



Kapitel 14

ABDICHTUNG

Stand: 08/2025

Prof. Dipl.-Ing. Matthias Zöller, Al Bau, Aachen



1. Einleitung

KS-Mauerwerk ist grundsätzlich feuchtebeständig. Steine und Mörtel brauchen nicht zwingend in allen Situationen eine schützende, wasserdichte Schicht. So schützt z.B. zweischaliges Verblendmauerwerk hervorragend gegen Schlagregen. Bei erdberührten Wänden müssen nicht alle Mauerwerksbauteile durch Abdichtungen geschützt werden. Ständig feuchte, von Erdreich umgebene Grundmauern bleiben in der Regel dauerhaft gebrauchstauglich. Es wird empfohlen:

- für ungeschütztes Mauerwerk im Erdreich sind grundsätzlich KS-Vollsteine mindestens der Festigkeitsklasse 20 einzusetzen.
- im Frostbereich sind frostwiderstandsfähige KS-Vollsteine zu verwenden.

Räume in Untergeschossen neuer Gebäude werden, selbst wenn sie nicht als Wohnräume dienen, häufig hochwertig genutzt. Dort werden auch feuchteempfindliche Dinge gelagert, wie Papier oder Kleidung, die schon gegenüber höherer Luftfeuchtigkeit empfindlich sind. Solche Nutzungen benötigen Bauwerksabdichtungen an den erdberührten Bauteilen, die dafür sorgen, dass außerhalb des Gebäudes anstehendes Erdreich kein Wasser oder auch nur Feuchtigkeit in die Innenräume abgeben kann.

Bauwerksabdichtungen sind notwendig, wenn:

- nur durch die Abdichtung die beabsichtigte Nutzung der Räume im Gebäudeinneren ermöglicht wird oder
- die Bauteile durch Abdichtungen vor Schäden zu schützen sind.

Zur benötigten Trockenheit der Raumluft sind aber in der Regel zusätzliche Maßnahmen vorzusehen, um die, gerade im Sommer auftretende, hohe Luftfeuchtigkeit zu vermeiden. Diese entsteht durch Lüftungsvorgänge bei wärmerer Außenluft in kühlen Untergeschossräumen. In den kühlen Räumen wird die warme Außenluft abgekühlt und kann dadurch weniger Wasserdampf speichern. Der in der Luft enthaltene überschüssige Wasserdampf kondensiert als Wasser an den kühlen Bauteiloberflächen. Dieses Tauwasser muss sich nicht unmittelbar zeigen, wenn es vom Untergrund absorbiert wird. Für die Entstehung von Schimmelpilzen muss jedoch nicht zwingend Tauwasser vorhanden sein. Bereits eine hohe relative Luftfeuchtigkeit genügt für die Bildung von Schimmelpilzen. Es ist daher nicht nur auf eine korrekte Abdichtung der erdberührten Bauteile zu achten, sondern auch auf das richtige Lüftungsverhalten der Nutzer.

Maßnahmen gegen Feuchtigkeit aus anderen Ursachen

Die Norm für Bauwerksabdichtung beschreibt keine Maßnahmen gegen andere Feuchtigkeitsquellen, gibt aber Hinweise dazu. Bei einer Raumnutzung, die eine trockene Raumluft erfordert, soll Feuchtigkeitsbildung aus z.B. Tauwasser bei sommerlichem Lüften vermieden werden (Bild 1).

DIN 18533-1 [1] enthält beispielhaft Hinweise zu Maßnahmen, die über die Anforderungen der Abdichtung hinausgehen, wie z.B. Wärmedämmung, Beheizung, Belüftung der Räume oder Raumlufttrocknung.

Im Folgenden werden die Anforderungen und die Grundlagen für den Feuchtigkeitsschutz durch Abdichtung von erdberührten Bauteilen im Allgemeinen und mit KS-Mauerwerk im Speziellen erläutert.

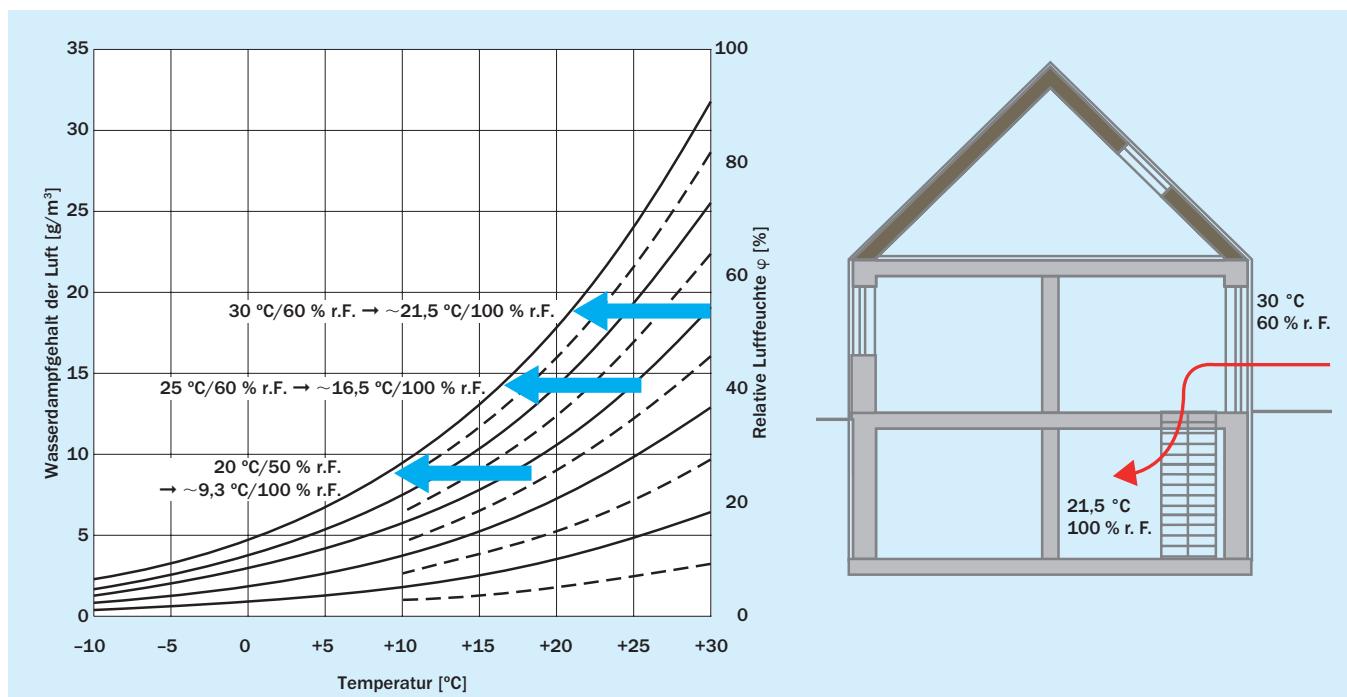


Bild 1 Links: Das Carrier-Diagramm (Wilis Haviland Carrier) zeigt den Zusammenhang zwischen der Temperatur und der Kapazität von Luft auf, Wasser in Gasform (Wasserdampf) aufzunehmen. Mit steigender Temperatur steigt auch die Wasserdampfkapazität. Bei gleichbleibendem Wasserdampfgehalt und sich ändernden Temperaturen ändert sich die relative Luftfeuchtigkeit, die das Verhältnis zwischen vorhandenem und dem aufnehmbaren Wasserdampf beschreibt.
Rechts: Das hat zur Folge, dass bei sommerlichem Lüften kühle Untergeschosse von innen feucht werden können

2. Feuchtetransport

2.1 Strömen

Zum Schutz gegen von aus dem Baugrund auf Bauteilflächen einwirkendes Druckwasser sind durchgehende und vollständige wasserdichte Abdichtungen oder durchgehend wasserundurchlässige Betonkonstruktionen erforderlich. Diese Schutzmaßnahmen dürfen auch an Details, zum Beispiel an Anschlüssen, keine Lücken aufweisen.

2.2 Kapillartransport

Unter der Annahme, Wasser könnte Beton kapillar durchdringen, ist Wasser in den Kapillaren gebunden und kann aus diesen nicht austreten, wie das Modell einer strohhalmartigen Kapillare im Wasser verdeutlicht (Bild 2).

Kapillarkräfte sind größer als die Erdanziehungskraft, sie wirken in Saugspannung, also in einem geringeren Druck als der atmosphärische Luftdruck. Die Schwerkraft wirkt sich nicht auf die Kapillarität aus. Der Kapillartransport ist aber an Kapillare gebunden und endet an Bauteiloberflächen [2]. Zur Verdeutlichung: Wäre das anders, könnte aus Kapillaren an Bauteiloberflächen ausgetretenes Wasser über eine kleine Turbine geleitet und unteren Enden von Kapillaren wieder zugeführt werden, damit es an deren oberen Enden wieder austritt. Das wäre ein „Perpetuum mobile“, das permanent Energie abgibt, ohne dass diese von außen zugeführt oder aus atomarer Energie zur Verfügung gestellt würde. Das wäre ein Verstoß gegen den physikalischen Grundsatz des Energieerhaltungssatzes.

Nur bei unmittelbar angrenzenden, kapillar leitfähigen Stoffen, z.B. in Mörtelschichten, könnte durch „andocken“ von Kapillaren, vergleichbar durch Aufpressen eines Löschblatts, Kapillarwasser aufgesogen werden.

Künzel [3] stellte fest, dass Mauerwerk unmittelbar über Gründungen, das an Seen oder an Fließgewässern steht, nicht nass ist (vergleichbar zu Bild 3).

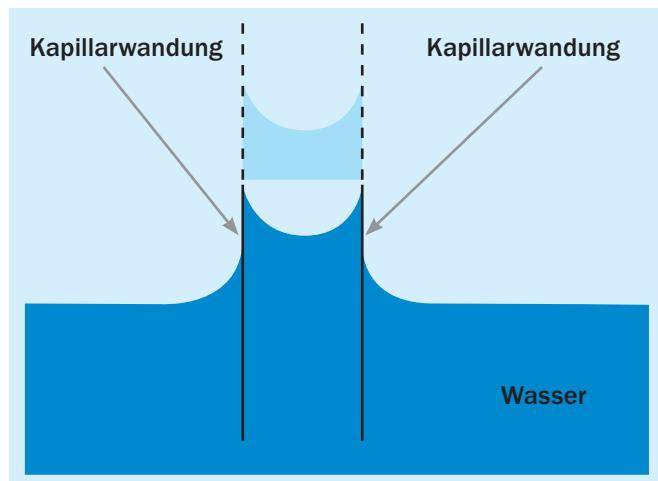


Bild 2 Kapillartransport benötigt zwei Bedingungen: Wasser und (nicht hydrophobe) Kapillarwandungen. An Bauteiloberflächen und damit am Ende von Kapillaren kann Wasser nicht austreten, weil ab dort eine der beiden Bedingungen nicht mehr vorliegt



Bild 3 Historische Gebäude an einer Gracht in Delft. Die gemauerten Wände sind nur in Höhe des Wasserspiegels erkennbar nass, unmittelbar darüber aber trocken

Bei der Suche nach der Ursache dieses Feuchtigkeitsschutzeffekts erkannte Künzel, dass der in Bild 4 dargestellte Sachverhalt zu hohen Übergangswiderständen an Grenzflächen zwischen Bauteilschichten führt. Wenn Mörtel auf Mauersteine oder auf Betonbodenplatten aufgebracht wird, „passen“ Kapillare nicht unmittelbar aufeinander. Daraus ergeben sich hohe Übergangswiderstände an den Grenzflächen zwischen Beton und Mörtel sowie dem Mörtel und darüber aufgebrachten Steinen mit der Folge, dass alleine durch die Grenzflächen spätestens ab der dritten Steinreihe eine abdichtende Wirkung gegen Kapillartransport entsteht (Bild 5, 6).

Selbst unter der Annahme, Beton könnte kapillar durchdringen werden, genügten zum Feuchtigkeitsschutz kapillare Unter-

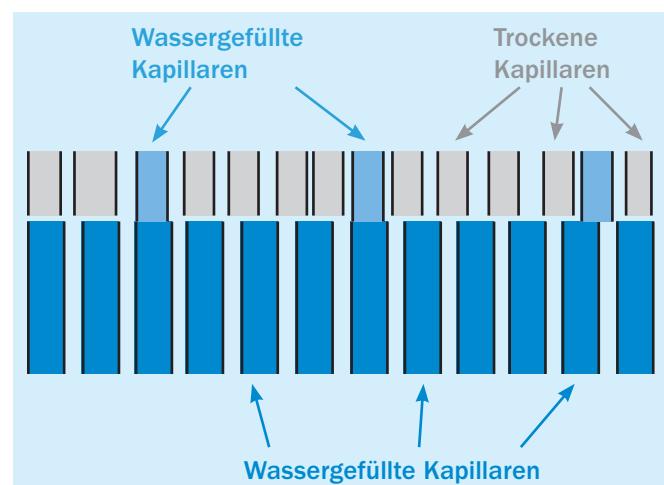


Bild 4 Schematische Darstellung von Kapillarporen in Mauersteinen an Grenzflächen zu Mörtel: an gefüllte Poren nicht unmittelbar anschließende Kapillarporen saugen kein Wasser aus benachbarten Poren

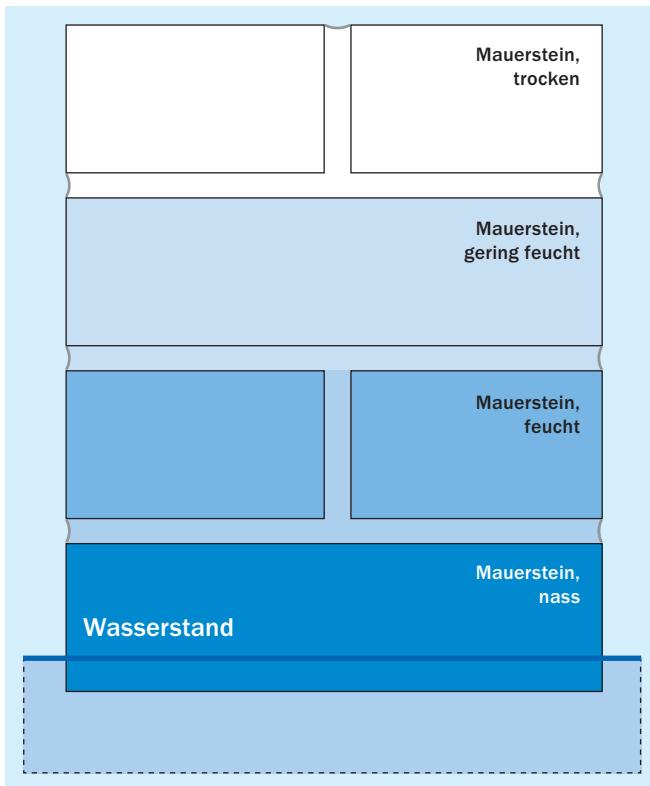


Bild 5 Schematische Höhenverteilung von Feuchtigkeit in Mauerwerk: Begrenzung der Feuchtigkeit durch kapillare Übergangswiderstände an den Grenzflächen zwischen Steinen und Mörtel [3]



Bild 6 Erste Steinreihen werden durch Tagwasser nass, nicht durch „aufsteigende Feuchte“. Die Durchnässung beschränkt sich aber im Wesentlichen auf die erste Steinreihe

brechungen. Diese entstehen bereits durch schmalste Fugen zwischen angrenzenden Bauteiloberflächen, die nicht vom Kapillartransport überbrückt werden können.

Daher genügen an Oberflächen, die durch von der raumabgewandten Seite einwirkendes Wasser kapillar feucht wurden, kapillare Unterbrechungen durch z.B. nicht kapillare aktive Dämmplatten, Folien oder feine Spalte zwischen den Bauteilen.

INFO

Mineralische Dichtungsschlämme können die Durchnässung der unteren Steinreihe verhindern (Bild 41).

2.3 Diffusion

Wasserdampf ist ein unsichtbares Gas, das als Teil des Luftgemischs in der Luft einen Anteil zwischen mehr als 0 und ca. 2 % einnimmt.

Unterschiedliche Konzentrationen von (Wasserdampf-) Molekülen in unterschiedlichen Raumteilen gleichen sich durch den Brownschen Molekulareffekt aus. Dabei handelt es sich um räumlich ungerichtete Bewegungen. Nach dem Konzentrationsausgleich gibt es diese noch immer, allerdings dann in der Richtung entgegengesetzt gleich groß, sodass keine Stoffströme mehr zu beobachten sind.

Diffusionsvorgänge führen nicht unmittelbar zu Feuchtigkeitsproblemen, sondern erst bei Temperaturgefällen. Da warme Luft mehr Wasserdampf aufnehmen kann als kühle, steigt bei gleichbleibendem Wasserdampfgehalt und sinkenden Temperaturen die relative Luftfeuchtigkeit solange, bis die Tautemperatur erreicht ist (Bild 1, links). Dann entsteht kein Überdruck, sondern Tauwasser. Das hat zur Folge, dass, solange die Temperaturen unterhalb von Gebäuden geringer sind als darin, keine feuchtigkeitsbedingten Probleme durch Wasserdampfdiffusion aus dem Erdreich in Fußböden entstehen kann. In der Richtung von außen nach innen steigt die Temperatur und damit die Kapazität von Luft, Wasserdampf aufzunehmen. In dieser Richtung kann sich daher kein Tauwasser bilden.

Die meisten Probleme durch Feuchtigkeit in Untergeschossen entstehen aus raumklimatischen Ursachen, die am Anfang dieses Beitrags erläutert sind.

Die Schutzmaßnahmen gegen von außen einwirkendes Wasser stellen primär nicht auf den Schutz gegen Wasserdampfdiffusion ab. Das kann zwar ein Nebeneffekt sein, ist aber nicht das Hauptschutzziel von Abdichtungen.

Wasserdampfdiffusion ist weder Gegenstand der Abdichtungsnorm, noch der WU-Richtlinie, sondern gegebenenfalls Gegenstand von Überlegungen in DIN 4108 Teil 3 bzw. Teil 2. Ebenso wenig ist in Bauteilen enthaltene Feuchtigkeit, sogenannte Baufeuchte, Gegenstand der Abdichtungsnorm.

3. Feuchteschäden an erdberührten Bauteilen historischer Gebäude – Erfahrungen

„Aus Schaden wird man klug – es muss ja nicht der eigene sein.“

Dieses Bonmot von Prof. Günter Zimmermann trifft: Die Schadensanalyse hilft, die jeweils technische Notwendigkeit zu erkennen. Gleichzeitig kann aus der Schadensanalyse abgeleitet werden, welche Bauweisen nicht schadensträchtig sind.

Das Prinzip Versuch und Irrtum ist ein Jahrtausend alter Lehrmeister. Die heute bewunderten gotischen Kathedralen waren keineswegs von vornherein standsicher. Das Aufbrechen der dicken, massiven Wände mit großen Fensterflächen und die Dimensionierung der dünnen Strebepfeiler beruhten im ausgehenden Mittelalter nicht auf computergestützten Berechnungsverfahren mit finiten Elementen, sondern sind erfahrungsbasiert aus der Analyse von zuvor entstandenen Schäden zustande gekommen.

In diesem Kapitel geht es um die Erkenntnisse, die von nicht abgedichteten, erdberührten Bauteilen des (historischen) Gebäudebestands gewonnen werden können, die in einer sehr großen Anzahl vorhanden sind und einen wesentlichen Anteil aller Wohngebäude in Deutschland einnehmen (Bild 7). Aus den Erfahrungen des Gebäudebestands kann die Häufigkeit von Feuchtigkeits- oder Wasserschäden, deren Intensität und die hauptsächlichen Schadensstellen abgeleitet werden.

Heute können computergestützte Berechnungsmodelle mit Erfahrungen kombiniert werden. Abdichtungen sind aber technisch nicht so kompliziert, dass dazu aufwändige, computergestützte Rechenmodelle erforderlich würden.



Bild 7 Beispiele für übliche Situationen in Untergeschossenen historischer Gebäude ohne Abdichtungen, die regelmäßig nicht in stark durchlässigem Baugrund stehen, aber mit Ausnahme von Feuchtigkeit in den Außenbauteilen keine nennenswerten Feuchtigkeitsschäden aufweisen und sogar die Lagerung von feuchteempfindlichen Gütern zulassen

Abdichtungsregeln z.B. von DIN e.V. sind keine rechtsrelevanten Regeln, sondern Empfehlungen, die zu hinreichend funktionierenden Abdichtungen führen sollen. Bei der Entwicklung von Technischen Empfehlungen werden bauübliche Ungleichmäßigkeiten, Arbeitsunterbrechungen, möglicherweise aufklaffende Fugen, Unebenheiten und vieles weitere berücksichtigt, sodass Abdichtungen auch bei der Überlagerung von ungünstigen Randbedingungen noch immer durchgehend dicht sind. Das hat aber auch zur Folge, dass bei der Prüfung bereits ausgeführter Abdichtungen die Rahmenbedingungen zu untersuchen sind, sodass die aus der Kombination ungünstiger Rahmenbedingungen entwickelten Vorhaltemaße angemessen reduziert werden können.

Übertriebene Anforderungen liegen übertrieben auf der sicheren Seite. Die "sichere Seite" ist aber oft mit einem übermäßigen damit unwirtschaftlichem Aufwand verbunden. Unter werkvertraglichen Aspekten gibt es regelmäßig nur ein Optimum aus Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit. Dabei muss die Funktion für die vorgesehene wirtschaftliche Nutzungsdauer bei zu erwartenden Einwirkungen unter Berücksichtigung möglicher und üblicher Instandhaltungen sichergestellt sein. Andererseits dürfen durch Anwendung von Technischen Empfehlungen keine übermäßigen Kosten sowie unnötiger Ressourcenverbrauch entstehen [4].

Ein Maximum an Aufwand kann eine Praxisbewährung nicht nachweisen, wenn nicht gleichzeitig untersucht wird, ob mit einem geringeren Aufwand die gleiche Zuverlässigkeit erreicht werden kann.

Hier setzen die Überlegungen zu den neuen Empfehlungen zum Schutz erdberührter Bauteilflächen gegen von außen einwirkendem Wasser an. Deswegen ist zunächst zu untersuchen, worauf Feuchtigkeitsschäden an erdberührten Bauteilflächen beruhen.

In der Vergangenheit wurden Gebäude regelmäßig nicht in Gebieten oder Höhenlagen erstellt, in denen Grundwasserhorizonte zu erwarten waren. In Baugebieten z.B. im oberen Rheingraben, wurden Siedlungsgebiete zunächst aufgeschüttet, damit Untergeschosse von Gebäuden nicht durch Grundwasser beansprucht wurden. Das hat sich erst geändert, als zunächst Sperrbetonkonstruktionen und dann wasserundurchlässige Betonkonstruktionen möglich wurden. Dennoch wird vermieden, übliche Wohnhäuser in Grundwasser hinein zu bauen.

