Henning Großeschmidt, Thermische Bauphysik

h.grosseschmidt@fitec.de
24.11.2011

Sanierung erdberührter Bauteile mit Sockelheizrohren

(Kellerräume, nichtunterkellerte Erdgeschosse, Räume in Hanglage)

Vorbehandlung der Außenwände

Wie die Beispiele von erdberührten Wänden, die von außen nicht zugänglich sind (Teilunterkellerung) zeigten, ist bei Temperierung eine Freilegung der Wandaußenseiten nicht erforderlich. Voraussetzung dafür ist, dass an den Innenseiten alle Risse und mürbe Mauerwerksfugen min. 2 cm tief ausgeschabt und mit Mörtel ausgefugt werden. Die Maßnahme dient dazu, im raumnahen Bereich der erdberührten Außenbauteile eine Zone herzustellen, in der als Weg für Wassermoleküle nur noch der Kapillarraum (der Steine und des Fugenmörtels) übrig ist. Dadurch wird bereits das Eindringen flüssigen Wassers (Sickerwasser, drückendes Wasser) verhindert.

Sind *Ausschachtungen* wegen anderer Erfordernisse nötig (Verlegung von Leitungen etc.), kann die Außenseite analog behandelt werden: Das Fugennetz wird ausgebürstet, die Fläche dann so verputzt, dass auch die Fugen aufgefüllt werden. Dies kann mit einem Zementputz geschehen (Stärke 3 cm). Nach dessen Erhärtung wird weder ein wasserdichter Anstrich, noch eine Perimeterdämmung angebracht, sondern der Aushub verdichtet verfüllt (ggf. ergänzt). Statt der Zementschicht kann auch eine Lehmpackung (Stärke 10 - 15 cm) aufgebracht werden. Die verdichtete Verfüllung des Aushubs geschieht dann aber Zug um Zug abschnittsweise mit dem Hochführen der Lehmpackung.

Eine *Kieshinterfüllung* der Außenbauteile ist nicht sinnvoll, da sie das Hinuntersickern von Oberflächenwasser (Regen) erlaubt. Dieses muss vielmehr oberflächlich abgeführt werden durch entsprechende Neigung des gebäudenahen Geländes weg vom Gebäude. Ein Kiesstreifen als Spritzwasserschutz sollte nur eine geringe Stärke haben (10 cm) und auf verdichtetem Aushub oder Lehm liegen. Auch der Einsatz von *Dränagerohren* ist nicht sinnvoll, da bei der Verfüllung der Baugrube mit verdichtetem Material eine Bewegung von Wasser als Flüssigkeit (Sickerwasser, drückendes Wasser) nicht zulässt, entsprechende abzuführende Wassermengen am Dränagerohr also gar nicht auftreten können.

Wirkungsmechanismus

Die Raumbeheizung über Sockelheizrohre führt zur Temperierung der inneren Oberflächen, und zwar a) durch den Auftrieb, der vom Putz der jeweiligen Sockelschleife ausgeht, und b) durch die von den übrigen beheizten Sockeln ausgehende Fernstrahlung. Das ganzflächige Wärmegefälle in den so beheizten Außenbauteilen unterbindet dann das Durchdringen von Erdfeuchte, da die Wassermoleküle sich im Kapillarraum nur über Wasserstoffbrückenbildung an den Oberflächen der Kapillarwände fortbewegen können, diese Bewegungsmöglichkeit aber durch die erhöhte Wärmeschwingung der Moleküle des temperierten Baumaterials ausgeschaltet wird.

Das Eindringen von Erdfeuchte über den Kapillarweg in das Mauerwerk wird also durch die Temperierung der Außenbauteile verhindert. Diese Wirkung ist aber nicht nur auf die Heizperiode beschränkt, da auch in der warmen Jahreshälfte die Sockelheizrohre zur Sommertemperierung weiter betrieben werden müssen. Im Sommer ist die Absolutfeuchte der Außenluft (aus der der Feuchtegehalt der Raumluft folgt) wesentlich höher als im Winter. Nach Abschalten der Heizung kühlen erdberührte Räume aber unter 18 °C ab. Eine leichte Temperierung der Bauteile ist daher

weiterhin erforderlich, damit weder eine Feuchteabscheidung aus der Raumluft an ihnen erfolgen kann, noch die rel. Luftfeuchte über 65 % ansteigt, so dass an der Raumausstattung Schimmel auftreten könnte. Der Einsatz von Luftentfeuchtern ist in solchen Räumen keine Lösung, da der aus der Raumluft entfernte Wasserdampf aus dem Kapillarsystem nachkommt und dabei neue Ionen aus dem Erdreich mitbringt. Das gleiche geschieht bei Heizkörperheizung durch den durch die Luftaufheizung verstärkten Luftwechsel.

