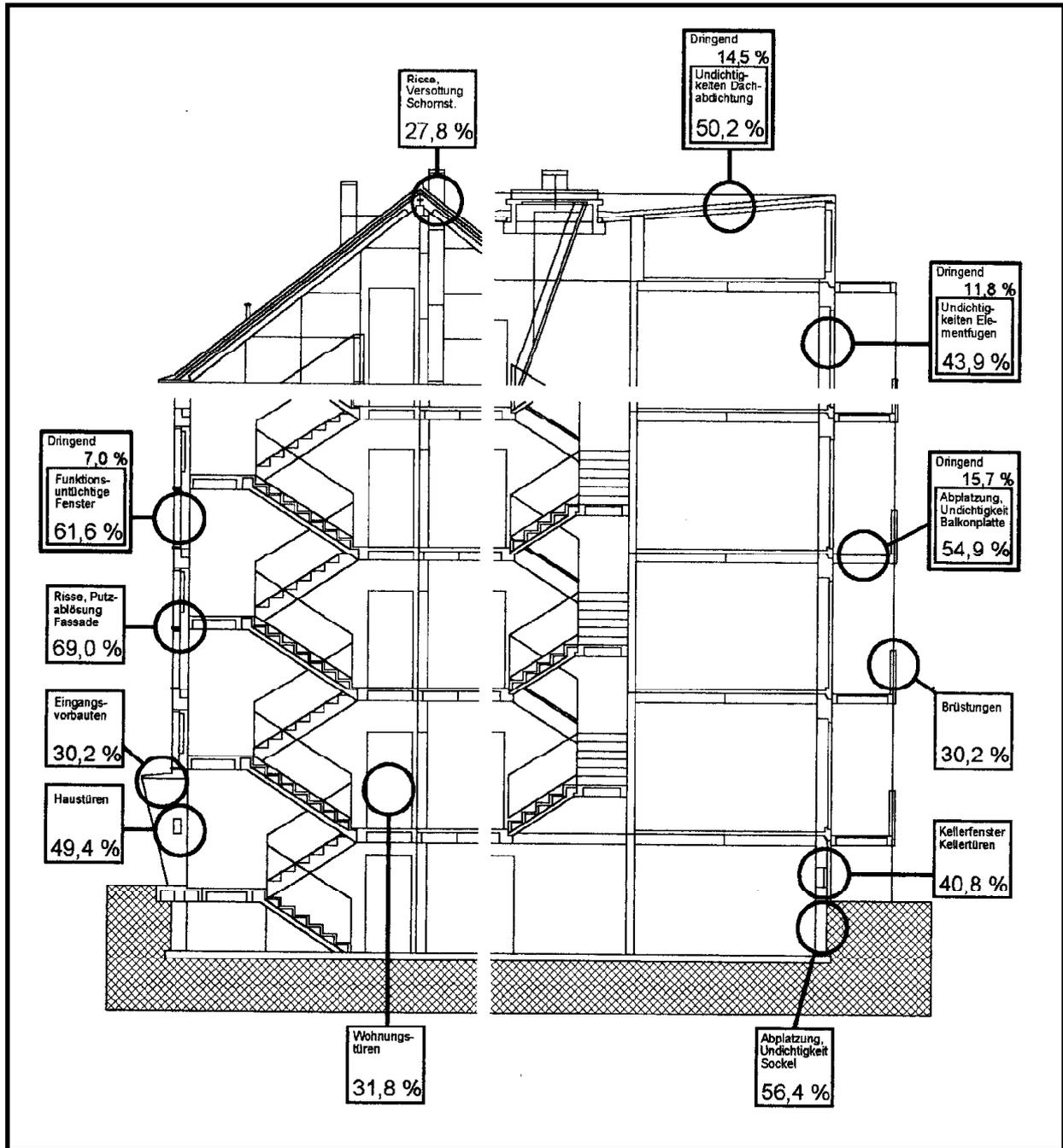


Bild 5.2: Schadensschwerpunkte an den Wohnungen in Fertigteilbauweise in den neuen Bundesländern (Häufigkeit schadhafter Bauteile)

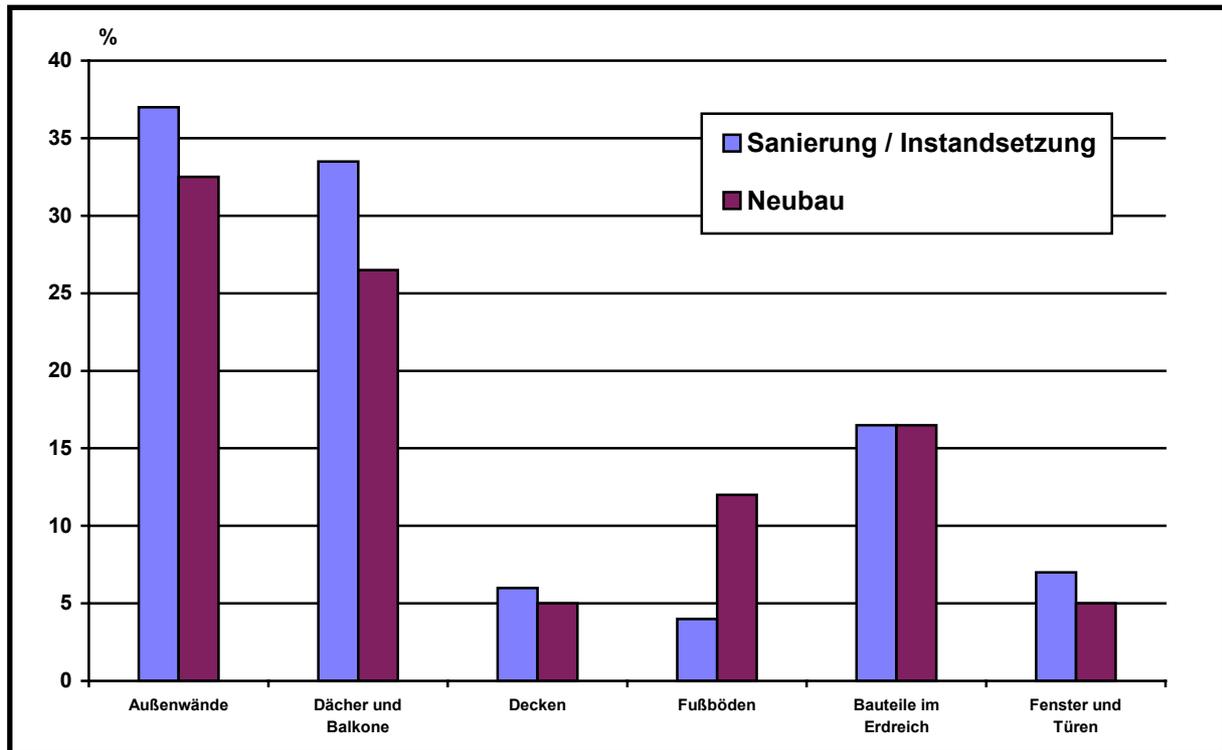


Bild 5.3: *Prozentualer Anteil der Bauteilgruppen an der Gesamtheit aller Schäden bei Arbeiten im Bestand bzw. bei Neubauarbeiten (Umfrage unter Sachverständigen). Quelle: AIBAU*

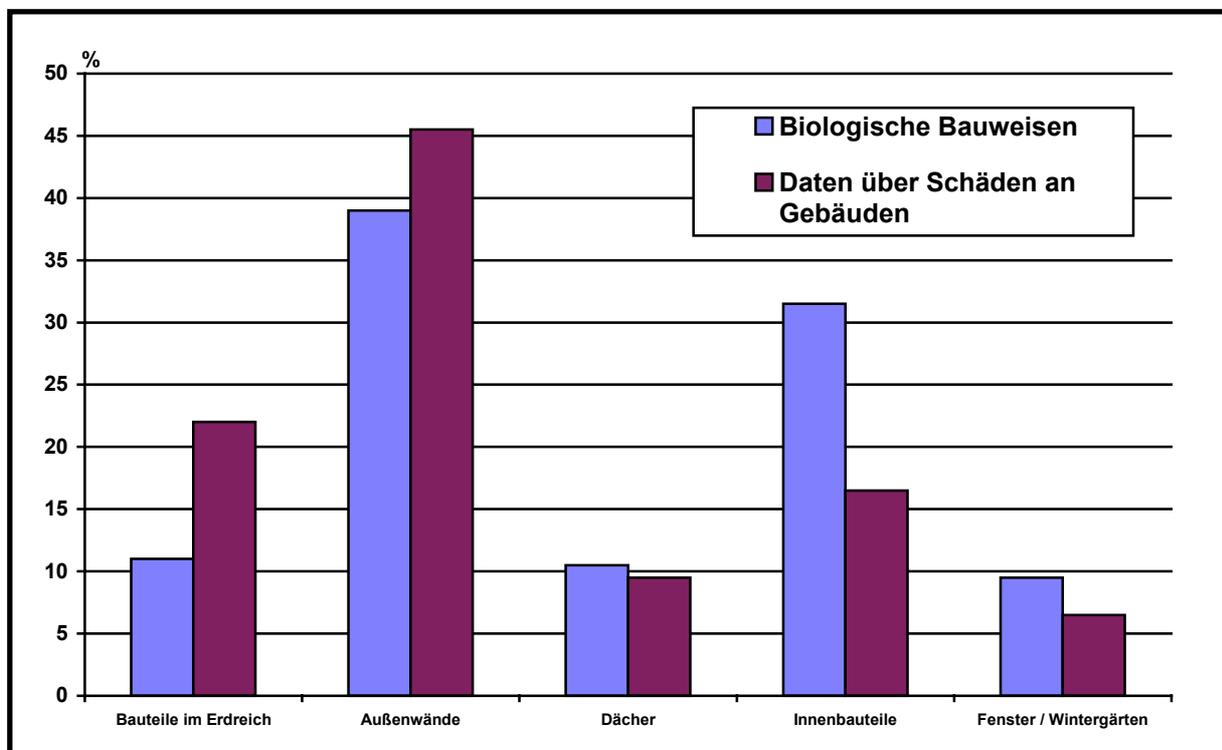


Bild 5.4 *Schadensbetroffene Bauteile bei „biologischen“ Bauweisen im Vergleich zu üblichen Bautechniken (Umfrage unter Bauherren und Sachverständigen).*

Der deutlich höhere Anteil der Schadensbetroffenen Innenbauteile bei den „biologischen“ Bauweisen lässt sich auf die unterschiedlichen Deckenkonstruktionen zurückführen, die hier in der Regel als Holzbalkendecken ausgeführt werden und nur mit großem Aufwand ähnlich gute Schallschutzeigenschaften wie Stahlbetondecken erreichen können. Wie aus Bild 5.5 hervorgeht, waren Schallschutzmängel die am häufigsten gerügten Mängel bei den Innenbauteilen. Andere Bauteile waren bei den „biologischen“ Bauweisen verglichen mit den üblichen Bautechniken etwa im gleichen Ausmaß schadensbetroffen, s. Bild 5.4.

Die Mangelschwerpunkte in Gruppen zusammengefasst sind:

- Feuchtigkeitsschäden an Kellern und Sockelmauerwerk (13,3%)
- Mangelhafter Schallschutz von Holzbalkendecken (12,7%)
- Schäden an verputztem Mauerwerk (11,9%)
- Zuglufterscheinungen an Fachwerk, Holzständerwerken und geneigten Dächern(11,2%)
- Schäden an Fenstern/Wintergärten (9,1%)
- Durchfeuchtungen, Schädlingsbefall bzw. Putzschäden an Holzständerwerken und Fachwerk mit Lehmausfachung (8,4%)
- Rissbildungen/Verwerfungen in Holzbalken (7,7%)
- Durchfeuchtungen und Schädlingsbefall an geneigten Dächern (5,6%)

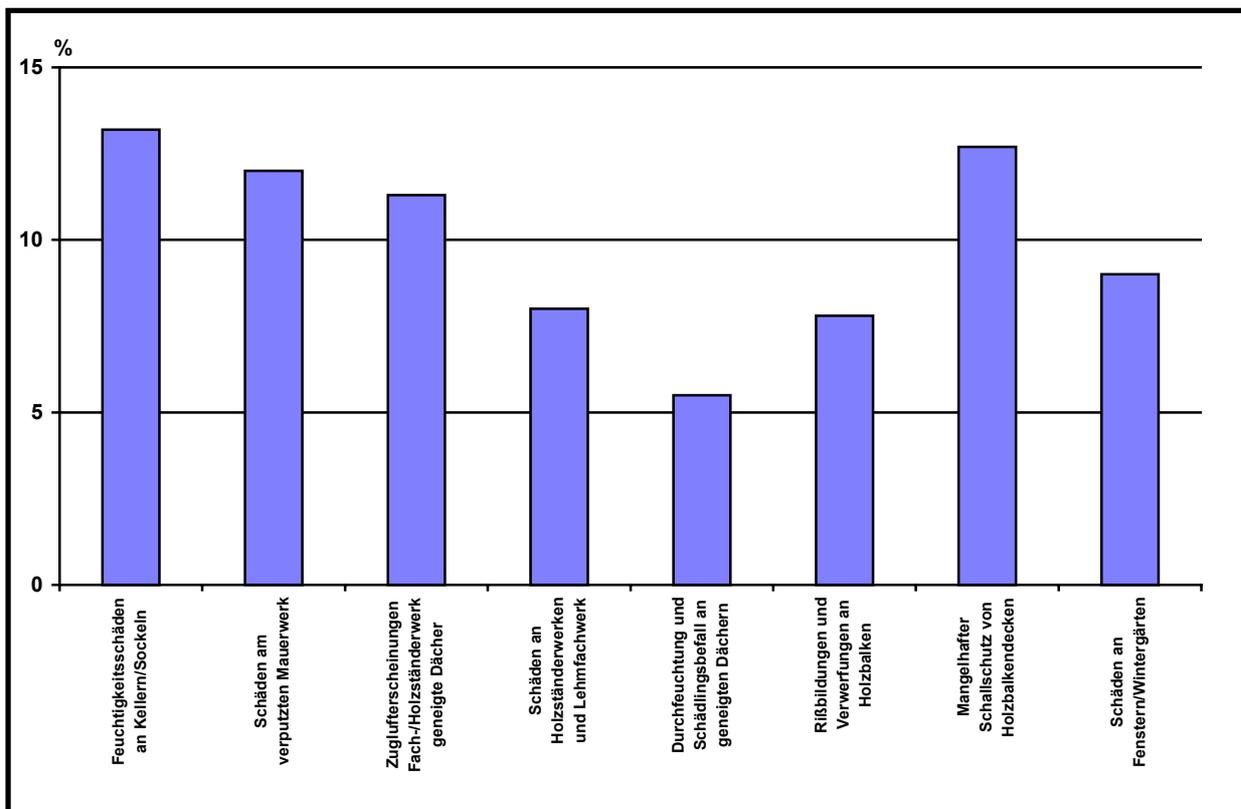


Bild 5.5: Schadensschwerpunkte bei „biologischen“ Bauweisen in Gruppen zusammengefasst.

5.2 Vermeidbare Bauschäden an Hochbauleistungen

Zu Bauschäden im engeren Sinne, wie sie im ersten Bauschadensbericht ausschließlich behandelt worden sind, wurden in den letzten Jahren zwar Globaluntersuchungen zur zeitlichen Schadensverteilung und zu Schäden bei Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen durchgeführt. Statistisch verlässliche Globaluntersuchungen zur Schadensverteilung und zu den Schadenskosten bei Neubaumaßnahmen wurden jedoch nicht durchgeführt, da aufgrund der geringen zur Verfügung stehenden Forschungsmittel der Schwerpunkt auf dringliche Einzeluntersuchungen gelegt wurde. **Grobe Schätzwerte bei den Schadenskosten bei Neubauten sind daher nur auf der Grundlage der Hochrechnungen älterer Untersuchungen möglich** (diese Hochrechnungen berücksichtigen dabei die jeweiligen jährlichen Gebäudefertigstellungen und die zeitliche Schadensverteilung über die Standzeit der einzelnen Altersklassen). Demnach können die vermeidbaren Bauschäden bei Neubaumaßnahmen für 1992 auf 3,4 Mrd. DM geschätzt werden.

Tabelle 5.1: Fertiggestellte Gebäude (ab 1990/91 inkl. neue Bundesländer), Hochbauvolumen, geschätztes Neubauvolumen und geschätzte Schadenskosten in Preisen von 1992.

Jahr	Hochbauvolumen	geschätztes Neubauvolumen	Fertiggestellte Gebäude	geschätzte Kosten vermeidbarer Neubauschäden
	in Mrd. DM	in Mrd. DM	(Anzahl)	in Mrd. DM
1985	240,6	136,2	162 337	3,6
1986	244,8	124,1	149 472	3,3
1987	245,5	114,2	140 023	3,1
1988	256,7	119,1	144 917	3,0
1989	270,9	136,3	163 429	3,1
1990	309,1	159,5	153 872	3,1
1991	337,3	174,0	166 380	3,2
1992	365,4	186,8	179 151	3,4

Quellen: Statistisches Bundesamt / DIW / AIBAU

5.3 Schlussfolgerungen des 3. Bauschadensberichts des BMBau vom 25.1.1996

- Die spezielle Ausbildung zum Bauen und zur Energieeinsparung im Bestand muss auf allen Ebenen verbessert werden, da hier weiterhin bei der praktischen Umsetzung erhebliche Wissensdefizite bestehen. Dies betrifft sowohl Ausbildungsgänge und Studienschwerpunkte an den Hochschulen als auch die Entwicklung neuer bzw. die Ergänzung bestehender Berufsbilder des Baugewerbes.
- Beim ökologischen Bauen ist der Aspekt der Dauerhaftigkeit von Baustoffen und Bauweisen als gleichwertiges Kriterium zu betrachten. Die Grundkenntnisse der

bautechnischen, bauphysikalischen und ökologischen Zusammenhänge sind bei der Ausbildung verstärkt zu vermitteln.

5.4 Zeitliche Schadensentstehung

Bei Auftragung der Schadenshäufigkeit in Abhängigkeit vom Alter des Gebäudes entsteht folgender Verlauf [3]:

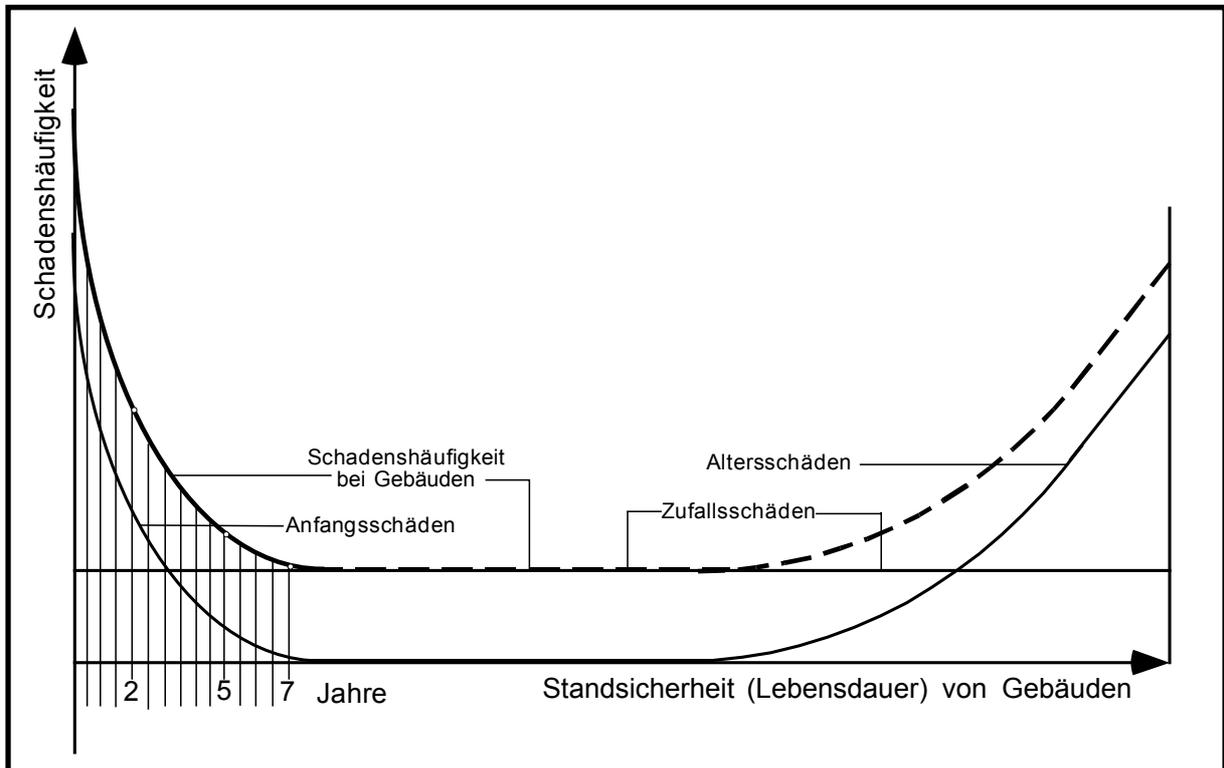


Bild 5.6: Zeitliche Schadensentstehung

Bezüglich des Zeitpunktes des Auftretens von Bauschäden lassen sich folgende Unterscheidungen vornehmen:

a) Anfangsschäden

Die Anfangsschäden umfassen all die Schäden, die aus dem einmalig nach der Herstellung der Bauteile ablaufenden physikalischen und chemischen Vorgängen herrühren - also z.B. Schwind- und Setzungs Vorgängen. Die Anfangsschäden umfassen weiter all die Schäden, die dann entstehen, wenn das Gebäude zum erstenmal allen üblichen Beanspruchungen gegebenenfalls in ungünstigster Kombination ausgesetzt wurde und die Schadensreaktion Mängel bei der Planung und/oder Ausführung d. Gebäudes sichtbar werden lässt.

