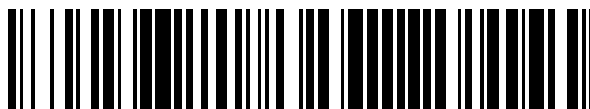


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 863 427**

51 Int. Cl.:

C04B 28/02 (2006.01)

C04B 28/04 (2006.01)

C04B 38/02 (2006.01)

C04B 40/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.04.2017** **PCT/DE2017/000099**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.10.2017** **WO17177996**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.04.2017** **E 17724311 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.01.2021** **EP 3442927**

54 Título: **Procedimiento para la fabricación de cuerpos moldeados de hormigón celular**

30 Prioridad:

11.04.2016 DE 102016106642

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

11.10.2021

73 Titular/es:

MEGAPORE R&D GMBH (100.0%)
Lennéstraße 1
10785 Berlin, DE

72 Inventor/es:

SIEVERS, THOMAS

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 863 427 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la fabricación de cuerpos moldeados de hormigón celular

- 5 La invención se refiere a un procedimiento para la fabricación de cuerpos moldeados de hormigón celular con un peso volumétrico de 100 a 1600 kg/m³, preferentemente de 200 a 800 kg/m³, en particular preferentemente de 350 a 650 kg/m³.

- 10 Los cuerpos moldeados de hormigón celular pueden formar elementos de pared o partes de elementos de pared que alcanzan en cada caso, referido a un cuerpo moldeado de hormigón celular, desde el suelo hasta el techo. El cuerpo moldeado de hormigón celular puede presentar escotaduras para ventanas, puertas o pasos, que se crearon mediante el uso de correspondientes moldes antes del endurecimiento.

Estado de la técnica

- 15 Los hormigones celulares y espumados son tipos de hormigón con densidad baja, los llamados hormigones ligeros. Ambos se producen a partir de componentes minerales de grano muy fino y se caracterizan por la presencia de una cantidad significativa de poros generados artificialmente y en la medida de lo posible cerrados, en forma de células llenadas de aire o gas. Las finas células, por regla general con diámetros promedio de 0,2 a 1,5 mm, han de estar distribuidas de modo uniforme en el cuerpo de hormigón y separadas por paredes intermedias delgadas y en la medida de lo posible estables, las cuales forman la matriz espacial portante del material de construcción. Debido a la baja densidad, los hormigones celulares y espumados son aislantes térmicos, presentan resistencias a la presión relativamente altas en relación con las densidades, son incombustibles y aislantes acústicos.

- 25 Con la denominación hormigón espumado se conocen del estado de la técnica hormigones ligeros, los cuales se producen mediante el uso de agua, agentes aglutinantes hidráulicos y espuma y por regla general aditivos para la mejora de la capacidad de flujo. Durante el proceso de mezcla se produce el hormigón espumado mediante la adición de un formador de espuma físico en una mezcladora de circulación forzada. Es posible no obstante también, producir en primer lugar una suspensión de agente aglutinante y mezclar entonces suspensión de agente aglutinante y espumas estables producidas mediante generador de espuma, dando lugar al producto final.

- 30 Una desventaja de estos productos es que en relación con hormigón celular se dan comportamientos de contracción mayores, una densidad más alta con la misma resistencia a la presión, una estructura de poros y tamaño de poros descontrolados, es decir, por regla general menos poros y tales de tamaño poco uniforme o la presencia de muchos poros unidos no separados unos de los otros, y un endurecimiento lento.

- 40 El hormigón celular, conocido anteriormente también como hormigón celular de gas o con la denominación Ytong®, es un material de construcción mineral relativamente ligero, altamente poroso, basado en un agente aglutinante hidráulico, por ejemplo, cal viva, cemento Portland y un componente de suplemento mineral, como arena de cuarzo finamente molida, así como agua. Para su fabricación se produce una mezcla de las sustancias mencionadas anteriormente añadiéndose un agente de expansión, se vierte la misma en un molde y tras la expansión se endurece en autoclave a temperaturas de entre 180 y 220 °C y una presión de claramente por encima de 2 bares hasta llegar a 12 bares durante 6 a 16 horas. El hormigón celular comprende poros de gas con diámetros de poro de 0,2 a 1,5 mm.

- 45 Los requisitos básicos del material de construcción hormigón celular están regulados en Alemania y parte de Europa en las normas DIN, DIN EN 771 1-4, DIN V 20000-404, DIN V 4165-100, DIN 4166 y DIN 4223. Existen actualmente las clases de resistencia normadas 2, 4, 6 y 8, lo que significa que la resistencia a la presión de los cuerpos moldeados de hormigón celular no puede quedar por debajo de una clase resistencia, medida respectivamente en N/mm², de 2, 4, 6 u 8. A cada clase de resistencia hay asignadas varias clases de densidad bruta. Estas densidades brutas máximas se encuentran para la clase de resistencia 2 entre 350 y 500 kg/m³, para la clase de resistencia 4 entre 500 y 800 kg/m³, para la clase de resistencia 6 entre 650 y 800 y para la clase de resistencia 8 en 800 kg/m³. A las clases de resistencia y densidades brutas hay asignada también respectivamente una clase de capacidad de conducción térmica, y en concreto para la clase de resistencia 2 de entre 0,09 y 0,12, para la clase de resistencia 4 de entre 0,12 y 0,21, para la clase de resistencia 6 de entre 0,16 y 0,21 y para la clase de resistencia 8 de 0,21 W/mK.

- 60 Los productos de hormigón celular ocupan en Alemania con importancia económica cada vez mayor, el puesto número tres en lo que se refiere a la cuota de mercado, de entre los materiales de construcción para mampostería. Desde hace mucho el hormigón celular está implantado no obstante también, como material de construcción internacional, y extendido mundialmente.

- 65 Una desventaja esencial del hormigón celular es el alto esfuerzo energético durante la fabricación a través de un endurecimiento por vapor en autoclave con sobrepresión, y debido a la molienda necesaria de la arena de cuarzo con una finura de molido de entre 5000 y 10000 Blaine, que representa una alta proporción de las materias primas usadas. Otra desventaja es la alta absorción de agua del hormigón celular tratado en autoclave, que no permite un

uso no protegido en zonas exteriores y húmedas y limita también el uso en caso de lluvia y/o alta humedad de aire. Una limitación adicional resulta en la fabricación de hormigón celular tratado en autoclave, debido a la forma constructiva y el diámetro de autoclaves. Debido a la fabricación en autoclaves, los cuerpos moldeados de hormigón celular han podido fabricarse hasta ahora solo sin dimensiones en la dimensión longitud. La altura o la anchura se determinan a través de la altura de expansión (< 75 cm), así como de las dimensiones de las autoclaves o moldes de vertido. La fabricación de paredes completas y techos con una anchura o altura de más de 75 cm, tal como es habitual en la industria de las piezas prefabricadas, de este modo no es posible.

Condicionado por la producción, tampoco es posible integrar superficies vistas, de uso y protección, en el proceso de fabricación. Alturas de expansión de más de 40 cm dan como resultado, debido a la producción, oscilaciones más altas de la densidad en la matriz, dado que actúa un peso mayor sobre las zonas inferiores. El número A de cuerpos moldeados de hormigón celular se encuentra en las clases de resistencia mencionadas anteriormente, por lo general en más de 500. Ni el hormigón espumado ni el hormigón celular presentan, debido a la alta absorción de agua, una resistencia al hielo. Del documento EP 0069095 A1 se conoce la producción de material aislante usando materiales de suplemento ligeros en forma de gránulos. Los gránulos como producto intermedio se producen mediante endurecimiento en autoclave a partir de hormigón celular de aire, endureciéndose bajo sobrepresión y triturándose posteriormente. Además de ello, se usan grandes cantidades de agua al producirse el hormigón celular de aire. El documento JP 2000271924 A divulga el endurecimiento de placas amortiguadoras de hormigón celular en autoclave a temperaturas, las cuales son más del doble de altas que en la presente solicitud.

Objetivo de presente invención

El objetivo de la presente invención es producir un hormigón celular con una baja densidad, baja absorción de agua y en la medida de lo posible, altos valores de presión. Al mismo tiempo ha de desarrollarse la producción de modo económico, es decir, usando materiales económicos, con esfuerzo de aparatos reducido y con bajo consumo de energía. Cuanto menor sea la densidad, mejor será la capacidad de conducción térmica. Cuanto más altos sean los valores de presión, más amplio será el ámbito de uso como material de construcción hasta llegar a material de construcción para construcciones.

Una alta capacidad de absorción de agua es no obstante desventajosa, y reduce los ámbitos de uso y empeora la capacidad de conducción térmica. Ha de evitarse también el uso de autoclaves. Han de incorporarse además de ello en el proceso de fabricación, superficies vistas, de uso y/o protección y no solo posteriormente en la obra en el estado construido.

Resumen de la presente invención

La invención se caracteriza por las reivindicaciones independientes. Son objeto de las reivindicaciones secundarias o se describen a continuación, formas de realización preferentes.

