

Zement

Zementherstellung in Österreich

Grundlagen, Daten, Fakten



Zementwerk im Überblick

Inhalt

4 Ein Blick hinter die Kulissen	10 Zementherstellung Produktionsablauf	22 Zementchemie	30 Umweltschutz in der Zementindustrie
6 Zement im Wandel der Zeit	12 Rohmaterialgewinnung	24 Zementwissen	34 Zement, das Bindemittel für Beton
8 Was ist Zement?	14 Rohmaterialaufbereitung	29 Hautschutz am Bau	
	16 Brennvorgang		
	18 Mahlung von Zement		
	20 Lagerung/Vertrieb prozessbegleitend: Qualitätskontrolle		
			36 Erklärung Fachbegriffe
			39 Impressum



In Österreich sind die Zementwerke vorwiegend im Bereich der Kalkalpen angesiedelt. An acht Standorten stehen Anlagen zum Brennen von Zementklinker zur Verfügung.



Filterspitzen der Schlauchfilteranlage bei der Entstaubungseinrichtung



Vorwärmer und Drehrohrofen



Jugendliche auf Besuch im Zementwerk

Ein Blick hinter die Kulissen

Die Zementherstellung in Österreich

Mit dieser Broschüre möchte die österreichische Zementindustrie, die es bereits seit 1856 gibt, ihre Tore öffnen und einen Blick hinter die Kulissen der Zementproduktion ermöglichen.

Seit wann gibt es eigentlich Zement? Wo in Österreich wird er produziert? Wie wird bei der Herstellung auf unsere Umwelt und das Klima Rücksicht genommen? Wie und woraus wird Zement gemacht? Was ist ein Drehrohrofen und was passiert, wenn der Zement erhärtet?

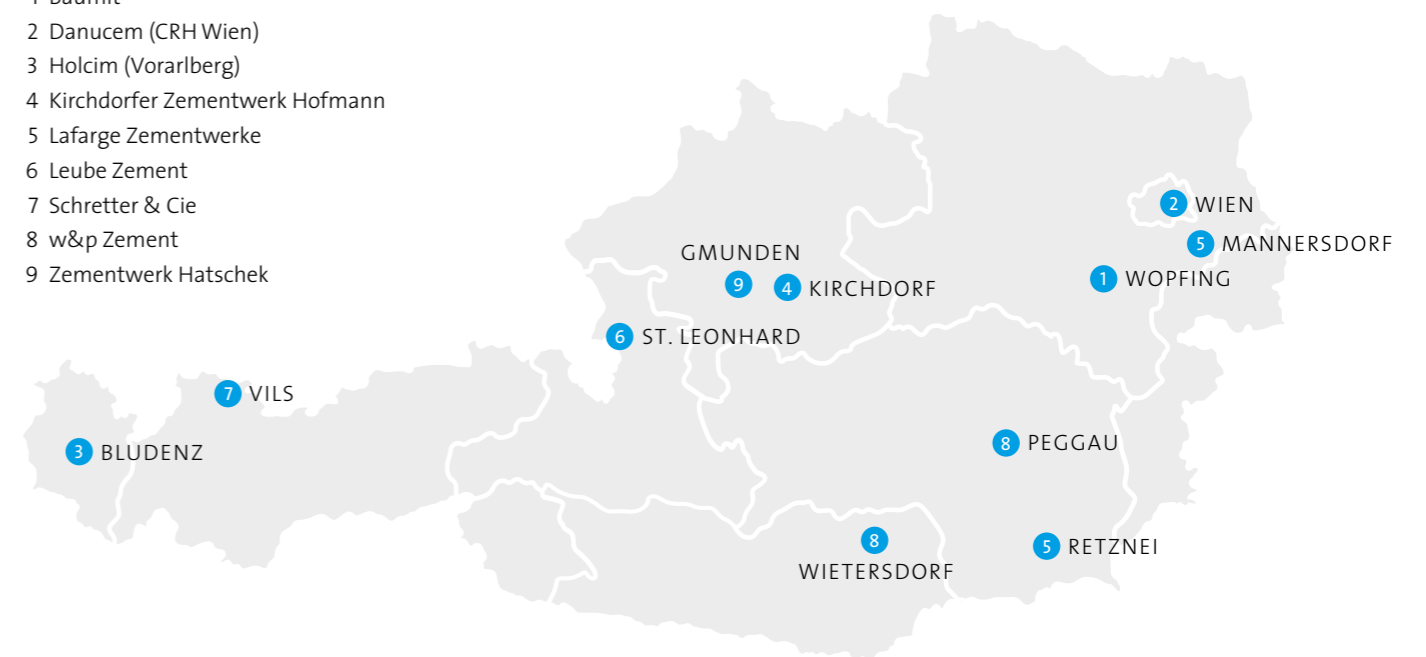
Von der Geschichte des Zements über seine Herstellung und die verschiedenen Zementsorten, über die europäischen Normen und die Zementchemie: In dieser Broschüre werden wichtige Daten und Fakten rund um den Baustoff Zement übersichtlich und verständlich präsentiert.

Zement ist das Bindemittel für Beton, den meistgenutzten Baustoff weltweit. Beton wird eingesetzt zur Errichtung von Infrastruktur und Gebäuden und sichert Mobilität für Millionen von Menschen. Beton ist langlebig, belastbar, vielseitig, erschwinglich, recycelbar und wird regional hergestellt – all das wäre ohne Zement nicht möglich!

Einige der österreichischen Zementhersteller bieten in ihren Werken Führungen an, immer wieder finden auch Veranstaltungen wie Tage der offenen Tür statt. Da heißt es: Schutzhelm und -brille aufsetzen, Warnweste anziehen und die Zementherstellung hautnah erleben! Tauchen Sie mit uns ein in die Welt des Zements!

Standorte der österreichischen Zementindustrie

- 1 Baumit
- 2 Danucem (CRH Wien)
- 3 Holcim (Vorarlberg)
- 4 Kirchdorfer Zementwerk Hofmann
- 5 Lafarge Zementwerke
- 6 Leube Zement
- 7 Schretter & Cie
- 8 w&p Zement
- 9 Zementwerk Hatschek



Fotos: Leube; Z+B/Paul Resch



Das Aquädukt in Nîmes (Frankreich) aus „opus caementitium“ gehört seit 1985 zum UNESCO-Weltkulturerbe. Der Pont du Gard ist der berühmteste Teil des römischen Aquädukts, das Wasser aus der Quelle von Uzès nach Nîmes beförderte. Die unteren Stockwerke bestehen nur aus Stein. Kalkmörtel und Kies wurden verwendet, um die Wasserleitung (im 3. Stock der Brücke) aus Kalkstein wasserdicht zu machen. Es ist das höchste römische Aquädukt, aber auch eines der am besten erhaltenen.

Fotos: Benh LIEU SONG/CC-by-SA 3.0; Bgabel auf wikipovoyage shared

Zement im Wandel der Zeit

Zement wurde bereits in der Antike verwendet. Seine Bestandteile haben sich im Laufe der Zeit verändert.

Unser Wort „Zement“ geht auf die Römer zurück, die schon vor mehr als 2000 Jahren Mauern aus „römischen Beton“ erbauten. Dieser bestand aus dem Mortar (Mörtel) – hergestellt aus vulkanischen Aschen, gebranntem Kalk, Wasser und Sand – und Bruchsteinen. Er zeichnete sich durch eine für damalige Verhältnisse hohe Druckfestigkeit aus. Damit wurden unter anderem die Kuppel des Pantheons, Wasser- und Abwasserleitungen sowie Hafenanlagen in Rom errichtet. Die Römer bezeichneten

ihren Baustoff als „opus caementitium“, das ist der Vorläufer unseres heutigen Betons.

Viele Jahre später, im 18. Jahrhundert, lüftete der Engländer John Smeaton das Geheimnis des hydraulischen Kalks und lieferte damit die Grundlage zur späteren Erzeugung von Zement.

1824 meldete sein Landsmann Joseph Aspdin das Patent zur Herstellung des sogenannten „Portland-Zements“ an (der Name leitet sich von der farblichen

Ähnlichkeit mit dem südeuropäischen Portland-Kalkstein ab). Aspdin mischte Ton und Kalk und erhitzte sie dann zusammen. Ab 1844 konnte der Brennprozess zur Klinkerherstellung bei ausreichend hoher Temperatur (ca. 1.450 °C) durchgeführt werden. Die Materialien wurden so bis zur Sinterung, also fast bis zum Schmelzpunkt, erhitzt. Durch diese Behandlung entstanden kleine, steinartige Kügelchen, sogenannte Zement-Klinker. Gemahlen ergaben diese einen pulverförmigen Zement, der sich nach Zugabe von Wasser hervorragend als Bindemittel für Beton eignete.

Der Begründer der Erzeugung von Portlandzement in Österreich war Alois Kraft. Aus seinem Steinbruch in Tirol wurde Mergel, ein natürliches Gestein, gewonnen, der sich besonders gut für die Herstellung von Portlandzement eignet. Gemeinsam mit Angelo Saullich gründete er in Perlmoo bei Kufstein die erste Portlandzementfabrik (1856 erstmalig

erwähnt). Die österreichische Zementindustrie hatte die ausländische Konkurrenz innerhalb kürzester Zeit in Sachen Qualität eingeholt. Aufgrund der reichlichen

Rohstoffvorkommen entstanden nun in ganz Österreich Zementwerke.

Die Zementproduktion greift auf die natürlichen Rohstoffe Kalkstein, Ton bzw. Mergel zurück, deren Vorkommen für die Standortwahl der einzelnen Werke entscheidend war. Im Gebiet der österreichischen Monarchie wurden knapp 50 Werke betrieben, heute wird noch an acht Standorten gebrannt.



Beton ist als Baustoff seit der Antike in Gebrauch: Die zur Zeit Kaiser Hadrians 125–128 n. Chr. fertiggestellte Kuppel des Pantheons (Rom) aus römischem Beton war mehr als 1.700 Jahre lang der größte Kuppelbau der Welt.

Was ist Zement?

Zement ist ein anorganisches, fein gemahlenes, hydraulisch wirkendes Bindemittel für die Baustoffe Beton und Mörtel. Zement erhärtet durch die Reaktion mit Wasser und bleibt auch unter Wasser fest und beständig.

Zement ist ein feingemahlener Stoff aus mehreren Bestandteilen:



Portlandzementklinker

Die wichtigsten Rohstoffe für die Herstellung von Zementklinker sind Kalkstein und Ton bzw. Mergel:



Kalkstein



Ton



Mergel

- Sein wichtigster Bestandteil ist **Portlandzementklinker** (siehe Seite 22). Portlandzementklinker ist ein hydraulischer Stoff. Bei der Sinterung werden feinkörnige, pulvrige Stoffe vermischt und auf Temperaturen unterhalb deren Schmelztemperatur erhitzt. Dadurch entstehen neue Verbindungen – die Klinkerminerale.