Dank der physikalischen Wirkung der Hüllflächentemperierung stellt sich an ungedämmten Bodenflächen dieselbe Temperatur ein, die als Raumtemperatur durch die jeweilige Auslegung und Betriebsweise erreicht wird (z. B. 21 °C im Kellergeschoss des Alpinmuseums München). Durch die konsequente Umfahrung der Bodenfläche mit Sockelheizrohren bildet sich unter dem Belag ein *kastenförmiger* Wärmestau. Die Bodenflächen werden dabei trocken."Fußkälte", Ausblühungen und Sommerkondensat werden durch Randbeheizung und Wärmestau im Boden ohne Änderung des Aufbaus ausgeschaltet. (Die "Klopfersche Wärme*linse*" wurde an ungedämmten Industrieestrichen bei *Luft*heizung festgestellt. Siehe S. 3 und 4, Auszug aus Beton 6/1995. H. Klopfer: "Müssen Industrieestriche gedämmt werden?").

Ausbildung der Böden

Bei Raumbeheizung durch Sockelheizrohre entfallen die allgemein üblichen Maßnahmen wie kapillarbrechende Schicht, Feuchtesperre, Wärmedämmung und schwimmender Estrich. Historische Böden mit mineralischem Belag müssen nicht aufgenommen werden, wenn die Tragschicht stabil ist. Risse müssen gut ausgefugt werden. Mineralische Beläge können monolithisch auf einem Verbundestrich als Ausgleich plus Klebemörtel oder auf einem Dickbett direkt auf dem Unterbeton verlegt werden. Diese "historische" Verlegeart verhindert sowohl die Bildung von Raumschall, der beim Gehen auf schwimmenden Estrichen durch die Resonanz der Estrichplatte hervorgerufen wird, wie auch die bei weichen Dämmschichten am Plattenrand auftretenden Abrissfugen. In Bädern oder Wohnräumen mit mineralischem Bodenbelag können einige Heizrohre im Abstand von je 1 m in den Ausgleich gelegt werden. Holzböden benötigen weder Heizrohre, noch weitere Maßnahmen zum Feuchteschutz der Unterkonstruktion. Sie kann wegen der Temperierung des Hohlraums direkt auf dem Unterbeton aufgebracht werden.

Feststoffe, die sich an der Hydratation beteiligen können (wie z. B. Silikastaub aus der Ferrosilicium-Herstellung), einzusetzen. Durch den Einsatz von Silikastaub ist eine Verminderung der Eindringmenge auf etwa die Hälfte erreichbar (Bild 5). Gleichzeitig steigt beim Einsatz von Silikastaub die Druckfestigkeit der Betone deutlich an. Dieser für zwangbeanspruchte Stahlbetonbauwerke aufgrund der Rißbreitensteuerung nicht zwingend günstige Effekt kann z. B. bei Estrichen ohne Verbund von Vorteil sein.

Aus der Tatsache heraus, daß Beton bei ständiger Durchfeuchtung durch Nachhydratation und Quellen vorhandener Hydrate immer dichter wird, wurden Betone entwickelt, die abdichtende Kunststoffe enthalten. Diese Kunststoffe werden als Dispersionen oder feinkörnige Feststoffe bei der Betonherstellung mit eingebracht. Sie binden (fixieren) die eindringenden organischen Flüssigkeiten, quellen dadurch auf und verstopfen die Poren oder sie lösen sich in der eindringenden Flüssigkeit und erhöhen dadurch stark deren Viskosität. Diese beiden Wirkungsmechanismen der Kunststoffe werden schematisch dargestellt (Bild 6). Dieser Einsatz von Kunststoffen zur Steigerung der Dichtheit von Betonen gegenüber organischen Flüssigkeiten ist vom FIZ entwickelt worden.