El procedimiento para la fabricación de cuerpos moldeados de hormigón celular comprende:

(a) la exposición de una composición comprendiendo al menos

- del 10 al 32 % en peso, en particular preferentemente del 18 al 25 % en peso, de agua, y
 - más del 5 % en peso, preferentemente más del 5 al 90 % en peso, en particular preferentemente del 10 al 80 % en peso, de cemento como agente aglutinante,
- a un proceso de mezclado en un mezclador para la obtención de una suspensión de agente aglutinante,

(b) exponer la suspensión de agente aglutinante, preferentemente en el mezclador, a un agente de expansión químico en forma de partículas, el cual genera a través de reacción química un gas, en particular reacción química con agua, para la obtención de una mezcla de hormigón celular, y

(c) llenado de un molde con la mezcla de hormigón celular, endurecimiento al menos parcial de la mezcla de hormigón celular en el molde en una cámara a temperatura elevada a presión ambiental en una atmósfera de vapor de agua, suministrándose vapor caliente para la fabricación de un cuerpo moldeado de hormigón celular endurecido, endureciéndose la mezcla de hormigón celular a una temperatura elevada de 50 a 85 °C en la atmósfera con contenido de vapor de agua.

Característica de la presente invención es la fabricación de los cuerpos moldeados de hormigón celular bajo presión ambiental. El uso de autoclaves no es necesario.

En primer lugar se produce a partir de una composición que contiene agua y al menos cemento, y dado el caso otros agentes aglutinantes de endurecimiento hidráulico o hidráulico latente y/o puzolánico, como cenizas volantes, dióxido de silicio amorfo, escoria granulada molida y/o puzolanas, un material mezclado (denominado en lo sucesivo también como suspensión de agente aglutinante) en un mezclador. El mezclador está configurado en particular como mezclador de suspensión.

A la suspensión de agente aglutinante se añade un formador de poros para el desarrollo de poros y para la obtención de la mezcla de hormigón celular. Esto puede producirse en el mismo mezclador una vez que mediante mezclado se ha logrado una suficiente disgregación de la composición. Como formadores de poros se usan agentes de expansión químicos, los cuales forman gases mediante reacción química. Ventajosamente se usan partículas de aluminio. Éstas pueden presentarse como polvo, como pasta o como dispersión en un líquido inerte.

La mezcla de hormigón celular se introduce, de manera preferente directamente desde el mezclador, el cual está configurado en particular como mezclador de suspensión, en moldes planos. Allí se produce en un primer paso, la expansión, configurándose los poros (fase de expansión).

El endurecimiento en los moldes preferentemente planos (altura por ejemplo inferior a 42,5 cm) se produce al menos parcialmente en cámaras, en las cuales la mezcla de hormigón celular se expone a una temperatura elevada (con respecto a la temperatura ambiente) y a una atmósfera de vapor de agua esencialmente a presión ambiental. De este modo puede lograrse un 80 % de la resistencia final en 16 horas. Dado que la producción no se produce en las habituales autoclaves alargadas, sino en moldes planos, los cuerpos moldeados de hormigón celular que pueden obtenerse de este modo, no están delimitados en relación con longitud y anchura.

Con el procedimiento de acuerdo con la invención es posible introducir en el molde, antes de llenar con la mezcla de hormigón celular, una mezcla endurecible, la cual forma una primera capa ("capa inferior"), por ejemplo en forma de una superficie de mortero para revoque. De igual modo es posible aplicar una mezcla endurecible sobre la ya endurecida previamente mezcla de hormigón celular, la cual conforma una segunda capa ("capa superior"). De este modo uno o los dos lados del producto final plano pueden equiparse con una capa de uso o de protección, que asume entonces por ejemplo la función de un revoque interior o exterior. La particular ventaja consiste en que esta capa de uso o de protección ya no ha de producirse en la obra, sino que puede producirse ya durante la producción. Estas capas pueden producirse independientemente de la mezcla de hormigón celular a partir de diferentes materiales y de este modo valorizar también ópticamente el producto final o hacerlo resistente al clima.

En general es la característica de capa superior y capa inferior, que su densidad es mayor a la densidad del hormigón celular, esta capa no presenta en particular aire o poros de gas.

Las capas superior e inferior tienen independientemente entre sí de manera respectiva normalmente grosores de capa promedio de entre 1 a 90 mm, en particular de 5 a 60 mm.

Descripción detallada de la invención

A continuación se explican los componentes de la mezcla de hormigón celular:

El agente aglutinante clínter de cemento Portland o "cemento" en el sentido de esta invención es una sustancia inorgánica, finamente molida, la cual, tras el amasado con agua, fragua de forma autónoma como consecuencia de reacciones químicas con el agua de amasado y se endurece (endurecimiento hidráulico) y tras el endurecimiento se mantiene también bajo agua sólido y estable en el espacio. Químicamente observado, el cemento es principalmente calcio ácido silícico con proporciones de compuestos de aluminio y hierro, que se presenta como mezcla de sustancias complicada.

Un cemento adecuado es por ejemplo cemento Portland. El cemento Portland está producido mediante la molienda de clínter y yeso o anhidrita, y consiste, desde el punto de vista químico, en aproximadamente del 58 al 66 % de óxido de calcio (CaO), del 18 al 26 % de dióxido de silicio (SiO₂), del 4 al 10 % de óxido de aluminio (Al₂O₃) y del 2 al 5 % de óxido de hierro (Fe₂O₃). Tras la calcinación de la cal (CaCO₃) dando lugar a óxido de calcio, en cuyo caso se libera CO₂, se forman durante el proceso de combustión en el horno rotativo a partir de estos componentes principales, minerales, los cuales son de decisiva importancia para las propiedades particulares del cemento.

Pueden usarse no obstante todos los cementos conocidos con las denominaciones cemento Portland CEM I, cemento compuesto Portland CEM II, cemento de alto horno CEM III, cemento puzolánico CEM IV y cemento compuesto CEM V.

Para lograr más rápidamente resistencias finales tempranas y altas es deseable un valor de agua con respecto a cemento (w/z (del alemán *Wasser/Zement*)) o valor de agua con respecto a agente aglutinante (W/B (del alemán *Wasser/Bindemittel*)) bajo en la suspensión de agente aglutinante.

Una magnitud tecnológica importante en la producción del hormigón celular de acuerdo con la invención es el valor de agua con respecto a cemento (abreviado: valor w/z) o valor de agua con respecto a agente aglutinante (abreviado: valor W/B), que determina de manera esencial la capacidad de procesamiento de la suspensión de agente aglutinante y las propiedades del producto final, como por ejemplo, su resistencia a la presión. El valor describe la relación entre la masa del agua de amasado y la masa de la sustancia sólida del agente aglutinante de una mezcla. Durante el proceso de mezcla han de superarse las fuerzas de fricción interiores, las fuerzas de unión entre las partículas, la resistencia al empuje de la mezcla y también las fuerzas de gravedad. Por esta razón las mezclas móviles con contenido de agua elevado pueden mezclarse con notable mayor facilidad en el estado

homogéneo. Ha podido observarse sin embargo, que un exceso de agua en la mezcla conduce a un empeoramiento de la calidad del producto final endurecido, en particular a una pérdida de resistencia y tiene como consecuencia un comportamiento de contracción mayor. El valor w/z (valor de agua con respecto a cemento) de la mezcla de acuerdo con la invención es preferentemente de por debajo de 0,5, preferentemente de por debajo de 0,47 y en particular de por debajo de 0,45.

Los formadores de poros de gas en el sentido de esta invención consisten preferentemente en aluminio, carburo de calcio, cal clorada, peróxido de hidrógeno y éster de etanolamina de ácidos grasos sintéticos. Son preferentes aluminio y compuestos de aluminio, los cuales forman hidrógeno con agua. Son formadores de poros químicos, aquellos que forman gases a través de reacción y se denominan por lo tanto en el presente documento de forma abreviada, formadores de poros de gas. La reacción puede provocarse mediante aumento de la temperatura, modificación del pH o reacción con otro reactivo, como agua.

Como formador de poros de gas para el hormigón celular de acuerdo con la invención sirve en particular polvo de aluminio y/o una pasta conteniendo aluminio. El aluminio reacciona con el agua y resulta hidrógeno, que expande la masa de agente aglutinante. A este respecto cada partícula de aluminio da lugar a la generación de un poro de gas. En dependencia de la finura de molienda resultan diferentes diámetros de poro. Cuanto más pequeña es la partícula de aluminio, más pequeño es el poro de gas.

En la producción de hormigón celular mediante el procedimiento de acuerdo con la invención se usa un formador de poros de gas, en particular uno tal, que presente al menos partículas de aluminio de un diámetro de partícula promedio de menos de 60 µm, preferentemente de menos de 40 µm y en configuración preferente inferior a 30 µm, pudiendo usarse partículas de diferente tamaño, por ejemplo una distribución de partículas distribuida al menos de forma bimodal con fracciones de partículas, las cuales tienen una proporción de diámetro de 1 a 2 hasta 5.

Debido al pequeño diámetro de partícula se garantiza que el diámetro de poro promedio está en el hormigón celular de acuerdo con la invención, por debajo de 0,8 mm, preferentemente por debajo de 0,4 mm y preferentemente más del 98 % de todos los poros son poros individuales con un diámetro de poro individual de menos de 0,6 mm.