Die wesentlichen Ausgangsstoffe der Erzeugung des Portlandzementklinkers sind Kalkstein und Ton, die häufig als natürliches Gemisch vorliegen und dann als Mergel bezeichnet werden. Die Rohstoffe werden in Steinbrüchen und Tongruben gewonnen und zu Rohmehl verarbeitet. Als Korrekturmaterien werden bei Bedarf Sande und eisen/aluminiumoxidhaltige Stoffe eingesetzt. Bei Materialtemperaturen von etwa 1.450 °C bilden sich durch den Sinterprozess die Klinkerminerale.

- Hüttensand, getemperte Tone, Kalkstein**
Je nach Zementsorte werden dem Portlandzement die Bestandteile Hüttensand, Flugasche, getemperte Tone oder Kalkstein in unterschiedlichen Mengen zugemahlen. Dadurch werden die erforderlichen Eigenschaften des Zements gesteuert.
- Gips**
Zur Verzögerung der Erstarrung und damit zur Regelung der Verarbeitungszeit wird ein Sulfatträger (Gips oder Anhydrit) zugemahlen.
- Nebenbestandteile**
Nebenbestandteile verbessern aufgrund ihrer Korngrößenverteilung die Eigenschaften des Zements. Ihr Masseanteil ist mit höchstens 5 % Masse begrenzt.

Durch das Mischen dieser Bestandteile erhält der Zement bestimmte Eigenschaften.



Hüttensand



getempertes Ton



Flugasche



Gips

Fotos: w&P/Foto Freisinger, simi/CC BY-SA 3.0, Werbeagentur freimansky, Z4B, Z4B/Herfert

Wesentliche Ausgangsstoffe der Zementherstellung

Allgemeine Stoffbezeichnung	Chemische Bezeichnung	Chemischer Stoff
Kalkstein	CaCO ₃	Calciumcarbonat
Tonbestandteile, z. B. Kaolinit	z. B. Al ₄ [(OH) ₈ / Si ₄ O ₁₀]	Aluminiumsilikat
Quarzsande	SiO ₂	Kieselsäure
Eisenoxidhaltige Stoffe	Fe ₂ O ₃	Eisenoxid

Zementherstellung Produktionsablauf

1

Rohmaterial-
gewinnung

2

Rohmaterial-
aufbereitung

3

Brennvorgang

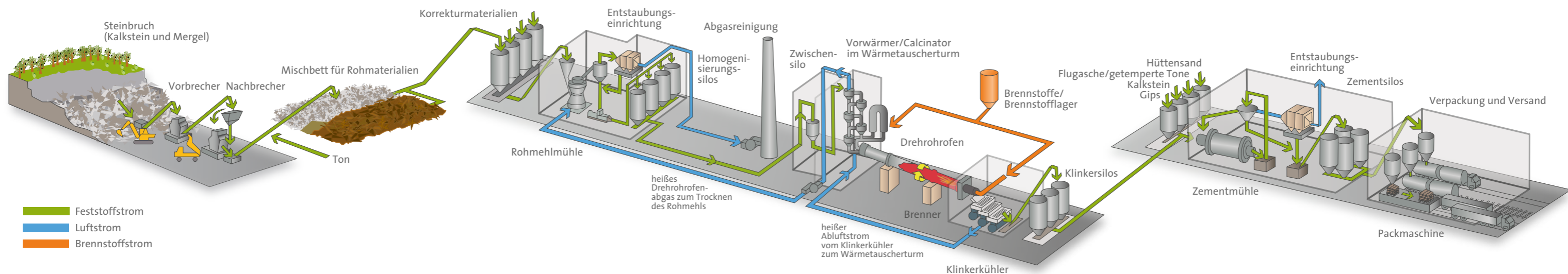
4

Mahlung
von Zement

5

Lagerung/Vertrieb

prozessbegleitend:
Qualitätskontrolle



Digitalisierung in der Zementherstellung
Der Stofftransport ist heute in hohem Maß automatisiert, die Produktion wird über computergestützte Prozessleitsysteme gesteuert und überwacht. Für eine möglichst effiziente Gestaltung müssen viele Prozess- und Materialdaten erhoben und analysiert werden. Diese Daten bilden die Grundlage für eine optimale Produktionsplanung und Anlieferung der benötigten Stoffe. Im Zementwerk werden regelmäßig von Rohstoffen, Zwischenprodukten und

fertigem Zement Materialstichproben genommen, um die Qualitätsanforderungen und Umweltschutzvorgaben zu erfüllen bzw. zu sichern. Die Abläufe von Probenahme, Aufbereitung, Analyse bis hin zur Datenübertragung und -darstellung auf dem Leitstand (siehe Rohmaterialaufbereitung, Seite 15) sind heutzutage weitestgehend vollautomatisiert – die Zementindustrie ist im Zeitalter der „Digitalisierung 4.0“ angekommen.

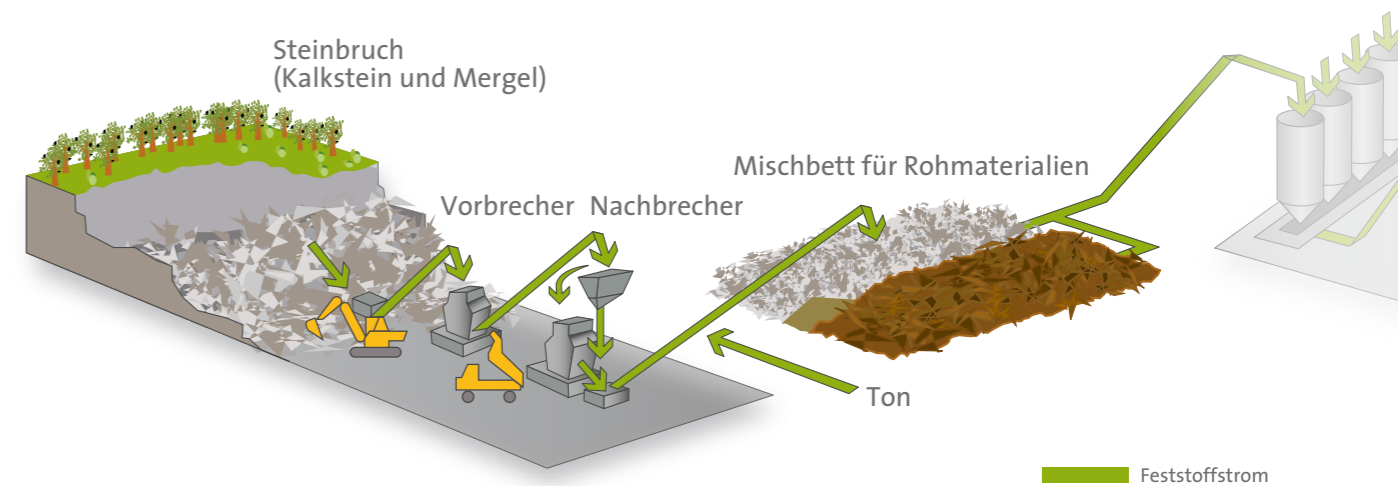
Investitionen in Umwelt- und Klimaschutz
In der Zementherstellung wurde in den letzten Jahren konsequent in Anlagen investiert. Durch die fortlaufende Optimierung der Zementproduktion und den Einsatz innovativer Technologien wurden deutliche Verbesserungen im Umwelt- und Klimaschutz erreicht. Ziel ist, Klimaneutralität der gesamten Zement- und Betonwertschöpfungskette bis zum Jahr 2050 zu erreichen, von der Herstellung über Bau und Betrieb bis zum Recycling.

Die Zementherstellung hat sich zu einer modernen Hightech-Industrie entwickelt. Das vollautomatische Labor liefert Daten zur Qualitätskontrolle.



Foto: w&p/Foto Freisinger

1 Rohmaterialgewinnung



Die Rohstoffe Kalkstein, Ton und Mergel werden in Steinbrüchen und Tongruben gewonnen. Das dort abgebaute Rohmaterial wird in Brechanlagen zerkleinert, ins Zementwerk transportiert und im sogenannten Mischbett zwischengelagert und homogenisiert (vergleichmäßig).

Das Mengenverhältnis der wesentlichen Ausgangsstoffe für die Zementherstellung beträgt in der Regel zwei Teile Kalkstein und einen Teil Ton. Mergel kann meist direkt als Rohmaterial aus dem Steinbruch verwendet werden.

Abbaustätten von Kalkstein, Mergel, Kies und Sand können während des Betriebs bzw. nach der Stilllegung hochwertige Lebensräume für Tiere und Pflanzen darstellen. Die Zementindustrie hat sich dazu verpflichtet, die Flächen nach Beendigung des Abbaus zu renaturieren bzw. zu rekultivieren. Dadurch entstehen ökologische Nischen, die zur Artenvielfalt beitragen. (siehe Umweltschutz, Seite 31)

*Bild links:
Kalkstein und Mergel werden in Steinbrüchen durch Sprengen oder mit schwerem Gerät durch Reißen gewonnen. Radlader und Muldenkipper transportieren die Rohmaterialien zu den Brechanlagen. Dort wird das Gestein auf die Größe von Straßenschotter zerkleinert.*