Ein typisches Beispiel sind Durchfeuchtung einer Außenwand mit Riemchenbekleidung, die nach zwei- bis dreijähriger Standzeit des Gebäudes nach einer kalten und regenreichen Witterungsperiode auftreten. Große Wasserbelastungen, geringe Austrocknungsmöglichkeiten durch das Schwinden des Mauerwerks und des Fugenmörtels nach der Herstellung entstandene, nicht völlig vermeidbare Haarrisse, haben eine Verkettung ungünstiger aber üblicher Bedingungen geschaffen, die Mängel in der Vermauerung (z.B. Hohlfugigkeit) und/oder Mängel bei der Planung (z.B. Fehlen der Schalenfuge) offensichtlich machen.

Besonders die Anfangsschäden rühren aus Fehlern der Planung und Ausführung her - es sind die Schäden, die durch die Gewährleistungszeit erfasst werden müssen. So deckt die fünfjährige Gewährleistungszeit nach BGB fast die Gesamtheit der Anfangsschäden ab. Letztlich ergibt sich die Angemessenheit dieses Zeitraum also aus dem Sachverhalt, dass innerhalb von 5 Jahren sowohl fast alle (einmaligen) Verformungsvorgänge am Gebäude beendet sind, die aus der Herstellung (z.B. schwinden des Betons) und bei der Belastung (z.B. Setzen der Fundamente) der Bauteile herrühren, als auch aus dem Sachverhalt, dass innerhalb dieses Zeitraums alle wesentlichen Beanspruchungen mit großer Wahrscheinlichkeit in ungünstiger Kombination am Bauteil aufgetreten sind und so die Bauteile innerhalb dieser Zeit ihre volle Leistungsfähigkeit unter Beweis gestellt haben und Mängel offenbar werden.

Die Anfangsschäden sind aber auch die Schäden, die zu betrachten sich besonders lohnt, da durch ihre Kenntnis weitere und erneute Schäden vermeidbar werden.

b) Alterungsschäden

Alterungsschäden entstehen durch die natürliche Alterung der Bauteile, Baustoffe und Abnutzung. Der Beginn des Auftretens von Altersschäden an einem Gebäude ist dabei wesentlich von der Gesamtqualität des Gebäudes und der Gebäudeunterhaltung abhängig. Bei einem mit großem Aufwand aus bestem Material und sorgfältiger Handwerksarbeit mit aufwendigen Detaillösungen hohen Sicherheitsgrades ausgeführten und sachgerecht unterhaltenen Gebäude werden Altersschäden erst später auftreten als bei einem nach den Minimalanforderungen billigst hochgezogenen, sparsamst unterhaltenen Haus.

Der Einsetzzeitpunkt der Altersschäden wird also in zweifacher Weise durch den Bauherren bestimmt: durch seinen finanziellen Möglichkeiten im Hinblick auf die Ausführungsqualität und durch seine Sorgfalt bei der Bauunterhaltung.

c) Zufallsschäden

Die über die Standzeit des Gebäudes gleichmäßig verteilten Zufallsschäden umfassen Schäden, die grundsätzlich aus zufällig auftretenden Ursachen herrühren - z.B. höhere Gewalt, Naturkatastrophen, Beschädigung durch dritte.

Die Übergänge zwischen den drei Schadensgruppen sind fließend und die Zuordnung kann durchaus strittig sein: So ist häufig nicht einfach zu entscheiden ob „höhere Gewalt“ oder „normale Alterung“ oder aber „fehlerhafte Ausführung“ die Schadensursache ist. So kann z.B. eine sachverständige Untersuchung ergeben, daß das Abheben eines Flachdaches bei Stürmen nicht auf höhere Gewalt, sondern auf eine nach den bautechnischen Regeln mangelhafte Befestigung, oder daß die Korrosion einer Dachrinne auf falsche Metallkombinationen und nicht auf natürliche Alterung zurückzuführen war.

5.5 Instandsetzungsmaßnahmen

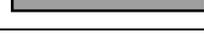
	Maßnahme (Kurzbeschreibung)	%	0	25	50
1. Arbeiten an Betonbaut.	Betoninstandsetzung an Fassaden (Platten, Gewände, Vorbauten...)	49,8			
	Betoninstandsetzung Loggia / Balkon (gesamt) Platte + Brüstung + Seitenwände	42,0			
	Erneuerung Brüstung	16,5			
	Sanierung Kragbalken / Platte	14,1			
	Betoninstandsetzung Dach	9,0			
2. Arbeiten an Fassaden ohne Betoninstands.	Wärmedämmverbundsystem anbringen	36,9			
	Hinterlüftete Bekleidung anbringen	3,9			
	Elementfugen mit Fugenbändern abdichten	42,4			
	Starre Elementfugen sanieren	18,8			
	Fassadenfenster erneuern	45,9			
	Fenster instandsetzen	23,1			
	Hauseingangstüren erneuern	38,4			
	Kelleraußentüren erneuern	19,2			
	Kellerfenster erneuern	27,6			
3. Abdichtung/Feuchtigkeitssch.	Metallabdeckungen Dach / Fassade erneuern	31,4			
	Dachhaut erneuern	32,5			
	Dachhaut nachbessern	32,2			
	Gefälle / Entwässerung bei Balkonen / Loggien einbauen	21,6			
	Keller freilegen, neu abdichten	18,8			
	Risse - Keller verpressen	12,9			
4. Sonstige	Dämmung im 2-schaligen Dach erneuern / ergänzen	22,4			
	Kamine ab oberer Geschossdecke erneuern	29,8			
	Installationsschacht Blockbau erneuern	11,0			
	Treppenstufen (innen) mit neuem Belag versehen	13,3			

Bild 5.7: Häufigkeit bei Instandsetzungsmaßnahmen an Fertigteilbauten in den neuen Bundesländern

		Maßnahme (Kurzbeschreibung)	%	0	33	66
Heizung		Komplette Erneuerung	22,0			
		Ersatz Wärmeerzeuger	12,8			
		Ersatz Kachelöfen	2,8			
		Erneuerung Leitungen	11,2			
		Ersatz Heizkörper	13,6			
		Einbau Thermostat	24,8			
		Einbau HK-Verteiler	25,2			
Sanitär		Ersatz Wärmeerzeuger	16,8			
		Totalersatz Sanitärobjekte	26,4			
		Einzelersatz Küchenobjekte	14,0			
		Einzelersatz Badobjekte	28,8			
		Wasser- / Gas-Strangleitungen	53,6			
		Ab- und Regenwasserstränge	31,6			
		Einbau Wasserzähler	11,6			
Lüftung		Erneuerung Schachtlüftung	1,2			
		Erneuerung Einzelventilatoren	8,0			
		Erneuerung Dachventilatoren	5,6			
		Luffterfassungselemente	30,0			
		Austausch Lüftermotoren	2,8			
		Erneuerung Luftkanäle	6,0			
Elektro		Nachrüstung 1	10,0			
		Nachrüstung 2	8,8			
		Nachrüstung 3	0,4			
		Neuinstallation	10,4			
		FI-Schutz, Potentialausgleich	5,6			
		Gegensprechanlage	18,4			

Bild 5.8: Notwendige Instandsetzungsmaßnahmen an haustechnischen Anlagen des Fertigteilwohnungsbaus nach Art und Häufigkeit.

		Maßnahme (Kurzbeschreibung)	%	0	33	66
Keller		Außenwand freilegen, abdichten	36			
		Querschnittsabdichtung nachträglich einbauen	32			
		Sanierputz innenseitig aufbringen	34			
		Kellerfenster erneuern	63			
		Deckenstahlträger anstreichen / abstützen	30			
Außenwand		Sockelputz / -bekleidung erneuern	46			
		Putz ausbessern, kleine Flächen	29			
		Außenputz großflächig erneuern	37			
		Fachwerk instandsetzen	6			
Fenster Außentüren		Fenster erneuern	60			
		Fenster instandsetzen	37			
		Hauseingangstüren / Nebentüren ersetzen	54			
Dach		Holzschutzmaßnahmen am Dachstuhl	29			
		Holzbauteile austauschen	15			
		Dachdeckung instandsetzen / erneuern	48			
		Holzfußböden im Dach erneuern	17			
		Schornsteinköpfe erneuern	37			
		Regenrinne, Fallrohr, Gesimskästen	61			
Innenbauteile		Holzbauteile in Decken austauschen	13			
		Deckenputz ausbessern	26			
		Holzdielen erneuern	21			
		Holzterasse ausbessern	19			
		Treppenhaus neu streichen	51			
		Innenwandoberflächen neu verputzen	33			
		Wohnungstüren instandsetzen / erneuern	36			
Haustechnik		Sanitärgegenst. in Küche / Bad erneuern	52			
		WC einbauen (Grundrißänderung)	22			
		Elektroinstallation erneuern	58			
		Ofenheizung instandsetzen oder erneuern	44			

Bild 5.9: Notwendige Instandsetzungsmaßnahmen nach Art und Umfang (bezogen auf alle Untersuchten Gebäude).

6 Energetische Sanierung

6.1 Bedeutung der Energieeinsparung

Energieeinsparung verbindet Ökologie und Ökonomie

Energieeinsparung ist ökologisch sinnvoll

Energieeinsparung im Gebäudebereich heißt Minderung des Heizenergieverbrauchs und effizientere Nutzung der eingesetzten Energie. Die Raumheizung ist in Deutschland mit ca. 30 % Anteil am Endenergieverbrauch der größte Energienutzungsbereich. Energieeinsparung dient der Emissionsreduzierung von Kohlendioxid (CO₂). Energieeinsparung ist daher Klimaschutz.

Energieeinsparung trägt zur Reduzierung von Schwefeldioxid (SO₂) und Stickoxiden (NO_x) in der Luft sowie zur Vermeidung von Schäden an Natur und Bauwerken bei. Energieeinsparung ist daher Umweltschutz.

Energieeinsparung ermöglicht die Reduzierung des Einsatzes fossiler Energieträger (Ressourcenschonung). Energieeinsparung trägt zur sicheren Energieversorgung in der Zukunft bei.

Energieeinsparung ist ein Einstieg in das umfassende Konzept einer "ökologisch-nachhaltigen Wirtschaft"

Energieeinsparung ist wirtschaftlich vernünftig

Ein großer Teil der technischen Potentiale für Energieeinsparung ist entgegen der landläufigen Meinung bereits heute wirtschaftlich, wenn energetische Modernisierungsmaßnahmen an ohnehin anstehende Instandsetzungsmaßnahmen und/oder Modernisierungsmaßnahmen gekoppelt werden.

Für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ist die Differenz der Gesamtkosten zu den ohnehin fälligen Kosten entscheidend, also der reine Mehrbedarf für die energetische Modernisierung.

Volkswirtschaftlich wirken sich energetische Modernisierungen in einer Erhöhung des Bruttoinlandsproduktes aus.

Ebenso nimmt die Beschäftigung zu, weil die notwendige Arbeitsleistung zur Herstellung von energiesparenden Dienstleistungen meistens größer ist als diejenige zur Herstellung und Verteilung von Energie.

Außerdem werden Energieimporte durch Güter und Dienstleistungen zur Effizienzverbesserung abgelöst, die fast ausschließlich im Inland entstehen.

Fiskalisch wirken sich die Mehrinvestitionen für energetische Modernisierung durch erhöhte Steuereinnahmen aus.

Energieeinsparung ist politisch geboten

Die Schonung der Reserven fossiler Energieträger durch die Industrienationen ist eine zentrale Forderung der Klimakonferenzen in Rio de Janeiro, Berlin und Den Haag sowie erklärtes Ziel von Parlament und Bundesregierung.

Die Einsparung kann den Entwicklungsländern jedenfalls zum Teil zugute kommen, um dringend notwendige Industrialisierungsdefizite aufzuholen.

Energieeinsparung im Gebäudebereich ist technisch machbar.

Altbau

Die wirklich großen Energieeinsparpotentiale liegen im Altbau, also im Gebäudebestand. Für jeden Gebäudetyp lassen sich unter Berücksichtigung der jeweiligen baukonstruktiven, bauphysikalischen, heizungstechnischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen die

Einsparmöglichkeiten ermitteln, die durch marktgängige technische Maßnahmen erreichbar sind.

Neubau

Auch im Neubau müssen weitere, bereits vorhandene Potentiale erschlossen werden.

Die von Bundesrat und Bundesregierung beschlossene weitere Fortentwicklung der Wärmeschutzverordnung und der Heizungsanlagenverordnung zu einer Energiesparverordnung ist ein wesentliches Instrument zur Energieeinsparung und zur Weiterentwicklung der Niedrigenergiebauweise.

Als Grundsätze für die Niedrigenergiebauweise lassen sich festhalten:

1. Sehr guter Wärmeschutz der Außenbauteile
2. Luftdichtheit der Gebäudehülle und Reduzierung der Wärmebrücken
3. Kompakte Bauweise
4. Verringerung der Lüftungswärmeverluste durch Anlagentechnik
5. Moderne Anlagen für Heizen, Trinkwassererwärmung und Lüftung mit hoher Energieausnutzung
6. Passive Nutzung von Sonnenenergie

Das Ziel der Energieeinsparverordnung ist die Verschärfung des Anforderungsniveaus um 25 bis 35 % gegenüber der Wärmeschutzverordnung – dieses Ziel wurde schon bei der Novellierung der Wärmeschutzverordnung 1995 formuliert – unter Einbeziehung der Anlagentechnik, um auch hier verstärkt Anreize zur Rationalisierung einer energiesparenden Haustechnik zu geben.

Energieeinsparung muss ein gesamtgesellschaftliches Anliegen sein

Klimaschutz, Umweltschutz, Energiesicherung sind durch Energieeinsparung im Gebäudebereich durch die Realisierung des großen Einsparpotentials bei der Heizwärmebereitstellung erreichbar. Energieeinsparung soll nicht durch Verzicht auf Komfort, sondern durch Steigerung der Energieeffizienz, d. h. durch optimale Ausnutzung der aufgewendeten Energie, erreicht werden.

Das ehrgeizige Ziel der Bundesregierung, die CO₂-Reduzierung um 25 bis 30 % bis 2005, ist zu schaffen, wenn 2 % des Altbaubestandes (ca. 500.000 Wohnungen) jährlich energetisch modernisiert, d. h. durch Wärmeschutz und Heizungsanlagenerneuerung energetisch verbessert werden. Dafür ist staatliche Politik, aber vor allem die Aktivierung der Privatinitiative erforderlich.

Die Privatinitiative für Energieeinsparung ist vor allem abhängig von der Information, Aufklärung und Transparenz hinsichtlich der bau- und heizungstechnischen Möglichkeiten und der Wirtschaftlichkeit, z.B. in Form einer Energieberatung (Energiepass).

Ergänzend zur Aufklärung und Beratung sind staatliche finanzielle Anreize notwendig. Diese sind als Förderprogramme oder steuerliche Erleichterungen denkbar.

Um das Ziel der Energieeinsparung zu verwirklichen, wird das gemeinsame Vorgehen aller am Bau Beteiligten notwendig sein, da bau- und heizungstechnisch hohe Anforderungen bei Herstellung und Ausführung erfüllt werden müssen. Dies gelingt nur, wenn die Industrie auf der einen Seite die entsprechend hochwertigen Produkte bereitstellt und die Anwender dieser Produkte auf der anderen Seite, also Planer und Verarbeiter, Kreativität sowie handwerkliches Können aufbringen und das Produktangebot der Industrie nutzen.

Die Bauproduktindustrie einschließlich der Heizungsindustrie, Planer und Verarbeiter müssen an einen Tisch, um die Umsetzung dieses hochgesteckten Zieles gemeinsam zu beraten, damit auf den verschiedenen Ebenen der Herstellung, der Planung, der Verarbeitung und der Ausbildung ein grundlegender Konsens, aber auch ein gegenseitiger

Erfahrungsaustausch vollzogen werden kann. Durch gezielte Information ist auch der Nutzer des Gebäudes miteinzubeziehen.

6.2 Energieverbrauch für die Beheizung von Wohngebäuden

Der Energieverbrauch für die Beheizung der Gebäude ist nach wie vor von größter Bedeutung, da er fast ausschließlich über fossile Energieträger gedeckt wird. Wie Bild 6.1 ausweist, stellen Heizöl, Erdgas und Kohle die "Energiesäulen" dar.

Die Vorräte an Heizöl, Erdgas und Kohle sind jedoch begrenzt, und die Verbrennungsprozesse bei der Heizwärme- und Stromerzeugung führen zu erheblichen Umweltbelastungen.

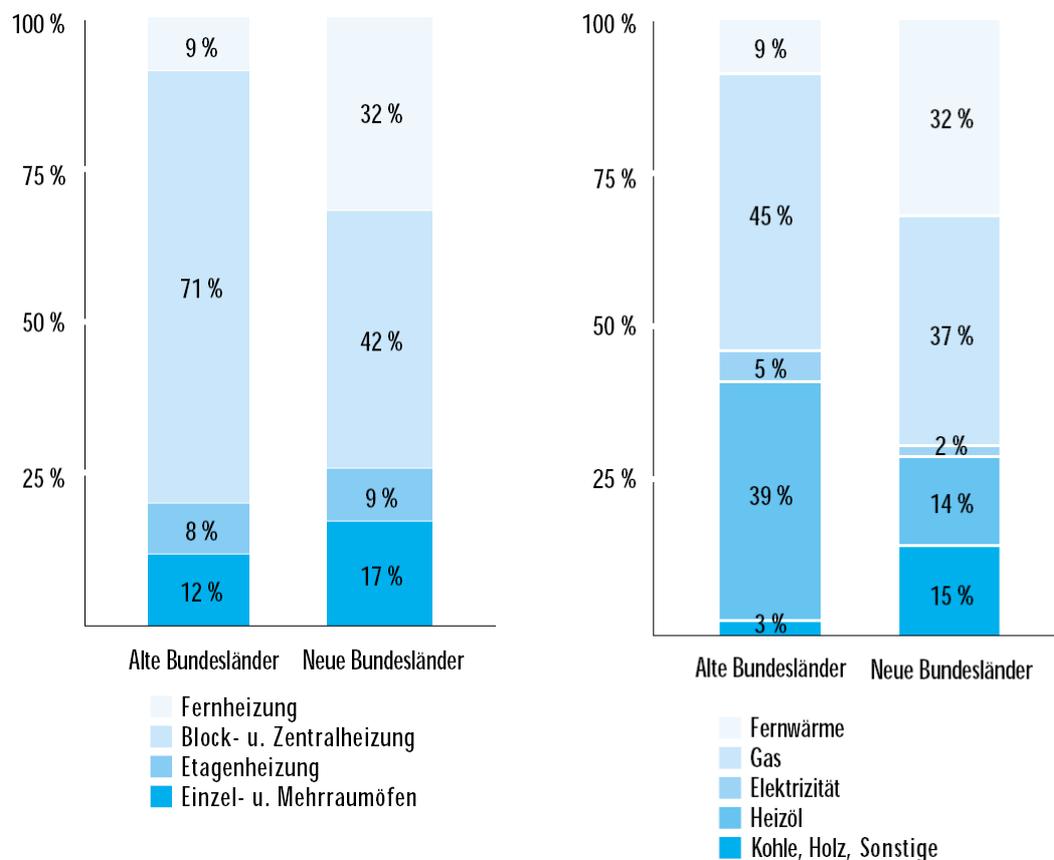


Bild 6.1: Heizungsart und Heizenergieträger bewohnter Wohnungen in Deutschland 1998 [4].

6.2.1 Energieverbrauch und Umwelt

Infolge der Verbrennung von Öl, Gas, Kohle oder Holz werden Emissionen von Schadstoffen und Spurengasen verursacht. Schlagworte wie Treibhauseffekt, Klimakatastrophe, Waldsterben und saurer Regen benennen die wichtigsten Problemfelder [5].

In der öffentlichen Diskussion spielen heute die CO₂-Emissionen die größte Rolle. An diese Emissionen werden auch von der Bundesregierung politische Vorgaben geknüpft. Gegenüber den im Bezugsjahr 1990 verursachten energiebedingten CO₂-Emissionen von 1016 Mio. t soll bis zum Jahre 2005 eine 25%ige Absenkung, d.h. ein Wert von 762 Mio. t erreicht werden.

