

Expositionsklassen nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 – baustoffliche Anforderungen

Empfohlene Grenzwerte für die Zusammensetzung und Eigenschaften von Beton. Bauaufsichtlich gilt DIN 1045-2.

Klasse	Umgebung	max w/z	min f_{ck}	min z in kg/m^3 ¹⁾	Anwendungsbeispiele
X0	kein Korrosions- oder Angriffsrisiko	–	C8/10 C12/15	–	Füllbeton, Sauberkeitsschichten Fundamente und Innenbauteile ohne Bewehrung
XC	Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Karbonatisierung (engl. „Carbonation“)				
XC1	trocken oder ständig nass	0,75	C16/20 ²⁾	240 (240)	Beton in Gebäuden mit geringer Luftfeuchte; Beton, der ständig in Wasser getaucht ist
XC2	nass, selten trocken	0,75	C16/20 ²⁾	240 (240)	langzeitig wasserbenetzte Betonoberflächen; vielfach bei Gründungen
XC3	mäßige Feuchte	0,65	C20/25	260 (240)	Beton in Gebäuden mit mäßiger oder hoher Luftfeuchte
XC4	wechselnd nass und trocken	0,60	C25/30	280 (270)	wasserbenetzte Betonoberflächen, die nicht der Klasse XC2 zuzuordnen sind
XD	Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Chloride, ausgenommen Meerwasser (engl. „Deicing salt“)				
XD1	mäßige Feuchte	0,55	C30/37 ³⁾	300 (270)	Betonoberflächen, die chloridhaltigem Sprühnebel ausgesetzt sind
XD2	nass, selten trocken	0,50	C35/45 ^{3) 4) 5)}	320 ⁴⁾ (270)	Schwimmbäder; Beton, der chloridhaltigen Industrie-wässern ausgesetzt ist
XD3	wechselnd nass und trocken	0,45	C35/45 ^{3) 5)}	320 ⁴⁾ (270)	Teile von Brücken, die chloridhaltigem Spritzwasser ausgesetzt sind; Fahrbahndecken und Parkdecks
XS	Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Chloride aus Meerwasser (engl. „Seawater“)				
XS1	salzhaltige Luft, aber kein unmittelbarer Kontakt mit Meerwasser	0,55	C30/37 ³⁾	300 (270)	Bauwerke in Küstennähe oder an der Küste
XS2	ständig unter Wasser	0,50	C35/45 ^{3) 4) 5)}	320 ⁵⁾ (270)	Teile von Meeresbauwerken
XS3	Tidebereiche ⁹⁾ , Spritzwasser und Sprühnebelbereiche	0,45	C35/45 ^{3) 5)}	320 ⁵⁾ (270)	Teile von Meeresbauwerken
XF	Frostangriff mit oder ohne Taumittel (engl. „Freezing“)				
XF1	mäßige Wassersättigung, ohne Taumittel	0,60	C25/30	280 (270)	senkrechte Betonoberflächen, die Regen und Frost ausgesetzt sind
XF2	mäßige Wassersättigung, mit Taumittel	0,55 ⁶⁾	C25/30	300 (270) ⁶⁾	senkrechte Betonoberflächen von Straßenbauwerken, die Frost und taumittelhaltigem Sprühnebel ausgesetzt sind
		0,50 ⁶⁾	C35/45 ^{4) 5)}	320 ⁵⁾ (270) ⁶⁾	
XF3	hohe Wassersättigung, ohne Taumittel	0,55	C25/30	300 (270)	waagerechte Betonoberflächen, die Regen und Frost ausgesetzt sind
		0,50	C35/45 ^{4) 5)}	320 ⁵⁾ (270)	
XF4	hohe Wassersättigung, mit Taumittel oder Meerwasser	0,50 ⁶⁾	C30/37	320 ⁶⁾	Straßendecken und Brückenplatten, die Taumitteln ausgesetzt sind; Betonoberflächen, die direkt taumittelhaltigem Spritzwasser und Frost ausgesetzt sind; Spritzwasserbereich von Meeresbauwerken, die Frost ausgesetzt sind
XA	Chemischer Angriff (engl. „Chemical acid“)				
XA1	chemisch schwach angreifende Umgebung	0,60	C25/30	280 (270)	Beton, der natürlichem Boden und Grundwasser ausgesetzt ist gemäß, je nach chemischen Merkmalen
XA2	chemisch mäßig angreifende Umgebung	0,50	C35/45 ^{3) 4) 5)}	320 ⁵⁾ (270)	
XA3 ¹⁰⁾	chemisch stark angreifende Umgebung	0,45	C35/45 ³⁾	320 (270)	
XM	Betonkorrosion durch Verschleißbeanspruchung (engl. „Mechanical abrasion“)				
XM1	mäßige Verschleißbeanspruchung	0,55	C30/37 ³⁾	300 ⁷⁾ (270)	tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch luftbereifte Fahrzeuge
XM2	starke Verschleißbeanspruchung	0,55	C30/37 ^{3) 8)}	300 ⁷⁾ (270)	tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch luft- oder vollgummibereifte Gabelstapler
		0,45	C35/45 ³⁾	320 ⁷⁾ (270)	

tungsschichten wird zwischen **nichtdrückendem Wasser** (Bodenfeuchte, nicht aufstauendes, nichtdrückendes Wasser), **drückendem Wasser** (aufstauendes und drückendes Wasser) und **Spritzwasser** unterschieden.

Da sich **Risse** in den abzudichtenden Bauteilen nicht vollständig vermeiden lassen, muss die gewählte Abdichtungsbewegungen durch Rissbildung im Untergrund ohne Schäden aufnehmen können.

Durch die Zuordnung zu **Raumnutzungsclassen** wird die Anforderung an die Trockenheit der Raumluft von erdseitig abgedichteten Räumen und die Zuverlässigkeit der Abdichtungsart festgelegt.

Die Wahl geeigneter Abdichtungsmaßnahmen von erdberührten Bauteilen ist im Wesentlichen von der Wassereinwirkungsklasse, der Rissklasse und der Raumnutzungsclassen abhängig.

Abdichtungsstoffe und Abdichtungsbauarten

DIN 18533 beinhaltet bahnenförmige und flüssig zu verarbeitende Abdichtungsstoffe. Deren Verarbeitung und Zuordnung zu Wassereinwirkungs-, Riss- und Raumnutzungsclassen werden in DIN 18533 Teil 2 und Teil 3 geregelt.