Fotos: A-B: Rohndorfer, Schretter & Cie; Laifarge

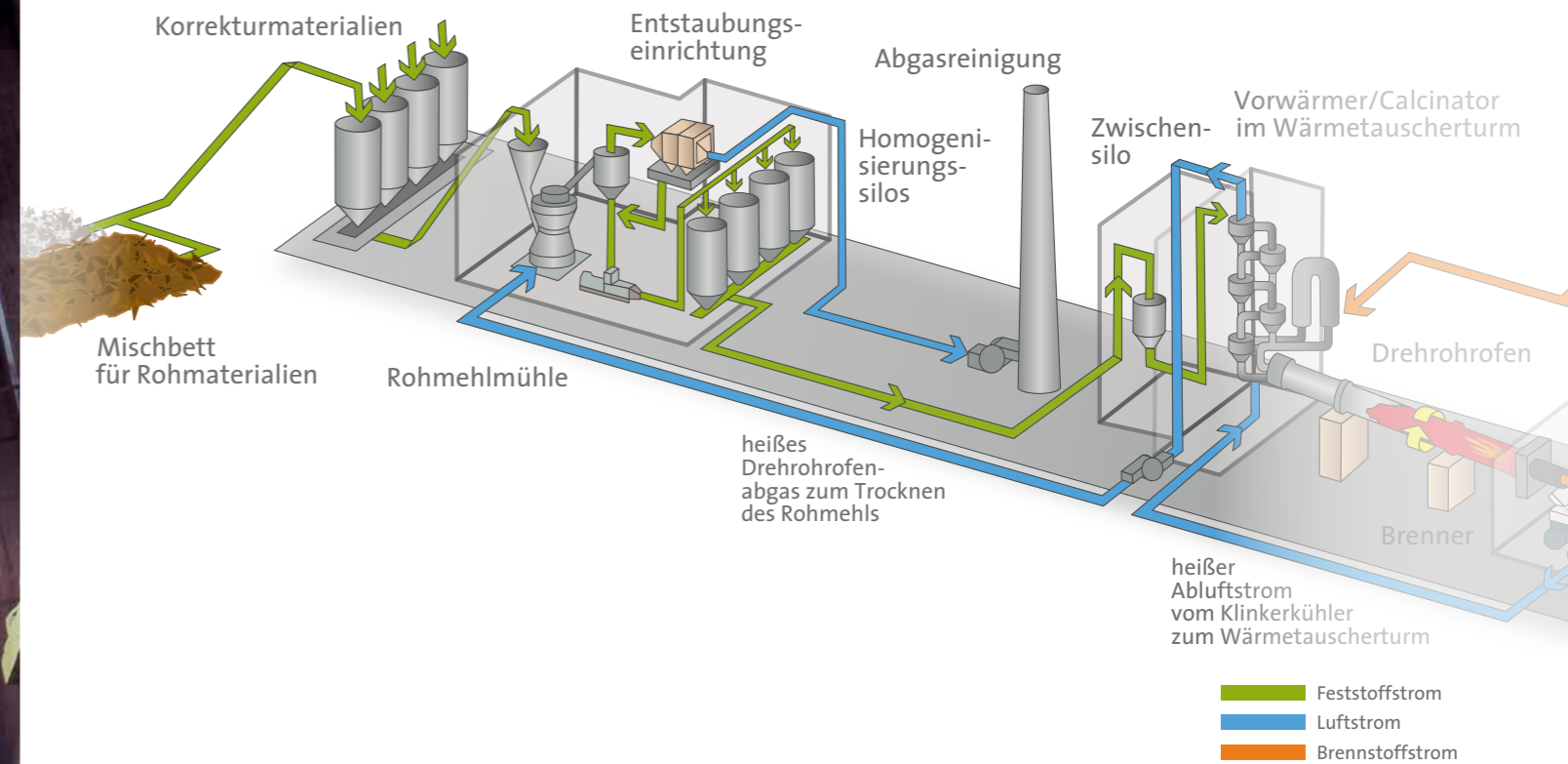


Das zerkleinerte Material wird über Förderbänder, mit Seil- oder Schienenbahnen in die Rohmaterialhalle transportiert, wo es im Mischbett eingelagert wird.



2

Rohmaterialaufbereitung

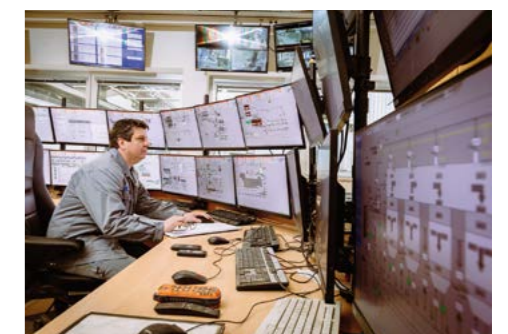


Das Rohmaterial wird aus dem Mischbett entnommen, mit der Abwärme des Drehrohrföfens (siehe Pkt. 3, Brennvorgang, Seite 17) getrocknet und in der Rohmehlmühle gemahlen. Die Abluft wird in modernen Entstaubungseinrichtungen gereinigt.

Durch den Mahlvorgang entsteht das Rohmehl. Die Einstellung der exakten Zusammensetzung erfolgt mit Korrekturmaterien. Korrekturstoffe wie Sand, Löß, Eisenoxid dienen dazu, das Verhältnis von Siliciumdioxid (SiO_2) zu Tonerde (Al_2O_3) und Eisenoxid (Fe_2O_3) in engen Grenzen zu halten. Diese Korrekturmaterien erleichtern beim nachfolgenden Brennvorgang die erforderliche Sinterung (siehe Pkt. 3).

Das richtige Mischungsverhältnis der einzelnen Komponenten des Rohmehls wird laufend kontrolliert und korrigiert. Das Rohmehl wird in Silos homogenisiert,

d. h. gleichmäßig vermischt, in einem Zwischensilo gelagert und für den Brennvorgang bereitgehalten.



Der gesamte Produktionsprozess wird vom zentralen Leitstand aus permanent überwacht.

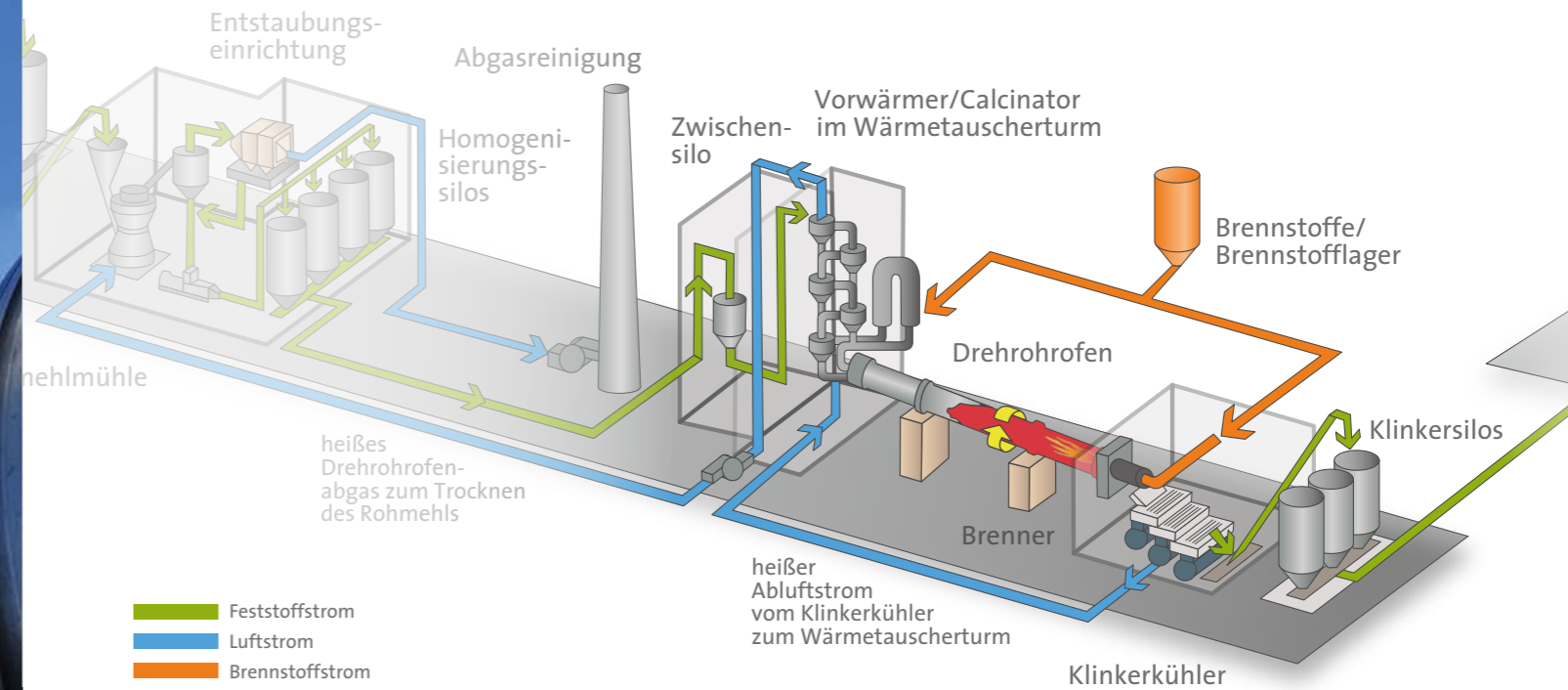
Bild links: Das gut gemischte Material wird in einer Rohmehlmühle gemahlen und gleichzeitig getrocknet.

Fotos: Leube; w&sp/Foto Freisinger



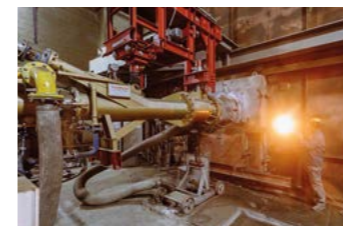
3

Brennvorgang



*Bild links:
Der Vorwärmer (Calcinator
im Wärmetauscherturm)
und der Drehrohrföfen –
das Herzstück der
Zementherstellung.*

*Das Brennen des Rohmehls
zu Zementklinker bei 1.450 °C –
der wichtigste Vorgang in der
Zementherstellung – erfolgt
im Drehrohrföfen.*

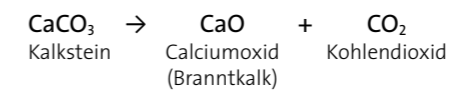


Der Brennvorgang erfolgt in zwei Stufen: der **Entsäuerung** bzw. Calcinierung und der **Sinterung**.

In den österreichischen Zementwerken wurden für den Brennvorgang die fossilen Brennstoffe (Steinkohle, Heizöl) zu mehr als 80 % durch Alternativbrennstoffe wie Altreifen und nicht recyclebare Altkunststoffe ersetzt.

Entsäuerung

Das Rohmehl wird im Vorwärmer (dem sogenannten Calcinator im Wärmetauscherturm) auf 900 bis 1.100 °C erhitzt. Ab ca. 850 °C beginnt sich Kalkstein in Calciumoxid und Kohlendioxid zu zerlegen. Dieser Vorgang, bei dem das CO₂ entweicht, wird als Entsäuerung bezeichnet:



Aus einer Tonne Rohmehl entweichen bei der Entsäuerung etwa 340 kg Kohlendioxid (CO₂). Teile dieses Kohlendioxids werden später vom Beton wieder aufgenommen, durch den Prozess der Carbonatisierung. Die Abwärme des Brennprozesses wird zur Materialtrocknung

eingesetzt (siehe Rohmaterialaufbereitung, Seite 15) und somit wieder genutzt.