Je nach Energieträger und Anlagentechnik werden durch Verbrennung unterschiedliche Mengen verschiedener Schadstoffe emittiert. Minderungen dieser spezifischen Schadstoffemissionen sind durch folgende Maßnahmen möglich [6]:

- a) Verwendung schadstoffarmer Brennstoffe und additiver Energien
- b) brennstoffseitig, z.B. durch Brennstoffentschwefelung
- c) feuerungsseitig, z.B. NO_x-Reduzierung durch Flammenkühlung
- d) abgasseitig, Kraftwerke mit Rauchgasfilter

Hieraus ergibt sich die Konsequenz, schadstoffreiche Energieträger durch schadstoffarme zu substituieren.

Neben diesen Schadstoffen wird auch das ungiftige Gas Kohlendioxid CO₂ freigesetzt. Weil es in winzigen Mengen in der Luft auftritt, wird es auch als Spurengas bezeichnet. Hierfür ergeben sich für die einzelnen Energieträger unter Berücksichtigung aller Prozesse, wie z.B. der Gewinnung und Verarbeitung, unterschiedliche spezifische Emissionen [7].

Bezogen auf die Gesamtbilanz der Erde macht der vom Menschen durch die Verbrennung fossiler Energieträger hervorgerufene CO₂-Ausstoß lediglich einen geringeren Anteil aus, vergleiche **Tab. 6.-1**. Insgesamt ergibt sich allerdings ein Jahresüberschuss von etwa 3·10⁹ t/a was zu einem allmählichen Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre führt. Die vom Menschen hervorgerufenen Emissionen rufen, quasi als "Zünglein an der Waage", das Ungleichgewicht der CO₂-Bilanz hervor.

Tabelle 6.1: Spezifische CO₂-Emissionen verschiedener Energieträger [7].

Energieträger	spezif. CO ₂ -Emissionen
Steinkohle	0,410 kg/kWh
Braunkohle	0,455 kg/kWh
Erdgas	0,232 kg/kWh
Heizöl	0,297 kg/kWh
Holz (als nachwachsender Rohstoff)	0,055 kg/kWh
Strom (Mix)	0,689 kg/kWh
Fernwärme	0,214 kg/kWh

Über die in Bild 6.3 wiedergegebene Struktur des Energieverbrauchs und die in Tabelle 6.3 vorgenommene Aufteilung nach Energieträgern ergeben sich die in Bild 6.5 dargestellten CO₂- und Schadstoffemissionen. Es wird deutlich, dass der Sektor Haushalte insbesondere für die CO₂-Emissionen eine nicht unerhebliche Rolle spielt. Hier liegen die wesentlichen Verbräuche im Bereich der Raumwärme, d.h. dem Heizenergieverbrauch, wie in Bild 6.4 zu erkennen ist.

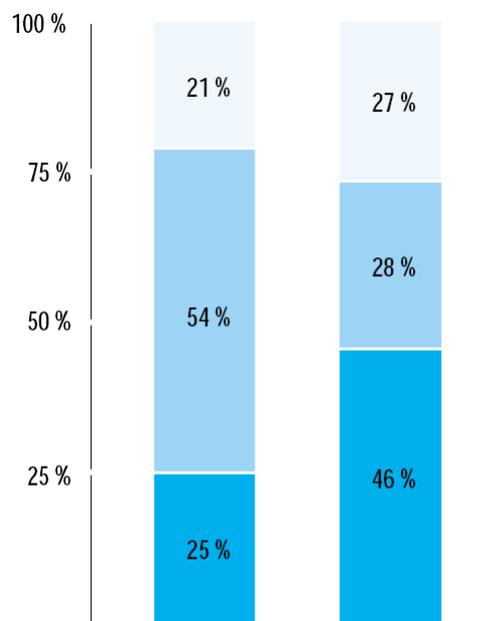
Darüber hinaus ist zu beachten, dass der Sektor Kleinverbraucher zusätzlich zu ca. 50 % aus „Raumwärme“ besteht. Heizenergieeinsparmaßnahmen sind deshalb wichtige Umweltschutzmaßnahmen!

Tabelle 6.2: CO₂-Bilanz der Erde.

Tabelle 6.3: Endenergieverbrauch nach Energieträgern in Deutschland 1999 [8]
(1 PJ = 277.777.778 kWh).

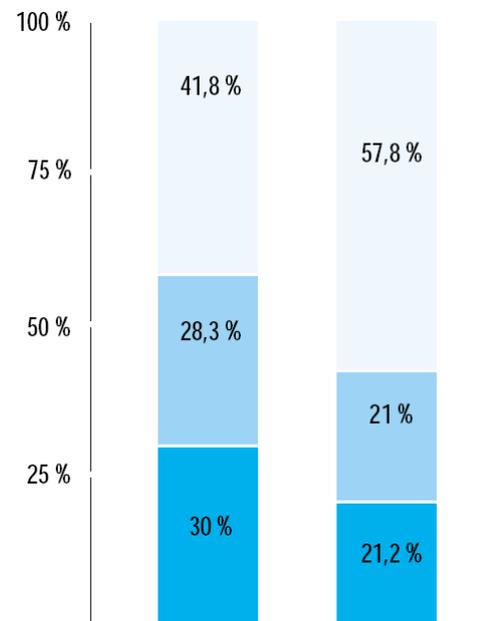
CO ₂ -Bilanz der Erde		
	Abgabe	Aufnahme
Verbrennung fossiler Energieträger	5	-
Pflanzen	50	100
Bakterielle Zersetzung	50	-
Waldbrände	2	-
Ozeane	100	104
Überschuß	3·10⁹ t/a	

Energieträger	Verbrauch	
	PJ	%
Steinkohle	378	4,1
Braunkohle	88	0,9
Kraftstoffe	2860	30,8
Heizöl schwer	117	1,3
Heizöl leicht	1222	13,2
Gase	2403	25,9
Strom	1700	18,3
Fernwärme	343	3,7
Sonstige	176	1,9
Insgesamt	9287	100,0



Alte Bundesländer Neue Bundesländer

- errichtet seit 1978
- errichtet 1948 - 1978
- errichtet bis 1948



Endenergieverbrauch CO₂-Emissionen

- Industrie²
- Verkehr
- Haushalte¹

Bild 6.2: Baujahre bewohnter Wohnungen in Deutschland 1998 [4].

Bild 6.3: Energieverbrauch und CO₂-Emissionen in Deutschland 1998 [8].

¹ inkl. Kleinverbraucher, militärische Dienststellen

² inkl. übriger Bergbau und verarbeitendes Gewerbe, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD), Kraft- und Fernheizwerke

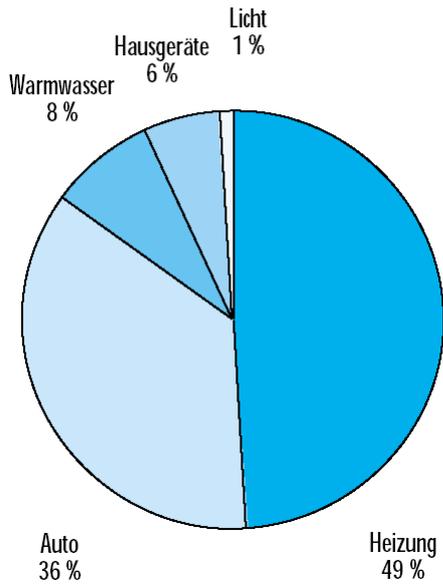


Bild 6.4: Energieverbrauch in deutschen Haushalten [9].

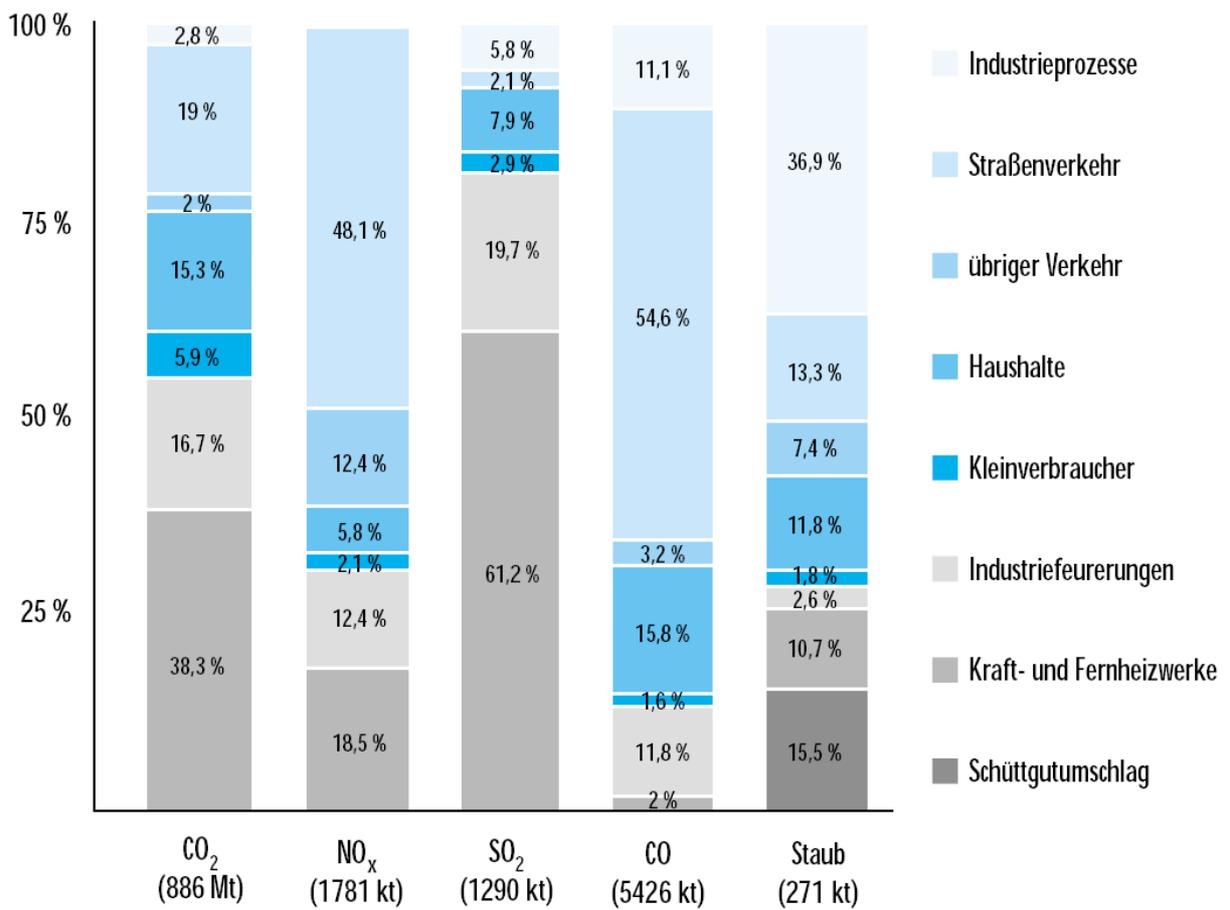


Bild 6.5: Emission in Deutschland 1998 [8].

6.2.2 Daseinsvorsorge

Die Energiereserven in Form von Erdöl-, Erdgas- und Kohle-Vorräten sind nicht unbegrenzt. Die Reichdauer bei gegenwärtiger Förderung der jeweiligen Vorräte hängt von der Fördermenge und der Fördertechnik ab.

Große Vorräte sind bei den heutigen Energiepreisen nicht wirtschaftlich erschließbar. Die sicher gewinnbaren Vorräte betragen nach heutiger Schätzung [10] bei den

- Erdöl-Vorräten ca. 45 Jahre
- Erdgas-Vorräten ca. 67 Jahre
- Kohle-Vorräten ca. 190 Jahre

Angesichts des Wachstums der Erdbevölkerung und der daran gekoppelten Entwicklung des Energieverbrauchs muss jedoch mit einem vorzeitigen Erschöpfen der sicher gewinnbaren Vorräte gerechnet werden, und es müssen künftig auch schwer erschließbare Vorräte mit hohem Aufwand abgebaut werden (Bild 6.6).

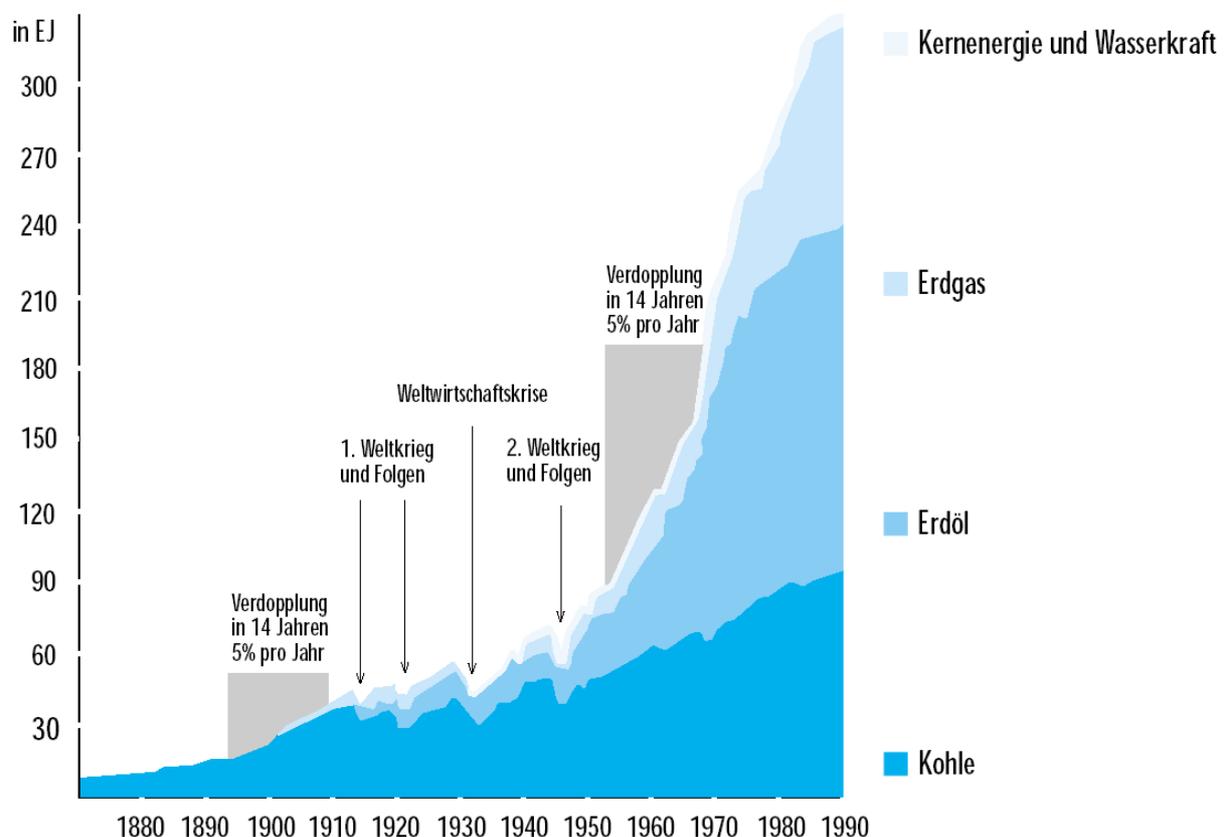


Bild 6.6: Entwicklung des Weltenergieverbrauchs (1EJ = 1.000PJ = 1018J).

6.2.3 Zusätzliche Effekte bei baulichen Heizenergieeinsparmaßnahmen

Im Gegensatz zu anderen Energieverbrauchssektoren wird durch bauliche Heizenergieeinsparmaßnahmen

- die thermische Behaglichkeit in Gebäuden im Winter aber auch im Sommer erhöht
- in zahlreichen Fällen die Voraussetzung für eine Bausubstanzerhaltung geschaffen.

Durch Wärmedämm-Maßnahmen steigt im Winter und fällt im Sommer die raumseitige Oberflächentemperatur im Tagesmittel und im Maximum, wie aus Bild 6.7 hervorgeht. Auch

unter zeitlich veränderlichen Außen- und Raumlufthtemperaturen ändert sich an dieser Aussage nichts; Bild 6.8 dient der Veranschaulichung.

Der Einfluss der Erhöhung der Dicke der Wärmedämmung im Dach eines Einfamilienhauses von 80 mm auf 150 mm auf die Lufttemperatur im Dachgeschoss geht aus Bild 6.9 hervor und verdeutlicht ebenfalls diesen Zusammenhang. Durch Verwendung eines Dämmstoffs mit erhöhter Wärmespeicherefähigkeit kann die maximale Raumtemperatur um 0,5 K abgestuft werden [11].

Die beschriebenen Temperaturerhöhungen auf der Bauteilinnenseite während der Heizperiode vermindern die Gefahr der Schimmelpilzbildung und der Durchfeuchtung des Außenbauteils. Wärmeschutzmaßnahmen reduzieren nicht nur den Energieverbrauch, sondern dienen auch der Bauwerkserhaltung. Bauschäden können somit vermieden werden [12].

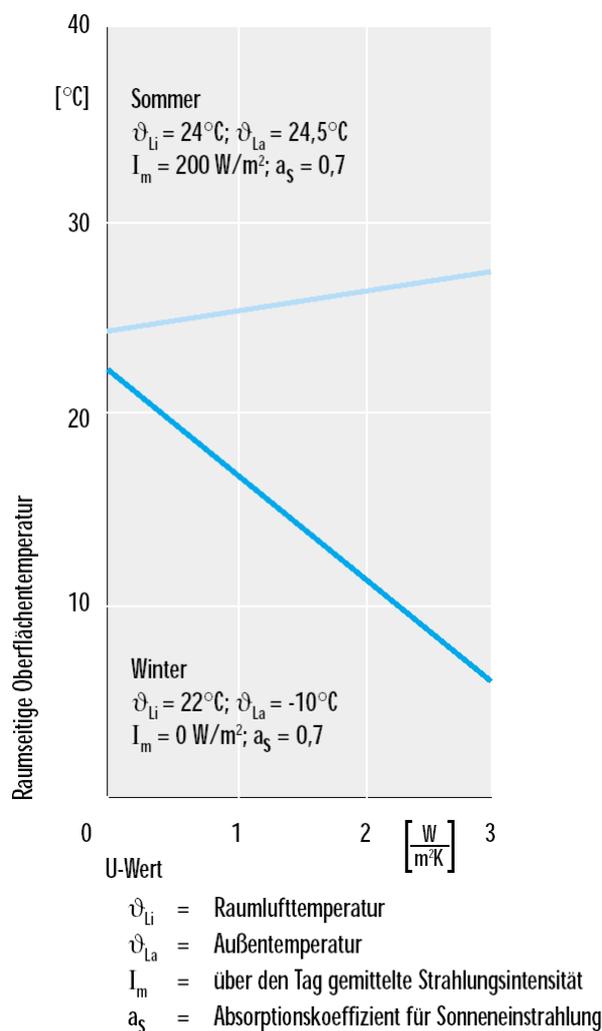


Bild 6.7: Abhängigkeit der raumseitigen Oberflächentemperatur eines Außenbauteils von dessen Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) für die genannten Randbedingungen bei einem raumseitigen Wärmeübergangskoeffizienten von 6 und einem außenseitigen von 25 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$.

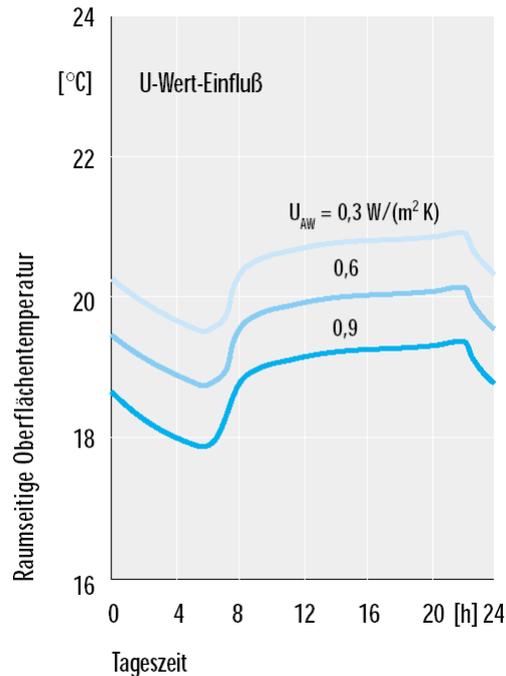


Bild 6.8: Abhängigkeit der raumseitigen Oberflächentemperatur einer Außenwand unter winterlichen Randbedingungen vom Wärmedurchgangskoeffizienten des Bauteils bei instationärem Heizbetrieb [12].

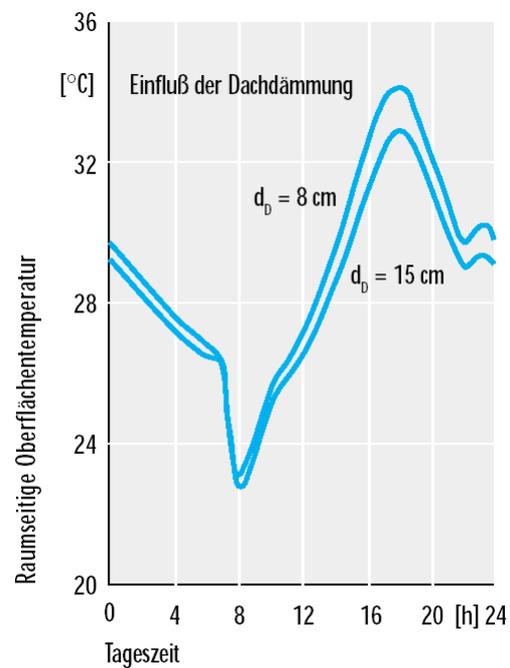


Bild 6.9: Einfluss der Dicke der Dämmung der Dachfläche d_D eines Einfamilienhauses auf die Lufttemperatur im Dachgeschoss unter hochsommerlichen Randbedingungen.