Beispiele für Abdichtungsstoffe:

- *bahnenförmige Stoffe*: Bitumen- und Polymerbitumenbahnen, Kunststoff- und Elastomerbahnen,
- *flüssig zu verarbeitende Stoffe*: Kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtungen (PMBC), Gussasphalt, Asphaltmastix und mineralische Dichtungsschlämme (MDS).

Als Abdichtungsstoffe sind in DIN 18533 bahnenförmige und flüssig zu verarbeitende Stoffe enthalten.

Abdichtung bei Bodenfeuchtigkeit und nicht-drückendem Wasser

Unter **Bodenfeuchte** versteht man Wasser, das als Kapillarwasser und nicht stauendes Sickerwasser auftritt. Unter **nichtdrückendem Wasser** versteht man Niederschlags- und Sickerwasser oder Brauchwasser, das sich nicht aufstauen kann und dadurch keinen Druck auf die Abdichtung ausübt. Durch den Einbau eines Gefälles kann Niederschlagswasser dauerhaft abgeleitet und von der Abdichtung ferngehalten werden.

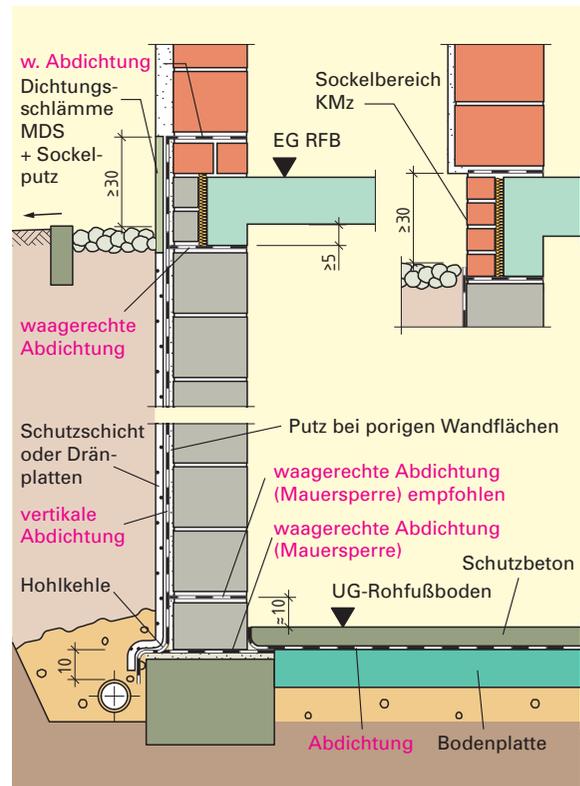
Bei gemauerten Kelleraußenwänden ist bei Bodenfeuchtigkeit und nichtdrückendem Wasser mindestens eine Horizontalabdichtung notwendig. Diese wird in der Regel unter der ersten Steinlage angeordnet. Für die Abdichtung werden Bitumendachbahnen oder Kunststoffbahnen verwendet. Sie müssen mindestens einlagig eingebaut und dürfen nicht aufgeklebt werden. An den Stößen müssen die Bahnen eine Überlappung von mindestens 20 cm aufweisen.

Die horizontale Abdichtung gemauerter Kelleraußenwände erfolgt über mindestens eine Horizontalsperre aus z. B. Bitumendachbahnen unter der ersten Steinlage.

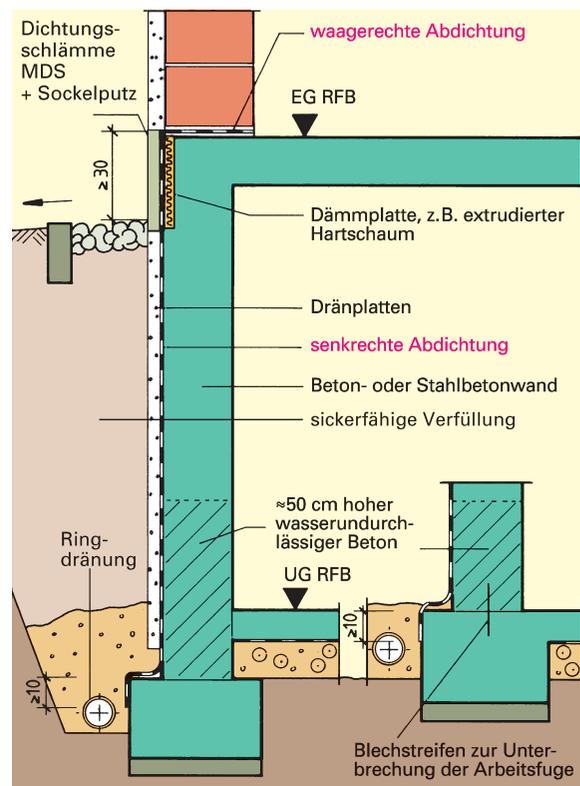
Bei Kellerwänden aus wasserundurchlässigem Beton wird keine horizontale Abdichtung benötigt.

Alle **erdberührten Außenwandflächen** benötigen eine Abdichtung gegen Feuchtigkeit. Das Abdichtungssystem bei Wassereinwirkungsklasse W1-E ist in der Regel wie folgt aufgebaut (von innen nach außen):

- Untergrundvorbehandlung (Voranstrich)
- Abdichtungsschicht (bahnenförmige oder flüssig zu verarbeitende Abdichtungsstoffe)



Abdichtung einer Untergeschoss-Umfassungswand aus Mauerwerk gegen Bodenfeuchte/nicht stauendes Wasser



Abdichtung einer Kelleraußenwand aus Stahlbeton

Der Lüftungswärmeverlust wird aus der Wärmekapazität der Luft, der Luftwechselrate und dem Volumen berechnet.

$$H_V = 0,34 \text{ W}/(\text{m}^3 \cdot \text{K}) \cdot n \cdot V$$

V – beheiztes Luftvolumen n – Luftwechselrate

Transmissionswärmeverluste H_T bzw. H'_T

Der Transmissionswärmeverlust H_T wird ermittelt als die Summe der Produkte aus Bauteilflächen, ihren jeweiligen Wärmedurchgangskoeffizienten (U -Werten) und den Temperaturkorrekturfaktoren F_x . Diese sind von der Art und der Lage der Bauteile abhängig. Beispielsweise gilt für Außenbauteile der Temperaturkorrekturfaktor $F_x = 1,0$, für erdberührte Bauteile $F_x = 0,6$.

