

Verfahren zur Herstellung von Leichtbetonmischungen unter Verwendung von Leichtzuschlägen

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung von Leichtbetonmischungen unter Verwendung von Leichtzuschlägen umfasst ein zumindest zweistufiges Mischverfahren, wobei zunächst eine Suspensionsmischung enthaltend die Bindemittelzusammensetzung mit einem Zement oder einem Geopolymer und Wasser schnell-rührend hergestellt wird und die Suspensionsmischung dann langsam-rührend unter anderem mit den Leichtzuschlägen vermischt wird. Ebenso umfasst die Erfindung so hergestellte Leichtbetonmischungen und Leichtbetone.

Allgemeiner Stand der Technik.

Beton hat ein definiertes Raumgewicht ab 2.000 kg/m^3 bis 2.600 kg/m^3 gemessen als Trockenrohdichte mit einer Mindestdruckfestigkeit von 8 N/mm^2 . Leichtbeton ist definiert als Beton mit einer Trockenrohdichte unter 2.000 kg/m^3 . Erreicht werden die geringen Dichten beim Leichtbetonen z.B. durch die Beimischung von Leichtzuschlägen. Je geringer die Dichte der Leichtzuschläge ist, je geringer kann die Dichte vom daraus hergestellten Leichtbeton werden. Leichtzuschläge haben z.B. Schüttdichten von 40 bis 1200 kg/m^3 .

Leichtbeton wird zur Herstellung von Bauprodukten verwendet. Der Leichtbeton ist einerseits vor der Formgebung ein Baustoff und nach der zumindest teilweisen Aushärtung ein Bauteil. Bauteile werden hergestellt, um dauerhaft in baulichen Anlagen eingebaut zu werden. Ebenfalls zu den Bauprodukten zählen aus Baustoffen und Bauteilen gefertigte Anlagen die hergestellt werden, um mit dem Erdboden verbunden zu werden wie beispielsweise Gebäude. Gebäude können Fertighäuser, Fertiggaragen und Silos oder auch sogenannte „Fliegende Bauten“ sein, die geeignet sind, an verschiedenen Orten wiederholt und befristet aufgestellt und wieder abgebaut zu werden. Typische Bauteile sind Leichtbeton-Wandelemente oder Leichtbeton-Deckenelemente oder Leichtbeton-Mauersteine.

Mit Druckfestigkeiten von 2 bis über 100 N/mm^2 (nach DIN EN 1520, DIN 4213, DIN EN 206-1 oder DIN 1045-2) können die Bauteile an die unterschiedlichen Gebäudeanforderungen differenziert angepasst werden.

Leichtbeton ist geeignet für Außen- und Innenwände, vom Keller bis zum Dach, für Wohngebäude genauso wie für landwirtschaftliche, öffentliche oder Industriebauwerke und Brücken. Aus Leichtbeton lassen sich auch Leichtbauplatten für Isolationszwecke oder Brandschutz etc. herstellen, deren Druckfestigkeit auch niedriger sein kann.

Das Bauteil aus Leichtbeton soll ein hohes Verhältnis der Druckfestigkeit zur Trockenrohdichte aufweisen. Aus einem rechnerischen Bezug der Druckfestigkeit zur Trockenrohdichte ergibt sich die dimensionslose sogenannte A-Zahl. Die A-Zahl wird beschrieben von Siegfried G. Zürn in „Einfluss der Sandminerale auf die Bildung von Calciumsilikathydraten (CSH-Phasen), das Gefüge und die mechanischen Eigenschaften von Porenbetonprodukten“, Logos-Verlag, Berlin, 1997. Sie repräsentiert die relative Druckfestigkeit. Je größer die A-Zahl ist, desto besser ist das Druckfestigkeitsniveau. Die A-Zahl wird wie folgt berechnet:

A-Zahl = Druckfestigkeit (in N/mm²) : [Trockenrohdichte (kg/dm³)² · 0,016].

Das geringere Gewicht des Bauteils oder des Baustoffs beim Transport mit z.B. Lastkraftwagen bzw. Transportbeton-Fahrmischern vereinfacht und vergünstigt den Transport auf die Baustelle, vermindert durch Mehrladung den CO₂ Ausstoß und ermöglicht schnelles und präzises Arbeiten. Besonders mit Fertigelementen aus Leichtbeton lassen sich kurze Bauzeiten erreichen – sie können werkseitig mit integrierten Versorgungsleitungen, Türen und Fenstern sowie fertigen Oberflächen produziert werden. Zudem können die leichten Elemente auch auf Baustellen in schwieriger Lage transportiert werden.

Bei Bauteilen gilt, je höher das Gewicht, desto höher das Schalldämm-Maß. Trotz seines geringeren Gewichts weisen Bauteile aus Leichtbeton eine hohe Schallabsorption, d.h. ein gutes Schallschutzvermögen auf.

Die Wasseraufnahme von Leichtzuschlägen, also das Saugverhalten, hat Einfluss bei der Verwendung als Zuschlag im Leichtbeton. Je höher und schneller die Wasseraufnahme ist, je problematischer kann sich das Verhalten bei der Herstellung von Leichtbeton auswirken, da Wasser aus der Mischung entzogen wird und damit nicht mehr für die Bindemittel und der Verarbeitungsfähigkeit zur Verfügung steht.

Es hat in der Praxis nicht an Versuchen gefehlt, auch Leichtzuschläge geringer Schüttdichte und Kornfestigkeit für den Einsatz in Baumaterialien wie Wand- und Deckenelementen und Mauersteinen zu verwenden. Ein solcher Einsatz scheiterte bisher insbesondere an der hohen Saugfähigkeit dieser Leichtzuschläge, die dazu führt, dass beim gleichzeitigen Vermischen der Leichtzuschläge mit Zement, dem Zement Wasser entzogen wird. Eine geringe Kornfestigkeit ist problematisch, da sie beim Mischen in industrieüblichen Betonmischern dazu führt, dass die Leichtzuschläge beim Mischvorgang zerkleinert werden und dadurch eine größere Oberfläche erreicht, mit dem Ergebnis, dass der Wasser- und Bindemittelbedarf weiter ansteigt und damit, neben anderen ungünstigen Eigenschaften wie größere Schwindneigung und Rissgefahr, auch ungewollt die Dichte der Endprodukte ansteigt.

Aufgabe der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, einen Leichtbeton zu Herstellung von Bauprodukten zur Verfügung zu stellen, der auch unter Verwendung von Leichtzuschlägen mit geringer Kornfestigkeit und Schüttdichte hergestellt werden kann, wobei der Leichtbeton Trockenrohdichten (gemessen nach DIN EN 12390-7 im Wärmeschrank bei 105°C) von 200 kg/m³ bis 1999 kg/m³ und Druckfestigkeiten von 0,5 N/mm² bis größer 100 N/mm² aufweisen soll.

Bauteile aus dem Leichtbeton sollen geringe Trockenrohdichten, verbesserte Wärmedämmwerte und sehr gute Schalldämmwerte aufweisen sowie, aufgrund der Herstellungsart, eine im Verhältnis zur Dichte hohe End-Festigkeit mit einer A-Zahl größer 500.

Zur CO₂-Minimierung soll bei der Herstellung des Leichtbetons ein Bindemittel einsetzbar sein, wie ein Geopolymer oder ein Zement mit geringem Klinkeranteil und einem hohen Anteil an Ersatzstoffen wie Hüttensandmehl.

Zusammenfassung der Erfindung

Dieses Ziel konnte bisher durch übliche Mischverfahren und Mischabläufe unter Verwendung der bekannten Zwangs- und Freifallmischern nicht erreicht werden.

Der Gegenstand der Erfindung ist in den unabhängigen Patentansprüchen definiert. Bevorzugte Ausführungsformen sind Gegenstand der Unteransprüche oder nachfolgend beschrieben. Die Erfindung betrifft neben der Herstellung der Leichtbetonmischung und des Leichtbetons auch eine Leichtbetonmischung und den in einer Form ausgehärteten Leichtbeton.

Das Verfahren zur Herstellung einer Leichtbetonmischung umfasst zumindest die folgenden Schritte:

- (A) Zusammenbringen von zumindest Wasser und einer Bindemittelzusammensetzung, insbesondere in Abwesenheit der Leichtzuschläge, wobei die Bindemittelzusammensetzung als Bindemittel zumindest Zement oder Geopolymere umfasst, wobei das Wasser bevorzugt vorgelegt wird und die Bindemittelzusammensetzung unter Mischen zugegeben wird, und Mischen mit einem schnell-laufendem Rührwerkzeug zur Herstellung einer Suspensionsmischung, wobei das Gewichtsverhältnis von Wasser zu Bindemittelzusammensetzung in der Suspensionsmischung 1 : 5 bis 1 : 1, insbesondere 1 : 2 bis 2 : 3, beträgt; wobei das Bindemittel mindestens 40 Gew.% der Bindemittelzusammensetzung, vorzugsweise mindestens 50 Gew.%, ausmacht; wobei das Bindemittel als pulverförmiger Feststoff zugesetzt wird; und
- (B) Zusammenbringen der Suspensionsmischung oder Anteilen der Suspensionsmischung mit zumindest Leichtzuschlägen oder Anteilen der Leichtzuschläge, wobei zumindest die Leichtzuschläge bevorzugt vorgelegt werden und die Suspensionsmischung unter Mischen zugegeben wird, und Mischen mit einem langsam-laufendem Rührwerkzeug zur Herstellung einer Leichtbetonmischung; wobei die Leichtzuschläge eine Schüttdichte von 40 bis 1000 kg/m³, bevorzugt zwischen 50 bis 500 kg/m³ und insbesondere 60 bis 300 kg/m³, aufweisen; und wobei das Mischen mit dem schnell-laufendem Rührwerkzeug mit einer Umfangsgeschwindigkeit erfolgt, die mehr als dreimal so hoch ist wie die Umfangsgeschwindigkeit beim Mischen mit dem langsam-laufendem Rührwerkzeug und/oder gemäß einer anderen Definition; wobei das Mischen mit dem schnell-laufendem Rührwerkzeug mit einer Froude-Zahl größer 10 und insbesondere größer 25 durchgeführt wird und wobei das Mischen mit dem langsam-laufendem Rührwerkzeug mit einer Froude-Zahl kleiner 2,5 und insbesondere kleiner 1,5, durchgeführt wird.

Schritt A und Schritt B erfolgen unter Mischen mit unterschiedlichem Eintrag von Mischenergie, nämlich mit einem schnell-laufendem Rührwerkzeug (A) und mit einem langsam-laufendem Rührwerkzeug (B).

5 Schritt A wird vorzugsweise z.B. für 60 bis 360 sec., insbesondere 120 bis 240 sec. (ab Zugabe des Zements / Geopolymers), durchgeführt und unabhängig hiervon Schritt B für zumindest 120 sec., insbesondere 180 bis 360 (ab Zugabe der Suspensionsmischung).

10 Auf diese Weise wird das „Anmachwasser“ zuerst in Kontakt mit dem Zement bzw. Geopolymer gebracht, einschließlich den weiteren Stoffen der Bindemittelzusammensetzung und unter Vermischen mit einem schnell-laufendem Rührwerkzeug „aufgeschlossen“ zum Erhalt der Suspensionsmischung bevor die i.d.R. saugenden Leichtzuschläge mit dem Anmachwasser in Kontakt kommen. Sodann werden
15 die Leichtzuschläge mit der Suspensionsmischung in Kontakt gebracht. Es wurde überraschend festgestellt, dass das Wasser dann der Wasser-Zement-Reaktion bzw. Geopolymer- Wasser- Reaktion besser zur Verfügung steht und die Leichtzuschläge hier nicht mehr in Konkurrenz um die Verfügbarkeit des Wassers treten. Es kann also in der Summe weniger Wasser eingesetzt werden.

