

Türme gab es begleitend zur Apsis und auch im Westen neben dem Eingang. Anfänglich waren die Kirchen mit flachen hölzernen Decken versehen, wie bei **St. Michael in Hildesheim**, später mit Tonnen- oder Kreuzgewölben.

Bei Dreikonchenanlagen, wie in Köln, gruppierten sich um die Vierung drei halbrunde Altarnischen, die Konchen.

Im **gebundenen System** ist die Vierung das Grundmaß des Hauptschiffes. Zwei Gewölbefelder des Seitenschiffes entsprechen einem des Hauptschiffes. Es ergibt sich dadurch ein Wechsel aus Hauptstützen und Nebenstützen, die nur das Gewölbe des Seitenschiffes tragen. Die **Kaiserdome** in **Mainz, Speyer** und **Worms** sind nach diesem System erbaut.

Um den Schub der Gewölbe aufzunehmen, bedurfte es dicker Mauern, wodurch die Gebäude massig und wehrhaft wirken mit wenigen, formal reduzierten Ornamenten. Im Laufe der Jahre wurde die Ornamentierung reicher, die Rippen der Gewölbe wurden hervorgehoben, die Stützen mit Halbsäulen oder Säulenbündeln betont. Die einfachen Würfelkapitelle der Frühzeit wurden ornamentiert oder durch Figurenkapitelle ersetzt.

Die Öffnungen waren mit Rundbögen überspannt, manchmal als gekuppelte Fenster unter einem gemeinsamen Bogen. Rundfenster und Kleeblattfenster waren seltener zu finden. Portale waren häufig als Trichterportale mit Halbsäulen oder frei stehenden Säulen ausgebildet. Säulen wurden später auch als Säulenbündel mit Knoten oder wie ein Seil gedreht ausgebildet.

- Massive und wehrhafte Steinbauten
- Tonnengewölbe und Kreuzgewölbe mit dicken Mauern zur Aufnahme des Gewölbeschubs
- Rundbogenöffnungen, runde Fenster, gekuppelte Fenster, Trichterportal
- Würfelkapitell, Figurenkapitell, einfacher Figurenschmuck



Speyer, Dom

1030–1106



Quedlinburg, Stift

1070–1129

Murrhardt, Portal 1230



Naumburg, Dom

1210–1242

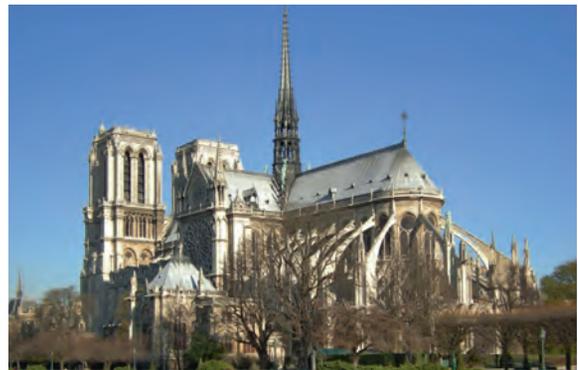
Worms, Dom 1125–1230

5.2 Gotik 1250–1500

Schon um 1150 entstanden in Frankreich die ersten gotischen Kathedralen. Um 1250 wurden das **Straßburger Münster** und der **Kölner Dom** begonnen, der erst im 19. Jh. fertiggestellt wurde. Das gebundene System wurde erweitert, indem die Seitenschiffe um den verlängerten Chor herumgeführt werden, auch wurde das Querhaus häufig mehrschiffig ausgeführt. Türme stehen beidseits des Eingangs an der Westseite.