Erdberührte Bauteilflächen im Gebäudebestand haben regelmäßig einen gewissen Feuchtigkeitsgehalt. Seltener werden Untergeschosse überflutet (Bild 8). Daher soll zwischen Feuchtigkeit und Überflutungen in Räumen unterschieden werden.



Bild 8 In seltenen Fällen steht auf Bodenflächen von außen eindringendes Wasser

Erfahrungen im Gebäudebestand belegen, dass in den wenigsten Fällen Druckwasser auf erdberührte Bauteilflächen einwirkt. Bis vor wenigen Jahrzehnten wurden Untergeschosse regelmäßig nicht aus wasserdichten oder wasserundurchlässigen Bauteilen erstellt, ohne dass Wasser in flüssiger Form in die Untergeschosse eindringt. Diese Beobachtung soll nicht dazu verleiten, Untergeschosse von Neubauten nicht gegen von außen einwirkendes Wasser abzudichten oder durch wasserundurchlässigen Beton zu schützen. Sie lassen aber erkennen, wo und in welchen Fällen Wasser in flüssiger Form in Gebäude eindringt oder lediglich feuchtigkeitsbedingte Schäden an Putz oder Anstrich verursacht. Letzterer sind dann nicht auf Druckwasser zurückzuführen, sondern auf kapillare Verbindungen zwischen Feuchtigkeit im Boden und in der Regel nicht abgedichtete Mauerwerkswände.

INFO

Erfahrungen im Gebäudebestand belegen, dass in den wenigsten Fällen Druckwasser auf erdberührte Bauteilflächen einwirkt.

Wassereintritte von Wand- und von Bodenflächen oberhalb von Grundwasser sind regelmäßig zurückzuführen auf:

- Brüchen in abwasserführenden Leitungen in Arbeitsräumen als häufigste Ursache (Bild 9)
- Wassereintritte an Kellerfenstern oder Leitungswanddurchführungen durch in die Arbeitsraumverfüllung (durch z.B. vertikale Flächendräne) gelangendes Oberflächenwasser (häufige Ursache) oder wasserführende Vertikalfugen zwischen z.B. Außenwänden und davor angeordneten Perimeterdämmplatten ohne Schutzmaßnahmen gegen eindringendes Oberflächen- oder Fassadenwasser
- in oder neben Arbeitsräumen angeordnete, undichte Rigolen oder Zisternen

Dabei beschränken sich viele Wasserschäden auf abplatzenden Putz, Schäden am Farbanstrich oder gleichartigen Erscheinungen. Wenn Wasser auf der Bodenfläche steht, ist, insofern undichte Leitungen oder andere Havarieursachen ausgeschlossen werden können, regelmäßig Grundwasser oder an Grundwasser heranreichendes Schichten- bzw. geotechnisches Stauwasser ursächlich.

INFO

Das sogenannte Tagwasser oder die Baufeuchte ist nicht Gegenstand der Abdichtungsnorm.

In neuen Gebäuden sind Feuchtigkeitsschäden in unteren Steinreihen regelmäßig nicht auf die genauso regelmäßig bemühte, sogenannte aufsteigende Feuchtigkeit zurückzuführen. Niederschlagswasser, das in der Bauzeit in das Gebäude eindrang, sammelt sich insbesondere in unteren Geschossen und durchnässt die ersten Mauersteinreihen (Bild 6). Dabei trocknet das Wasser nur sehr langsam aus. Sogar über Jahre hinweg können erste Steinreihen feucht sein. Das sogenannte Tagwasser oder Baufeuchte sind aber nicht Gegenstand der Abdichtungsnorm. Abdichtungen sind nur zum Schutz gegen von außen einwirkendes, flüssiges Wasser gedacht.

In älteren Gebäuden liegt die Ursache von feuchtigkeitsbedingten Schäden an Sockeln regelmäßig an hygrokopischer Feuchtigkeitsaufnahme infolge hoher Salzbelastungen. Diese kann nicht durch Abdichtungen verhindert werden, weder durch außenliegende Abdichtungen, noch durch Mauerquerschnittsabdichtungen.

Bei Feuchtigkeitsschäden in Untergeschossen oder an Sockeln ist eine genauere Analyse der jeweiligen Ursache unerlässlich, bevor Maßnahmen ergriffen werden, die nicht den gewünschten Zweck erfüllen. Dazu zählt insbesondere die Einschätzung der jeweiligen Wassereinwirkung aus dem Baugrund. Dies gilt insbesondere zur Bewertung von Einwirkungen an Bodenflächen, da es dort nicht nur um den Schutz gegen Wasser, sondern um den wesentlich aufwändigeren Schutz gegen Aufschwimmen geht.



Bild 9 Beispiel für ein Untergeschoß aus Mauerwerk ohne Abdichtung. Partielle Wasserschäden sind sehr oft auf Undichtheiten in vor den erdberührten Außenwänden verlaufende Leitungen z.B. der Dachentwässerung zurückzuführen

4. Wassereinwirkungen aus dem Baugrund

4.1 Begriffe

Die nachstehende Tafel 1 sowie die Bilder 10-15 verdeutlichen die Begrifflichkeit der Abdichtungsnorm zu Wasser im Baugrund.

Tafel 1 Die Abdichtungsnorm DIN 18533-1 [5] verwendet derzeit folgende Begriffe:

Bodenfeuchte	Haftwasser, Kapillarwasser
Sickerwasser	Wasser, das im Boden der Schwerkraft folgend sickert. Dabei ist unklar, ob Sickerwasser in Saugspannung vorliegt oder Druck auf z.B. Abdichtungen ausübt.
Nicht drückendes Wasser	Begriff für Wasser auf Deckenflächen. Allerdings ist dieser nur begrenzt nachvollziehbar, da Wasser über dem atmosphärischen Luftdruck ansteht und damit auf Decken grundsätzlich mit drückendem Wasser zu rechnen ist – auch wenn der Überdruck gering ist.
Stauwasser	In der Arbeitsraumverfüllung sich bildendes Stauwasser, das von oben in den Arbeitsraum sickert und sich auf dem Boden der Arbeitsraumverfüllung aufstaut. Wegen des Verweises auf DIN 4095:1990-06 ist unklar, ob darin (wie in DIN 4095:1990-06) seitlicher Zufluss enthalten ist oder nicht. Seitlicher Zufluss wird in DIN 18533-1 als Schichtenwasser bezeichnet, das dem Grundwasser gleichgestellt ist. Nach dieser Logik ist Stauwasser auf die Arbeitsraumverfüllung beschränkt und nicht dem geotechnischen Stauwasser gleichzustellen.
Grundwasser, Schichtenwasser	Grundwasser und Schichtenwasser sind Druckwasser in durchlässigeren Schichten über dazu relativ geringer durchlässigen Schichten ohne Differenzierung nach Ergiebigkeit oder zwischenzeitlichem Trockenfallen der wasserführenden Schichten. Auch ist nicht geklärt, ob der Kapillaraum über Grundwasserhorizonten als Druckwasser oder als Kapillarwasser in Saugspannung verstanden werden.

Folgende Grafiken verdeutlichen die Begrifflichkeit der Abdichtungsnorm zu Wasser im Baugrund:

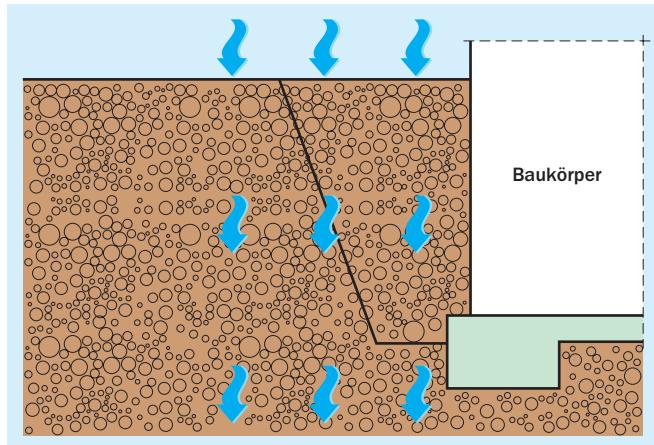


Bild 10 Sickerwasser und Bodenfeuchte

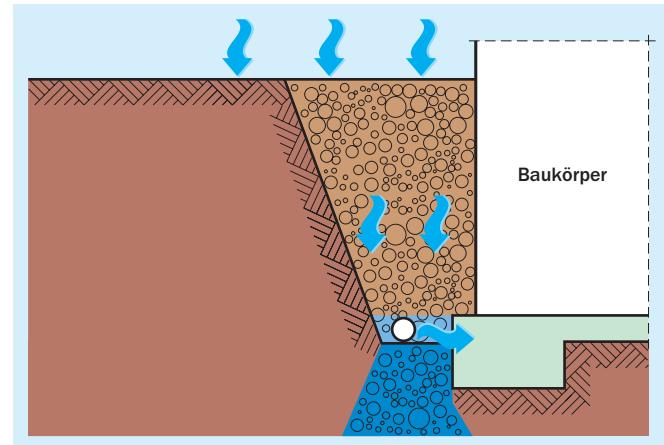


Bild 11 Stauwasserbildung in stark durchlässiger Arbeitsraumverfüllung über geringdurchlässigem Baugrund, die ggf. durch Dränung vermieden werden kann

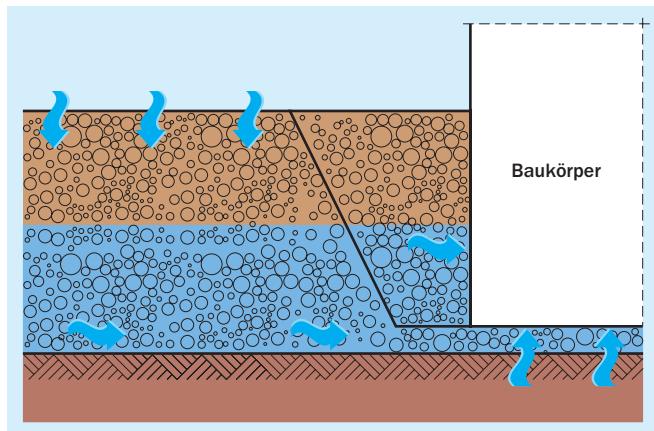


Bild 12 Grundwasser

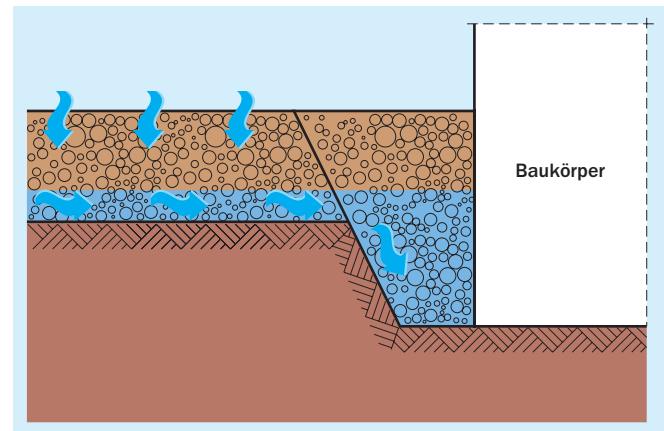


Bild 13 Schichtenwasser (geotechnisch: Stauwasser) ohne hydraulische Verbindung unter die Bodenplatte

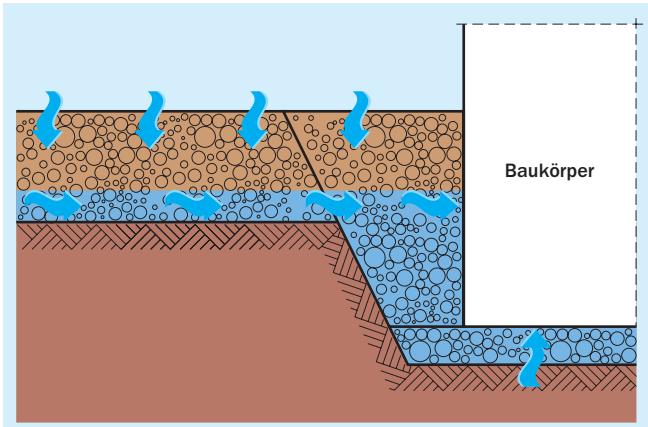


Bild 14 Schichtenwasser (geotechnisch: Stauwasser) mit hochliegendem Strömungshorizont

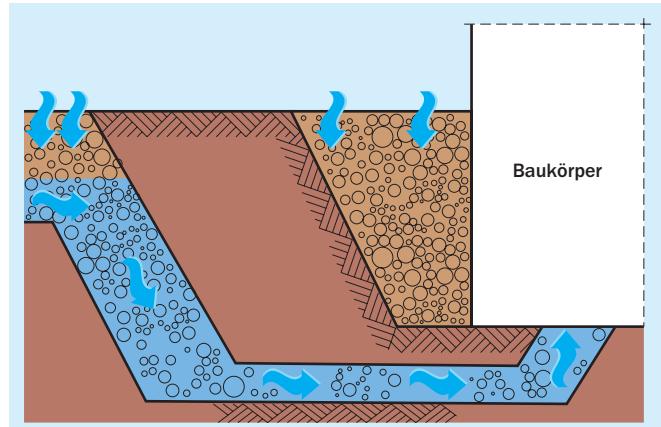


Bild 15 Grund- oder Schichtenwasser, Zufluss durch Klüfte

Im Gegensatz zu DIN 18533-1 definiert die DIN 4095-1 einige Begriffe unterschiedlich.

Tafel 2 In DIN 4095-1 werden dagegen unter den geotechnischen Begriffen verstanden:

Bodenfeuchte	(Saugspannung, unter atmosphärischen Luftdruck, in wassergesättigter Bodenzone): Sorptionswasser, Haftwasser: örtlich gebunden Kapillarwasser: Transport durch dickeren Wasserfilm, richtungsunabhängig auch entgegen der Schwerkraft.
Sickerwasser	(Saugspannung in wassergesättigter Bodenzone): In Boden infiltrierendes Niederschlagswasser wird in einem dickeren Wasserfilm richtungsabhängig durch die Schwerkraft nach unten transportiert.
Stauwasser	(Wasserdruck über atmosphärischem Luftdruck in wassergesättigter Bodenzone) Sickerwasser staut sich in durchlässigeren Schichten über dazu relativ weniger durchlässigen Schichten; Stauwasserhorizonte sind wenig ergiebig und können trocken fallen; (geotechnisches) Stauwasser ist räumlich begrenzt, es beschränkt sich nicht auf Arbeitsraumverfüllungen.
Grundwasser	Wasserstausch in wassergesättigter Bodenzone mit größerem Einzugsgebiet und schwankenden Grundwasserständen fallen in der Regel nicht trocken. Grundwasserstockwerke können in Bodenfolgen mit Wechseln zwischen Grundwasserleitern und Grundwassergering- oder -nichtleitern übereinanderliegen. Der Grundwasserbemessungsstand beschreibt den in 100 jährlicher Wahrscheinlichkeit (Wahrscheinlichkeitsfaktor 0,01/a) zu erwartenden, höchsten Grundwasserstand, in den Sicherheitsfaktoren einfließen. Deswegen sind zu den Angaben von Bemessungsgrundwasserständen keine weiteren Zuschläge erforderlich.

4.2 Bemessungsgrundwasserstand (BGW)

Der Bemessungsgrundwasserstand (BGW) soll aus der möglichst langjährigen Beobachtung bisheriger Grundwasserstände abgeschätzt werden. Dabei sollen die Grundwasserstände maßgeblich sein, die mindestens in 30 Jahren festgestellt wurden. Allerdings liegen an Messstellen, insofern in aussagekräftiger Nähe zum Untersuchungsobjekt, nicht immer Aufzeichnungen über längere Zeiträume vor. Insbesondere in Gebieten mit Verwerfungen und damit stark wechselnden Bodenschichten lassen sich die Erkenntnisse der nicht selten erst in größerer Entfernung liegenden Messstellen auf eine Untersuchungsstelle übertragen.

Erkenntnisse aus der Vergangenheit können zwar wesentlich zur Abschätzung beitragen, welche Grundwassereinwirkungen zukünftig an erdberührten Bauteilflächen an einem Gebäude auftreten können. Zu dieser Einschätzung zählen auch mögliche (insbesondere geplante bauliche) Veränderungen im Grundwasserhorizont, z.B. durch unterirdische bauliche Anlagen im Grund-

wasserstrom, die entweder Grundwasser ableiten und damit Grundwasserhorizonte absenken oder Grundwasserströme hindern und damit Grundwasserhorizonte steigen lassen.

Die Einschätzung der während einer (zukünftigen) Gebäude Nutzungsdauer zu erwartenden Grundwassereinwirkungen soll eine Prognose für eine Eintrittswahrscheinlichkeit von einmal in 100 Jahren beinhalten. Dies ist eine verantwortungsvolle Aufgabe an Geotechniker mit geohydraulischen Kenntnissen. Wenn aber aus vermeintlichen Sicherheitsabwägungen für erdberührte Bauteilflächen fast grundsätzlich Druckwassereinwirkung angenommen werden, hat dies unnötige Kosten und Ressourcenverbräuche zur Folge. Damit würde z.B. Mauerwerk mit Abdichtungen an erdberührten Außenwänden de facto verhindert.

Perspektivische Aussagen sind sorgfältig zu treffen, beinhalten aber keine Beschaffenheitsgarantie. Nicht seriös abschätzbare Faktoren, etwa Klimawandelfolgen, können nicht Bestandteil einer Beratungsverpflichtung sein. Niemand kann vorhersehen, ob die wahrscheinlich zunehmenden langen Trockenphasen

auch unter Berücksichtigung zwischenzeitlicher Stark- bis Katastrophenregenereignisse zu sinkenden Grundwasserhorizonten führt, wie das die letzten Jahre bis Jahrzehnte zu beobachten ist. Genauso können durch globale klimatische Veränderungen die Niederschlagsereignisse über längere Zeiträume ergiebiger werden. Damit könnte die in den letzten Jahren stark zurückgegangene Grundwasserneubildung verstärkt werden, wodurch Grundwasserhorizonte steigen können.

Zukünftige Entwicklungen dürfen nicht ausgeschlossen werden. Sie werden durch Sicherheitszuschläge berücksichtigt. Das hat zur Folge, dass nicht nochmals weitere Sicherheitszuschläge in z.B. der für geotechnische Fragen nicht einschlägigen Abdichtungsnorm notwendig werden, wie das zurzeit mit einem Abstandsmaß von 30 cm bzw. 50 cm der Fall ist.

4.3 Wassereinwirkungen oberhalb des BGW

INFO

Bodenfeuchte und Sickerwasser:

- Beides prinzipiell gleich, da beides in Saugspannung vorliegt, also einen geringeren Druck als den atmosphärischen Luftdruck hat.
- Beides ist an Bodenkörnungen anhaftendes Wasser, das auf angrenzende Flächen keinen Druck ausübt und nicht gedrängt werden kann.
- Der Unterschied besteht in der Dicke der Wasserhülle an den Bodenkörnungen.

Beobachtungen in offenen Baugruben sind oberhalb von Grundwasserständen prinzipiell nicht geeignet, auf die späteren Wassereinwirkungen zu schließen (Bild 16). Erst im Zustand des aufgefüllten Arbeitsraums entstehen die relevanten Bedingungen.



Bild 16 Beobachtungen zu Pfützen nach Niederschlägen in der offenen Baugrube sind nicht geeignet, um die späteren Beschriften bezüglich möglicher Stauwasserbildung in Arbeitsraumverfüllungen zu bestimmen.

In der Arbeitsraumverfüllung ist nämlich die vertikale Wasserbewegungsgeschwindigkeit um 3-8 Zehnerpotenzen langsamer als die Wasserbewegung an der Geländeoberfläche.

Für die folgenden Betrachtungen ist nach wassergesättigten und wasserungesättigten Bodenzenonen zu unterscheiden.

INFO

- Stauwasser kann sich aus in Boden eindringendes Sickerwasser bilden.
- Stauwasser kann sich in Bodenschichten bilden, die über zu ihnen (relativ) geringer durchlässigen Bodenschichten liegen. Wenn die in der durchlässigeren Bodenschicht ankommende Wassermenge so groß ist, dass sie in der unterliegenden Bodenschicht nicht staufrei einsickern kann, bildet sich Stauwasser.
- Wenn Niederschlagswasser nur in geringen Mengen oder gar nicht im Boden versickern kann, spielt die Bodendurchlässigkeit hinsichtlich möglicher Stauwasserbildung keine Rolle.
- Sickerwasser und Stauwasser sind primär Aspekte der Geohydraulik, die vom Verhältnis zwischen Sickerwassermenge und Bodendurchlässigkeit abhängt.
- Ob sich Stauwasser bildet oder nicht, wird nicht ausschließlich durch eine Bodendurchlässigkeit bestimmt. Damit ist die Frage einer Stauwasserbildung nicht nur eine an die Geotechnik, sondern primär eine an die Geohydraulik.

Stauwasser ist keine ausschließliche Betrachtung der Bodendurchlässigkeit, sondern eine des Verhältnisses von in Boden infiltrierenden Niederschlag und Bodendurchlässigkeit. Dringt viel Wasser z.B. um große Faktoren leistungsfähigeren Freispiegelabfluss durch vertikale Sickerwege durch z.B. fehlerhafterweise bis an Geländeoberflächen angeschlossene Vertikaldräne oder nicht hinterlaufsicher angebrachte Perimeterdämmplatten vor Wänden in Arbeitsraumverfüllungen ein, kann sich auch bei Böden mit einer Durchlässigkeit von $> 10^4$ m/s Stauwasser bilden.

4.3.1 Wasserbewegung in der ungesättigten Bodenzone

Nur in der wassergesättigten Bodenzone fließendes Wasser kann in Dränungen gefasst werden. Sich aus Sickerwasser bildendes Stauwasser ist die Voraussetzung, in Leitungen gefasst und abgeleitet werden zu können.

In der ungesättigten Bodenzone haftet Wasser an Bodenkörnungen an. Der Druck liegt unterhalb des atmosphärischen Drucks und wird als Saugspannung beschrieben. Sickerwasser ist an Bodenkörnungen anhaftendes Wasser, das nicht frei abtropft. Sickerwasser übt keinen Druck auf umgebende Flächen und damit auch nicht z.B. auf erdberührte Wände aus. Sickerwasser kann so nicht in Dränleitungen gefasst werden.