20

Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst zumindest zwei Mischvorgänge:

- das Mischen von Wasser und Bindemittelzusammensetzung, umfassend zumindest Zement oder Geopolymere in Abwesenheit der Leichtzuschläge zur Herstellung einer Suspensionsmischung und
- 25 - das Zusammenbringen der Suspensionsmischung mit zumindest Leichtzuschlägen und Mischen zum Erhalt einer Leichtbetonmischung.

Das Bindemittel bzw. die Bindemittelzusammensetzung wird vorzugsweise nur der Suspensionsmischung zugesetzt.

30 Die Suspensionsmischung weist nach dem Mischen in Schritt A eine Fließfähigkeit von zumindest F6 auf. Der Suspensionsmischung ist vorzugsweise 22 bis 40 Gew.% Wasser zugesetzt bzw. enthält die Suspensionsmischung vorzugsweise 22 bis 40 Gew.% Wasser.

35

Die Bindemittelzusammensetzung zur Herstellung der Suspensionsmischung kann enthalten:

- Zement als Bindemittel und Flugasche als Bindemittelzusatz, insbesondere 10 bis 60 Gew.% bezogen auf die Bindemittelzusammensetzung;
- 5 - Zement als Bindemittel und Mikrosilika als Bindemittelzusatz, insbesondere 30 bis 50 kg/m³ bezogen auf die Leichtbetonmischung;
- Zement als Bindemittel und durch Aufmahlen aufbereitete Reisschalenflugasche als Bindemittelzusatz, insbesondere 10 bis 60 Gew.% bezogen auf die Bindemittelzusammensetzung.
- 10 Alternativ kann die Bindemittelzusammensetzung ein Geopolymer sein, umfassend 2 bis 25 Gew.% Alkalihydroxide und/oder Alkalisilikate und 75 bis 98 Gew.% Hüttensandmehl oder 2 bis 20 Gew.% Alkalihydroxide und/oder Alkalisilikate und 60 bis 78 Gew.% Hüttensandmehl und 20 bis 38 Gew.% Flugasche.

- 15 Während der Herstellung der Suspensionsmischung kann vorgelegt oder zugegeben werden:
- Gesteinsmehl als Füller, insbesondere mit Partikeldurchmessern von 0,001 mm bis 0,1 mm, vorzugsweise bis 0,063 mm, und/oder
 - 0,1 bis 4 Gew.%, vorzugsweise 0,5 bis 2 Gew.%, Fließmittel.

20 Bevorzugt ist, dass zur Herstellung der Suspensionsmischung Füllstoffe in Form von Gesteinsmehl und/oder Gesteinskörnung 0-2 mm zugegeben werden und dann das Mischen mit dem schnell-laufende Rührwerkzeug vorzugsweise zeitweilig mit einer Froude Zahl größer 50 und insbesondere größer 100 durchgeführt wird, insbesondere für mindestens 30 sec, besonders bevorzugt mindestens 60 sec, wobei das Gesteinsmehl vorzugsweise in einer Menge von 50 bis 150 kg je m³ Leichtbetonmischung zugegeben wird und wobei die Gesteinskörnung 0-2 mm vorzugsweise in einer Menge von 100 bis 500 kg je m³ Leichtbetonmischung zugegeben wird.

30 Die Leichtzuschläge können eine Korngröße im Bereich von 0 mm bis 6 mm aufweisen, als Korngruppen insbesondere von 0 bis 2 mm, 0 mm bis 3 mm, 3 bis 5 mm oder 2 bis 8 mm entsprechend jeweils DIN EN 13055, aufweisen. Auf die Leichtzuschläge kann vor Zugabe der Suspensionsmischung ein Hydrophobierungsmittel aufgebracht werden, zusätzlich oder alternativ können die Leichtzuschläge vor Zugabe der Suspensionsmischung mit Wasser befeuchtet werden, insbesondere durch Besprühen.

35

Der Leichtbeton weist vorzugsweise eine Trockenrohdichte zwischen 250 und 1999 kg/m³ und auch unabhängig hiervon eine A-Zahl größer 500 auf.

5 Die Leichtbetonmischung kann in Steinformmaschinen in Formen eingebracht und durch Rütteln und/oder Pressen verdichtet werden, um daraus Leichtbeton in Form von Leichtbetonsteinen herzustellen.

Die Leichtbetonmischung weist z.B. folgende Komponenten auf (bezogen auf die Gesamtmasse des Leichtbetonmischung):

- 10 - Bindemittelzusammensetzung im Bereich von 10 bis 90 Gew.%, also beispielsweise auch im Bereich von 25 bis 85 Gew.% oder im Bereich von 40 bis 80 Gew.%;
- Leichtzuschläge im Bereich von 1 bis 50 Gew.%, also beispielsweise auch im Bereich von 5 bis 30 oder im Bereich von 5 bis 15 Gew.%;
- 15 - Wasser im Bereich von 20 bis 40 Gew.%, also beispielsweise auch im Bereich von 20 bis 35 Gew.%;
- gegebenenfalls weitere Komponenten wie Betonzusatzmittel im Bereich von 0 bis 65 Gew.%, also beispielsweise auch im Bereich von 20 bis 60 Gew.% oder im Bereich von 10 bis 30 Gew.%.

20

Eine Leichtbetonmischung unter zusätzlicher Verwendung von Gesteinskörnung, insbesondere Gesteinskörnung 0 bis 8 mm, umfasst folgende Komponenten (bezogen auf die Gesamtmasse der Leichtbetonmischung):

- 25 - Bindemittel im Bereich von 15 bis 70 Gew.%, also beispielsweise auch im Bereich von 20 bis 60 Gew.% oder im Bereich von 25 bis 55 Gew.%;
- Leichtzuschläge im Bereich von 3 bis 40 Gew.%, also beispielsweise auch im Bereich von 5 bis 20 oder im Bereich von 1 bis 15 Gew.%;
- Gesteinskörnung im Bereich von 5 bis 65 Gew.%, also beispielsweise auch im Bereich von 20 bis 60 Gew.%, im Bereich von 30 bis 60 Gew.% oder im Bereich
- 30 von 40 bis 60 Gew.%;
- Wasser im Bereich von 10 bis 40 Gew.%, also beispielsweise auch im Bereich von 13 bis 35 Gew.%;
- gegebenenfalls weitere Komponenten wie Betonzusatzmittel (ausgenommen Gesteinskörnung) im Bereich von 0 bis 20 Gew.%, also beispielsweise auch im
- 35 Bereich von 2 bis 15 Gew.%.

Vorteilhafterweise können die Leichtzuschläge zunächst mit einem Anteil der Suspensionsmischung als Teil des Schrittes B in Kontakt gebracht werden, wobei die Leichtzuschläge bevorzugt vorgelegt werden und dann gemeinsam oder sequentiell in einem oder mehreren Schritten die weiteren Anteile Leichtzuschläge und Suspensionsmischung unter Mischen gemäß Schritt B zugegeben werden. Dies kann so erfolgen, dass zunächst 20 bis 70 Gew.%, insbesondere 40 bis 60 Gew.%, der Leichtzuschläge mit 20 bis 70 Gew.%, insbesondere 40 bis 60 Gew.%, der Suspensionsmischung dem Mischen mit dem langsam-laufendem Rührwerkzeug gemäß B ausgesetzt werden und in der Folge in einem oder mehreren Schritten unter Fortführung des Mischens mit dem langsam-laufendem Rührwerkzeug gemäß B die verbleibenden Leichtzuschläge und die verbleibende Suspensionsmischung zugegeben werden.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

Folgende Rohstoffe können zur Herstellung der Leichtbetonmischung eingesetzt werden:

Die Bindemittelzusammensetzung besteht aus dem Bindemittel und ggf. dem Bindemittelzusatz. Das Bindemittel und in der Regel auch der Bindemittelzusatz liegt als pulverförmiger Feststoff vor.

Bindemittel für das erfindungsgemäße Verfahren sind Zement und Geopolymere.

„Zement“ bzw. „Zemente“ sind anorganische, fein gemahlene Stoffe, die nach dem Anmachen mit Wasser infolge chemischer Reaktionen mit dem Anmachwasser selbständig erstarren und erhärten (hydraulisches Abbinden). Chemisch betrachtet ist Zement hauptsächlich kieselsaures Calcium mit Anteilen an Aluminium- und Eisen-Verbindungen, das als kompliziertes Stoffgemisch vorliegt. Die Rohstoffe zur Herstellung von Zement sind Kalkstein (Calciumcarbonat als Quelle für Calciumoxid), Ton (für Siliciumdioxid und Aluminiumoxid), Sand (für Siliciumdioxid) und Eisenerz (Eisen(III)-oxid). Die Rohstoffe werden gemahlen und hochoverhitzt, bis sie an den Korngrenzen teilweise miteinander verschmelzen (Sintern) und der sogenannte Zementklinker entsteht. Dieser wird abgekühlt und zum Endprodukt Zement gemahlen.

Geopolymere sind Zwei-Komponenten-Systeme, bestehend aus einem reaktiven Feststoff, der Silizium- und Aluminiumoxide enthält, sowie einer basischen Aktivierungslösung aus Alkalihydroxiden oder -silikaten in Wasser. Geopolymere können auch aus Hüttensandmehl und/oder Flugasche oder einem Gemisch daraus hergestellt werden, wobei diese mit Alkalihydroxiden und/oder Alkalisilikaten alkalisch aktiviert werden. Die Aktivierungslösung umfasst z.B. Natrium-, Kalium-, und/oder Lithiumwasserglas, besonders bevorzugt Kaliumwasserglas.

Als Bindemittelzusätze sind geeignet Flugaschen, Hüttensandmehl, amorphes Siliciumdioxid wie Microsilika, Puzzolane (ggf. zusammen mit Calciumhydroxid), gebrannter Schiefer, Calciumoxid und Magnesiumoxid, aufgemahlener Perlit, Trass und Graphen.

Als amorphes Siliciumdioxid kann Silikastaub oder Microsit® (BauMineral GmbH, Herten, Deutschland) eingesetzt werden. Die Puzzolane sind z.B. erhältlich als fein gemahlener Perlit mit Korngröße kleiner 45µm.

Flugaschen im Sinne dieser Erfindung sind z. B: kieselensäure- oder kalkreiche, staubartige Partikel, die in Elektrofiltern zur Abgasreinigung von Kohlekraftwerken abgeschieden werden. Kieselensäurereiche Flugaschen bestehen hauptsächlich aus kugelförmigen, glasigen Partikeln mit puzzolanischen Eigenschaften und stammen in der Regel aus steinkohlebefeuernden Kraftwerken. Kalkreiche Flugaschen sind feinkörnige Stäube mit hydraulischen und/oder puzzolanischen Eigenschaften. Sie stammen vorwiegend aus Braunkohle-Feuerungsanlagen. Zur Erhöhung der Reaktivität können Flugaschen auch feiner auf gemahlen werden.

Als Flugasche kann auch Reisschalenflugasche eingesetzt werden. Reisschalenflugasche ist erhältlich, indem die das Korn umgebende Reisschale, auch Spelze genannt, in einer Reismühle vom Rohreis getrennt wird. Diese Schalen werden als Energieträger verbrannt. Die so erhältliche Asche ist Reisschalenflugasche und enthält einen hohen Anteil an amorphem Siliziumdioxid.

Beim Schmelzen von Eisenerz im Hochofen fällt Hochofenschlacke an. Durch Granulation, d.h. durch schnelle Abkühlung der bis zu 1.500 °C heißen, flüssigen Schlacke mit Wasser, entsteht Hüttensand, ein überwiegend glasig erstarrter, latent hydraulischer Stoff.