Formadores de espuma o formadores de poros de aire usados dado el caso adicionalmente, pueden ser formadores de poros de aire basados en proteínas, formadores de espuma basados en agentes tensioactivos (formadores de espuma sintéticos) o formadores de poros de aire basados en enzimas. En caso de formarse durante el proceso de mezcla mediante adición de formadores de espuma, poros adicionales, entonces estos poros se denominan poros de aire a diferencia de aquellos poros de gas de más arriba formados por formadores de poros químicos, generándose en relación más poros de gas (en lo que se refiere a la cantidad) que poros de aire, en la matriz.

Son formadores de poros de aire adecuados, por ejemplo agentes tensioactivos proteicos, en particular hidrolizados de proteína, obtenidos en particular por degradación de colágeno y reacción con agentes de acilación adecuados.

El tamaño de poro tiene una influencia clara en la capacidad de soporte del hormigón celular. La resistencia aumenta al reducirse el diámetro de poro, dado que el desvío de la forma de poro de la forma de esfera ideal, se reduce. La distribución de tamaño de poro tiene de igual modo una influencia directa en el proceso de fallo del componente y con ello en la resistencia. En caso de poros más grandes, cae más rápidamente, al fallar piezas individuales, la superficie de sección transversal de matriz que queda, y el fallo definitivo se produce en caso de una carga total más baja. Puede reconocerse una caída clara de la resistencia en caso de diámetro de poro promedio más grande. Esto puede explicarse con cantidad decreciente de paredes de poro portantes por unidad de volumen al aumentar el volumen.

De ello puede concluirse que los poros de gas o de aire, para alcanzar una alta capacidad de carga y una reducida capacidad de conducción térmica, tienen un alto volumen de poros total en el hormigón celular y deberían tener un diámetro de poro individual promedio inferior a 0,6 mm.

La forma de poro debería de estar lo más próxima posible a la forma de esfera óptima. Los poros de aire tienen una forma más esférica cuanto menor es su diámetro. Tanto a través de expansión química, como también debido a forma de espuma física, pueden ajustarse de modo preciso y reproducible la cantidad necesaria, el tamaño de poro y las distribuciones de radio de poros de los poros de gas o de aire para lograr las propiedades físicas-mecánicas.

En el caso de la producción de hormigón celular de acuerdo con el procedimiento según la invención, los poros de gas y dado el caso también de aire, forman la parte esencial de la matriz total del hormigón celular terminado con una proporción de más del 40 % en volumen, preferentemente de más del 60 % en volumen, encontrándose la proporción de poros de gas en la proporción de poros total, preferentemente en más del 75 % en volumen.

El valor W/B de la mezcla de acuerdo con la invención está ventajosamente por debajo de 0,4, preferentemente por debajo de 0,38 y en particular por debajo de 0,35.

Las cenizas volantes en el sentido de esta invención son polvos con contenido de ácido silícico y cal, que se

separan en filtros electrostáticos para la limpieza de gases residuales en centrales eléctricas de carbón. Son sustancias típicas SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO y MgO . Las cenizas volantes ricas en ácido silícico consisten principalmente en dióxido de silicio particular amorfo esférico con propiedades puzolánicas y proceden por regla general de centrales alimentadas con carbón. Las cenizas volantes ricas en cal son polvos de grano fino con propiedades hidráulicas y/o puzolánicas. Proceden sobre todo de instalaciones alimentadas con lignito. Para aumentar la reactividad, las cenizas volantes pueden también molerse más finamente. Es también posible usar ceniza volante de la combustión de cáscaras de arroz.

La reacción puzolánica de ceniza volante se caracteriza por un desarrollo de reacción más lento en comparación con la hidratación de cemento Portland y es dependiente del valor de pH y de la oferta de hidróxido de calcio. En combinación con cemento Portland y agua, la puzolana reacciona con el hidróxido de calcio, el cual resulta durante la hidratación de cemento Portland y representa en muchos aspectos el componente más débil de la piedra de cemento. Por este motivo, la conversión de sustancias de las puzolanas está influida por el grado de hidratación del cemento. Pasan al lugar del hidróxido de calcio fases CSH, las cuales ofrecen una contribución a la resistencia y conducen al mismo tiempo a una reducción de la proporción de poros capilares en la piedra de cemento.

A esta reacción puzolánica va unida también una modificación de los poros de la piedra de cemento. Bien es cierto que el espacio de poros total en la piedra de cemento no cambia o lo hace solo mínimamente, queda influido no obstante positivamente, el tamaño de los poros.

La escoria granulada en el sentido de esta invención es un material sólido en forma de polvo. Al fundirse mineral de hierro en alto horno resulta escoria de alto horno. Mediante granulación, es decir, mediante enfriamiento rápido de la escoria líquida caliente hasta los 1.500 °C, con agua, resulta escoria granulada, una sustancia predominantemente solidificada vidriada, hidráulica latente. Finamente molida, la escoria granulada desarrolla en caso de correspondiente excitación (por ejemplo a través del hidróxido de calcio del clínker de cemento) propiedades hidráulicas. Cuanto más fina está molida, mayor es la reactividad. Para la excitación de escorias granuladas pueden usarse también activadores alcalinos.

La reacción hidráulica latente de la escoria granulada conduce a que el endurecimiento inicial del cemento, al aumentar el contenido de escoria granulada en la mezcla, se desarrolle más lentamente. Dado que la escoria granulada muestra sin embargo en estado de hidratación avanzado, aún un avance de reacción claro, los cementos ricos en escoria granulada presentan un endurecimiento posterior mayor tras 28 días, que los cementos Portland.

El dióxido de silicio amorfo o microsilíce consiste en partículas amorfas finas y está disponible por ejemplo a partir de polvo de sílice, el cual resulta durante la producción de silicio o aleaciones de silicio. El material de partida para ello es por ejemplo cuarzo, el cual se funde junto con carbón en hornos eléctricos a temperaturas a partir de 2500 °C. Además de ácido silícico pirogénico, se conocen también ácidos silícicos de precipitación.

Las puzolanas en el sentido de esta invención son sustancias con contenido de ácido silícico o contenido de ácido silícico y alúmina de existencia natural. Tienen origen volcánico (por ejemplo, tierra de trass, lava) o se obtienen de arcillas, pizarra o roca sedimentaria (fonolita). Las puzolanas no tienen capacidad de endurecimiento propio. Reaccionan dando lugar a compuestos de formación de resistencia y no solubles en agua, solo cuando tras amasarse con agua entran en contacto con hidróxido de calcio (a modo de ejemplo, del clínker de cemento Portland). Las puzolanas se usan como puzolana natural (P) o como puzolana atemperada natural (Q) (tratada térmicamente) (por ejemplo, fonolita) para la producción de cemento. La pizarra calcinada (T), en particular pizarra bituminosa calcinada, se produce en un horno especial a temperaturas de aproximadamente 800 °C a partir de recursos de pizarra naturales.

Finamente molida, la pizarra calcinada tiene acusadas propiedades hidráulicas, junto a ello no obstante también, puzolánicas.

A la mezcla de hormigón celular de acuerdo con la invención hay añadido ventajosamente óxido de calcio (CaO) y/u óxido de magnesio (MgO). CaO y MgO finamente molidos y calcinados cáusticamente se hinchan en el proceso de endurecimiento, así como también tras el endurecimiento, y sirven en la mezcla de hormigón celular para la minimización de la contracción y pueden por lo tanto usarse de modo preciso contra la formación de grietas.

Se diferencia en general entre calcinado blando, calcinado medio (llamado también "caústico") y calcinado duro. A través de la temperatura de calcinación se obtienen diferentes reactividades, que tienen efectos en lo que se refiere al uso en correspondencia con esta invención. Los desarrollos de reacción durante el calcinado blando tras contacto con agua son por ejemplo rápidos y contundentes, durante el calcinado medio, más lentos. El uso de productos calcinados cáusticamente da lugar a una expansión ya en la fase de endurecimiento, pero también en el estado endurecido, y hace frente debido a ello a una formación de grietas. El óxido de calcio y el óxido de magnesio de calcinado duro no alcanzan estas altas propiedades de expansión.

Es conocido en la producción de hormigón el comportamiento de contracción, el cual resulta de la contracción autógena de la piedra de cemento y de la contracción como consecuencia de la pérdida de agua. Durante la

producción del hormigón celular de acuerdo con la invención se usa por lo tanto un valor de agua/cemento o valor de agua/agente aglutinante lo más reducido posible.

Sorprendentemente durante la producción del hormigón celular de acuerdo con la invención ha resultado que una adición precisa de MgO o de CaO minimiza, o incluso evita, el comportamiento de contracción y la formación de grietas condicionada por éste, cuando se añade una suficiente cantidad. Es decisivo en este sentido que la expansión en el hormigón celular de acuerdo con la invención no se desarrolle en una matriz sólida y debido a ello destruya la misma, sino que en particular pueda actuar sobre los poros generados.

La cantidad de adición pudo determinarse mediante series experimentales.

Por cada kg de adición de MgO o CaO a 1 m³ con las medidas 1 x 1 x 1 metros (altura x anchura x longitud) resulta una expansión en la matriz de 0,02019 mm/metro.

De este modo con la siguiente fórmula puede minimizarse o incluso evitarse de forma controlada el comportamiento de contracción del hormigón celular de acuerdo con la invención.