Die Geschwindigkeit von Grundwasser (in der gesättigten Bodenzone) schwankt zwischen wenigen Zentimetern pro Jahr bis 10 m pro Jahr, das entspricht 10^{-9} m/s bis 10^{-4} m/s. Grundwasser in der gesättigten Bodenzone bewegt sich damit um



Bild 17 Nach ca. 5 h Landregen und 1 h Starkregen sickerte in diesem Beispielfall mit Feinsand und Schluffanteilen Oberflächenwasser nur langsam in eine geringe Tiefe in den Boden von etwa 5 cm

Zehnerpotenzen langsamer als an der Geländeoberfläche strömendes Wasser.

Wasser in der ungesättigten Bodenzone sickert an Oberflächen von Bodenkörnungen in Richtung der Schwerkraft nach unten. Die Geschwindigkeit ist aufgrund der Adhäsion der Wasserhülle an den Bodenkörnungen (deutlich) geringer als die Wasserbewegung in der gesättigten Bodenzone. Die Geschwindigkeit der Sickerwasserströmung beträgt ca. 10^{-9} m/s bis 10^{-6} m/s und damit ca. 0,1 mm bis 10 cm pro Tag.

INFO

- Freispiegelabfluss hat eine Geschwindigkeit zwischen 0,1 m/s und 4 m/s (0,36 km/h bis 14,4 km/h), z.B. im Rhein 1 m/s (3,6 km/h).
- Grundwasserströmungen (in der gesättigten Bodenzone, waagrechte oder annähernd waagrechte Fließrichtung) sind zwischen 10^{-9} m/s und 10^{-4} m/s schnell, damit um Faktoren zwischen ca. 1.000 und 100 Millionen langsamer als Freispiegelabfluss.
- Die Sickerströmung (vertikal in wasserungesättigter Bodenzone) bewegt sich zwischen 10^{-9} m/s und 10^{-6} m/s und damit um Faktoren zwischen ca. 100.000 und 10 Millionen langsamer als Freispiegelabfluss.

Der Deutsche Wetterdienst DWD definiert Starkregen in drei Warnstufen. Für z. B. Lübeck wird in der dritten und stärksten Warnstufe ein Niederschlag von 40 l/m² bei einer Niederschlagsdauer von 1 Stunde und einer von 60 l/m² bei einer Niederschlagsdauer von 6 h angenommen. Bei einem Porenvolumen von 10 % füllt die Niederschlagsmenge der höchsten Warnstufe eine Bodenschicht einer Dicke von 60 cm. Das Wasser sickert aber nicht in 6 h in diese Tiefen, sondern braucht viel länger dafür. Nimmt man die größte Geschwindigkeit der ungesättigten Bodenzone von 10 cm pro Tag an, sickert das Wasser in der Zeit von 6 Stunden in eine maximale Tiefe von knapp 3 cm ein. Nach Ende des Regens wird nicht neues Wasser von der Geländeoberfläche „nachgefüllt“, so-



Bild 18 Steht Wasser temporär auf der Geländeoberfläche, ist es nicht im Baugrund, sonst wäre es nicht auf ihm, sondern darin. Infiltration in den Boden wirkt sich i.d.R. nur in Nähe von Fließgewässern aus und wird dort durch Bemessungsgrundwasserstände berücksichtigt. Oberflächenwasser infiltriert wegen Fließwiderständen im Boden langsam, solange keine bis an die Geländeoberfläche führende Vertikaldräne angeordnet werden

lange das Gelände in der Sockelzone vom Gebäude weg geneigt ist (Bild 17).

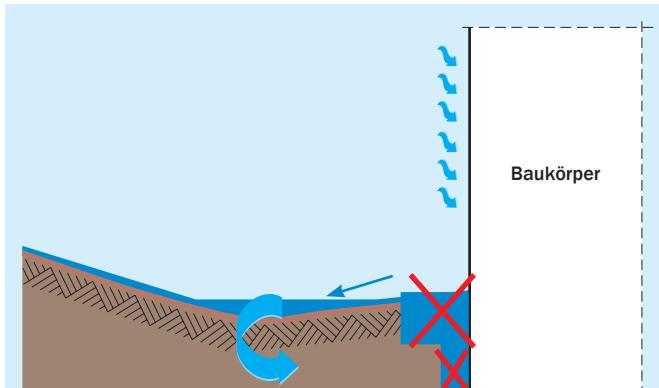
Deswegen wirkt sich Oberflächenwasser aus (kurzzeitigen) intensiven Niederschlägen nicht bzw. nicht nennenswert auf den Wasserhaushalt im Boden aus (Bild 18).

Durch Boden ist ein guter bis sehr guter Schutz gegen Starkniederschlagsereignisse gegeben. Der direkte Zufluss von Niederschlagswasser an der Geländeoberfläche über vertikale Strömungswege durch z. B. bis an die Oberfläche reichende Vertikaldräne vor Wänden, häufig kombiniert mit nach unten entwässerten Kiesstreifen, soll vermieden werden. Hinzu kommt unter praktischen Erwägungen, dass Deckschichten auch auf starkdurchlässigem Boden durch z.B. Sedimentation von Stäuben oder die Abdeckung mit Pflanzen, Humus oder Belägen geringer durchlässig sind.

Im Baugrund gibt es keine „kommunizierenden Röhren“, weil

- die Sickergeschwindigkeiten zu gering sind,
- das Bodensystem unten nicht geschlossen ist
- und es nicht zu einer Wasserausbreitung wie in offenen Systemen (nach dem Kaffeekannenprinzip) kommt.

Die vorherigen Ausführungen verdeutlichen, dass durch Boden ein guter bis sehr guter Schutz gegen die üblicherweise kurzzeitig vorkommenden Starkniederschlagsereignisse gegeben ist. Sie zeigen auch, dass direkter Zufluss von Niederschlagswasser an der Geländeoberfläche über vertikale Strömungswege durch z.B. bis an die Oberfläche reichende Vertikaldräne vor Wänden, häufig kombiniert mit nach unten entwässerten Kiesstreifen, zu vermeiden ist. Selbst bei starker Durchlässigkeit von Baugrund und Arbeitsraumverfüllung kann Stauwasser nicht vermieden werden, wenn vertikale Strömungswege



- Keine „Burggräben“ an Sockeln (Ausnahme: bei Gelände-anhebungen an Zugängen seitlich entwässerter Streifen)
- Keine nach unten entwässernde Kiesstreifen!
- Keine Vertikaldräne vor Außenbauteilen!
- Wasser auf dem Gelände vom Sockel weg leiten!

Bild 19 Grundsatz: Wasser vom Sockel wegleiten



Bild 20 Stauwasser bildet sich aus nach unten sickerndem Wasser, das sich auf einer gering durchlässigen Schicht staut. Zur Verdeutlichung wurde hier in den mit Sand gefüllten Behälter eine durchflusshemmende Schicht eingesetzt, über der Stauwasser zu erkennen ist. Unterhalb ist aber der Sand trocken. Dieses Beispiel verdeutlicht die evtl. Folgen von Inhomogenitäten in Arbeitsraumverfüllungen: Über Staulinsen kann sich Stauwasser bilden, das wegen der Staulinsen aber nicht unter diesen ist.

bis an die Geländeoberfläche reichen. Selbstverständlich ist es möglich, dies zuzulassen mit der Folge, dass an den erdberührten Wänden mit Druckwasser zu rechnen ist – wie ausgeführt, unabhängig von der Durchlässigkeit der Arbeitsraumverfüllung oder des Baugrunds.

Allerdings soll das Schadenspotenzial an erdberührten Bauteilflächen oberhalb von Grundwasserständen auf ein unvermeidbares Maß reduziert werden. Dann dürfen keine vertikalen Strömungswege durch bis an die Geländeoberfläche reichende Vertikaldräne bestehen (Bild 19).

Wasser darf von Geländeoberflächen nicht in Arbeitsraumverfüllungen eingeleitet werden. Wenn (unvermeidlich) Fassadenwasser von oben in Arbeitsräume eindringt, ist die durch Vertikaldräne abfließende Wassermenge gering. Sie kann ungünstigstenfalls zu lokal begrenztem Stauwasser an Sockeln erdberührter Außenwände oder zur Stauwasserbildung im Sickerweg an z.B. Durchdringungen führen. Ein Zufluss unter Gebäuden ist auch dann ausschließbar.

INFO

Niederschlagswasser ist stets vom Gebäudesockel wegzuleiten und darf nicht durch Vertikaldräne in die Arbeitsraumverfüllung abgeleitet werden.

Die Sicherheit zur Vermeidung von Feuchtigkeitsschäden an erdberührten Bauteilflächen hängt aber in erster Linie von der Resilienz von Abdichtungen ab. Soll diese erhöht werden, sollten an Details Maßnahmen ergriffen werden, die Widerstand gegen eine kurzzeitige Druckwassereinwirkung zulassen, ohne dass Wasser in die Baukonstruktion eindringen kann. Dazu sind hinterlaufsichere Anschlüsse von Abdichtungen an Betonbauteile und Durchdringungen zu empfehlen.

4.3.2 Stau- und Schichtenwasser

Nach geohydraulischer Betrachtung sind Gebäude oder bauliche Anlagen (zunächst) unbedeutend. Sie existieren bezüglich der Auswirkung von Wasser im Baugrund (noch) nicht.

Stauwasser in der Geotechnik bezeichnet deswegen nicht Wasser, das sich in (verfüllten) Arbeitsräumen bilden kann, sondern im Gelände: Stauwasser kann sich aus in Boden infiltrierenden Niederschlag in durchlässigeren über geringer durchlässigen Schichten bilden. Ist das Gelände bzw. die Grenzfläche zwischen den beiden Bodenschichten geneigt, kann Stauwasser bis an erdberührte Bereiche von Gebäuden gelangen (Bild 20).

Stauwasser in der Nomenklatur der Abdichtungsnorm bezeichnet sich in verfüllte Arbeitsräume aufstauendes Sickerwasser, das von oben in diese infiltriert. Stauwasser in der Geotechnik ist etwas anderes als Stauwasser in der Begrifflichkeit der Abdichtungsnorm. In letzterer wird das geotechnische Stauwasser als Schichtenwasser bezeichnet, ein Begriff, den es in der Geotechnik nicht gibt: Dort heißt dieses Wasser Stauwasser (Kap. 4.1).

Da die Abdichtungsnorm DIN 18533-1 Grundwasser und Schichtenwasser gleichstellt, sind in den letzten Jahren bis Jahrzehnten Dränanlagen immer weniger genehmigt bzw. erlaubt worden, da zuständige Behörden unter Bezugnahme auf das Wasserhaus-

haltsgesetz (WHG) grundsätzlich keine Grundwasserabsenkungen und damit kein Grundwasser in Vorfluter akzeptieren.

Die geotechnische Differenzierung erlangt damit eine neue Bedeutung. Das (geotechnische) Stauwasser darf – im Gegensatz zu Grundwasser – grundsätzlich gedrängt werden, auch wenn gegebenfalls eine Genehmigung oder eine Erlaubnis einzuholen ist. Stauwasser in der Arbeitsraumverfüllung bildet sich dagegen in der Regel nicht, sondern nur dann, wenn vergleichsweise ungünstige Rahmenbedingungen aus nicht abgedeckten, stark durchlässigen Arbeitsraumverfüllungen auf sehr gering-durchlässige Böden zusammenkommen. Daher wird in diesem Beitrag zwischen geotechnischem Stauwasser und Stauwasser in der Arbeitsraumverfüllung unterschieden.

Die Wasserbewegung im Boden und in Arbeitsraumverfüllungen ist ungleich langsamer als der Freispiegelabfluss (s. Kapitel 4.3.1).

4.3.3 Bisherige Einschätzungen

In der Abdichtungsnorm DIN 18533-1:2017-07 wird als worst-case-Szenario in Fällen oberhalb von Grundwasserständen und Bodendurchlässigkeiten unter 10^{-4} m/s empfohlen, von Druckwasser auf die gesamten erdberührten Wand- und Bodenflächen auszugehen – für den Fall, dass keine geotechnische Einschätzung vorliegt. Geotechniker sollten sich nicht auf einen Fall in einer für Geotechnik nicht einschlägigen Abdichtungsnorm beziehen, der als Ausnahme gedacht ist, dass keine Geotechniker involviert sind.

So sollten sich Baugrundgutachten nicht auf eine für Geotechnik nicht einschlägige Abdichtungsnorm stützen und sich nicht zu Aussagen folgender Art hinreißen lassen:

„Der Bemessungsgrundwasserstand liegt ausreichend tief unter der Gründungssohle. Aufgrund geringdurchlässiger Böden mit einer hydraulischen Durchlässigkeit von weniger als 10^{-4} m/s ist von Stauwasser bis zur Oberkante des Geländes auszugehen.“

Nicht selten kommen unter geotechnischen Aspekten sehr sorgsam ausgearbeitete Gutachten zu dieser, in geohydraulischer Hinsicht, nicht nur viel zu knappen, sondern auch nicht nützlichen Angabe. Sie lässt die geohydraulischen Aspekte, die in Kapitel 4.3.1 zusammengefasst sind, außer Acht. Diese Bewertungen treffen in dieser Pauschalität nicht zu. In den (aller-) meisten Fällen kommt es in dieser Konstellation nicht zu Druckwasser an erdberührten Wänden und noch weniger an Unterseiten von Bodenplatten.

Im Folgenden werden knapp geohydraulischen Aspekte zusammengefasst, ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben. Sie sollen animieren, sich mit den Baugrundbeschaffenheiten zu beschäftigen und Ergebnisse zu erarbeiten, die einerseits ein hohes Sicherheitsniveau beinhalten, andererseits aber keine Maßnahmen fordern, die ohne Nutzen unwirtschaftlich sind.

Darüber hinaus bergen solche Einschätzungen nicht nur unerhebliche Risiken für die Gebäudesubstanz, wie Schadensfälle in Überflutungsgebieten aus Hochwasser und Katastrophenregen an der Ahr und in der Eifel im Juli 2021 aufgezeigt haben.

Geohydraulik ist offensichtlich kein Lehrgebiet in der Geotechnik. Bislang fehlte es an brauchbaren Hilfestellungen.

Geotechniker stützen sich auf eine für sie nicht einschlägige DIN-Norm der Abdichtungstechnik, nämlich seit Juli 2017 auf DIN 18533-1 [5] und zuvor auf (die seitdem zurückgezogene) DIN 18195-1 [6]. Diese wiederum lehnt sich an DIN 4095 von Juni 1990 [7] an, die allerdings nicht Wassereinwirkungen an erdberührten Bauteilflächen beschrieb, sondern Voraussetzungen für Dränungen von baulichen Anlagen.

In DIN 4095:1990-06 wurden drei Fälle aufgezeigt:

- Situationen oberhalb von Grundwasserständen in stark-durchlässigem Baugrund (nach DIN 18130-1 [8] waren dies Böden mit einer Durchlässigkeit von mehr als 10^{-4} m/s): kein Druckwasser,
- Situationen oberhalb von Grundwasserständen in schwach durchlässigem Baugrund (nach DIN 18130-1,) waren dies Böden mit einer Durchlässigkeit von mehr als 10^{-6} m/s) in Verbindung mit Dränungen: kein Druckwasser,
- in allen anderen Situationen: Druckwasser aus Grundwasser oder aus sich im Boden aufstauendem Sickerwasser.

Aus diesen Fallkonstellationen wird deutlich, dass ein Durchlässigungsbereich von zwei Zehnerpotenzen nicht beschrieben war: Dränungen waren erst ab einer Unterschreitung der Durchlässigkeit von 10^{-6} m/s gefordert und nicht bereits bei einer Unterschreitung von 10^{-4} m/s. Diese Festlegung stimmt mit den Anforderungen für Versickerungsanlagen überein, wo eine Bodendurchlässigkeit von mindestens 10^{-6} m/s gefordert wird. Es handelt sich dann um durchlässigen und nicht um nur gering durchlässigen Boden.

Für die Empfehlungen waren, auf der sicheren Seite liegend, (sehr) ungünstige Rahmenbedingungen zu Grunde gelegt worden:

- Die Arbeitsraumverfüllung ist mit starkdurchlässigem Material angenommen worden, das sich zwar gut verdichten lässt und innerhalb kurzer Zeit keine Nachsetzungen mehr auftreten, aber Wasser von der Geländeoberfläche vergleichsweise schnell (innerhalb von ein bis zwei Wochen) nach unten zur Sohle ableitet. Auch können Vertikaldräne in Form von z.B. mehrschichtigen, strukturierten Schutzlagen Wasser von der Geländeoberfläche schnell nach unten ableiten. Arbeitsräume wurden nicht mit geringdurchlässigen Stoffen abgedeckt angenommen.
- Die Bodendurchlässigkeit wurde als geringdurchlässig und geringer angenommen.
- DIN 4095:1990-06 ging von einem seitlichen Zufluss aus, wobei dieser sowohl unterirdisch durch Bodenschichtungen (als Grundwasser durch Klüfte) als auch in Geländeoberflächen vorkommen kann. Deswegen sollten Geländeformen und Einzugsgebiet abgeschätzt werden.

Grundsätzlich kann bei Überlagerung dieser Annahmen davon ausgegangen werden, dass durch in dieser Norm beschriebene Dränungen die Wassereinwirkungen auf Bodenfeuchte reduziert werden kann. Dabei wurde aber übersehen, dass diese Konstellationen ein nicht nur unerhebliches Gefahrenpotential beinhaltet.

Auch im Ahrtal waren nach diesen Idealen Häuser errichtet worden. In der Katastrophennacht vom 14. auf den 15. Juli 2021 konnten in Fällen mit

- gegen Druckwasser abgedichteten Bauteilen oder solche aus wasserundurchlässigen Betonkonstruktionen
- die auf starkdurchlässigen Ausgleichsschichten gegründet
- und deren Arbeitsräumen mit starkdurchlässigem Material verfüllt wurden und bzw. oder bis an die Geländeoberfläche reichende Vertikaldräne (z.B. aus Noppenbahnen mit Geotextilien) aufwiesen

Wasser von der Geländeoberfläche unter die Gebäude strömen und diese aus ihren Baugruben aufschwimmen lassen. Andere Gebäude hatten das vergleichbar katastrophale Hochwassereignis aus dem Jahre 1910 überstanden, die im Juli 2021 untergingen. Dazu genügte es, an den Außenflächen vor Gründungen das vorhandene, gering durchlässige Material gegen für Befestigungen oder zum vermeintlichen Schutz gegen Spritzwasser angelegte Kiesstreifen und damit stark durchlässiges auszutauschen. So konnte Flutwasser unmittelbar an den Gründungen einwirken und diese unterspülen.

INFO

Oberflächenwasser darf wegen an Klimawandelfolgen angepasstes Bauen nicht durch z.B. Kiesstreifen in Arbeitsraumverfüllungen abgeleitet werden.

4.4 Neue Zuordnungen

In der Vergangenheit waren Wassereinwirkungen aus dem Baugrund auf Bauwerksflächen in der Abdichtungsnorm DIN 18533 Teil 1 (und davor in DIN 18195 Teil 1) beschrieben. Im Jahre 2018 wurde beschlossen, Wassereinwirkungen zukünftig nicht mehr in der für Baugrund nicht einschlägigen Abdichtungsnorm für erdberührte Bauteile, sondern in der Norm für Baugrund DIN 4095 Teil 1 zu beschreiben. Diese liegt zum Zeitpunkt der Ausarbeitung dieses Beitrags in der Entwurfsfassung von April 2024 vor.

Die Zuordnung der Aufgabenbereiche sind in folgendem Kontaktflächenmodell dargestellt (Bild 21):

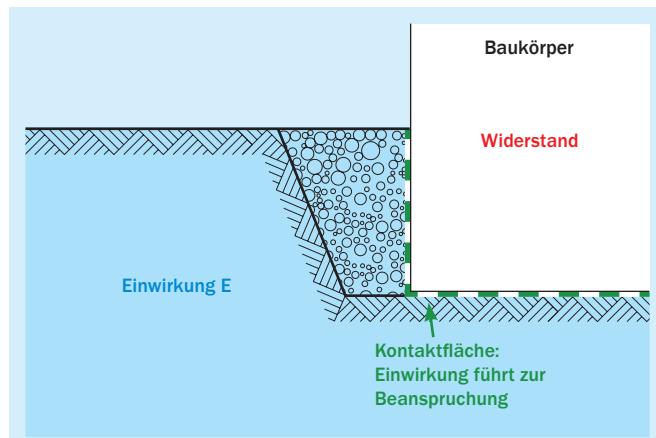


Bild 21 Kontaktflächenmodell

Das Modell beschreibt die Einwirkung, die zur Beanspruchung an Bauteilen führen und Schutz gegen die Einwirkungen brauchen.

Dieses Modell lässt sich wie folgt detaillierend ergänzen (Bild 22).

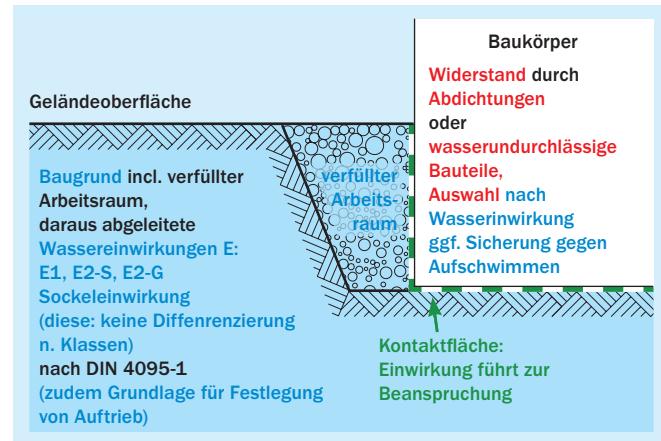


Bild 22 Kontaktflächenmodell mit Zuordnung der Zuständigkeitsbereiche Baugrund und Schutz gegen Wasser aus dem Baugrund

Die neue DIN 4095-1 unterscheidet zwischen Situationen unterhalb und oberhalb des Bemessungsgrundwasserstands. Damit gibt es nicht mehr den Bemessungswasserstand, der sich aus dem höchsten Niveau aus Grundwasser, Stauwasser und Hochwasser bilden soll. Dieser ist geohydraulisch, auch unter Berücksichtigung eines großen Sicherheitsmaßes, nicht richtig. Wasser bewegt sich im Baugrund anders als in offenen Behältnissen.

4.5 Hochwasser

Bei Hochwasser lassen sich Gebäude nicht mit Abdichtungen für erdberührte Bauteile schützen, sondern durch andere Maßnahmen, die z.B. in der Hochwasserschutzfibel [9] zusammengestellt sind (Bild 23).