Fein vermahlen entwickelt Hüttensand als Hüttensandmehl bei entsprechender Anregung (z.B. durch das Calciumhydroxid aus dem Zementklinker) hydraulische Eigenschaften.

5 Kieselgel, Silikatstaub oder Microsilika werden als partikuläre Feststoffe oder Suspensionen in Wasser eingesetzt. Insbesondere bestehen diese aus sehr feinen, kugeligen Partikeln mit einem hohen Gehalt (über 85 Gew.%) an amorphem Siliciumdioxid. Silikatstaub entsteht als Filterstaub bei der Herstellung von Silicium oder Siliciumlegierungen. Ausgangsstoff hierfür ist Quarz, der zusammen mit Kohle in
10 Elektroöfen bei Temperaturen ab 2500 °C aufgeschmolzen wird.

Puzzolane (P, Q) im Sinne dieser Erfindung sind kieselensäurehaltige oder kiesel-säure- und tonerdehaltige Stoffe aus natürlichen Vorkommen. Sie sind vulkani-schen Ursprungs (z.B. Trass, Lava) oder werden aus Tonen, Schiefer oder Sedi-
15 mentgesteinen gewonnen (Phonolith). Puzzolane haben kein eigenes Erhärtungs-vermögen. Sie reagieren erst dann zu festigkeitsbildenden und wasserunlöslichen Verbindungen, wenn sie nach dem Anmachen mit Wasser mit Calciumhydroxid (beispielhaft aus dem Portlandzementklinker) in Berührung kommen. Puzzolane werden als natürliches Puzzolan oder als natürliches getempertes (thermisch be-
20 handeltes) Puzzolan (z.B. Phonolith) für die Zementherstellung eingesetzt.

Gebrannter Schiefer, insbesondere gebrannter Ölschiefer, wird in einem speziel-len Ofen bei Temperaturen von etwa 800 °C aus natürlichen Schiefervorkommen hergestellt. Fein gemahlen hat gebrannter Schiefer ausgeprägt hydraulische, da-
25 neben aber auch puzzolanische Eigenschaften.

Calziumoxid (CaO) und Magnesiumoxid (MgO) im Sinne dieser Erfindung sind fein gemahlene Stoffe, die bei der Herstellung unterschiedlicher Brenntemperatur und Mahlfinheit unterliegen. Man unterscheidet generell in Weichbrand, Mittebrand
30 (auch kautisch genannt) und Hartbrand. Durch die Brenntemperatur erhält man unterschiedliche Reaktivitäten, die Auswirkungen hinsichtlich des Einsatzes ent-sprechend dieser Erfindung haben. Die Reaktionsverläufe beim Weichbrand nach Wasserkontakt sind beispielhaft schnell und heftig, beim Mittelbrand langsamer.

35

Der Einsatz kautisch gebrannter Produkte im Leichtbeton bewirkt eine Expansion bereits in der Abbinde-Phase aber auch im ausgehärteten Zustand und wirkt dadurch einer Rissbildung entgegen und vermindert das Schwindverhalten. Hartgebrannte Materialien erzielen diese Eigenschaften nicht. Deshalb werden als Bindemittelzusätze nach dieser Erfindung nur kautisch gebranntes Calciumoxid (CaO) und kautisch gebranntes Magnesiumoxid (MgO) eingesetzt.

Fein aufgemahlener Perlit mit einer Korngröße kleiner 45µm eignet sich als puzzolanischer Zusatz im Austausch mit Zement, insbesondere wenn der Wasser zu Zement-Wert (W/Z-Wert) unter 0,40, bevorzugt unter 0,35, beträgt. Es wurde festgestellt, dass bis zu 35 Gew.% Zement ausgetauscht werden kann, ohne dass ein Festigkeitsverlust gegenüber Mischungen mit 100 Gew.% Zement eintritt. Positiv wirkt sich der Austausch auch hinsichtlich der Trockenrohdichte sowie dem Schwindverhalten aus, beides verringert sich.

Der Bindemittelzusammensetzung kann auch Graphen zugesetzt werden. Schon bei geringen Zugabemengen von 75 bis 650 g/m³ je m³ Leichtbetongemisch bewirkt der Zusatz von Graphen eine deutliche Zunahme der Festigkeit, eine beschleunigte Aushärtung sowie eine stark verminderte Wasseraufnahme. Graphene sind zweidimensional, können aber auch in bevorzugter Form mit mehreren Lagen zugegeben werden, z.B. bis zu 5 oder bis zu 10 Lagen.

Durch die Zumischung von Zusatzstoffen wie z. B. Hüttensandmehl, Puzzolan oder Flugasche können Bindemittelzusammensetzungen mit verschiedenen chemischen und physikalischen Eigenschaften hergestellt werden. Nach DIN EN 197-1 werden fünf Hauptzementarten unterschieden:

1. Portlandklinkerzemente CEM I
2. Portlandkompositzemente CEM II
3. Hochofenzemente CEM III
4. Puzzolanzemente CEM IV
5. Kompositzemente CEM V

wobei 2. bis 5. Bindemittelzusammensetzungen darstellen, weil diese auch Hüttensandmehlanteile bzw. andere Bindemittelzusätze enthalten.

Alle aufgeführten Zementarten nach DIN EN 197-1 enthalten zwischen 20 und 100 Gew. % Zementklinker.

5 Aus ökologischer Sicht ist es besonders vorteilhaft, bei der Betonherstellung Bindemittelzusammensetzungen zu verwenden, bei denen der energieintensive Portlandzementklinkeranteil möglichst gering ist. Der geringste Portlandzementklinkeranteil besteht bei CEM III, welcher zusätzlich in CEM III A (35 bis 65 Gew.% Hüttensandmehlanteil) CEM III B (66 bis 80 Gew.% Hüttensandmehlanteil) und CEM III C (81 bis 85 Gew.% Hüttensandmehlanteil) unterteilt ist.

10 Ein Nachteil bei der Betonherstellung mit CEM III Zementen ist nach dem Stand der Technik die im Verhältnis zu CEM I und CEM II deutlich verlangsamte Festigkeitsentwicklung, was bei der Herstellung von Betonfertigteilen deutlich verlängerte Ausschalzeiten bedingt. Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren werden
15 jedoch überraschend Frühfestigkeiten erreicht, die den Frühfestigkeiten von CEM I oder CEM II Zementen nicht nachstehen.

Nach der vorliegenden Erfindung ist es somit bevorzugt, Zemente bzw. Bindemittelzusammensetzungen mit einem Hüttensandmehlanteil von größer 35 Gew.%,
20 insbesondere von größer 65 Gew.%, einzusetzen, insbesondere CEM III A und CEM III B Zemente.

Es können auch Mischungen von Zementen bzw. Bindemittelzusammensetzungen, z.B. Zementen der CEM-Reihe, mit z.B. bis zu 70 Gew.% Flugasche
25 und/oder bis zu 10 Gew.% Mikrosilika eingesetzt werden. Nach einer anderen Ausgestaltung werden Zemente mit bzw. Bindemittelzusammensetzungen u.a. mit Reisschalenflugasche gemischt, z.B. bis zu 70 Gew.%. Feingemahlene Puzzolane können bis zu 35 Gew.% zugemischt werden.

30 Leichtzuschläge sind insbesondere allein oder in Mischung einsetzbar. Nach der Erfindung sind Leichtzuschläge mit geringen Schüttdichten von 40 bis 1000 kg/m³, bevorzugt von 50 bis 500 kg/m³ oder von 60 bis 300 kg/m³, einsetzbar, die Schüttdichte wird nach DIN EN 1097-3 bestimmt. Wenn nachfolgend der Begriff „Leichtzuschläge“ (im Plural) verwendet wird, kann es sich um einen im Wesentlichen
35 chemisch einheitlichen oder mehrere unterschiedliche Leichtzuschläge handeln. Der Begriff „Leichtzuschläge“ umfasst somit auch den Begriff „Leichtzuschlag“.

Eine geringe Kornfestigkeit bedeutet im Sinne dieser Erfindung, dass diese kleiner 1 N/mm² beträgt. Eine mittlere Kornfestigkeit bedeutet, dass diese 1 bis 5 N/mm² beträgt. Hohe Kornfestigkeiten sind solche über 5 N/mm². Nach dem erfindungs-
gemäßen Verfahren sind auch Leichtzuschläge mit geringer Kornfestigkeit von un-
ter 1,0 N/mm² einsetzbar. Die Kornfestigkeit wird nach DIN EN 13055 (Anhang C)
bestimmt.

Geeignete Leichtzuschläge auch in Mischung sind (einschließlich exemplarischer
Erläuterung):

Bims: Bims ist ein poröses glasiges Vulkangestein. Bims entstand durch gasreiche
vulkanische Eruptionen, bei denen die das herausgeschleuderte Magma aufge-
schäumt wurde. Solche Leichtzuschläge haben beispielsweise mittlere bis hohe
Kornfestigkeiten und Schüttdichten zwischen 400-700 kg/m³.

Blähton: Blähton ist ein aus blähfähigem Ton industriell hergestellter Leichtzu-
schlag. Blähton zeichnet sich z.B. durch seine runde Kornform aus. Blähton ist
z.B. erhältlich, indem Ton getrocknet, gemahlen und bei ca. 1200 °C zum Blähen
gebracht und zu kleinen Kügelchen gebrannt wird. Blähton weist, je nach Herstel-
lung, geringe bis hohe Kornfestigkeiten und Schüttdichten zwischen 220 bis 600
kg/m³ auf.

Blähschiefer: Blähschiefer ist ein aus dem natürlichen Rohstoff Schiefer durch ein
thermisches Verfahren hergestellter mineralischer Leichtzuschlag. Er zeichnet sich
durch eine gedrungene, plattig bis kantige Kornform aus und ist je nachdem, ob
nach dem Brand ein Brechvorgang erfolgt oder nicht, mit geschlossener oder of-
fenporiger Oberfläche erhältlich. Blähschiefer weist mittlere bis hohe Kornfestigkei-
ten und Schüttdichten zwischen 300 bis 800 kg/m³ auf.

Schaumlava: Schaumlava ist ein zähes, vulkanisches Gestein, das entsprechend
der gewünschten Fraktionen gebrochen und ausgeliefert wird. Schaumlava weist
eine hohe Kornfestigkeit und Schüttdichten zwischen 800 bis über 1000 kg/m³ auf.

Gesinterte Steinkohlenflugasche: Gesinterte Steinkohlenflugasche entsteht bei der Verbrennung staubförmiger Steinkohle in modernen Kraftwerken. Durch Pelletierung und anschließendes Sintern der Kugeln entsteht ein Leichtzuschlag mit einer runden Kornform und geschlossener Oberfläche. Gesinterte Steinkohlenflugasche weist eine mittlere bis hohe Kornfestigkeit und Schüttdichten zwischen 400 bis 800 kg/m³ auf.

Kesselsand: Kesselsand entsteht bei der Verbrennung von Steinkohle in den Trockenfeuerungskesseln von Kraftwerken. Kesselsand ist ein im Wasser abgekühltes Sinterprodukt der nicht brennbaren mineralischen Bestandteile der Steinkohle. Kesselsand weist eine mittlere Kornfestigkeit und Schüttdichten zwischen 400 bis 800 kg/m³ auf.

Blähglas: Blähglas ist ein rein mineralischer, faserfreier, aus Recycling-Glas hergestellter Leichtzuschlag. Das Altglas wird zu Glasmehl gemahlen und bei ca. 900 °C aufgebläht. Es zeichnet sich i.d.R. durch eine runde Kornform und eine geschlossene Oberfläche aus. Blähglas weist eine niedrige bis mittlere Kornfestigkeit und Schüttdichten zwischen 200 bis 400 kg/m³ auf.