Expansión por kg de MgO o CaO por m ³	0,0202 mm
contracción autógena por kg de cemento/m ³	0,0015 mm
significa por kg/m ³ de cemento adición de MgO/CaO	0,0731 g

Dado que CaO y/o MgO calcinados cáusticamente dan lugar durante el desarrollo temporal a una expansión adicional, es posible también compensar la llamada contracción de secado. Para ello se representa el siguiente ejemplo:

contracción de secado = 1,2 ‰ o 1,2 mm/m
significa adición de 60 kg x 0,202 mm expansión = 59,41 kg

Aditivos de hormigón en el sentido de esta invención son sustancias, las cuales se añaden al hormigón de forma finamente distribuida (líquido, en forma de polvo, en determinados casos también como granulado o como pasta) en cantidades reducidas, para influir mediante actuación química o física en determinadas propiedades del hormigón fresco o del hormigón endurecido. Como aditivos de hormigón en el sentido de la invención pueden añadirse plastificantes de hormigón, retardadores, aceleradores de solidificación, aceleradores de endurecimiento, fluidificantes, ácido proteico, agentes sellantes y/o agentes estabilizantes orgánicos e inorgánicos.

Se mencionan clasificados por grupos, policarboxilatos, en particular éter de policarboxilato (PCE), sulfonatos de lignina (también ácido lignosulfónico), sulfonatos de melamina-formaldehído, sulfonatos de naftalina-formaldehído, ácidos hidroxicarboxílicos y sus sales (plastificantes de hormigón), agentes tensioactivos, como por ejemplo sustancias activas en superficie basadas en productos naturales modificados, como jabones de resina de raíz (formadores de poros de aire), así como además emulsiones de siloxanos/alquilalcoxisilanos reactivos, ácidos grasos, sales de ácidos grasos, polímeros (dispersiones de resinas sintéticas), pigmentos de color, fibras de coco, fibras de aceite de palma, fibras de vidrio u otras fibras y sus mezclas.

Pueden ser también, además de ello, parte de la suspensión de agente aglutinante, suplementos ligeros como espuma preparada, poliestireno expandido, arcilla expandida, arena de caldera, perlita expandida, gas expandido, pizarra expandida, piedra pómez, lava espumada, residuos de aserrado y recortes endurecidos de la producción de hormigón celular del procedimiento de acuerdo con la invención.

Mediante la adición de llamados agentes de hidrofobización es posible reducir claramente la absorción de agua capilar de productos de hormigón celular en correspondencia con esta invención. Son adecuados hidrofobizadores basados en silano y siloxano, así como agentes de hidrofobización basados en sales alcalinas o alcalinotérreas o de aluminio de ácido graso saturado o insaturado (más de 10 átomos de carbono), también en combinación. Es particularmente preferente para la producción del hormigón celular de acuerdo con la invención, la adición de un agente de hidrofobización, basado por ejemplo en oleato de sodio y diestearato de calcio, respectivamente solos o en combinación.

Otros agentes de hidrofobización son ceras oxidadas. Característica del agente de hidrofobización es un resto orgánico o componente hidrófobo relativamente largo (más de 10 átomos de carbono) referido a un grupo polar (como COOH o COOM, M = catión, por ejemplo, catión metálico).

El agente de hidrofobización se usa en una cantidad total de menos de 0,1 % en peso, en particular de menos de 0,07 % en peso, referido a la cantidad de agente aglutinante, así como de manera particularmente adecuada mediante incorporación adicional de un agente tensioactivo (en particular iónico), basado por ejemplo en laurilsulfato de sodio, por ejemplo en una cantidad de adición de menos de 0,1 % en peso, en particular de menos de 0,05 % en peso, referido a la cantidad de agente aglutinante.

Sorprendentemente ha resultado en el caso de formulaciones comparativas con y sin adición de hidrofobizadores, que las mezclas producidas con aditivos de hidrofobización tienen como resultado ventajas en lo que se refiere a la estabilidad de mezcla y la geometría de poros, así como la homogeneidad de poros y conformación de poros.

- 5 Otro efecto que puede ser medido es la absorción de agua en la matriz de hormigón celular, medida mediante secado en el armario de secado a 105 °C directamente tras la producción. Los hormigones celulares de acuerdo con esta invención presentan sin hidrofobizadores una pérdida de masa de entre el 17 y el 24 %.

- 10 Los hormigones celulares de acuerdo con esta invención presentan durante la mezcla de hidrofobizadores una pérdida de masa de por término medio el 10 % y por debajo. Esto significa que con ello se influye positivamente de forma decisiva en la contracción por secado, dado que la pérdida de agua representa una parte esencial en la contracción por secado.

- 15 Cuanto menor sea la tensión de superficie permanente del agua, menor será la medida de contracción. Para ello pueden usarse los llamados agentes SRA (del inglés *shrinking reduction agent*, agente de reducción de contracción) basados en polipropilenglicol, neopentilglicol, polietilenglicol o derivados de propilenglicol. Investigaciones a largo plazo han dado como resultado que la medida de contracción puede minimizarse de este modo a razón de hasta 40 %.

- 20 Polímeros súperabsorbentes (SAP, del alemán *superabsorbierende Polymere*) mezclados en el hormigón absorben agua, la almacenan y la evacúan lentamente a la pasta de cemento circundante. El agua absorbida por los SAP ha de añadirse adicionalmente durante el amasado, dado que de lo contrario se reduce la capacidad de procesamiento del hormigón fresco. Esta agua se encuentra a disposición para la hidratación, da lugar a un tratamiento posterior interior y reduce la contracción. Durante la hidratación se secan las partículas y dejan, dependiendo del tamaño de
25 partícula y de la capacidad de absorción de agua, finos poros de aire. Debido a ello los SAP pueden aumentar la resistencia al hielo/sal de deshielo en el hormigón, altos contenidos reducen no obstante también la resistencia. Son habituales concentraciones de menos de 1,0 % en peso de la proporción de cemento. El polvo blanco de grano grueso es, desde el punto de vista químico, por ejemplo una mezcla de ácido acrílico y acrilato de sodio con tamaños de partícula dependiendo del tipo de producción, de 20 a 1000 µm.

- 30 Puede ser también parte de la suspensión de agente aglutinante del procedimiento de acuerdo con la invención, arena de cuarzo de tamaño de grano de como máximo 2 mm y en particular arena de cuarzo finamente molida como harina de cuarzo, preferentemente con un valor Blaine a partir de 1000 y por debajo.

- 35 Cuanto mayor sea la proporción de harina de cuarzo o arena de cuarzo fina en la formulación, menor será la medida de contracción por secado. Estudios comparativos entre formulaciones, las cuales contienen en relación con la masa de agente aglutinante entre el 20 y el 25 % de harina de cuarzo, presentan una medida de contracción por secado a razón de al menos el 35 % menor.

- 40 Pueden ser además de ello parte de la mezcla de hormigón celular fibras de diferente longitud de hasta 18 mm, de diferentes materiales, para influir positivamente en el comportamiento de contracción y mejorar la cohesión de la matriz.

- 45 La fabricación de los cuerpos moldeados de hormigón celular comprende al menos los siguientes pasos (no concluyentes):

- a) unir los componentes y mezclar para obtener la suspensión de agente aglutinante
- b) adición de formadores de poros a la suspensión de agente aglutinante para la obtención de la mezcla de hormigón celular
- 50 c) poner a disposición un molde, el cual está provisto, dado el caso para la configuración de una capa inferior, ya de una mezcla de endurecimiento, e introducción de la mezcla de hormigón celular en el molde
- d) realización de la reacción de expansión y formación de poros (fase de expansión) en el molde
- e) (continuación del) endurecimiento de la mezcla de hormigón celular expandida en el molde al menos parcialmente en cámaras (un endurecimiento parcial se produce ya también en el paso d)), comprendiendo el
55 endurecimiento en particular una fase de reposo, una fase de calentamiento, una fase de endurecimiento y una fase de enfriamiento como parte del proceso de endurecimiento,
- g) dado el caso aplicación de una capa superior (dado el caso también durante el paso f)) y
- h) desmoldar el cuerpo moldeado de hormigón celular.

- 60 La producción de la suspensión de agente aglutinante y preferentemente también de la mezcla de hormigón celular se produce mediante unión de los componentes descritos más arriba y mezcla en un mezclador. El mezclador es preferentemente un mezclador de suspensión de giro rápido (denominado en ocasiones también como mezclador coloidal).

- 65 La temperatura inicial de la suspensión de agente aglutinante es importante para el desarrollo de la resistencia durante la resistencia inicial. La reacción de un componente de aluminio o metal de grano fino en una suspensión

alcalina es exotérmica y aumenta la temperatura de la suspensión. Dado que los hormigones celulares por regla general no comprenden ningún granulado de roca mayor a 4 mm, por regla general no puede introducirse calor en la suspensión a través de éstos.