Um die Wärmeverluste über Wärmebrücken zu berücksichtigen, wird der Wärmebrückenkorrekturwert ΔU_{WB} mit der gesamten Hüllfläche multipliziert und zu den Wärmeverlusten über die Gebäudehülle addiert.

Werden Wärmebrücken nach DIN 4108 abgemildert, gilt der Wärmebrückenkorrekturwert $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Mit einer sorgfältigen Konstruktion und einer detaillierten Berechnung der Wärmebrücken kann dieser bis nahe null reduziert werden.

Wird der Transmissionswärmeverlust durch die wärmeübertragende Umfassungsfläche geteilt, erhält man den spezifischen Transmissionswärmeverlust.

$$H_T = \sum (U_i \cdot A_i \cdot F_{xi}) + \Delta U_{WB} \cdot A$$

$$H'_T = H_T : A$$

Jahres-Heizwärmebedarf Q_H

Der Heizwärmebedarf Q_H ist die Wärme in $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, die den beheizten Räumen zugeführt werden muss, um die innere Solltemperatur einzuhalten. Dieser Wert wird auch als Netto-Heizenergiebedarf bezeichnet. Mithilfe der DIN V 4108-10 wird im Rahmen eines **Monatsbilanzverfahrens** der Jahres-Heizwärmebedarf ermittelt. Er ergibt sich aus der Differenz der Wärmeverluste und der Wärmegewinne. Für jeden Monat werden die Wärmeverluste aus Transmission Q_T und Lüftung Q_V sowie unter Berücksichtigung eines Ausnutzungsgrades η die solaren Wärmegewinne Q_S und die internen Wärmegewinne Q_i bilanziert.

$$Q_H = (Q_T + Q_V) - \eta \cdot (Q_S + Q_i)$$

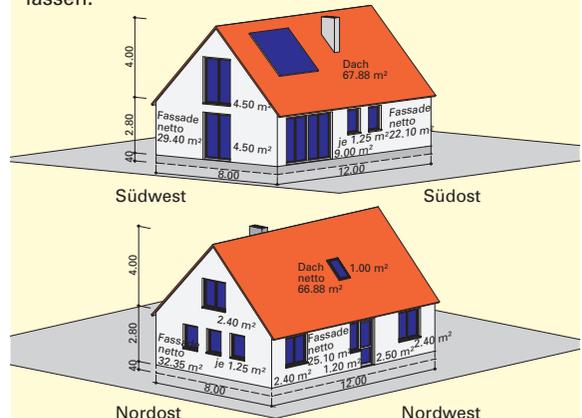
Anlagenaufwandszahl e_p

Die Anlagenaufwandszahl e_p wird aus dem Primärenergieaufwand für Trinkwassererwärmung, Heizung und Lüftung errechnet. Berücksichtigt werden:

- die benötigte Energie zur Wärmebereitstellung,
- die benötigte Hilfsenergie zur Wärmeverteilung,
- die Energieverluste der Anlage,
- der Beitrag der Wärmeverluste der Anlage zur Gebäudeheizung,
- die Primärenergiefaktoren f_p . Diese besagen, wie viel nicht erneuerbare Energie in einer Endenenergieeinheit steckt, die beim Verbraucher ankommt. Dabei wird der Energieaufwand für Gewinnung, Transport und Verluste einbezogen. Zum Beispiel:

Gas, Heizöl	$f_p = 1,1$
Holz, Pellets	$f_p = 0,2$
Strom	$f_p = 1,8$

Am Beispiel des kleinen Einfamilienhauses wurde berechnet, wie sich die Anforderungen der EnEV erfüllen lassen:



Regelungen der EnEV	Jahresprimärenergiebedarf Q'_p [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$]	
	Schwere Bauart	Leichte Bauart
Ausgangsfall (Referenzausführung): $U_{AW} = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $U_b = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $U_G = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $U_W = 1,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $g = 0,60$; $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $n = 0,55 \text{ h}^{-1}$; Gebäude dichtheitsgeprüft, Abluftanlage; Brennwertsystem mit zentraler Warmwasserbereitung und Solaranlage, Verteilung im beheizten Bereich; Raumtemperatur 20°C, mit Nachtabschaltung; Standort Potsdam	78,1	80,6
EnEV 2016: Reduktion des Primärenergiebedarfs gegenüber der Referenzausführung um 25%. $Q''_{Pmax} = 79,6 \cdot 0,75 = 59,7 \text{ (kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a})$	$Q'_{Pmax} = 58,6$	$Q''_{Pmax} = 60,5$
Maßnahmen, um die Vorschriften der EnEV einzuhalten	Schwere Bauart	Leichte Bauart
Ausführung wie das Referenzgebäude, aber mit verbesserter Wärmedämmung: $U_{AW} = 0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $U_b = 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $U_G = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $U_W = 0,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;	58,3	60,5
Ausführung wie das Referenzgebäude, aber U -Werte wie beim Passivhaus: opake Bauteile $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; transparente Bauteile $U = 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;	55,6	57,7
Ausführung wie das Referenzgebäude, aber mit verbesserter Wärmedämmung und detailliertem Wärmebrückennachweis: $U_{AW} = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $U_b = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $U_G = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $U_W = 1,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $\Delta U_{WB} = 0,018 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	58,2	60,3
Ausführung wie das Referenzgebäude, aber Sole-Wasser-Wärmepumpe	44,0	45,0
Ausführung wie das Referenzgebäude, aber mit Sole-Wasser-Wärmepumpe und Lüftung mit Wärmerückgewinnung	41,6	42,5
Ausführung wie das Referenzgebäude, aber Luft-Wasser-Wärmepumpe und Lüftung mit Wärmerückgewinnung sowie $\Delta U_{WB} = 0,018 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	45,7	47,0
Ausführung als Passivhaus mit Luft-Luft-Wärmepumpe und Lüftung mit Wärmerückgewinnung und opake Bauteile $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; transparente Bauteile $U = 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $\Delta U_{WB} = 0,018 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	31,7	32,7

6.5 Wände in Holzbauweise

Holz ist als nachwachsender Rohstoff und wegen seines günstigen Verhältnisses von Tragfähigkeit zu Eigenlast, seiner leichten Bearbeitbarkeit und der verhältnismäßig guten Wärmedämmung als Baustoff gut geeignet. Mit geeigneten Brandschutzbekleidungen lassen sich auch große und hohe Gebäude errichten. In Bad Aibling wurde beispielsweise ein achtgeschossiges Wohnhaus in Holzbauweise realisiert.