Blähglimmer: Blähglimmer, gehört zu den Tonmineralien, er entsteht durch die thermische Bearbeitung von Glimmerschiefer, ein durch Verwitterung entstandenes Mineral. Blähglimmer ist z.B. durch Expandieren von Vermiculit erhältlich und weist eine geringe Kornfestigkeit und Schüttdichten zwischen 60 bis 200 kg/m³ auf.

Blähperlit: Blähperlit wird aus durch in der Hitze aufgeblähtem Rohperlit hergestellt. Z.B. können Rohperlitkörner mit einem Durchmesser von 0,2 mm bis 1,2 mm in einem Vertikalofen schlagartig auf 800 bis 1000 °C erhitzt werden. Das Gestein schmilzt und gleichzeitig verdampft das enthaltene Wasser. Die zähe Schmelze wird durch den Wasserdampfdruck auf das 10-fache bis 20-fache des Ausgangsvolumens aufgebläht und wird sehr schnell durch den großen Luftstrom aus der heißen Reaktionszone nach oben getragen. Durch die so erfolgende schnelle Abkühlung erstarrt die aufgeblähte Schmelze zu Körnern mit z.B. 0 bis 5 mm Korngröße. Blähperlit weist eine geringe Kornfestigkeit und Schüttdichten von 50 bis 300 kg/m³, insbesondere 60 bis 250 kg/m³, auf.

Der Perlit kann vor dem Expansionsvorgang zum Erhalt des Blähperlits mit Silikat, Borat- und/oder Phosphatglas behandelt werden, vorzugsweise in einer Menge von 2 bis 3 Gew.-% bezogen auf den ungeblähten Perlit, und insbesondere unter Zusatz einer Stickstoffquelle, insbesondere eines Nitrids.

5

Es sind auch Leichtstoffe einsetzbar, die aus einem Gemisch von Altglas bzw. Siliciumdioxid und Rohperlit in einem thermischen Blähprozess erhältlich sind und Schüttdichten zwischen 80 und 300 kg/m³, insbesondere 80 und 250 kg/m³, aufweisen (Altglas bzw. Siliziumdioxid/Rohperlit-Gemisch).

10

Weitere geeignete Leichtzuschläge sind aus pflanzlichen Stoffen wie z.B. Holz- wolle-/spähne, geblähter Mais (Popcorn), geschäumten Holzfasern und Pflanzen- schalen, insbesondere Reisschalen, erhältlich. Diese weisen geringe Schüttdich- ten unter 500 kg/m³ auf.

15

Auch ist Reisschalenasche ohne weitere Aufbereitung als Leichtzuschlag einsetz- bar.

20

Trotz der Zulassung als Leichtzuschlag entsprechend DIN EN 13055-1 werden Leichtzuschläge mit Schüttdichten unter 250 kg/m³, insbesondere aus Blähperlit und Blähglimmer, bisher nicht in Leichtbetonen eingesetzt. Der Hauptgrund dafür ist, dass diese Leichtzuschläge beim Mischvorgang aufgrund der damit im Zusam- menhang stehenden verminderten Kornfestigkeit zumindest teilweise zerstört wer- den und ein sehr hohes Saugverhalten aufweisen.

25

Besonders bevorzugt sind als Leichtzuschläge Blähperlit, Blähschiefer, Blähton, Blähglas, Reisschalenasche und deren Mischungen, insbesondere mit Schüttdich- ten von 40 bis 1000 kg/m³, bevorzugt zwischen 50 bis 500 kg/m³ und insbeson- dere 60 bis 300 kg/m³.

30

Betonzusatzmittel im Sinne dieser Erfindung sind Additive, die der Leichtbetonmi- schung in geringen Mengen zugesetzt werden und vorzugsweise bereits bei der Herstellung der Suspensionsmischung zugesetzt werden, um die chemischen oder physikalischen Eigenschaften der Leichtbetonmischung oder die des Leicht- betons zu verbessern.

35

Betonzusatzmitteln sind z.B. Betonverflüssiger, Fließmittel, Luftporenbildner, Dichtungsmittel, Verzögerer, Beschleuniger, Einpresshilfen, Hydrophobierer, Stabilisierer, Fasern oder Schwindreduzierer.

5 Hervorzuheben sind als Betonzusatzmittel hier:

- als Betonverflüssiger: Polycarboxylate, insbesondere Polycarboxylatether, Ligninsulfonate (auch Lignosulfonsäure), Melamin-Formaldehyd-Sulfonate, Naphthalin-Formaldehyd-Sulfonate, Hydroxycarbonsäuren und deren Salze,
- als Luftporenbildner Tenside: wie z.B. oberflächenaktive Substanzen auf Basis
10 von modifizierten Naturprodukten etwa Wurzelharzseifen,
- Hydrophobierer wie Siloxane/Alkylalkoxysilane, Fettsäuren, Fettsäuresalze, Polymere (Kunstharzdispersionen),
- Fasern mit einer Faserlänge von 2 bis 18 mm. Die Fasern können aus organischen Polymeren (wie Polyamiden wie z.B. Aramid oder Polyolefinen wie z.B.
15 Polypropylen), Glas, Kohle, Stahl oder Basalt bestehen. Es sind auch Mischungen von unterschiedlichen Fasern einsetzbar, wobei die Fasern zusammen mit dem Leichtzuschlag eingesetzt werden,
- Füllstoffe in Form von Gesteinsmehl (Korngröße kleiner 0,063 mm), besonders bevorzugt in Form von Kalksteinmehl oder Quarzmehl,
- Füllstoffe in Form von Gesteinskörnung 0 bis 2 mm (Korngröße) mit Rohdichten
20 ab 2000 kg/m³ (entsprechend DIN EN 12620 und DIN 1405-2). Sie können aus Quarzgestein, Grauwacke, Basalt, Dolomit, vulkanisches Gestein, Schiefer (Tonschiefer) und anderen, auch rezyklierten (entsprechend DIN EN 12620:2008-07) Gesteinskörnungen, bestehen.

25

Der Leichtbeton lässt sich durch das Verhältnis von Leichtzuschlag zu Gesteinskörnung in einem Bereich der Trockenrohichte von 200 kg/m³ bis 1999 kg/m³ und durch die Art und Zugabemenge der Bindemittelzusammensetzung sowie der Wassermenge hinsichtlich der Druckfestigkeit konfektionieren. Der Leichtbeton
30 kann z.B. pump-/ und spritzfähig eingestellt werden.

Das Verfahren zur Herstellung umfasst ein zweistufiges Mischen; ein erstes Mischen zur Herstellung einer Bindemittelsuspension und ein zweites Mischen umfasst das Mischen der so hergestellten Bindemittelsuspension mit zumindest den
35 Leichtzuschlägen. Die Bindemittelsuspension umfasst zumindest das Bindemittelgemisch und Wasser.

Das (erste) Mischen mit einem schnell-laufende Rührwerkzeug unterscheidet sich von dem (zweiten) Mischen mit einem langsam-laufenden Rührwerkzeug dadurch, dass die Umfangsgeschwindigkeit beim Mischen mit dem schnell-laufende Rührwerkzeug mindestens 3-mal so hoch ist.

5

Der erste Schritt des Mischens erfolgt mit einem schnell-laufende Rührwerkzeug und weist z.B. eine Drehzahl von größer 100 U/min, insbesondere 150 U/min, auf. Geeigneterweise liegt eine Umfangsgeschwindigkeit des Rührwerkzeugs zwischen 3 und 20 m/s, vorzugsweise zwischen 8 und 17 m/s, vor.

10

Der zweite Schritt des Mischens erfolgt mit einem langsam-laufenden Rührwerkzeug und weist z.B. Drehzahlen unter 60 U/min, insbesondere unter 45 U/min, auf, z.B. 15 bis 25 U/min. Geeigneterweise liegt die Umfangsgeschwindigkeit des Rührwerkzeugs zwischen 0,9 und 1,25 m/s, vorzugsweise zwischen 0,3 und 0,8 m/s, vor.

15

Die Umfangsgeschwindigkeit des Rührwerkzeugs bezieht sich jeweils auf den längst möglichen Umfang, wenn z.B. als Rührwerkzeug Paddel unterschiedlicher Länge eingesetzt werden. Sind in einem Mischer mehrere Rührwerkzeuge oder Rührzonen vorhanden, ist das Rührwerkzeug mit der größeren Umfangsgeschwindigkeit oder Froude-Zahl maßgeblich. Die Drehzahl des Rührwerkzeugs ist ein weniger geeignetes Maß, weil die Mischwirkung auch stark von der Geometrie des Rührwerkzeugs abhängt.

20

25

Zur Beschreibung des Mischens eignet sich die dimensionslose Kennzahl nach William Froude, die ein Maß des Verhältnisses zwischen Trägheit und Schwerkraft angibt und allgemein in überkritisch (Mischgutbeschleunigung > Schwerkraftbeschleunigung; Froude-Zahl über 1,0) und unterkritisch (Mischgutbeschleunigung < Schwerkraftbeschleunigung; Froude-Zahl unter 1,0) eingeteilt wird.

30

Die Froude-Zahl Fr ist durch folgenden mathematischen Zusammenhang bestimmt:

$$Fr = \omega^2 \cdot r / g$$

35

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$$

w = Winkelgeschwindigkeit in rad/s

r = Radius in m

g = Schwerebeschleunigung in m/s²

5 d = Durchmesser

n = Umdrehungen per s

löst man die Formel weiter auf, ergibt sich:

10
$$Fr = d \cdot n^2 \cdot 2 \cdot \pi^2 / g \rightarrow 2 \cdot \pi^2 / g = 2 \cdot 3,14^2 / 9,81 = 2,01 \rightarrow Fr = d \cdot n^2 \cdot 2,01$$

In Suspensionsmischern wird die Umfangsgeschwindigkeit der Mischwerkzeuge angegeben:

15
$$v = d \cdot \pi \cdot n \text{ und } n = v / (\pi \cdot d)$$

demnach funktioniert auch:

20
$$Fr = v^2 \cdot 2 / (d \cdot g)$$

Das erste Mischen erfolgt insbesondere so, dass die Froude-Zahl zur Herstellung der Suspensionsmischung größer 10, vorzugsweise größer 25, und insbesondere bevorzugt größer 40 beträgt.

25 Das zweite Mischen erfolgt insbesondere so, dass die Froude-Zahl zur Herstellung der Leichtbetonmischung kleiner 2 beträgt, insbesondere kleiner 1,5.

30 Die Suspensionsmischung weist vorzugsweise eine Fließfähigkeit von zumindest F6 auf. Die Leichtbetonmischung weist am Ende des zweiten Mischens vorzugsweise eine Fließfähigkeit von zumindest F2, vorzugsweise zumindest F4, auf.

Zur Herstellung der Suspensionsmischung, d.h. dem ersten Mischen, ist ein Suspensionsmischer, gelegentlich auch als Kolloidalmischer bezeichnet, geeignet.

35

Der Suspensionsmischer umfasst ein schnell-laufendes Rührwerkzeug. Das schnell-laufende Rührwerkzeug weist vorzugsweise Drehzahlen von über 300 U/min, insbesondere 800 bis 2000, U/min auf. Geeigneterweise liegt eine Umfangsgeschwindigkeit des Rührwerkzeugs zwischen 3 und 20 m/s, vorzugsweise zwischen 8 und 17 m/s, vor.