6.2.4 Zusätzliche Effekte bei anlagentechnischen Heizenergieeinsparmaßnahmen

Bei Heizenergieeinsparmaßnahmen durch effizientere Heizungstechnik werden die Schadstoffemissionen abgesenkt. Dies gilt insbesondere bei einem Energieträgerwechsel von einem Energieträger mit hohen zu einem Energieträger mit geringen spezifischen Emissionswerten.

Bei Einsatz von Lüftungstechnischen Anlagen können ggf. vorhandene Feuchte- und Schimmelpilzprobleme beseitigt werden und schallschutztechnische Verbesserungen erzielt werden.

6.2.5 Fazit

Der Ergreifung von Maßnahmen zur Heizenergieeinsparung kommt größte Bedeutung zu. Dabei darf nicht nur der Neubaubereich betrachtet werden, da sich Maßnahmen in diesem Bereich nur langfristig auswirken. Kurz- und mittelfristige Erfolge lassen sich nur im Gebäudebestand erzielen.

Auch wenn hier bautechnische Maßnahmen oft schwierig zu realisieren sind, muss der Gebäudebestand stärker in den Vordergrund rücken. Die weiteren Ausführungen konzentrieren sich deshalb auf Maßnahmen zur Heizenergieeinsparung im Gebäudebestand.

7 Energetische Struktur des Gebäudebestands in Deutschland

Tabelle 7.1: Heizwärmebedarf und Wohnflächen im Gebäudebestand 1990 nach Gebäudetypen - Alte Bundesländer [13]

Freistehende Ein- und Zweifamilienhäuser			
Fachwerk bis 1918	Massivbau bis 1918	1919 - 1948	1949 - 1957
			
238 kWh/(m²a) Wohnfläche: 70 Mio. m ²	185 kWh/(m²a) 131 Mio. m ²	204 kWh/(m²a) 116 Mio. m ²	253 kWh/(m²a) 114 Mio. m ²
1958-1968	1969 - 1978	1979 - 1983	1984 - 1990
			
146 kWh/(m²a) Wohnfläche: 205 Mio. m ²	141 kWh/(m²a) 184 Mio. m ²	119 kWh/(m²a) 94 Mio. m ²	120 kWh/(m²a) 85 Mio. m ²
Reihenhäuser			
Massivbau bis 1918	1919 - 1948	1949 - 1957	1958 - 1968
			
203 kWh/(m²a) Wohnfläche: 33 Mio. m ²	166 kWh/(m²a) 50 Mio. m ²	163 kWh/(m²a) 38 Mio. m ²	171 kWh/(m²a) 68 Mio. m ²

Tabelle 7.1: Fortsetzung

(Reihenhäuser Fortsetzung)

<p>1969 - 1978</p>  <p>162 kWh/(m²a) Wohnfläche: 90 Mio. m²</p>	<p>1979 - 1983</p>  <p>121 kWh/(m²a) 35 Mio. m²</p>	<p>1984 - 1990</p>  <p>94 kWh/(m²a) 21 Mio. m²</p>
---	---	---

Kleine Mehrfamilienhäuser

<p>Fachwerk bis 1918</p>  <p>190 kWh/(m²a) Wohnfläche: 33 Mio. m²</p>	<p>Massivbau bis 1918</p>  <p>163 kWh/(m²a) 118 Mio. m²</p>	<p>1919 - 1948</p>  <p>179 kWh/(m²a) 82 Mio. m²</p>	<p>1949 - 1957</p>  <p>184 kWh/(m²a) 119 Mio. m²</p>
<p>1958-1968</p>  <p>173 kWh/(m²a) Wohnfläche: 170 Mio. m²</p>	<p>1969 - 1978</p>  <p>127 kWh/(m²a) 127 Mio. m²</p>	<p>1979 - 1983</p>  <p>98 kWh/(m²a) 54 Mio. m²</p>	<p>1984 - 1990</p>  <p>76 kWh/(m²a) 49 Mio. m²</p>

Tabelle 7.1: Fortsetzung

Große Mehrfamilienhäuser			
<p>Massivbau bis 1918</p>  <p>161 kWh/(m²a) Wohnfläche: 14 Mio. m²</p>	<p>1919 - 1948</p>  <p>164 kWh/(m²a) 12 Mio. m²</p>	<p>1949 - 1957</p>  <p>151 kWh/(m²a) 16 Mio. m²</p>	<p>1958-1968</p>  <p>153 kWh/(m²a) 43 Mio.m²</p>
<p>1969 -1978</p>  <p>123 kWh/(m²a) 55 Mio.m²</p>			
Hochhäuser			
<p>1958 - 1968</p>  <p>105 kWh/(m²a) 14 Mio. m²</p>	<p>1969 -1978</p>  <p>120 kWh/(m²a) 16 Mio.m²</p>		

Tabelle 7.2: Heizwärmebedarf und Wohnflächen im Gebäudebestand 1990 nach Gebäudetypen - Neue Bundesländer -

Freistehende Ein- und Zweifamilienhäuser			
<p>bis 1918</p>  <p>312 kWh/(m²a) Wohnfläche: 73 Mio. m²</p>	<p>1919 - 1945</p>  <p>283 kWh/(m²a) 42 Mio. m²</p>	<p>1946 - 1970</p>  <p>335 kWh/(m²a) 20 Mio. m²</p>	<p>1971 - 1985</p>  <p>181 kWh/(m²a) 18 Mio. m²</p>
<p>1986 - 1990</p>  <p>152 kWh/(m²a) Wohnfläche: 7 Mio. m²</p>			
Kleine Mehrfamilienhäuser			
<p>Fachwerk bis 1918</p>  <p>227 kWh/(m²a) Wohnfläche: 7 Mio. m²</p>	<p>Massivbau bis 1918</p>  <p>189 kWh/(m²a) 36 Mio. m²</p>	<p>1919 - 1945</p>  <p>161 kWh/(m²a) 41 Mio. m²</p>	<p>1946 - 1965</p>  <p>175 kWh/(m²a) 15 Mio. m²</p>

Tabelle 7.2: Fortsetzung

(Kleine Mehrfamilienhäuser Fortsetzung)

1961 - 1985

174 kWh/(m²a)
Wohnfläche: 40 Mio. m ²

Große Mehrfamilienhäuser

bis 1918	1965 - 1980	1981 - 1985	1986 - 1990
			
195 kWh/(m²a)	109 kWh/(m²a)	106 kWh/(m²a)	87 kWh/(m²a)
Wohnfläche: 30 Mio. m ²	32 Mio. m ²	21 Mio. m ²	19 Mio. m ²

Hochhäuser

1965 - 1980	1981 - 1985
	
111 kWh/(m²a)	159 kWh/(m²a)
18 Mio. m ²	4 Mio. m ²

8 Verfahren für die Beurteilung des Zustandes von Hochbauten

Für eine technische angemessene und wirtschaftlich vertretbare Instandsetzung muß die Zielrichtung der Bauwerksprüfung sein [14]:

- Ermittlung des Zustandes der Bausubstanz durch Feststellen von Bauschäden und Mängeln, Ermittlung der verschiedenen Konstruktionen, Prüfung der Festigkeit der vorhandenen Baustoffe, Prüfung der Belastbarkeit der tragenden Bauteile, Abschätzung der voraussichtlichen Lebensdauer
- Auswahl von Baustoffen und Baumethoden für die Instandsetzung und Erneuerung unter den Gesichtspunkten wie Verarbeitbarkeit, Verträglichkeit alter und neuer Baustoffe, Feuerwiderstandsfähigkeit Beständigkeit gegenüber aggressiven Medien wie Wasser oder Schwefeldioxyd u.a.
- Überprüfung der Wirksamkeit durchgeführter bautechnischer Maßnahmen wie Entfeuchtung, Feuchtigkeitserhöhung und dergleichen.

Es gibt in der Materialprüfung eine Vielzahl technisch ausgereifter Prüfverfahren, wobei zwischen zerstörungsfreien und zerstörenden zu unterscheiden ist.

8.1 Zerstörungsfreie Prüfverfahren

Unterteilt nach den physikalischen Grunddisziplinen sind folgende Verfahren bekannt:

- a) Mechanische Prüfverfahren
wie z.B. Schlagprüfung mit Rückprallhammer oder Kugelschlaghammer, dynamische Biegeschwingprüfung, Belastungsprüfung
- b) Akustische Prüfungen
wie z.B. Ultraschallprüfung, Geräuschanalyse, Schallemissionsanalyse. Ultraschall ist der Schall mit einer Frequenz oberhalb von 20.000 Hz. Ab 10^9 Hz wird vom Hyperschall gesprochen. Ultraschall hat den Vorteil, dass sehr große Schallstärken, nämlich bis zu 40 W/cm^2 erzeugt werden können. Im Gegensatz dazu hat ein auf Zimmerlautstärke eingestellter Lautsprecher eine Schallstärke von etwa 10^{-9} W/cm^2 . Darüber hinaus lassen sich Ultraschallwellen leicht in eine bestimmte Richtung schicken, da Beugungserscheinungen wegen der geringen Wellenlänge kaum auftreten. Infolge der großen Schallstärke des Ultraschalls treten hohe Wechseldrücke auf, durch welche Hohlraumbildungen im beschallten Gewebe (Kavitation) entstehen können. Ultraschallenergie kann mit Hilfe eines Leuchtschirmes sichtbar gemacht werden. Bei Bestrahlung mit Ultraschall werden dabei die vom Ultraschall getroffenen Stellen des Schirmes zu stärkerem Nachleuchten angelegt.
- c) optische Prüfverfahren
wie z.B. visuelle Prüfung mit Lupe, Fernglas und Fotografie, Endoskopie, geodätische Verfahren (Vermessungskunde), holographische Interferometrie (räumliches Abbildungsverfahren unter Verwendung der Interferenzerscheinungen kohärenten Lichtes bei dem geringste Längenunterschiede gemessen werden können.).
- d) Thermische Prüfverfahren
wie z.B. Wärmeflussverfahren (Infrarot-Thermographie), elektrothermische Verfahren.
- e) Elektrische und elektromagnetische Prüfverfahren
wie z.B. Messung elektrischer Potentiale, Widerstands- oder Leitfähigkeitsmessungen.
- f) Verfahren mit Röntgen- oder Gammastrahlen
wie z.B. durch Strahlung mit Röntgengerät, Ir 192, Co 60 oder Linearbeschleuniger.

8.2 Zerstörende Prüfverfahren

Mit Hilfe zerstörender Prüfverfahren kann der Aufbau von Konstruktionsteilen detailliert untersucht werden, wobei dann alle Analyseverfahren Anwendung finden. In Bezug auf Bauschäden haben besonders gravimetrische Prüfverfahren Bedeutung, mit deren Hilfe man am exaktesten den Feuchtegehalt von Baustoffen ermitteln kann. Dazu werden mit Hilfe von Bohrkronen dem Baukörper Bohrkerne entnommen, gewogen und nach Austrocknung in einem Trocknungsöfen erneut gewogen. Über die Massendifferenzen erhält man den Feuchtegehalt des Baustoffes bei Probenentnahmen.

8.3 Im Hochbau bewährte Prüfmöglichkeiten

Für die hauptsächlichen Bauweisen des Hochbaus, wie Mauerwerksbau, Stahlbetonbau, Stahlbau und Holzbau werden im folgenden bekannte und bewährte Prüfmöglichkeiten dargestellt.

8.3.1 Mauerwerksbauteile

Der Mauerwerksbau nimmt im Hochbau eine dominierende Stellung ein. Etwa 85 % aller Hochbauten und 90 % der Wohnbauten sind derzeit (Stand 1983) in dieser Bauweise erstellt. Als wesentliche Prüfziele sind die Tragfähigkeit der Bauteile und damit die Standsicherheit der Gebäude sowie die Standsicherheit des Gebäudes anzusehen.

a) Tragfähigkeit der Bauteile

Die Tragfähigkeit der Bauteile hängt ab von:

- Steinart (z.B. Naturstein, Mauerziegel, Kalksandstein u.a.)
- Steinformat
- Steinfestigkeit
- Mörtelart
- Mörtelfestigkeit
- Mörtel
- Fugendicke
- Mauerwerksverband
- Mauerwerksdicke
- Mauerwerksfeuchte
- Handwerkliche Ausführungsqualität

Bei Kenntnis aller dieser Einflüsse wäre ein rechnerischer Nachweis der Standsicherheit des Gebäudes möglich.

Die Parameter Steinart, Steinformat, Fugendicke, Mauerwerksdicke und Mauerwerksfeuchte lassen sich im allgemeinen mit geringem Aufwand durch einfache Sondierung und Probenentnahme an Hand von Bohrkernen oder Einzelsteinen bestimmen, Die Steinfestigkeit und die Feuchtigkeit können bei Natursteinmauerwerk ebenfalls durch Bohrkernentnahme und entsprechende anschließende Prüfung an einer repräsentativen Stichprobe im Labor erfolgen. Bei Mauerziegeln von Altbauten ist aber erfahrungsgemäß die Steuerung der Festigkeit sehr groß, so dass nur mit Hilfe einer größeren Anzahl entnommener Steine eine zuverlässige Aussage getroffen werden kann. Die mit der Probenentnahme verbundenen Zerstörungen an der Bausubstanz sind daher unter Umständen nicht unerheblich. Besondere Probleme treten aber bei der Bestimmung von Mörtelart und Mörtelfestigkeit auf, da es fast aussichtslos ist, die Mörtelfestigkeit an Hand der entnommener Proben feststellen zu wollen. Deshalb kann eine Abschätzung der Mörtelfestigkeit nur in Einzelfällen über die Bindemittelart und das Mischungsverhältnis vorgenommen werden.

Eine Berechnung der Tragfähigkeit von Mauerwerksbauteilen an Hand derartiger Laborergebnisse ist mit sehr viel Unsicherheit behaftet. Besonders bei der Rechnerischen

Überprüfung von alten Mauerwerksdecken, wie Stahlsteindecken, Gitterträgerdecken und anderen zeigte sich, dass diese Systeme nach den heute gültigen technischen Regeln rein rechnerisch gerade ihr Eigengewicht tragen würden, obgleich sie tatsächlich seit Jahrzehnten nicht unerheblichen Verkehrslasten widerstanden haben.

Das sicherste Verfahren zur Ermittlung der Tragfähigkeiten von Bauteilen aus Mauerwerk sind deshalb Bauwerksprüfungen. Zu diesem Zwecke können bei Wandbauteilen an repräsentativen Querschnitten Pfeiler herausgetrennt werden, an denen dann mit Hilfe hydraulischer Pressen und Verformungsmesseinrichtungen Kraft-Verformungsbeziehungen des Mauerwerks bis zum Bruch aufgenommen werden können.

Eine interessante Variante dieser Bauwerksprüfung haben italienische Fachleute an dem aus dem 13. Jahrhundert stammenden „Palazzo della Ragione“ in Mailand eingesetzt. Zur Bestimmung des bestehenden inneren Spannungszustandes werden bei dieser Prüfmethode zunächst über eine Lagerfuge hinweg Verformungsmessgeräte installiert und anschließend wird in diese Lagerfuge ein Schlitz geschnitten. Aufgrund der dabei auftretenden Spannungsentlastung im Mauerwerk wird die Fugendicke verringert und diese messbare Verformung registriert. In den Fugenschlitz wird danach ein hydraulisches Kissen von weniger als 10 mm Dicke eingeführt und anschließend stufenweise so belastet, dass die bei der Herstellung des Fugenschlitzes entstandenen Verformungen aufgehoben werden. Die dafür erforderliche Spannung ist ein Maß für den inneren Spannungszustand des Mauerwerks. Zur Ermittlung des Spannungs-Verformungsverhaltens des Mauerwerks wird anschließend in einem zweiten, gegenüberliegenden parallelen Fugenschlitz ebenfalls ein hydraulisches Kissen eingeführt und das Mauerwerk wie dargestellt belastet.

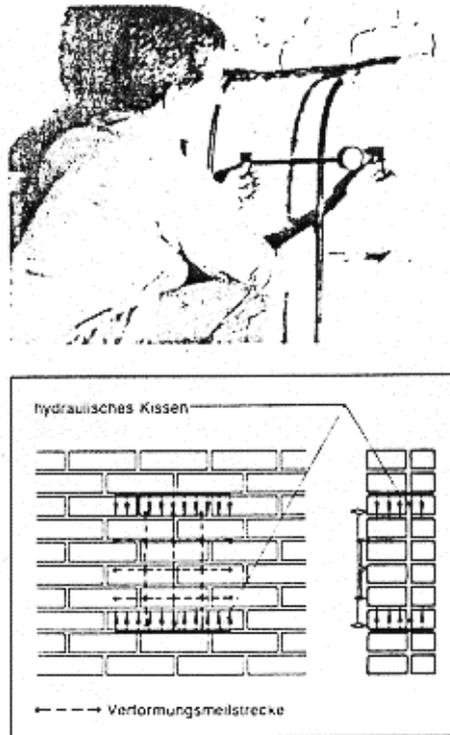


Bild 8.1: „Spannungsverformungsmessung mit Hilfe hydraulischer Kissen“

Deckenbelastungen können ebenfalls mit hydraulischen Belastungseinrichtungen durchgeführt werden.

Dazu wird ein Deckenstreifen aus einem größeren Feld unter Berücksichtigung der statischen Tragwirkung des Systems herausgetrennt und möglichst bis zum Bruch belastet. Hilfsweise erfolgt die Belastung nur bis zu einem Vielfachen der Verkehrslast. Aus Sicherheitsgründen ist letzteres Verfahren aber unbefriedigend, da derartige Deckensysteme relativ steif sind und aus der Lastverformungslinie bis zur n -fachen Verkehrslast nicht auf die Widerstandsreserven bis zum Bruch geschlossen werden kann.

b) Feuchtigkeit von Mauerwerk

Bei den meisten Bauten sind die bauseits eingebrachten Feuchtigkeitssperren im Laufe der Zeit unwirksam geworden oder fehlen ganz. Die dadurch verursachte Feuchtigkeit des Mauerwerks im Keller und Erdgeschoss mindert die Gebrauchstauglichkeit derartiger Gebäude. Häufig ist auch eine mangelhafte Wärmedämmung oder eine nicht ausreichende Schlagregensicherheit die Ursache für feuchtes Mauerwerk. Für eine gezielte Sanierung ist die Kenntnis des Feuchtigkeitsgehalts und der Feuchtigkeitsverteilung im Mauerwerk erforderlich. Zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes werden zum Teil handelsübliche, elektrische Messgeräte eingesetzt, mit denen z.B. die Änderung der elektrischen Leitfähigkeit in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt bestimmt wird. Der Nachteil dieser Meßmethode besteht darin, dass die Leitfähigkeit des Wassers sehr stark von den darin enthaltenen Salzionen beeinflusst wird und die Messung nur oberflächennah erfolgen kann. Einen ausreichend sicheren Aufschluss geben häufig nur Bohrkern- oder Bohrmehlproben, die aus entsprechenden Schichten entnommen und im Labor getrocknet und gewogen werden können (vergleiche oben).

Eine qualitative Beurteilung der Feuchtigkeit von Mauerwerksoberflächen kann auch zerstörungsfrei mit Hilfe der Infrarot-Thermographie erfolgen. (Das Prinzip dieses Verfahrens wird später erläutert). Feuchte Oberflächen heben sich aufgrund der Verdunstungskälte von den trockenen Stellen im Thermogramm ab. Die Aussagekraft derartiger Wärmebilder ist aber für die Beurteilung der Überprüfung der Wirksamkeit von Trockenlegungsverfahren nicht ausreichend. Eine Verbesserung dieses Verfahrens erreicht man, wenn man die feuchte Wand mit einem Wärmestrahler mit einer Wellenlänge von $3\mu\text{m}$ anstrahlt.

8.3.2 Stahlbetonbauteile

Die Stahlbetonbauweise hat im Hochbau erst nach dem Kriege durch den Skelettbau, den Gleitschalungsbau, die Großtafelbauweise und andere Fertigbauweisen entscheidend Fuß gefasst. Anders als beim Mauerwerksbau und Holzbau sind die Konstruktionen des Stahlbetons durchweg ingenieurmäßig bemessen und zum Teil in Werken industriell gefertigt worden mit der Folge einer gezielten Ausnutzung der Werkstoffe als bei der handwerklichen Gestaltung. Obwohl es bereits eine Anzahl von bewährten Prüfverfahren gibt, wie nachfolgende Tabelle zeigt, ist deren Einsatz im Hochbau schwieriger als zum Beispiel im Brückenbau, weil die Bauteile meist schwerer zugänglich und verdeckte Schäden oftmals kaum zu ermitteln sind.