Holzkonstruktionen lassen sich günstig in der Halle vorfertigen. Auf der Baustelle werden die Tafeln aufgerichtet und mit innerer und äußerer Bekleidung versehen.

6.5.1 Massive Holzwände

Blockwände bestehen aus liegenden Hölzern. Beim historischen Blockbau wurden wenig bearbeitete Rundhölzer übereinandergeschichtet und nur auf der Innenseite verkleidet. Heute werden die Blockprofile exakt gefräst und mit einer zusätzlichen Dämmung versehen. Diese liegt entweder auf der Innenseite oder zwischen zwei Schalen in Blockkonstruktion.

Massivholzwände werden aus kreuzweise vernagelten oder verleimten Brettern hergestellt. Sie werden als fertige Tafeln an der Baustelle montiert. Einige Systeme kommen ohne zusätzliche Dämmung aus.

6.5.2 Holzständerwände

Das historische **Fachwerk** ist geschossweise aufgebaut. Auf einer horizontalen Schwelle stehen die senkrechten Pfosten, die das Rähm tragen, welches das Auflager für die Balkendecke bildet. Zur Aussteifung gibt es schräge Streben und horizontale Riegel unter Fenstern und über Türen Riegel. Zwischen den Hölzern befinden sich die Gefache, die entweder mit Steinen oder Ziegeln ausgemauert, oder mit Lehm auf Weidengeflecht ausgefüllt sind. Die Gefache sind verputzt, das tragende Holzgerippe außen sichtbar. Innen gibt es eine Verkleidung, meist Putz auf einem Putzträger, wie etwa Schilfmatten.

Der moderne **Holzrahmenbau** ist ähnlich wie das Fachwerk geschossweise aufgebaut. Auf einer Schwelle stehen die Holzständer, den oberen Abschluss bildet das Rähm. Die Aussteifung erfolgt durch diagonale Streben, eine diagonale Schalung, meist aber durch eine Bekleidung mit Holzwerkstoffplatten auf der Innenseite.

Außen wird die Konstruktion auch mit einer Schalung oder mit Platten bekleidet. Dafür eignen sich besonders Holzfaserdämmplatten, die es auch Wasser ableitend gibt. Damit wird ein Kasten gebildet, der mit Dämmstoff gefüllt wird. Dies kann ein Faserdämmstoff sein oder Zelluloseflocken, die in den Hohlraum eingebblasen werden.

Innen muss die Konstruktion luftdicht und dampfbremsend sein, damit sich kein Kondensat in der Dämmschicht niederschlägt. Häufig werden für die aussteifende innere Bekleidung OSB-Platten (oriented strand board) verwendet, die mit luftdicht verklebten Fugen die Funktion der Dampfbremse übernehmen. Wird keine Plattenverkleidung auf der Innenseite ausgeführt, muss eine Dampfbremsschicht eingesetzt werden. Diese ist an den Stößen und Anschlüssen luftdicht zu verkleben.



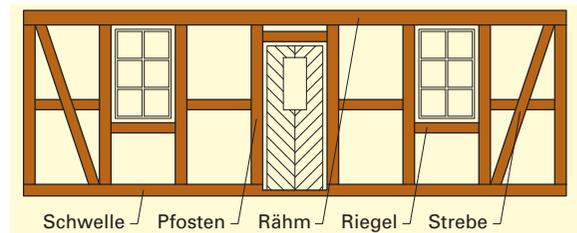
Traditioneller Blockbau



Bauen mit Massivholzwandelementen



Fachwerkhäuser in Bad Urach



Traditionelle Fachwerkwand



Wand in Holzrahmenbauweise

12.3 Lehmbaumstoffe

Lehm gehört zu den ältesten Baustoffen und ist in allen Teilen der Welt bekannt. Man rechnet, dass etwa ein Drittel der Menschen in Lehmhäusern wohnt. In trockenen Gebieten des Nahen Ostens und Nordafrikas war der Lehmbau vorherrschend. Die Stadt Sanaa im Jemen ist berühmt für ihre Lehmarchitektur, die bis ins 11. Jahrhundert zurückreicht.

In Mitteleuropa hat Lehm im Fachwerkbau eine lange Tradition. Um die Ausfachungen zu schließen, wurden entweder Lehmziegel vermauert oder eine Lehmschlämme auf ein Weiden- oder Strohgeflecht aufgebracht.

Seltener wurde hier Lehm auch in massiv tragenden Konstruktionen eingesetzt, entweder als **Stampflehm** oder als **Lehmziegel**. Beim Stampflehm wird Stroh mit einer Lehmschlämme gemischt und lagenweise in eine Schalung eingebracht. Die Verdichtung erfolgt dann durch Stampfen. In der hessischen Stadt Weilburg steht ein sechsgeschosiges Wohnhaus aus Stampflehm aus dem Jahr 1836. Durch die Entwicklung moderner Baustoffe ist die Lehmbauweise verdrängt worden.

Lehmbaumstoffe kommen heutzutage überwiegend im Innenbereich und nichttragend zum Einsatz, wodurch der Nachteil der Wasserempfindlichkeit keine Rolle spielt.

Der moderne Lehmbau zeichnet sich durch ein vielfältiges Angebot an Lehmbaumstoffen und rationelle Arbeitstechniken aus. Neben Lehmputzen sind dies vor allem **Lehm- bauplatten**. Sie bestehen aus Schilf oder Stroh und Lehm, teilweise mit Gewebearmierung. Sie werden in Dicken von etwa 16...25 mm angeboten. Die dünnen Platten werden auf festen Untergründen befestigt, die dickeren Platten dienen wie Gipsplatten als Bekleidung von Holzkonstruktionen und Ständerwänden. Nach Armierung und Spachtelung der Fugen wird ein dünner Lehmoberputz aufgetragen. Für Wandheizungen gibt es auch Elemente, in denen die Heizungsrohre vorverlegt sind.