Aus der DE 10354888 B4 ist ein besonders geeigneter Suspensionsmischer, dort als Kolloidalmischer bezeichnet, bekannt. Insofern wird auf die Offenbarung und Definition des Suspensionsmischers dort verwiesen und dies hiermit auch zum Gegenstand des vorliegenden Schutzrechts gemacht. Der Suspensionsmischer weist eine obere großvolumigere Vormisch- und eine untere kleinvolumigere Dispergierzone auf und ein zweiteiliges Trennelement, umfassend einen Leitring und eine Stauscheibe, das die unterschiedlichen Zonen voneinander räumlich abgrenzt. Die Vormisch- und die Dispergierzone sind jeweils mit separaten Rührwerken ausgestattet. Die Rührpaddel der Dispergierzone drücken das Mischgut gegen die Stauscheibe, die über der Rührpaddelzone der Dispergierzone angeordnet ist und mittig eine kreisförmige Ausnehmung aufweist. Das Mischgut schlägt nachfolgend auf den Leitring auf, der über der Stauscheibe angeordnet ist und hinsichtlich seines Außen- und Innendurchmessers durchmesserklarer als die Stauscheibe ist. Das Mischgut schiebt sich an dem Leitring entlang nach außen und oben und wird hierbei durch einen umlaufenden äußeren Ringschlitz zwischen Leitring und Mischerinnenwand in die Vormischzone gedrückt. Das Mischgut fällt anschließend in der Mitte der Vormischzone zusammen und gelangt somit durch das von oben gesehen erste Trennelement, den Leitring, wieder in die Dispergierzone.

Aus der DE 102011102988 A1 ist ein weiterer geeigneter Suspensionsmischer bekannt, aufweisend eine obere Umwälzzone / Vormischzone und eine untere Dispergierzone, wobei in der Dispergierzone zumindest ein Mischwerkzeug mit Mischachse und Mischpaddeln vorgesehen ist und zumindest ein Trennelement, das Umwälzzone und Dispergierzone voneinander räumlich abgrenzt und das Trennelement zumindest einen äußeren rührachsenfernen und einen inneren rührachsennahen Durchlass freigibt, der innere Durchlass den Materialfluss von der Umwälzzone in der Dispergierzone und der äußere Durchlass den Materialfluss von der Dispergierzone in die Umwälzzone bewerkstelligt und der äußere Durchlass über der Ebene der Mischpaddel angeordnet ist, wobei zumindest der äußere Durchlass in seiner (Gesamt-)Durchtrittsfläche von außen während des Mischvorganges veränderbar ist.

- Der Suspensionsmischer nach der DE 102011102988 A1 weist hierzu bevorzugt zwei Kammern (Vormischzone und Dispergierzone) auf. Das Mischgut wird passiv in der Vormischzone durch den Austritt des flüssigen Mischgutes über ein Trennelement bewegt, wobei das Mischgut über einen größeren Einlass im Trennelement, vorzugsweise angeordnet über der Drehachse, in die Dispergierzone zunächst eingesogen wird. Dort wird das Mischgut von einem schnell-laufenden Rührwerk erfasst und radial nach außen, vorzugsweise auch nach oben, gepresst, wobei das Mischgut hierbei in Fließrichtung durch kleinere Öffnungen der Trennscheibe tritt bzw. durch kleinere Öffnungen zwischen äußerem Rand der Trennscheibe und Behälterwand. Die kleineren Öffnungen sind vorzugsweise auf dem äußeren Umfang der Trennscheibe angeordnet. Kleiner und größer bezeichnen hierbei das relative Flächenverhältnis der kleineren Austrittsöffnungen zu der/den größeren Eintrittsöffnungen in die Dispergierzone.
- Das zweite Mischen umfasst das Mischen der so hergestellten Suspensionsmischung mit zumindest den Leichtzuschlägen. Hierzu sind Freifallmischer geeignet oder Konusmischer, wenn diese mit niedriger Drehzahl bzw. niedriger Umfangsgeschwindigkeit betrieben werden.
- Den Freifallmischer gibt es in sehr unterschiedlichen Baugrößen. Als Kleingerät mit einigen Litern Volumen sind sie im Heimwerker- und teilweise auch im Handwerksbereich für den Baustelleneinsatz verbreitet. In industriellen Baugrößen mit 0,5 und mehr Kubikmeter Fassungsvermögen werden sie stationär in Transportbeton- und Fertigteilwerken eingesetzt. Das Grundprinzip ist gleich. Der Mischvorgang erfolgt in einer drehbaren Trommel. In der Trommel erfolgt auch die Beschickung durch die Trommelöffnung. Im Innern der Trommel befindet sich eine Spirale oder Schaufeln, welche feststehend an der Trommelwand befestigt sind, die bei jeder Drehung einen Teil des Mischguts aufnimmt und anhebt.
- Konusmischer weisen seitliche Abstreifer an der unteren Konuswand und eine zentrische Welle mit einer archimedischen Schnecke und/oder an der zentrischen Welle befestigte, schräg gestellte Paddel und/oder eine Kombination davon auf. Dieser Mischer Typ mit sich nach unten konusförmig verengendem Mischraum zeichnet sich dadurch aus, dass das Mischgut aufgrund der Bauform beim Vermischen von unten nach oben transportiert wird und sich aufgrund der Bauform seitlich von der Schnecke / den Paddeln ablöst und im freien Fall über Schwerkraft wieder nach unten bewegt.

Es können sowohl die zentrisch angeordnete Welle / Achse als auch der Abstreifer mit unterschiedlicher Drehzahl betrieben werden. Somit ist der Konusmischer, je nach eingestellter Drehzahl, in der Lage, mit einer Froude Zahl größer 10 oder größer 25 als auch kleiner 2,5 oder auch kleiner 1,5 zu arbeiten.

5

Beim erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung der Leichtbetonmischung werden parallel und/oder nacheinander 2 unterschiedliche Mischer-Typen bzw. ein Mischer eingesetzt, mit dem bei einer Froude Zahl größer 10 eine Suspensionsmischung angemischt wird und ggf. Gesteinskörnung und weitere Stoffe zugegeben werden und anschließend die Leichtzuschläge, auch mit geringer Schüttdichte und Kornfestigkeit, mit dem restlichen Mischgut mit einer Froude-Zahl kleiner 2,5 materialschonend homogenisiert werden.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform weist der Leichtbeton, wenn er als Bauelement hergestellt wird, auf wenigstens einer, bevorzugt auf beiden Hauptoberflächen (also den beiden großen Flächen vom Bauelement) Deckschichten auf. Vor dem Einbringen des erfindungsgemäßen Leichtbetons in eine Form (z.B. eine Schalform) kann eine erste, gegenüber dem erfindungsgemäßen Leichtbetonmischung dünnere Schicht, aus einem anderen, hydraulisch aushärtenden Material in einer vorbestimmten Auftragsstärke eingebracht werden, auf die der erfindungsgemäße Leichtbeton aufgebracht wird, sich verbindet und aushärtet. Nach entsprechender Festigkeit und/oder Aushärtung kann eine zweite Schicht aus dem gleichen oder einem anderen hydraulisch aushärtendem Material, die sich ebenfalls mit dem erfindungsgemäßen Leichtbeton verbindet, aufgebracht werden. Somit können ein- und/oder beidseitig mit einer Deckschicht beschichtete Elemente einfach, schnell und kostengünstig hergestellt werden. Das hydraulisch aushärtende Material kann ein sogenanntes Putzsystem sein, umfassend einen Putzmörtel.

Eine solche Deckschicht kann beispielsweise auch aus einem abgebundenen anorganischen Putzbindemittel, auch einem Putzbindemittelschlicker, bestehen. Bevorzugt kann in der Deckschicht eine Armierung, insbesondere in Form einer Fasermatte eingebettet sein. Die Fasermatte kann aus Glasfasern, Carbonfasern und/oder Basaltfasern bestehen. Die Fasermatte kann insbesondere auch allein in Rand- beziehungsweise Kantenbereichen vom Bauelement vorgesehen sein, um die Kanten zu festigen.

Ebenso ist es möglich bereits im Produktionsprozess, vor dem Einfüllen der erfindungsgemäßen Leichtbetonmischung in die Schalform, Fasermatten zum Schutz vor Schwindrissen und als Haftgrund für nachfolgende Beschichtungen einzulegen
5 oder, nach der zumindest teilweisen Aushärtung, aufzubringen. Damit können beidseitig für nachfolgende Oberflächenbearbeitungen bereits die Vorbereitungen getroffen werden.

Es ist auch möglich, in die Schalform zuerst einen Leichtbetonmischung entsprechend dieser Erfindung einzubringen, welche als Leichtbetonschicht mit entsprechender Dichte und Druckfestigkeit am Bauwerk statische Funktionen übernehmen kann, und auf diesen druckfesten Leichtbeton einen hochdämmenden Leichtbeton geringerer Dichte, hergestellt entsprechend dieser Erfindung, aufzubringen.
10 Für eine bessere Haftung zwischen den unterschiedlichen Leichtbetonen kann ein handelsüblicher Haftvermittler aufgetragen werden, es ist aber auch möglich „nass in nass“ zu arbeiten und damit auf einen Haftvermittler zu verzichten. Ebenso ist es möglich, auf den hochdämmenden Leichtbeton wieder einen druckfesten Leichtbeton aufzubringen. So entsteht ein Sandwich, bei dem die druckfesten Leichtbetone die statische und schützende Funktion und der hochdämmende
15 Leichtbeton geringer Dichte Isolation und zusätzlichen Schallschutz übernehmen.
20

Durch das Einbringen unterschiedlicher Betondichten an unterschiedlichen Stellen eines Bauteils lässt sich ein sogenannter Gradientenbeton herstellen, wobei Beton, wo dies statisch gefordert wird, mit höherer Dichte und Druckfestigkeit und an
25 den Stellen, wo beispielhaft Wärmedämmung und/oder Gewichtseinsparung eine Rolle spielt, Leichtbeton entsprechend dieser Erfindung eingesetzt wird, wobei grundsätzlich der Übergang unterschiedlicher Betonsorten auch stufenlos bzw. nass in nass erfolgen kann.

Es können in vorbeschriebene Art auch 2 Schichten Normalbeton jeglicher Betongüte hinsichtlich Dichte und Druckfestigkeit eingesetzt werden, indem der erfindungsgemäße Leichtbeton auf die erste Normalbetonschicht in jeder gewünschten Schichtdicke aufgebracht wird und als letzte Schicht wieder ein Normalbeton jeglicher Betongüte hinsichtlich Dichte und Druckfestigkeit aufgebracht wird. Somit erfüllt der erfindungsgemäße Leichtbeton in diesem Sandwichelement die Funktion
30 der Wärme-/ und/oder zusätzliche Schalldämmung, der Normalbeton statische und funktionelle Eigenschaften.
35

Weiterhin ist es möglich, zuerst einen Leichtbeton geringerer Dichte gegenüber Normalbeton in die Schüttform einzubringen, darauf eine handelsübliche Isolierung auf bzw. einzulegen, wie beispielhaft Mineralschaum geringer Dichte (<100 kg/m³), Mineralfaserdämmplatten, Polyurethandämmplatten, Hartschaumplatten, Polystyrol-Hartschaumplatten, Korkplatten, Holzfaserplatten, Zellulosefaserplatten, Schafwolle, Holzwolle etc., und darauf wieder einen Leichtbeton entsprechend dieser Erfindung und die beiden Leichtbetone mittels einbetonierter Verbindungsmittel dauerhaft verbinden, wobei sich die Dichten und Druckfestigkeiten der Leichtbetone unterscheiden können. Der druckfestere Leichtbeton kann beispielhaft statische Funktionen als Innenschale einer Sandwich-Fassade übernehmen.

Vor dem Einbringen des Leichtbetons können Trag- und statische Bewehrungen in die Schüttform eingebracht werden. Auch sogenannte Tragwerke, wie diese in der EP 0808959 B1 beschrieben sind. Die vorgenannten Bewehrungsarten werden vor dem Eingießen des erfindungsgemäßen Leichtbetons in die Gießform eingelegt, von diesem umschlossen und übernehmen nach dem Aushärten vom Leichtbeton die gewünschten Funktionen als Transporthilfe, statische Funktionen sowie Anschlüsse und Fügehilfen am Bauwerk.