6

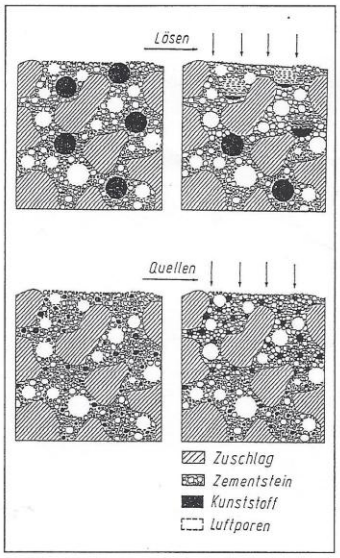

Bild 6: Selbstabdichtung von Beton durch lösliche oder quellfähige Kunststoffzusätze

Der Einfluß der Kunststoffe auf die Eindringmengen von Methylenchlorid bei ansonsten gleichartig zusammengesetzten Betonen ist sehr ausgeprägt. Durch den Einsatz der Kunststoffe werden die Eindringmengen der organischen Flüssigkeit auf etwa die Hälfte reduziert. Dabei erfolgt kein Anstieg der Druckfestigkeit wie beim Silikabeton. Im Gegenteil: Während sich die löslichen Kunststoffkugeln bezüglich der Betondruckfestigkeit in den hier eingesetzten Mengen weitgehend indifferent verhalten, führen die Dispersionen zu einer Verminderung der Druckfestigkeit von etwa 10 % bis 20 % bei Einsatzmengen von 10 % des Zementgewichts als Dispersion. Dies kann sich für die Rißbreitensteuerung als günstig erweisen.

Insgesamt zeigen die vorgestellten Versuchsergebnisse, daß sachgerecht hergestellte Betone mit w/z-Werten w/z ≤ 0,50 bereits eine derart große Dichtheit gegenüber organischen Flüssigkeiten aufweisen, daß sie hervorragend für die Konstruktion von Auffang- oder Lagerflächen geeignet sind. Die Dichtheit des Betons kann durch den Einsatz von Silikastaub oder organischen Polymeren noch einmal deutlich gesteigert werden.

Wärmedämmung

H. Klopfer, Universität Dortmund, behandelte in seinem Vortrag die Frage, ob Industriefußböden wärmegedämmt werden müssen. Forderungen und Empfehlungen dazu finden sich in der Landesbauordnung, Arbeitsstätten-Verordnung sowie den -Richtlinien, Wärmeschutzverordnung sowie der DIN 4108 Wärmeschutz im Hochbau.

Die Landesbauordnungen der einzelnen Bundesländer unterscheiden sich nur geringfügig. Vereinfacht enthalten sie folgende Forderungen:

- Böden nicht unterkellerter Aufenthaltsräume müssen wärmegedämmt sein.
- Deckenbeläge (Fußböden) in Aufenthaltsräumen sollen einen Schutz gegen Wärmeableitung bieten.
- Wenn die Decken der Feuchtigkeit ausgesetzt sind, sind sie wasserundurchlässig herzustellen.
- Böden von nicht unterkellerten Aufenthaltsräumen, Lager für Lebensmittel und ähnlich genutzte Räume sind gegen aufsteigende Feuchtigkeit zu schützen.

Unter Aufenthaltsräumen sind Räume in Wohnungen und Büros zu verstehen, die einen längeren Aufenthalt ohne Beeinträchtigung der Gesundheit und der Leistungsfähigkeit sowie des Wohlbefindens ermöglichen müssen. Geschäftsräume und Verkaufsräume können Aufenthaltsräume sein, sie können aber auch wie Fertigungsstätten, Industriehallen usw. als Arbeitsstätten gelten. Gemischte Nutzungen sind recht häufig. So sind das Büro des Marktleiters, ein Friseurgeschäft, eine Arztpraxis und der Kassenbereich in einem Warenmarkt als Aufenthaltsräume anzusehen. Der Selbstbedienungsbereich des Warenmarktes, in dem sich die Kunden in Straßenbekleidung mit ihren Einkaufswagen bewegen, muß dagegen die hohen Anforderungen an einen Aufenthaltsraum nicht erfüllen.

In Fertigungsstätten mit stehenden oder sich bewegenden Arbeitskräften sind in aller Regel nur einzelne Bereiche als Aufenthaltsräume anzusehen, z.B. die Büroräume des Meisters, der Verwaltung, der Buchhaltung usw. In solchen Fertigungsstätten aber, in denen die Arbeitskräfte an Tischen sitzend arbeiten, müssen die Anforderungen an einen Aufenthaltsraum eingehalten werden.