In DIN 18945, 18946 und 18947 sind Begriffe, Anforderungen und Prüfverfahren zu Lehmsteinen, Lehmmauermörtel und Lehmputzmörtel festgelegt.

Lehm ist ein nachhaltiger Baustoff, weil er leicht verfügbar ist, wenig Energie für die Aufbereitung benötigt und sich vollständig wiederverwerten lässt.

Lehm ist gesundheitlich unbedenklich, schalldämmend und mit geeigneten Zuschlagstoffen, wie etwa Stroh, verhältnismäßig gut wärmedämmend. Er weist eine große Aufnahmefähigkeit von Luftfeuchtigkeit auf und hält damit Holz trocken und verbessert das Raumklima.

12.4 Innentüren

Um die verschiedenen Räume eines Gebäudes miteinander verbinden und voneinander trennen zu können, sind Türeingbauten notwendig. Türen können aus Holz, Metall, Kunststoff oder Glas hergestellt werden.

12.4.1 Anforderungen

Neben gestalterischen Gesichtspunkten werden an Innentüren folgende Anforderungen gestellt:

- Dauerfunktionstüchtigkeit,
- widerstandsfähig gegen mechanische Beanspruchungen und hohe Verformungsstabilität, damit sich die Tür nicht verzieht,



Ghardaia, Algerien

Sanaa, Jemen



Lehmhaus in Weilburg

Moderne Stampflehmwand



Lehmbauplatte

Lehm- bau-Wandheizelement



Fugen schließen

Lehmoberputz auftragen

Aufgaben

1. Erklären Sie, warum Lehm als nachhaltiger Baustoff bezeichnet wird.
2. Welche Vorteile bietet das Bauen mit Lehm?
3. Für welche Bauteile wird Lehm heute verwendet?
4. Wie wird eine Ständerwand mit Lehm- bauplatten ausgeführt?



Türen im Schloss Łańcut (Polen)

Tür in der Universität Wien

Splittmastixasphalt (SMA) ist ein Mineralstoffgemisch mit hohem Splittanteil größter Korngruppe und viel Füller, aber wenig Feinsplitt und Sand. Diese Ausfallkörnung erzeugt ein sich selbst stützendes Splittgerüst, dessen Hohlräume durch einen bitumenreichen Mörtel (Mastix) weitgehend ausgefüllt sind. Um während des Transports und Einbaus das Auslaufen von Bitumen zu verhindern, werden stabilisierende Zusätze, in der Regel Cellulosefasern (0,3... 1,5%), zugesetzt.

Gussasphalt (MA) ist aus einer abgestuften Gesteinskörnung (Edelsplitt, Edelbrechsand, Natursand und Gesteinsmehl) und Straßenbaubitumen zusammengesetzt. Er zeichnet sich durch seinen hohen Anteil an Bitumen und Gesteinskörnern $\leq 0,09$ mm („Füller“) aus. Korngrößenverteilung und Bitumengehalt sind so gewählt, dass die Hohlräume vollständig mit Bitumen ausgefüllt sind und darüber hinaus noch ein Bitumenüberschuss besteht, wodurch eine gieß- und verstreichbare Masse mit einer glatten Oberfläche entsteht, die nicht verdichtet wird. Gussasphalt muss unmittelbar nach dem Einbau immer mit 5... 8 kg Edelsplitt 2/5 mm abgestreut werden, um die Oberfläche aufzurauen und die Griffigkeit zu erhöhen.

Offenporiger Asphalt (PA) (auch „Drän-“ oder „Flüsterasphalt“) hat durch seinen hohen Anteil an großen Gesteinskörnern (Splitt) und wenig Sand einen hohen Hohlraumgehalt (15... 25%). Als Bindemittel wird polymermodifiziertes Bitumen verwendet. Durch die Hohlräume kann das Regenwasser nach unten abgeleitet werden. Damit das Wasser nicht in Unterbau und Untergrund abläuft, ist eine Sperrschicht aus Bitumen angeordnet. Es wird dann durch die Querneigung ($q \geq 2,5\%$) der Straße zu den Seiten transportiert. PA verringert die Sprühhahnenbildung und das Aquaplaning und wirkt wegen der Offenporigkeit lärmindernd. Es besteht jedoch die Gefahr, dass sich nach längerer Nutzung die Poren durch Verschmutzung und Gummiabrieb zusetzen. Der PA kann dann seine Funktionen nur noch teilweise erfüllen.

Obwohl die Anfangsgriffigkeit der Fahrbahnoberfläche beim Einbau von PA ungünstig ist (sog. Überfettung), darf auf die Oberfläche kein Sand oder Splitt gestreut werden, um die Poren nicht zu verschließen.

Asphalttragdeckschichten (AC TD) übernehmen die Aufgaben der Asphalttragschicht und Deckschicht. Sie setzen sich aus einer gut abgestuften Gesteinskörnung und Straßenbaubitumen zusammen. Ihre Einsatzmöglichkeiten sind auf den ländlichen Wegebau, Rad- und Gehwege sowie auf untergeordnete Verkehrsflächen beschränkt. Sie sollen bei gering tragfähigen Unterlagen mögliche Verformungen aufnehmen können ohne zu reißen. Deshalb wird ein weiches Bitumen der Sorte 160/220 verwendet.

Der Einbau findet einlagig statt bei Einbaudicken zwischen 5 ... 10 cm, sodass keine Trennschichten entstehen.