Tabelle 8.1: Prüfziele und Prüfverfahren im Stahlbetonbau

	Prüfziel	Prüfverfahren
Beton	Betondruckfestigkeit	Rückprall Kugelschlag Ultraschall (kombinierte Verfahren) Mechanischer Einzelimpuls
	Homogenität Verdichtung Fehlstellen Hohlräume Einschlüsse	Augenschein Abklopfen Ultraschall Gammarrückstreuung Gamma-Röntgendurchstrahlung, (Radiographie) Infrarot-Thermographie Endoskopie (Rohrkamera) Hohlraum-Evakuierung
	Porosität Wasseraufnahme Wasserundurchlässigkeit	Wasseraufnahme (Füllprobe) Kapillares Saugen Durchlässigkeitsprüfung
	Haftung zwischen einzelnen Schichten	Abklopfen Ultraschall Bewegungsimpedanz Hochfrequenzvibrationsanalyse Dyn. Biegeprüfung (Eigenfrequenz)
	Risse Rissbreite Risstiefe	Augenschein Lupe Sonde Ultraschall Dyn. Biegeprüfung Infrarot-Thermographie
	Feuchtigkeitsgehalt Feuchtigkeitsverteilung	Augenschein Bohrmehlentnahme (CM- Verfahren) (Mikrowellen) Infrarot-Thermographie elektrische Leitfähigkeit Dielektrizitätskonstante
	Karbonatisierungstiefe	Indikatorverfahren
	Gehalt an freiem Chlorid	Indikatorverfahren

Stahl

Einpressfehler

Endoskopie

	Bruch des Stahles	Ultraschall Gammadurchstrahlung Röntgendurchstrahlung Infrarot-Thermographie Schallemissionsanalyse
	Stahlkorrosion	Potentialmessung, Endoskopie
	Lage und Durchmesser der Bewehrung	Magnetische Induktion Wirbelstromsonde Gammadurchstrahlung Infrarot-Thermographie
Konstruktion	Trag- und Verformungsverhalten	Belastungsprüfung Biegeschwingprüfung Schallemissionsanalyse Geräuschanalyse
	Schwind-, Kriechverhalten Setzung	Verformungsmessung (elektrische, mechanische, geodätische, photogrammetische Verfahren) Dehnungsmessung

Zur Beurteilung der Widerstandsfähigkeit bestehender Stahlbeton und Spannbetonkonstruktionen gegenüber mechanischer Beanspruchung und/oder aggressiven Einwirkungen sind heute viele Einzelfeststellungen bezüglich des Ausgangszustandes und der zeitlichen Veränderung nötig, wie die Zusammenstellung möglicher Prüfungsziele in folgender Tabelle zeigt:

Tabelle 8.2: Prüfziele bei Stahlbetonteilen

Prüfziele bei Stahlbetonbauteilen
<p>Beton</p> <ul style="list-style-type: none"> - Festigkeit (Druckfestigkeit) - Erhärtungsstadium - Homogenität - Porosität - Porenstruktur - Durchlässigkeit - Dichte - Rissverlauf - Risstiefe - Fehlstellen - Verbund zwischen Schichten - Feuchtigkeitsgehalt/ -verteilung - Chlorgehalt/ -verteilung - Sulfatgehalt/ -verteilung
<p>Betonstahl- und Spannstahlbewehrung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Stahlart - Durchmesser - Lage - Betondeckung - Zustand. Korrosionsgrad - Verpresszustand - Beanspruchung (Verspannung) - Bruch
<p>Konstruktion</p> <ul style="list-style-type: none"> - Last-Verformungsverhalten (Eigenfrequenz) - Temperatur-Verformungsverhalten - Schwind- und Kriech-Verformungsverhalten - Setzungen - Umwelteinwirkungen

Als Beispiel des Einsatzes eines Prüfverfahrens wird im nachfolgenden Bild das Ergebnis einer speziellen Anwendung des Endoskopieverfahrens gezeigt, mit dem mit Hilfe einer starren oder flexiblen, faseroptischen Sonde in Bohrungen oder natürlichen Hohlräumen nach verdeckten Mängeln oder Schäden gesucht werden kann.

Bei der Untersuchung der Kongresshalle in Berlin war festgestellt worden, dass in den Spann- und Ankerköpfen der Vorspannbewehrung Montagehilfen aus Naturkork verwendet

worden waren, die zu einer Feuchtigkeitsspeicherung im Spannkopf mit nachfolgender Korrosion der Spanndrähte führten. Aus diesem Grund mussten auch andere Bauwerke, die in dem gleichen Spannverfahren hergestellt worden waren, möglichst zerstörungsarm untersucht werden. Dazu wurden die Spannköpfe rückseitig vom umgebenden Beton befreit, bis in den Bereich der Montagehilfen angebohrt und mit einem Endoskop untersucht.

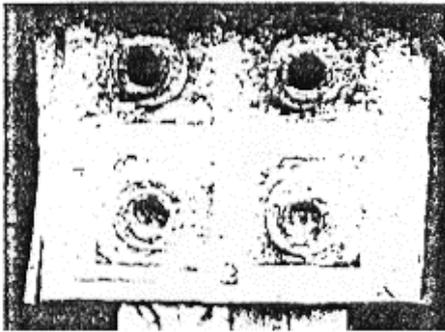


Bild 8.2: Freigelegte Spannglied-Verankerung an einem Sporthallen-Rahmen.

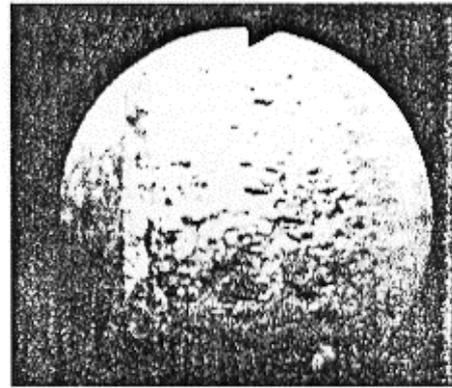


Bild 8.3: Endoskopieaufnahme eines korrodierten Spannstahls im Ankerkopf der Spannglieder.

8.3.3 Stahlbauteile

Stahlbauteile sind in Altbauten des Wohnungsbaus oder Industriebaus fast ausschließlich dort zu finden, wo eine höhere Belastung oder größere Spannweiten dies erfordern. Als Beispiel seien hier auskragende Balkone mit I-Trägern, Gitterträgerdecken oder Dachfachwerkträger genannt.

Die hauptsächlichen Prüfziele bei derartigen Bauteilen sind:

- die Ermittlung der Stahlfestigkeit für eine Berechnung der vorhandenen Konstruktionen bei Nutzungsänderung (z.B. erhöhte Dachlasten durch schwere Dacheindeckung, zusätzlich angehängte Lasten oder Umwidmung von Wohnungen in gewerblichen Räume)
- die Ermittlung von Querschnittsabmessungen bei starker Abrostung zur Berechnung der Resttragfähigkeit eines Bauteils (z.B. bei auskragenden Balkonträgern oder Decken oder Feuchträumen).

Die Stahlfestigkeit kann am sichersten an Proben bestimmt werden, die dem Bauteil an einer geringer beanspruchten Stelle entnommen und im Laboratorium im Zugversuch geprüft werden. Wenn die Entnahme von Proben nicht möglich ist oder aus Standsicherheitsgründen vermieden werden muss, kann die Festigkeit am Bauwerk mit einem Kugeldruck- oder Kugelschlagversuch (Brinellhärte) abgeschätzt werden.

Die Querschnittsabmessungen eines Stahlbauteils lassen sich bei freier Zugänglichkeit am einfachsten und zweckmäßigsten abtasten und mit mechanischen dicken Messfühlern ermitteln. Meist sind die Stahlträger aus konstruktiven und bauerhaltenden Gründen aber nur einseitig zugänglich. In diesen Fällen ist die Profildickenmessung mittels Ultraschall oft die einzige Möglichkeit. Dieses Verfahren arbeitet nach dem Prinzip des Echolotes und erfordert nur eine einseitige Zugänglichkeit des Stahlbauteils zum Ansetzen des Messkopfes.

8.3.4 Holzbauteile

Im Wohnungsbau, speziell aber im Altbaubestand, nimmt der konstruktive Holzbau nach wie vor einen bedeutenden Platz ein. Dachstühle, Decken, leichte Trennwände und Treppen müssen gegenüber den auf sie einwirkenden Verkehrslasten entsprechend tragfähig sein. Gefahr droht den Naturholzbauteilen vor allem durch zerstörende Pilze und Insekten.

Bei einer Holzfeuchte von mehr als 20 % ist immer mit der Möglichkeit von Pilzbefall, z.B. mit echtem Hausschwamm zu rechnen. Derartig hohe Feuchtigkeitsgehalte können durch direkten Wasserzutritt, z.B. in Bädern und Küchen, sowie durch ständig hohe Luftfeuchtigkeit in Waschküchen oder über feuchten, ungelüfteten Kellerräumen verursacht werden. Das beste Verfahren zur Beurteilung gefährdeter oder befallener Holzbauteile ist das Freilegen mit anschließendem visuellen und manuellen Überprüfen des Holzes. Dabei ist besonders auf Braunverfärbungen, Verwölbungen ehemals ebener Flächen, Würfelbrüchigkeit und die Ausdehnung von Pilzfruchtkörpern zu achten. Das pilzzerstörte Holz ist weich, bricht kurzfristig und lässt sich mit dem Daumnagel eindrücken. Das im nachstehenden Bild schematisch dargestellte Endoskopieverfahren kann bei der Untersuchung verdeckter Bauteile, wie Deckenbalken sehr nützlich sein, ist aber nur von einem geübten Fachmann anwendbar.

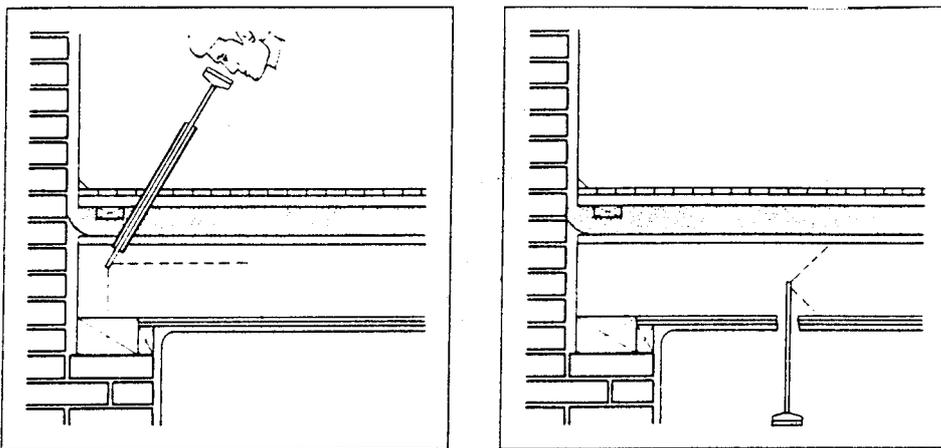


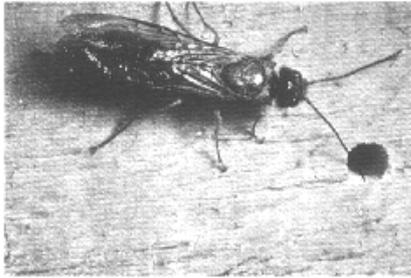
Bild 8.4: *Prinzipskizze des Endoskopieverfahrens bei der Untersuchung von Holzbalkendecken.*

Sieht man von der Witterung ab, gibt es zwei Gruppen von Holzzerstörern:

tierische und pflanzliche

Die tierischen Holzzerstörer sind Insekten, die ihre Eier in das Holz legen. Ihre Larven leben dann im und vom Holz und können verheerende Zerstörungen anrichten. Einen Überblick gebe die folgenden Ausführungen [15].

Zur zweiten Gruppe gehören die pflanzlichen Schädlinge, nämlich Pilze. Sie sind nicht weniger gefährlich.



1. Holzwespe

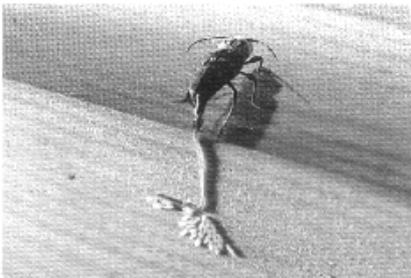
Die tierischen Holzschädlinge bevorzugen zur Eiablage bestimmte Holzarten mit dem entsprechenden Nahrungsangebot.

Holzwespen, wissenschaftlich: z.B. *Sirex juvencus*, gehören zu den Frischholzinsekten. Trockene Hölzer werden von ihnen nicht befallen, jedoch überleben die Larven die Trocknung und fressen 2-4 Jahre im Holz.

Holzwespen werden oft mit Nadelholz in ein Gebäude gebracht. Beim Ausschlüpfen können sie auf dem Holz liegende Stoff, z.B. Dachfolien zur Abdeckung von Flachdächern und sogar Bleiabdeckungen, durchfressen.

Der Befall ist an den runden Fluglöchern erkennbar, die ca. 4-7 mm groß sind. Die Fraßgänge sind fest verstopft.

2. Hausbock-Weibchen bei der Eiablage

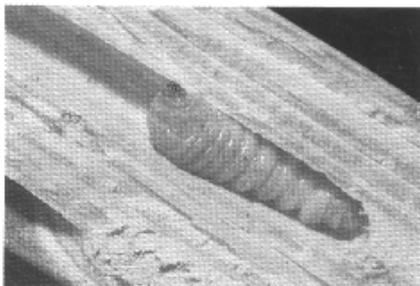


Der Hausbock, wissenschaftlich: *Hylotrupes bajulus*, ist in den gemäßigten Zonen das gefährlichste Schadinsekt am verbauten Holz.

Das Hausbock-Weibchen legt bis zu 300 Eier in entstandene Risse des Nadelholzes. Hauptsächlich Dachstuhlhälzer werden befallen.

Die folgenden Bilder zeigen am Beispiel des Hausbocks die Entwicklung einer holzerstörenden Larve bis zum fertigen Käfer.

3. Hausbock-Larve

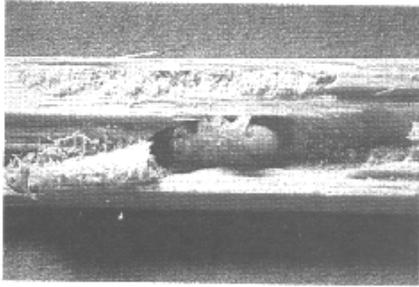


Aus den Eiern des Hausbockweibchens entwickeln sich Larven, die bevorzugt im Splintanteil von Kantholz nagen und fressen.

Eine Larve kann an einem Tag Holz vom Volumen eines Streichholzes zerstören.

Die von der Larve angelegten Fraßgänge können die statische Funktion der Konstruktion stark beeinträchtigen.

4. Hausbock-Puppe



Nach mehreren Jahren Fraßtätigkeit ist die Larve ausgewachsen. Jetzt legt sie mit einem Ausgang zur Oberfläche eine Puppenwiege an, in der sie sich zum Käfer entwickelt.

Beim Ausschlüpfen durchnagt der fertige Käfer die verbliebenen Holzteilchen und verlässt das Holz.

Der Käfer geht auf Partnersuche. Nach der Paarung legt das Weibchen seine Eier in Holzrisse, und es entsteht eine neue Generation.

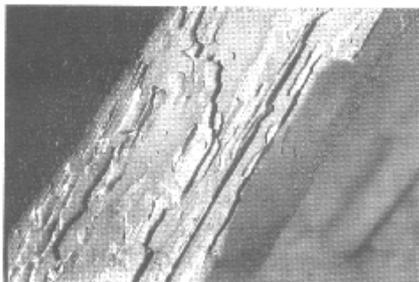
5. Fluglöcher des Hausbocks



Die durch das Ausschlüpfen der Käfer entstandenen Fluglöcher des Hausbocks sind 5-10 mm groß und oval.

Da die Larven 4-6 Jahre im Holz leben, kann bis zur Entdeckung der Fluglöcher die Zerstörung im Holz große Ausmaße angenommen haben.

6. Fraßgänge des Hausbocks



Zur sicheren Erkennung eines Befalls gehört die Holzuntersuchung: Ein Anschlagen ergibt in der Regel einen dumpfen Klang.

Beim Abbeilen der befallenen Teile lösen sich die Kanten, der Befall wird durch die Fraßgänge und die Fülle von Bohrmehl sichtbar.

Wegen der großen Schäden, die der Hausbock verursachen kann, und wegen der Verbreitungsgefahr ist ein Befall gemäß den Länderbauordnungen meldepflichtig.

7. Holzerstörung durch den Gewöhnlichen Nagekäfer

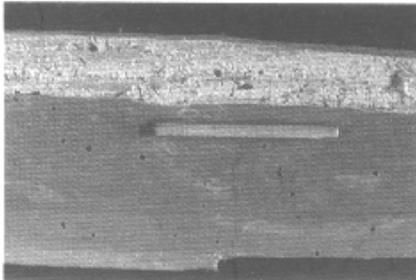


Diese Zerstörung entstand durch die Larven des Gewöhnlichen Nagekäfers (wissenschaftlich: *Anobium punctatum*).

Er befallt viele Laub- und Nadelholzarten. Gefährdet sind Fachwerk, Deckenbalken, Treppen, Einbauten, Kunstwerke und Möbel. Eine höhere Holzfeuchte kombiniert mit mäßigen Temperaturen begünstigt den Befall.

Nach 2-6 Jahren entwickelt sich die Larve zum Käfer.

Erkennungszeichen sind die runden, zwischen 1-2 mm großen Fluglöcher an der Holzoberfläche. Das Fraßmehl des Gewöhnlichen Nagekäfers ist feinkörnig.



8. Holzzerstörung durch den Braunen Splintholzkäfer

Durch Tropenhölzer, wie z.B. Limba und Abachi, wurde der Braune Splintholzkäfer, wissenschaftlich: *Lyctus brunneus*, eingeschleppt.

Er befallt auch das Splintholz vieler einheimischer, stärkehaltiger Laubholzarten, z.B. Eiche oder Nussbaum. Die Larven leben und fressen 6-18 Monate.

Oft befallen werden Verkleidungen, Leisten, Parkettböden, Türen und Möbel.

Der Befall ist an den runden, 1-1,5 mm großen Fluglöchern und am puderfeinen Fraßmehl zu erkennen.

9. Fruchtkörper des Echten Hausschwamms

Neben Insekten sind es Pilze, die verbautes Holz befallen.

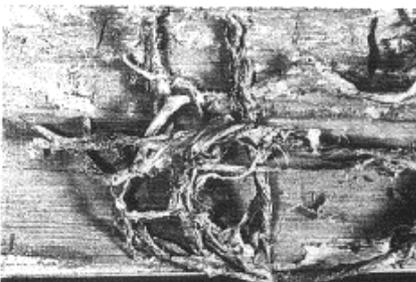


Pilze, die überwiegend Zellulose abbauen, so dass das braune Lignin stehen bleibt, verursachen eine Braunfäule. Weißfäule hingegen entsteht durch den Abbau von Lignin, bei dem die weiße Zellulose zurückbleibt.

An diesem Holzteil liegt ein Befall des Echten Hausschwamms, wissenschaftlich: *Serpula lacrymans*, vor, der hauptsächlich Zellulose abbaut.

Die Fruchtkörper sind rund oder elliptisch, flach aufliegend oder auch konsolenförmig und weiß gerändert. Die Mittelpartie ist rostbraun und mit Sporen besetzt.

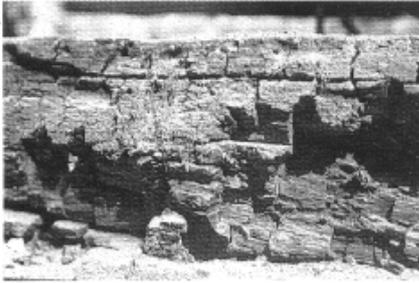
10. Stränge eines Hausschwamm-Myzels



Das Pilzgeflecht, Myzel genannt, kann beim Hausschwamm wurzelähnliche Gebilde hervorbringen, die auch holzfreie Strecken über- oder durchwachsen.

Ein Erkennungsmerkmal des Echten Hausschwamms ist das hörbare Knacken beim Zerbrechen dieser trockenen Stränge.

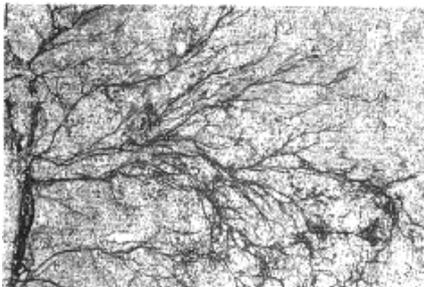
11. Holzerstörung durch Echten Hausschwamm



Durch Echten Hausschwamm zerstörtes Holz hat seine Festigkeit verloren und zerfällt in würfelförmige Stücke.

Der Befall dieses gefährlichen Holzerstörers ist wegen der großen Schäden, die durch schnelle und großflächige Ausbreitung entstehen, gemäß Landesbauordnung meldepflichtig.