Ob sich Hochwasser auf Wasserstände im Boden auswirkt, hängt sehr stark von der hydraulischen Verbindung zwischen Geländeoberfläche und dem Baugrund ab. Uferfiltrate werden in Bemessungsgrundwasserständen BGW berücksichtigt. An baulichen Anlagen sollten sowohl Oberflächenwasser, als auch Hochwasser nicht durch vertikal wasserleitende Schichten in den Baugrund abgeleitet werden. Dabei geht es nicht nur um die Vermeidung unnötiger Beanspruchungen auf Bauteilflächen, sondern auch um den Schutz dieser Bauteilflächen vor Hochwassereinwirkung. Die in DIN 4095-1 beschriebenen Empfehlungen zur Vermeidung des Zuflusses von Oberflächenwasser in den Baugrund haben den zusätzlichen Zweck, Hochwasser von Bauteilflächen unterhalb der Geländeoberfläche fernzuhalten.

Hochwasser ist nicht Gegenstand des Anwendungsbereichs der DIN 4095-1, da die daraus resultierenden Beanspruchungen insbesondere an Bauteilflächen oberhalb der Geländeoberfläche dort nicht beschrieben werden können. Hochwasser kann nicht gedrängt werden. Es war richtigerweise auch nicht Gegenstand der DIN 4095:1990-06, die ohnehin keine Wassereinwirkungen beschrieb, sondern lediglich Voraussetzungen für Dränanlagen von Gebäuden.

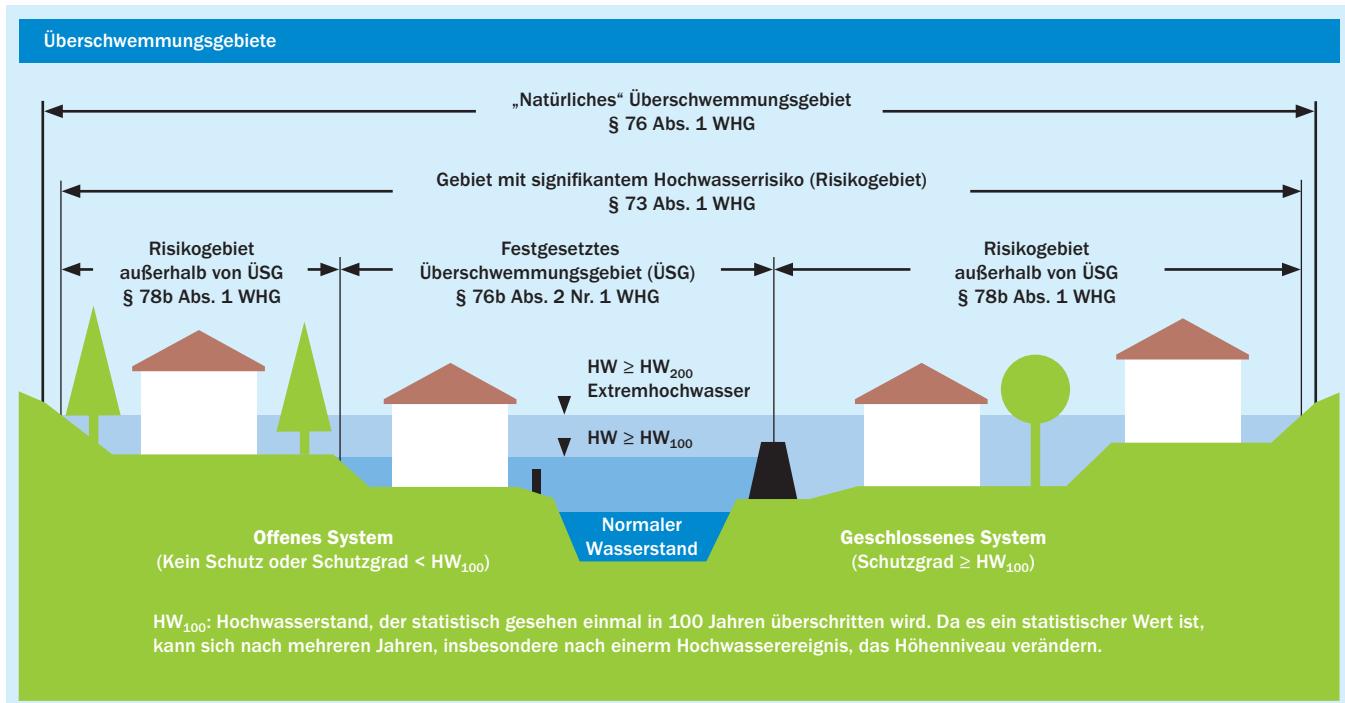


Bild 23 Systemdarstellung von Hochwasserereignissen in Siedlungsgebieten [9]

Geländeüberflutungen fallen ebenfalls nicht in den Anwendungsbereich der Abdichtungsnorm DIN 18533-1. Die Vorstellung eines „Bemessungswasserstands“ in dieser Norm ist geohydraulisch unbegründet (s. Kapitel 4.3).

4.6 Neue Überlegungen auf Basis alter Erfahrungen

Nicht nur die oben beschriebenen Erfahrungen trugen zur Erkenntnis bei, Arbeitsräume vor erdberührten Wänden mit möglichst geringdurchlässigem Material aufzufüllen und Vertikaldräne nicht bis zur Geländeoberkante zu führen. Dadurch wird die Wassereinwirkung an erdberührten Bauteilflächen oberhalb des Bemessungsgrundwasserstands geringgehalten. Zusätzlich ist die Geländeoberfläche in der Nähe von Gebäuden vom Sockel weg zu neigen. Das trifft auch für Bergseiten in Hanglagen zu, denn auf der Geländeoberfläche strömendes Wasser beansprucht nicht nur Sockel, sondern bei bis an die Geländeoberfläche reichende Vertikaldräne oder sehr stark durchlässigen Arbeitsraumverfüllungen über geringdurchlässigen Bodenschichten unnötig stark auch erdberührte Bauteilflächen.

Das war über Jahrhunderte Anlass, vor erdberührten Außenbauteilen möglichst geringdurchlässige Böden zu verwenden und die Oberflächen des Geländes von Sockeln weg zu neigen. Diese Konstruktionsempfehlungen waren in den Lehrbüchern bis vor dem Zweiten Weltkrieg enthalten (z.B. in [10]). Erst danach hatte man mit dem vermeintlichen Schutz von Sockeln dies geändert und dabei übersehen, dass diese Empfehlungen in vieler Hinsicht kontraproduktiv sind.

Der zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Beitrags vorliegende Entwurf von Teil 1 zur DIN 4095 von April 2024 [11] geht nicht nur auf diese jahrhundertealte Erfahrung zurück, sondern auch

auf die erst mittlerweile zur Verfügung stehenden Berechnungsmethoden zur Wasserbewegung in ungesättigtem Boden, die an der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) in Karlsruhe durchgeführt wurden mit dem Ergebnis:

- Wasser weg vom Sockel: auf der Geländeoberfläche kann sich zwar durch Niederschlag ein geschlossener Wasserfilm bilden, der Staudruck bleibt aber sehr gering. Die Beanspruchung auf Sockel wird durch die Anordnung von Kiesstreifen nicht nennenswert verringert, oft aber erhöht. Sockel mussten in der Vergangenheit regelmäßig (zumindest in Teilbereichen an z.B. Eingängen oder Einfahrten) auch ohne Kiesstreifen auskommen und funktionierten unter der Voraussetzung sachgerechter Ausführung der Anordnung und Ausführung von Abdichtungen (Tafel 3).



Bild 24 Kiesstreifen, in dem sich Wasser ansammelt und so an Sockeln zur Erhöhung anstelle zur Verringerung der Beanspruchung führt



Bild 25 Die Schäden am Sockel waren auf eine fehlerhafte Abdichtung zurückzuführen

- Oberflächenwasser darf nicht in Arbeitsraumverfüllungen eingeleitet werden. Dies ist eine zwingende Anforderung klimawandelfolgengerechtes Bauen. Unvermeidlich von Fassadenflächen kommendes und in den Baugrund infiltrierendes Niederschlagswasser ist so wenig, dass es keine zu beachtende Erhöhung der Wassereinwirkung an Bauteilflächen verursacht.
- Vor Sockeln von erdberührten Außenwänden dürfen keine vertikalen Sickerschichten vorhanden sein. Nach unten entwässernde Kiesstreifen vor Sockel sind vermeiden (Bild 19). Deshalb sollen Zuflüsse in Vertikaldräne einen Abstand von mindestens 20 cm, eher mehr, zu Geländeoberflächen einhalten. Fugen zwischen z.B. Perimeterdämmplatten und angrenzenden Bauteilflächen sind oberseitig gegen Wasserzufluss zu schützen.

Tafel 3 Wasserführung auf dem Gelände zur Vermeidung unnötig hoher Einwirkung von Oberflächenwasser

Bauliche Situation	Beschreibung
	Gefälle zum Gebäude ist zu vermeiden. Bei einer Neigung der Geländeoberfläche zum Gebäude besteht das Risiko von Überflutung der Sockelzone und Wasserschäden durch über Türschwellen eindringendes Oberflächenwasser.
	Auf Bergseiten kann ein Gegengefälle mit Seitenneigung von der Bergseite kommendes Wasser um das Gebäude umleiten.

Diese Anforderungen lassen sich im Gebäudebestand ohne größeren Aufwand auch nachträglich umsetzen.

Aufgrund von Inhomogenitäten in der Arbeitsraumverfüllung kann sich über Staulinsen in Teilflächen Stauwasser bilden, das sich aber auf den Bereich über diesen Staulinsen beschränkt (Bild 20). Ohne Inhomogenitäten sickert Wasser staufrei nach unten ab. Staulinsen haben zur Folge, dass in diesen Teilbereichen entstehendes Stauwasser darunter nicht vorliegen kann. Dies trifft insbesondere für Unterseiten von Bodenflächen zu.

Oberhalb des Bemessungsgrundwasserstands liegt damit regelmäßig kein Druckwasser vor. Dies kann in Ausnahmen der Fall sein, wenn Oberflächenwasser (was es ja nicht soll) durch z.B. durchlässige, nicht abgedeckte Arbeitsraumverfüllungen auf sehr gering durchlässigen Baugrund gelangen und dort entweder nach vielen Wochen oder erst nach Jahren zu Stauwasser führen kann.

4.7 Wassereinwirkungsklassen nach geotechnischen Aspekten

Die neue DIN 4095-1 [11] unterscheidet nach

- E1: Bodenfeuchte und Sickerwasser (in der wasserungesättigten Bodenzone).
- E2: Druckwasser aus Grundwasser E2-G) und solchem aus Stauwasser (E2-S, jeweils in der wassergesättigten Bodenzone).

Wassereinwirkungen an Sockelzonen sind ebenfalls beschrieben. Da von einer einheitlichen Wassereinwirkung und Beanspruchung an Sockeln auszugehen und keine Differenzierung erforderlich ist, wurde auf eine Klassifizierung verzichtet.

4.7.1 Wassereinwirkungsklasse E1 (wasserungesättigte Bodenzone)

In Kapitel 4.3.1 ist die physikalische Situation erläutert, die zur Wasserbewegung in der ungesättigten Bodenzone führt. Wasser haftet an den Bodenkörnungen an, der Druck liegt unter dem atmosphärischen Luftdruck, weswegen dieses Wasser keinen Druck auf angrenzende Flächen, z.B. auf Außenseiten von erdberührten Wänden und Bodenplatten, ausübt. Das trifft auch auf den Kapillarsaum oberhalb von geschlossenen Wasserspiegeln in der gesättigten Bodenzone zu.

INFO

Durch Dränen kann Sickerwasser nicht abgeleitet werden, Dränen sind bei Sickerwasser deswegen entbehrlich.

4.7.2 Wassereinwirkungsklasse E2 (wassergesättigte Bodenzone)

In der wassergesättigten Bodenzone (E2) füllt Wasser die Porenräume vollständig aus und kann sich in Abhängigkeit des hydraulischen Gefälles im Boden bewegen. Die Fließgeschwindigkeit hängt vom Widerstand ab, der im Wesentlichen durch die Größe der Poren und damit vom Verhältnis des Wasservolumens zur anhaftenden Fläche gebildet wird. Je kleiner die Poren, desto größer ist der Fließwiderstand und desto geringer ist die Ergiebigkeit einer wasserführenden Schicht.

Der Druck in der wassergesättigten Bodenzone ist über dem atmosphärischen Luftdruck. Daher übt Wasser in der gesättigten Bodenzone Druck auf angrenzende Flächen aus, z.B. auf Außenseiten von erdberührten Wänden und auf Unterseiten von Bodenflächen. Der Druck wird als Standrohrspiegelhöhe beschrieben, also nach der Höhendifferenz zwischen der Oberkante des freien Wasserspiegels und der Bezugshöhe, z.B. der Höhenlage der Unterseite von Bodenplatten. Die Einbautiefe ist bezüglich des Wasserdrucks unerheblich. Diese wirkt sich nur auf den Erddruck aus, der auf erdberührte Bauteilflächen einwirkt.

Geotechnisch wird nach Grundwasser und Stauwasser unterschieden. Ersteres bezeichnet freibewegliches Wasser in einer durchlässigeren Schicht, das über einer dazu relativ geringeren Schicht geleitet wird. Dazu wird nach Grundwasserleiter, Grundwassergeingleiter und Grundwassernichtleiter differenziert (Tafel 4).

Tafel 4 Zuordnung von Böden und Durchlässigkeit

Charakterisierung der Wasserdurchlässigkeit von Bodenschichten			
Durchlässigkeitsbeiwert k in m/s	Bezeichnung in Anlehnung an DIN 18530-1 [8]	Bezeichnung n. DIN 4095-1 [11]	Beispiele
< 10^{-8}	Sehr gering durchlässig	Grundwassernichtleiter	Ton, schluffiger Ton
$10^{-8} - 10^{-6}$	Gering durchlässig	Grundwassergeingleiter	Schluff, sandiger Schluff
$10^{-6} - 10^{-4}$	Durchlässig	Grundwasserleiter	Feinsand, Sand-Schluff-Gemische
$10^{-4} - 10^{-2}$	Stark durchlässig		Mittel- und Grobsand, sandiger Kies
über 10^{-2}	Sehr stark durchlässig		Kies, Schotter

Die Durchlässigkeit in Bezug auf Grundwasserleitfähigkeit bedeutet nicht, dass dieses immer vorhanden ist, sondern nur, dass sich vorhandenes Wasser in diesen Bodenzonen bewegen kann. Allerdings können auch grundwasserarme und sogar nichtleitende Schichten von Wasser durchdrungen werden. Die Geschwindigkeit ist allerdings gering bis sehr gering und erreicht lediglich wenige Dezimeter bis auch nur Zentimeter pro Jahr. Diese Bodenschichtungen sind für (geotechnisches) Stauwasser maßgeblich (Bild 26, 27).

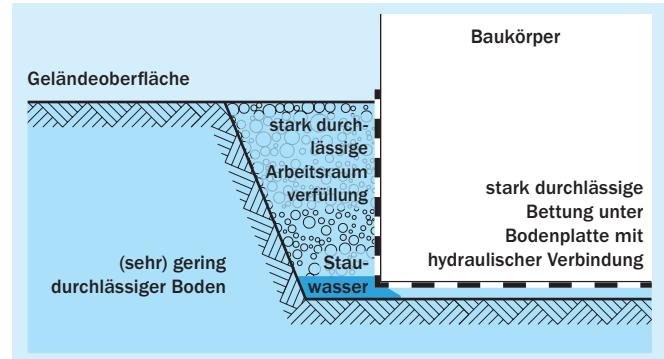


Bild 26 Stauwasser ohne seitlichen Zufluss: Die horizontale Ausbreitung von Wasser in eine stark durchlässige Schicht unter der Bodenplatte in Saugspannung ist gering, weil die in die Arbeitsraumverfüllung infiltrierende Wassermenge und die Kontaktflächen zwischen den Bodenteilchen gering sind

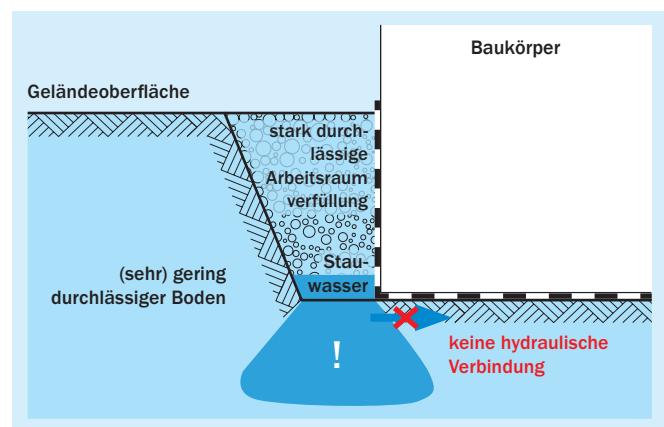


Bild 27 Stauwasser ohne seitlichen Zufluss: Wasser kann sich ohne hydraulische Verbindung nicht unter Bodenplatten ausbreiten. Sehr kleine Wassermengen, die unter die Bodenfläche gelangen können, sind unbedeutend

Stauwasserhorizonte können zeitweise trocken liegen, was bei Grundwasserleiterschichten nicht angenommen wird. Bei diesen schwankt lediglich der Grundwasserstand.

4.8 Grundleitungen unter Bodenplatten

Werden unter Bodenplatten Ausgleichsschichten aus stark-durchlässigem Material eingebaut, ist dieses Kapitel nur teilweise anwendbar. Werden Bodenplatten aber unmittelbar auf geringdurchlässigen Boden gegründet, sind folgende Überlegungen zu empfehlen.

Neben dem Risiko von partieller Druckwassereinwirkung durch Sickerwasser, das von der Arbeitsraumverfüllung in die „Kanäle“ aus Bettungsmaterial um Grundleitungen eindringen und dort fließen kann, besteht die Gefahr von Druckwasser bei Fehlstellen insbesondere aus Grundleitungen, die Niederschlagswasser von Dächern ableiten, aber auch bei Rückstau aus dem Kanalnetz. Daher sollten Sammelleitungen innerhalb von Untergeschossen und von dort durch Außenwände geführt werden.

Die Gefahr von Schäden an im Baugrund verlegten Abwasserleitungen ist durch die Verdichtung des umgebenden Erdreichs auch bei geeigneter Bettung größer als bei der Verlegung in Innenräumen. Wenn Leitungen unter Bodenplatten beschädigt sein sollten, sind sie für Instandsetzungen nur unter hohem Aufwand mit Durchbrechen der Bodenplatte und ggf. erforderlichem Teilabbruch von darauf stehenden Wänden zugänglich.

Grundleitungen sollten daher nicht nur bei gering durchlässigem Baugrund oberhalb des Bemessungsgrundwasserstands, sondern grundsätzlich auf ein unvermeidbares Mindestmaß beschränkt werden, z.B. als Verbindung untergeschossiger Bodenabläufe in Pumpensümpfe.

4.9 Lichtschächte und außenliegende Zugänge in Untergeschosse

Lichtschächte sowie bewitterte, außenliegende Zugänge in Untergeschosse können bei Druckwasser aus dem Baugrund druckwasserdicht an das Gebäude angeschlossen werden. Niederschlagswasser aus diesen Bereichen soll durch rückstauschere Entwässerungssysteme abgeleitet werden. Da in vielen Fällen Lichtschächte und Außentreppen unterhalb der Rück-

stauebene liegen, wird ein eigens dafür zu installierendes, unterbrechungsfrei funktionierendes Entwässerungssystem mit Pumpe empfohlen. Auch sollte die Pumpe nicht im Gebäude, sondern außerhalb in einem Schacht angeordnet sein. Diese Lösung ist nicht nur bei Herstellung und Instandhaltung kostenintensiv, sie birgt auch Betriebsrisiken.

Alternativ kann durch Geländegestaltungen oder, ggf. transluzente, für Luftwechsel auf Abstand montierte Abdeckungen vermieden werden, dass Niederschlagswasser in Lichtschächte oder auf Außentreppen gelangen kann. Dann kann auf eine Entwässerung dieser Anlagen verzichtet werden.

Dennoch bleibt zu überlegen, welchen Vorteil Kellerlichtschächte haben. Licht kommt nicht in nennenswerten Mengen im Untergeschoss an, zu Lüftungszwecken gibt es einfachere und technisch bessere Lösungen, Fluchtwege bieten sie in der Regel nicht. Ob sie im Brandfall (neben mechanischen Lüftungen) für Entrauchungen geeignet sein können, ist gesondert zu bewerten. So könnten Standardlichtschächte einfach entfallen und gegen Lüftungssysteme ersetzt werden. Genauso sollten außenliegende Zugänge in Untergeschosse kritisch auf ihren tatsächlichen Nutzen in Bezug zu Aufwand und Risiken betrachtet werden.

5. Feuchteschutz von Wänden und Bodenplatten

5.1 Von Abdichtungen zu WU-Konstruktionen

Die erste Norm für Abdichtungen von erdberührten Flächen war DIN 4031 von 1932 [12]. Diese stammte aus einer Zeit, in der es keine Alternativen zu Abdichtungen gegen an Bauwerksflächen einwirkendes Druckwasser gab, also keine Sperrbeton- bzw. heute WU-Betonkonstruktionen möglich waren.

In den 1960er Jahren wurden Abdichtungen und deren Details für den Hamburger U-Bahnbau entwickelt. Da im Infrastrukturtiefbau, z.B. an Tunnelbauten, Abdichtungen nach Fertigstellung nicht mehr zugänglich sind, werden sehr hohe Zuverlässigkeitssanforderungen gestellt und darüber hinaus Redundanzsysteme berücksichtigt. Es ist üblich, mit klein(st)en Leckwassermengen zu rechnen und innere Dränsysteme anzudrücken, wie sie noch heute in z. B. im Albaufstiegstunnel bei der Bahn eingebaut wurden.

Die Details sind Grundlage für die Planung und Ausführung von Abdichtungen für erdberührte Bauteilflächen geworden. Die Reihe der DIN 18195 enthielt so in Teil 9 [13] unter anderem Klemmkonstruktionen, also mit Stahlschienen angeschlossene und untereinander verbundene Abdichtungen, die alleine durch Anpressdruck Dichtheit erzielen [14]. Diese Details wurden bei der Übernahme der Abdichtungsaufgaben von erdberührten Bauteilflächen in DIN 18533 zwar in der Menge reduziert, sind aber noch enthalten.

In den 1970er Jahren allerdings haben sich bei hohen Druckwassereinwirkungen neben dem Schutz durch Abdichtungen Sperrbetonkonstruktionen etabliert, die seit 2003 in der WU-Richtlinie [15] beschrieben werden.