Asphaltmischgutarten (Kennzeichnung):

- AC** (asphalt concrete) für alle Asphaltbetone
- SMA** (stone mastic asphalt) für Splittmastixasphalt
- MA** (mastic asphalt) für Gussasphalt
- PA** (porous asphalt) für offenporigen Asphalt

Asphaltbeton (AC) nach Norm umfasst:

- T** Asphalttragschichtmischgut
- B** Asphaltbinder
- D** Asphaltbeton für Asphaltdeckschichten
- TD** Asphalttragdeckschichtmischgut

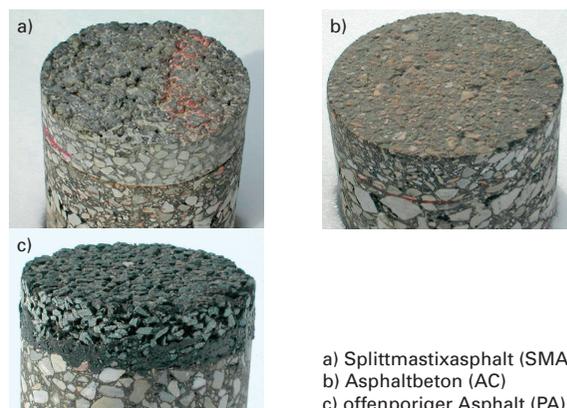
Nationale Ergänzung für die Beanspruchung:

- L** leichte
- N** normale
- S** besondere

Kennzeichnung von Asphaltmischgut

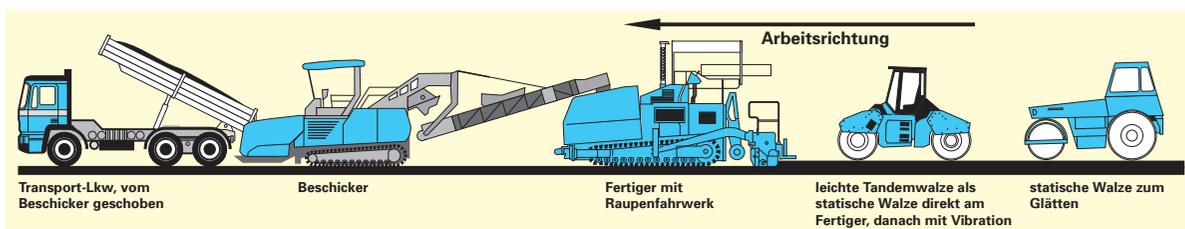
- AC T:** Asphaltbeton für Asphalttragschichten (Asphalttragschichtmischgut)
- AC B:** Asphaltbeton für Asphaltbinderschichten (Asphaltbinder)
- AC TD:** Asphalttragdeckschichten (Asphalttragdeckschichtmischgut)
- AC 11 D N:** Asphaltbeton für Asphaltdeckschichten mit einer oberen Siebgröße von 11 mm für Verkehrsflächen mit normaler Beanspruchung
- AC 32 T S:** Asphaltbeton für Asphalttragschichten mit einer oberen Sieblinie von 32 mm für Verkehrsflächen mit besonderer Beanspruchung
- MA 8 S:** Gussasphalt mit einer oberen Siebgröße von 8 mm für Verkehrsflächen mit besonderer Beanspruchung

Beispiele für die Bezeichnung von Asphaltmischgut



a) Splittmastixasphalt (SMA)
b) Asphaltbeton (AC)
c) offenporiger Asphalt (PA)

Bohrkerne verschiedener Asphaltbauweisen



Asphalt-Einbauzug schematisch

15.1.5 Verlegen der Versorgungsleitung

Lage der Wasserleitung im Straßenquerschnitt

Die Wasserleitung in der Straße wird Versorgungsleitung genannt. Nach DIN 1998 werden den Ver- und Entsorgungsleitungen im Straßenquerschnitt bestimmte Räume zugewiesen.

Danach sollen **innerhalb** von Ortsdurchfahrten Telekommunikation, Strom-, Gas-, Wasserleitungen und Signalkabel außerhalb der Fahrbahn, Fernwärmeleitungen, Abwasserkanäle sowie Haupt- und Fernleitungen in der Fahrbahn angeordnet werden. Bei stark befahrenen Straßen sollen möglichst alle Leitungen außerhalb der Fahrbahn verlegt werden, um Verkehrsbehinderungen zu vermeiden.

Der zur Verfügung stehende Raum außerhalb der Fahrbahn in Geh- und Radwegen sowie Park- und Grünstreifen wird in Zonen eingeteilt, die möglichst auf beiden Straßenseiten vorzusehen sind. Die Reihenfolge der Zonen ist einzuhalten, örtlich abweichende Festlegungen sollen Ausnahmen sein.

Außerhalb von Ortsdurchfahrten sollen alle Leitungen am äußeren Rand des Straßenquerschnitts verlegt werden.

Die Mindestüberdeckung muss für alle Zonen 0,5 m oder 0,1 m unter dem Planum betragen, damit die Tragfähigkeit der Straße und der Leitungen gewährleistet ist.

Die Zone für Wasserleitungen (W-Zone) hat eine Regelbreite von 0,7 m. Wasserleitungen müssen in einer frostfreien Tiefe von 1,0 ... 1,8 m liegen.

Rohrverlegung

Vor dem Verlegen der Rohre ist die Grabensohle in vorgeschriebener Tiefe und Breite so auszuheben, dass die Rohre in ihrer gesamten Länge satt auf dem gewachsenen Boden aufliegen. In steinigem und felsigem Untergrund muss 20 cm tiefer ausgehoben werden. In diesem Bereich ist Sand oder Feinkies einzubauen und zu verdichten, um

- die Auflagespannungen an den Rohren möglichst gleichmäßig zu verteilen,
- die Tragfähigkeit der Rohre zu erhöhen.

Die Rohrverlegung beginnt mit dem Überprüfen des Grabens auf planmäßige Tiefe, der Sicherung der Grabenwände (siehe Abschnitt 3.5.6) und bei Fern- und Zubringerleitungen mit der Festlegung des richtigen Gefälles. Muffenrohre sind in der Regel mit der Muffe gegen die Steigung zu verlegen.

Kopflöcher für die Rohrverbindung werden Zug um Zug bei der Rohrverlegung ausgehoben.

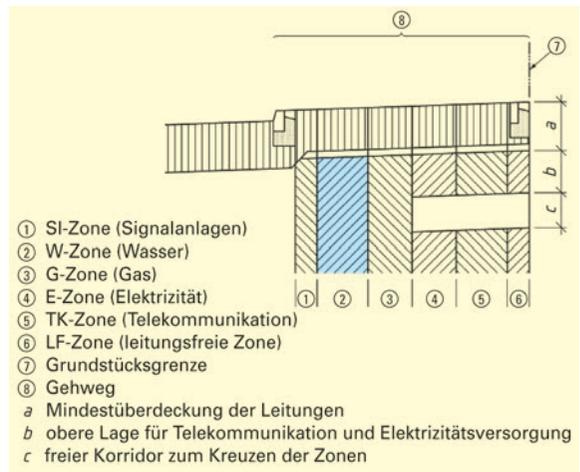
Wenn mehrere Leitungen in einem Graben verlegt werden sollen (z.B. Trinkwasserleitung und Abwasserkanal), werden Stufengräben vorgesehen.

