PLASTIFICANTE PARA GEOPOLÍMEROS

Campo técnico

La invención se refiere al campo de los geopolímeros y de los plastificantes para geopolímeros.

Técnica previa

Los geopolímeros son conocidos como una alternativa a los materiales de construcción a base de cemento. Los geopolímeros se consideran como materiales de construcción respetuosos con el medio ambiente ya que la producción de sus materiales de partida genera a mucho menos CO_2 que la producción de cemento portland. Los materiales de construcción que contienen geopolímeros como aglutinantes, en estado endurecido, normalmente tienen una mejor estabilidad química y una mejor estabilidad térmica que los materiales de construcción a base de cemento Portland. Los geopolímeros generalmente consisten en un componente de silicato de aluminio y un componente de silicato de metal alcalino que reaccionan entre sí en una reacción de geopolimerización. Los componentes de silicato de aluminio utilizados incluyen cenizas volantes, escorias y metacaolín.

Sin embargo, los geopolímeros son a menudo difíciles de procesar, especialmente cuando contienen metacaolín. Los geopolímeros que tienen un alto contenido de sólidos, o una pequeña cantidad de agua, son muy viscosos y, a menudo, pegajosos y, por lo tanto, difíciles de procesar. Aunque una mayor cantidad de agua mejora la procesabilidad, tiene un efecto adverso sobre la resistencia y la durabilidad después del endurecimiento. Como no se consume agua en la reacción de geopolimerización, a diferencia de los aglutinantes hidráulicos como el cemento, por ejemplo, el agua que se requiere para el procesamiento está en su mayor parte aún presente después del endurecimiento y, una vez que el cuerpo formado se ha secado, deja poros que reducen la resistencia y durabilidad del cuerpo formado.

Para obtener geopolímeros con alta resistencia y durabilidad, es por lo tanto vital mantener la cantidad de agua al mínimo durante el procesamiento, lo que se ve facilitado por el uso de un buen plastificante. Sin embargo, debido al alto pH de más de 13, la selección de plastificantes adecuados para geopolímeros y su efecto es limitada.

El documento US 2012/0192765 describe cementos de geopolímero específicos que pueden contener un ácido poliacrílico reticulado. Los ácidos poliacrílicos reticulados típicamente aumentan la viscosidad de una solución. No se muestra ningún efecto plastificante del ácido poliacrílico reticulado.

El documento WO 2010/079414 describe geopolímeros que comprenden, como plastificante,

plastificantes conocidos para mezclas de hormigón a base de cemento Portland. Sin embargo, los plastificantes de este tipo no plastifican adecuadamente los geopolímeros.

WO 2011/072784 describe composiciones de geopolímero que comprenden un hidrato de carbono como agente reductor de agua. Pero los carbohidratos pueden retardar significativamente el fraguado del geopolímero.

El documento WO 2015/049010 describe composiciones de geopolímero que comprenden, entre otros, un ácido orgánico, preferiblemente ácido tartárico. Los plastificantes utilizados son éteres de policarboxilato (PCE). Sin embargo, los éteres de policarboxilato son costosos y el ácido tartárico retarda significativamente el fraguado del geopolímero.

Nematollahi y Sanjayan, Materials and Design 57 (2014), páginas 667-672, describe el uso de éteres de policarboxilato (PCE), condensados de naftaleno sulfonado y condensados de melamina como plastificantes para geopolímeros a base de cenizas volantes.

Todavía existe una necesidad de un plastificante robusto y económico para geopolímeros, específicamente para geopolímeros que contengan metacaolín, que supere las desventajas de la técnica previa.

Compendio de la invención

Un objeto de la presente invención es proporcionar un plastificante eficaz para geopolímeros que permita una fácil procesabilidad durante un largo período sin retardar significativamente el endurecimiento o reducir la resistencia final a un grado indeseable.

Este objeto se logra sorprendentemente mediante el uso de un aditivo **A** como se describe en la reivindicación 1. El aditivo **A** comprende al menos un polímero soluble en agua que es un homopolímero o copolímero de al menos un ácido carboxílico monoetilénicamente insaturado que se ha neutralizado parcial o totalmente con un ion de metal alcalino. Un polímero de este tipo es de excelente idoneidad para la plastificación de geopolímeros. Al mismo tiempo, mejora las características de flujo de los geopolímeros y también tiene el resultado de que siguen siendo procesables durante un período de tiempo más largo. La combinación con un silicato de metal alcalino puede aumentar claramente el efecto plastificante del polímero soluble en agua, lo que produce geopolímeros de alta resistencia. Tanto el polímero soluble en agua como el silicato de metal alcalino están disponibles comercialmente con facilidad y son económicos.

En particular, los geopolímeros que contienen metacaolín son difíciles de procesar y normalmente son pegajosos. Sorprendentemente, el aditivo **A** de la invención es de gran idoneidad para la plastificación de geopolímeros que contienen metacaolín.

Otros aspectos de la invención forman la materia de otras reivindicaciones independientes. Las

modalidades particularmente preferidas de la invención forman la materia de las reivindicaciones dependientes.

Formas de llevar a cabo la invención

La invención prevé el uso de un aditivo **A** que comprende

- al menos un polímero soluble en agua que es un homopolímero o copolímero de al menos un ácido carboxílico monoetilénicamente insaturado que se ha neutralizado parcial o totalmente con un ion de metal alcalino, y
- opcionalmente un silicato de metal alcalino $\mathbf{S_1}$,

como plastificante para geopolímeros.

Un «polímero soluble en agua» en el presente documento se entiende que significa un polímero que, a 20 °C a presión normal y al menos un pH del grupo de 2, 7 y 12, tiene una solubilidad de al menos 10 g por litro de agua. Los polímeros solubles en agua preferidos en estas condiciones tienen una solubilidad de 100 g por litro de agua.

Un compuesto orgánico «monoetilénicamente insaturado» se refiere a uno que tiene un solo enlace doble carbono-carbono polimerizable.

«Peso molecular» se entiende en el presente documento que significa la masa molar (en gramos por mol) de una molécula. «Peso molecular promedio» se refiere al promedio en peso M_w o promedio en número M_n de una mezcla oligomérica o polimérica de moléculas. Se determina mediante cromatografía de permeación en gel (GPC).

El aditivo **A** de la invención comprende al menos un polímero soluble en agua que es un homopolímero o copolímero de al menos un ácido carboxílico monoetilénicamente insaturado que se ha neutralizado parcial o totalmente con un ion de metal alcalino. Un polímero de este tipo se puede obtener mediante homo o copolimerización de al menos un ácido carboxílico monoetilénicamente insaturado. El ácido carboxílico monoetilénicamente insaturado puede estar aquí en forma del ácido libre o de una sal de metal alcalino o de metal alcalinotérreo, y el polímero, si el ácido carboxílico monoetilénicamente insaturado estaba en la forma del ácido libre, posteriormente se neutraliza parcial o totalmente. En el caso de un copolímero, el ácido carboxílico monoetilénicamente insaturado puede haberse polimerizado con otros ácidos carboxílicos insaturados y/o con otros monómeros monoetilénicamente insaturados polimerizables. Los ácidos carboxílicos insaturados adecuados para este propósito son especialmente el ácido acrílico, ácido metacrílico, ácido maleico, anhídrido maleico, ácido fumárico, ácido crotónico o ácido itacónico.