Seitdem werden bei zu erwartendem Druckwasser zunehmend wasserundurchlässige Betonkonstruktionen anstelle von Abdichtungen gewählt. Es gibt aber immer noch Befürworter von außen an erdberührten Bauteilflächen und damit auch unter Bodenplatten angeordneten Abdichtungen. Beim Bauen, insbesondere bei Abdichtungsarbeiten, darf kein Druckwasser vorhanden sein. Deswegen sind temporäre Wasserhaltungen erforderlich, die sowohl die Baugrube trocken halten als auch

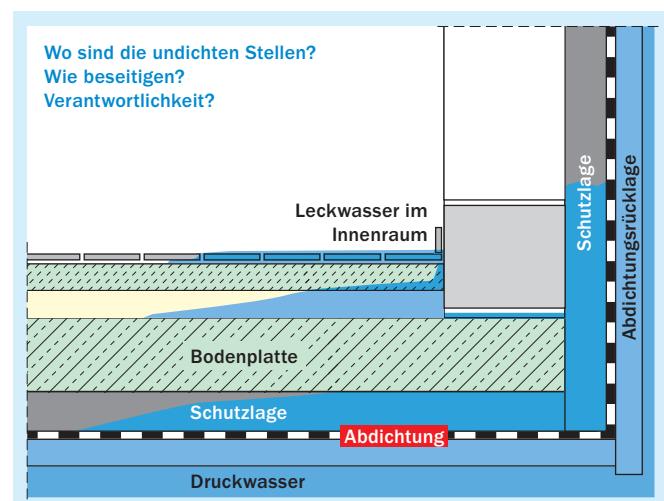


Bild 28 Undichtheiten in Abdichtungen an der Einwirkungsseite sind nicht lokalisierbar und können nicht instandgesetzt werden

Aufschwimmen des unfertigen Rohbaus vermeiden. Diese können erst abgeschaltet werden, wenn der Rohbau fertiggestellt ist und dadurch der Schutz gegen Aufschwimmen gewährleistet ist. Dann aber sind die Abdichtungen unter Bodenplatten nicht zugänglich. Ursachen von evtl. Undichtheiten der Abdichtung können so nicht lokalisiert werden (Bild 28).

Nachträgliche Untergelungen in Schutzschichten sind zwischen Abdichtung und Unterseiten von Bodenplatten möglich, um die Folgen von Leckstellen in Abdichtungen einzugrenzen und zu beschränken. In diesen Bereichen wird dann der Schutz durch die Außenbauteile aus Beton erzielt. Warum aber wird nicht gleich mit wasserundurchlässigen Bodenplatten gearbeitet?

Es sind keine aktuellen Statistiken zur Häufigkeitsverteilung bekannt, aus denen in Fällen von zu erwartendem Druckwasser auf erdberührten Bauteilflächen WU-Konstruktionen oder Abdichtungen gewählt werden. Nach eigener Wahrnehmung werden Bauteile nur noch in seltenen Ausnahmefällen mit außenliegenden Abdichtungen, insbesondere solche unter Bodenplatten, geschützt. Dies betrifft insbesondere Situationen, in denen mit Druckwasser zu rechnen ist. WU-Bodenplatten lassen sich bei eventuellen Undichtheiten von der Raumseite instand setzen, was bei Abdichtungen nicht möglich ist. Das hat zur Folge, dass Abdichtungen weitgehend auf erdberührte Wandflächen beschränkt werden.

5.2 (Keine) Dränung von Stauwasser

Die in DIN 4095 von 1990 benannten Dränspenden wurden nicht durch Messungen von Stauwasser in Arbeitsräumen bestimmt – bei Untersuchungen für die Drännorm aus dem Jahr 1990 war dort keines festgestellt worden. Die Dimensionierungsregeln fußen auf Mengenmessungen in Dränleitungen, die Grundwasser ableiteten und sind bezüglich der Ableitung von Stauwasser weit überzogen. Weil bisher regelmäßig mit (zu) großen Mengen abzuleitenden Dränwassers zu rechnen war, haben in den letzten Jahren die Behörden regelmäßig nicht mehr zugestimmt, Dränwasser in Vorfluter, in der Regel die Kanalisation für Niederschlagswasser, einleiten zu dürfen.

Tatsächlich aber sind ableitbare (geotechnische) Stauwassermengen gering. Die Menge von Stauwasser, die sich am Boden von Arbeitsraumverfüllung unter bestimmten Voraussetzungen bilden kann, ist noch sehr viel kleiner.

Wegen den immer weniger oft zulässigen Dränmöglichkeiten sahen sich Planende veranlasst, Gebäude gegen Druckwasser zu schützen. Ein großer Aufwand entsteht aber nicht für druckwasserschützende Abdichtung an Wänden, sondern vor allem zur Sicherung von Bodenplatten insbesondere gegen den von unten einwirkendem Auftrieb.

5.3 Folge von übertrieben auf der sicheren Seite liegenden Festlegungen

Wie bereits ausgeführt, stellen sehr häufig Baugrundgutachter keine geotechnischen Überlegungen zu Wasser im Baugrund an. Anstelle dessen wenden sie die für Baugrund und damit auch für Wasser im Baugrund nicht einschlägige Abdichtungsnorm DIN 18533 an. Sie empfehlen auf dieser Grundlage re-

gelmäßig oberhalb des Bemessungsgrundwasserstands und Bodendurchlässigkeiten von weniger als 10^{-4} m/s entweder Dränen nach DIN 4095:1990-06 oder gegen Druckwasser schützende Maßnahmen.

Der Verzicht auf die Untersuchung der tatsächlichen Wasser einwirkung führt meistens zu unwirtschaftlichen Ergebnissen. Alleine durch die Tatsache, dass Baugrund durchlässig (!) oder gering durchlässig ist, führt bei ausreichendem Abstand zum Grundwasser nicht zu Stauwasser, und schon gar nicht zu einem Wasserdruck aus dem Druckgefälle zwischen Geländeoberfläche und der Unterseite von Gebäuden und damit zu einem rechnerisch anzusetzenden Auftrieb in gleicher Größe. Die dann aufwändigen Bodenplatten zum Schutz gegen den vermeintlichen hydrostatischen Druck und Aufschwimmen sind in dieser Konstellation nicht erforderlich.

Mittlerweile werden auch erdberührte Wände häufig aus wasserundurchlässigen Betonkonstruktionen errichtet. Das ist auch eine Folge von zu weit auf der sicheren Seite liegenden Festlegungen in DIN 18533-1 (s. Kapitel 4). Gegen Druckwasser schützende Betonkonstruktionen erhöhen nicht nur die Bau kosten, sondern belasten die Umwelt in unnötigem Maß. Diese negativen Auswirkungen können korrigiert werden, wenn die Eingangsparameter richtiggestellt werden. Der Ansatz dazu findet sich in den vorherigen Kapiteln. Dann sind, ohne Abstriche an die Zuverlässigkeit des Feuchtigkeitsschutzes, wieder gemauerte Außenwände mit Abdichtungen in den erdberührten Bereichen möglich.

Die Kombination von Situationen oberhalb des Bemessungs grundwasserstands und Bodendurchlässigkeiten von weniger als 10^{-4} m/s liegt nach sehr vorsichtiger Schätzung bei etwa 70 % aller Neubauten des Wohnungsbaus vor. Unter Berücksichtigung der vorherigen Ausführungen kommt unter diesen Voraussetzungen Druckwasser an Unterseiten von Bodenplatten tatsächlich aber sehr selten vor. Es gilt daher, die Fallkonstellation zu beschreiben, wann dies sein kann, um den in einem sehr großen Anteil nicht notwendigen Aufwand zum Schutz gegen Druckwasser vermeiden zu können.

Aus der Abdichtungsnorm abgeleitete, aber nicht notwendige Schutzmaßnahmen gegen Aufschwimmen führen zu einem nicht nur untergeordneten, sehr vorsichtig am unteren Rand einer möglichen Bandbreite geschätzten Mehraufwand von ca. 150 Mio. Euro pro Jahr und einer zusätzlichen CO₂-Emission von ca. 200.000 Tonnen pro Jahr [17]. Hinzu kommen der Ressourcenverbrauch für Stahl, Zuschlagstoffe sowie die Emissionen und Kosten für den Transport der Mehrmenge von Beton.

Tatsächlich dürften die Aufwendungen größer sein unter der Voraussetzung, dass die Empfehlungen aus Baugrundgutachten für alle Bauweisen Anwendung fänden. Sie lässt eine Größenordnung eines möglichen Folgeschadens erahnen, der sich bei Fehlanwendung der Empfehlungen zur Wassereinwirkung in einer dafür nicht zuständigen Abdichtungsnorm ergeben kann.

5.4 Angleichung der Technischen Empfehlungen

In der WU-Richtlinie ist geplant auf die Einwirkung zu Wasser im Baugrund in DIN 4095-1 zu verweisen. So soll aus Beanspruchungsklasse BK2 Wassereinwirkungsklasse E1 werden und

aus BK1 E2. Damit wird die Nomenklatur zwischen Abdichtungsnorm, der Norm für Baugrund und der WU-Richtlinie einheitlich.

INFO

Nach dem Anwendungsausschluss in DIN 18533-1 für wasserundurchlässige Bauteile ist die gesamte Reihe der DIN 18533 nicht anwendbar.

Vor allem aber reduziert sich das zuvor abgeschätzte Schadenspotenzial, da, wie oben beschrieben, Bodenplatten regelmäßig nicht mehr abgedichtet, sondern aus WU-Konstruktionen errichtet werden und die WU-Richtlinie sich – nach derzeitigem Kenntnisstand – den Empfehlungen der DIN 4095-1 anschließen wird. Dann ist nach dem Anwendungsausschluss in DIN 18533-1 für wasserundurchlässige Bauteile die gesamte Reihe der DIN 18533 nicht anwendbar.

WU-Bodenplatten der jetzigen Beanspruchungsklasse BK2 bzw. der zukünftig geplanten Wassereinwirkungsklasse E1 können aus 15 cm dickem Beton errichtet werden, der lediglich das WU-Betonkriterium erfüllen muss und damit deutlich kostengünstiger ist als Bodenplatten mit Abdichtungen nach DIN 18533. Dünnerne Bodenplatten können ebenfalls wasserundurchlässig sein, da die Unterseiten von Bodenplatten immer optimal nachbehandelt sind und Beton einen hohen Kristallisationsgrad aufweist. Aber selbst bei der Annahme, dass es Kiesnester oder andere Lücken gibt, kann Wasser in Saugspannung durch diese Bodenplatten nicht aufsteigen und an Oberseiten in Innenräumen austreten. Zur Vermeidung von eventuellen Mängelansprüchen ist aber zu empfehlen, die in der WU-Richtlinie vorgeschlagene Dicke von Bodenplatten von 15 cm vorzusehen.



Einen kleinen Wermutstropfen enthält die WU-Richtlinie – die Entwurfsgrundsätze a), b) und c) beschreiben Maßnahmen gegen den Wassertransport durch Risse. Das trifft aber nur für Druckwasser zu. Die Entwurfsgrundsätze sind nur für Druckwasser (BK1 resp. E2) anwendbar. Für BK2 resp. E1 sind sie unerheblich, da dann Wasser nur im Unterdruck und in Saugspannung vorliegt. Kapillar gebundenes Wasser kann zwar Risse befeuchten. Je breiter aber der Riss, desto geringer ist aber die Steighöhe. Aus Rissen kann Wasser in Saugspannung aber nicht austreten (s. Kapitel 2.2).

Für diese Bodenplatten entfallen alle Anforderungen bezüglich Abdichtungen an deren Oberseiten. Das trifft auch formal zu, da die Abdichtungsnorm DIN 18533 ihre Anwendbarkeit für wasserundurchlässige Bauteile ausschließt. Somit sind weder Abdichtung auf Bodenplatten noch Abdichtungen unter oder in Wänden erforderlich. Allerdings können in Abhängigkeit vom Fußbodenaufläufen Schutzmaßnahmen gegen Baufeuchte aus Bodenplatten erforderlich werden. Das trifft aber auch für abgedichtete Bodenplatten im Druckwasser zu, weil dort die Abdichtung an der Außen- und damit an Unterseiten geführt wird. Weder Baufeuchte, noch Diffusion sind Gegenstand der Abdichtungsnorm, sondern lediglich der Schutz gegen von außen an erdberührte Bauteilflächen einwirkendes, flüssiges Wasser.

5.5 Zusammenfassung

Die Entwicklung der letzten Jahre haben dazu geführt, dass Bodenplatten nicht mehr abgedichtet werden. Abdichtungen beschränken sich auf Außenseiten von erdberührten Wandflächen. Die Kombination aus Abdichtung an Wänden und wasserundurchlässigen Bodenplatten wurde in der damaligen Abdichtungsnorm DIN 18195-9 seit der Änderungsfassung A1 im Jahr 2009 beschrieben. Bei zu erwartendem Druckwasser sind Abdichtungen an Wänden hinterlaufsicher an Betonflächen anzuschließen. Diese Abdichtungsbauweise wird, wenn überhaupt noch abgedichtet wird, am häufigsten angewendet.

Die realistischeren Einschätzungen nach der neuen DIN 4095-1 liegen zwar teilweise auch weit auf der sicheren Seite. Sie lassen aber insbesondere eine nicht nur unerhebliche Verringerung der Einwirkungen an Unterseiten von Bodenplatten erwarten.

Wenn die Anforderungen der Wassereinwirkungen aus dem Baugrund richtig bestimmt werden, können erdberührte Außenwände sehr viel häufiger (kostengünstiger) aus Mauerwerk errichtet und außenseitig abgedichtet werden.

Der dritte, positive Effekt wird darin bestehen, Dränen zur Ableitung von Stauwasser mit realistischen kleinen Wassermengen zu ermöglichen – dazu ist gegebenenfalls noch nicht einmal eine Ableitung einer Dränspende in eine Vorflut erforderlich [18].

INFO

Bei der richtigen Bestimmung der Wassereinwirkung aus dem Baugrund können erdberührte Außenwände aus Mauerwerk mit außenseitiger Abdichtung kostengünstig und sicher erstellt werden.

6. DIN-Normen zu Abdichtungen

Im Juli 2017 wurden die Abdichtungsnormen DIN 18531 bis DIN 18535 veröffentlicht. Die Normen dieser Reihe enthalten jeweils Empfehlungen für Schutzmaßnahmen gegen die jeweils beschriebenen Wassereinwirkungen in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen (siehe Bild 29). Die 2017 neu erschienene DIN 18195 enthält Begriffe, Abkürzungen und Bezeichnungen für die Anwendung der Normen DIN 18531 bis DIN 18535.

Abdichtungen von erdberührten Bauteilen sind in der Reihe der DIN 18533 [1] beschrieben. Teil 1 enthält Grundsätzliches, Teil 2 die Verarbeitung von bahnförmigen und Teil 3 flüssig zu verarbeitende Abdichtungsstoffe.

Hinweise zur Kontrolle und Prüfung der Schichtdicken von flüssig zu verarbeitenden Abdichtungsstoffen enthält Beiblatt 2 zu DIN 18195.

Die in DIN 18533-2 beschriebenen, bahnförmigen Stoffe sind in DIN SPEC 20000-202 [19] spezifiziert, die allerdings nicht das Verfahren nach DIN 820 durchlaufen muss und nicht den gleichen Status wie DIN-Normen hat, die dieses Verfahren durchlaufen. Allerdings verweist DIN 18533-2 auf diese Spezifikationsnormen, wodurch im Verständnis von DIN die Abdichtungsnorm diese in den normativen Status erhebt.

Abdichtungsnormen sind nicht für Bauteile anwendbar, die wasserundurchlässig sind und damit nicht für Bodenplatten, deren Feuchtigkeitsschutz bereits durch Beton erzielt wird, der einen ausreichenden Schutz entweder gegen Bodenfeuchte oder gegen drückendes Wasser bietet. Dabei verweist die Norm beispielhaft auf die WU-Richtlinie [15].

Unter dem Begriff „Sonderlösung“ wird juristisch eine Abweichung unter Mindeststandards verstanden und damit, ohne vorherige Aufklärung von Bestellern, als Mangel eingestuft. Begriffe wie „Sonderlösungen“ oder „Sonderkonstruktionen“ bedeuten aber nicht erhöhte Risiken, sondern sind nur Synonyme für Konstruktionen oder Verfahren, die in DIN-Normen und andere technische Empfehlungen, nicht beschrieben sind. Diese erheben keinen Alleinstellungsanspruch. Andere Lösungen, die ebenso das Schutzziel erreichen, sind nicht ausgeschlossen. Daher ist es, auch rechtsdogmatisch, nicht richtig, in von DIN-Normen abweichende Lösungen grundsätzlich mangelhafte Leistungen zu subsumieren. Daher sollen diese Begriffe aus Technischen Empfehlungen grundsätzlich gestrichen und nur dann verwendet werden, wenn tatsächlich damit ein höheres Risiko zum Ausdruck gebracht werden soll. Das trifft aber für die wenigsten Konstruktionen zu, die in den Technischen Empfehlungen als „Sonderkonstruktion“ bezeichnet werden.

So werden bei z.B. niveaugleichen Türschwellen richtigerweise nicht mehr als „abdichtungstechnische Sonderkonstruktion“ beschrieben. Sie sind mittlerweile ein üblicher Standard, die genauso funktionieren müssen wie andere Schwellen auch – der Innenraum muss bei jeder Einwirkung trocken bleiben. Aus

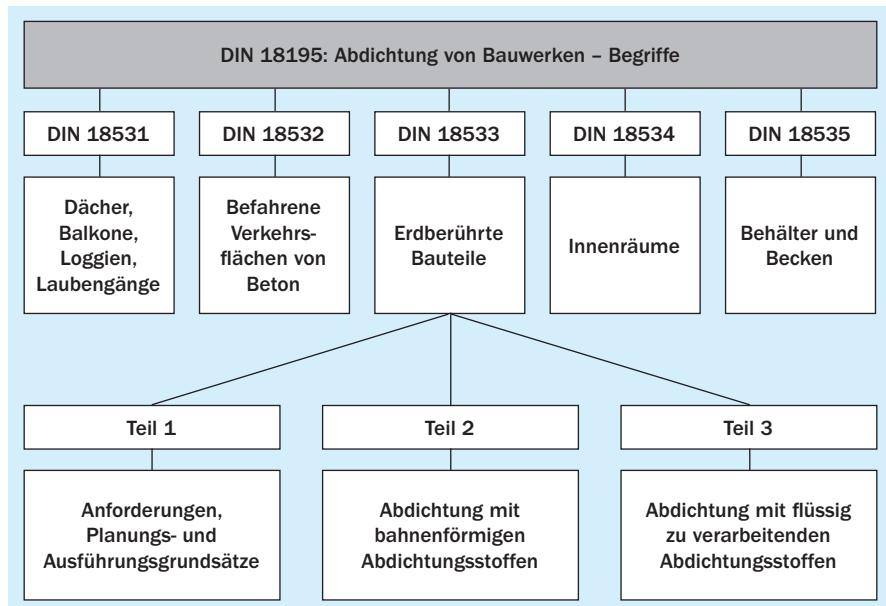


Bild 29 Struktur der DIN-Normen für Abdichtungen

Abdichtungen können zudem keine Schwellen hergestellt werden, sie sind nur ein Teil eines Bausatzes. Der wichtigste Teil dieses Bausatzes sind die Schwellen selbst, an die aber bis heute regelmäßig (außenseitig) keine Abdichtungen unter Berücksichtigung der in den Abdichtungsnorm enthaltenen Grundempfehlungen angeschlossen werden können. Da es aber keine koordinierende, andere Technische Empfehlungen gibt, nutzt man die dafür eigentlich nicht einschlägige Abdichtungsnorm DIN 18533 für Eingänge vom Gelände bzw. DIN 18531 für Dachterrassentüren. Problematisch sind aber bei den Festlegungen, die Anforderungen an Abdichtungen auf Schwellen zu übertragen. Dazu zählen z.B. die Laborprüfung mit Prüfdrücken für Abdichtungen, die für Fenster- und Türprofile nicht geeignet sind.

Im Ergebnis: Für niveaugleiche Türschwellenkonstruktionen gibt es lediglich Anforderungen in der Normenreihe für barrierefreies Bauen DIN 18040 [20], aber keine Konstruktionsempfehlungen. Die Anforderungen an Abdichtung können nicht für Schwellen angewendet werden. Niveaugleiche Türschwellen sind seit Jahrzehnten üblich, ohne ein übermäßiges Schadenseintrittsrisiko zu erkennen. Sie sind Standardkonstruktionen, die unter üblichen Bedingungen funktionieren.

Technische Empfehlungen, z.B. die oben genannten DIN-Normen, sind perspektivisch gedacht für Planung und Ausführung. Sie sollen Baubeteiligten Hilfestellungen geben, können aber keine Detailplanung ersetzen. Technische Empfehlungen werden in Arbeitsausschüssen formuliert auf Basis von Erfahrungen der dort Mitarbeitenden. Sie kennen nicht den konkreten Anwendungsfall. Anwender von Technischen Empfehlungen haben eigenverantwortlich Inhalte von DIN-Normen aus dem Abstrakten auf konkrete Anwendungen zu übertragen. Das führt zu einem Ermessensspielraum, Vorschläge auszuwählen, aber auch, von in DIN-Normen enthaltenen Empfehlungen abzuweichen, wenn die jeweiligen Ziele entweder nicht oder besser durch andere Maßnahmen erreichbar sind. Diese Pflicht ist gleichzeitig auch ein Recht der Anwender von DIN-Normen oder anderen Technischen Empfehlungen.

DIN-Normen erheben keinen Ausschließlichkeitsanspruch. Es kommt einerseits auf die jeweils uneingeschränkte Verwendungseignung für die vorgesehene wirtschaftliche Nutzungsdauer unter Berücksichtigung zu erwartenden Einwirkungen und üblichen, möglichen Instandhaltungen sowie andererseits auf die Beachtung des Wirtschaftlichkeitsgebots an. DIN-Normen und andere technische Empfehlungen schließen andere Lösungen nicht aus, die ebenso zu diesem Ziel führen.

Für den Gebäudebestand sind die in den perspektivisch gedachten Abdichtungsnormen nur bedingt anwendbar. Nachträglich sollen keine Abdichtungen unter Bodenplatten verlegt werden müssen. Dennoch haben Bodenplatten zu funktionieren.

Bei zu erwartenden Druckwassereinwirkungen unter Bodenplatten anzuordnenden Abdichtungen sind für Inspektion, Wartung, Reparatur oder Erneuerung nicht zugänglich. Deswegen sind die Anforderungen an Abdichtungen hoch, z.B. an die Rissüberbrückungseigenschaften, Schichtdicken und Lagenzahl, den hohen Aufwand an Durchdringungen u.a.m.

Da Abdichtungen unter Bodenplatten zur gegebenenfalls notwendigen Instandsetzung nicht zugänglich sind (das Gebäude steht im Weg zur Abdichtung darunter), hat sich die Anwendungshäufigkeit von Abdichtungen unter Bodenplatten im Hochbau sehr stark reduziert.