- 5 Los mezcladores de suspensión son conocidos en sí. En el documento DE 102011102988 se describe un mezclador de suspensión y un procedimiento para la producción de mezclas coloidales. Se hace referencia a este derecho de protección y a su contenido de divulgación por referencia también al objeto de la presente invención. El mezclador de suspensión de acuerdo con la invención está ventajosamente configurado adicionalmente de tal modo que durante la producción de la suspensión pueden detectarse la temperatura, la viscosidad, así como el valor de pH automáticamente. Pueden obtenerse también mezcladores de suspensión adecuados de la empresa MAT (MAT Mischanlagentechnik GmbH).

- 15 Una viscosidad adecuada de la suspensión resulta en caso de selección y composición adecuada de los componentes de mezcla (compárense reivindicaciones), orden de mezcla adecuado y usando un mezclador de suspensión, de modo que la suspensión presente durante el tiempo de la formación de poros una suficiente movilidad, disponga al mismo tiempo no obstante también de la necesaria plasticidad para hacer frente a la pretensión de los poros en formación, de abrir las células individuales y formar recorridos transversales para escapar el gas al entorno.

- 20 El proceso de mezcla consiste preferentemente en que en un mezclador de suspensión se agite con una velocidad periférica de más de 4 m/segundo, en particular de 6 a 20 m/segundo, en particular preferentemente de 8 a 15 m/segundo, para la obtención de una suspensión de agente aglutinante, también independientemente de ello, durante al menos 2 minutos, preferentemente 4 a 6 minutos, a las velocidades perimetrales mencionadas anteriormente. De este modo pueden generarse suspensiones de agente aglutinante ricas en sustancias sólidas, de baja viscosidad.

- 30 Sorprendentemente se comprobó en mezclas comparativas entre la producción de suspensiones de agente aglutinante en mezcladoras de circulación forzada y la producción en mezcladores de suspensión en correspondencia con esta invención, que en caso de temperaturas de hormigón idénticas, la solidificación, así como endurecimiento de las mezclas, producidas con el mezclador de suspensión, se produce en general esencialmente de forma más rápida que en el caso de mezclas, las cuales fueron producidas mediante mezcladoras de circulación forzada habituales. Se comprobó además de ello, que mezclas producidas mediante mezcladores de suspensión, presentaron una viscosidad esencialmente menor. En otros análisis más profundos se comprobó que este efecto aumenta cuanto más juntas y más a menudo pueden experimentar fricción las partículas de sustancia sólida durante el mezclado, es decir, cuanto más bajo es el valor de agua/agente aglutinante y cuanto más larga es la duración de mezclado.

- 40 Una explicación para las reacciones de desarrollo esencialmente más rápido durante la producción del hormigón celular de acuerdo con la invención mediante mezclador de suspensión, es que mediante el uso del mezclador de suspensión, la capa de hidratación que se forma en caso de contacto de agua con cemento se "retira" al menos parcialmente a través de los efectos mencionados anteriormente y debido a ello el agua entra en contacto más rápidamente con el grano de cemento/agente aglutinante.

- 45 En el paso de procedimiento de acuerdo con la invención, de la producción de la suspensión mediante mezclador de suspensión, se posibilita por lo tanto disolver más rápidamente la primera capa de hidratación, la cual se forma directamente tras contacto con agua, mediante selección de un mezclador de suspensión adecuado, así como del valor de agua/cemento o agua/agente aglutinante y correspondiente velocidad de mezcla, así como dado el caso un tratamiento de ultrasonidos durante el proceso de mezcla, y debido a ello acelerar el proceso de hidratación y con ello también elevar más rápidamente el valor de pH de la solución y liberar agua ya ligada para desarrollos de reacción adicionales y una viscosidad más alta. Es desconocido hasta ahora el aumento de la resistencia inicial para la producción de hormigón celular en correspondencia con esta invención mediante el uso de un mezclador de suspensión usando valores de agua/cemento o agua/agente aglutinante bajos, así como altas velocidades de mezcla y dado el caso el uso de ultrasonidos.

- 55 Magnitudes tecnológicas importantes para la producción del hormigón celular de acuerdo con la invención son la viscosidad de la suspensión, la densidad de la suspensión y la temperatura de la suspensión (referido respectivamente a la suspensión de agente aglutinante).

- 60 La mezcla de los formadores de poros químicos en la suspensión de agente aglutinante para la obtención de la mezcla de hormigón celular se produce en un mezclador adicional o en el mismo mezclador, en particular cuando el primer mezclador está configurado como mezclador de suspensión. Se descubrió sorprendentemente que en el mezclador, en particular en el mezclador de suspensión, pueden producirse de modo sencillo y rápido hormigones celulares con poros de aire adicionales, sin que para ello tenga que generarse la espuma anteriormente y/o en paralelo y/o posteriormente mediante generadores de espuma y/o añadirse a la suspensión de agente aglutinante en un mezclador separado, porque la espuma se produce de modo sencillo y rápido mediante adición del formador de espuma al primer (único) o a un segundo mezclador y antes y/o tras adición del agente aglutinante, dando como

resultado la adición del formador de espuma tras la producción de la suspensión de agente aglutinante y antes de obtenerse la mezcla de hormigón celular, ventajas de resistencia.

En una realización preferente de la producción del hormigón celular de acuerdo con la invención, la suspensión de agente aglutinante se introduce en el molde de vertido (molde), el molde de vertido se lleva a la cámara de endurecimiento, entonces se produce una fase de reposo de 1 a 3 horas en condiciones de temperatura controladas, que evitan una salida de calor, antes de que se produzca un aumento de temperatura durante un tiempo de entre 2 a 4 horas en forma de una rampa, manteniéndose a continuación la temperatura seleccionada en la cámara de endurecimiento mediante vapor caliente y produciéndose hacia el final del proceso de endurecimiento una fase de enfriamiento de al menos 1 hora.

La mezcla de hormigón celular se introduce en moldes planos. La producción de hormigón celular en correspondencia con el procedimiento inventivo puede producirse tanto en relación con la longitud, anchura y altura en moldes de vertido de formato vertical, como también preferentemente en unos de gran tamaño, en relación con longitud, anchura y altura. Los moldes están preferentemente abiertos por arriba.

Son preferentes moldes con una anchura y altura de respectivamente más de 1 m, preferentemente de respectivamente más de 2 m. La altura está limitada preferentemente a 42,5 cm, dado que esto permite una densidad más uniforme de la matriz de hormigón celular frente a la fabricación en moldes de vertido más altos, dado que actúa menos peso sobre la matriz inferior. Además de ello, esto tiene la ventaja frente a la fabricación en moldes de vertido de formato vertical, que tras la introducción de la mezcla de hormigón celular, los moldes de vertido de formato plano pueden apilarse en almacenes de estantes en altura, estando configurados los almacenes de estantes en altura como cámara de endurecimiento para el procesamiento de temperatura.

En el molde pueden disponerse armaduras, por ejemplo de acero, antes de introducirse la composición de hormigón celular. El hormigón celular fluye alrededor de la armadura y rodea ésta tras endurecimiento. La armadura tiene en particular la función de una armadura de transporte, para que el cuerpo moldeado de hormigón celular endurecido pueda ser transportado más tarde, por ejemplo con una grúa.

La armadura presenta en la zona del canto exterior del cuerpo moldeado de hormigón celular un elemento de acoplamiento, por ejemplo en forma de una rosca, que es accesible desde el exterior. La armadura puede configurarse no obstante también como armadura que puede ser dispuesta estáticamente y presentar diferentes geometrías.

De acuerdo con otra forma de realización, el cuerpo moldeado de hormigón celular presenta escotaduras para puertas, ventanas o pasos. Éstas pueden producirse mediante colocación de piezas de encofrado en el molde. Para las ventanas o pasos pueden disponerse los armazones o componentes de armazón directamente en el molde.

Pueden disponerse además de ello, tubos de suministro en el molde, por ejemplo en forma de tubos de material plástico, y se fijan allí antes de introducirse la composición de hormigón celular con capacidad de flujo.

En la fase de expansión el formador de gas reacciona químicamente y desarrolla los poros. Esto se produce por regla general a temperatura ambiente. La fase de expansión queda finalizada por regla general tras 1 h. La fase de expansión se lleva a cabo preferentemente a temperatura ambiente (20 °C) o en una cámara ajustada a temperatura de entorno de 20 a 40 °C. La fase de expansión es normalmente de al menos 20 min.

A la fase de expansión se une una fase de reposo como parte del proceso de endurecimiento. Durante la fase de reposo no se produce ya ningún aumento de longitud o de grosor. Durante la fase de reposo ha de prestarse atención a que la masa de hormigón celular expandida parcialmente endurecida no colapse. Un movimiento, por ejemplo en forma de un desplazamiento, ha de evitarse. La temperatura de entorno del molde debería corresponderse preferentemente al menos con la temperatura de la masa de hormigón celular (que se ha calentado debido a la hidratación y/o formación de poros) en la superficie, preferentemente ser a razón de 10 a 20 °C más alta. Esto hace necesario por regla general un calentamiento del entorno a razón de 10 °C a 20 °C con respecto a la temperatura de entorno durante la fase de expansión. En la fase de reposo no se supera una temperatura de 35 a 45 °C.

La fase de reposo tiene una duración de preferentemente 60 a 240 minutos, preferentemente de 120 a 180 minutos. A la fase de reposo se une una fase de calentamiento. La fase de calentamiento puede comenzar por ejemplo cuando la mezcla de hormigón celular, debido a la hidratación exotérmica, experimenta un aumento de la temperatura, sin experimentar desde el exterior un gradiente de temperatura. En la fase de reposo el entorno es aire del entorno.