In § 8, „Fußböden, Wände, Decken, Dächer“ der Verordnung über Arbeitsstätten wird gefordert, daß Standflächen an Arbeitsplätzen unter Berücksichtigung der Art des Betriebs und der körperlichen Tätigkeit der Arbeitnehmer eine ausreichende Wärmedämmung aufweisen müssen. Jedoch darf der Arbeitgeber von den Regeln und Erkenntnissen dieser Verordnung abweichen, wenn er ebenso wirksame Maßnahmen trifft. Auf Verlangen der zuständigen Behörde muß der Arbeitgeber im Einzelfall nachweisen, daß die andere Maßnahme ebenso wirksam ist.

Eine Präzisierung dieser relativ allgemein gehaltenen Anforderungen findet sich in den Arbeitsstätten-Richtlinien (ASR). Als Raumtemperatur gilt die Lufttemperatur, gemessen in einer Höhe von 0,75 m über dem Fußboden. Die Mindesttemperatur beträgt in Büroräumen 20 °C, in Verkaufsräumen 19°C, bei überwiegend sitzender Tätigkeit 19°C, bei überwiegend nicht sitzender Tätigkeit 17°C, bei schwerer körperlicher Tätigkeit 12°C sowie die Höchst-Temperatur 26 °C.

An Standflächen von Arbeitsplätzen ist zum Schutz gegen Wärmeableitung für die oberflächennahen Schichten des Fußbodens Material zu verwenden, das eine Wärmeleitzahl von höchstens 0,70 W/mK hat. Dazu zählen Holz und Holzwerkstoffe (≤ 0,20 W/mK), Linoleum (= 0,17), Kunststoffbeläge (= 0,23), Bitumenbahnen (= 0,17), Vulkanische poröse Natursteine (= 0,55), Gummi (= 0,20) sowie Kunstharzbeschichtung (= 0,70).

Nach der ASR gewährleistet auch eine Oberflächentemperatur von nicht weniger als 18 °C einen ausreichenden Schutz gegen Wärmeableitung. Hier ist aus bauphysikalischer Sicht anzumerken, daß zu bezweifeln ist, ob eine Oberflächentemperatur von wenigstens 18 °C immer einen ausreichenden Schutz gegen Wärmeableitung darstellt. Wenn aus hygienischen und betriebstechnischen Gründen oder aufgrund der Verrichtung von schweren körperlichen Arbeiten ein ausreichender Schutz gegen Wärmeableitung nicht möglich ist, sind Ersatzmaßnahmen, z.B. gegen Verrutschen gesicherte Fußbodenauflagen, vorzusehen.

Ziel der Wärmeschutzverordnung als Ausführungsbestimmung des Energieeinsparungsgesetzes ist eine Bauweise und eine Gebäudeausrüstung, die Heizenergie einspart. Die am 1. Januar 1995 in Kraft getretene Neufassung der Wärmeschutzverordnung unterscheidet zu errichtende Gebäude mit normalen Innentemperaturen (T > 19°C) und zu errichtende Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen (T < 19°C) sowie den Einbau, Ersatz und die Erneuerung von Bauteilen.

Bei zu errichtenden Gebäuden mit normalen Innentemperaturen muß der Jahresheizwärmebedarf errechnet werden, wobei die Transmissionswärme, die Lüftungswärme, die internen Wärmegewinne und die solaren Wärmegewinne zu berücksichtigen sind. Bei der Berücksichtigung des Transmissionswärmeverlustes von Fußböden mit Erdkontakt ist der Wärmedurchgangskoeffizient mit dem Faktor 0,5 zu gewichten.

Bei zu errichtenden Gebäuden mit niedrigen Innentemperaturen ist der Reduktionsfaktor

für wärmegedämmte Fußböden ebenfalls mit dem Wert 0,5 anzusetzen. Bei ungedämmten Fußböden ist der Reduktionsfaktor aus einer Tabelle zu entnehmen, in der die Reduktionsfaktoren in Abhängigkeit von der Größe der Gebäudegrundfläche angegeben sind. Für eine Gebäudegrundfläche von höchstens 100 m² gilt wieder der Reduktionsfaktor 0,5, mit steigender Grundfläche fällt der Reduktionsfaktor bis auf den Minimalwert von 0,12, der ab 8000 m² Grundfläche einzusetzen ist. Damit wird der Effekt der sogenannten Wärmelinse berücksichtigt. Der Wärmedurchgangskoeffizient k von ungedämmten Fußböden gegen Erdreich braucht aber nicht höher als 2,0 W/m²K angesetzt zu werden.