Sinterung

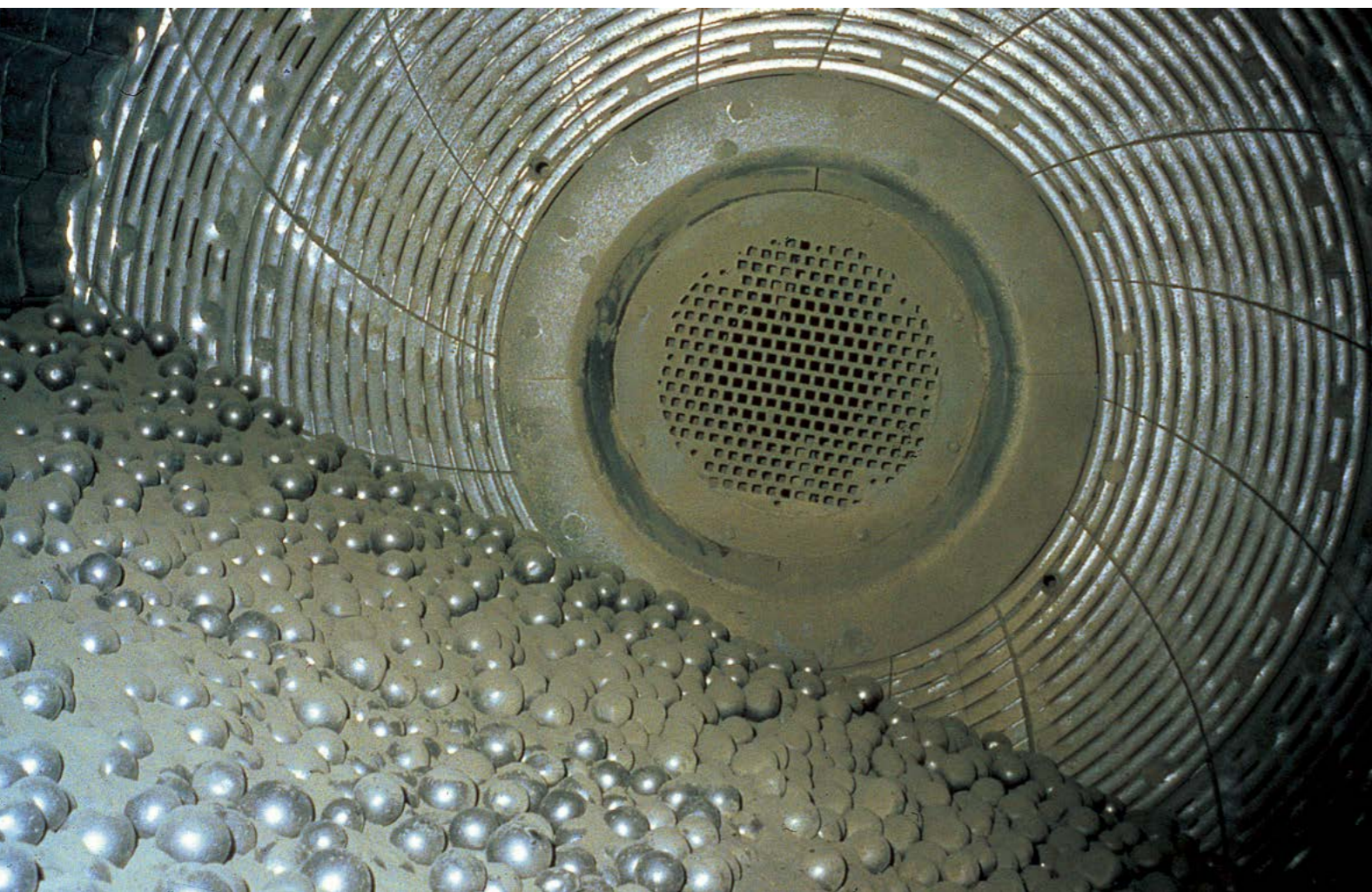
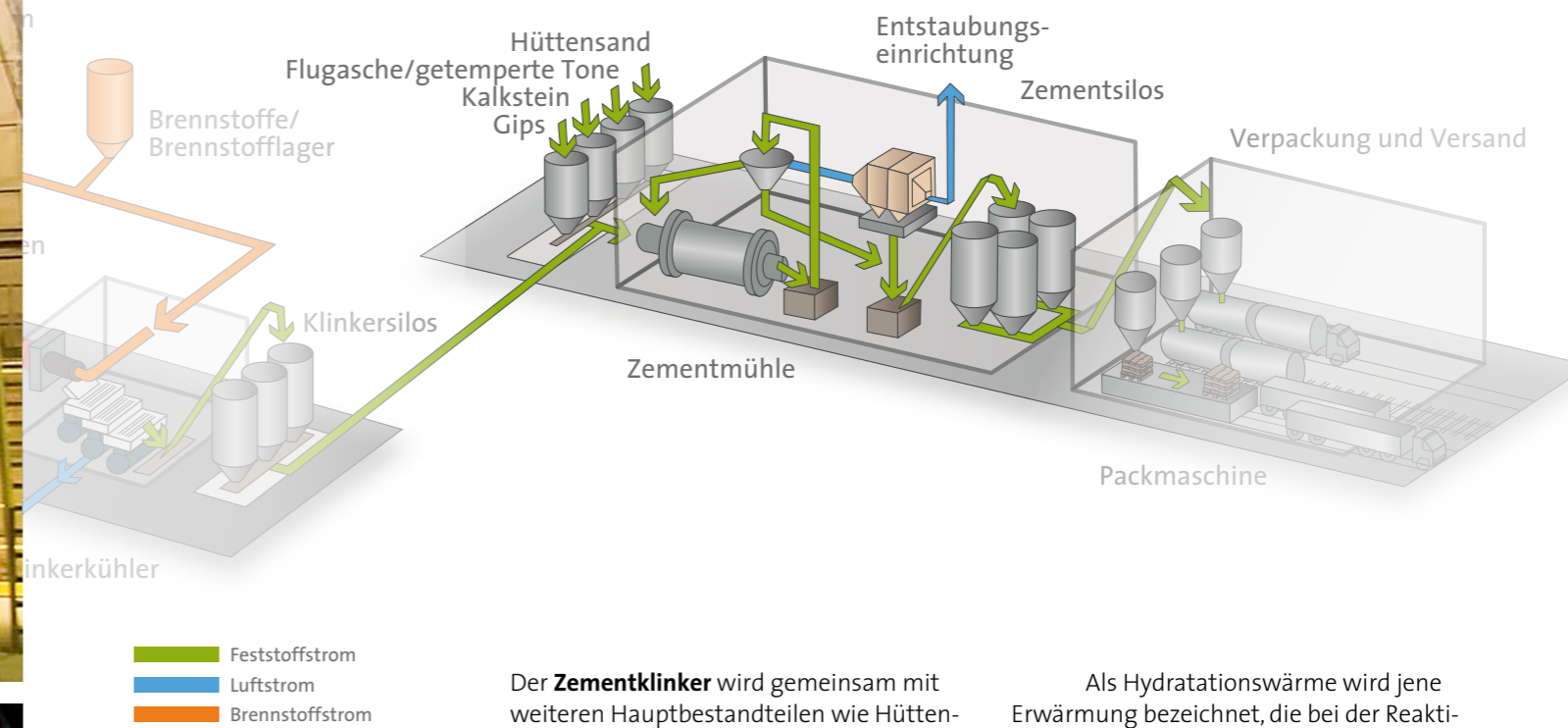
Nach der Entsäuerung im Vorwärmer gelangt das Material in den Drehrohrföfen. Durch die Drehbewegung des Ofens nimmt das Material eine kugelige Form an (Granalien) und gelangt aufgrund der Schräglage des Ofenrohrs in immer heißere Ofenzonen Richtung Brenner. Bei Materialtemperaturen von etwa 1.450 °C bilden sich durch den Sinterprozess die Klinkerminerale (siehe Zementchemie, Seite 22). Danach verlässt der Klinker – in Form der runden Granalien mit bis zu 3 cm Durchmesser – den Ofen.

Eine rasche Abkühlung auf 100 bis 300 °C im nachgeschalteten Kühler ist notwendig, um die hydraulischen Eigenschaften des Klinkers zu erhalten. Ein Teil der heißen Abluft, der bei der Klinkerkühlung entsteht, wird dem Ofen direkt zugeführt oder für die Materialtrocknung verwendet. In einigen österreichischen Werken wird die Abwärme ausgekoppelt und in die Fernwärmeversorgung in der Region eingespeist.



4

Mahlung von Zement



— Feststoffstrom
— Luftstrom
— Brennstoffstrom

Der **Zementklinker** wird gemeinsam mit weiteren Hauptbestandteilen wie Hüttensand, Flugasche, Kalkstein, künftig auch getemperte Tone und mit bis zu 5 % Nebenbestandteilen zu Zement vermahlen (siehe Zementwissen, Seite 24). Zur Regelung des Erstarrens wird dem Mahlgut Gipsstein oder ein Gips-Anhydrit-Gemisch zugesetzt. Art und Menge der einzelnen Bestandteile (diese werden in Abhängigkeit von der gewünschten Zementsorte gemäß der Zementnorm EN 197-1 gewählt) und die Mahlfeinheit des Zements beeinflussen die physikalischen und zement-technologischen Eigenschaften des Endproduktes.

Als Hydrationswärme wird jene Erwärmung bezeichnet, die bei der Reaktion des Zements mit Wasser (Hydratation) entsteht.

Der fertige Zement wird nach Sorten getrennt in Silos zwischengelagert.

Zementsilos – Lagerung der Produkte



Bild links oben:
Zementmahlung
in der Kugelmühle

Bild links:
Blick ins Innere
der Zementmühle –
Stahlkugeln vermahlen
die Zementbestandteile
bei rotierender Trommel.