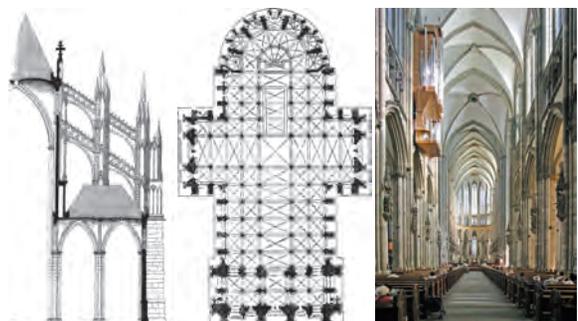
Wände und Gewölbe wurden in tragende Steinrippen und dünne Füllungen mit großen Fensteröffnungen aufgelöst. Die Rippen des Gewölbes werden als Dienst – einer Vorlage vor dem Pfeiler – oder als Bündelpfeiler weitergeführt. Mit einem System aus Strebebögen und -pfeilern wurde der Gewölbeschub abgeleitet, kleine Türmchen auf den Strebepfeilern, die **Fialen**, dienten als Auflast. Der Spitzbogen kam dem tatsächlichen Kräfteverlauf nahe und entwickelte einen dynamischen Zug nach oben. Die Vertikale war die bestimmende Richtung im Inneren, obwohl die Wände wie in der Romanik horizontal gegliedert waren. Die Fenster wurden mit feinem Maßwerk aus Stein unterteilt und mit in Blei gefassten farbigen Scheiben als hinterleuchtete Bilder gestaltet, die die biblische Geschichte erzählten. Die Versuche, höher und feingliedriger zu bauen, führten bei vielen Bauwerken zu teilweisen Einstürzen der Gewölbe.

Die Fassaden waren wie die tragende Struktur aufgelöst und mit reicher Bauplastik versehen. Die Figuren waren realistisch fließend nach oben gewandt und mit kunstvollem Faltenwurf der Gewänder versehen.



Paris, Notre-Dame

1160 begonnen



Köln, Dom, Schnitt, Grundriss, Hauptschiff

1248 begonnen

5.3.5 Mauersteine aus Beton

Mauersteine aus Beton werden aus Gesteinskörnungen und dem Bindemittel Zement hergestellt. Außerdem können für die Herstellung noch **Zusatzstoffe** wie Baukalke, Gesteinsmehle, Trass oder Flugasche und **Zusatzmittel** verwendet werden.

Grundsätzlich wird nach Art der verwendeten Gesteinskörnung zwischen **Mauersteinen aus Leichtbeton** und **Mauersteinen aus Normalbeton** unterschieden.

Gesteinskörnungen zur Herstellung von Mauersteinen aus Leichtbeton

- **Naturbims** ist ein poröses Vulkangestein, das bei einem gasreichen Vulkanausbruch durch Aufschäumen des Magmas entstand.
- **Blähschiefer** entsteht durch das Erhitzen von gebrochenem Schiefergestein und hat ein offenesporiges Gefüge.
- **Blähton** wird industriell aus getrocknetem, gemahlenem und bei 1200 °C gebranntem Ton hergestellt. Dadurch entsteht eine kugelige Kornform mit geschlossener Oberfläche, die im Innern eine poröse Struktur aufweist.
- **Bläherlit** entsteht durch kurzes Erhitzen des Vulkangesteins Rohperlit, wodurch es sich bis zum Zwanzigfachen seines Ausgangsvolumens aufbläht.

Für Vollblöcke aus Leichtbeton darf als Gesteinskörnung nur Naturbims oder Blähton verwendet werden.

Herstellung

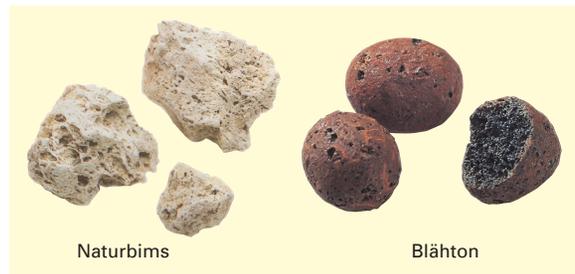
Die Gesteinskörnung wird mit Zement und gegebenenfalls mit Zusatzstoffen und Zusatzmitteln unter Zugabe des Anmachwassers gemischt, danach in Formen gefüllt und durch Rütteln (Vibration) verdichtet.