Weiterhin können alle gängigen Tragehilfen und Verbindungsmittel einbetoniert werden, indem diese vor dem Einfüllen des Leichtbetons in die Gießform eingebracht und von diesem nach dem Eingießen umhüllt werden.

Weiterhin können vor dem Einbringen des Leichtbetons in die Gießform auch alle Arten von Hohlkörpern eingebracht werden, um eine weitere Gewichtsreduzierung des aus dem erfindungsgemäßen Leichtbetons hergestellten Bauproduktes zu erzielen.

Zur beschleunigten und/oder kontrollierten Aushärtung kann der Leichtbeton nach dem Eingießen in eine Form, insbesondere eine Schalform, in eine Klimakammer verbracht werden. In dieser Klimakammer kann mittels Warmluft und/oder Heißdampf ein Aushärteklima eingestellt werden, welches sich hinsichtlich der Kammertemperatur, je nach den verwendeten Bindemitteln, auf 30 bis 85 °C, insbesondere 35 bis 60 °C, einstellen lässt. Hierdurch kann der Erhärtungsprozess beschleunigt werden, z.B. derart, dass der Leichtbeton bereits nach 4 Stunden aus der Form entnommen werden kann.

Die Restfeuchte der Leichtbetone beträgt bei Trockenrohdichten ab 1200 kg/m³, vorzugsweise unter 16 Gew.%, besonders bevorzugt unter 14 Gew.% oder sogar unter 13 Gew.%.

5 Experimenteller Teil

In den Versuchsbeispielen wurden folgende Rohstoffe eingesetzt:

- Zement: CEM I 52,5R, Fa. Holcim
- 10 Zement: CEM I 42,5R, Fa. Holcim
- Zement: CEM II B-S 52,5R, Fa. Holcim
- Zement: CEM III B 42,5L-LH Aqua 4, Fa. Holcim
- Flugasche: HP, Fa. Baumineral
- Hüttensandmehl: Fa. Holcim Werk Bremen
- 15 Mikrosilika: Silicoll P, Fa. Sika
- Kalksteinmehl (Gesteinsmehl): @-Powder, Fa. Bauminerale
- Hydrophobierer: Protec HWA(ST) HA-BE, Ha-Be Betonchemie GmbH, Hameln, Deutschland (Stearat)
- CaO (Calciumoxid): WFK 11/6, Fa. Felswerke
- 20 Fließmittel: PCE Powerflow 5101, Fa. MC-Bauchemie
- Fließmittel: ACE 430, Fa. BASF SE
- Beschleuniger: Fastkick 111, Fa. MC-Bauchemie
- Stabilisator: Centrament 520, Fa. MC-Bauchemie
- Schaumbildner: SB 2, Fa. Mapei
- 25 Aktivator: Natriummetasilikat: Fa. Impag
- Fasern: 6 bis 18 mm SikaFiber PPM-12, Fa. Sika. (Mikro-Polypropylenfasern)
- SRA: Shrinking Reduction Agent: Centrament SRA 1, Fa. MC Bauchemie
- Gesteinskörnung mit der Korngröße 0 bis 2 mm: Sand Fa. Manzke Baustoffe
- Gesteinskörnung mit der Korngröße 0 bis 5 mm: Kies Fa. Manzke Baustoffe
- 30 Gesteinskörnung mit der Korngröße 2 bis 8 mm: Kies Fa. Manzke Baustoffe
- Recycling-Ziegelsplit 2-8 mm: Fa. Manzke Baustoffe
- Leichtzuschlag 1: Bläherlit mit der Korngröße 0-5 mm, Fa. Perliopol
- Leichtzuschlag 2: Fibo ExClay mit der Korngröße 2-5 mm (Blähton)

35

Soweit nicht anders angegeben, ist die DIN EN 13055 und die dort angegebenen Prüfverfahren für die Bestimmung der technischen Eigenschaften der aufgeführten Leichtzuschläge anzuwenden.

5 Versuchsdurchführung

Die Herstellung der nachfolgend beschriebenen Zusammensetzungen 1 und 2 erfolgte so, dass zuerst Wasser in einem Suspensionsmischer gemäß DE 102011102988 A1 (20 l = maximales Mischvolumen des Mixers) vorgelegt wurde, das Rührwerk eingeschaltet und nacheinander Zement, die Flugasche und die Betonzusatzstoffe zugegeben wurden. Die Vermischung erfolgte im Suspensionsmischer mit einer Froude-Zahl von 48,3 (Mischpaddelgeschwindigkeit, Umfangsgeschwindigkeit 8 m pro Sekunde bezogen die drei drehenden Paddel) zu einer Suspensionsmischung innerhalb von 240 sec. (ab Zement-Zugabe). Die Suspensionsmischung wies eine Fließfähigkeit von größer F6 auf.

Danach wurden die Suspensionsmischung unmittelbar in einem Freifallmischer (Firma Atika, 50 l = maximales Mischvolumen des Mixers) verfüllt, in dem die Leichtzuschläge mit einem Wasser-Hydrophobierer-Gemisch (300 Gramm Wasser je kg Leichtzuschlag 1) zusammen mit den Fasern bereits vorgelegt und vorge-mischt waren. Die Suspensionsmischung, Leichtzuschlag 1 und Fasern wurden im Freifallmischer mit einer Froude-Zahl von 0,3 (Trommelumdrehung 0,5 Drehungen pro Sekunde) homogen vermischt. Es wurde 30 l Leichtbetonmischung nach 180 sec. (ab Zugabe der Suspensionsmischung) erhalten.

Die Fließfähigkeit wurde jeweils über die Ausbreitmaßklassen F1 bis F6 nach DIN EN 12350-5 definiert. Die Trockenrohdichte ist nach DIN EN 12390-7 im Wärmeschrank bei 105 °C gemessen worden. Der Wasser/Bindemittelwert- (W/B-) Wert ist das Verhältnis zwischen der Masse des Wassers und der Masse des Bindemittels, wobei das Kalksteinmehl (wenn eingesetzt), Mikrosilika und CaO wie die Flugasche dem Bindemittel zuaddiert wurde.

Wasser für das Vornässen von Leichtzuschlägen ist nicht in den Zusammensetzungen enthalten.

35

Die in den nachfolgenden Tabellen fehlende Anteil auf 1000 Liter/m³ waren die im Leichtbeton enthaltenen Luftporen.

Zusammensetzung 1 nach obiger Versuchsdurchführung:

	Gew.%	kg/m³	Dichte	Liter/m³
Wasser	19,51	74,48	1,00	74,48
Zement CEM I 52,5R	49,38	188,48	3,10	60,80
Flugasche	8,86	33,82	2,40	14,09
CaO (Betonzusatzstoff)	2,49	9,50	2,40	3,96
Hydrophobierer	0,12	0,46	1,00	0,46
Fließmittel (Betonzusatzstoff)	1,89	7,22	1,00	7,22
Schaumbildner (Betonzusatzstoff)	0,03	0,11	0,0007	175,38
Leichtzuschlag 1	16,92	64,60	0,10	646,00
Fasern	0,80	3,04	1,00	3,04
gesamt:	100,00	381,71		985,43

- 5 Die Leichtbetonmischung wies eine Fließfähigkeit von F6 sowie einen Wasser-zu-Bindemittelwert von 0,32 auf. Der so hergestellte Leichtbeton wies eine Trockenroh-Dichte von 351 kg/m³ und eine mittlere Druckfestigkeit von 2,5 N/mm² sowie eine Wärmeleitfähigkeit (Lambdawert λ) von 0,095 (W/m²K) auf.

10 Zusammensetzung 2

	Gew.%	kg/m³	Dichte	Liter/m³
Wasser	21,41	139,17	1,00	139,17
Zement CEM I 42,5R	49,25	320,13	3,10	103,27
CaO (Betonzusatzstoff)	2,01	13,07	2,40	5,44
Flugasche	8,03	52,20	2,40	21,75
Hydrophobierer	0,56	3,64	1,00	3,64
Fließmittel (Betonzusatzstoff)	0,52	3,38	1,00	3,38
Schaumbildner (Betonzusatzstoff)	0,0165	0,11	0,0007	165,00
SRA (Betonzusatzstoff)	0,51	3,32	1,00	3,32
Leichtzuschlag 1	8,10	52,65	0,10	526,50
Gesteinskörnung 2-8 mm	9,29	60,39	2,65	22,79
Fasern	0,30	1,95	1,00	1,95
gesamt	100	650,01		996,21

hergestellt nach obiger Versuchsdurchführung ausgenommen, dass die Leichtzuschläge zusammen mit den Fasern und der Gesteinskörnung im Freifallmischer vorgelegt wurden.

- 5 Die Leichtbetonmischung wies eine Fließfähigkeit von größer F6 sowie ein Wasser zu Bindemittelwert von 0,36 auf.

Der so hergestellte Leichtbeton wies eine Trockenroh-Dichte von 581 kg/m^3 und eine mittlere Druckfestigkeit von $7,8 \text{ N/mm}^2$ nach 28 Tagen auf.

10

Für die Zusammensetzungen 3 und 4 erfolgte die Herstellung so, dass zuerst Wasser in einem Suspensionsmischer gemäß DE 102011102988 A1 (20 l) vorgelegt wurde, das Rührwerk eingeschaltet und nacheinander zugegeben wurden:

- 15 a) für Zusammensetzung 3: Zement, Flugasche, Gesteinskörnung 0-2 mm und die Betonzusatzstoffe und
b) für Zusammensetzung 4: Zement, Kalksteinmehl, Mikrosilika und Gesteinskörnung 0-2 mm und die Betonzusatzstoffe.

20 Die Vermischung erfolgte im Suspensionsmischer mit einer Froude-Zahl von 91,4 (Mischpaddelgeschwindigkeit, Umfangsgeschwindigkeit 13 m pro Sekunde) zu einer Suspensionsmischung innerhalb von 240 sec. (ab Zement-Zugabe). Die Suspensionsmischung wies eine Fließfähigkeit von größer F6 auf.

25 Danach wurden die Suspensionsmischung unmittelbar in einem Freifallmischer (Firma Atika, 50l) verfüllt, in dem die Gesteinskörnung 2-8 mm zusammen mit den Fasern bereits vorgelegt und vorgemischt waren. Danach wurde, während der Freifallmischer weiter mischte, die Suspensionsmischung zu 50% zugegeben, gefolgt von 50% vom Leichtzuschlag 1, danach die restlichen 50% der Suspensionsmischung und anschließend der restliche Leichtzuschlag 1. Das Mischen im Freifallmischer erfolgte mit einer Froude-Zahl von 0,3 (0,5 Umdrehungen pro Sekunde). Es wurde 30 l Leichtbetonmischung nach 240 sec. (ab Zugabe der Suspensionsmischung) erhalten.

30

Zusammensetzung 3:

	Gew.%	kg/m³	Dichte	Liter/m³
Wasser	15,10	203,85	1,00	203,85
Zement CEM II B-S 52,5R	31,1	419,85	3,05	137,66
Flugasche	6,80	91,80	2,40	38,25
Leichtzuschlag 1	3,90	52,65	0,138	381,52
Fasern	0,08	1,08	1,00	1,08
Fließmittel (Betonzusatzstoff)	0,38	5,13	1,00	5,13
Beschleuniger (Betonzusatzstoff)	0,30	4,05	1,00	4,05
Gesteinskörnung 0-2mm	28,20	380,70	2,65	143,65
Gesteinskörnung 2-8mm	14,04	189,54	2,65	71,52
Stabilisator (Betonzusatzstoff)	0,10	1,35	1,00	1,35
gesamt	100,00	1350,00		988,06

5 Die Leichtbetonmischung wies eine Fließfähigkeit von größer F6 sowie einen Wasser-zu-Bindemittelwert von 0,40 auf.

Der so hergestellte Leichtbeton wies eine Trockenrohdichte von 1.214 kg/m³ und eine mittlere Druckfestigkeit von 28 N/mm² nach 28 Tagen auf.