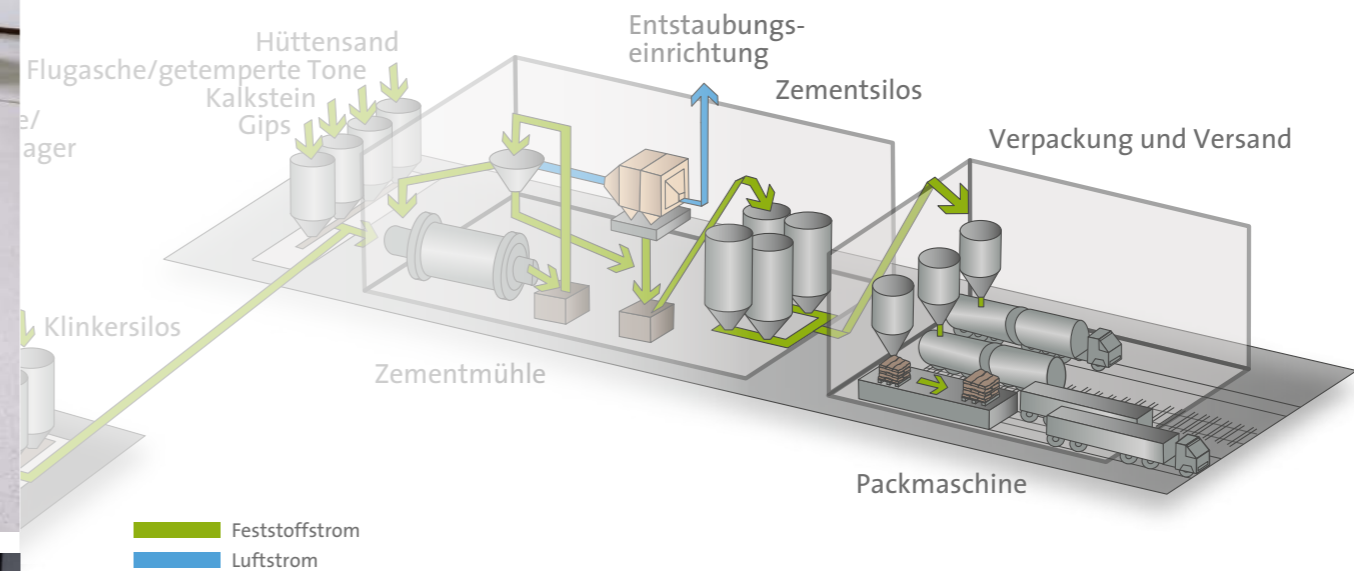
Fotos: Z-Bi, Lafarge, Reindorfer

Die Mahlfeinheit wird durch die Art und Dauer des Mahlvorganges bestimmt. Die beim Mahlvorgang entstehende Abluft wird in der Entstaubungsanlage gereinigt. Der Blainewert (die Oberfläche pro Masse) definiert die Mahlfeinheit und beträgt im Allgemeinen 3.000–5.000 cm²/g Zement. Prinzipiell gilt: Je größer die spezifische Oberfläche ist, desto rascher findet die Reaktion mit Wasser statt, desto höher ist die freiwerdende Reaktionswärme (Hydrationswärme) bei der Erhärtung und desto rascher entwickelt sich die Festigkeit.



5

Lagerung/Vertrieb prozessbegleitend: Qualitätskontrolle



*Bilder links:
365 Tage im Jahr, 24 Stunden
täglich liefert das System
automatisierte Analysen und
Kontrollwerte. Auf dieser Basis
überprüft das interne Qualitäts-
sicherungsteam kontinuierlich
alle Produktionsschritte.
Der fertige Zement wird aus den
Silos heraus direkt in 25-kg-Säcke
oder Silo-Transportfahrzeuge
für Straße und Schiene
abgefüllt.*

Qualitätskontrolle

Zement unterliegt der höchsten Überwachungskategorie (System 1+) der europäischen Bauproduktenverordnung. Während der Produktion und vor dem Verlassen des Werkes wird der Zement in werkseigenen Laboratorien überprüft.

Die chemische und mineralogische Zusammensetzung der Rohstoffe sowie der Zwischenprodukte wird regelmäßig untersucht. Vom Endprodukt werden insbesondere die chemischen und mörteltechnischen Eigenschaften ermittelt.

Zusätzlich werden von akkreditierten Prüf- und Inspektionsstellen regelmäßig Stichproben (Fremdüberwachung) gezogen und die Produktionsstätte sowie das Werkslabor jährlich überwacht.

Alle qualitätsrelevanten Ergebnisse der werksinternen Überwachung werden den Daten der Fremdüberwachungsproben gegenübergestellt und bewertet.

So kann der Verbraucher sicher sein, immer nur beste, gleichmäßige Qualität zu erhalten. Auf Lieferscheinen

und Zementsäcken befinden sich wichtige Informationen wie die genaue Normbezeichnung und das CE-Konformitätszeichen, die Sicherheitshinweise und zusätzliche Angaben.

Lagerung/Vertrieb

Der fertige Zement wird aus den Silos heraus direkt in Silo-Transportfahrzeuge oder in 25-kg-Säcke abgefüllt. Und das praktisch staubfrei, weil die Zementindustrie modernste Füllautomaten und Packmaschinen verwendet.



Durch das CE-Zeichen bestätigt der Hersteller, dass das Produkt den geltenden europäischen Vorgaben entspricht.

Füllautomat und Packmaschine



Fotos: w&p/Foto Freisinger; w&p; Leube; Leube/Triez; Lafarge; Lafarge; Z+B; Haver & Boecker

Zementchemie

Portlandzementklinker ist ein Hauptbestandteil des Zements, er entsteht durch Brennen des Rohmaterials im Drehrohrofen.



Portlandzementklinker

Chemisch gesehen handelt es sich bei Portlandzementklinker, kurz auch Klinker, vor allem um ein Gemisch verschiedener Calcium-Silicium-Sauerstoff-Verbindungen (Calciumsilikate). Traditionell wird der Gehalt der einzelnen chemischen Elemente in der Zementchemie in Form von Oxiden berechnet, auch wenn nicht alle Elemente in dieser Form im Klinker oder Zement vorliegen.

Die chemische Zusammensetzung von Portlandzementklinker

bewegt sich in folgenden Grenzen:

Calciumoxid (CaO)	60–67 %
Kieselsäure (SiO ₂)	18–24 %
Aluminiumoxid (Al ₂ O ₃)	4–9 %
Eisenoxid (Fe ₂ O ₃)	1–4 %
Magnesiumoxid (MgO)	0,5–5 %
Schwefeltrioxid (SO ₃)	0,1–1,5 %
Alkalien	0,5–2 %
Glühverlust	0,1–1 %

Verbindungen im Klinker

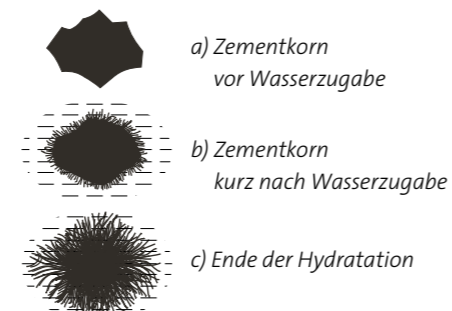
Die wichtigsten Verbindungen im Klinker, die sogenannten Klinkerminerale, unterscheiden sich in ihren chemischen Eigenschaften deutlich.

In der Zementchemie werden die Verbindungen, anders als sonst in der Chemie üblich, noch weiter abgekürzt: S steht hier für SiO₂ (nicht für Schwefel), C steht für CaO (nicht für Kohlenstoff) usw. Siehe Tabelle unten.

Übersicht Klinkerminerale

Bezeichnung	Kurzform: Abkürzung der Klinkerminerale	Summenformel	
Alit (Tricalciumsilikat)	C ₃ S	3CaO.SiO ₂	» bis zu etwa 80 % der Klinkermasse
Belit (Dicalciumsilikat)	C ₂ S	2CaO.SiO ₂	
Tricalciumaluminat	C ₃ A	3CaO.Al ₂ O ₃	
Tetracalciumaluminatferrit	C ₄ AF	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	

Die Klinkerminerale reagieren beim Anmischen mit Wasser (Hydratation) und bilden neue Verbindungen. Diese Verbindungen wachsen in Form feiner nadelförmiger Kristalle, die zunehmend miteinander verzahnen und schließlich den ganzen Raum einnehmen – es kommt zur Erhärtung (Zementstein).



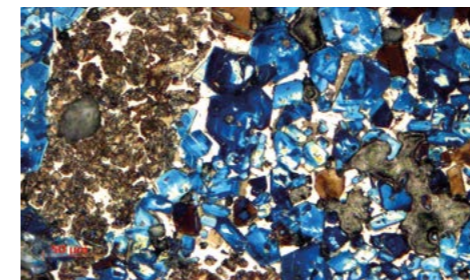
Die Hydratation beginnt sofort bei Wasserzugabe (a), die Gelbildung setzt an den Zementkorn Grenzen ein (b) und endet mit der vollständigen Umwandlung des Korns (c), vorausgesetzt, es ist genügend Wasser zur Hydratation da.

Bei dieser chemischen Reaktion wird Wärme freigesetzt (Hydratationswärme) und es bildet sich ein alkalisches Milieu (pH-Wert > 7). Diese Reaktionen brauchen keine Luft und laufen daher auch unter Wasser ab (= hydraulisches Bindemittel). Auch im festen Beton laufen diese Reaktionen langsam ab und erhöhen so die Festigkeit mit der Zeit immer weiter.

Im Routinebetrieb werden pulverförmige Proben aufgemahlen und zu festen Tabletten gepresst. Diese Presstabletten werden mittels RFA (Röntgenfluores-



Im Labor werden Zementproben zu Tabletten gepresst und die chemische und mineralogische Zusammensetzung ermittelt und überwacht.



Klinkerminerale unter dem Auflichtmikroskop. Alit Kristalle (blau) im Bild sind durchschnittlich 34µm und die Belit Kristalle (braun) 18µm groß.