Los monómeros monoetilénicamente insaturados polimerizables adecuados son especialmente el alcohol alílico, etileno, propileno, ácido vinilsulfónico, ácido metalilsulfónico, ácido acrilamido-2-metilpropanosulfónico, acrilamida, ésteres alquílicos del ácido metacrílico o ésteres hidroxialquílicos del ácido metacrílico.

El polímero soluble en agua es especialmente un polímero lineal o ramificado que no se ha reticulado. El polímero soluble en agua es preferiblemente un polímero lineal.

El polímero soluble en agua se puede preparar especialmente por polimerización de radicales libres. Los iniciadores adecuados para este propósito son especialmente los peróxidos, hidroperóxidos, persulfatos o iniciadores azo. La polimerización por radicales libres de la presente se lleva a cabo preferiblemente en condiciones que controlan el peso molecular, especialmente mediante la adición de mercaptanos, sulfito de metal alcalino, fosfito de metal alcalino o hipofosfito de metal alcalino.

Se da preferencia a un polímero soluble en agua que es un homo o copolímero de al menos un ácido carboxílico monoetilénicamente insaturado de una polimerización por radicales libres en agua en presencia de sulfito de metal alcalino o hipofosfito de metal alcalino.

El polímero soluble en agua también se puede haber preparado por medio de polimerización de radicales libres «viva».

Preferiblemente, el polímero soluble en agua es un homopolímero o copolímero de ácido acrílico, especialmente un homopolímero de ácido acrílico o un copolímero de ácido acrílico y ácido metacrílico o un copolímero de ácido acrílico y ácido maleico. Más preferiblemente, el polímero soluble en agua es ácido poliacrílico o un copolímero de ácido acrílico y ácido maleico.

Más preferiblemente, el polímero soluble en agua es ácido poliacrílico. El ácido poliacrílico está fácilmente disponible y es económico, y muestra un efecto particularmente bueno como plastificante.

El polímero soluble en agua tiene preferiblemente un peso molecular promedio M_w en el intervalo de 1000 a 20 000 g/mol, más preferiblemente de 1000 a 10 000 g/mol, especialmente 2000 a 8000 g/mol. Tales polímeros muestran un buen efecto como plastificantes sin tener un efecto adverso demasiado severo sobre la procesabilidad, el endurecimiento o la resistencia a la compresión del geopolímero. Los polímeros que tienen pesos moleculares más altos o más bajos empeoran la procesabilidad y/o reducen la resistencia a la compresión de una manera indeseable. Los polímeros que tienen pesos moleculares más bajos muestran adicionalmente una acción plastificante inadecuada y/o retardan el endurecimiento del geopolímero en un grado indeseable.

Preferiblemente, del 20 % al 100 %, más preferiblemente del 50 % al 100 %, especialmente del 80 % al 100 %, de los grupos ácidos del polímero soluble en agua se han neutralizado. Dicho polímero puede mezclarse particularmente bien con el geopolímero, especialmente sin floculación o formación de gel.

La neutralización se efectúa especialmente con un hidróxido de sodio y/o un hidróxido de potasio. En una modalidad preferida, el polímero soluble en agua es una sal de sodio o potasio de ácido poliacrílico, preferiblemente una sal de sodio.

En una modalidad preferida adicional, el polímero soluble en agua es una sal de sodio o potasio de un copolímero de ácido acrílico y ácido metacrílico, preferiblemente una sal de sodio.

En una modalidad preferida adicional, el polímero soluble en agua es una sal de sodio o potasio de un copolímero de ácido acrílico y ácido maleico, preferiblemente una sal de sodio.

Los polímeros solubles en agua adecuados están disponibles comercialmente, especialmente los productos Sokalan® CP o Sokalan® PA de BASF.

En una modalidad particularmente preferida, el polímero soluble en agua es un homopolímero de ácido acrílico en forma de sal de sodio y que tiene un peso molecular promedio M_w en el intervalo de 2000 a 8000 g/mol.

El aditivo **A** se utiliza como plastificante para geopolímeros. Para este propósito, se usa preferiblemente en una cantidad tal que el polímero soluble en agua esté presente en una cantidad de 1 a 10 partes en peso, preferiblemente 1,1 a 8 partes en peso, más preferiblemente 1,2 a 5 partes en peso, calculadas en forma sólida, a 100 partes en peso de los silicatos de aluminio presentes en el geopolímero.

Tal cantidad de aditivo **A** resulta en una muy buena procesabilidad del geopolímero.

En una modalidad preferida, el aditivo **A** comprende al menos un silicato de metal alcalino $\mathbf{S_1}$. La combinación de silicato de metal alcalino $\mathbf{S_1}$ y el polímero soluble en agua en el aditivo **A** muestra un mayor efecto plastificante que el polímero soluble en agua por sí solo. Además, el silicato de metal alcalino $\mathbf{S_1}$ permite una elevada resistencia del geopolímero.

El silicato de metal alcalino también se conoce como vidrio soluble y es una sustancia de la fórmula $M_2O * n\ SiO_2$ donde M es Na, K o Li y n es la relación de SiO_2 a M_2O. Los silicatos de metales alcalinos comerciales tienen típicamente valores de n en el intervalo de alrededor de 0,5 a 4. El silicato de metal alcalino disuelto en agua es una solución alcalina, transparente, coloidal o un

gel. Los silicatos de metales alcalinos también incluyen ortosilicatos M_4O_4Si con n = 0,5, y metasilicatos M_2O_3Si con n = 1.

En una modalidad preferida, el silicato de metal alcalino $\mathbf{S_1}$ es un silicato de sodio o potasio.

Se da preferencia a un silicato de metal alcalino $\mathbf{S_1}$ con una relación molar de SiO_2 a M_2O en el intervalo de 0,8 a 3,6, preferiblemente de 0,8 a 2, más preferiblemente de 0,8 a 1,5, donde M es Na y/o K. Tal silicato de metal alcalino $\mathbf{S_1}$ permite un aditivo **A** con una estabilidad de almacenamiento particularmente buena, especialmente en forma de polvo. Además, muestra un efecto particularmente bueno como plastificante y permite una resistencia particularmente alta del geopolímero endurecido.

Un silicato de metal alcalino preferido $\mathbf{S_1}$ es metasilicato de sodio con una relación de SiO_2 a Na_2O de 1.

La cantidad adecuada de silicato de metal alcalino $\mathbf{S_1}$ en el aditivo **A** depende de la composición del geopolímero y del polímero soluble en agua y, por lo tanto, puede variar. Preferiblemente, el silicato de metal alcalino $\mathbf{S_1}$ está presente en una cantidad de 10 a 100 partes en peso, más preferiblemente de 15 a 80 partes en peso, especialmente de 20 a 60 partes en peso, en función de 100 partes en peso del polímero soluble en agua, ambos calculados en forma sólida.

El aditivo **A** puede estar en forma de una solución acuosa, de una suspensión acuosa o de un polvo seco o húmedo.