Sofortige Sanierungsmaßnahmen sind unerlässlich.



12. Myzel des Kellerschwamms

Auch der Kellerschwamm, ein weiterer holzerstörender Pilz, baut hauptsächlich Zellulose ab. Er hinterlässt eine würfelbrüchige Holzsubstanz und befällt sowohl Nadel- als auch Laubhölzer.

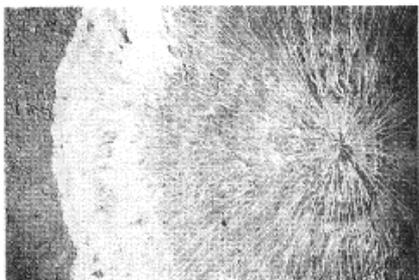
Gefährdet ist vor allem feucht eingebautes Holz, das nicht ungehindert trocknen kann.

In Holz-Fußböden ist dieser Pilz besonders häufig zu finden.

Das Pilzgeflecht bildet wurzelähnlich verzweigte, haarfeine, schwarz-braune Stränge.

Wegen seines braunen, warzenförmig ausgebildeten Fruchtkörpers wird dieser Pilz auch „Brauner Warzenschwamm“ genannt. Die wissenschaftliche Bezeichnung ist *Coniophora puteana*.

13. Myzel des Weißen Porenschwamms



Dies ist das Myzel eines Weißen Porenschwamms. Es hat hier einen Durchmesser von 1 m.

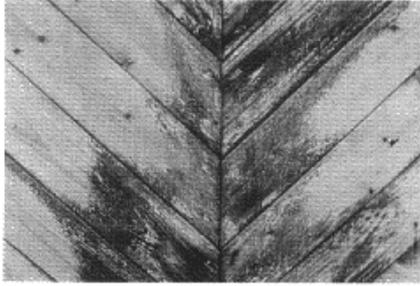
Der Weiße Porenschwamm benötigt zur Entstehung und als Nahrung Holz mit einer besonders hohen Feuchte von 40 - 45 %.

Auch dieser Pilz baut hauptsächlich die Zellulose im Holzgefüge ab.

Befallskennzeichen ist u.a. auch hier der Zerfall des Holzes in kubische Stücke.

14. Holzverfärbende Pilze

Bläue zählt nicht zu den holzerstörenden, sondern zu den



holzverfärbenden Pilzen. Sie befällt Nadelholz bereits bei einer Holzfeuchte ab 22 %.

Die Festigkeit des Holzgefüges geht durch einen Bläue-Befall nicht verloren. Die Fruchtkörper können jedoch vorhandene Anstriche abheben oder durchwachsen.

Stärkerer Befall bewirkt eine Überaufnahme von Feuchtigkeit. Was wiederum den Angriff holzerstörender Fäulnispilze ermöglichen kann.

Für das Auffinden verdeckter, z.B. im Laufe der Zeit überputzter Fachwerkkonstruktionen hat sich die Infrarot-Thermographie bewährt.

8.4 Mess- und Analyseverfahren zur wärmetechnischen Beurteilung von Gebäuden

8.4.1 Erfahrungswerte

In zahlreichen Fällen kann aus dem Baualter und der Region, in der das Gebäude steht, in etwa auf den Aufbau des Außenbauteils geschlossen werden. Hilfreich ist z.B. die Broschüre „k-Werte alter Gebäude“ [3].

8.4.2 Infrarot-Thermographie

Die Infrarot-Thermographie stellt derzeit das wohl wichtigste Verfahren zur Erfassung thermischer Schwachstellen von Gebäuden dar. Das Verfahren beruht auf der Tatsache, dass jeder Körper aufgrund seiner Temperatur eine charakteristische elektromagnetische Strahlung - auch Temperatur- oder Wärmestrahlung genannt - aussendet. Diese Strahlung kann bei sehr hohen Oberflächentemperaturen vom menschlichen Auge wahrgenommen werden (z.B. Sonnentemperatur etwa 6.000 K); für Umgebungstemperaturen liegt sie im unsichtbaren langwelligen Infrarotbereich des Spektrums. Mit Hilfe geeigneter Detektoren kann die Wärmestrahlung in elektrische Signale umgewandelt werden, deren Höhe proportional zur Intensität der auftreffenden Infrarot-Strahlung ist. Da wiederum die Intensität der Wärmestrahlung gem. dem Stefan-Boltzmann Gesetz mit der Temperatur steigt, erhält man von der Oberflächentemperatur des betrachteten Körpers abhängige Signale, die in Grau- bzw. Farbtöne umgewandelt werden können. Durch Abtasten vieler Oberflächenpunkte ergibt sich ein Abbild des Körpers, in dem warme Stellen der Oberfläche hellgrau bis weiß bzw. gelb bis rot bei Farbbildern, kalte Stellen dagegen dunkelgrau bis schwarz bzw. blau bis violett wiedergegeben sind. Mit modernen Aufnahmegegeräten lassen sich dabei Temperaturunterschiede von etwa 0,2 K unterscheiden. Dabei ist jedoch das gleichartige Emissionsverhalten aller Oberflächen vorausgesetzt. Bei den meisten Baustoffen und auch bei Glas ist dies im hinreichenden Maße der Fall. Auszunehmen sind Metalle, die einen kleineren Emissionsgrad aufweisen. Mit dieser Einschränkung kann man sagen, dass ein Infrarot-Thermogramm ein unmittelbares Abbild der Oberflächentemperaturen eines betrachteten Bauteils oder Gebäudes darstellt. Aufgrund der Oberflächentemperaturverteilungen lassen sich qualitative Rückschlüsse auf die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste ziehen.

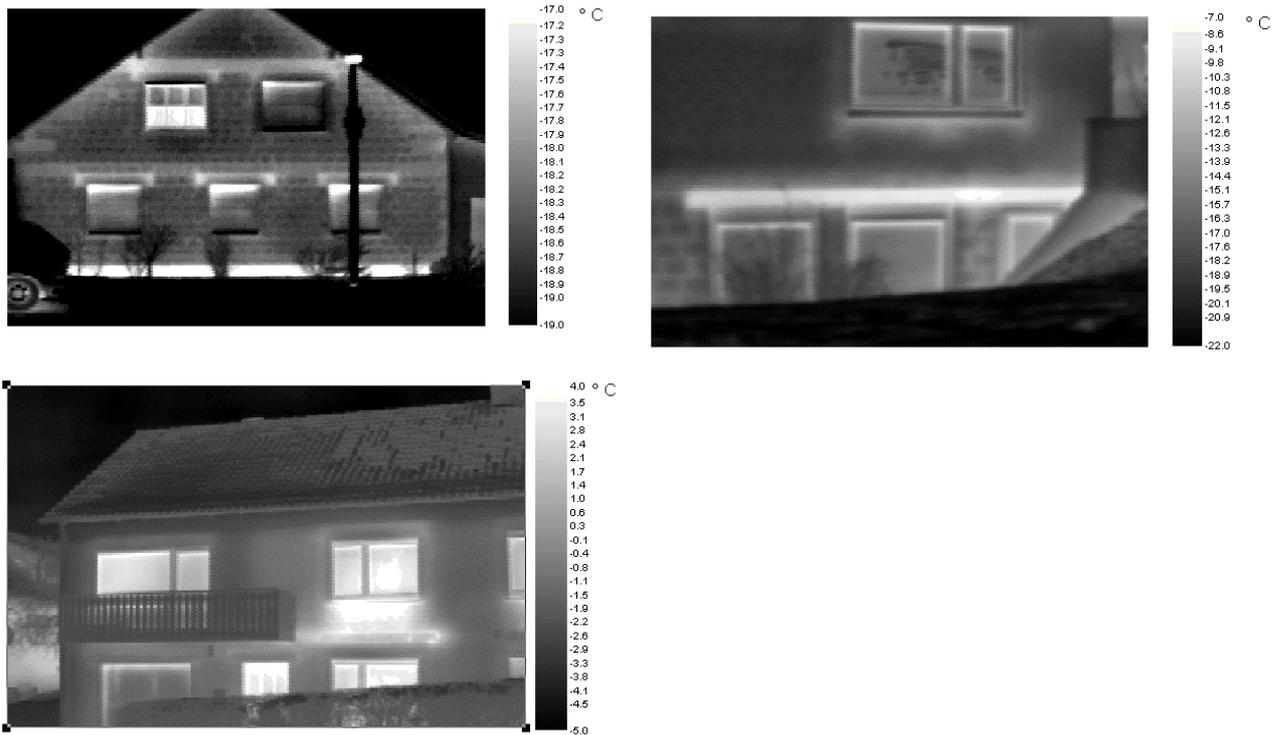


Bild 8.5: Thermographische Aufnahmen

Soll aus dem Temperaturbild auf die örtlichen Energieströme und damit auf die Wärmeverluste geschlossen werden, sind noch einige wichtige Einflüsse zu beachten:

- Das Thermographiebild ist eine Momentaufnahme des gegenwärtigen thermischen Zustandes an der Gebäudehülle. Es erfordert Erfahrung, den Aufnahmezeitpunkt so zu wählen, dass die thermische „Vorgeschichte“ wie z.B. Sonneneinstrahlung oder Temperaturwechsel der Außenluft nicht in die Messung eingeht. Allgemein müssen daher Thermographieaufnahmen in den frühen Morgenstunden bei möglichst gleichmäßig tiefen Außenlufttemperaturen durchgeführt werden, um repräsentative Daten für eine weitere Auswertung zu erhalten. Ebenso wirken sich unterschiedliche Wärmespeicherfähigkeiten zwischen leichten und schweren Außenbauteilen auf die momentanen Oberflächentemperaturen aus und verfälschen so die Ergebnisse.
- Der Wärmeverlust an einem Außenbauteil eines Gebäudes hängt zum einen von der herrschenden Temperaturdifferenz zwischen Bauteiloberfläche und Außenluft ab, zum anderen geht aber auch der äußere Wärmeübergangskoeffizient ein. Dieser Wärmeübergangskoeffizient hängt in starkem Maße von der Windanströmung und Umströmung des Gebäudes ab. Außerdem ist er stark von der Gebäudegeometrie, der Gebäudelage und dem Gebäudeumfeld abhängig.
- Auch die bereits angesprochenen unterschiedlichen Emissionsverhältnisse von Bauteiloberflächen können das Ergebnis verfälschen.

Mit Hilfe der Thermographie ist darüber hinaus die Lokalisierung von undichten Stellen eines Gebäudes unter folgenden Voraussetzungen möglich: Herrscht im Gebäude Unterdruck gegenüber der Außenumgebung, so fließt die im Winter kältere Außenluft durch die Leckstelle nach innen und kühlt den Spalt ab. Sie bewirkt an dieser Stelle daher eine Wärmesenke. Bei Überdruck im Inneren erhält man dagegen ein Wärmequell in der Fuge. Man sieht daraus, dass Luftleckstellen je nach den Druckverhältnissen wärmere (innen Überdruck, Thermographie von außen günstig) oder kältere (innen Unterdruck,

Thermographie von innen vorteilhaft) Oberflächentemperaturen verursachen. Für die praktische Messung muss man berücksichtigen, dass je nach Lage des Raumes im Gebäude, abhängig von der Windanströmung, Über oder Unterdruck auftreten kann. Luftleckstellen können in ein und dem selben Gebäude als wärmere, aber auch als kältere Stellen hervortreten oder in manchen Räumen wegen zu geringer Druckunterschiede überhaupt nicht nachgewiesen werden. Für eine korrekte Deutung ist daher die Messung der Druckdifferenz unerlässlich.

Die genannten meteorologischen Einschränkungen bei der Durchführung von Thermographieaufnahmen haben einen erheblichen Zeit- und Personalaufwand zur Folge, der sich naturgemäß in Kosten niederschlägt. Automatisierte Auswertungen von Thermogrammen sind nicht möglich. Vielmehr bedarf es großer Fachkenntnisse für die exakte Deutung von Thermogrammen.

8.4.3 Messung der Transmissionswärmeverluste mit Wärmeflussmessern

Wärmeflussmesser sind spezielle Messgeber, welche einen hindurchfließenden Wärmestrom als elektrische Messgröße darstellen. Das Messprinzip geht aus dem Bild 8.6 hervor.

Der Wärmeflussmesser besteht im Prinzip aus einer dünnen Scheibe, in welche eine Thermokette eingelagert ist. Diese Thermokette liefert ein Spannungssignal, welches dem Wärmestrom q proportional ist, der durch die Wärmeflussmessplatte hindurchfließt. Mit größer werdendem Wärmestrom vergrößert sich nämlich die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Oberflächen der Messplatte und dadurch auch die Thermospannung. Unter stationären Temperaturverhältnissen kann mit dem erfassten Wärmestrom q sowie bei Kenntnis der beiden Oberflächentemperaturen auf der Raumseite ϑ_{oi} und auf der Außenseite ϑ_{oa} sowie bei Kenntnis der Bauteildicke der Wärmedurchlasswiderstand des Bauteiles gem. Beziehung berechnet werden:

$$\frac{1}{\Lambda} = \sum \frac{s}{\lambda} = \left(\frac{q}{\vartheta_{oi} - \vartheta_{oa}} \right)^{-1}$$

Aus dem Wärmedurchlasswiderstand lässt sich durch Hinzufügen der Wärmeübergangswiderstände und durch Kehrwertbildung der Wärmedurchgangskoeffizient ermittelt, beschrieben in DIN EN 12494 [14]. Danach ist eine längere Messperiode notwendig, die wenigstens 48 Stunden beträgt. Dabei wird zwischen Datenanalysen mit dem Mittelwertverfahren oder mit einem Ermittlungsverfahren unterschieden. Der messtechnische Aufwand ist relativ hoch. Die Messmethodik wird beschränkt auf Bauteile mit einem Wärmedurchlasswiderstand $\geq 0,5 \text{ m}^2\text{K/W}$, Konstruktionen, die homogen sind und bei denen weder ein Stofftransport in Form von Wasserdampf vorliegt, noch eine in Bauteilebene eine Durchströmung erfolgt.

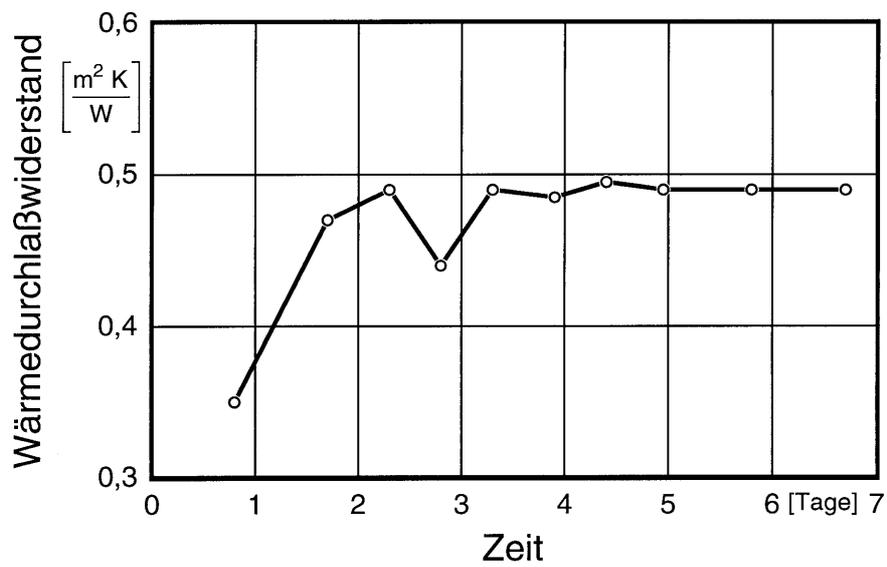
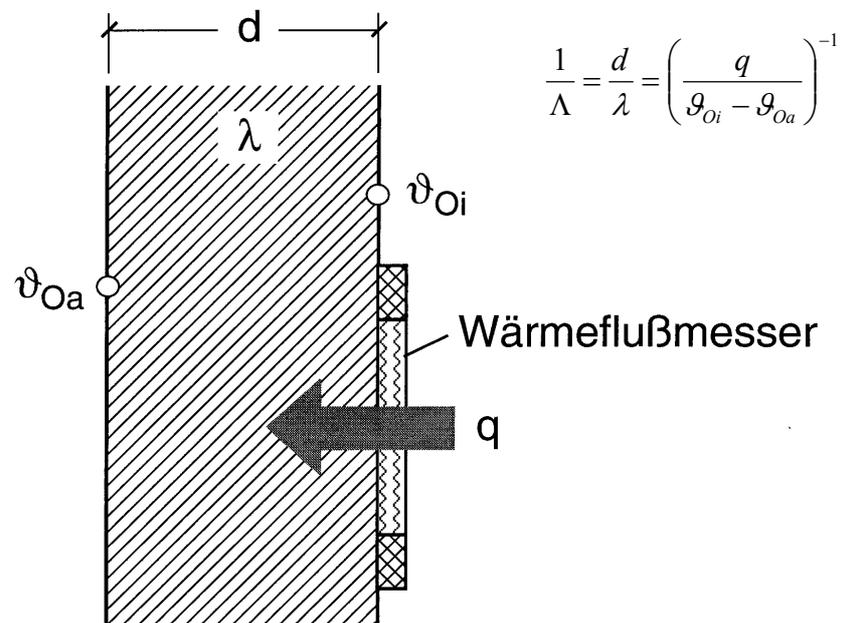


Bild 8.6: Messprinzip des Wärmestrommessers

Abbruchkriterien

Analysetechnik	Prüfling	
	leicht	schwer
	$m' \leq 5,56 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \text{ K})$ $R \leq 1 \text{ m}^2 \text{ KW}$	Meßperiode: ganzzahliges Vielfaches von 24 h
Mittelwertverfahren	Meßperiode: nur nachts Ergebnisse aus 3 aufeinander- folgenden Nächten weichen um $\leq \pm 2 \%$ voneinander ab	Prüfdauer $\geq 72 \text{ h}$ $24 \text{ h} - \text{Differenz} \leq \pm 2 \%$ $\Delta Q_{\text{gespeichert}} < 2 \% Q_T$
Ermittlungsverfahren	(meist 2 Nächte ausreichend) $1\text{-Nacht-Differenz} \leq \pm 2 \%$	Prüfdauer $\geq 48 \text{ h}$ Differenz aus 3 gleichen aufeinander- folgenden Zeitspannen $\leq \pm 2 \%$

Bild 8.7:

Abbruchkriterien

8.5 Methoden zur Abschätzung der Lüftungswärmeverluste

8.5.1 Luftwechselfmessungen mit der Indikatorgas-Methode

Bei der Indikator- oder auch Tracergas-Methode wird in den zu untersuchenden Raum ein bestimmtes Indikatorgas eingeblasen und intensiv mit der Raumluft vermischt. Anschließend wird die Gaszufuhr unterbrochen und die vorhandene Konzentration des Indikatorgases im Raum gemessen. Aus dem Konzentrationsabfall des Tracergas im Raum sowie dessen Konzentration in der Außenluft lässt sich der Luftwechsel im Raum berechnen. Das Messprinzip ist im nachstehenden Bild aufgezeigt:

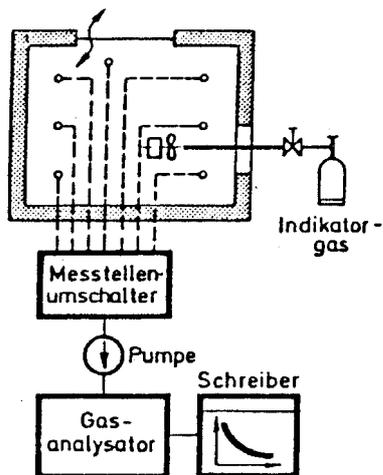


Bild 8.8: Messprinzip der Luftwechselfmessung nach der Indikatorgas-Methode

Als Messgas haben sich Argon, Lachgas und Ethan bewährt. Das Indikatorgas soll nach Möglichkeit die gleiche Rohdichte wie die Luft besitzen, damit es sich gut gleichmäßig im Raum verteilt und darüber hinaus weder toxisch noch explosiv sein.