10 Zusammensetzung 4:

	Gew.%	kg/m³	Dichte	Liter/m³
Wasser	10,71	192,78	1,00	192,78
Zement: CEM I 52,5R	21,05	378,90	3,05	124,23
Kalksteinmehl < 0,63mm	3,75	67,50	2,65	25,47
Mikrosilika	1,40	25,20	2,40	10,50
Leichtzuschlag 1	2,10	37,80	0,168	225,00
Gesteinskörnung 0-2mm	40,4	727,20	2,65	274,42
Gesteinskörnung 2-8mm	20,2	363,60	2,65	137,21
Fasern	0,06	1,08	1,00	1,08
Fließmittel	0,33	5,94	1,00	5,94
gesamt	100,00	1800,00		996,62

Die Leichtbetonmischung wies eine Fließfähigkeit von größer F6 sowie einen Wasser-zu-Bindemittelwert von 0,41 auf.

5 Der so hergestellte Leichtbeton wies eine Trockenrohdichte von 1.649 kg/m³ und eine mittlere Druckfestigkeit von 48 N/mm² nach 28 Tagen auf.

Für die Zusammensetzungen 5 und 6 erfolgte die Herstellung so, dass zuerst Wasser in einem Suspensionsmischer gemäß DE 102011 102988 A1 (20 l) vorgelegt wurde, das Rührwerk eingeschaltet und nacheinander zugegeben wurden:

- 10 a) für Zusammensetzung 5: Zement, Gesteinskörnung 0-2 mm und die Beton-zusatzstoffe und
b) für Zusammensetzung 6: Zement, Flugasche, und die Betonzusatzstoffe

15 Die Vermischung erfolgte im Suspensionsmischer mit einer Froude-Zahl von 91,4 (Mischpaddelgeschwindigkeit Umfangsgeschwindigkeit 13 m pro Sekunde) zu einer Suspensionsmischung innerhalb von 240 sec. (ab Zement-Zugabe). Die Suspensionsmischung wies eine Fließfähigkeit von > F6 auf.

20 Für Zusammensetzung 5 wurden danach 50% der Suspensionsmischung unmittelbar in einen Konusmischer (Firma Kniele, 100 l = maximales Mischvolumen des Mixers) verfüllt, in dem der Leichtzuschlag 2 zusammen mit den Fasern bereits vorgelegt und vorgemischt waren. Dann wurde die restlichen 50% der Suspensionsmischung und anschließend der Leichtzuschlag 1 zugegeben, diese Mischung wurde während des gesamten Mischens mit einer Froude-Zahl von 0,9 (1,2 Schneckenumdrehungen pro Sekunde) homogen vermischt. Es wurde 50 l Leichtbetonmischung nach 240 sec. (ab Zugabe der Suspensionsmischung) erhalten.
25 Der Leichtbeton wurde für 20h in eine Aushärtekammer bei 38 °C bis 43 °C verbracht und danach ausgeschalt.

Zusammensetzung 5:

	Gew. %	kg/m³	Dichte	Liter
Wasser	13,75	195,25	1,00	195,25
Zement: CEM III B 42,5 L-LH	25,10	356,42	3,05	116,86
Kalksteinmehl < 0,63mm	6,30	89,46	2,65	33,76
Leichtzuschlag 2	21,90	310,98	1,28	242,95
Leichtzuschlag 1	3,15	44,73	0,187	239,20
Fasern	0,32	4,54	1,00	4,54
Fließmittel	0,32	4,54	1,00	4,54
Beschleuniger	0,31	4,40	1,0000	4,40
Gesteinskörnung 0-2mm	28,65	406,83	2,65	153,52
Schwindreduzierer SRA	0,20	2,84	1,00	2,84
gesamt	100,00	1419,99		997,86

5 Die Leichtbetonmischung wies eine Fließfähigkeit von F6 sowie einen Wasser-zu-Bindemittelwert von 0,44 auf.

Der so hergestellte Leichtbeton wies eine Trockenrohdichte von 1.275 kg/m³ und eine mittlere Druckfestigkeit von 34 N/mm² nach 28 Tagen auf.

10 Für die Zusammensetzung 6 wurde 50% der Suspensionsmischung wie oben beschreiben in einen Konusmischer (Firma Kniele, 100 l = maximales Mischvolumen des Mixers) verfüllt, in dem der Recycling-Ziegelsplit zusammen mit den Fasern und der Gesteinskörnung 0-2 mm bereits vorgelegt und vorgemischt waren. Dann wurden die restlichen 50% der Suspensionsmischung gefolgt von Leichtzuschlag

15 1 dazugegeben, diese Mischung wurde während des gesamten Mischens mit einer Froude Zahl von 0,9 (1,2 Schneckenumdrehungen pro Sekunde) homogen vermischt. Es wurde 50 l Leichtbetonmischung nach 240 sec. (ab Zugabe der Suspensionsmischung) erhalten. Der Leichtbeton wurde in Formen gefüllt und für 20h in eine Aushärtekammer, die auf etwa 40 °C temperiert wurde, verbracht und da-

20 nach ausgeschalt.

Zusammensetzung 6:

	Gew. %	kg/m³	Dichte	Liter
Wasser	13,52	223,08	1,00	223,08
CEM III B 42,5 L-LH	21,5	354,75	3,05	116,31
Kalksteinmehl < 0,63mm	4,60	75,90	2,65	28,64
Flugasche	5,80	95,70	2,40	39,88
Leichtzuschlag 1	2,76	45,54	0,260	175,15
Recycling-Ziegelsplit	51,03	842,00	2,10	400,95
Fasern	0,05	0,83	1,00	0,83
Fließmittel (Betonzusatzstoff)	0,25	4,13	1,00	4,13
Stabilisator (Betonzusatzstoff)	0,24	3,96	1,0000	3,96
Beschleuniger (Betonzusatzstoff)	0,25	4,13	1,00	4,13
gesamt	100	1650,02		997,06

5 Die Leichtbetonmischung wies eine Fließfähigkeit von größer F6 sowie einen Wasser-zu-Bindemittelwert von 0,42 auf.

Der so hergestellte Leichtbeton wies eine Trockenrohdichte von 1.551 kg/m³ und eine mittlere Druckfestigkeit von 42 N/mm² nach 28 Tagen auf.

10 Für die Zusammensetzungen 7 erfolgte die Herstellung so, dass zuerst Wasser in den Suspensionsmischer gemäß DE102011102988 A1 (20 l) vorgelegt und Hüttensandmehl und Aktivator zugegeben wurden. Beides wurde vorgemischt und danach erfolgte die Zugabe der Flugasche und der Betonzusatzstoffe. Das Mischen erfolgte im Suspensionsmischer mit einer Froude-Zahl von 91,4 (Mischpaddelgeschwindigkeit, Umfangsgeschwindigkeit 13 m pro Sekunde) zum Erhalt der Suspensionsmischung innerhalb von 240 sec. (ab Hüttensandmehl-Zugabe). Die Suspensionsmischung wies eine Fließfähigkeit von größer F6 auf.

20 Danach wurden 50% der Suspensionsmischung in einen Konusmischer (Firma Kniele, 100 l) verfüllt, in dem die Gesteinskörnung 2 mit Fasern bereits vorgelegt waren. Dann wurde unter fortwährendem Mischen 50% vom Leichtzuschlag 1 dazugegeben, gefolgt von den restlichen 50% der Suspensionsmischung und anschließend der restliche Leichtzuschlag 1.

Die Mischung wurde während der gesamten Zeit im Konusmischer mit einer Froude Zahl von 0,9 (1,2 Schneckenumdrehungen pro Sekunde) gemischt. Es wurde 50 l Leichtbetonmischung nach 240 sec. (ab Zugabe der Suspensionsmischung) erhalten. Der Leichtbeton wurde in Formen gefüllt und für 20h in eine Aushärtekammer, die auf etwa 40 °C temperiert wurde, verbracht und danach ausgeschalt.

Zusammensetzung 7:

	Gew.%	kg/m³	Dichte	Liter
Wasser	15,41	259,90	1,00	259,9
Hüttensandmehl	28,44	480,00	2,90	165,52
Flugasche	5,04	85,00	2,40	35,42
Leichtzuschlag 1	3,73	63,00	0,260	242,31
Gesteinskörnung 0-2mm	44,02	743,00	2,65	280,38
Fasern	0,05	0,83	1,00	0,83
Fließmittel (Betonzusatzstoff)	0,24	4,13	1,00	4,13
Stabilisator (Betonzusatzstoff)	0,23	3,96	1,0000	3,96
Aktivator	2,84	48,00	1,00	4,13
gesamt	100	1687,82		996,58

10

Die Leichtbetonmischung wies eine Fließfähigkeit von größer F6 sowie einen Wasser-zu-Bindemittelwert von 0,46 auf. Der so hergestellte Leichtbeton wies eine Trockenrohdichte von 1.540 kg/m³ und eine mittlere Druckfestigkeit von 38 N/mm² nach 28 Tagen auf.

15

Für die Zusammensetzungen 8 erfolgte die Herstellung so, dass zuerst Zement, die Gesteinskörnung 0-2 mm, das Kalksteinmehl, die Betonzusatzstoffe, die Fasern und das Wasser sowie die Betonzusatzstoffe in dieser Reihenfolge in einen Konusmischer (Firma Kniele, 100 l = maximales Mischvolumen des Mixers) vorgelegt wurden, das Rührwerk eingeschaltet und mit einer Froude Zahl von 29,5 (7,0 Schneckenumdrehungen pro Sekunde) homogen für 180 sec vermischt wurden. Danach wurde der Leichtzuschlag 2 bei gleicher Mischgeschwindigkeit eingefüllt und für insgesamt weitere 180 sec vermischt. Anschließend wurde mit einer Froude Zahl von 0,9 (1,2 Schneckenumdrehungen pro Sekunde) der Leichtzuschlag 1 mit den Inhaltsstoffen der Leichtbetonmischung innerhalb von 240 sec. (ab Zugabe Leichtzuschlag 1) homogen zu einer Leichtbetonmischung vermischt.

20

25

Der Leichtbeton wurde in Formen gefüllt und für 20h in eine Aushärtekammer, die auf etwa 40 °C temperiert wurde, verbracht und danach ausgeschalt.

Zusammensetzung 8:

5

	Gew. %	kg/m³	Dichte	Liter
Wasser	13,75	218,62	1,00	218,62
Zement: CEM III B 42,5 L-LH	26,33	419,19	3,05	104,65
Kalksteinmehl < 0,63mm	6,29	100,20	2,65	37,81
Leichtzuschlag 2	21,89	348,30	1,28	272,12
Leichtzuschlag 1	2,00	31,8	0,187	170,05
Fasern	0,32	5,08	1,00	5,08
Fließmittel	0,32	5,08	1,00	5,08
Beschleuniger	0,31	4,93	1,00	4,93
Gesteinskörnung 0-2mm	28,62	455,65	2,65	171,94
Schwindreduzierer SRA	0,20	3,18	1,00	3,18
gesamt	100,00	1592,03		993,46

Die Leichtbetonmischung wies eine Fließfähigkeit von F4 sowie einen Wasser-zu-Bindemittelwert von 0,42 auf. Der so hergestellte Leichtbeton wies eine Trockenrohichte von 1.489 kg/m³ und eine mittlere Druckfestigkeit von 31 N/mm² nach 28 Tagen auf.