En la fase de calentamiento, que ocurre en la cámara, se calienta la masa de hormigón celular endurecida parcialmente con un gradiente de temperatura de cómo mucho 20 °C por hora, referido a la temperatura del gas de vapor conducido a la cámara. Una temperatura de inicio típica para la fase de calentamiento es de 35 °C a 45 °C y termina como máximo en 60 a 85 °C. El extremo inferior del intervalo de 60 a 85 °C, es decir, el intervalo de 50 a 60

°C es preferente para hormigones celulares, basados en el peso, basados sobre todo en cemento en relación con ceniza volante, el extremo superior de 70 a 85 °C para hormigones celulares, los cuales, en relación con el peso, contienen más ceniza volante que cemento.

A la fase de calentamiento se une la fase de endurecimiento, la cual ocurre igualmente en la cámara. Durante ésta se mantiene el cuerpo de hormigón celular a +/- 10 °C (preferentemente +/- 3 °C) de la temperatura del extremo de la fase de calentamiento, preferentemente durante 120 a 240 minutos. Éstas son temperaturas de 50 a 85 °C, preferentemente para 60 a 85 °C. Durante la fase de calentamiento y la fase de endurecimiento, el entorno está saturado con vapor de agua y el ajuste de temperatura se produce mediante vapor caliente introducido mediante

La fase de enfriamiento se inicia preferentemente mediante inyección de agua más fría en la cámara. El enfriamiento se produce preferentemente con 10 a 30 °C por hora en relación con la cámara. El tiempo de permanencia del cuerpo celular en la cámara en la fase de enfriamiento es de al menos 30 minutos, preferentemente de al menos 60 minutos.

El endurecimiento y terminación de endurecimiento del hormigón celular de acuerdo con la invención se produce en cámaras de endurecimiento (denominadas aquí también cámaras climáticas o únicamente cámaras).

Las cámaras de endurecimiento son cámaras, en las cuales se almacenan los moldes de vertido tras la introducción de la suspensión, y las cuales disponen de una tecnología, la cual permite generar de forma precisa y controlada por programa, calor y humedad en la cámara. En este sentido se guía preferentemente vapor caliente a la cámara, pudiendo medirse la temperatura de la cámara y, cuando sea deseado, también la temperatura del hormigón celular y produciéndose un aumento continuo, controlado en el tiempo, de la temperatura de la cámara hasta la temperatura de cámara predeterminada y manteniéndose constante esta temperatura de forma controlada en el tiempo, durante un tiempo predeterminado.

La cámara presenta de acuerdo con una forma de realización preferente, varias puertas, en particular para cada molde una puerta, la cual se abre para alojar el molde y preferentemente también para entregarlo tras el tratamiento en la cámara, hacia el exterior.

En una forma de realización preferente, la cámara permite apilar varios moldes unos sobre los otros y exponerlos al mismo tiempo a la temperatura y humedad deseada, por ejemplo de 2 a 6 moldes. Varias cámaras pueden estar configuradas como torre, en cuanto que las cámaras se disponen unas sobre las otras.

En el caso de sustancias de fraguado hidráulico con proporción principal de cemento, el endurecimiento se desarrolla esencialmente en 3 pasos del siguiente modo. En primer lugar se produce la solidificación (aproximadamente 1 hora), tras ello el fraguado (aproximadamente 12 horas) y entonces del endurecimiento (28 días hasta alcanzar la resistencia estándar). En caso de usarse ceniza volante y escoria granulada como aditivo de hormigón o como material de sustitución parcial de cemento, el desarrollo de la resistencia se produce más lentamente, la resistencia estándar se alcanza por ejemplo solo tras 56 días. En general se produce un endurecimiento posterior adicional. Tras aproximadamente 60 minutos se ajusta por regla general un aumento de temperatura adicional debido a la hidratación de desarrollo rápido en este intervalo de temperaturas.

El desencofrado de los cuerpos moldeados de hormigón celular puede producirse solo una vez que se alcanza una suficiente resistencia en el molde. El momento más temprano es al alcanzar una llamada "resistencia básica". Ésta puede medirse mediante penetrómetro. El penetrómetro es un medio de medición para la determinación de la resistencia de penetración de un cuerpo en otro y se usa para la comprobación del estado de endurecimiento y de la capacidad de corte.

Un objetivo del procedimiento de acuerdo con la invención es acelerar el desarrollo de la resistencia, para permitir tanto un desencofrado rápido, como también permitir un endurecimiento muy acelerado con respecto al desarrollo de resistencia conocido, de los productos de hormigón celular de acuerdo con la invención, de modo que el proceso de endurecimiento, en relación con la resistencia final, quede finalizado en al menos un 80 % tras 12 horas.

Sorprendentemente ha resultado en pruebas comparativas entre hormigón celular de casi igual densidad producido con el procedimiento de acuerdo con la invención, y hormigón celular producido con autoclaves, que la absorción de agua capilar, examinada de acuerdo con DIN EN 772-11, es en el hormigón celular producido de acuerdo con la invención menos del 50 % con respecto a hormigón celular producido mediante autoclaves. Más sorprendente aún fue la diferencia de la absorción de agua, examinada de acuerdo con DIN EN 772-11, tras 36 horas. El hormigón celular de acuerdo con la invención ha absorbido en dependencia de la formulación entre el 4 % y el 25 % de peso en masa de agua, aquel mediante autoclave más del 50 % de peso en masa de agua.

La solidificación y endurecimiento del hormigón celular de acuerdo con la invención pueden acelerarse con respecto a la solidificación y endurecimiento a temperaturas de por debajo de 15 °C o menos, cuando la temperatura de suspensión de agente aglutinante es antes de la adición del formador de poros de más de 15 °C, en particular de

más de 20 °C. Es ventajoso también por regla general cuando se evita una posterior salida de calor y transporte de humedad hacia el exterior del hormigón celular durante el fraguado, solidificación y endurecimiento. Mediante las reacciones exotérmicas de la hidratación de los agentes aglutinantes, así como del formador de poros, aumenta la temperatura de hormigón en 60 minutos a razón de otros 6 a 12 °C, mientras la formación de poros finaliza durante este tiempo. Los poros de gas y de aire que se forman generan una capacidad de conducción térmica reducida del hormigón celular ahora formado.

Una salida de calor puede reducirse o evitarse a través de diferentes medidas, por ejemplo mediante moldes aislados o a través de una temperatura de entorno, la cual es al menos igual de alta. Cuando el hormigón endurece en moldes aislados, los cuales tras alcanzarse la resistencia básica se cierran por todos los lados, de modo que no pueda salir agua del molde, se alcanzan las temperaturas mencionadas anteriormente a través de procesos exotérmicos y se mantienen durante un periodo más largo de hasta 24 h.

Un aumento de la temperatura puede lograrse no obstante también, a través de otras medidas de tratamiento térmico adecuadas. Forman parte de ellas por ejemplo, cámaras de calentamiento sin y en particular con vapor de agua, calentamiento de los moldes, aprovechamiento de radiación solar directa, etc.

También es posible configurar en el proceso de producción de la producción del proceso de acuerdo con la invención, de manera precisa superficies de los productos, en cuanto que antes de la introducción de la masa de hormigón celular se introduce en los moldes una masa de diferentes materiales, sobre la cual se dispone tras correspondiente endurecimiento previo, la masa de hormigón celular, y tras ello se lleva al proceso de endurecimiento. Es posible igualmente introducir tras la expansión de la mezcla de hormigón celular de acuerdo con la invención y correspondiente resistencia, una masa en el molde, para producir tanto una superficie configurada, como también producir la altura de piedra/ o producto, sin procesar mecánicamente la tapa expandida, para producir medidas de piedra o elementos de pared definidos. También es posible la combinación de ambos modos de producción y de este modo pueden producirse 2 superficies vistas/o de uso con un núcleo de hormigón celular.

En el procedimiento de acuerdo con la invención es posible introducir en el molde, antes de introducirse la mezcla de hormigón celular, una mezcla de hormigón ("capa inferior"), la cual puede configurarse como capa de uso o de protección, por ejemplo como mortero para revoque. Es posible de igual modo aplicar esta mezcla de hormigón sobre la mezcla de hormigón celular ya endurecida previamente ("capa superior"). De este modo puede producirse al menos un lado de los productos finales como capa de uso, es posible no obstante también, producir ambos lados del producto final a partir de una capa de uso.

La particular ventaja consiste en que esta capa de uso ya no ha de producirse en la obra, sino que puede producirse ya durante la producción. Estas capas pueden producirse independientemente de la mezcla de hormigón celular a partir de diferentes materiales y representar de este modo también ópticamente una superficie de aprovechamiento y de uso.

En general es la característica de capa superior y capa inferior, que su densidad es mayor a la densidad del hormigón celular.