8.5.2 Messung der Gebäudeundichtheiten mit der Differenzdruckmethode.

Die Differenzdruckmethode dient zur Erfassung der Gebäudeundichtheiten nach Lage und Größe. Hierbei wird im Raum bzw. im ganzen Gebäude mittels eines Gebläses ein künstlicher Differenzdruck erzeugt. Die Messordnung ist im nachstehenden Bild dargestellt:

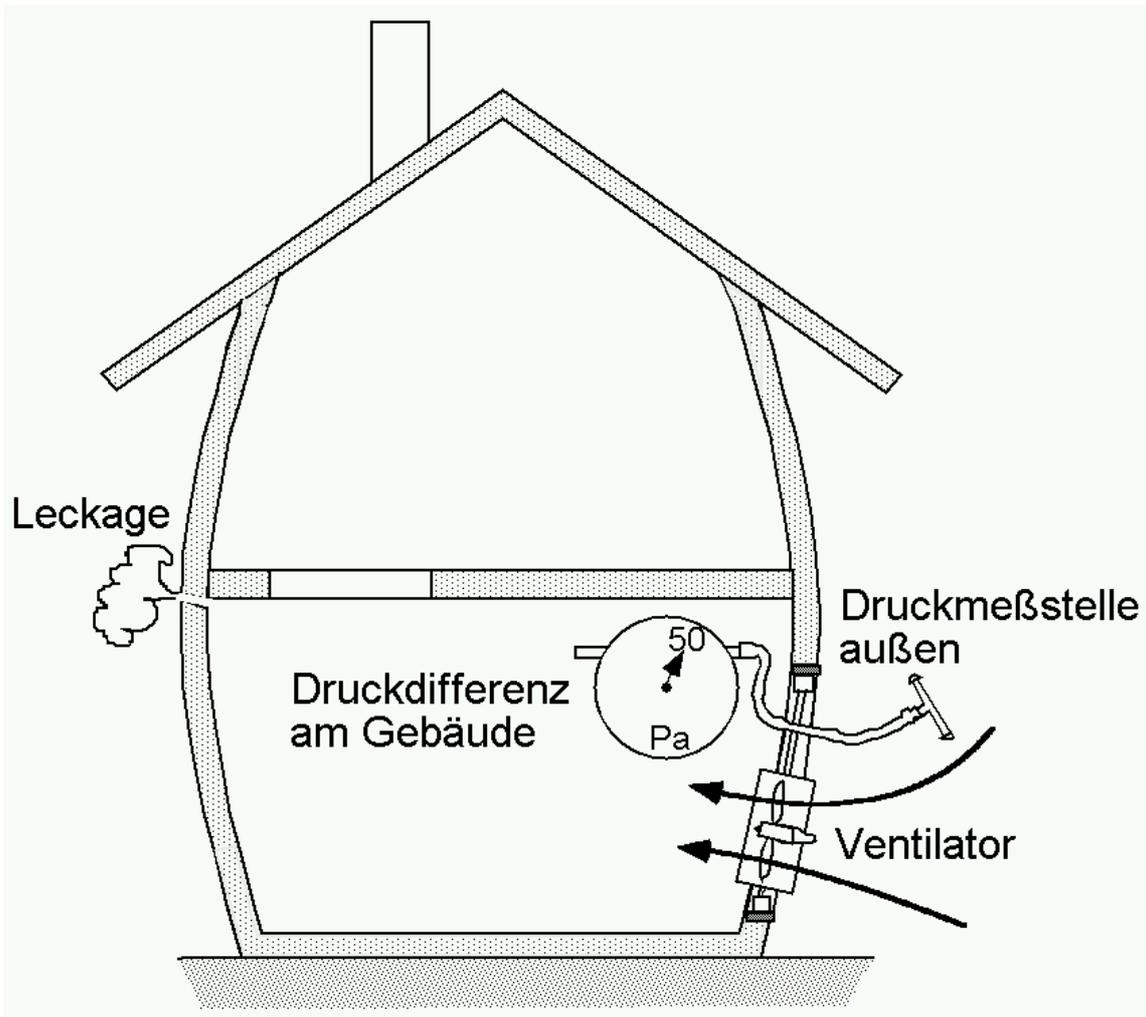


Bild 8.9: Erfassung von Gebäudeundichtheiten mittels der Differenzdruckmethode – Messmethode

$$n_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{V_{L,ges}} \quad [h^{-1}]$$

$\dot{V}_{50} \left[\frac{m^3}{h} \right]$ Volumenstrom bei 50 Pa Druckdifferenz

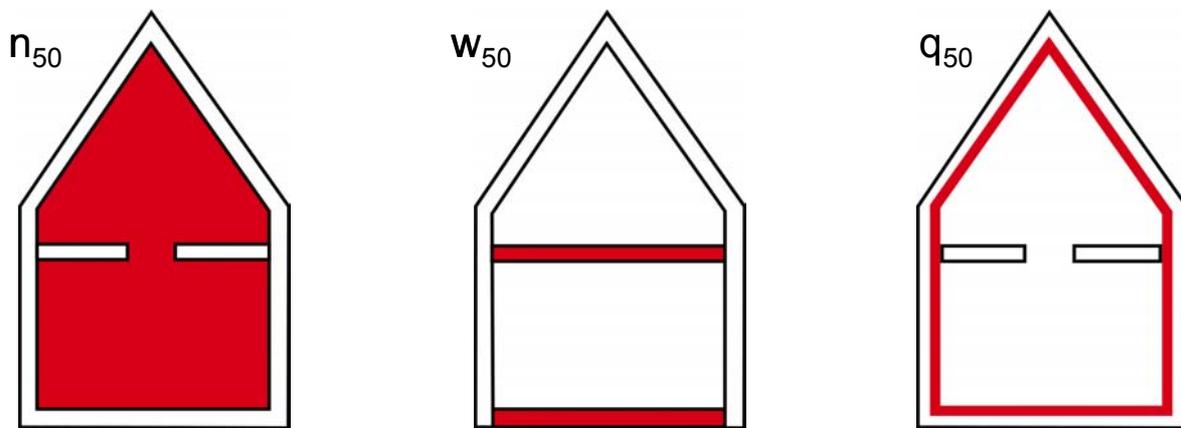
$V_{L,ges} [m^3]$ Luftvolumen des gemessenen Bereichs

Grenzwerte gem. DIN 4108-7:2001-08

Gebäude mit natürlicher Lüftung $n_{50}=3,0 \text{ h}^{-1}$

Gebäude mit mechanischer Lüftung $n_{50}=1,5 \text{ h}^{-1}$

Bild 8.10: Erfassung von Gebäudeundichtheiten mittels der Differenzdruckmethode – Anforderungen an die Luftdichtheit



DIN 4108-7: 2001-08	n_{50} [1/h]	w_{50} [m ³ /h m ²]	q_{50} [m ³ /h m ²]
Fensterlüftung	3,0	7,8	3,0
Lüftungsanlage	1,5	3,9	3,0

Bild 8.11: Erfassung von Gebäudeundichtheiten mittels der Differenzdruckmethode - Kenngrößen

Unter dem Einfluss eines Differenzdrucks strömt Luft über die Undichtheiten der Gebäudehülle in den Raum bzw. das Gebäude und kann hier entweder summarisch am Gebläse gemessen werden oder aber durch örtliches Abtasten des Luftprofils an den Leckstellen und eigentlichen Undichtheiten selbst (z.B. Fugen, Anschlüsse, Risse usw.) erfasst werden. Zum Abtasten solcher Luftströmungen eignet sich die Fenstersonde, die einen speziellen Tastkopf hat, welcher die örtliche Luftströmung an der Leckstelle erfasst und in ein Messsignal umformt. Am Anzeigegerät kann die örtliche Luftströmung je cm-Lauflänge direkt abgelesen oder aber auf einem angeschlossenen Schreiber aufgezeichnet werden. Es entstehen so Strömungsprofile an Bauteilfugen, welche nicht nur die Lage sondern auch die Größe der Leckstellen kennzeichnen. Ein Beispiel eines solchen Strömungsprofils um ein Fenster herum bei einer Messung unter Sommer- und Winterverhältnissen sowie die Ansicht der Fenstersonde sind nachfolgend wiedergegeben:

Mit dieser Differenzdruckmethode können nicht nur einzelne Räume, sondern wie vornehmlich in Schweden praktiziert, auch gesamte Gebäude untersucht werden., wobei teilweise im Gebäude oder Raum ein Über- und teilweise ein Unterdruck erzeugt wird, da je nach Ausbildung von Dichtungslippen hierbei unterschiedliche Ergebnisse zustande kommen.

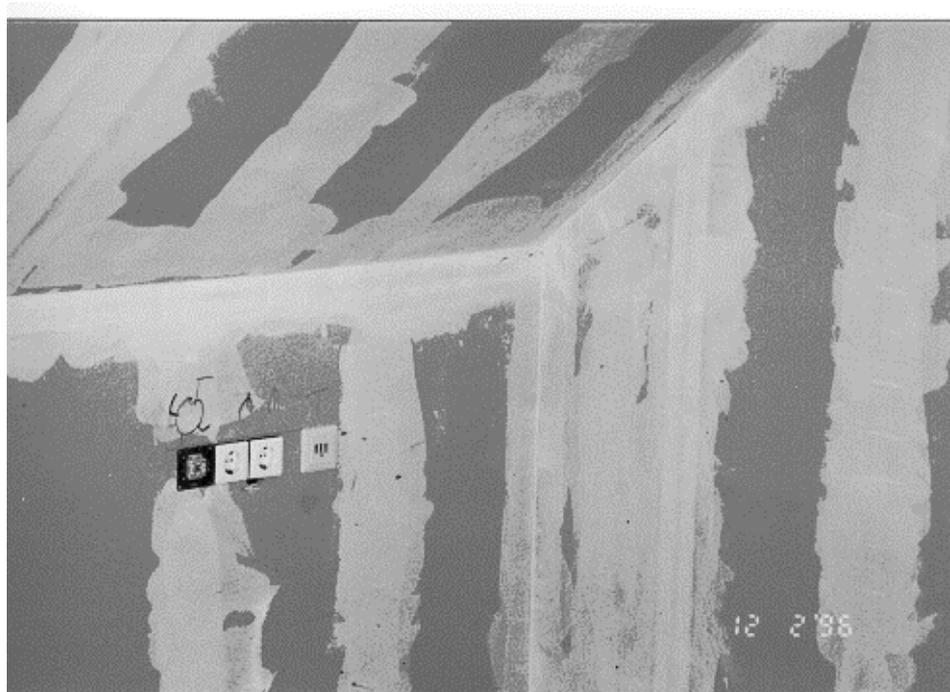


Bild 8.12: Foto Raumecke

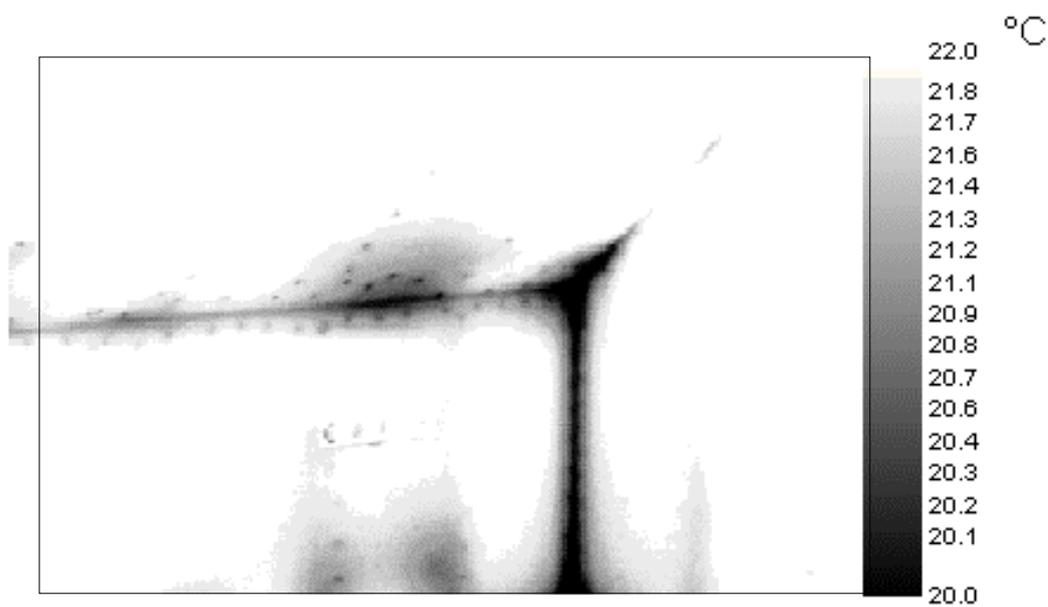


Bild 8.13: Infrarot-Thermografie Raumecke

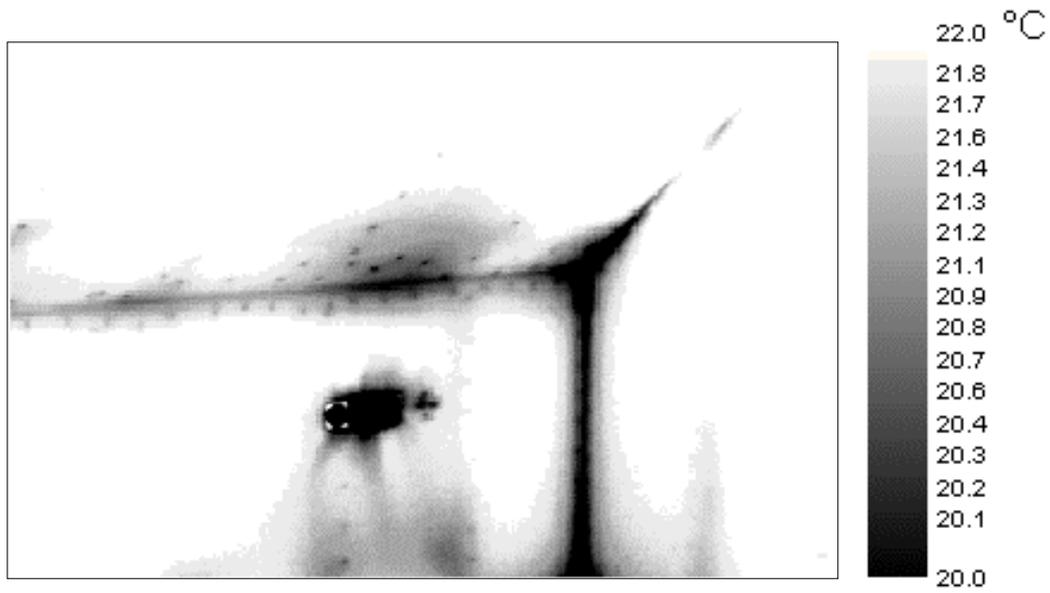


Bild 8.14: Infrarot-Thermographie nach 3,5 min 50 Pa Unterdruck

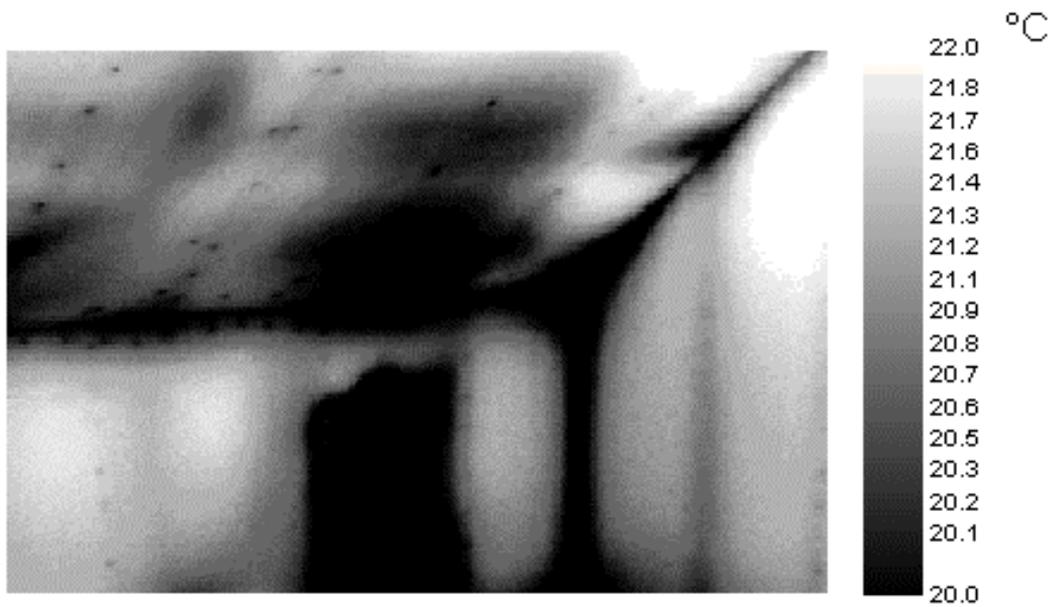


Bild 8.15: Infrarot-Thermographie nach 69 min 50 Pa Unterdruck

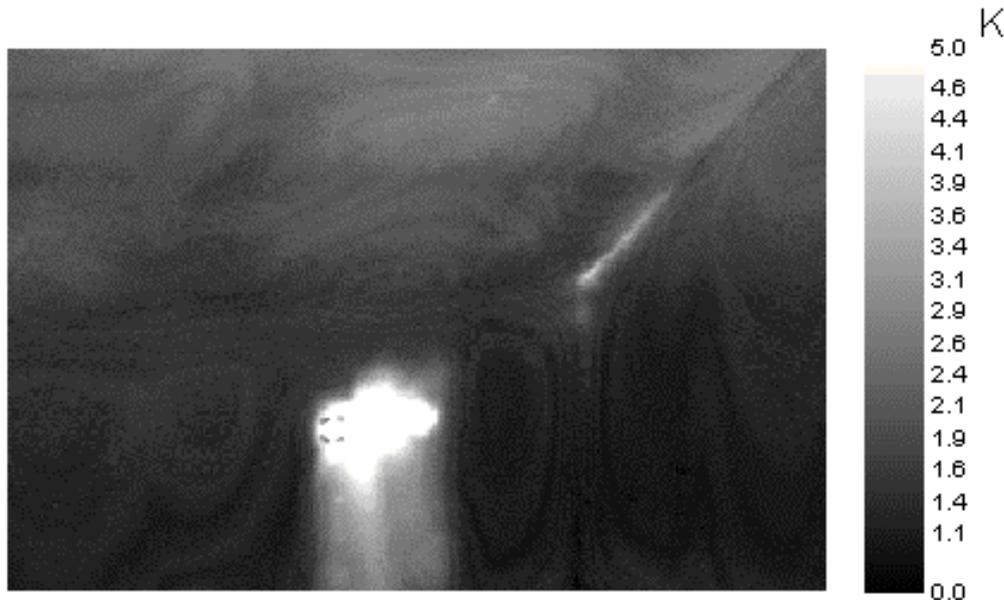


Bild 8.16: Oberflächentemperaturdifferenz der Bild 8.13 und Bild 8.15

9 Verfahren zur Trockenlegung von Mauerwerk

Bei Altbauten stellt die Durchfeuchtung von Mauerwerk ein spezielles Problem dar. Bei vielen Bauten sind entweder die bauseits eingebrachten Feuchtigkeitssperren im Laufe der Zeit unwirksam geworden oder sie fehlen ganz. Die dadurch verursachte Feuchtigkeit des Mauerwerks im Keller und Erdgeschoss mindert die Gebrauchstauglichkeit derartiger Gebäude.

Die Feuchtigkeit im Mauerwerk bewirkt einerseits eine Verschlechterung des Wärmeschutzes und andererseits die Gefahr der Schimmelpilzbildung. Mauerwerksschäden treten durch die Feuchtigkeit allein im allgemeinen nicht auf, sehr wohl aber durch die beim Transport des Wassers geführten löslichen Salze.

Zur Trockenlegung von Mauerwerk werden folgende Verfahren eingesetzt:

9.1 Mauersäge

Die Verfahren, bei denen nachträglich eine Isolierschicht in das Mauerwerk eingezogen wird, wirken sich am effektivsten aus. Misserfolge in der Praxis waren und sind dabei verhältnismäßig gering. Dabei wird von der Außenseite ein Blech in die Fugen des Mauerwerks mit hohem Druck getrieben, wodurch eine Feuchtigkeitssperre für das aufsteigende Wasser entsteht. Hierdurch kann der Feuchtigkeitstransport von unten nach oben völlig unterbunden werden. Bei sehr altem uneinheitlichem Mauerwerk ohne gerade Fugen lässt sich dieses Verfahren jedoch nicht anwenden, da die Bleche nur durch den Mörtel und nicht durch Steine getrieben werden können.

9.2 Bohrlochinjektion

Bei diesem Verfahren werden Bohrlöcher von ca. 3 cm Durchmesser gebohrt, und zwar in einem Winkel von 15 - 30° nach unten. Diese Löcher führen nicht ganz durch das Mauerwerk; sie können ein- oder auch beidseitig angesetzt werden. Der Bohrlochabstand ist abhängig von der Dichte des Baumaterials; er sollte im allgemeinen 10 - 12 cm auf keinen Fall überschreiten. Bohrlöcher in zwei Ebenen übereinander setzen das Risiko weiter herab und sollten vorgesehen werden. In Bohrlöcher wird das Injektionsmittel unter Eigendruck oder auch mit Überdruck injiziert.

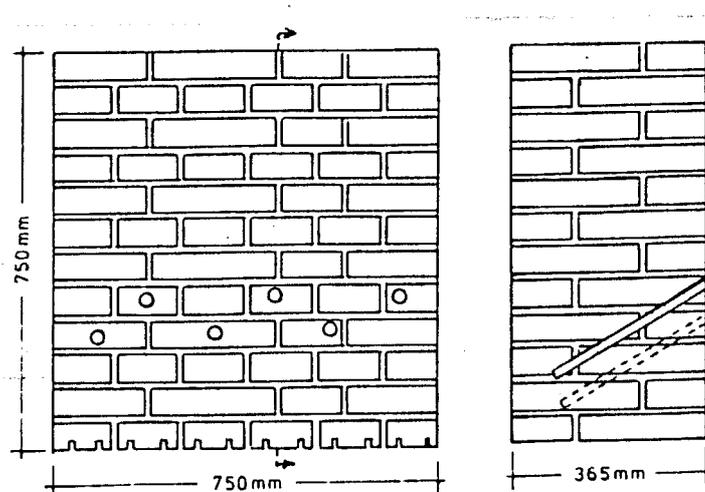


Bild 9.1: Prüfwand mit Bohrlöchern

Das Einfüllen des Tränkungsmittels erfolgt am besten mehrfach mit relativ großen Zeitabständen.