10

Erstaunlicherweise wurde bei den Versuchsreihen herausgefunden, dass zur Herstellung von Leichtbeton entsprechend dieser Erfindung bei Verwendung von gleichen Mengen CEM III B 42,5 L Zement anstatt CEM I 52,5 R Zement nahezu identische Festigkeitswerte hinsichtlich der Frühfestigkeit im Stundenbereich bis 24h und den Endfestigkeit nach 28 Tagen erzielt wurden, wenn bei der Herstellung vom Bindemittelleim ein CEM III B 42,5 Zement mit Froude Zahl > 100 die Gesteinskörnung bis 2 mm aus der Rezeptur mit vermischt wurde und die Aushärtung der hergestellten Produkte in einer Kammer bei konstanter Temperatur von 40 °C erfolgte.

15

20

Die Festigkeitssteigerungen gegenüber der Vermischung ohne Gesteinskörnung lagen nach 20h bei 51% und nach 28 Tagen = 27%.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Leichtbetonmischung, umfassend zumindest die folgenden Schritte:

5 (A) Zusammenbringen von zumindest Wasser und einer Bindemittelzusammensetzung,

wobei die Bindemittelzusammensetzung als Bindemittel zumindest Zement oder Geopolymere umfasst, und

10 Mischen mit einem schnell-laufendem Rührwerkzeug zur Herstellung einer Suspensionsmischung,

wobei das Gewichtsverhältnis von Wasser zu Bindemittelzusammensetzung in der Suspensionsmischung 1 : 5 bis 1 : 1, insbesondere 1 : 2 bis 2 : 3, beträgt;

wobei das Bindemittel mindestens 40 Gew.% der Bindemittelzusammensetzung, vorzugsweise mindestens 50 Gew.%, ausmacht,

15 wobei das Bindemittel als pulverförmiger Feststoff zugesetzt wird, und

(B) Zusammenbringen der Suspensionsmischung oder Anteilen der Suspensionsmischung mit zumindest Leichtzuschlägen oder Anteilen der Leichtzuschläge und

20 Mischen mit einem langsam-laufendem Rührwerkzeug zur Herstellung einer Leichtbetonmischung,

wobei die Leichtzuschläge eine Schüttdichte von 40 bis 1000 kg/m³, bevorzugt zwischen 50 bis 500 kg/m³ und insbesondere 60 bis 300 kg/m³ aufweisen, und

25 wobei das Mischen mit dem schnell-laufendem Rührwerkzeug mit einer Umfangsgeschwindigkeit erfolgt, die mehr als drei-mal so hoch ist wie die Umfangsgeschwindigkeit beim Mischen mit dem langsam-laufendem Rührwerkzeug.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Mischen mit dem langsam-laufendem Rührwerkzeug mit einer Froude-Zahl kleiner 2,5 und insbesondere kleiner 1,5, durchgeführt wird.

30

3. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Mischen mit dem langsam-laufendem Rührwerkzeug in einem Freifallmischer oder einem Konusmischer durchgeführt wird.

35 4. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Mischen mit dem schnell-laufendem Rührwerkzeug mit einer Froude-Zahl größer 10 und insbesondere größer 25 durchgeführt wird.

5. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Mischen mit dem schnell-laufendem Rührwerkzeug zum Erhalt der Suspensionsmischung in einem Suspensionsmischer durchgeführt wird.

5 6. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 4, wobei das Mischen mit dem langsam-laufendem Rührwerkzeug und das Mischen mit dem schnell-laufendem Rührwerkzeug jeweils in demselben Konusmischer und demselben Rührwerkzeug durchgeführt wird, jeweils bei unterschiedlicher Umfangsgeschwindigkeit.

10 7. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Bindemittel nur der Suspensionsmischung und insbesondere die Bindemittelzusammensetzung nur der Suspensionsmischung zugesetzt ist.

15 8. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zunächst 20 bis 70 Gew.%, insbesondere 40 bis 60 Gew.%, der Leichtzuschläge mit 20 bis 70 Gew.%, insbesondere 40 bis 60 Gew.%, der Suspensionsmischung dem Mischen mit dem langsam-laufendem Rührwerkzeug ausgesetzt werden und in der Folge in einem oder mehreren Schritten unter Fortführung des Mischens mit dem langsam-laufendem Rührwerkzeug die verbleibenden Leichtzuschläge und die verbleibende Suspensionsmischung zugegeben werden.

20 9. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei beim Zusammenbringen von Wasser und der Bindemittelzusammensetzung das Wasser vorgelegt wird und die Bindemittelzusammensetzung, vorzugsweise als pulverförmiger Feststoff, zugesetzt wird.

25 10. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei beim Zusammenbringen der Suspensionsmischung oder einem Anteil der Suspensionsmischung mit zumindest Leichtzuschlägen oder einem Anteil der Leichtzuschläge die Leichtzuschläge vorgelegt werden.

11. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Herstellung der Suspensionsmischung Füllstoffe in Form von Gesteinsmehl und/oder Gesteinskörnung 0-2 mm zugegeben werden und das Mischen mit dem schnell-laufende Rührwerkzeug vorzugsweise mit einer Froude Zahl größer 50 und insbesondere größer 100 durchgeführt wird, insbesondere für mindestens 30 sec., besonders bevorzugt mindestens 60 sec., wobei das Gesteinsmehl vorzugsweise in einer Menge von 50 bis 150 kg je m³ Leichtbetonmischung zugegeben wird, wobei die Gesteinskörnung 0-2 mm vorzugsweise in einer Menge von 100 bis 500 kg je m³ Leichtbetonmischung zugegeben wird.
12. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Herstellung der Suspensionsmischung 0,1 bis 4 Gew.%, vorzugsweise 0,5 bis 2 Gew.%, Fließmittel, vorzugsweise auf Basis von Polycarboxylaten, insbesondere Polycarboxylatethern, zugesetzt wird.
13. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Herstellung der Suspensionsmischung keine Leichtzuschläge zugesetzt werden.
14. Zusammenbringen der Suspensionsmischung mit einer Fließfähigkeit von zumindest F6 mit den Leichtzuschlägen und Mischen mit zumindest 1 Gew.% Leichtzuschlägen, vorzugsweise 2 bis 5 Gew.%.
15. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Suspensionsmischung 22 bis 40 Gew.% Wasser zugesetzt ist.
16. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Leichtzuschläge eine Korngröße im Bereich von 0 mm bis 6 mm als Korngruppen, insbesondere von 0 bis 2 mm, 0 mm bis 3 mm, 3 bis 5 mm oder 2 bis 8, mm entsprechend jeweils DIN EN 13055 aufweisen.
17. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Leichtzuschläge ausgewählt sind aus Blähperlit, Blähschiefer, Blähton, Blähglas, Altglas bzw. Siliziumdioxid/Rohperlit-Gemisch, Reisschalenasche und deren Mischungen.

18. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei auf die Leichtzuschläge vor dem Inkontaktbringen mit der Suspensionsmischung ein Hydrophobierungsmittel aufgebracht wird.

5

19. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Leichtzuschläge vor dem Inkontaktbringen mit der Suspensionsmischung mit Wasser befeuchtet werden, insbesondere durch Besprühen.

10 20. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Bindemittelzusammensetzung Hüttensandmehl als Bindemittelzusatz umfasst, vorzugsweise 60 bis 80 Massen%.

15 21. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Herstellung der Suspensionsmischung als Füller Gesteinsmehl zugegeben wird mit Partikeldurchmessern von 0,001 mm bis 0,1 mm, vorzugsweise bis 0,063.

20 22. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Bindemittelzusammensetzung Flugasche als Bindemittelzusatz und Zement als Bindemittel umfasst und die Flugasche vorzugsweise 10 bis 60 Gew.% der Bindemittelzusammensetzung ausmacht.

25 23. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Bindemittelzusammensetzung ein Geopolymer ist, umfassend
- 2 bis 25 Gew.% Alkalihydroxide und/oder Alkalisilikate und
- 75 bis 98 Gew.% Hüttensandmehl
oder
- 2 bis 20 Gew.% Alkalihydroxide und/oder Alkalisilikate und
- 60 bis 78 Gew.% Hüttensandmehl und
30 - 20 bis 38 Gew.% Flugasche.

24. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Bindemittelzusammensetzung Mikrosilika als Bindemittelzusatz und Zement als Bindemittel umfasst und das Mikrosilika in einer Menge zugesetzt wird, dass die
35 Konzentration des Mikrosilika 30 bis 50 kg/m³ in der Leichtbetonmischung ausmacht.

25. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Bindemittelzusammensetzung als Bindemittelzusatz durch Aufmahlen aufbereitete Reisschalenflugasche und als Bindemittel Zement umfasst und die Reisschalenflugasche 10 bis 60 Gew.% der Bindemittelzusammensetzung ausmacht.

26. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei kautisch gebranntes CaO und/oder kautisch gebranntes MgO in einer Menge von 1 bis 5 Gew.%, bezogen auf die Bindemittelzusammensetzung, zur Herstellung der Suspensionsmischung oder der Leichtbetonmischung zugesetzt ist.

27. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Leichtbetonmischung Graphen in einer Menge von 75 bis 650 g/m³ bezogen auf das Leichtbetongemisch zugesetzt ist und das Graphen vorzugsweise zumindest mehr als eine Graphen-Lage aufweist.

28. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Leichtbetonmischung Gesteinskörnungen mit Partikeldurchmessern von 0,01 bis 8 mm nach DIN EN 12620 umfasst.

29. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mit oder nach Zugabe der Leichtzuschläge Fasern aus organischen Polymeren, Glas, Kohle, Stahl oder Basalt mit einer Faserlänge von 2 bis 18 mm zugegeben werden.

30. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Leichtbetonmischung ein Luftporenbildner zugegeben wird.

31. Leichtbetonmischung, herstellbar nach einem Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche.

32. Verfahren zur Herstellung von Leichtbeton durch Aushärten einer Leichtbetonmischung, hergestellt nach einem Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, umfassend das hydraulische Aushärten der Leichtbetonmischung nach zumindest einem der vorgehenden Ansprüche in einer Form.

33. Verfahren nach Anspruch 32, wobei die Leichtbetonmischung in der Form in einer Klimakammer bei 30 °C bis 85 °C, bevorzugt 35 °C bis 60 °C, zumindest teilweise zum Leichtbeton aushärtet.

5

34. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 32 oder 33, wobei der Leichtbeton eine Trockenrohddichte zwischen 250 und 1.999 kg/m³ aufweist.

10

35. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 32 bis 34, wobei der Leichtbeton eine A-Zahl größer 500 aufweist.

15

36. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 32 bis 35, wobei die untere und die obere Schicht in der Form eine höhere Dichte als die nächstfolgende oder die nächstfolgende weiter innen liegenden Schicht aufweist.

20

37. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 32 bis 36, wobei eine Isolierung oder ein Hohlkörper in die Form eingebracht wird vor oder während dem Ausfüllen der Form mit der Leichtbetonmischung.

25

38. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 32 bis 37, wobei die Leichtbetonmischung in Steinformmaschinen in Formen eingebracht und durch Rütteln und/oder Pressen verdichtet wird und daraus Leichtbetonsteine hergestellt werden.

30

39. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 32 bis 38, wobei in die Form eine Bewehrung und/oder eine Transporthilfe eingelegt ist, insbesondere einer Stahl- und/oder Textilbewehrung, und vorzugsweise jeweils vor dem Einbringen der Leichtbetonmischung.

35

40. Leichtbeton als Bauteil herstellbar nach einem Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 32 bis 39.