Die Normdruckfestigkeit wird nach 28 Tagen erreicht.

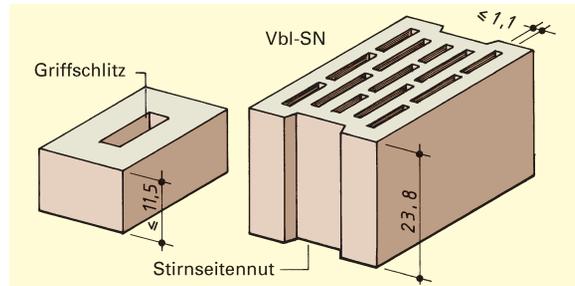
Steinarten

Nach DIN 20000-403 und DIN EN 771-3 werden folgende Mauersteine aus Beton unterschieden:

- **Vollsteine** sind sechsseitig geschlossene kleinformatige Mauersteine (ohne Kammern oder Schlitze) mit einer Höhe von 52... 115 mm.
 - V** Vollstein aus Leichtbeton.
 - Vn** Vollstein aus Normalbeton.
- **Vollblöcke ohne Schlitze** sind sechsseitig geschlossene Mauersteine aus Leichtbeton (ohne Kammern und ohne Schlitze) mit einer Höhe von 175... 238 mm.
 - Vbl** Vollblock aus Leichtbeton.
 - Vbn** Vollblock aus Normalbeton.
- **Vollblöcke mit Schlitzen** sind vier- oder fünfseitig geschlossene Mauersteine aus Leichtbeton mit Schlitzen senkrecht zur Lagerfläche und einer Höhe von 175... 238 mm.
 - Vbl S** Vollblock mit Schlitzen aus Leichtbeton.
 - Vbn SW** wie Vbl S, jedoch mit besonderen Wärmedämmeigenschaften.
- **Hohlblöcke** sind fünfseitig geschlossene Mauersteine mit Kammern und einer Höhe von 175... 238 mm. Nach Anzahl der Kammern werden sie als 1 K-... 6 K-Steine bezeichnet.
 - Hbl** Hohlblock aus Leichtbeton.
 - Hbln** Hohlblock aus Normalbeton.

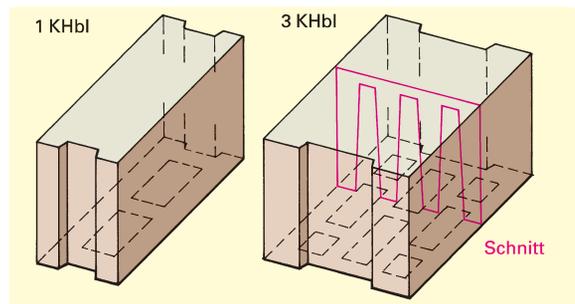


Leichte Gesteinskörnungen

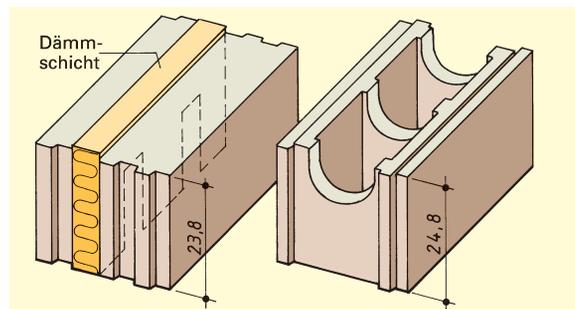


Vollstein mit Griffloch

Vollblock, geschlitzt mit Nut



Einkammer- und Dreikammer-Hohlblock



Zweischaliger Hohlblock

Schalungsstein

Bezeichnung eines Vollsteins aus Leichtbeton, der Druckfestigkeitsklasse 8, der Rohdichteklasse 1,40, der Länge $l = 240$ mm, der Breite $b = 115$ mm, der Höhe $h = 113$ mm:

Mauerstein DIN 20000-403 – V8 – 1,40 – 2DF – 240/115/113

Bezeichnungsbeispiel

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'_{Tvorh}

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 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.