Querende Leitungen müssen gegebenenfalls zur Stützung unterbaut werden.

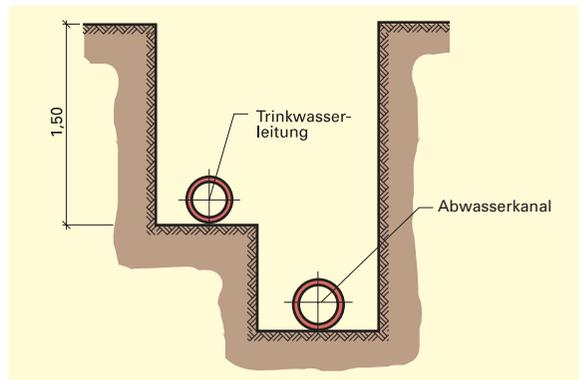
Richtungsänderungen in der geraden Rohrtrasse sind durch den Einbau von Formstücken (z.B. Krümmer) zu realisieren. Armaturen, Krümmer und Endstücke übertragen infolge des Wasserinnendrucks oft erhebliche Kräfte auf die Grabenwand.

Nicht längskraftschlüssige Rohrverbindungen ermöglichen ohne Beeinträchtigung der Dichtwirkung eine begrenzte Verschiebbarkeit in Längsrichtung und ein Abwinkeln aus der Längsachse.

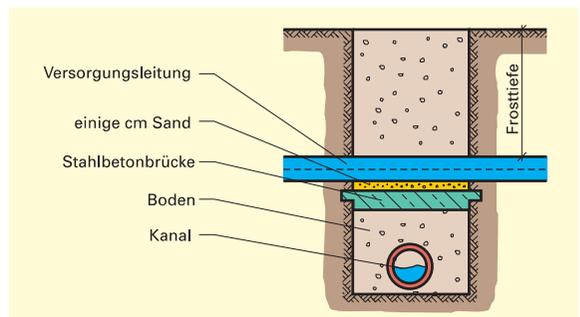
Um zu verhindern, dass die Verbindungen an Abwinklungen und Bögen auseinandergedrückt werden, müssen diese Stellen durch Widerlager gesichert werden.



Einteilung der Zonen außerhalb der Fahrbahn



Stufengräben



Unterstützung der querenden Leitung durch eine Stahlbetonbrücke



Rohrwiderlager aus Ort beton

15.2.4 Einwohnergleichwert (EGW)

Der Verschmutzungsgrad von industriellem Abwasser wird durch den Einwohnergleichwert (EGW) angegeben. Diese Zahl gibt an, wie viele Menschen eine tägliche Abwassermenge mit derselben Schmutzfracht erzeugen würden.

Die Schmutzfracht im Abwasser beträgt in Deutschland durchschnittlich 60...65 mg/l biochemischen Sauerstoffbedarfs (BSB₅) je Einwohner und Tag. Dieser wird gemessen um festzustellen, wie viel Sauerstoff die im Abwasser enthaltenen Bakterien innerhalb von 5 Tagen verbrauchen. Ist der Wert hoch, verbrauchen die Bakterien viel Sauerstoff und das Abwasser ist noch nicht ausreichend geklärt worden. Der EGW kann außerdem auf den chemischen Sauerstoffbedarf (CSB), den totalen organischen Kohlenstoff (TOC), den Stickstoff, den Phosphor, die Schwebstoffe oder auf den Wasserverbrauch bezogen werden.

Die Summe aus der Einwohnerzahl (EZ) und den Einwohnergleichwerten (EGW) als Maß für die Schmutzfracht aus Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft ergibt den für die Bemessung von Abwasserreinigungsanlagen maßgebenden Einwohnerwert (EW).

$$EW = EZ + EGW$$

Der Einwohnerwert dient zum Abschätzen der zu erwartenden biologischen Belastung von Kläranlagen.

Der Einwohnergleichwert wird in Deutschland mit folgenden Werten angegeben:

- BSB 60 g/d,
- CSB 120 g/d,
- TOC 40 g/d,
- Stickstoff 10...12 g/d,
- Phosphor etwa 1,8...2,1 g/d,
- Schwebstoffe etwa 60 g/d,
- Wasserverbrauch 200 l/d.

15.2.5 Berechnungsregenspende

Für die Berechnung der anfallenden Regenwassermengen ist nach DIN 1986-100 die **Berechnungsregenspende** $r_{(D,T)}$ eine Kenngröße. Mit ihr werden die planmäßig abzuleitenden Regenwassermengen auf Dach- und Grundstücksflächen an einem bestimmten Ort ermittelt. Darin bedeuten:

r = Regenspende

D = Regendauer, z. B. 5 min

T = Wahrscheinlichkeit der jährlichen Wiederkehr, z. B. 5 Jahre

Die Regenspende wird in der Maßeinheit l/(s · ha) [Liter/(Sekunde · Hektar)] gemessen und basiert auf Langzeitmessungen des Deutschen Wetterdienstes. Die Angabe erfolgt nach DIN 1986-100 für Dachflächen und Grundstücksflächen.

Beispiel Stuttgart:

$r_{(5,5)}$ 367 l/(s · ha) für Dachflächen

$r_{(5,2)}$ 267 l/(s · ha) für Grundstücksflächen



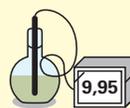
Belebungsbecken zur biologischen Abwasserreinigung

1. Bakterien



Die Wasserprobe wird mit bakterienhaltigem, sauerstoffgesättigtem Wasser versetzt.

2.



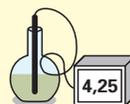
Der Sauerstoffgehalt wird bestimmt.

3. T = konst.



Die Probe wird verschlossen und bei 20°C thermostatisiert. Die Bakterien bauen einen Teil der organischen Wasserinhaltsstoffe unter Sauerstoffverbrauch ab.

4.