Debido a ello pueden apilarse sobre una superficie base pequeña y correspondiente altura de los almacenes de estantes en altura de la cámara de endurecimiento, una pluralidad de moldes y someterse a un tratamiento de temperatura. Este tipo de producción permite también el uso de las más diversas tecnologías de serrado para la formación dando lugar a ladrillos de construcción, lo cual en caso de una fabricación habitual en moldes de vertido altos, debido a la altura de los bloques así producidos, dificulta el serrado con tecnología de serrado habitual en la industria, lo hace intensivo en costes o lo hace imposible. El preferentemente modo de fabricación plano permite también la fabricación de elementos de pared completos de hormigón celular y el uso de tecnología probada de la industria de piezas prefabricadas de hormigón. Debido a ello es también posible configurar paredes enteras con una armadura.

Capas inferiores o superiores, las cuales se aplican durante la producción, pueden estar producidas a partir de diferentes morteros para revoque:

- mortero normal
- mortero ligero
- mortero para revoque de alta calidad
- mortero para revoque de capas para exterior
- mortero para revoque sanitario
- mortero para revoque para aislamiento térmico

Morteros de revoque adecuados son aquellos de acuerdo con DIN V 18550:

MG 1 – mortero de cal, mezcla de arena y cal muerta (cal en pasta, cal grasa o lechada de cal); la cal calcinada

se produce a través de degradación de carbonato de calcio (véase ciclo de la cal técnico y calcinación de la cal), en caso de procesamiento directo se habla de mortero de cal caliente

MG 2 – cemento de cal/mortero hidráulico y mortero de cemento de cal (mezcla de arena, cal/hidrato de cal y cemento)

- 5 MG 2a – mortero de cemento de cal
MG 3 – mortero de cemento (mezcla de arena y cemento)
MG 3a – mortero de cemento, = 20 N/mm²
MG 4 – mortero de yeso (mezcla de arena y yeso)

- 10 Además de la función de protección y configuración, las capas superior e inferior tienen la función de evitar grietas en la superficie en el cuerpo moldeado de hormigón celular o de cubrirlas cuando éstas aún así se producen.

Además de ello, la capa superior puede ser aplicada en correspondencia con el grosor deseado del cuerpo moldeado de hormigón celular y de este modo compensar eventual contracción o una tapa expandida. La mampostería de hormigón celular, así como las placas de pared de hormigón celular, son piezas de construcción en bruto y han de ser protegidas en la zona exterior a través de un tratamiento de superficie de manera permanente contra influencias condicionadas por el tiempo, condicionadas por el entorno, mecánicas y químicas. Los tratamientos de superficie sirven también para configurar ópticamente la obra. También en la zona interior el hormigón celular se protege por regla general o se somete a un tratamiento de superficie. Como tratamiento de superficie se usan morteros de revoque y/o revestimientos, los cuales tienen adicionalmente solos y/o mediante introducción de armadura, una función de superación de grietas o de evitación de grietas.

Ejemplo de realización 1:

- 25 En un mezclador de suspensión se introdujo en primer lugar una parte del agua, tras ello cemento y fluidificante con un valor de agua/cemento de 0,25 y a una velocidad periférica de 14 m/s, a continuación se añadió la arena de cuarzo finamente molida con valor Blaine de aproximadamente 1.000, tras un tiempo de mezcla de 90 segundos se introdujo el agua restante y agente tensioactivo y el restante fluidificante, tras ello se redujo la velocidad periférica a 11 m/s y se introdujo la ceniza volante, a continuación el CaO, tras ello el éter de propilenglicol y el hidrofobizador y tras ello se redujo la velocidad periférica a 6 m/s y se añadió el polvo de aluminio. 15 s tras adición del aluminio se introdujo la mezcla en el molde.

El molde se llevó a la cámara climática y se almacenó a una temperatura de entorno de 35 °C durante 150 minutos. A continuación, mediante vapor saturado se aumentó de manera continua a 75 °C la temperatura de la cámara durante 180 minutos. Tras alcanzarse los 75 °C se mantuvo esta temperatura a través de vapor saturado durante 210 minutos. A continuación se redujo la temperatura a 40 °C y tras 90 minutos se extrajo el molde de la cámara. Durante todo el tratamiento térmico se determinó la temperatura del hormigón. Ésta se correspondió desplazada en el tiempo en aproximadamente 15 minutos, con la temperatura de la cámara.

- 40 Tras ello se extrajo el hormigón celular ahora endurecido del molde y se le dio forma. Se retiró y examinó el cuerpo de muestra para la determinación de la densidad aparente seca, así como de la resistencia a la presión de acuerdo con EN 772-4.

Ejemplo 1	kg	l
Agua	116	116
CEM I 42,5 R	115	34
Ceniza volante	211	83
CaO	33	10
Arena de cuarzo Blaine 1000	90	37
PCE fluido	0,45	0,42
Sulfato de alquileter	0,15	0,29
Éter de propilenglicol	0,85	0,82
Estearato de calcio	0,45	0,42
Aluminio	0,78	729
Suma	568	1011

Valor W/B	0,323
Densidad aparente seca en kg/m ³	496
Resistencia a la presión tras 24 h en N/mm ²	3,5
Absorción de agua DIN EN 772-11 tras 90 min. en % en peso	1,8
Absorción de agua DIN EN 772-11 tras 72 h en % en peso	1,8

- 45 Hormigón celular curado en autoclave densidad 500 kg/m³ (comparación)

Absorción de agua DIN EN 772-11 tras 90 min. en % en peso	22,8
Absorción de agua DIN EN 772-11 tras 72 h en % en peso	67,1

Ejemplo de realización 2:

Se produjo una mezcla idéntica como para el ejemplo de realización 1 con modo de proceder idéntico. Una parte de la mezcla no se llevó a la cámara climática para examinar qué influencia tiene el tratamiento térmico en el desarrollo de la resistencia. La mezcla se almacenó sin cubrir en el laboratorio a una temperatura de 23 °C y una humedad del aire de 65 % hasta el examen de la resistencia a la presión y densidad aparente seca. Los resultados se contraponen del siguiente modo:

	Tratamiento térmico	
	sin	con
Valor W/B	0,323	0,323
Densidad aparente seca en kg/m ³	481	496
Resistencia a la presión tras 24 h en N/mm ²	1,3	3,5

Ejemplo de realización 2, formulación CEM I 52,5R sin ceniza volante:

En un mezclador de suspensión se introdujo en primer lugar una parte del agua, tras ello cemento y una parte del fluidificante con un valor de agua/cemento de 0,28 y a una velocidad periférica de 8 m/s, tras un tiempo de mezcla de 90 segundos se introdujo el agua restante y agente tensioactivo y el restante fluidificante, tras ello se elevó la velocidad periférica a 11 m/s y a continuación el CaO, tras ello el éter de propilenglicol y el hidrofobizador y tras ello se redujo la velocidad periférica a 6 m/s y se añadió el polvo de aluminio. 15 s tras adición del aluminio se introdujo la mezcla en el molde.

El molde se llevó a la cámara climática y se almacenó a una temperatura de entorno de 35 °C durante 150 minutos. A continuación, mediante vapor saturado se aumentó de manera continua a 60 °C la temperatura de la cámara durante 180 minutos. Tras alcanzarse los 60 °C se mantuvo esta temperatura a través de vapor saturado durante 210 minutos. A continuación se redujo la temperatura a 40 °C y tras 90 minutos se extrajo el molde de la cámara. Durante todo el tratamiento térmico se determinó la temperatura del hormigón. Ésta se correspondió desplazada en el tiempo en aproximadamente 10 minutos, con la temperatura de la cámara.

Tras ello se extrajo el hormigón celular ahora endurecido del molde y se le dio forma. Se retiró y examinó el cuerpo de muestra para la determinación de la densidad aparente seca, así como de la resistencia a la presión de acuerdo con EN 772-4.

Ejemplo 2	kg	l
Agua	225	225
CEM I 52,5 R	450	145
Ceniza volante	0	0
CaO	45	14
Arena de cuarzo Blaine 1000	0	0
PCE fluido	0,5	0,47
Sulfato de alquileter	0,2	0,38
Éter de propilenglicol	3,15	3,03
Estearato de calcio	2,25	2,10
Aluminio	0,69	644
Suma	727	1004
Valor W/B	0,45	
Densidad aparente seca en kg/m ³	649	
Resistencia a la presión tras 24 h en N/mm ²	4,5	

Ejemplo de realización 3:

En un mezclador de suspensión se introdujo en primer lugar una parte del agua, tras ello cemento y una parte del fluidificante con un valor de agua/cemento de 0,25 y a una velocidad periférica de 11 m/s, tras un tiempo de mezcla de 90 segundos se introdujo el agua restante y agente tensioactivo y el restante fluidificante, tras ello se redujo la velocidad periférica a 9 m/s y a continuación el CaO, tras ello el éter de propilenglicol y el hidrofobizador y tras ello se elevó la velocidad periférica a 12 m/s y se añadió el polvo de aluminio. 15 s tras adición del aluminio se introdujo la mezcla en el molde.

El molde se llevó a la cámara climática y se almacenó a una temperatura de entorno de 35 °C durante 150 minutos. A continuación, mediante vapor saturado se aumentó de manera continua a 65 °C la temperatura de la cámara durante 180 minutos. Tras alcanzarse los 65 °C se mantuvo esta temperatura a través de vapor saturado durante 210 minutos. A continuación se redujo la temperatura a 40 °C y tras 90 minutos se extrajo el molde de la cámara.