Es gibt folgende fünf Gruppen von Injektionsmitteln zur Mauertrockenlegung, die einzeln oder auch kombiniert angewandt werden [16].

a) Zementschlemmen

Diese Schlemmen sind Zement-Wassergemische. Sie enthalten zum Teil wasserlösliche Produkte wie z.B. Wassergläser. Für homogenfeinporiges Mauerwerk sind sie ungeeignet, da die gemahlene Zementteilchen um mehrere Größenordnungen größer sind, als die engen Kapillaren des Baustoffes, in denen das Wasser hochgezogen wird. Die Zementteilchen können also nicht in den Baustoff eindringen.

b) Wasserglas ohne Zusätze

Zur Anwendung kommen verdünnte, wässrige Lösungen von Natrium und Kaliumsilicat. Unter Einfluss des Kohlendioxids aus der Luft wird Kieselgel abgeschieden, das ein enges, sehr feines Porengefüge bildet. Da in sehr engen Poren die Steiggeschwindigkeit erheblich verringert ist, entsteht oft der Eindruck, dass diese Maßnahme wirksam sei. Bei der Reaktion der Wassergläser mit dem Kohlendioxid entsteht Alkalikarbonat.

Dieses sind wasserlösliche Salze, die - da Horizontalisolierung mit Wassergläsern auf Dauer wirksam ist - das Mauerwerk später zusätzlich schädigen können. Vor allem das Natriumkarbonat aus den Natronwassergläsern bringt starke Schäden.

c) Alkali-Siliconate

Es werden ca. 5 %ige Kalium- bzw. Natriummethylsiliconatlösungen verwendet. Dies sind wasserlösliche, alkalische niedermolekulare siliciumorganische Verbindungen, die ebenfalls unter dem Einfluss des CO_2 aus der Luft zu höher molekularen und wasserunlöslichen und hydrophoben Verbindungen reagieren. Diese Lösungen werden zum Teil erfolgreich eingesetzt. Dafür ist die hydrophobierende Wirkung der Reaktionsprodukte der Siliconate verantwortlich, durch die die Benetzbarkeit der Kapillarwand so stark herabgesetzt wird, dass der Kapillareffekt verlorenght. Nicht geeignet zu arbeiten mit diesen Produkten sind alle Baustoffe ohne Saugvermögen wie z.B. keramische Verblendsteine oder dichte Natursteine. Durch einen einfachen Vorversuch lässt sich die hydrophobierende Wirkung der Siliconate für jeden Baustoff bestimmen. Die so erzeugten Sperrschichten sind zwar wasserdicht, aber weiterhin wasserdampfdurchlässig. Auch bei Siliconaten kommt es zur Bildung von Alkalisalzen, die jedoch nicht weiter transportiert werden, da flüssiges Wasser die Sperrschicht nicht durchdringen kann. Auch hier sind Kalisiliconate den entsprechenden Natriumverbindungen vorzuziehen.

d) Mit Methylsiliconaten modifizierte Wassergläser

Hierbei handelt es sich um Gemische von Wassergläsern mit wasserlöslichen Siliconaten. Die Wirksamkeit ist jedoch, wie schon erwähnt, nicht auf die Bildung von Kieselgel oder etwa Verstopfung der Poren zurückzuführen, sondern allein auf die hydrophobierenden Eigenschaften der Siliconate.

e) Silane und Siloxane

Zur Anwendung kommen etwa 40 %ige Silanlösungen in organischen Lösungsmitteln oder ca. 5 %ige Lösungen von Silanen / Siloxanen. In der Bundesrepublik Deutschland hat man mit diesem System relativ wenig Erfahrung. Es ist allerdings damit eine zuverlässige Sperrwirkung zu erwarten, dass Silane und Siloxane durch ihr hydrophoben Eigenschaften den Kapillareffekt in gleicher Weise aufheben wie Siliconate. Hierbei kann jedoch nicht mehr drucklos gearbeitet werden, da diese Lösungen sich nicht mit Wasser mischen und deshalb nicht tief genug in feuchtes Mauerwerk eindringen können. Von Vorteil ist vielleicht, dass hier keine wasserlöslichen Salze in das Mauerwerk eingebracht werden.

An der Bundesanstalt für Materialprüfung in Berlin wurden an einer Prüfwand zwei Tränkungsmittel aus Wasserglas mit organischen Zusätzen erfolgreich getestet, wie folgendes Ergebnis verdeutlicht [17]:

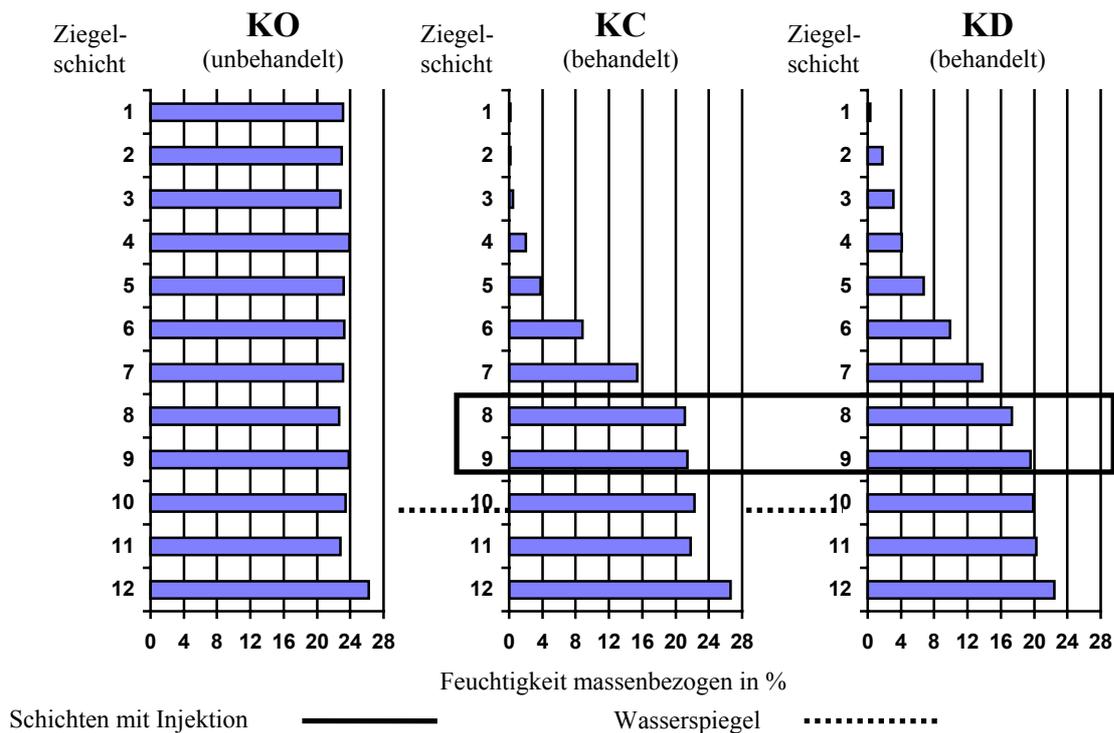


Bild 9.2: Prüfwände mit Tränkungsmitteln, Feuchtigkeitsverteilung nach zweijähriger Versuchsdauer

9.3 Elektrophysikalische Sperren

Infolge der Kapillarleitung gelangten aus dem Grundwasser bzw. aus dem Boden mit der aufsteigenden Mauerfeuchte auch gelöste Salze in das Mauerwerk. In einer bestimmten Höhe verdunstet das Wasser; die Salze bleiben zurück. Zonen mit hoher Salzkonzentration bilden sich und infolge des osmotischen Effekts wird die Mauerwerksdurchfeuchtung beschleunigt.

Osmose beinhaltet den Durchtritt von Flüssigkeitsmolekülen durch halbdurchlässige (semipermeable) Wände, wie durch gebrannten Ton, Pergament- oder Zellwände von lebenden Organismen. Bei Lösungen ist die Wand nur für Moleküle des Lösungsmittels, nicht aber für die des gelösten Stoffes durchlässig. Setzt man eine konzentrierte Lösung in einem halbdurchlässigen Gefäß so in eine verdünnte Lösung, dass das Flüssigkeitsniveau in beiden Behältern anfänglich gleich ist, so beobachtet man ein Ansteigen der Flüssigkeit in der konzentrierten Lösung bis zu einem bestimmten Grenzwert: Der diesem Niveauunterschied entsprechende Druck heißt osmotischer Druck. Osmose ist die einseitige Diffusion in nur einer Richtung. In den meisten Fällen diffundiert dabei das Lösungsmittel (z.B. Wasser) in die Lösung hinein.

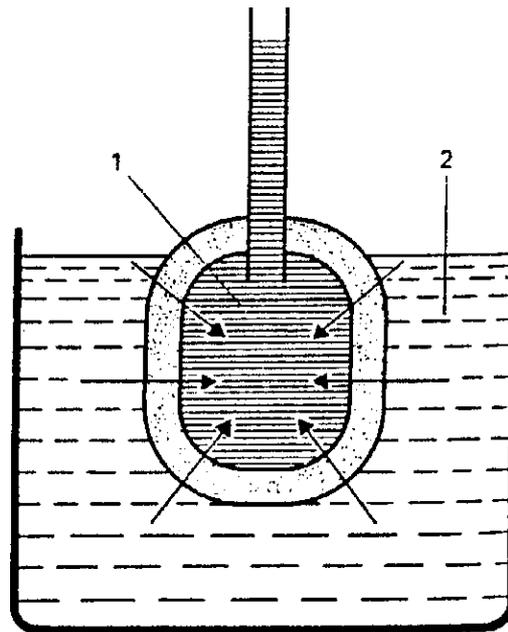


Bild 9.3: Osmose: In die Lösung (1) kann durch die halbdurchlässige Schicht das reine Lösungsmittel (2) eindringen und somit einen Überdruck erzeugen (Pfeffersche Zelle)

Elektrosmose ist die Erscheinung, dass Flüssigkeiten im elektrischen Feld zweier Elektroden durch poröse Stoffe zur einen Elektrode wandern.

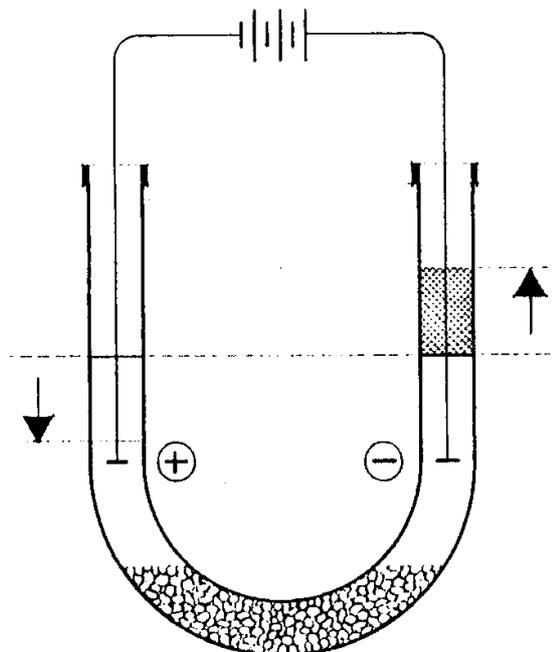


Bild 9.4: Funktionsprinzip: Elektrosmose

Umgekehrt führt Wasser, das in Kapillaren aufsteigt, Ladungen mit sich, wodurch sich ein Strömungspotential ausbildet.

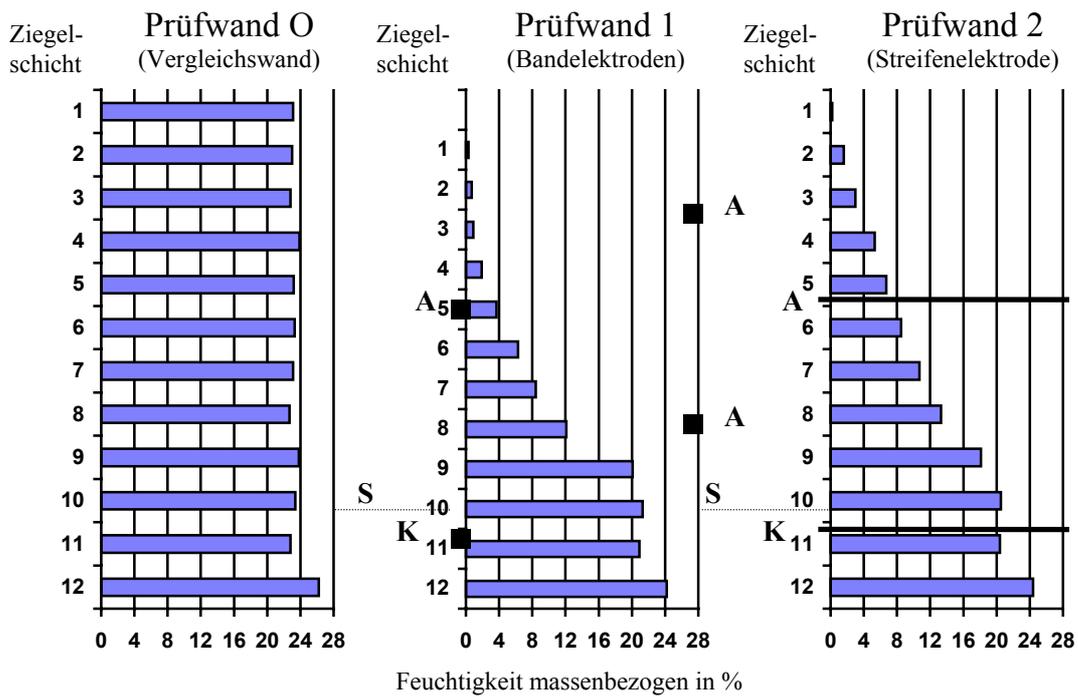
a) Passive Elektro-Osmose

Bei der passiven Elektro-Osmose wird lediglich eine Elektrode im Erdreich und in der Wand angebracht, welche einen Ausgleich des Strömungspotentials und ein Gegenfließen des Wassers zur Folge haben soll. Diese Methode kann jedoch nicht zum Erfolg führen, denn es gibt keinen Grund, warum sich die Erde gegenüber dem Mauerwerk umpolen sollte.

b) Aktive Elektro-Osmose

Dabei wird eine Fremdspannung angelegt, welche dem Mauerpotential entgegengesetzt ist. Hierdurch wird der Kapillarfluss umgekehrt. Doch bei der Verwendung von metallischen Elektroden überziehen sich diese schon beim Einbau mit einer Oxyd-Schicht. Um die Isolatorwirkung dieser Schicht zu überwinden, muss man relativ hohe Spannungen anlegen. Allgemein üblich sind Spannungen von 3 bis 15 V. Die Folge ist, bereits bei 1,23 V, elektrolytische Zersetzung des Wassers, die je nach pH-Wert auch bei niedrigeren Spannungen einsetzen kann: Wasserstoff und Sauerstoff entsteht. Wasserstoff bildet mit der Luft die hinreichend bekannte Knallgasmischung. Der Sauerstoff zerstört die Anode, auch wenn sie aus Graphit besteht. Nach einer Zeit hat sich die Anlage selbst aufgelöst. Hinzu kommt, dass das Korrosionspotential den Kapillarfluss beschleunigt. Die Fremdspannung müsste dann notwendigerweise 1,2 - 1,5 V sein, um das Korrosionspotential aufzuheben. Man hätte dann schon soviel erreicht, wie vor dem Einbau der Anlage. Um nun den Kapillarfluss umzudrehen, müsste die Spannung nochmals erhöht werden, so dass man auf jeden Fall die Zersetzungsspannung des Wassers überschreitet. Dies bedeutet folgendes: Die Verdunstung des Wassers wird gefördert und der Salztransport angekurbelt, die Folge dessen sind Salzsprengungen.

Für eine funktionsfähige Elektro-Osmose müssen folgende Forderungen erfüllt sein: Die Elektroden müssen chemisch völlig resistent sein, die Anodenspannung darf nicht die Zersetzungsspannung des Wassers erreichen. Zwischen Anoden und Kathoden darf keine elektrochemische Spannung auftreten. Bei Untersuchungen der Bundesanstalt für Materialprüfung Berlin ergab sich bei einem Verfahren eine dauerhafte Funktionsfähigkeit, bei welchem die Elektroden aus dem Kunststoff Teflon bestanden. Nicht nur an einer Labormauer, sondern auch an Bauobjekten wurden hiermit sehr gute Erfahrungen gemacht. Zur Verdeutlichung sind in nachfolgendem Bild die Feuchtigkeitsverteilungen in Prüfwänden nach einer zweijährigen Versuchsdauer bei Anwendung der aktiven Elektro-Osmose dargestellt.



A = Anoden **K** = Kathoden **S** = Wasserspiegel

Bild 9.5: Feuchtigkeitsverteilungen in Prüfwänden nach 2 jährigen Versuchszeitraum

10 Beispiele von Bauschäden

Die Beispiele sind nicht Bestandteil dieses Skripts.

11 Literatur

- [1] Schild, Oswald, Rogier, Schweikert, Schnaupff: *Bauschadensverhütung im Wohnungsbau. Schwachstellen. Schäden, Ursachen, Konstruktions- und Ausführungsempfehlungen*. Band 1: *Flachdächer, Dachterrassen, Balkone*. Band 2: *Außenwände und Öffnungsanschlüsse*. Band 3: *Keller, Drainage*. Band 4: *Innenwände, Decken, Fußböden*. Band 5: *Fenster und Außentüren*. Bauverlag GmbH Wiesbaden und Berlin (1979 - 1982).
- [2] Zimmermann, G. *Bauschädensammlung. Sachverhalt – Ursachen – Sanierung*. Forum- Verlag, Stuttgart, 1976.
- [3] Zapke, W. und Ebert, H.: *k-Werte alter Bauteile - Arbeitsunterlagen zur Rationalisierung wärmetechnischer Berechnungen bei der Modernisierung*. Schriftenreihe der RG-Bau Rationalisierungs-Gesellschaft „Bauwesen“, Heft 22, Dez. 1983.
- [4] Statistisches Bundesamt (Hrsg.): *Datenreport 1999*. Zahlen und Fakten über die Bundesrepublik Deutschland. Bonn 2000.
- [5] Hauser, G.: *Umweltbewußtes energiesparendes Bauen. Realisierungs- und Durchsetzungsmöglichkeiten*. Baugewerbe 71 (1991), H. 18, S. 24-27, H. 19, S. 14-21.
- [6] Müller, K.G.: *Emissionsminderung bei Heizanlagen. VDI-Fachtagung über den Stand der Technik und künftige Entwicklung von Kleinfeuerungsanlagen*. HLH 38 (1987), H. 4, S. 167-170.
- [7] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten, Wiesbaden (Hrsg.): *Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme (GEMIS), Version 2.1*, Öko-Institut Darmstadt, Freiburg, Berlin, Kassel, Wiesbaden, April 1995.
- [8] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.): *Energie Daten 2000. Nationale und internationale Entwicklung*. Juli 2000.
- [9] VDEW (1993). Aus Stromthemen 12 (1995), Nr. 12, S. 3.
- [10] Bundesministerium für Wirtschaft: *Energiedaten '96. Nationale und internationale Entwicklung* (Okt. 1996).
- [11] Hauser, G. und Otto, F.: *Dämmstoff mit hoher Wärmespeicherfähigkeit für den sommerlichen Wärmeschutz*. bauen mit holz 101 (1999), H. 8, S. 34-40
- [12] Hauser, G.: *Feuchteschutztechnische Probleme infolge von Energieeinsparmaßnahmen?* Deutsche Bauzeitschrift 35 (1987), H. 4, S. 433-437.
- [13] Born, R.; Ebel, W.; Eicke-Henning, W.; Feist, W.; Jäckel, M.; Logar, T.; Schmidt, H.; Storch; Hildebrandt, O. und Siepel, B.: *Empirische Überprüfung der Möglichkeiten und Kosten, im Gebäudebestand und bei Neubauten Energie einzusparen und die Energieeffizienz zu steigern (ABL und NBL)*. Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1995.
- [14] DIN EN 12 494: *Vor-Ort-Messung des Wärmedurchlaßwiderstandes von Oberfläche zu Oberfläche* (Entwurf Nov. 1996).
- [15] *Finish - Das Fachwissen für den Profi. Bekämpfung von Holzschädlingen*. Hrsg. Desowas Materialschutz GmbH, Düsseldorf, März 1991.
- [16] Erfurth, U.: *Aufsteigende Mauerfeuchtigkeit - Ursachen und Gegenmaßnahmen*. Detail (1979), H.2, S. 133-136.
- [17] Richter, H. und Schimmelwitz, P.: *Untersuchung von Verfahren zur Trockenlegung von Mauerwerk*. Bauphysik 2 (1980), H. 6, S 207 – 212