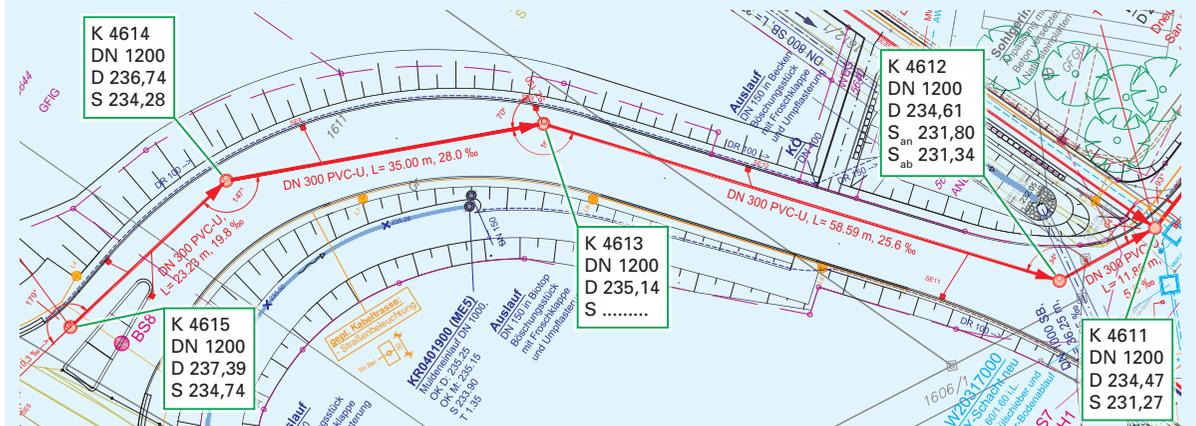
Nach 5 Tagen wird erneut der Sauerstoffgehalt gemessen. Der daraus ermittelbare Sauerstoffverbrauch wird als BSB₅-Wert in mg O₂/l angegeben.

Bestimmung des biochemischen Sauerstoffbedarfs BSB₅ nach 5 Tagen

Ort	Dachflächen $r_{(5,5)}$ in l/(s · ha)	Grundstücksflächen $r_{(5,2)}$ in l/(s · ha)
Berlin	350	267
Bremen	250	200
Dresden	317	233
Frankfurt/Main	317	250
Hamburg	283	217
Kiel	317	233
München	333	267
Nürnberg	333	250
Stuttgart	367	267

Beispiele für Berechnungsregenspenden

15.2.15 Projektaufgaben



Für die Erschließung eines Gewerbegebiets soll die Kanalleitung geplant werden. Es soll ein abgeböschter Graben ausgehoben werden, die Kanalrohre DN/OD 315 mit einer Länge von 5,00 m eingebaut und die Schachtbauwerke K 4611 ... K 4615 gesetzt werden. Es handelt sich um einen steifen bindigen Boden.

Aufgaben:

1. a) Um welches Entwässerungssystem handelt es sich?
b) Nennen Sie Vor- und Nachteile des Entwässerungssystems.
2. Bei dem geplanten Kanal handelt es sich um eine Freispiegelleitung. Erklären Sie diesen Begriff.
3. Berechnen Sie die Menge der Rohre, die bestellt werden muss.
4. Geben Sie das Kanalgefälle in der Haltung zwischen K 4613 und K 4614 in Prozent und als Verhältnis 1:n an.
5. Berechnen Sie die Sohlhöhe des Schachtes K 4613.
6. Aus welchem Grund sind am Schacht K 4612 zwei Sohlhöhen angegeben?
7. a) Welche Bedeutung hat die Abkürzung PVC-U?
b) Nennen Sie die Vorteile von PVC-U-Rohren gegenüber anderen Rohrwerkstoffen.
c) Welche Rohrwerkstoffe könnten alternativ dazu eingebaut werden?
8. Der Kanalgraben soll mit einer Sohlbreite von 0,90 m abgebösch hergestellt werden.
a) Welcher Böschungswinkel ist notwendig?
b) Berechnen Sie die Grabentiefen an den Schächten K 4611 ... K 4615 vereinfacht, indem Sie die Differenz zwischen Deckel- und Sohlhöhe ermitteln.
c) Zeichnen Sie die trapezförmigen Grabenquerschnitte für alle Haltungen mit den zuvor berechneten Maßen im Maßstab 1:50 auf und bemaßen Sie diese.
d) Berechnen Sie die oberen Grabenbreiten.
e) Erstellen Sie mit dem Computer die abgebildete Tabelle und berechnen Sie das Grabenvolumen:
11. Zeichnen Sie den Kanalhöhenplan von den Schächten K 4615 ... K 4612 in MdL 1:500 und MdH 1:50.

Schacht	Sohlbreite des Grabens	Obere Grabenbreite	Graben-tiefe	Grabenquer-schnitts-fläche (Trapez)	Mittlere Grabenquer-schnittsfläche (Trapez)	Ab-schnitts-länge	Aushub-volumen
	l_1 (in m)	l_2 (in m)	b (in m)	$A = \frac{l_1 + l_2}{2} \cdot b$	$A_m = \frac{A_1 + A_2}{2}$	l (in m)	
K 4611							
K 4612							
K 4613							
K 4614							
K 4615							
Gesamt-volumen							

231,00 über NNH	
Deckelhöhe	237,39
Sohlhöhe	234,74
Haltungslänge	
Gefälle/Nennweite	
Schacht-Nr.	K 4615

- f) Wie groß ist das Aushubvolumen bei einer Auflockerung von 20%?
9. Das Aushubvolumen für die Schachtbaugrube soll am Schacht K 4611 kegelstumpfförmig berechnet werden. Der Böschungswinkel soll dem des Kanalgrabens entsprechen.
a) Ermitteln Sie die benötigte Sohlbreite der Schachtbaugrube, wenn die Schachtwanddicke des Schachtunterteils auf jeder Seite 150 mm beträgt und ein Arbeitsraum von 50 cm auf jeder Seite vorzusehen ist.
b) Berechnen Sie die obere Breite der Schachtbaugrube.
c) Berechnen Sie das Aushubvolumen bei 20%iger Auflockerung mithilfe der Näherungsformel.
10. a) Informieren Sie sich im Internet bei einem Betonfertigteilwerk über das Lieferprogramm von Betonschächten und ermitteln Sie die benötigten Schachtteile und deren Abmessungen für K 4611.
b) Zeichnen Sie das Schachtbauwerk im Maßstab 1:20.