El uso como solución acuosa o suspensión acuosa permite una la mezcla y dosificación simple y buena con el geopolímero. Se da preferencia a una suspensión o solución acuosa que tenga una proporción de aditivo **A** disuelto o que tenga un contenido de sólidos del 25 % al 75 % en peso, especialmente del 30 % al 65 % en peso. Tales soluciones o suspensiones pueden ser manejadas y almacenadas de manera particularmente eficiente.

El uso en forma de polvo tiene la ventaja de que la estabilidad de almacenamiento del aditivo **A** es particularmente buena y permite un contenido de agua particularmente bajo en el geopolímero. Un alto contenido de agua en el geopolímero puede dar como resultado una resistencia reducida.

En la forma de una solución acuosa, el aditivo **A** se puede producir de una manera particularmente simple. El polímero soluble en agua se puede disolver en agua o ya está en forma de una solución acuosa. Si además está presente un silicato de metal alcalino $\mathbf{S_1}$, el aditivo **A** se puede preparar mezclando una solución acuosa del polímero soluble en agua con una solución acuosa del silicato

de metal alcalino $\mathbf{S_1}$ como una solución acuosa, o disolviendo un silicato de metal alcalino sólido $\mathbf{S_1}$ en una solución acuosa del polímero soluble en agua.

En forma de polvo, el aditivo **A** se puede preparar especialmente porque el polímero soluble en agua está en forma sólida y, si se desea, se mezcla con silicato de metal alcalino sólido $\mathbf{S_1}$, o mediante secado del aditivo **A** en forma de una solución acuosa, por ejemplo mediante liofilización o secado por pulverización, opcionalmente con un material portador, y opcionalmente con molienda posterior, para obtener un polvo fino.

El aditivo **A** puede comprender otros ingredientes además del polímero soluble en agua y opcionalmente el silicato de metal alcalino $\mathbf{S_1}$. Los ingredientes adicionales adecuados son especialmente ácidos orgánicos o ácidos hidroxicarboxílicos, tales como, en particular, ácido adípico, ácido succínico, ácido maleico, ácido tartárico, ácido cítrico, ácido salicílico o ácido glucónico, o sales de metales alcalinos de estos, y también plastificantes de cemento habituales tales como, en particular, lignosulfonato, condensado de melamina sulfonada, condensado de naftaleno sulfonado o éteres de policarboxilato.

En una modalidad preferida, el aditivo **A** es una formulación acuosa de

- 20 % a 45 % en peso de polímero soluble en agua como se describe, especialmente una sal de sodio de ácido poliacrílico, que tiene un peso molecular promedio M_w de 2000 a 8000 g/mol,
- 5 % a 20 % en peso de silicato de sodio o silicato de potasio con una relación molar de SiO_2 a M_2O de alrededor de 0,8 a 2,
- 0 % a 5 % en peso de otros aditivos y
- 35 % a 75 % en peso de agua,

en función en cada caso de la formulación acuosa total.

En una modalidad preferida adicional, el aditivo **A** es una formulación pulverulenta de

- 50 % a 90 %, preferiblemente 65 % a 85 % en peso de polímero soluble en agua como se describe, especialmente una sal de sodio de ácido poliacrílico, que tiene un peso molecular promedio M_w de 2000 a 8000 g/mol,
- 10 % a 50 %, preferiblemente 15 % a 35 % en peso de silicato de sodio con una relación molar de SiO_2 a M_2O de 1 a alrededor de 1,5 y
- 0 % a 5 % en peso de otros aditivos sólidos,

en función en cada caso de la formulación pulverulenta general.

El aditivo **A** se utiliza como plastificante para geopolímeros.

Un geopolímero adecuado consiste especialmente en
- un componente en polvo que comprende al menos un silicato de aluminio y
- un componente acuoso que comprende al menos un silicato de metal alcalino $\mathbf{S_2}$,

que se endurecen después de mezclar para dar un cuerpo sólido.

Para este propósito son adecuados todos los silicatos de aluminio con los que se puede producir un geopolímero.
Los silicatos de aluminio particularmente adecuados son arcilla, arcilla calcinada, ceniza volante, escoria de alto horno, escoria de aluminio, zeolita, feldespato o mezclas de estos.
Los silicatos de aluminio preferidos se seleccionan del grupo que consiste en arcilla, arcilla calcinada, cenizas volantes y escoria de alto horno. Entre estos, se da preferencia a una mezcla que comprende cenizas volantes y escoria de alto horno, especial preferencia a una mezcla de cenizas volantes y/o escoria de alto horno con arcilla calcinada, especialmente metacaolín, particular preferencia a una mezcla de metacaolín con cenizas volantes. La composición de los ingredientes del metacaolín varía solo ligeramente de un lote de producción a otro, lo que constituye una ventaja particular de estos geopolímeros. La mezcla de metacaolín con cenizas volantes y/o escoria de alto horno es de una idoneidad particularmente buena para la producción de geopolímeros que tienen alta estabilidad y resistencia.
«Arcilla» se refiere al silicato de aluminio que contiene agua que se forma en los procesos de meteorización. Las arcillas incluyen caolinita, bentonita, arcillas comunes y arcillas de caolinita.
«Arcilla calcinada» se refiere al producto de reacción de la calcinación de un mineral de arcilla, típicamente de 600 a 850 °C.
El «metacaolín» se refiere al producto de reacción amorfo de la calcinación del caolín mineral de arcilla, típicamente de 600 a 850 °C. La estructura resultante, normalmente en forma de plaquetas, del metacaolín hace que estos geopolímeros sean pegajosos y difíciles de procesar.
El metacaolín adecuado está disponible comercialmente, por ejemplo, de Newchem AG, Suiza.
«Cenizas volantes» se refiere a un subproducto de las centrales eléctricas de carbón que se filtra del aire residual en forma de un polvo fino. Las cenizas volantes adecuadas están disponibles comercialmente, por ejemplo, de BauMineral GmbH, Alemania.
«Escoria de alto horno», también llamada arena de fundición, se refiere al subproducto no metálico en la producción de hierro, con la formación de diferentes tipos de escoria de acuerdo con el

proceso de enfriamiento y endurecimiento del material fundido. La escoria de alto horno se utiliza especialmente en forma de polvo fino. La escoria de alto horno adecuada está disponible comercialmente, por ejemplo, de HeidelbergCement AG, Alemania.

«Escoria de aluminio» se refiere al producto de desecho obtenido en la recuperación de óxido de aluminio, un producto intermedio en la producción de aluminio, a partir de minerales que contienen aluminio, especialmente bauxita. La escoria de aluminio también se conoce como lodo rojo.

Preferiblemente, el aditivo **A** se utiliza como plastificante para geopolímeros en donde el componente en polvo comprende al menos el 10 % en peso de metacaolín, especialmente del 10 % al 60 % en peso, en función del 100 % en peso del componente en polvo.

La composición de los ingredientes en los silicatos de aluminio obtenidos como subproductos de industrias, por ejemplo cenizas volantes o escorias, a menudo varía significativamente de un lote de producción a otro. La composición de los ingredientes del metacaolín varía solo ligeramente de un lote de producción a otro, lo que constituye una ventaja particular de los geopolímeros que contienen metacaolín.