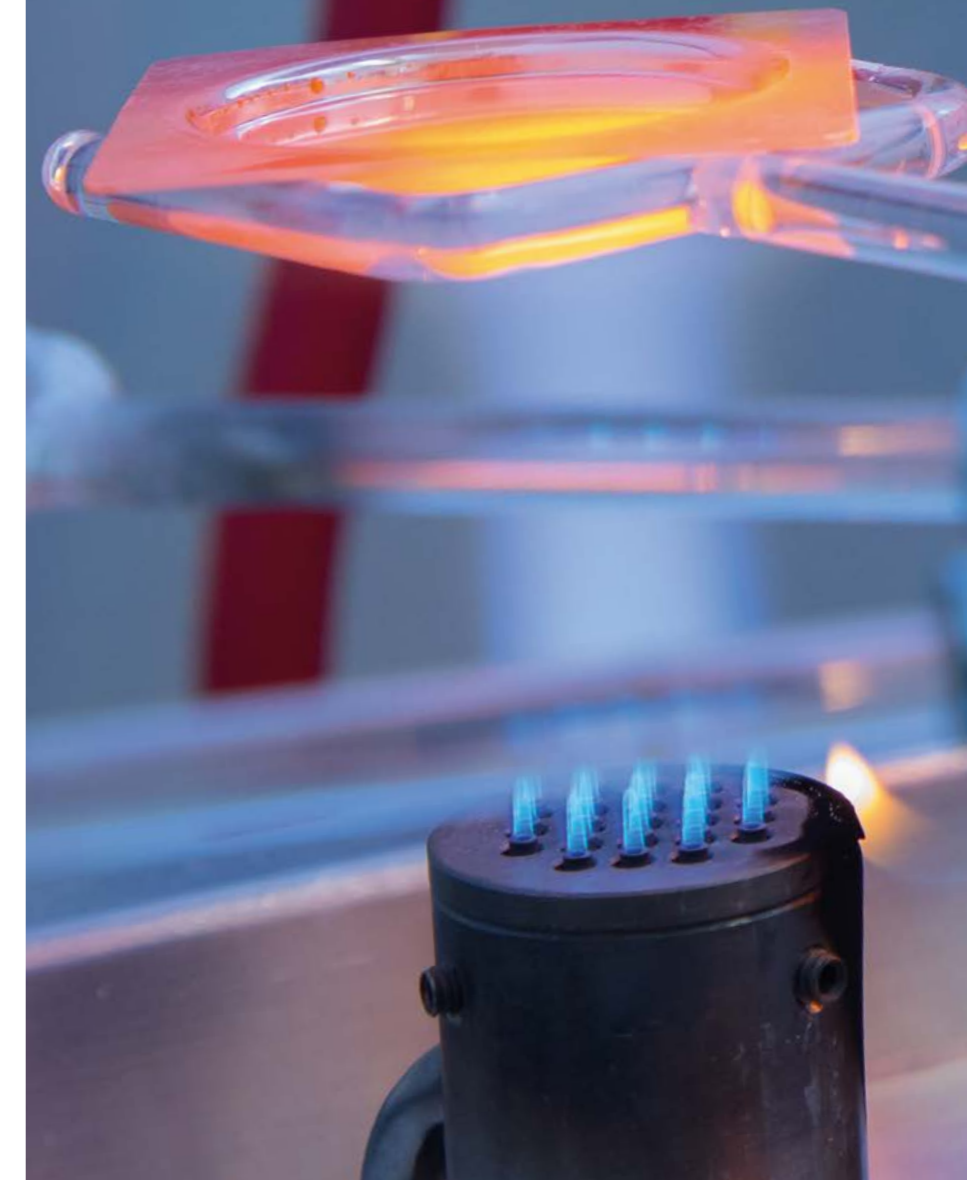
zenanalyse) auf die chemische und mittels RD (Röntgendiffraktometrie) auf die mineralogische Zusammensetzung getestet.

Für qualitative Aussagen über die Klinkerminerale wird häufig eine aufwendige Methode angewandt: Klinkergranalien werden in Kunstharz eingebettet, nach der Aushärtung geschliffen, poliert und geätzt. Dadurch werden die Klinkerminerale „eingefärbt“ und im Auflichtmikroskop gut differenzierbar. Es können Aussagen über die Brenn- und Kühlbedingungen getroffen werden.

Durch die Steuerung des Herstellungsprozesses wie Rohmehlzusammensetzung, Mahlfineinheit, Brenntemperatur und -dauer, Abkühlung etc. können die Zusammensetzung und damit die Eigenschaften des Klinkers gezielt verändert werden, z. B. rasche Erstarrung oder geringe Hitzeentwicklung.



Herstellung von Schmelztabletten für die chemische Analyse mittels RFA (Röntgenfluoreszenzanalyse). Dieses Prüfverfahren eignet sich für alle im Werk vorhandenen Materialien.



Zusammensetzung der Zemente

Beim Mahlen des Klinkers werden durch den Zusatz verschiedener weiterer Stoffe (Gips, Hüttensand aus der Roheisenerzeugung, Kalkstein, Flugasche, natürliche oder künstlich hergestellte Puzzolane) die Eigenschaften des fertigen Zements für die jeweilige Anwendung optimiert: Erstarrungsgeschwindigkeit, Wärmefreisetzung, Druckfestigkeit usw.

Die genaue Zusammensetzung der verschiedenen Zementsorten, ebenso wie viele weitere chemische und physikalische Anforderungen an den Zement, sind in der **europäischen Norm EN 197-1** (Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement) genau geregelt. Diese Norm legt die Grenzen der Anteile und die Bezeichnung der jeweiligen Zementsorte fest.

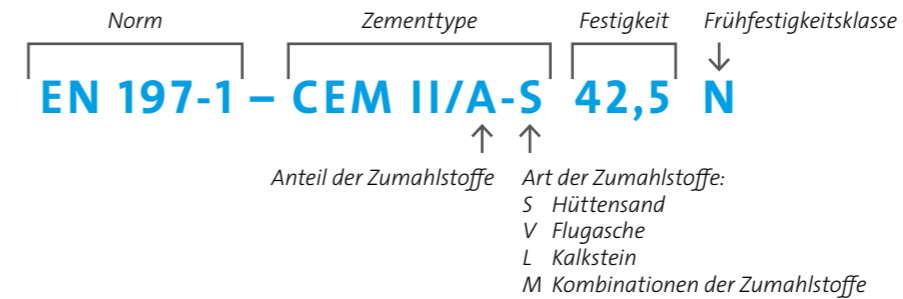
Zemente in Österreich

Normalzemente in Österreich gemäß europäischer Norm EN 197-1											
Hauptzementart	Bezeichnung	Kennzeichnung	Zusammensetzung (Massenanteile in %)								
			Klinker	Hüttensand	Puzzolan		Flugasche	gebrannter Schiefer	Kalkstein		Nebenbestandteile
					natürlich	natürlich getempert			natürlich	LL	
K	S	P	Q	V	T	L	LL				
CEM I	Portlandzement	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Portlandhüttenzement	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portlandpuzzolanzement	CEM II/A-Q	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
	Portlandflugaschezement	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
CEM II	Portlandschieferzement	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5
	Portlandkalksteinzement	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5
Portlandkompositzement	CEM II/A-M	80-94	12-20							0-5	
	CEM II/B-M	65-79	21-35							0-5	
CEM III	Hochofenzement	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Puzzolanzement	CEM IV/A	65-89	-	11-35			-	-	-	0-5

Die Zusammensetzung der Normzemente ist ohne Sulfatträger (Gips oder Anhydrit) angegeben.

Die Zementbezeichnung

Die Bezeichnung der Normalzemente setzt sich aus einer genau definierten Folge von Buchstaben und Zahlenkombinationen zusammen:



EN 197-1... Nennung der Norm (ÖNORM EN 197-1)

CEM II... Bezeichnung der Hauptzementart (CEM I bis CEM IV)

A... Angabe der Menge der Anteile (A, B, C), (siehe nebenstehende Tabelle S. 24)

S... Angabe der Bestandteile:

S, V, L, LL und M als Gemisch mit Angabe der Komponenten z. B.: M (S-V)

42,5... Angabe der Festigkeitsklasse (32,5; 42,5; 52,5) in N/mm² als Minimum der Druckfestigkeit der Probe nach 28 Tagen

N... Angabe zur Frühfestigkeit (N... normal, R... rapid), Druckfestigkeit nach zwei Tagen größer oder kleiner 10 N/mm²

Welche Eigenschaften haben Zemente?

Die Zementnorm fordert die ständige und eingehende Überwachung bestimmter chemischer und physikalischer Eigenschaften nach genau vorgeschriebenen Prüfverfahren. Zwei wichtige Prüfungen betreffen die Festigkeiten und das Erstarren.

Festigkeiten

Die Festigkeiten werden an Prismen 4 cm x 4 cm x 16 cm aus Normenmörtel [etwa 500 kg Zement/m³] geprüft. Der Mörtel besteht aus 1 Masseteil Zement, 3 Masseteilen Normsand und 0,5 Masseteilen Wasser (Wasserzementwert [W/B-Wert] = Masseverhältnis Wasser : Zement = 0,50).

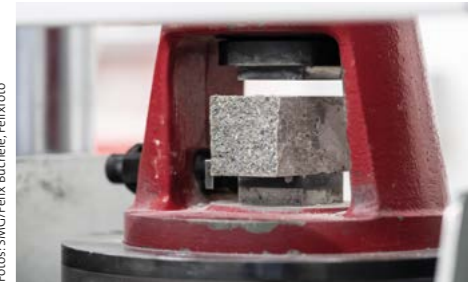
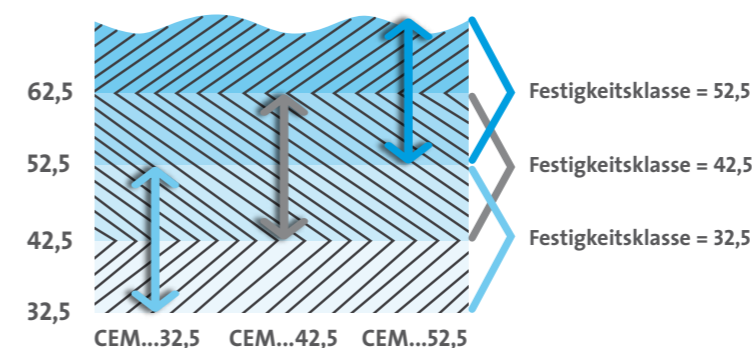
Für die jeweilige Festigkeitsklasse, angegeben in [N/mm²], gelten Mindestfestigkeiten und Obergrenzen. Die Gültigkeitsbereiche der Festigkeitsklassen überlappen sich.

Festigkeitsklassen:

52,5: min. 52,5 N/mm² keine Obergrenze

42,5: min. 42,5 N/mm² max. 62,5 N/mm²

32,5: min. 32,5 N/mm² max. 52,5 N/mm²



Prismen aus Normenmörtel bei der Wasserlagerung und Druckfestigkeitsprüfung nach 28 Tagen

Fotos: SMG/Felix Büchele, FelixFoto



Foto: SMG

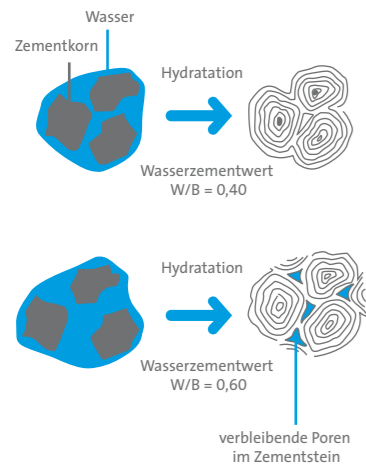
Prüfung der Erstarrenszeiten

Erstarren

Nach der Bestimmung des Wasserbedarfes wird am Zementleim der Erstarrungsbeginn und das Erstarrungsende geprüft.