7. Wassereinwirkungen nach DIN 4095-1

DIN 4095 Teil 1 [11] legt die Schnittstelle zwischen Baugrundgutachten und den darin abzubildenden hydrogeologischen Baugrundverhältnissen sowie der Planung von Schutzmaßnahmen gegen Wassereinwirkungen fest. Diese Norm enthält Empfehlungen zur Ermittlung von Wassereinwirkungen an den Kontaktflächen zwischen Baugrund bzw. Arbeitsraumverfüllung einschließlich eventueller Dränungen und den erdberührten Flächen von Gebäuden oder baulichen Anlagen. Dadurch wird auch die Grundlage für Auftrieb und die daraus folgende die Bemessung gegen Aufschwimmen geschaffen.

INFO

Baugrundgutachten sind hinsichtlich der Wassereinwirkungen auf Grundlage der Norm für Baugrund DIN 4095-1 auszuarbeiten. Die Abdichtungsnorm DIN 18533-1 ist für Baugrund nicht einschlägig.

7.1 Situation oberhalb des BGW

DIN 4095-1 bildet Tab. 2 Einwirkungskombinationen in Situationen oberhalb von Bemessungsgrundwasserständen BGW ab, wobei grundsätzlich davon ausgegangen wird, dass Arbeitsraumverfüllungen aus homogenem Material bestehen.

Die Trennung der Einwirkungen nach erdberührten Wänden und Unterseiten von Bodenflächen berücksichtigt, dass unter Bodenflächen kein Sickerwasser anfallen kann, weil die darauf stehenden Gebäuden das verhindern. Unter Bodenplatten kann sich Druckwasser nur aus seitlich zusickerndem Stauwasser bilden. Das ist regelmäßig weniger als das, das sich aus aufstauendem Sickerwasser bilden kann. Diese Zuordnungen beinhalten ausreichende Sicherheitszuschläge und können fallbezogen reduziert werden: In Situationen mit E1 ist Druckwasser auszuschließen, ohne Einwirkung liegt auch keine Beanspruchung vor.

In Fällen ohne seitlichen Zufluss und Einbindetiefen von mehr als 2 m liegen folgende Konstellationen vor:

- Baugrund mit $k > 10^{-6}$ m/s: An Wand- und Bodenflächen E1
- Baugrund mit $k > 10^{-7}$ m/s: An Wandflächen E2-S, an Bodenflächen W1
- Baugrund mit $k < 10^{-7}$ m/s: An Wand- und Bodenflächen E2-S

In Fällen mit seitlichem Zufluss (damit ist nur geotechnisches Stauwasser, nicht aber die Zuleitung von Oberflächenwasser gemeint) oder Einbindetiefen von weniger als 2 m sind folgende Konstellationen beschrieben:

- Baugrund mit $k > 10^{-4}$ m/s: An Wand- und Bodenflächen E1
- Baugrund mit $k > 10^{-6}$ m/s: An Wandflächen E2-S, an Bodenflächen E1
- Baugrund mit $k < 10^{-6}$ m/s: An Wand- und Bodenflächen E2-S

In allen Fällen von E2-S können Dränungen die Einwirkungen auf E1 reduzieren, die in Teil 2 der DIN 4095 beschrieben werden (der zum Zeitpunkt der Ausarbeitung dieses Beitrags in der Entwurfsbearbeitung ist). Zurzeit lässt sich abschätzen, dass grundsätzlich die Konstruktionsempfehlungen bisheriger Dränungen beibehalten werden. Allerdings wurden die Dränspenden in DIN 4095:1990-06 aus Grundwasserableitungen entwickelt. Sie sind deswegen stark übertrieben. Das ist ein wesentlicher Grund, dass heute keine Dränungen mehr erlaubt werden. Wenn aber erarbeitet wird, dass entweder so wenig Wasser abzuleiten ist, dass dafür keine Vorflut erforderlich wird, oder die abzuleitenden Wassermengen sehr klein sind, bestehen berechtigte Aussichten, dass Gebäude zukünftig wieder durch Dränungen geschützt und die zum Teil übermäßigen und damit unnötigen Aufwendungen zum Schutz gegen Druckwasser sowie die damit verbundenen ökonomischen und ökologischen Schadensfolgen vermieden werden können.

Dränungen sollen zukünftig entweder genehmigungsfrei bzw. erlaubnisfrei errichtet werden können. Genehmigungen bzw. Erlaubnisse durch realistische Einschätzungen der Dränspenden sollen wieder ermöglicht werden.

Die Bodendurchlässigkeit von 10^{-6} m/s als Grenzwert, ob durch Dränen die Einwirkungen auf E1 reduziert werden können, ist nicht neu, sondern war bereits in der DIN 4095 in der Fassung von Juni 1990 so enthalten (s. Kapitel 4.3.3). Der Grenzwert von 10^{-4} m/s ist daher eine Verschärfung gegenüber der bisherigen Festlegung, um (der sicheren Seite liegend unter Berücksichtigung von auch sehr ungünstigen Einwirkungskombinationen) Stauwasser in Arbeitsraumverfüllungen zu vermeiden.

Die Bodendurchlässigkeit von 10^{-7} m/s ist der ebenfalls noch auf der sicheren Seite liegende Grenzwert für die Entscheidungshilfe, ob an Bodenflächen von unten mit E2-S gerechnet werden muss oder nicht. Letzteres berücksichtigt den geringen Zufluss in Arbeitsraumverfüllungen, wobei die Empfehlungen unter verschärften Rahmenbedingungen angenommen wurden: stark durchlässiges Material in Arbeitsraumverfüllungen, das an der Oberseite nicht geneigt und nicht zur Ableitung von Oberflächenwasser abgedeckt ist. Sobald der grundlegenden Empfehlung, diesen Bereich mit einer Neigung vom Gebäude weg zu versehen und Arbeitsräume mit nichtstarkdurchlässigem Material abzudecken, gefolgt wird, ist – auf der sicheren Seite liegend – nicht mit Stauwasser unter Bodenplatten zu rechnen (solange kein (geotechnisches) Stauwasser zufließt und Bodenplatten oberhalb von Grundwasserständen liegen).

7.2 Situation teilweise unter dem BGW

Bei Bauteilflächen, die unter dem Bemessungsgrundwasserstand (BGW) liegen, ist davon auszugehen, dass sie durch Druckwasser aus Grundwasser beansprucht werden.

Liegt der BGW unterhalb der Geländeoberfläche, sind Bauteilflächen oberhalb des BGW entweder nur durch Bodenfeuchte (E1) oder durch Druckwasser aus Stauwasser (E2-S) beansprucht.

Liegt kein seitlicher Zufluss vor, ist die Einbindetiefe bzw. der Abstand zum BGW größer als 2 m und weist der anstehende Baugrund eine Durchlässigkeit $> 10^{-6}$ m/s auf, liegen an Wandflächen oberhalb des BGW Bodenfeuchte und Sickerwasser E1 vor. In anderen Fällen ist mit E2-S zu rechnen, das mit Dränen nach DIN 4095-2 auf E1 reduziert werden kann.

INFO

Die jeweiligen Wassereinwirkungen sind gesondert zu beachtende Fälle und dürfen nicht zu einem "Bemessungswasserstand" kombiniert werden. So liegt z.B. unter Gebäuden kein Sickerwasser vor, weil diese Flächen durch Gebäude abgedeckt sind. In den meisten Fällen sickert Wasser seitlich an Gebäuden vorbei, ohne unter Gebäude zu gelangen. Dann kann an Wänden E2-S vorliegen, unter Bodenplatten bleibt die Einwirkung E1.

8. Schutz durch Abdichtungen

8.1 Abdichtungen von Wänden bei E1

8.1.1 Flächenabdichtungen

Zum Schutz von Bauteilen gegen die geringe Wassereinwirkung aus W1 reichen einfache Schutzmaßnahmen aus. Unter technischen Aspekten genügten Kapillarsperren, die verhindern, dass an Bodenkörnungen anhaftendes Wasser von einem Bauteil (kapillar) aufgesogen wird (vgl. Kapitel 4.3).

Praktisch schützen einfache Abdichtungsmaßnahmen aus durchgehenden, nicht kapillarleitenden Schichten oder Bauteile aus Beton, der das WU-Betonkriterium erfüllt. Diese Schichten

müssen nicht gegen Druckwasser dicht sein. Überlappungen von Abdichtungen und solche auf wasserundurchlässige Betonbauteile sowie nichtdruckwasserdichte Anschlüsse von Abdichtungen an Rohrleitungen sind bei dieser geringen Wassereinwirkung unproblematisch.

Flächige Wasserschäden sind regelmäßig nur festzustellen, wenn Abdichtungen entweder im historischen Bestand auf gemauerten Wänden gar nicht vorhanden sind oder aber aus Stoffen verarbeitet wurden, die mittlerweile korrodiert sind (Bild 30). Aus Sicherheitsüberlegungen werden Abdichtungen an Wänden bei dieser geringen Wassereinwirkung aus durch-



Bild 30 Früherer Beton hatte üblicherweise eine stark poröse Struktur und wies einen (sehr) geringen Feuchteschutz auf



Bild 31 Heute üblicher Konstruktionsbeton weist bei Verarbeitung mit üblicher Sorgfalt eine dichte Struktur auf, die das WU-Beton-Kriterium erfüllt

gehend dichten Schichten erstellt, die in der Lage sind, gegen räumlich begrenztes Stauwasser bei z. B. Inhomogenitäten in der Arbeitsraumverfüllung zu schützen.

Bei der geringen Einwirkung aus Bodenfeuchte (in Saugspannung) kann Wasser von unten nach oben nur kapillar aufsteigen. Das aber wird bereits durch den heute üblichen Beton verhindert (Bild 31). Auf Bodenplatten sind bei heute üblichem Konstruktionsbeton, der das WU-Beton-Kriterium [21] erfüllt, keine Abdichtung gegen von außen einwirkendes Wasser erforderlich. Daneben stehen möglicherweise Anforderungen zum Schutz gegen Baufeuchte.

8.1.2 Details

Vertikale Strömungswege durch bis an die Geländeoberfläche reichende Vertikaldräne sollen vermieden werden. Dazu sollen weder Noppenbahnen, mit oder ohne Geotextile, bis an Sockel hochgeführt werden. Wenn Kiesstreifen gewünscht werden, können diese auf das Gelände gelegt und seitlich entwässert werden. Nach unten in die Arbeitsraumverfüllung entwässernde Kiesstreifen sollen vermieden werden.

Durch solche Vertikaldräne kann Oberflächenwasser nach unten abfließen. Die abfließende Wassermenge ist dabei gering und kann ungünstigstenfalls zu lokal begrenztem Stauwasser an Sockeln, erdberührter Außenwände oder im Sickerweg an z.B. Durchdringungen führen. Ein Zufluss unter Gebäuden ist ausschließbar. Diese Erscheinung ist aber unabhängig von der Bodendurchlässigkeit und der Durchlässigkeit der Arbeitsraumverfüllung. Das bedeutet, dass selbst bei starker Durchlässigkeit von Baugrund und Arbeitsraumverfüllung Stauwasser aufgrund der erheblichen Unterschiede der Wasserbewegungsgeschwindigkeiten über und unter von Geländeoberflächen (s. Kapitel 4.3) nicht vermieden werden kann, wenn vertikale Strö-



Bild 32 Aus Zuverlässigkeitsüberlegungen sollten auch bei der geringen Wasser- einwirkung E1 Abdichtungen an Beton von Bodenplatten hinterlaufsicher angeschlossen werden und nicht, wie hier im Bild, auf einen nicht vorbehandelten Untergrund aufgetragen werden. Damit kann bei eventuell später auftretender, geringen Stauwassereinwirkung an den unteren Wandenden Wasserschäden im Gebäude verhindert werden

mungswege bis an die Geländeoberfläche reichen. Selbstverständlich ist es möglich, dies zuzulassen mit der Folge, dass an den erdberührten Wänden mit Druckwasser zu rechnen ist – wie ausgeführt, unabhängig von der Durchlässigkeit der Arbeitsraumverfüllung oder des Baugrunds.

Soll die Zuverlässigkeit von Abdichtungen an erdberührten Außenwänden erhöht werden, sollten insbesondere Details gegen eine kurzeitige Druckwassereinwirkung dicht gestaltet werden.

Für druckwasserdichte Anschlüsse von Abdichtungen an Betonbauteile ist Beton an Anschlussflächen mechanisch abtragend vorzubehandeln. Weiterhin sind aufwändigere Maßnahmen erforderlich als bei nicht hinterlaufsicheren Übergängen von Abdichtungen an Betonflächen, die gleichsam einen Regenschirm von oben kommendes, der Schwerkraft folgendes Sickerwasserwasser außen ableitet. Bei der geringen Wassereinwirkung E1 werden selten druckwasserdichte Leitungsdurchführungen gewählt. Anstelle dessen durchdringen Leitungen Abdichtungen tülleartig z.B. an Kelleraußenwänden. Da aber bereits geringe Stauschichten am Fuß von Arbeitsraumverfüllungen zu lokalem Stauwasser führen können, sollten aus Zulässigkeitsüberlegungen unabhängig von geohydraulischen Einstufungen ausschließlich hinterlaufsicherer Anschlüsse gewählt werden.

Genauso können auch gegen Druckwasser geeignete Leitungsdurchführungen an Wänden die Zuverlässigkeit erhöhen ohne die Baukosten nennenswert zu beeinflussen.

8.2 Bodenplatten

In Kapitel 2, insbesondere in Kapitel 2.2, ist dargestellt, dass Wasser durch Kapillarität nicht frei aus Bauteilen ausströmen kann. Deswegen sind bei Bodenfeuchte und gegen in Saugspannung sickerndes Wasser (s. Kapitel 4.3) keine gegen Druckwasser schützende Abdichtungen nötig.

In Situationen E1 dürfen Bodenplatten zum Schutz gegen „aufsteigende Feuchte“ anstelle an der Unterseite auch oberseitig abgedichtet werden (Bild 32). Allerdings ist DIN 18533 nicht für Bauteile anwendbar, die wasserundurchlässig sind und damit nicht für Bodenplatten, deren Feuchtigkeitsschutz bereits durch Beton erzielt wird, der einen ausreichenden Schutz entweder gegen Bodenfeuchte oder gegen drückendes Wasser bietet.

Dabei verweist die Norm beispielhaft auf die WU-Richtlinie [15]. Technisch sind Abdichtungen nicht erforderlich, wenn Wasser aus dem Baugrund Bauteile nicht durchdringen kann. Dazu genügt technisch das WU-Beton-Kriterium [21].

Beton wird im Laufe der Zeit durch das stetig voranschreitende Wachstum von Calcium-Silikat-Hydrat-Nadeln (CSH-Nadeln) immer weniger wasserundurchlässig. An der Einwirkungsseite von Betonbo-

denplatten, an Unterseiten, liegen grundsätzlich ideale „Nachbehandlungsbedingungen“ vor: das Erdreich und die darauf angeordneten Ausgleichsschichten schützen vor raschem Wärmeabfluss und vor Trockenheit. Das führt regelmäßig dazu, dass Beton, der aus heute üblichen Lieferbeton im üblichen Maße verdichtet eingebaut wird, keine Kapillarität durch die Bodenplatte zulässt und damit Bodenplatten unter technischen Aspekten wasserundurchlässige Eigenschaften haben – es kommt keine Feuchtigkeit von außen bis an Oberseiten von Bodenplatten.

INFO

Auf Bodenplatten, die das WU-Kriterium erfüllen, sind weder flächige Abdichtungen, noch Mauerquerschnittsabdichtungen erforderlich.

8.3 Schutzmaßnahmen bei E2

In der Vergangenheit wurden relativ häufig druckwasserhaltende Abdichtungen aus Flüssigsystemen (insbesondere aus kunststoffmodifizierten Bitumen Dickbeschichtungen KMB bzw. polymer modified bituminous thick coatings PMBC) verarbeitet. Wenn raumseitig keine Feuchtigkeitsschäden feststellbar sind, lässt sich allerdings nicht schlussfolgern, ob die Abdichtung gegen Druckwasser geeignet waren. Dies betrifft insbesondere Situationen oberhalb von Grundwasserständen, da dann regelmäßig zwar Druckwasser angenommen wird, dieses aber nicht vorkommt (s. Kapitel 4). Wenn Druckwasser während der zu erwartenden Nutzungsdauer ausgeschlossen werden kann, sind die aufwändigeren Schutzmaßnahmen gegen Druckwasser zu hinterfragen, um nicht gegen den werkvertraglichen Grundsatz des Wirtschaftlichkeitsgebots zu verstößen.

Unterhalb von Bemessungsgrundwasserständen neigt man regelmäßig dazu, Außenbauteile nicht mehr durch Abdichtungen, sondern durch wasserundurchlässige Betonkonstruktionen zu schützen – man traut Abdichtungen dann im Allgemeinen nicht, auch mit dem Argument, dass sie nicht instandgehalten werden können (s. Kapitel 5).

8.4 Abdichtungen nach DIN 18533

8.4.1 Von Wassereinwirkungen zu Wasserbeanspruchungen

DIN 18533 definiert Wassereinwirkungsklassen, die aber nicht die in Kapitel 4 behandelten, geotechnischen Wassereinwirkungen aus dem Baugrund bedeuten, sondern deren Auswirkungen als Wasserbeanspruchungen auf die Außenseiten von erdberührten Bauteilflächen. Danach wird unterschieden zwischen

- Wasser im Baugrund, das als Bodenfeuchte oder Sickerwasser in Saugspannung an Bodenkörnungen anhaftet und damit keinen (Wasser-) Druck auf erdberührten Bauteilflächen ausübt (W1-E)

und nach

- Wasser in der wassergesättigten Bodenzone aus Stau- und Druckwasser, das mit (Wasser-) Druck auf erdberührte Bauteilflächen einwirkt (W2-E).

Die Abdichtungsnorm DIN 18533 ergänzt die Nomenklatur um *E*, was für *erdberührt* steht und gegen die Einwirkungen in DIN 18532 (*V* für befahrene Verkehrsflächen aus Beton), DIN 18534 (*I* für Innenräume) und DIN 18535 (*B* für Behälter und Becken) abgrenzt.

DIN 18533 enthält weiterhin Klasse W3-E für sog. erdüberstüttete Decken, die aber unter Berücksichtigung baupraktischer Umsetzbarkeit wesentliche Anforderungen der Dachabdichtungsnorm DIN 18531 enthält. Zwar wird in DIN 18531 die Anwendbarkeit von Dachabdichtungen auf eine Wasserüberstauhöhe von 10 cm beschränkt (das entspricht einem Wasserdruck von 0,01 bar). Diese Begrenzung ist aber auch für W3-E angesetzt. Damit unterscheiden sich bei üblicher Gebäudenutzung die Anforderungen aus den beiden Abdichtungsnormen nicht wesentlich. Bei untergeordneter Nutzung sind Vereinfachungen möglich, die aber analog nach DIN 18531-5 ebenfalls möglich sind.

Unter Berücksichtigung der zunehmenden Häufigkeit von (innerstädtischen) Retentionsdächern mit Überstauhöhen von bis zu einem halben Meter werden sich Anwender fragen, ob sie auf Dächern Abdichtungsbauarten nach W2.2-E realisieren wollen, für die die Norm höhere Wasserdrücke als nur 10 cm vorsieht. Nach meiner Einschätzung wird die Anforderung, Abdichtungen auf Decken nach W2.2-E zu bauen, lediglich im Infrastrukturtiefbau (z.B. auf Decken von in offener Bauweise hergestellten Tunneln), nicht aber bei erdüberstütteten Decken im Hochbau berücksichtigt.

Anmerkung zur Überstauung von 3 m anstelle 10 cm: Die bisherige Verwendung des Begriffs nicht drückendes Wasser zur Unterscheidung von Stauhöhe bis bzw. mehr als 10 cm verkennt, dass nicht drückendes Wasser als Kapillarwasser und dieses wiederum nach der Dicke der Wasserhülle um Bodenkörnungen differenzierte. Bei Haftwasser ist die Wasserhülle dünn, die Adhäsion dominiert, Wasser kann nicht der Schwerkraft folgend im Boden versickern. Bei Sickerwasser ist die Wasserhülle dicker, sodass Wasser vertikal, der Schwerkraft folgend, sickern kann. In beiden Formen aber ist der Wasserdruck unterhalb des atmosphärischen Luftdrucks. Nicht drückendes Wasser übt keinen Wasserdruck auf angrenzende Flächen aus. Weder Haftwasser noch Sickerwasser kann in Leitungen gefasst und abgeleitet werden. Nicht drückendes Wasser liegt in der ungesättigten Bodenzone vor. Sobald Wasser ableitbar ist, liegt der Wasserdruck über dem atmosphärischen Luftdruck. Ableitbares Wasser ist damit drückendes Wasser. Daher ist in allen Fällen auf Deckenflächen mit drückendem Wasser zu rechnen.

INFO

Nur drückendes Wasser kann abgeleitet werden.

Bei Wasserdrücken bis 3 m sind also an Wänden zweilagig aufgetragene kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtungen mit Verstärkungseinlage möglich. Auf Deckenflächen dagegen ist bei einem Wasserdruck aus einer Überstauhöhe von nur wenig mehr als 10 cm aber keine üblichen Dachabdichtungen aus Bahnen mehr anwendbar. Dabei sind Bahnen unter technischen Aspekten bei höherem Druck zuverlässiger als kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtungen. Ein über dem atmosphä-

rischen Luftdruck liegender Wasserdruck ist richtungsunabhängig. Ob Wasser von der Seite, von unten oder von oben auf eine Fläche einwirkt, ist unerheblich. Wenn die Wassereinwirkung W2.1-E und Wassereinwirkungsklasse W2.2-E die Einwirkungsintensität auf 3 m festlegt, darf auf erdüberschütteten Decken keine andere Einwirkungsintensität festgelegt werden. Diese enge Beschränkung auf eine Überstauhöhe von nur 10 cm widerspricht der Begrenzung der Wassereinwirkung an Wänden, bei denen bei Wasserdrücken bis zu 3 m von einer mäßigen Beanspruchung und der Klassifizierung in W2.1-E ausgegangen wird. Erst bei Wasserdrücken von mehr als 3 m ist von W2.2-E auszugehen. Damit verbleibt eine (technisch nicht begründbare) Definitionslücke der Wasserdrücke zwischen 0,1 m und 3 m. Daher ist die jeweils technische richtige Bauart auszuwählen und gegebenenfalls von Technischen Empfehlungen abzuweichen.