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

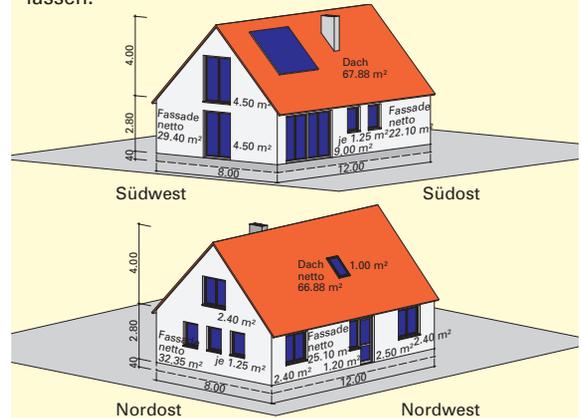
Anlagenaufwandszahl e_p

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 des GEG erfüllen lassen:



Regelungen nach GEG	Jahresprimärenergiebedarf Q''_p [kWh/(m² · 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 dichteitsgeprüft, Abluftanlage; Brennwertsystem mit zentraler Warmwasserbereitung und Solaranlage, Verteilung im beheizten Bereich; Raumtemperatur < 20 °C, mit Nachtabschaltung; Standort Potsdam	78,1	80,6
Aktuell: 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 des GEG 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

Längsfugen müssen angeordnet werden, wenn die Plattenabmessungen zu groß werden, oder wenn der Fertiger nicht die ganze Fahrbahnbreite einbauen kann. Die Plattenabmessungen sollen das 25-Fache, bei quadratischen Platten das 30-Fache der Plattendicke nicht überschreiten. Die Kantenlänge darf dabei nicht mehr als 7,50 m betragen. Die Längsfugen werden in der Regel mit Anker versehen, um die Fahrbahnanteile nicht auseinanderwandern zu lassen. Die **Querfugen** verlaufen im Allgemeinen rechtwinklig zur Straßenachse und werden mit Dübeln auf Höhe gehalten (Scheinfugen). Sie sollen nicht gegeneinander versetzt sein. Betondecken können ein- oder zweischichtig eingebaut werden. Bei zweischichtigem Einbau besteht die Decke aus einem Ober- und Unterbeton mit unterschiedlicher Zusammensetzung. Beim Unterbeton besteht die Gesteinskörnung aus kostengünstigem ungebrochenem Material. Betondecken werden maschinell mit dem Gleitschalungsfertiger hergestellt. Mit seinen Geräten wird der Beton maschinell eingebracht, gleichmäßig verteilt, geglättet und verdichtet. Die Anker und Dübel werden vollautomatisch an den notwendigen Stellen gesetzt. Seitlich am Gleitschalungsfertiger sind Schalungsbleche montiert, die beim Fertigungsprozess mitgezogen werden. Der eingebaute Beton muss eine steife Konsistenz aufweisen, damit die Betonschulter hinter dem Gleitschalungsfertiger standfest bleibt und nicht herabfällt.

Betonfahrbahnen werden auf Betonqualität und Festigkeit, Abrieb und Luftporengehalt geprüft.

Außerdem werden die fertigen Fahrbahnen auf profilgerichtete Lage, Ebenheit, Neigungen und Griffigkeit geprüft. Den etwa 9-minütigen Film „Verkehrsflächen aus Beton“ können Sie in der Mediathek des „InformationsZentrum Beton“ unter www.beton.org/service/mediathek oder mit diesem QR-Code ansehen.