Bei allen Normzementen darf das Erstarren bei der Festigkeitsklasse 32,5 und 42,5 nicht vor einer Stunde beginnen, bei der Festigkeitsklasse 52,5 nicht vor 45 Minuten. In der Baupraxis ist zu beachten, dass bei sommerlichen Temperaturen von 25–30 °C und Betontemperaturen über + 25 °C das Erstarren rascher einsetzen kann und daher gegenüber Normaltemperaturen mit kürzeren Verarbeitungszeiten gerechnet werden muss.

Die Erhärtung des Zements mit verschiedenen Wasserzementwerten



Je mehr Wasser beim Herstellen des Zementleims verwendet wird, desto mehr Kapillarporen enthält der Zementstein.

Die Reaktion von Zement mit Wasser nennt man Hydratation. Dabei entsteht der sogenannte Zementstein. Für eine vollständige Hydratation des Zements sind 40 % der Masse des Zements an Abbindewasser erforderlich, das entspricht einem Wasserzementwert von 0,4. Höhere Wassermengen erhöhen die Porosität des Zementsteins und verringern dadurch die Festigkeit. Die Festigkeit und Beständigkeit des Betons entsteht durch Auskristallisierung des Zements, wodurch sich kleinste Kristallnadeln bilden, die sich fest ineinander verzahnen.

Die Erhärtungsreaktion des Zements ist mit Wärmeentwicklung verbunden („Hydratationswärme“). Bei der Erhärtung üblicher Zemente werden ca. 420 kJ Energie pro kg Zement freigesetzt. Bei massigen Bauteilen führt diese Wärme zu einer beträchtlichen Temperatursteigerung und kann in der Folge Risse im noch jungen, nicht ausgehärteten Beton hervorrufen (sogenannte Temperaturrisse).

Hinweise zur Zementauswahl

Die Auswahl erfolgt üblicherweise nach der Festigkeitsklasse.

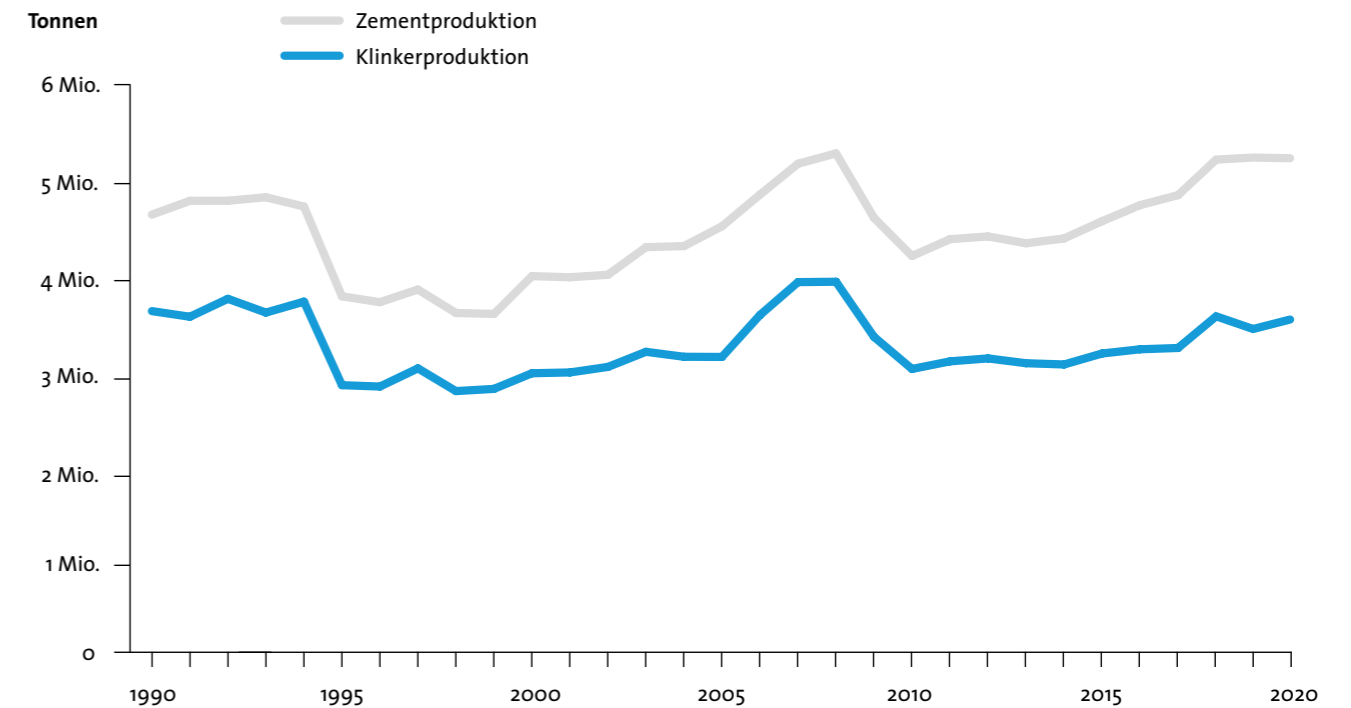
32,5 N	langsame Festigkeitsentwicklung, geringe Wärmeentwicklung
32,5 R; 42,5 N	Transportbeton, Fertigteilindustrie in der warmen Jahreszeit, „normale“ Anforderungen
42,5 R	Transportbeton in der kühlen Jahreszeit, Fertigteilindustrie allgemein, wenn rasche Erhärtung gefordert ist
52,5	für höchste Festigkeitsanforderungen, Fertigteile im Winter, wenn sehr schnelle Erhärtung und Erwärmung erwünscht ist

Zusätzliche Anforderungen an den Zement wie begrenzte frühzeitige Wärmeentwicklung (z. B. WT 27) sind in der ÖNORM B 3327-1 geregelt. Die Eignung der Zementsorte für die jeweilige Expositionsklasse ist in der Betonnorm ÖNORM B 4710-1 Tabelle 23 festgelegt. In Österreich sind die Hauptzementsorten CEM I bis CEM III:

CEM I-Zemente	(Zemente ohne Zumahlstoffe) werden wegen der sehr raschen Erhärtung und der schnellen Wärmeabgabe insbesondere für Fertigteile und sehr hohe Betonfestigkeitsklassen eingesetzt
CEM II-Zemente	üblicherweise verwendete Zementart in allen Festigkeitsklassen mit unterschiedlichen Zumahlstoffen
CEM III-Zemente	(Festigkeitsklasse meist 32,5) werden wegen ihres langsamen Erhärtens und der langsamen Wärmeabgabe insbesondere bei massigen Bauteilen eingesetzt
C ₃ A-freie Zemente	sind nicht nur beständig gegen Sulfate, sondern ergeben auch geringere Erwärmungen des Betons bei der Erhärtung

Wieviel Zement wird in Österreich in einem Jahr produziert?

Produktionsmenge der österreichischen Zementindustrie seit 1990 [Tonne]



Quelle: Emissionsstudien Mautschitz TU Wien

Die Grafik zeigt, dass die österreichische Zementindustrie seit vielen Jahren hochwertige, umweltoptimierte Zemente mit hohem Zumahlstoffgehalt erzeugt.

Welche Zementsorte wird in Österreich am häufigsten hergestellt?

Zementsortenanteile in Österreich [Prozent]



Wohin geht der Zement?

Zementversand in Österreich [Prozent]





CE-Zeichen ÜA-Zeichen

Durch das CE-Zeichen bestätigt der Hersteller, dass das Produkt den geltenden europäischen Vorgaben entspricht. Das ÜA-Zeichen (Übereinstimmung Austria) ist ein in Österreich gesetzlich vorgeschriebener Nachweis über die Verwendbarkeit von Bauprodukten.

Qualitätskontrolle und CE-Kennzeichen

Während der Produktion und vor dem Verlassen des Werkes wird der Zement in werkseigenen Laboratorien überprüft. Die chemische und mineralogische Zusammensetzung der Rohstoffe sowie der Zwischenprodukte und insbesondere die mörteltechnischen Eigenschaften der Endprodukte werden ermittelt und überwacht. Zusätzlich werden von akkreditierten Prüf- und Inspektionsstellen Stichproben gezogen (System zur Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit: 1+). Alle relevanten Qualitätsmerkmale werden geprüft und die Ergebnisse der werksinternen Überwachung kontrolliert.

Auf jedem Lieferschein und jedem Zementsack befinden sich wichtige Bezeichnungen wie die genaue Normenbezeichnung und das CE-Kennzeichen, die Sicherheitshinweise, das ÜA-Zeichen sowie zusätzliche Angaben.

Zemente gemäß EN 197-1 für besondere Verwendungen

Auch Zemente mit zusätzlichen Anforderungen (siehe nächster Absatz) müssen der EN 197-1 entsprechen. Die zusätzlichen Anforderungen dieser Zemente werden z. B. in der ÖNORM B 3327-1 behandelt. Da der Nachweis der Konformität der zusätzlichen Anforderungen bei diesen Zementen nicht durch das CE-Zeichen abgedeckt ist, muss aus den Begleitdokumenten (Lieferschein) ersichtlich sein, dass die zusätzlichen Anforderungen gemäß ÖNORM B 3327-1 geprüft sind.

Für die Betonherstellung häufig wesentliche zusätzliche Anforderungen sind insbesondere C₃A-Gehalt, Wärmefreisetzung bei der Hydratation, späterer Erstarrungsbeginn und/oder verringerte Dehnung (Zement für Betonstraßen).

Chromatreduktion bei Zement

Laut der „Österreichischen Chemikalienverbotsverordnung 2003 §19a.(1) und Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH) Anhang XVII“ ist der Chromatgehalt im Zement zu begrenzen. Zement und zementhaltige Zubereitungen dürfen demnach nur mehr dann verkauft und verwendet werden, wenn ihr Gehalt an löslichem Chrom VI nicht mehr als 0,0002 Prozent (2 ppm) der Trockenmasse beträgt. Das gilt auch für Zement, der aus anderen Ländern in die EU eingeführt wird. Damit soll das Auftreten chromatbedingter Hauterkrankungen („Maurerkrätze“) zurückgedrängt werden. Kunden und Anwender können sich sehr leicht von der Einhaltung dieser EU-Richtlinie überzeugen: Die erforderliche Produktinformation ist bei losem Zement in Form eines Beiblatts, bei Sackware direkt auf der Verpackung zu finden.

Da die Wirkung der beigemengten Reduktionsmittel mit der Zeit nachlässt, hat Zement ein Ablaufdatum. Bei losem Zement sowie Sackware wird die Wirksamkeit mittels Haltbarkeitsangabe garantiert. Wenn das Ablaufdatum überschritten ist, kann der Zement einen höheren Gehalt als 2 ppm an löslichem Chrom VI enthalten.