Einwirkungen an Sockeln sind in DIN 4095-1 beschrieben (s. Kapitel 4.3). Die Wassereinwirkung W4-E beschreibt Schutzmaßnahmen an Sockeln, die als Streifen definiert werden, der 20 cm unter die Oberkante und 30 cm über die Höhenlage des angrenzenden Geländes reichen. Auch hier besteht ein formales Problem in DIN 18533-1, dass W4-E grundsätzlich nur über W1-E liegt und damit deren oberer Rand ist. Bei Sockeln über W2-E sollten Abdichtungen an Sockeln aus Stoffen der Klasse W2-E verwendet werden. Niederschlagswasser, das (kurzzeitig) auf Geländeoberflächen abläuft, erzeugt einen (geringen) Staudruck. Diese Einwirkungen liegen schon immer an Sockeln vor. Probleme gab es bisher bei sachgerecht verarbeiteten Abdichtungen der Klasse W4-E nicht. Daher ist die grundsätzliche Zuordnung von Abdichtungsbauarten der W1-E an Sockeln möglich, die kurzzeitig von Stauwasser beansprucht werden.

8.4.2 Abdichtungsbauarten

Wassereinwirkungen sind geotechnische Festlegungen, die in der neuen DIN 4095-1 beschrieben werden (s. Kapitel 4).

Die aus den Wassereinwirkungen resultierenden Beanspruchungen auf erdberührte Außenwände und Unterseiten von Bodenplatten führen zu differenzierten Anforderungen der Abdichtungsbauarten, die nach den Klassen W1-E und W2-E in der Abdichtungsnorm DIN 18533 enthalten sind.

Zum Zeitpunkt der Ausarbeitung dieses Beitrags lag noch kein „Schlüssel“ zwischen der Baugrundnorm DIN 4095-1 und der Norm für Abdichtung DIN 18533-1 vor. Vorstellbar ist die Übernahme von Tabellen 2 und 3 der DIN 4095-1, die in den Fallkonstellationen um Abdichtungsbauweisen und -bauarten ergänzt werden.

Nach DIN 18533 sind folgende Bauarten, d. h. die Ausführung mit im Erdreich üblichen Abdichtungssystemen, möglich:

- Flüssig zu verarbeitende Abdichtungen aus PMBC (Polymer modified bituminous thick coatings, deutsch: polymer- oder kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtung PMB oder KMB) in W1-E (Bodenfeuchte, in Saugspannung sickerndes Wasser) und W2.1-E (mäßige Druckwassereinwirkung mit Wasserdruck bis 3 m)

- Mineralische Dichtschlämme MDS (kunststoffmodifiziert) in W1-E (Bodenfeuchte, in Saugspannung sickerndes Wasser) und W4-E bei Begrenzung von nach der Abdichtungsverarbeitung entstehenden Rissaufweiterungen um 0,2 mm
- Flexible Polymere Dichtschlämme FPD (in Neufassung der DIN 18533), die die gleichen Anforderungen wie PMBC erfüllen, ohne aber deren Nachteile aufzuweisen, wie Probleme bei der Durchtrocknung oder Blasenbildung. Sie sind auch in W2.1-E einsetzbar
- Abdichtungen aus Bitumen- oder Kunststoffbahnen, die allerdings gegenüber den Flüssigsystemen mengenmäßig erheblich an Bedeutung verloren haben; Bahnenförmige Abdichtungen sind zwar die nach DIN 18533 einzig anwendbare Bauarten in W2.2-E. Da sie dann aber auf der Seite der Wassereinwirkung und damit unter Bodenplatten anzordnen sind, sind sie nach der Gebäudeerrichtung nicht mehr zugänglich – ein Hauptargument, Bodenplatten nicht mehr abzudichten, sondern aus wasserundurchlässigem Betonkonstruktionen zu erstellen
- Flüssig zu verarbeitende, faserverstärkte Kunststoffabdichtungen FLK in W4-E

8.4.3 Abdichtungen mit PMBC

Als Abdichtung von erdberührten Bauteilen können KMB gewählt werden. Die Bezeichnung wird wegen der europäischen Stoffnormen in Englisch ausgedrückt, daher heißen diese Abdichtungsstoffe Polymer modified bituminous thick Coatings (PMBC). PMBC werden seit Jahrzehnten mit gutem Erfolg eingesetzt. Fehler beruhen in der Regel auf Problemen bei Vorbehandlung und Ausführung, insbesondere aber auf fehlerhafter Nachbehandlung, etwa unzureichender Durchtrocknung der Abdichtungsschicht vor der Verfüllung des Arbeitsraums.

Abdichtungen erdberührter Bauteile beschränken sich allerdings seit vielen Jahren auf Wände, da die Abdichtung im Bereich des unteren Gebäudeabschlusses durch die Erstellung von Bodenplatten aus WU-Beton realisiert wird. Dadurch entsteht die Herausforderung, Abdichtungsschichten an wasserundurchlässige Betonbodenplatten so anzuschließen, dass die Übergänge dauerhaft ihre Aufgabe erfüllen. Weil diese Stellen im späteren Zustand entweder nicht oder nur unter hohem Aufwand zugänglich sind, ist es nachvollziehbar, dass der Aufwand für Abdichtung und deren Anschlüsse hoch ist. Da sich aber unbeabsichtigte Stauhorizonte bilden können, sind druckwasserdichte Übergänge auch bei W1-E zu empfehlen.

Stoffe

Bei PMBC handelt es sich um kunststoffmodifizierte, ein- oder zweikomponentige Massen auf der Basis von Bitumenemulsionen. Die Emulsion besteht aus den beiden sich gegenseitig abweisenden Flüssigkeiten Wasser und Bitumen. Bitumen schwimmt mit Hilfe von Emulgatoren in Form kleiner Tröpfchen im Wasser. Durch Abgabe des trennenden Wassers vernetzen die Bitumenkolloide, wodurch eine wasserdichte Bitumenenschicht an der Bauteilloberfläche entsteht. Dazu wird das Wasser der Emulsion einerseits vom Untergrund aufgenommen, andererseits diffundiert es nach außen in Richtung des Arbeitsraums und verdunstet dort. Dieser Vorgang wird „Bre-

chen“ genannt. Die Trocknung hängt stark vom Feuchtegehalt des Untergrunds und den Austrocknungsbedingungen ab, die Durchtrocknungszeit kann je nach Art des Untergrunds und den Klimabedingungen deutlich variieren.

Zweikomponentige Systeme dagegen können ggf. auch durch chemische Reaktion vernetzen, sie sind dann gegenüber baustellenüblichen Bedingungen weniger schadensanfällig.

Untergrund

KS-Mauerwerk, insbesondere solches aus Plansteinen und Planelementen, ist als Untergrund für PMBC sehr gut geeignet. Unterputze und egalisierende Kratzspachtelungen sind in der Regel nicht erforderlich.

Vertiefungen über 5 mm Tiefe sind mit Mörtel zu schließen. Kanten müssen gefast werden, Kehlen sollten gerundet sein. Dies kann z.B. durch Mörtelkehlen im Radius von 4 cm erfolgen. Wenn Hersteller dies zulassen, können Kehlen mit zweikomponentigen Bitumendickbeschichtungen hergestellt werden. Diese sollen keine größere Rundung als 2 cm haben, um Trocknungsprobleme zu vermeiden. Mit der Ausrundung soll erreicht werden, dass die Abdichtung an der Kehle nicht versehentlich mit der Kelle durchtrennt wird. In Abhängigkeit der Herstellerangaben sind PMBC auf einem durch Voranstrich vorbereiteten Untergrund zu verarbeiten.

Untergründe von Abdichtungen müssen frostfrei und trocken sein, trennende Substanzen oder Schmutz sind in Abhängigkeit der Einwirkungsklasse zu entfernen. Dabei ist grundsätzlich zu empfehlen, Maßnahmen zu ergreifen, damit Abdichtungen fest anhaften und nicht unterläufig sind.

INFO

KS-Mauerwerk, insbesondere solches aus Plansteinen und Planelementen, ist als Untergrund für PMBC sehr gut geeignet.

Verarbeitung

PMBC ist in mindestens zwei Arbeitsgängen zu verarbeiten. Der Auftrag kann in Wassereinwirkungsklasse W1-E frisch in frisch erfolgen, die (geplante) Trockenschichtdicke muss mindestens 3 mm zuzüglich einem von Hersteller benannten, sonst einem Dickenzuschlag für verarbeitungsbedingte Schwankungen, Schrumpf bei Trocknung sowie dem Mehrverbrauch für die Egalisierung des Untergrunds von 25 % betragen. Auf zuvor geebneten Untergründen kann der Zuschlag geringer sein.

Die Trockenschichtdicke darf an keiner Stelle der Fläche doppelt so dick sein wie die Mindesttrockenschichtdicke zuzüglich des Dickenzuschlags. Wenn flüssig zu verarbeitende Abdichtungen zu dick sind, besteht die Gefahr, dass sie in diesen Teillbereichen nicht vollständig durchtrocknen und nach dem Verfüllen des Arbeitsraums versagen können.

Die Schichtdickenkontrolle soll während der Verarbeitung im frischen Zustand durch Messung der Nassschichtdicke (mindestens 20 Messungen je Ausführungsobjekt bzw. mindestens 20 Messungen je 100 m²) erfolgen. Hersteller bieten dazu



Bild 34 Kellerwand-Außenseite mit PMBC-Abdichtung

Messlehran. Zusätzlich sollen im Bereich von Durchdringungen, an Übergängen sowie Anschlüssen Schichtdicken gemessen werden. Weiterhin soll durch den Materialverbrauch im Bezug zur Fläche die mittlere Schichtdicke kontrolliert werden.

Bis zum Erreichen der Regenfestigkeit muss die Fläche vor Regeneinwirkung geschützt werden, Wasserbelastungen und Frosteinwirkung sind bis zur Durchtrocknung der Abdichtungsschicht auszuschließen.

Durchtrocknung

Da Schutzschichten erst angebracht und Arbeitsräume verfüllt werden dürfen, wenn PMBC ausreichend durchgetrocknet ist, ist die Durchtrocknung zu prüfen. Wegen unvermeidlicher Dickenschwankungen sowie klimaabhängigen Trocknungs geschwindigkeiten kann dazu kein fester Zeitraum vorgegeben werden. Die Durchtrocknung kann z.B. an einer Referenzprobe (z.B. ein in der Baugrube gelagerter Mauerstein, praktisch aber an Übergängen zu Betonflächen in dafür breiter angelegten Überlappungen von Übergängen an Bodenplatten) durch Schnittprüfungen festgestellt werden.

Nachträgliche Messung von Schichtdicken

Die oben genannten Anforderungen hinsichtlich Schichtdicken berücksichtigen unvermeidbare Ungleichmäßigkeit beim Auftragen, eventuell entstehende oder sich weitende Risse im Untergrund, Arbeitsunterbrechungen, Dickenschwankungen aufgrund von Unebenheiten im Untergrund und anderen, baustellenbedingte Üblichkeiten. Auch werden Materialschrumpf und Kompression beim Verfüllen von Arbeitsräumen durch den horizontalen Erddruck berücksichtigt.

Das aber hat zur Folge, dass die perspektivischen Schichtdickenempfehlungen kein absolutes Maß bei nachträglichen Prüfungen ausgeführte Abdichtungsschichten sind: Die Schichtdickenempfehlungen sollen an jeder Stelle durchgehende Abdichtungsschichten sicherstellen.

Daher dürfen ausgeführte Schichten dünner sein als sie für die Planung und Ausführung empfohlen werden. Hinweise enthält z.B. die Empfehlungen zur Messung von Schichtdicken als Beiblatt zu den Abdichtungsnormen [22].

Schutzschichten

Die durchgetrocknete Abdichtung soll z.B. durch eine Schutzschicht gegen mechanische Beschädigungen geschützt werden. Diese kann z.B. aus den Dämmplatten einer Perimeterdämmung bestehen. Bei strukturierten Schutzlagen, z.B. Noppenbahnen, erhöht sich die Flächendruckspannung, da der Erddruck nicht über die Gesamtfläche, sondern nur über den anliegenden Teil auf die Abdichtung übertragen wird. Das Beschädigungsrisiko steigt, solange nicht zwischen solchen Bahnen und der Abdichtung eine drucklastverteilende Schutzschicht angeordnet wird, z.B. ein ausreichend dickes Vlies. Dieses trägt zudem dazu bei, dass durch die Verdichtung der Arbeitsraumauffüllung die möglicherweise nach unten geschohobene Schutzlage die Abdichtung nicht beschädigt wird. Strukturierte Trennlagen sollten aber nicht als Vertikaldräne bis an die Geländeoberflächen geführt werden und dort Niederschlagswasser von Fassaden und Gelände in den Baugrund ableiten können. Günstiger sind daher nicht strukturierte Schutzlagen oder sorgsam eingefülltes homogenes Verfüllmaterial, idealerweise kombiniert mit einer nicht strukturierten Schutzlage vor der Abdichtung.

8.4.4 Abdichtungen mit FPD

Die Empfehlungen zur Verarbeitung von PMBC sind auch für Flexible Polymere Dichtschlämme FPD anwendbar. Im Grunde sind sie gleichartige Stoffe, allerdings ohne bituminöse Zusätze. Aufgrund der Kunststoffmodifikation sind diese aber auch nicht mehr erforderlich. FPD haben praktische Vorteile bezüglich Durchtrocknung, Robustheit und Verarbeitbarkeit, weswegen zu erwarten ist, dass sich die in der neuen Abdichtungsnorm DIN 18533 enthaltene Stoffe durchsetzen werden.

8.4.5 Abdichtungen mit Bahnen

Wenn die Wartezeiten bis zur Durchtrocknung von PMBC oder die Frost- und Niederschlagsempfindlichkeit des frisch verarbeiteten Materials den geplanten Bauablauf verzögern könnten, können bahnförmige Abdichtungen auch bei der geringen Wassereinwirkungsklasse W1-E sinnvoll sein. DIN 18533 beschreibt dazu auch Kaltselbstklebebahnen.

Bahnen sind wegen der industriellen Produktion gleichmäßig dick. Sie haben aber den Nachteil, dass bei der Verarbeitung Fehlstellen an Nähten, Durchdringungen und an den Anschlüssen an andere Bauteile entstehen können, die von außen nicht immer bemerkbar sind. Daher ist eine sorgfältige Ausführung an allen Stellen erforderlich. An Übergängen auf wasserundurchlässige Betonbauteile sind zwar neben Klemmkonstruktionen auch adhäsive Verbindungen möglich. Allerdings sollten wegen der fehlenden baupraktischen Möglichkeit, die bei W2-E notwendige Hinterlausfsicherheit der Ausführung zu prüfen, adhäsive Verbindungen auf die geringe Wassereinwirkungen W1-E beschränkt bleiben, auch wenn sie für W2-E beschrieben sind.

8.4.6 Übergänge auf Betonflächen

Bei geringer Wassereinwirkung der Klasse W1-E genügt es, die Abdichtungsschicht an der Stirnfläche der Bodenplatte um 10 cm nach unten zu führen. Dann ist es nach normativer Festlegung nicht erforderlich, Maßnahmen gegen die Unterläufigkeit der Abdichtung zu ergreifen. Aus Zuverlässigkeitsoberlegungen sind aber auch bei der geringen Wassereinwirkungsklasse die

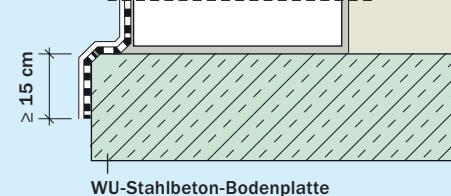


Bild 35 Standardanschluss von Abdichtungen an Stirnseiten von Bodenplatten

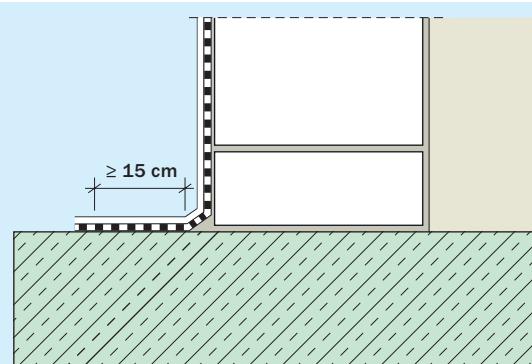


Bild 36 Druckwasser übt richtungsunabhängig den Druck auf angrenzende Flächen aus; Daher kann bei gleicher Anschlusstechnik auch an Oberseiten von Bodenplatten angeschlossen werden, insbesondere bei großen Überständen

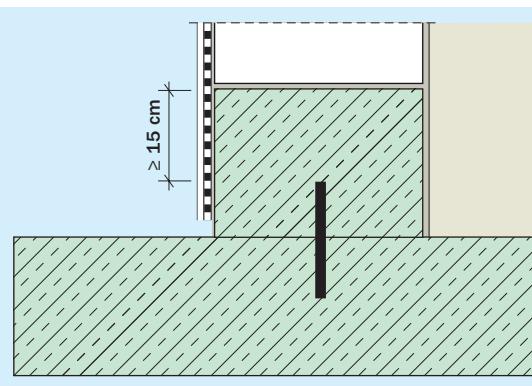


Bild 37 Diese Grundsätze lassen sich auch auf andere Anschlüsse übertragen

im Folgenden erläuterten Maßnahmen der Wassereinwirkungsklasse W2-E zu empfehlen, wofür ein Überlappungsbereich von 15 cm erforderlich wird..

Seit vielen Jahren werden PMBC auf Wandflächen erfolgreich an die Stirnflächen von Bodenplatten angeschlossen (Bild 35, 35). Adhäsive Übergänge sind im Vorteil, da diese Ungleichmäßigkeiten des Untergrunds besser als Klemmkonstruktionen aus Stahlschienen ausgleichen können.

Für den festen Verbund zwischen Abdichtung und Beton, den Druckwasser nicht unterlaufen kann, ist der Untergrund mechanisch abtragend vorzubehandeln, etwa durch Schleifen, Strahlen oder Fräsen. Bei letzterem soll die gefräste Oberfläche zusätzlich z.B. kugelgestrahlt werden, um die durch das Fräsen geschädigte Betonmatrix zu entfernen. Der Untergrund muss ausreichend trocken sein und nach Herstellerempfehlungen einen Voranstrich oder eine Grundierung erhalten. Dazu ist anzumerken, dass etliche Experten kunstharzbasierte Grundierungen empfehlen. Allerdings haben sich, eine sorgfältige Verarbeitung vorausgesetzt, ebenfalls Anschlüsse auf entsprechend geeigneten Voranstrichen bewährt. Zudem besteht bei den Kunstharzen die Gefahr, dass Bitumen nicht anhaftet.

Die Abdichtungs norm lässt eine Vorbehandlung des Untergrunds mit einer mineralischen Dichtschlämme nur in Wassereinwirkungsklasse W1-E zu, nicht aber in W2-E, weil unterstellt wird, dass bei eventuellen Rissen in der Bodenplatte die MDS bricht und durch Brüche Wasser sickern kann. Deswegen soll die flüssig zu verarbeitende Abdichtung unmittelbar auf dem Beton aufgetragen werden. Praktisch spricht aber nichts gegen eine Untergrundvorbehandlung mit einer mineralischen Dichtungsschlämme, wenn der Untergrund nach dem Auftragen rissfrei bleibt oder vorhandene Risse sich dann nur sehr wenig aufweiten.

Die Abdichtung soll mindestens 15 cm überlappend auf Betonflächen angeschlossen werden. Die Norm präferiert dafür die Stirnfläche von Betonbodenplatten, schließt aber andere Betonflächen nicht aus. So können Abdichtungen an andere Betonflächen angeschlossen werden, etwa an untere Wandabschnitte aus Beton (Bild 37), an Oberseiten von Betonbodenplatten (Bild 36), die nicht nur geringfügig überstehen oder auch Abdichtungen von Deckenflächen an Wände, wobei dort eine Überlappungsbreite von 20 cm unterhalb der Fuge zwischen Wand und Betondecke empfohlen wird.

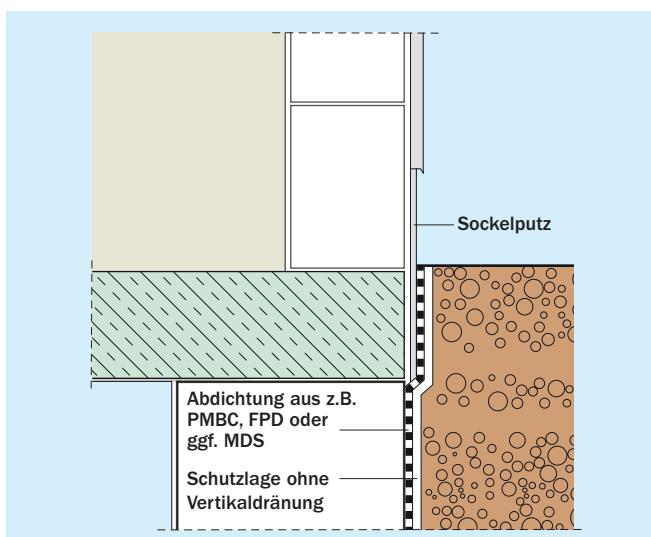


Bild 38 Einschalige KS-Außenwände (unbeheiztes Gebäude): Auf den Sockelputz wird überlappend bis zur Oberkante des Geländes eine flüssig zu verarbeitende Abdichtung der darunterliegenden Wand geführt

8.4.7 Sockelabdichtungen

Der obere Rand von Abdichtungen erdberührter Wände ist in Klasse W4-E beschrieben. Am einfachsten ist es, die Abdichtung hinter einer Bekleidung, von außen unsichtbar, aufzukanten. Das ist an der Außenseite von z.B. KS-Mauerwerk, das außenseitig zum Wärmeschutz durch Perimeterdämmplatten eines Wärmedämm-Verbundsystems bekleidet wird, möglich (Bild 39). Auch kann die Abdichtung hinter einer Verblendschale an der Außenseite der hinteren Wandschale hoch geführt werden. Da aber dann durch das Verblendmauerwerk kein Spritzwasser mehr in die Abdichtung gelangt, bleibt es Anwendern überlassen, die empfohlene Aufkantungshöhe für unmittelbar beanspruchte Sockelbereiche von 15 cm einzuhalten oder diese zu unterschreiten.

Der Sockel umfasst nicht nur den Bereich unmittelbar oberhalb der Geländeoberkante, sondern auch einen 20 cm breiten Streifen darunter, damit Bauarten am Sockel an darunter fortführende Abdichtungen angeschlossen werden können (Bild 38). Das ist notwendig, weil am Sockel auch Stoffe zulässig sind, z.B. faserverstärkte, flüssig zu verarbeitende Kunststoffabdichtung (FLK), die nicht für darunterliegende Wandbereiche normiert sind.