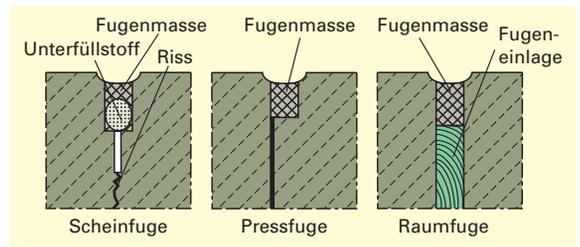
Betondeckschichten müssen wegen der Dehnung bei Temperaturunterschieden mit Fugen versehen werden. Dübel oder Anker sichern die Verbindung der Platten. Am häufigsten werden Scheinfugen eingebaut, die als Sollbruchstellen wilde Risse der Decke verhindern.

Pflasterdecken

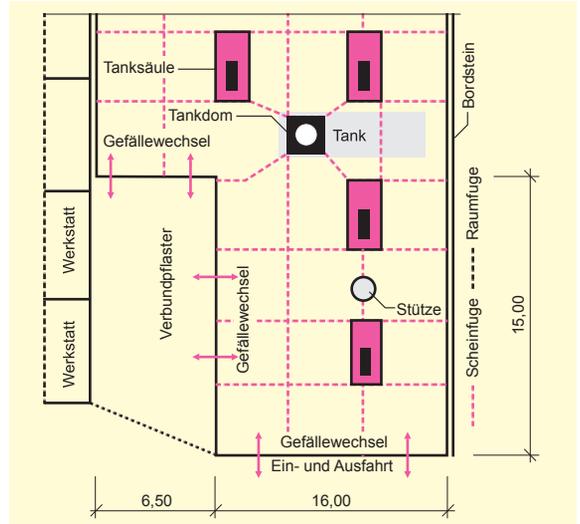
Die Pflasterbauweise entspricht nach RStO und ZTV P-StB bezüglich des Unterbaus und der Tragschichten den anderen Bauweisen. Als Regelbauweise gilt das Verlegen von Pflastersteinen oder Platten in Sand- oder Splittbettung. In Sonderfällen, wie zum Beispiel bei stark befahrenen Straßen oder Parkflächen, kann auch das Verlegen in Mörtel mit Mörtelverfugung notwendig sein. Der obere Belag kann als Pflaster- bzw. Plattenbelag aus Naturstein, Beton oder Klinker hergestellt werden.

Für das Verlegen von Pflaster und Plattenbelägen sind Standard- wie auch spezielle Verbände entwickelt worden, die dem Stand der Technik und dem ästhetischen Empfinden entsprechen. Für Fahrbahnbefestigungen werden in der Regel Reihen-, Diagonal- und Netzverbände gewählt, bei Gehwegen und Flächengestaltungen sind oft auch Bogenverbände und unregelmäßige Verbände gebräuchlich. Für gestaltete Flächen werden häufig auch verschiedene Steinarten, Formen und auch Platten eingesetzt.

Das große Angebot an natürlichen und künstlichen Steinen und Platten sowie Formaten und Farben ermöglicht die abwechslungsreiche Gestaltung von Wegen und Flächen.



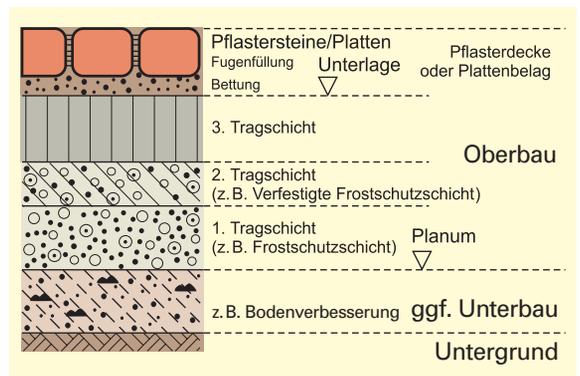
Fugenausbildungen im Vergleich



Beispiel für einen Fugenplan eines Tankstellen-Abfüllplatzes



Gleitschalungsfertiger



Aufbau einer Pflasterbefestigung nach ZTV Pflaster – StB