Durante todo el tratamiento térmico se determinó la temperatura del hormigón. Ésta se correspondió desplazada en el tiempo en aproximadamente 10 minutos, con la temperatura de la cámara.

5 Tras abandonar la cámara el cuerpo moldeado de hormigón celular tiene al menos el 75 %, preferentemente el 90 %, de la dureza final.

10 Tras ello se extrajo el hormigón celular ahora endurecido del molde y se le dio forma. Se retiró y examinó el cuerpo de muestra para la determinación de la densidad aparente seca, así como de la resistencia a la presión de acuerdo con EN 772-4.

Ejemplo 3	kg	l
Agua	222	222
CEM III B 42,5 L-LH/SR	370	128
Ceniza volante	0	0
MgO	27,75	8
Arena de cuarzo Blaine 1000	0	0
PCE fluido	0,5	0,47
Sulfato de alquileter	0,2	0,38
Éter de propilenglicol	2,59	2,49
Estearato de calcio	1,85	1,73
Aluminio	0,69	644
Suma	626	1007
Valor W/B	0,56	
Densidad aparente seca en kg/m ³	559	
Resistencia a la presión tras 24 h en N/mm ²	3,8	

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la fabricación de cuerpos moldeados de hormigón celular, que comprende

5 (a) exponer una composición que comprende al menos

- del 10 al 32 % en peso, en particular preferentemente del 18 al 25 % en peso, de agua, y
- más del 5 % en peso, preferentemente más del 5 al 90 % en peso, en particular preferentemente del 10 al 80 % en peso, de cemento, como agente aglutinante,

10 a un proceso de mezclado en un mezclador para la obtención de una suspensión de agente aglutinante,

(b) exponer la suspensión de agente aglutinante, preferentemente en el mezclador, a un agente de expansión químico en forma de partículas, el cual genera mediante una reacción química un gas, en particular una reacción química con agua, para la obtención de una mezcla de hormigón celular, y

15 (c) llenado de un molde con la mezcla de hormigón celular, endurecimiento al menos de manera parcial de la mezcla de hormigón celular en el molde en una cámara a temperatura elevada y a presión ambiental en una atmósfera de vapor de agua suministrándose, vapor caliente, para la fabricación de un cuerpo moldeado de hormigón celular endurecido, endureciéndose la mezcla de hormigón celular a una temperatura elevada de 50 a 85 °C en la atmósfera con contenido de vapor de agua.

20 2. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, endureciéndose la mezcla de hormigón celular durante 120 a 240 minutos, preferentemente a de 60 a 85 °C, en la atmósfera con contenido de vapor de agua.

25 3. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, alcanzándose tras abandonar la cámara al menos un 75 %, preferentemente un 90 %, de la dureza final.

30 4. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, manteniéndose la mezcla de hormigón celular en primer lugar en el molde a una temperatura de 35 a 45 °C durante 90-180 minutos y elevándose preferentemente tras ello durante 120 a 180 minutos la temperatura de forma continua a de 50 a 85 °C, en particular a de 60 a 85 °C.

35 5. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, conteniendo la mezcla de hormigón celular, además de cemento, al menos otro agente aglutinante seleccionado del grupo de ceniza volante, escoria granulada molida y dióxido de silicio en partículas, presentando el agente aglutinante adicional preferentemente un valor d_{50} de menos de 100 μm y/o un valor Blaine de más de 3000, en particular de 3000-6000.

40 6. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, llevándose a cabo el proceso de mezcla en el mezclador con una velocidad periférica de más de 4 m/segundo, en particular de 6 a 20 m/segundo, en particular preferentemente de 8 a 15 m/segundo y siendo el mezclador preferentemente un mezclador de suspensión y presentando un rotor y un estator; y/o llevándose a cabo el proceso de mezcla hasta la obtención de una suspensión de agente aglutinante con una tasa de flujo de asentamiento de acuerdo con DIN EN 12350-9 de al menos 600 mm, preferentemente de al menos 700 mm.

45 7. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, conteniendo la mezcla de hormigón celular, preferentemente la composición, óxido de calcio, sulfato de calcio y/u óxido de magnesio

a) en una proporción de hasta el 20 % en peso, preferentemente del 0,5 al 15 % en peso o

50 b) estando contenidos óxido de calcio, sulfato de calcio y/u óxido de magnesio por una parte y agente aglutinante por otra parte, en una proporción de peso de 0,01 hasta 0,15 a 1 en la composición.

55 8. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, conteniendo la mezcla de hormigón celular, preferentemente también la composición, del 0 al 50 % en peso de otras sustancias, en particular harina de cuarzo finamente molida a un valor Blaine de menos de 1500.

9. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, conteniendo la suspensión de agente aglutinante y preferentemente también la composición, un hidrofobizador en una cantidad de al menos el 0,01 % en peso, preferentemente al menos el 0,03 % en peso, en particular tras la adición de los agentes aglutinantes y antes de añadir el formador de poros.

60 10. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, disponiéndose en el mezclador en primer lugar el agua y produciéndose a continuación la adición del cemento y del agente aglutinante adicional.

65 11. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, conteniendo la composición o la mezcla de hormigón celular, además de ello uno o varios de los siguientes aditivos:

- a) éster de ácido graso de etanolamina de la fórmula $H_{3-p}N(CH_2CH_2OCOR)_p$ con $p = 1$ a 3 y un número de carbonos de cada resto de ácido graso de 10 a 18 ,
- b) fluidificantes,
- c) formadores de poros de aire, como agentes tensioactivos,
- d) fibras,
- e) fosfatos, preferentemente polifosfato,
- f) éter polioles, en particular etilenglicol, propilenglicol, éter de propilenglicol y éter terc-butilico de dipropilenglicol y sus mezclas.

12. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, donde

- (a) el agente de expansión es un compuesto metálico, el cual, durante la reacción con agua forma hidrógeno, preferentemente aluminio, y antes de su reacción se presenta en particular en forma de partículas en la mezcla de hormigón celular, en particular con tamaños de partícula en el intervalo de menos de $60\text{ }\mu\text{m}$; y/o
- (b) el agente de expansión es un agente de expansión químico y se añade en del $0,01$ al $0,3\%$ en peso, preferentemente del $0,1$ al $0,2\%$ en peso, a la mezcla de hormigón celular; y/o
- (c) el agente de expansión tiene una configuración retardante, de modo que el llenado del molde se produce en menos de 60 minutos y como muy pronto en 2 minutos, en particular en forma de una pasta de aluminio o de polvo revestido.

13. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, donde la mezcla de hormigón celular

- (a) se introduce desde el mezclador directamente en el molde y la mezcla de hormigón celular llena el molde al menos en un 20% y el molde es más alto que la altura de crecimiento máxima de la mezcla de hormigón celular; y/o
- (b) no se trata en autoclave y preferentemente endurece a presión ambiente; y/o se introduce en el molde y el molde es plano, de modo que se alcanza una altura de expansión de como máximo $42,5\text{ cm}$, preferentemente de como máximo 32 cm , y con una longitud y anchura en suma, que es al menos 4 veces, preferentemente 10 veces, el tamaño de la altura de crecimiento.

14. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, poniéndose en movimiento de vibración el molde.

15. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones anteriores, presentando el cuerpo moldeado de hormigón celular endurecido una capa inferior y/o una capa superior, preferentemente con un grosor de capa cada una de ellas de 10 a 90 mm , en particular de $0,1$ a $1,5\text{ cm}$, cada una sin poros o, en relación con los mismos volúmenes, en cada caso con menos de la mitad de los poros que el restante cuerpo moldeado de hormigón celular endurecido y estando producida la capa superior preferentemente de hormigón autonivelante o mediante alisado con una rasqueta y aplicándose la capa superior como muy pronto 120 minutos tras introducirse la mezcla de hormigón celular.

16. Cuerpo moldeado de hormigón celular, presentando el cuerpo moldeado de hormigón celular escotaduras para ventanas, puertas, en forma de conductos vacíos y/o pasos y siendo un elemento de pared, el cual, en relación con un cuerpo moldeado de hormigón celular, alcanza desde el suelo hasta el techo, pudiendo ser fabricado el cuerpo moldeado de hormigón celular de acuerdo con un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 15 y comprendiendo el procedimiento el endurecimiento de la mezcla de hormigón celular en el molde con escotaduras para ventanas, puertas, en forma de conductos vacíos y/o pasos.

17. Cuerpo moldeado de hormigón celular según la reivindicación 16 con capas inferior o superior, o ambas, presentando la capa inferior o la capa superior o ambas, en relación con el volumen, menos de la mitad de los poros, en comparación con el restante cuerpo moldeado de hormigón celular endurecido y/o presentando la capa inferior o la capa superior o ambas, una densidad que es mayor a la densidad del hormigón celular, pudiendo obtenerse la capa superior y la capa inferior, en cuanto que, en relación con la capa inferior, se introduce antes de la introducción de la mezcla de hormigón celular en el molde, una capa de un mortero para revoque como capa inferior en el molde, y en relación con la capa superior, se aplica una capa de un mortero para revoque sobre la mezcla de hormigón celular previamente endurecida en el molde, como capa superior.