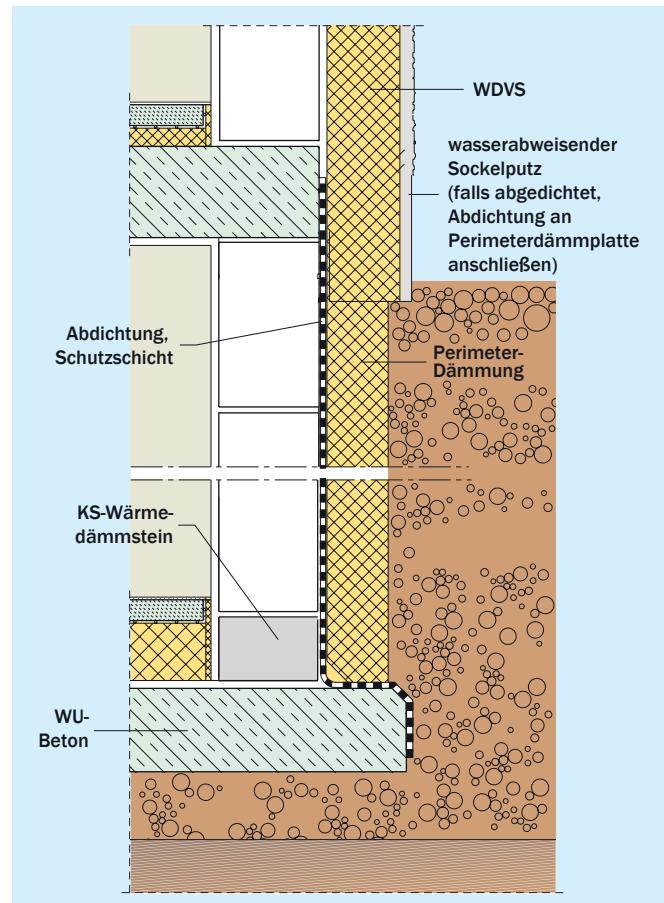


Bild 39 Beispiel für Fußpunktausbildung bei Kalksandstein-Mauerwerk mit WDVS

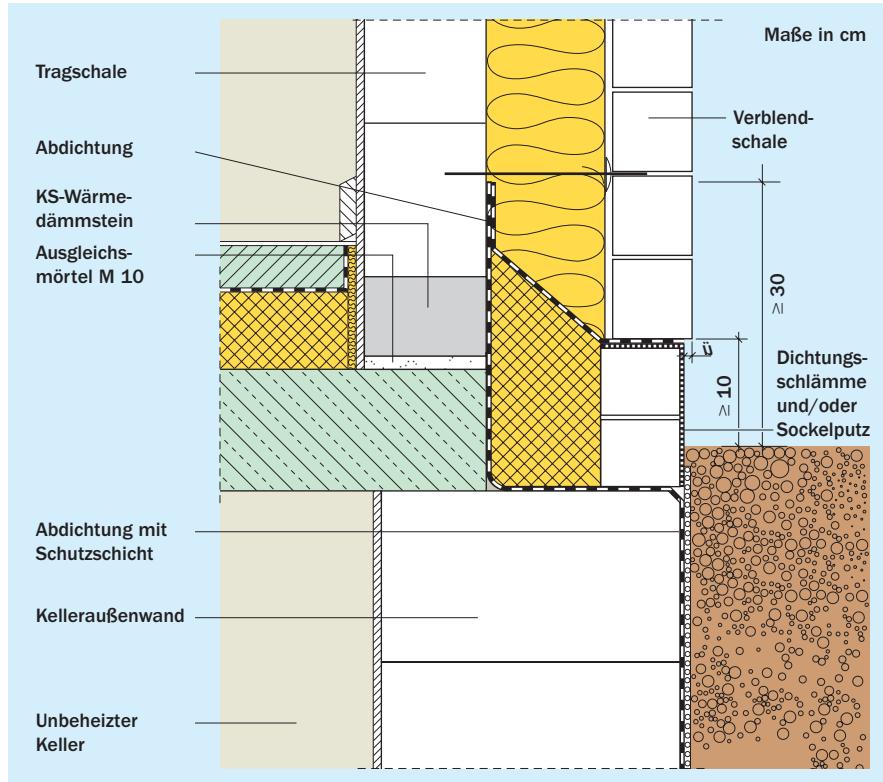


Bild 40 Beispiel für Fußpunkttausbildung bei zweischaligem Mauerwerk

Grundsätzlich sieht DIN 18533 die Verarbeitung von Abdichtungsschichten auf festen und damit mineralischen Untergründen vor, lässt aber die Verarbeitung auf Dämmstoffen zu, die z.B. an Stirnflächen von Decken anbetoniert sind. Allerdings widerspricht das den Möglichkeiten nach DIN 18531, der Norm für Flachdachabdichtungen, bei der regelmäßig Abdichtungen auf Wärmedämmsschichten angeordnet werden. Bei geeigneten Maßnahmen kann die Sockelabdichtung entgegen der normativen Empfehlung auch auf nichtmassiven Untergründen ausgeführt werden [23].

Bei zweischaligem Mauerwerk mit Verblendern aus Kalksandstein sollte allerdings in Bereichen, in denen mit Tausalzeinwirkung zu rechnen ist, z.B. an Gehwegen, die Abdichtung nicht nur unterhalb oder nur bis auf Höhe des Geländes geführt werden, sondern die Spritzwasserzone des Verblendmauerwerks durch eine Abdichtung zur Vermeidung von Gefügeschäden durch Salze geschützt werden. Diese kann entweder bekleidet werden oder bei geeigneten Abdichtungen z.B. aus mineralischen Dichtschlämmen verputzt werden (Bild 40).

Oberhalb des Geländes darf die Abdichtung entfallen, wenn in der Sockelzone ausreichend wasserabweisende Bauteile verwendet werden und wenn die Abdichtung am oberen Rand nicht hinterlaufen werden kann. Diese in DIN 18533-1 enthaltene Formulierung ist offen, sie stellt auf die dauerhafte Gebrauchstauglichkeit von Anschlüssen ab, die nicht über die Geländeoberkante aufgekantet werden können oder z.B. aus optischen Gründen sollen.

Für niveaugleiche Türschwellen enthalten die Abdichtungsnormen eine Reihe von Empfehlungen, um Feuchtigkeitsschäden in Innen-

räumen zu verhindern, ohne aber Details abschließend zu regeln. Deswegen werden niveaugleiche Anschlüsse als „Sonderkonstruktion“ bezeichnet. Dieser Begriff impliziert nicht ein erhöhtes Risiko, sondern weist nur auf die eingeschränkte Regelungstiefe der Norm hin. Wenn der Feuchtigkeitsschutz an niveaugleichen Türschwellen dauerhaft sichergestellt werden kann, gibt es keinen vernünftigen Grund, neben Türen die Aufkantungshöhe der Abdichtung von 15 cm zu fordern, wenn dort vergleichbare Maßnahmen ebenfalls den Feuchtigkeitsschutz dauerhaft sicherstellen. Die Gefahr von Schäden ist zudem geringer, da z.B. Festverglasungen keine bewegliche Fuge zwischen Türrahmen und Schwellenprofil aufweisen. Plakativ ausgedrückt: Wer will schon an bodentiefen Gläsern eine Abdichtung 15 cm hochführen?

Anschlüsse an Außenseiten von Profilen barrierefreier, niveaugleicher Tür- oder Fensterrahmen ist insbesondere an den Übergängen zwischen Leibungen problembehaftet. Wenn zuerst die Abdichtung unter der Türschwelle durchgeführt und an der Innenseite aufgekantet wird, bestehen erheblich geringere Risiken von Feuchtigkeitsschäden. Wenn darüber hinaus ein schmaler Spalt zwischen Abdichtung und

Schwellenprofil verbleibt, kann eventuell durch Fenster oder Tür hindurchdringende Leckwassermenge schadensfrei aufgenommen werden. Da dies i.d.R. sehr wenig ist, kann dieses aus der inneren Rinne verdunsten. Dieser Vorgang kann durch ein feuchtigkeitgesteuertes, elektrisches Heizband in der inneren Rinne beschleunigt werden. Eine eigene Entwässerung der innenliegenden Rinne ist i.d.R. nicht erforderlich. Im Beispielfall der Zeichnung oben wird das eventuelle Leckwasser unterhalb des Schwellenprofils nach außen abgeleitet.

DIN 18533 beschreibt keine Fußpunktabdichtungen von zweischaligem Mauerwerk, sondern nur die Abdichtung zum Bauwerks- und Bauteilschutz, also die Abdichtung, die das Bauwerk gegen von außen einwirkende Feuchtigkeit. Die heute gebräuchliche Abdichtungsbauart mit PMBC ist als Querschnittsabdichtung unter bzw. in lastableitenden Mauerwerkswänden nicht geeignet und nicht zulässig. Sie kann aber unter bzw. in Verblendmauerwerksschalen eingesetzt werden, die nur sich selbst tragen. Damit werden Risiken durch Wechsel von Abdichtungsbauarten vermieden. Die Abdichtung der erdberührten Außenwand kann damit auch unter der Verblendmauerwerksschale hindurchgeführt und an der Außenseite der inneren Wandschale angeschlossen werden.

8.4.8 Mauerquerschnittsabdichtungen

In Kapitel 2.2 ist erläutert, dass es aufsteigende Feuchte durch Bodenplatten unter Berücksichtigung der heutigen Werkbetone nicht gibt. Selbst unter der Annahme, es gäbe einen Kapillartransport durch Bodenplatten, kann Wasser nicht an Oberseiten von Bodenplatten austreten. Aus diesem Grund sind keine

Abdichtungen im Sinne der Abdichtungsnorm erforderlich, sondern lediglich entweder nicht kapillarleitfähige Stoffe oder Kapillartrennungen. Aus Zuverlässigkeitsoberlegungen z.B. zum Schutz gegen im Beton enthaltene Baufeuchte können auf Bodenplatten Folien oder gegebenenfalls auch Estrichbahnen verlegt werden.

Da Mauerquerschnittsabdichtungen aber in Fachkreisen von Bauschaffenden, insbesondere aber von Beratern von z. B. Käufern von Eigentumswohnungen, häufig für erforderlich gehalten werden, sollte abgewogen werden, ob an Oberseiten von Bodenplatten Abdichtungen und Mauerquerschnittsabdichtungen verlegt werden – obwohl sie technisch nicht erforderlich sind. Als Querschnittsabdichtung bei KS-Mauerwerk können besandete Bitumenbahnen, z.B. R 500, verwendet werden. Alternativ sind in DIN 18533-3 beschriebene mineralische Dichtschlämme anwendbar. Der Vorteil von diesen ist ein höherer Scherkraftwiderstand. Dabei ist zu empfehlen, mineralische Dichtschlämme einzufärben, damit sie bei nachträglichen Untersuchungen sicherer festgestellt werden können.

Die Höhenlage von (wie ausgeführt, technisch nicht erforderlichen) Querschnittsabdichtungen, ob sie unter oder auf der ersten Steinreihe verlegt werden, ist nicht festgelegt. Unter der Annahme, dass Unterseiten von Wänden durch Kapillarwasser beansprucht werden, soll durch Mauerquerschnittsabdichtungen aufsteigende Feuchtigkeit verhindert werden. Die äußere Wandabdichtung sowie, falls vorhanden, die Abdichtung auf einer Bodenplatte sollen an die Querschnittsabdichtung herangeführt werden. Ziel ist dabei, die für diesen Fall angenommenen, kapillaraktiven Feuchtigkeitsbrücken zu verhindern. Mauerquerschnittsabdichtungen müssen also nicht mit angrenzenden Abdichtungen überlappend verklebt werden, da dies für die Unterbrechung des Kapillartransports nicht erforderlich ist.

Schutz vor Baufeuchte

Mauerquerschnittsabdichtungen können aber dazu beitragen, Durchfeuchtungen von Wänden in den unteren Bereichen durch Niederschlagsereignisse während der Bauzeit auf die erste Steinreihe zu beschränken, wenn sie darüber angeordnet werden. Allerdings ist die gesamte Wand einschließlich der unteren Steinreihe zu schützen, so dass die Querschnittsabdichtung unmittelbar auf der Bodenplatte anzuordnen ist, solange der unter der Wand liegende Beton gegenüber Wasser kapillaraktiv ist.

INFO

Bahnförmige Querschnittsabdichtungen sollten bei Planstein-Mauerwerk auf der Bodenplatte angeordnet werden.

Der tatsächliche Zweck von Abdichtungen an Sockeln von Mauerwerkswänden in Untergeschossen sowie in Erdgeschossen nicht unterkellerter Gebäude ist der Schutz der unteren Steinreihe während der Bauzeit in die Baustelle gelangendes Niederschlagswasser (Tagwasser). We-



der Abdichtungen unter, noch Abdichtungen auf ersten Steinreihen können die Durchnässung derselben verhindern. Von Mauersteinen aufgesogenes Wasser benötigt Jahre zur Austrocknung mit der Folge, dass auch Jahre nach Fertigstellung Feuchtigkeitserscheinungen an Innenraumsockeln auf Tagwasser zurückgeführt werden können.

Mineralische Dichtungsschlämme gemäß Bild 41 können sowohl die Durchnässung der unteren Steinreihe, gleichzeitig aber auch bei eventueller Feuchtigkeit in der ersten Steinreihe Feuchtigkeitsschäden im Innenraum verhindern.

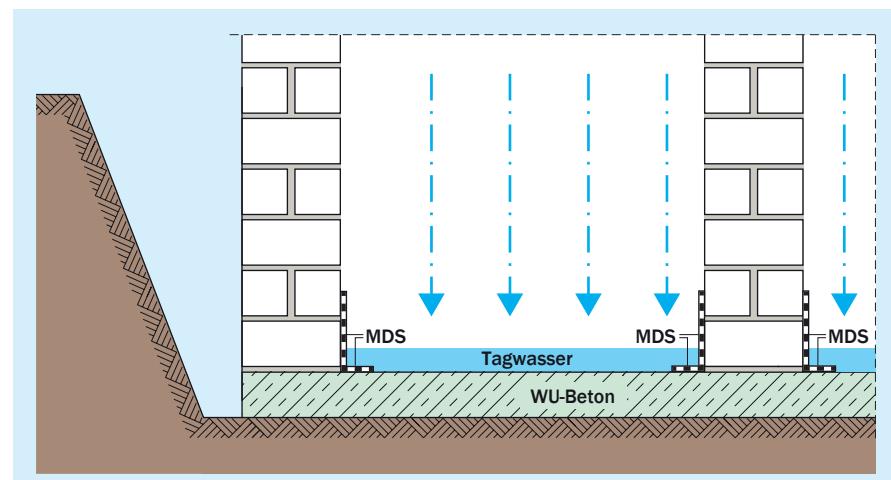


Bild 41 Beispiel für Schutz von Mauerwerk gegen Tagwasser

Abdichtungen erdberührter Bauteile

DIN 18533 lässt in Verbindung mit DIN 4095-1 abgestufte und nach Wassereinwirkungen sowie Nutzung differenzierte Abdichtungsbauarten zu. Die Wassereinwirkungen sind nach geohydraulischen Aspekten festzulegen. Dazu sind die bisherigen Angaben in der Abdichtungsnorm DIN 18533-1 nicht geeignet. Zukünftig enthält DIN 4095-1 diesbezügliche Empfehlungen.

Für einen Großteil der Anwendungsfälle oberhalb von Bemessungsgrundwasserständen sind folgende Empfehlungen geeignet:

- Wände können aus Mauerwerk mit Abdichtungen hergestellt werden, wobei Abdichtungen an Stirnflächen von Bodenplatten angeschlossen werden. Diese können aus flüssig zu bearbeitenden Abdichtungsstoffen aus PMBC, zukünftig voraussichtlich aus FPD, in zweilagigem Auftrag und Verstärkungseinlage realisiert werden.
- Abdichtungen sollten aus Zuverlässigkeitsüberlegungen an Betonbauteile nichtunterläufig angeschlossen werden, wozu der Betonuntergrund mechanisch abtragend vorzubereiten ist. Anschlüsse an Durchdringungen sollten ebenfalls druckwasserdicht hergestellt werden.
- Bodenplatten werden bei geringer Wassereinwirkung nach Beanspruchungsklasse 2 (geplante Umbenennung: E1) der WU-Richtlinie durch gegen Bodenfeuchte ausgelegte Betonbodenplatten hergestellt. Bei untergeordneter Raumnutzung sind Betonpflaster und Streifenfundamenten möglich.
- Bei zu erwartendem Grundwasser können gegen Druckwasser ausgebildete WU-Konstruktionen der Beanspruchungsklasse 1 (geplante Umbenennung: E2) der WU-Richtlinie realisiert werden.
- Auf WU-Bodenplatten sind unter technischen Aspekten keine Abdichtungen erforderlich. Zur Vermeidung eines Streitpotenzials aufgrund bisheriger Gepflogenheiten von Mauerquerschnittsabdichtungen können unter ersten Steinreihen Querschnittsabdichtungen angeordnet werden. Zum Schutz gegen Tagwasser können erste Steinreihen seitlich durch mineralische Dichtschlämme geschützt werden.
- In Bauteilbereichen unterhalb von Bemessungsgrundwasserständen BGW sind wasserundurchlässige Betonkonstruktionen (WU-Konstruktionen) der Beanspruchungsklasse 1 (zukünftig geplant E2) zu empfehlen.
- Oberhalb von BGW können Außenbauteile nach den oben genannten Kriterien aus abgedichtetem Mauerwerk realisiert werden.

Literatur

- [1] Reihe DIN 18533:2017-07 Abdichtung von erdberührten Bauteilen (3 Teile), wird aktuell vollständig überarbeitet (Stand Verfassen dieses Beitrags)
- [2] Kalksandstein Frühjahrs-Akademie 2025: Abdichtung aktuell! Wassereinwirkungen im Baugrund: Nicht mehr nach der Abdichtungsnorm, sondern nach der Baugrundnorm – Hintergründe zu den Neuerungen
- [3] Künzel, Helmut: Bauphysik und Denkmalpflege. Fraunhofer IRB, Stuttgart, 2. Aufl. 2009
- [4] s. Empfehlungen des AK I / VI des 10. Deutschen Baugleichstags, kostenfrei downloadbar unter baugerichtstag.de
- [5] DIN 18533-1:2017-07 Abdichtung von erdberührten Bauteilen – Teil 1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze
- [6] DIN 18195-1:2011-12 Bauwerksabdichtungen, Grundsätze, Definitionen, Zuordnung der Abdichtungsarten (zurückgezogen)
- [7] DIN 4095:1990-06 Baugrund; Dränung zum Schutz baulicher Anlagen; Planung, Bemessung und Ausführung
- [8] DIN 18130-1:1998-05 Baugrund – Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts – Teil 1: Laborversuche (zurückgezogen)
- [9] Hochwasserschutzfibel: Objektschutz und bauliche Vorsorge. Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen BMWSB, Februar 2022
- [10] Frick, O., Knöll, K.: Die Konstruktion von Hochbauten, 1927
- [11] DIN 4095-1:2024-04 – Entwurf Baugrund – Dränung zum Schutz baulicher Anlagen – Teil 1: Begriffe und Wassereinwirkungen (Stand der Bearbeitung dieses Beitrags)
- [12] DIN 4031:1932-07 Wasserdruckhaltende Dichtungen für Bauwerke – Wasserdruckhaltende Dichtungen aus nackten Teerpappeln oder nackten Asphaltbitumenpappeln
- [13] DIN 18195-9:1983-08 Bauwerksabdichtungen; Durchdringungen, Übergänge, Abschlüsse (zurückgezogen)

- [14] Anmerkung: Für einen hinreichend unterlaufsicheren Anschluss werden 6 mm dicke, 6 cm breite Stahlschienen mit Gewindestrauben M12 in Abständen zwischen 75 mm und 150 mm und mehrlagigen Bitumenbahnen verwendet; solche Klemmkonstruktionen sind damit nicht gleichzusetzen mit von Dachrändern bekannten Aluminiumklemmprofilen, die mit Schrauben lediglich Bahnen lagesichern können
- [15] DAFStb Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie), Ausgabe November 2003 (erhältlich seit Mai 2004), vollständig überarbeitete Fassung Dezember 2017. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton im Deutschen Institut für Normung e.V., Berlin.
- [16] Erläuterungen zur DAFStb-Richtlinie; Schriftenreihe Heft 555, 1. Auflage Juli 2006
- [17] Anmerkung: Unter Berücksichtigung von etwa 140.000 neuen Wohngebäuden / Jahr (Angaben des statistischen Bundesamts), eine angenommenen mittleren Bodenplattengröße von 100m², eine Erhöhung der Bodenplattendicke von 15 auf 25 cm, einem Anteil von Baugrundstücken oberhalb des Bemessung Grundwasserstands bei Bodendurchlässigkeit von weniger als 10⁻⁴ m/s von 70 % (ohne Erlaubnisoption einer Dränung), Kosten von 150 Euro pro m³ Stahlbeton, etwa 0,5 kg CO₂ / kg Zement, 12 Masse-% Zement je kg Beton, 80 kg CO₂ je Tonne Beton (Quelle: Beton Dialog Österreich (BDÖ), Wien)
- [18] Anmerkung: Details dazu werden in DIN 4095-2 enthalten sein, deren Entwurf zurzeit ausgearbeitet wird
- [19] DIN SPEC 20000-202 Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 202: Anwendungsnorm für Abdichtungsbahnen nach Europäischen Produktnormen zur Verwendung als Abdichtung von erdberührten Bauteilen, von Innenräumen und von Behältern und Becken; Neufassung in Bearbeitung, dann DIN TS 20000-202; Anmerkung: SPEC steht für Specification, TS für Technical Specification.
- [20] Reihe der DIN 18040 Barrierefreies Bauen – Planungsgrundlagen, Teile 1 bis 3
- [21] Anmerkung: das WU-Betonkriterium ist erfüllt, wenn ein 28 Tage altes Betonprisma für 72 Stunden mit 5 bar Druck (das entspricht 50 m Wassersäule) beaufschlagt wird und Wasser danach nicht mehr als 5 cm in den Beton eingedrungen ist
- [22] DIN 18195 Beiblatt 2:2017-07 Abdichtung von Bauwerken – Beiblatt 2: Hinweise zur Kontrolle und Prüfung der Schichtdicken von flüssig verarbeiteten Abdichtungsstoffen
- [23] Sous, S.; Wilmes, K.; Zöller, M.: Dauerhaftigkeit von Abdichtungen auf nicht-massiven Untergründen im Sockelbereich. Forschungsbericht AlBau Aachener Institut für Bauschadensforschung gGmbH, März 2016, www.aibau.de
- [24] Abel, R.; Oswald, R.; Wilmes, K.: Schadensfreie niveaugleiche Türschwellen. Forschungsbericht AlBau Aachener Institut für Bauschadensforschung gGmbH Januar 2011

Bildnachweise

Bild 8: Katrin Oswald;
 Bild S. 392, S. 410, S. 417, S. 421: Hinrich Schulze;
 Bild 23: Hochwasserschutzfibel;
 Bild 24, 25, 30, 31: Matthias Zöllner