Los geopolímeros en los que el silicato de aluminio en el componente en polvo contiene solo metacaolín son generalmente menos fáciles de procesar que los geopolímeros que contienen la misma cantidad de agua, pero en los que el silicato de aluminio en el componente en polvo también comprende cenizas volantes y/o escoria.

Preferiblemente, el componente en polvo del geopolímero no contiene más de 10 % en peso, más preferiblemente no más de 5 % en peso, de cemento o yeso, en función del 100% en peso de silicato de aluminio; más preferiblemente, el componente en polvo está libre de cemento y yeso.

Especialmente de preferencia, el componente en polvo en el geopolímero contiene silicatos de aluminio solamente.

Esto aumenta la estabilidad de almacenamiento del componente en polvo del geopolímero; específicamente, la sensibilidad al agua es baja y puede contribuir a una mejor estabilidad de agua y estabilidad química del geopolímero después del curado.

Preferiblemente, la mediana del tamaño de partícula D50 del silicato de aluminio, calculada como el valor promedio para todos los silicatos de aluminio del componente en polvo, está entre 1 µm y 300 µm, más preferiblemente entre 2 µm y 250 µm, aún más preferiblemente entre 3 µm y 200 µm,

especialmente de preferencia entre 5 µm y 150 µm, lo más preferiblemente entre 8 µm y 100 µm, especialmente de preferencia entre 10 µm y 50 µm, medido por dispersión de luz estática en isopropanol y dispersado con la ayuda de ultrasonidos.

Si el tamaño de partícula promedio es inferior a 1 µm, la cantidad de agua requerida para una buena procesabilidad del geopolímero se incrementa claramente. Sin embargo, grandes cantidades de agua reducen la resistencia y la durabilidad de un cuerpo moldeado producido a partir del geopolímero después del endurecimiento. Si el tamaño de partícula promedio es superior a 300 µm, la reactividad del silicato de aluminio es baja y la geopolimerización es lenta y/o incompleta.

Aptos también como el silicato de metal alcalino $\mathbf{S_2}$ son los ya adecuados silicatos de metales alcalinos $\mathbf{S_1}$ opcionalmente presentes en el aditivo **A**.

Preferiblemente, el silicato de metal alcalino $\mathbf{S_2}$ tiene una relación molar de SiO_2 a M_2O en el intervalo de 0,8 a 2,4, más preferiblemente de 1,0 a 2,0, especialmente de 1,4 a 2,0, especialmente de preferencia de 1,4 a 1,8. Esta relación preferida puede haberse establecido mediante la adición de NaOH o KOH, por ejemplo.

Preferiblemente, el silicato de metal alcalino $\mathbf{S_2}$ es un silicato de potasio y/o silicato de sodio, especialmente un silicato de potasio.

Se ha encontrado que, sorprendentemente, los geopolímeros que contienen un silicato de potasio como silicato de metal alcalino $\mathbf{S_2}$ tienen una procesabilidad mucho mejor y son menos duros y pegajosos que los geopolímeros que contienen un silicato de sodio como silicato de metal alcalino $\mathbf{S_2}$.

Preferiblemente, el silicato de metal alcalino $\mathbf{S_2}$ es un silicato de potasio que tiene una relación de SiO_2 a K_2O de 0,8 a 2,4, más preferiblemente de 1,0 a 2,0, especialmente de 1,4 a 2,0, especialmente de preferencia de 1,4 a 1,8.

Los geopolímeros con tales silicatos de metales alcalinos tienen una buena procesabilidad y se endurecen rápidamente.

La invención proporciona además una composición que comprende

- al menos un geopolímero que comprende un componente en polvo que contiene al menos un silicato de aluminio y un componente acuoso que contiene al menos un silicato de metal alcalino $\mathbf{S_2}$, y
- un plastificante que comprende el aditivo **A** como se describió anteriormente.

El aditivo **A** ejerce un buen efecto plastificante sobre el geopolímero en el procesamiento de la composición. Como resultado, el geopolímero se puede procesar de manera eficiente con una pequeña cantidad de agua, lo que permite una resistencia particularmente alta.

El plastificante puede estar presente como un elemento constitutivo del componente en polvo o como un elemento constitutivo del componente acuoso del geopolímero o como un componente separado. Preferiblemente, el plastificante está en forma de un componente separado que se mezcla con los componentes del geopolímero solo durante el procesamiento de la composición.

Los geopolímeros que contienen metacaolín son particularmente exigentes en cuanto al procesamiento. Tales geopolímeros suelen ser comparativamente pegajosos y, por lo tanto, difíciles de procesar, lo que significa que un buen plastificante es particularmente importante.
Preferiblemente, el componente en polvo del geopolímero en la composición contiene al menos 10 % en peso de metacaolín, especialmente de 10 % al 60 % en peso, en función del 100 % en peso del componente en polvo.

Preferiblemente, el componente en polvo del geopolímero en la composición comprende cenizas volantes y/o escoria de alto horno, especialmente cenizas volantes.
Más preferiblemente, el componente en polvo del geopolímero comprende una mezcla de metacaolín y ceniza volante, donde el componente metacaolín es preferiblemente del 10 % al 60 % en peso, especialmente del 30 % al 50 % en peso, en función de la suma total de metacaolín y cenizas volantes.
Los geopolímeros que contienen solo cenizas volantes como silicato de aluminio tienen un desarrollo muy lento de resistencia.
Más preferiblemente, el componente en polvo del geopolímero comprende una mezcla de metacaolín, cenizas volantes y escoria de alto horno, donde el componente metacaolín es del 30 % al 60 % en peso, en función de la suma total de metacaolín, cenizas volantes y escoria de alto horno.
Si hay escoria de alto horno en el componente en polvo del geopolímero, la proporción de escoria de alto horno es preferiblemente del 20 % al 40 % en peso, más preferiblemente del 25 % al 35 % en peso, en función del 100 % en peso de la suma total de todos los silicatos de aluminio en el componente en polvo.

Aptos también como silicato de metal alcalino $\mathbf{S_2}$ son los silicatos de metales alcalinos $\mathbf{S_1}$ ya mencionado como adecuados.

Preferiblemente, el silicato de metal alcalino $\mathbf{S_2}$ tiene una relación molar de SiO_2 a M_2O en el intervalo de 0,8 a 2,4, preferiblemente de 1,0 a 2,0, especialmente de 1,4 a 2,0, especialmente de preferencia de 1,4 a 1,8. Esta relación preferida puede haberse establecido mediante la adición de NaOH o KOH, por ejemplo. Si la relación de SiO_2 a M_2O está en la región de 0,8 o menos, el tiempo de procesamiento del geopolímero puede ser muy corto y el geopolímero es altamente alcalino, lo que constituye un riesgo de seguridad elevado para el usuario. Si la relación de SiO_2 a M_2O es superior a 2,4, la reacción de geopolimerización es muy lenta, especialmente cuando el endurecimiento se efectúa sin suministro de calor, por lo que los cuerpos moldeados producidos a menudo aún no están sólidos incluso después de 24 horas.