Wenn Bauteile von Gebäuden erstmalig eingebaut, ersetzt oder erneuert werden, darf deren Wärmedurchgangskoeffizient eine bestimmte Größe nicht überschreiten. Decken in Gebäuden mit normalen Innentemperaturen, die an das Erdreich grenzen, dürfen keinen größeren Wärmedurchgangskoeffizienten aufweisen als 0,5 W/mK. An erdberührenden Decken in Gebäuden mit niedrigen Innentemperaturen sind keine entsprechenden Anforderungen gestellt.

Wegen der Anforderungen der Wärmeschutzverordnung müssen großflächige erdberührende Fußböden wohl immer wärmegedämmt werden, wenn darüber Aufenthaltsräume liegen. Wenn Raumtemperaturen < 19 °C herrschen, was bei Arbeitsstätten mit nicht vorwiegend sitzender Tätigkeit die Regel sein dürfte, wird eine Wärmedämmung des Fußbodens in der Regel nicht erforderlich sein, vor allem wenn die Bodenfläche recht groß ist und die Wände sowie die Dachdecke gut wärmegedämmt sind.

Die DIN 4108 „Wärmeschutz im Hochbau" umfaßt fünf Teile, von denen Teil 2 mit dem Titel „Wärmedämmung und Wärmespeicherung, Anforderungen und Hinweise für Planung und Ausführung" bei Aufenthaltsräumen in Hochbauten, die ihrer Bestimmung nach auf normale Innentemperaturen (≤ 19 °C) beheizt werden, zu beachten ist. Ziel des Mindestwärmeschutzes ist es, das betreffende Bauteil tauwasserfrei zu halten. Für den unteren Abschluß nicht unterkellerter Aufenthaltsräume, der unmittelbar an Erdreich angrenzt, wird dort ein Wärmedurchgangskoeffizient von k ≤ 0,93 W/m²K gefordert. Das entspricht einer Betondecke mit einer etwa 4 cm dicken Wärmedämmschicht.

Außerdem geht aus DIN 4108 Teil 2 hervor, daß bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten nur die Baustoffschichten berücksichtigt werden dürfen, die durch die Bauwerksabdichtung vor Durchfeuchtung geschützt sind. Indirekt kann DIN 4108 Teil 2 entnommen werden, daß der Dämmstoff zur Erfüllung des Mindestwärmeschutzes in der Schichtenfolge des Fußbodens an beliebiger Stelle angeordnet werden darf, wenn nicht weitere Gründe eine bestimmte Anordnung bedingen. Ist er vor Feuchte ,oder Wasser geschützt, darf normaler Dämmstoff verwendet werden, ist er dagegen nicht geschützt, müssen spezielle, teurere Dämmstoffe eingesetzt werden.

Für alle Bauteile, für die in DIN 4108 ein Mindestwärmeschutz gefordert wird, erscheint

7

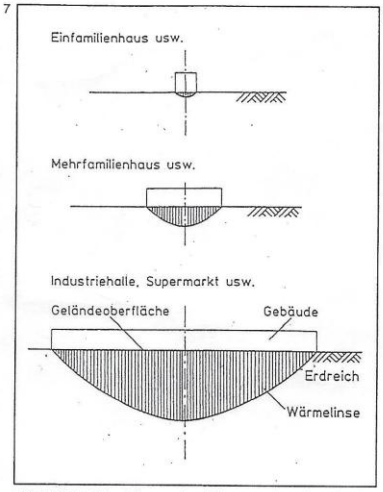

Bild 7: Die Wärmelinse unter kleinen und großen Gebäuden bei großer Grundwassertiefe

dieser auch sinnvoll, ausgenommen großflächige erdberührte Bodenplatten. Denn bei den letzteren bildet sich im Laufe von etwa einem Jahr eine Wärmelinse im Erdreich unter der Bodenplatte aus, die den Wärmeabfluß behindert und den Fußboden warm hält (Bild 7). In beheizten Gebäuden mit kleiner Grundfläche bildet sich zwar ebenfalls eine Wärmelinse, die jedoch unbedeutend ist. Die Aufgabe des Mindestwärmeschutzes, eine Tauwasserbildung an dem betreffenden Bauteil zu vermeiden, wird bei großflächigen erdberührenden Bodenplatten also schon von der Wärmelinse erreicht, so daß ein Mindestwärmeschutz in Form einer Wärmedämmschicht überflüssig erscheint. Die Wärmedämmwirkung der Wärmelinse nimmt mit der Größe der Fläche der Bodenplatte zu und ist bei einer Halle von 6000 m² Grundfläche um ein mehrfaches größer als diejenige einer 4 cm dicken Dämmstoffschicht.

Man könnte nun vermuten, daß eine zusätzliche Wärmedämmschicht, bemessen nach den Forderungen des Mindestwärmeschutzes, weitere Vorteile bieten könnte, wie Fußwärme oder Heizkosteneinsparung. Beides ist jedoch nicht gegeben. Ob ein Fußboden als fußwarm erscheint, hängt entscheidend von den obersten Schichten des Bodens ab. Ein Betonboden, unter dem eine Wärmedämmschicht liegt, ist so wenig fußwarm wie ein Betonboden, der direkt auf dem Erdreich liegt. Dagegen erzeugt eine wärmedämmende Schicht oben auf einem Betonboden, z.B. ein Holzpflaster, Parkett, Teppichboden, eine fußwarme Gehfläche.

Der Temperaturverlauf im Erdreich unter dem ungedämmten Betonfußboden als Funktion der Zeit kann in einer Computersimulation dargestellt werden. Bei dieser Berechnung wurde vorausgesetzt, daß in 10 m Tiefe fließendes Grundwasser ansteht. Danach stellen sich bei einer Raumlufttemperatur von 20 °C an der Bodenoberfläche folgende Temperaturen zu den angegebenen Zeiten nach Heizbeginn ein: nach 1 Tag 15,0 °C, nach 10 Tagen 17,8 °C, nach 100 Tagen 19,4 °C und nach 1 000 Tagen 19,8 °C. Die Temperatur der Bodenoberfläche nähert sich also asymptotisch der Raumlufttemperatur (Bild 8).

Beim Bewerten dieser Oberflächen-Temperaturen ist es hilfreich, wenn man bedenkt, daß auch an gut gedämmten Außenbauteilen, die außenseitig von der Außenluft umspült werden, im Winter bei einer Raumlufttemperatur von 20 °C die raumseitigen Oberflächen-Temperaturen etwa zwischen 15 °C und 18 °C liegen, ohne sich mittel- oder langfristig der Raumlufttemperatur weiter anzunähern. D.h., die Wärmelinse unter dem Fußboden erzeugt raumseitig höhere Oberflächentemperaturen als eine gut gedämmte Außenwand bei Wintertemperaturen.

8

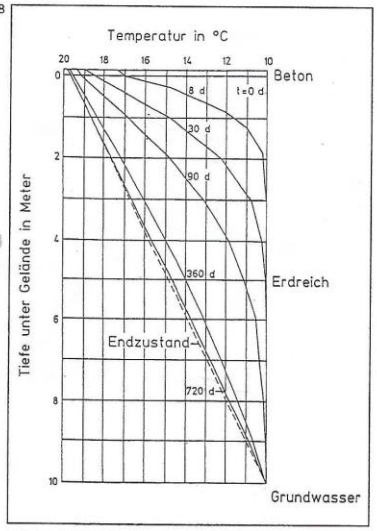

Bild 8: Temperaturanstieg im Boden unter einer nicht wärmegedämmten Bodenplatte nach Heizbeginn

DIN 4108 Teil 2 fordert für Aufenthaltsräume außerdem, daß der Mindestwärmeschutz an jeder Stelle vorhanden sein muß, auch an sogenannten Wärmebrücken. Die Bodentemperatur im Halleninneren fällt bei Annäherung an die Außenwand ab, was mit den Forderungen des Mindestwärmeschutzes nicht zu vereinbaren ist. Es liegt eine Wärmebrücke vor, denn am Fußpunkt der Außenwand findet ein erhöhter Wärmeabfluß statt. Dem muß durch bauliche Maßnahmen begegnet werden, z.B. durch eine horizontale Wärmedämmschicht an dem Rand des Hallenbodens oder durch eine senkrecht im Bereich des Außenwandfußes verlaufende Wärmedämmschicht. Durch beide Maßnahmen wird das Absinken der Oberflächen-Temperatur des Hallenbodens in der Nähe der Außenwand deutlich reduziert. In diesem Bereich muß der Fußboden bei Aufenthaltsräumen also wärmegedämmt werden. Hierfür genügt bei einer lotrecht verlaufenden Dämmschicht eine Tiefe von 1,00 m.

Schäden an Industrieböden

E. Cziesielski, Berlin, stellte typische Schäden an Industrieböden dar. Die Kosten für In-