Preferiblemente, el silicato de metal alcalino $\mathbf{S_2}$ es un silicato de potasio y/o silicato de sodio, especialmente un silicato de potasio.

Preferiblemente, el componente acuoso del geopolímero contiene de 30 % a 50 % en peso de silicato de metal alcalino $\mathbf{S_2}$.

En una modalidad particularmente preferida de la invención, si el aditivo **A** comprende un silicato de metal alcalino $\mathbf{S_1}$, este silicato de metal alcalino $\mathbf{S_1}$ y el silicato de metal alcalino $\mathbf{S_2}$ en el componente acuoso del geopolímero son diferentes en relación con el metal alcalino presente. Preferiblemente, el silicato de metal alcalino $\mathbf{S_1}$ presente es un silicato de sodio y el metal alcalino $\mathbf{S_2}$ presente es un silicato de potasio. Tal composición muestra una procesabilidad y una resistencia particularmente buenas después del endurecimiento.

La composición puede consistir únicamente en geopolímero y el aditivo **A** y ser utilizada como tal para inyecciones, por ejemplo, o puede comprender otros ingredientes.

Preferiblemente, la composición comprende adicionalmente arena y/o grava y/o aditivos adicionales. Dicha composición es particularmente adecuada como mortero, hormigón, moldeado, lechada o revestimiento.

El plastificante aquí está especialmente presente en una cantidad tal que hay de 2 a 7 partes en peso de plastificante, calculado en forma sólida, por 100 partes en peso del componente en polvo del geopolímero.

La composición se procesa mezclando todos los componentes de la composición juntos. Más particularmente, el componente en polvo y el componente acuoso del geopolímero y el plastificante se mezclan simultáneamente entre sí, o el componente en polvo y el componente acuoso del geopolímero se mezclan primero entre sí, y el plastificante se agrega al geopolímero mezclado inmediatamente después y mezclado bien.

Preferiblemente, el plastificante está presente como un componente separado y se mezcla con los componentes recién mezclados del geopolímero. Este modo de procesamiento permite una plastificación particularmente buena.

La mezcla de los componentes del geopolímero se efectúa preferiblemente con una herramienta de mezcla habitual en la producción de mortero. La mezcla especialmente intensiva o la molienda adicional de los componentes no es ventajosa para el procesamiento y uso del geopolímero. La mezcla excesivamente larga y excesivamente intensiva cuesta tiempo y energía, aumenta de manera indeseable la entrada de aire en la mezcla y puede dificultar la reacción de geopolimerización.
El tiempo de mezcla del geopolímero es preferiblemente no más de 6 minutos, más preferiblemente no más de 5 minutos, incluso más preferiblemente no más de 4 minutos, especialmente de preferencia no más de 3 minutos.

La composición mezclada se convierte a la forma deseada, convenientemente dentro del período de tiempo dentro del cual tiene buena capacidad de formación.
El contacto del componente en polvo con el componente acuoso comienza el endurecimiento del geopolímero por reacción química. Esto forma enlaces Si-O-Al-O con la formación de una estructura de polímero inorgánico tridimensional, que finalmente resulta en el endurecimiento de la masa para dar un sólido.
El endurecimiento de la composición se produce típicamente a temperaturas de 10 a 120 °C. Se da preferencia al endurecimiento a temperatura ambiente, especialmente a una temperatura en el intervalo de 20 a 35 °C.

La invención proporciona además un proceso para producir un cuerpo moldeado, que comprende las etapas de

- proporcionar la composición que comprende al menos un geopolímero y al menos un

plastificante como se describe anteriormente,

- mezclar los componentes de la composición,
- aplicar la composición,
- endurecer la composición.

El cuerpo formado aquí especialmente tiene una forma tridimensional.

Este proceso se utiliza para obtener un artículo que comprende la composición endurecida.
La invención proporciona además ese artículo.

El cuerpo moldeado o el artículo constituyen preferiblemente un componente de un edificio o una estructura construida, especialmente una cubierta, una pared, un piso, un revestimiento, un contrapiso o un relleno.

Ejemplos

A continuación se presentan ejemplos de trabajo, que se pretende que aclaren la invención descrita en detalle. Se comprenderá que la invención no se restringe a estos ejemplos de trabajo descritos.

«GP» significa «mezcla de geopolímero».

«Ref. » significa «ejemplo de referencia».

«Ej. » significa «ejemplo».

Descripción de los métodos de prueba.

El **contenido de sólidos** de las soluciones se determinó con un secador halógeno de Mettler Toledo.

Los contenidos de **SiO_2, Na_2O y K_2O** y el contenido de **silicato de metal alcalino** de las soluciones de silicato de metal alcalino se tomaron de las hojas de datos de los fabricantes.

El **peso molecular M_w** promedio de los polímeros se determinó mediante cromatografía de permeación en gel (GPC).

Condiciones de medición de GPC

Columnas: PSS Suprema 10 µm, 2 x 1000 Å, 1 x 30 Å, todos 8 x 300 mm con precolumna, de PSS Polymer Standards Service, Alemania

Eluyente: 0,1N $NaNO_3$ ajustado a pH 12 con NaOH

Velocidad de flujo: 0,8 mL/min

Temperatura (horno de columna y detector): 45 °C

Desgasificador en línea AF, Waters

Bomba: Varian Pro Star Modelo 220

Detector: Detector de IR Waters 2414

Estándares: sal de sodio de ácido polimetacrílico M_w 1 220, 3 180, 8 210, 34 900, 163 000 de PSS Polymer Standards Service

Concentración de los estándares, disueltos en el eluyente: 1 mg/mL

Concentración de las muestras calculadas en forma sólida, disueltas en el eluyente: 10 mg/mL

Software de evaluación: Breeze™ 2, Waters

Las composiciones se ensayaron de la siguiente manera:

El asentamiento se determinó según EN 1015-3. Los valores en las tablas se basan en el diámetro del mortero directamente después de la elevación del cono de asentamiento y esperando el final del movimiento de flujo sin elevaciones de la tabla de flujo. El asentamiento sirve como una medida de la capacidad de flujo de la composición, en el que un elevado asentamiento muestra

una alta capacidad de flujo de la composición o un buen efecto del plastificante presente. El asentamiento se determinó de inmediato y, si correspondía, después de 10, 20, 30 y 45 minutos después de la mezcla del mortero.

Para la determinación de la **resistencia a la compresión** de las composiciones endurecidas, se produjeron prismas de 4x4x16 cm, se desmoldaron después de 24 horas y se almacenaron a 20 °C y 65 % de humedad relativa del aire y se probaron según EN 196-1.

Materiales utilizados

Metaver® R, metacaolín, Newchem, Suiza

Metastar™ 501, metacaolín, Imerys, EE.UU.

EFA®-Füller, cenizas volantes, BauMineral, Alemania

Arena de fundición SH 20, escoria de alto horno, HeidelbergCement, Alemania

Arena de fundición de Untervaz, escoria de alto horno, Holcim, Suiza

WG-1: solución acuosa de silicato de potasio con un contenido de silicato de metal alcalino del 41 % en peso y una relación molar de SiO_2/K_2O de 3.

WG-2: solución acuosa de silicato de potasio con un contenido de silicato de metal alcalino de 48 % en peso y una relación molar de SiO_2/K_2O de 1.

WG-3: solución acuosa de silicato de potasio con un contenido de silicato de metal alcalino del 30 % en peso y una relación molar SiO_2/K_2O de 2.

WG-4: solución acuosa de silicato de potasio con un contenido de silicato de metal alcalino del 45 % en peso y una relación molar de SiO_2/K_2O de 1,5.

WG-5: solución acuosa de silicato de sodio con un contenido de silicato de metal alcalino de 42,6 % en peso y una relación molar de SiO_2/K_2O de 1,5.

NaMS: metasilicato de sodio pentahidratado, Sigma Aldrich, Suiza.

PA-15: Sokalan® PA 15 (de BASF), sal sódica de ácido poliacrílico, M_w = 2 400 g/mol, contenido de sólidos de la solución acuosa de 45 % en peso, pH (solución al 10 %) 8.

PA-25: Sokalan® PA 25 XS (de BASF), ácido poliacrílico, M_w = 4 000 g / mol, contenido de sólidos de la solución acuosa de 49 % en peso, pH 2,8.

PA-40: Sokalan® PA 40 (de BASF), sal sódica de ácido poliacrílico, M_w = 14 500 g / mol, contenido de sólidos de la solución acuosa de 35 % en peso, pH 7.

PA-70: Sokalan® PA 70 PN (de BASF), sal sódica de ácido poliacrílico, M_w = 43 800 g/mol, contenido de sólidos de la solución acuosa de 30 % en peso, pH 5.

PA-80: Sokalan® PA 80 S (de BASF), ácido poliacrílico, M_w = 79 500 g/mol, contenido de sólidos de la solución acuosa de 35 % en peso, pH (solución al 10 %) 2.

Dolapix SPC 7 (de Zschimmer & Schwarz Chemische Fabriken), dispersante y plastificante, solución acuosa con un contenido de sólidos del 52 % en peso, que contiene un polímero soluble en agua que tiene grupos carboxilo con un peso molecular promedio M_w de 3 200 g/mol y un silicato de sodio, pH 13, muestra de 2013.

Arena de cuarzo: Quarzwerke Austria, Austria.

En la evaluación de los resultados de las tablas 1 a 7, es importante tener en cuenta que la composición de geopolímero, para cada nuevo lote de metacaolín y cenizas volantes, debido a las variaciones en la composición de estas materias primas, en particular de las cenizas volantes, había alterado sus propiedades y en algunos casos tuvo que ser ajustada. Este ajuste se realizó mediante una ligera variación en la cantidad de silicato de metal alcalino y en la cantidad de KOH. Dentro de una serie de pruebas, se utilizó la misma composición de geopolímero en cada caso con lotes idénticos de metacaolín y cenizas volantes. Esto explica los diferentes valores de Ref.1, Ref.12 y Ref.13.

Serie de pruebas 1 - Manejabilidad y endurecimiento de geopolímeros compuestos de metacaolín y cenizas volantes.

Se introdujo Metaver® R y EFA® Füller HP en un mezclador forzado de Hobart en las cantidades especificadas en la tabla 1 y el polvo se mezcló en el nivel 1 durante 1 minuto. A los 30 segundos, mientras se agitaba en el nivel 1, se agregaron 348 g de WG-4 y 10 g de agua. La mezcla se continuó en el nivel 1 durante 30 segundos más y luego en el nivel 2 durante 2 minutos más. Si el geopolímero no era lo suficientemente homogéneo después de estos 3 minutos de tiempo de mezcla de la mezcla húmeda, se continuó mezclando hasta que la mezcla fuera homogénea, pero durante no más de 8 minutos. Posteriormente, se determinó el asentamiento de cada composición. Los resultados se registran en la Tabla 1.

Tabla 1

	GP 1[1)]	GP 2[2)]	GP 3[2)]	GP 4[2)]	GP 5	GP 6	GP 7
Metaver® R [g]	864	785,5	576	518,4	259,5	86,4	0
EFA®-Füller [g]	0	78,5	288	345,6	604,5	777,6	864
Metacaolín a cenizas volantes [partes en peso]	1:0	10:1	2:1	1,5:1	1:2,3	1:9	0:1
Asentamiento [mm]							
inmediato	n.m.[3)]	n.m.[3)]	n.r.[4)]	n.r.[4)]	229	290	278
10 min.	n.m.[3)]	n.m.[3)]	146	154	246	297	288
20 min.	n.m.[3]	n.m.[3]	175	182	254	293	288
30 min.	n.m.[3)]	n.m.[3)]	185	195	265	293	286
45 min.	n.m.[3)]	n.m.[3)]	162	198	268	279	278
Sólido después de 24 horas.	sí	sí	sí	sí	sí	sí	no

[1)] tiempo de mezcla 8 minutos

[2)] tiempo de mezcla 5 minutos

[3)] no medible, demasiado duro y pegajoso

[4)] medición no realizada debido a tiempo de mezcla prolongado

Serie de pruebas 2 - Manejabilidad de geopolímeros con silicato de sodio/silicato de potasio.

Se mezclaron 259,5 g de Metaver® R y 604,5 g de EFA® Füller HP en un mezclador forzado de Hobart en el nivel 1 durante 1 minuto. A los 30 segundos, con agitación continua, se agregaron el vidrio soluble (WG-4 o WG-5) y el agua de acuerdo con la tabla 2. La mezcla se continuó en el nivel 1 durante 30 segundos más y luego en el nivel 2 durante 2 minutos más. Si el geopolímero no era lo suficientemente homogéneo después de estos 3 minutos de tiempo de mezcla de la mezcla húmeda, se continuó mezclando hasta que la mezcla fuera homogénea, pero durante no más de 8 minutos. Posteriormente, se determinó el asentamiento de cada composición. Los resultados se registran en la Tabla 2.

Tabla 2

	GP 5	GP 8[1)]
WG-4 [g]	348	0
WG-5 [g]	0	348
Agua (g)	10	1,5
Agua total en el geopolímero [g]	201	201
Asentamiento [mm]		
inmediato	229	n.r.[2)]
10 min.	246	134
20 min.	254	n.m.[3)]
30 min.	265	n.m.[3)]
45 min.	268	n.m.[3)]
Resistencia a la compresión después de 24 horas [MPa]	23,0	17,4

[1)] tiempo de mezcla 5 minutos

[2)] medición no realizada debido al tiempo de mezcla prolongado

[3)] no medible, demasiado duro y pegajoso

Serie de pruebas 3 - Prueba de acción plastificante de plastificantes comerciales para cemento y yeso en comparación

Se mezclaron 329 g (21,9 partes en peso) de Metaver® R y 767 g (51,1 partes en peso) de EFA® Füller HP en un mezclador forzado de Hobart en el nivel 1 durante 1 minuto. A los 30 segundos, con agitación continua, se agregó una solución de 348 g (23,2 partes en peso) de WG-1 y 56 g (3,7 partes en peso) de una solución acuosa de KOH de 50 % en peso. A los 30 segundos adicionales, el plastificante según la tabla 3 se agregó en la dosis especificada y la composición se mezcló en el nivel 2 durante 2 a 3 minutos más. Posteriormente, se determinó el asentamiento de cada composición. Los resultados se registran en la Tabla 3.

Tabla 3

	Plastificante	Dosificación[1)]	Asentamiento [mm]		
			inmediato	20 min.	45 min.
Ref.1	ninguno	0	178	166	140
Ref.2	Ultrazine NAS [2)]	0,75	115	108	np [6)]
Ref.3	Ultrazine NAS [2)]	1,5	100	np [6)]	np [6)]
Ref.4	Ultrazine NAS [2)]	3,0	np [6)]	np [6)]	np [6)]
Ref.5	Borrement CA 120 [3)]	1,5	100	np [6)]	np [6)]
Ref.6	Borrement CA 120 [3)]	3,0	np [6)]	np [6)]	np [6)]
Ref.7	Sikament® FF-86 [4)]	3,0	100	np [6)]	np [6)]
Ref.8	Gluconato de Na	0,1	187	123	108
Ref.9	Sika® ViscoCrete® 120p [5)]	1,5	100	np [6)]	np [6)]
Ref.10	Sika® ViscoCrete® 120p [5)]	3,0	100	np [6)]	np [6)]

[1)] partes en peso de sólidos por 100 partes en peso de geopolímero

[2)] polvo de lignosulfonato de Na (de Borregaard)

[3)] polvo de lignosulfonato de Ca (de Borregaard)

[4)] polvo de condensado de melamina sulfonada (de Sika)

[5)] policarboxilato éter en polvo (de Sika)

[6)] no procesable (demasiado rígido)

Serie de pruebas 4 - Ensayo de acción plastificante del ácido poliacrílico y mezclas de ácido poliacrílico con silicato de metal alcalino

Se preparó un geopolímero de manera análoga a la serie de pruebas 3.

En cada caso, a este geopolímero se le agregó el plastificante especificado en la tabla 4 en la dosis especificada, y se determinó el asentamiento de la composición como se describe para la serie de pruebas 3.

Los plastificantes utilizados fueron producidos de la siguiente manera:

PA-25 pH 2,8: Se diluyó PA-25 con agua hasta un contenido de sólidos del 37,7 % en peso.

PA-25 pH 8: El PA-25 se ajustó a un pH de 8 mediante la adición de NaOH y el contenido de sólidos se ajustó al 37,7 % en peso mediante la adición de agua.

Para ej. 4 a ej. 6, según la tabla 4, la cantidad de metasilicato de sodio pentahidratado (NaMS) especificada se mezcló con la cantidad de PA-25 pH 8 especificada, y esta mezcla se usó como plastificante.

Tabla 4

	Plastificante	Dosis	Asentamiento [mm]		
			inmediato	20 min.	45 min.
Ref.11	PA-25 pH 2,8:	3.0 [1)]	np[3)]	np[3)]	np[3)]
· Ej.1	PA-25 pH 8:	2,0 [1)]	213	206	177
· Ej.2	PA-25 pH 8:	3,0 [1)]	211	204	167
· Ej.3	PA-25 pH 8:	5,0[1]	186	172	136

· Ej.4	PA-25 pH 8: NaMS	3,0 [1)] 7,0 [2)]	226	229	214
· Ej.5	PA-25 pH 8: NaMS	3,0 [1)] 10,3 [2)]	237	237	221
· Ej.6	PA-25 pH 8: NaMS	3,0 [1)] 17,2 [2)]	252	263	242
· Ej.7	Dolapix SPC 7	2,0 [1)]	233	228	210
· Ej.8	Dolapix SPC 7	3,0 [1)]	252	247	232

[1)] partes en peso de sólidos por 100 partes en peso de componente en polvo (metacaolín y cenizas volantes) del geopolímero

[2)] partes en peso de NaMS por 100 partes en peso de solución PA-25 ph 8

[3)] no procesable (demasiado rígido y pegajoso)

Serie de pruebas 5 - Ensayo de acción plastificante del ácido poliacrílico y mezclas de ácido poliacrílico con silicato de metal alcalino

Un geopolímero que tiene la siguiente composición se preparó de manera análoga a la serie de pruebas 3:

21,6 partes en peso de Metaver® R

50,4 partes en peso de EFA® Füller HP

21,2 partes en peso de WG-1

6,8 partes en peso de KOH (solución acuosa al 50 %)

En cada caso, a este geopolímero se le agregó el plastificante especificado en la tabla 5, y se determinó el asentamiento de la composición como se describe para la serie de pruebas 3.

Los plastificantes utilizados fueron producidos de la siguiente manera:

La solución de ácido poliacrílico respectiva se ajustó a pH 13 mediante la adición de NaOH y se usó como tal en los ejemplos 9 a 12. En los ejemplos 13 a 16, también se mezclaron 17,2 g de metasilicato de sodio pentahidratado (NaMS) en cada caso, en función de 100 g de la solución de ácido poliacrílico, en las soluciones de ácido poliacrílico de pH 13.

Los plastificantes utilizados se dosificaron de forma tal que estuviesen presentes 3,0 partes en peso de sólidos de ácido poliacrílico por 100 partes en peso de componente en polvo (metacaolín y cenizas volantes) del geopolímero.

Tabla 5

	Plastificante	SC[1)] % en peso	Asentamiento [mm] 5 min.	20 min.	45 min.
Ref.12	· ninguno		220	226	224
· Ej.9	PA-15 pH 13	45	250	260	265
· Ej.10	PA-25 pH 13	37	255	250	251
· Ej.11	PA-40 pH 13	35	235	228	214
· Ej.12	PA-70 pH 13	30	235	230	214
· Ej.13	PA-15 pH 13 con NaMS	45	256	270	278
· Ej.14	PA-25 pH 13 con NaMS	37	268	269	269
· Ej.15	PA-40 pH 13 con NaMS	35	247	238	225
· Ej.16	PA-70 pH 13 con NaMS	30	248	242	227

[1)] Contenido de sólidos de la solución de ácido poliacrílico de pH 13.

Serie de pruebas 6 - Prueba del efecto del ácido poliacrílico y mezclas de ácido poliacrílico con silicato de metal alcalino sobre las características de flujo y el desarrollo de la resistencia.

Un geopolímero que tiene la siguiente composición se preparó de manera análoga a la serie de pruebas 3:

21,6 partes en peso de Metaver® R

50,4 partes en peso de EFA® Füller HP

21,2 partes en peso de WG-1

3,4 partes en peso de KOH en polvo

En el caso de este geopolímero, se disolvió KOH en forma de polvo en WG-1.

Para la mezcla de referencia Ref.13 y los ejemplos 17 y 18, también se añadieron 3,4 partes en peso de agua. Para los ejemplos 19 a 22, solo se agregaron 1,6 partes en peso de agua, para compensar la cantidad de agua introducida por la solución de silicato de metal alcalino en el plastificante.

En cada caso, se agregó al geopolímero el plastificante especificado en la tabla 6 como se describe para la serie de pruebas 3, y se determinó el asentamiento y la resistencia a la compresión de la composición.

Los plastificantes utilizados fueron producidos de la siguiente manera:

La solución de ácido poliacrílico respectiva se llevó a un pH de 13 mediante la adición de NaOH y el contenido de sólidos se ajustó al 31 % en peso mediante la adición de agua, y se usó como tal para los ejemplos 17 y 18. Para los ejemplos 19 a 22, se mezcló una cantidad suficiente de solución de silicato de metal alcalino, WG-2 o WG-3 según la tabla 6 en las soluciones de ácido poliacrílico de pH 13 y contenido de sólidos del 31 % en peso para que estuviese presente una cantidad de 11,2 partes en peso de silicato de metal alcalino sólido en función de 100 partes en peso de solución de ácido poliacrílico.

Los plastificantes utilizados se dosificaron de forma tal que estuviesen presentes 3 partes en peso de sólidos de ácido poliacrílico por 100 partes en peso de componente en polvo (metacaolín y cenizas volantes) del geopolímero.

Tabla 6

	Plastificante	Asentamiento [mm]			Resistencia a la compresión (MPa)		
		5 min.	20 min.	45 min.	24 horas	7 días	28 días
Ref.13	· ninguno	194	216	213	(1)	(1)	(1)
· Ej.17	PA-15 2)	300	302	301	7,7	19,7	28,0
· Ej.18	PA-25 2)	271	274	274	9,8	18,2	27,5
· Ej.19	PA-15 2) con WG-2	305	310	314	9,3	21,5	29,3
· Ej.20	PA-25 2) con WG-2	278	286	290	11,2	20,9	31,6
· Ej.21	PA-15 2) con WG-3	308	317	310	10,1	19,8	30,3
· Ej.22	PA-25 2) con WG-3	277	278	280	9,3	20,0	28,7

1) no medido

2) solución acuosa de pH 13 con un contenido de sólidos del 31 % en peso

Serie de pruebas 7 - Prueba del efecto de una mezcla de ácido poliacrílico con silicato de metal alcalino sobre las características de flujo y el desarrollo de resistencia

Se mezclaron 440 g de Metaver® R, 440 g de Metastar™ 501, 240 g de EFA® Füller HP, 240 g de arena de fundición SH20, 240 g de arena de fundición Untervaz, 197 g de arena de cuarzo de 0,06-0,3 mm, 265 g de arena de cuarzo de 0,1-0,6 mm, 348 g de arena de cuarzo de 0,3-0,9 mm, 386 g de arena de cuarzo de 0,7-1,2 mm, 513 g de arena de cuarzo de 1,5-2,2 mm y 688 g de arena de cuarzo de 2,0-3,2 mm en un mezclador forzado Hobart a nivel 1 durante 1 minuto. A los 30 segundos, con agitación continua, se agregaron 1120 g de WG-4. A los 30 segundos

adicionales, el plastificante según la tabla 7 se agregó en la dosis especificada y la composición se mezcló en el nivel 2 durante 2 a 3 minutos más. Posteriormente, se determinó el asentamiento de la composición. Los resultados se registran en la Tabla 7.

Tabla 7

	Plastificante	Asentamiento [mm]				Resistencia a la compresión (MPa) 7 días
		inmediato	10 min.	20 min	30 min	
Ref.14	ninguno	248	262	247	np [1)]	57,4
Ej.23	106,7 g de Dolapix SPC 7	260	278	287	245	57,5

[1)] no procesable

Reivindicaciones:

1. El uso de un aditivo **A** que comprende
   - al menos un polímero soluble en agua que es un homopolímero o copolímero de al menos un ácido carboxílico monoetilénicamente insaturado que se ha neutralizado parcial o totalmente con un ion de metal alcalino, y
   - opcionalmente un silicato de metal alcalino $\mathbf{S_1}$,

   como plastificante para geopolímeros.

2. El uso según se reivindica en la reivindicación 1, caracterizado porque el polímero soluble en agua es un homopolímero o copolímero de ácido acrílico.

3. El uso según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el polímero soluble en agua tiene un peso molecular promedio M_w en el intervalo de 1 000 a 20 000 g/mol, preferiblemente 1 000 a 10 000 g/mol, más preferiblemente 2 000 a 8 000 g/mol.

4. El uso según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el polímero soluble en agua es un homopolímero de ácido acrílico en forma de la sal sódica y que tiene un peso molecular promedio M_w en el intervalo de 2 000 a 8 000 g/mol.

5. El uso según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el aditivo **A** comprende al menos un silicato de metal alcalino $\mathbf{S_1}$.

6. El uso según se reivindica en la reivindicación 5, caracterizado porque el silicato de metal alcalino $\mathbf{S_1}$ tiene una relación molar de SiO_2 a M_2O en el intervalo de 0,8 a 3,6, preferiblemente de 0,8 a 2, más preferiblemente de 0,8 a 1,5, donde M es Na y/o K.

7. El uso según se reivindica en la reivindicación 5 o 6, caracterizado porque el silicato de metal alcalino $\mathbf{S_1}$ está presente en una cantidad de 10 a 100 partes en peso, más preferiblemente de 15 a 80 partes en peso, especialmente de 20 a 60 partes en peso, en función de 100 partes en peso del polímero soluble en agua, ambos calculados en forma sólida.

8. El uso según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el aditivo **A** está en forma de una solución acuosa, una suspensión acuosa o un polvo seco o húmedo.

9. Una composición que comprende
   - al menos un geopolímero que comprende un componente en polvo que contiene al menos un silicato de aluminio y un componente acuoso que contiene al menos un silicato de metal alcalino $\mathbf{S_2}$, y
   - un plastificante que comprende el aditivo **A** como se describe en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

10. La composición según se reivindica en la reivindicación 9, caracterizada porque el componente en polvo del geopolímero contiene al menos un 10 % en peso de metacaolín.

11. La composición según se reivindica en la reivindicación 9 o 10, caracterizada porque el componente en polvo del geopolímero comprende cenizas volantes y/o escoria de alto horno, preferiblemente cenizas volantes.

12. La composición según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, caracterizada porque el aditivo **A** contiene un silicato de metal alcalino $\mathbf{S_1}$ que es un silicato de sodio, y en que el silicato de metal alcalino $\mathbf{S_2}$ es un silicato de potasio.

13. La composición según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, caracterizada porque comprende adicionalmente arena y/o grava y/o aditivos adicionales.

14. Un proceso para producir cuerpos moldeados, que comprende las etapas de
   - proporcionar una composición según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13,
   - mezclar los componentes de la composición,
   - aplicar la composición,
   - endurecer la composición.

15. Un artículo obtenido a partir del proceso según se reivindica en la reivindicación 14.

Resumen

La presente invención se relaciona con el uso de un aditivo, que comprende al menos un polímero soluble en agua, que es un homopolímero o copolímero de al menos un ácido carboxílico monoetilénicamente insaturado, y opcionalmente al menos un silicato alcalino como licuefactor para geopolímeros. El aditivo puede producirse de una manera simple y económica y es particularmente adecuado para la licuefacción de geopolímeros, en particular geopolímeros que contienen metacaolín.