Es ist daher für Händler, Endverbraucher und Betonhersteller besonders wichtig, auf Produktbeschreibung und Ablaufdatum zu achten. Nach Überschreitung des Ablaufdatums ist jeder Hautkontakt unbedingt zu vermeiden.

Was ist bei der Lagerung von Zement zu beachten?

Zement kann auch aus der Luft Feuchtigkeit aufnehmen und bildet dabei Klumpen. Solange diese noch leicht mit dem Finger zerdrückt werden können, ist die Erhärtungsfähigkeit kaum beeinträchtigt. Härtere Knollen sind ein Anzeichen erster Schädigung. Es ist daher bei der Lagerung von Zement darauf zu achten, dass jede Berührung mit Wasser (Bodenfeuchtigkeit) oder feuchter Luft vermieden wird. Zementsäcke lagert man am besten dicht gestapelt auf einer Holzunterlage in trockenen Lagerräumen und mit Folie abgedeckt.



Foto: Claudia Fegil

Jeder Zementsack ist mit Sicherheits- und Warnhinweisen versehen, die bei der Anwendung zu beachten sind.

Hautschutz am Bau

Sicherheitsregeln bei der Arbeit mit Zement oder Frischbeton



Schutzhandschuhe tragen



Schutzbrille verwenden



Schutzhelm tragen



Sicherheitsschuhe tragen

Unter Hautschutz versteht man Präventionsmaßnahmen und das Vermeiden von direktem Kontakt ungeschützter Haut mit Zement und Frischbeton.

Erhärteter Beton ist aus Sicht des Arbeitnehmerschutzes ein absolut unbedenkliches Produkt. Vorsicht ist aber angebracht bei der Herstellung und Verarbeitung von Frischbeton.

Bei der Herstellung von Beton werden Zement, Zuschlagsstoffe, Wasser

und eventuell Zusatzmittel zum sogenannten Frischbeton vermischt. Dieser feuchte Frischbeton ist stark basisch und greift bei längerer direkter Einwirkung die menschliche Haut an. Ebenso ist dafür Sorge zu tragen, dass keine Spritzer in die Augen gelangen. Der bestmögliche Schutz vor Schädigungen der Haut und der Augen sind persönliche Schutzmaßnahmen wie geeignete Handschuhe, Sicherheitsschuhe, Augenschutz und regelmäßige Hautpflege.

Richtiger Schutz bei der Arbeit mit Zement und Beton

- Arbeitskleidung
- Hautschutzmittel
- Schutzhandschuhe
- Sicherheitsschuhe
- Schutzbrille
- Haltbarkeitsdatum des Zements

Bei Beachtung des Haltbarkeitsdatums (siehe Lieferschein oder Zementsackaufdruck) ist die Wirksamkeit des im allgemeinen zugesetzten Reduktionsmittels zur Verhinderung einer allergischen Reaktion (Chromatallergie, sog. „Maurerkrätze“) sichergestellt.

Hautpflege

Schützen Sie Ihre Haut, indem Sie Hautpflegemittel sowohl vor Arbeitsbeginn als auch nach jedem Händewaschen benutzen! Bei der Hautpflege sind insbesondere stark gefährdete Hautbereiche wie Nagelfalz, Fingerzwischenräume, Handrücken und Handgelenke zu berücksichtigen.

Hautreinigung

Nach der Arbeit soll die verschmutzte Haut möglichst schonend gereinigt werden. Verzichteten Sie auf löse- und reibemittelhaltige Produkte, vermeiden Sie mechanische Belastungen durch Bürsten, verwenden Sie handwarmes Wasser.

Merke
Frischbeton, eigentlich der Zementleim, ist stark basisch und greift bei längerer direkter Einwirkung die menschliche Haut an. **Schütze Dich!**



Foto: Z+B/Herfert

Umweltschutz in der Zementindustrie

Unsere Energie- und Rohstoffreserven sind nicht unbegrenzt verfügbar. Trotzdem steigt der weltweite Verbrauch immer noch weiter an.

Damit auch kommende Generationen in einer intakten Umwelt leben können, müssen wir mit den vorhandenen Ressourcen sorgsam umgehen.

Die österreichische Zementindustrie setzt viele Maßnahmen zur stetigen Verbesserung der Energieeffizienz und zur Schonung natürlicher Ressourcen. Unter anderem geht es darum, die mit der Herstellung verbundenen Umweltbelastungen (Emissionen, Lärm und Staub) so gering wie möglich zu halten.

Dazu setzen die österreichischen Zementherzeuger z. B. folgende Maßnahmen:

- ▶ Ständige Modernisierung und Optimierung der Produktionsprozesse mit umweltfreundlichen Techniken zur Emissionsminderung (siehe S. 33 unten)

- ▶ Strikte Einhaltung bzw. Unterschreitung der Emissionsgrenzwerte
- ▶ Forschungs- und Innovationsaktivitäten zur optimalen Energieausnutzung und -verwertung
- ▶ Strenge, regelmäßige umweltrelevante Kontrollen aus Eigeninitiative sowie durch staatliche Stellen (z. B. mehrmals jährlich durchgeführte Emissionsmessungen durch unabhängige Prüfinstitute)
- ▶ Ersatz der fossilen Brennstoffe (Stein- und Braunkohle) durch Verwendung von Alternativbrennstoffen
- ▶ Verwendung von alternativen Rohmaterialien zur Schonung natürlicher Ressourcen, z. B. Recyclingmaterialien als Rohstoffquelle, Zuschlagstoffe

*Bild links:
SCR (selective catalytic reduction)
Anlage Mannersdorf.
Die SCR-Technologie führt zur
Reduktion von Stickoxiden
(NO, NO₂) in Abgasen.*

Natur und Rohstoffe schonen, CO₂-Emissionen reduzieren

Der Bedarf an Rohstoffen wie Kalkstein, Ton und Mergel, welche in den 20 Steinbrüchen der österreichischen Zementhersteller schonend abgebaut werden, beträgt jährlich ca. 5 Mio Tonnen. Der Abbau der natürlichen Rohstoffe stellt unvermeidbar einen Eingriff in die Natur dar.

Der Transport des Rohmaterials aus den Steinbrüchen erfolgt weitgehend über Förderbänder. Diese Technologie vermindert Belästigungen von Anrainern durch Staub, Lärm und Motoremissionen auf ein Minimum.

Seit Jahrzehnten erfolgt der Abbau nach modernen bergbau-technischen Gesichtspunkten (z. B. neueste Sprengtechnologien, reißende Gewinnung mit Hydraulik-Bagger) und mit begleitender Renaturierung. Die rekultivierten Flächen

stellen in der intensiv genutzten Kulturlandschaft einen wichtigen Lebensraum für Tiere und Pflanzen dar. Oftmals siedeln sich auf diesen Flächen seltene oder sogar verdrängte Tier- und Pflanzenarten dauerhaft an.



Renaturierter Steinbruch – Fauna und Flora sind so vielfältig wie kaum irgendwo sonst.

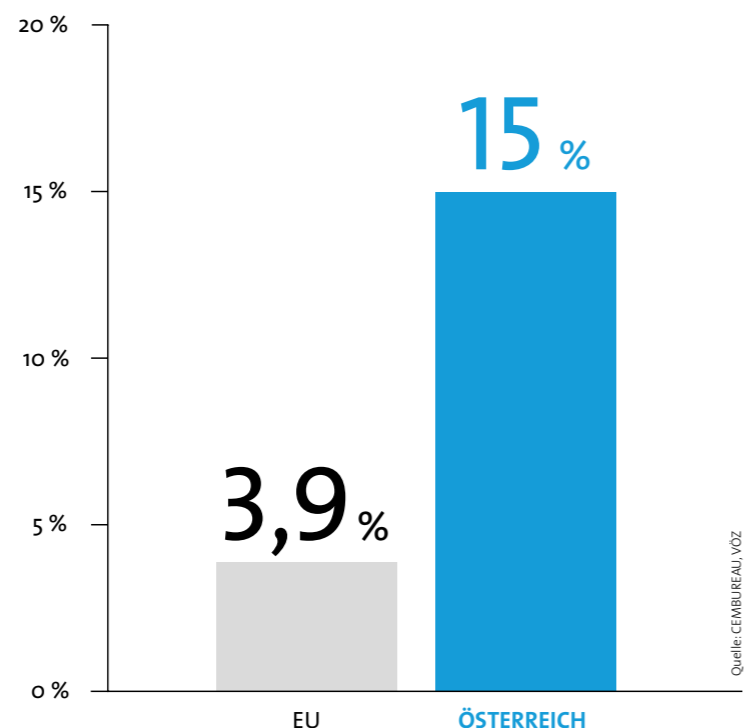


Unterirdische Material-Förderung (Stollenförderbänder) oder eingehauste Förderbänder tragen zu Lärm- und Staubschutz bei.



Alternative Rohstoffe:
Produkte aus dem Baustoffrecycling wie z. B. Betonbruch, Ziegelsplitt werden verstärkt bei der Klinkererzeugung eingesetzt

Anteil alternativer Rohstoffe für die Klinkerproduktion



Alternative Brennstoffe:
z. B. Altreifen, nicht recyclerbare Altkunststoffe, Sonnenblumenkernschalen und Klärschlämme ersetzen vor allem Stein- und Braunkohle

Die österreichische Zementindustrie ist Teil einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft und setzt im internationalen Vergleich die höchsten Anteile an alternativen Rohstoffen, Zuschlagstoffen und Brennstoffen ein.

Alternative Rohstoffe

Ziel der österreichischen Zementindustrie ist es, bei der Klinkererzeugung verstärkt Produkte aus dem Baustoffrecycling wie beispielsweise Betonbruch und Ziegelsplitt einzusetzen und damit natürliche Ressourcen zu schonen. 2020 hat die österreichische Zementindustrie zur Klinkerproduktion ca. 800.000 Tonnen dieser alternativen Rohstoffe verwertet. Ihr Anteil am erzeugten Rohmehl lag somit bei 15 %. Das ist ein deutlich höherer Wert als international üblich. Im europäischen Durchschnitt lag der Anteil von alternativen Rohstoffen bei 3,9 % (siehe Grafik oben).

Alternative Zuschlagstoffe

Der Einsatz von geeigneten, meist industriellen Nebenprodukten in der Zementmahlung schont nicht nur natürliche Rohstoffe, sondern reduziert vor allem den Klinkergehalt im Zement und verringert dadurch den Brennstoffverbrauch und die CO₂-Emissionen. Zum Einsatz kommen

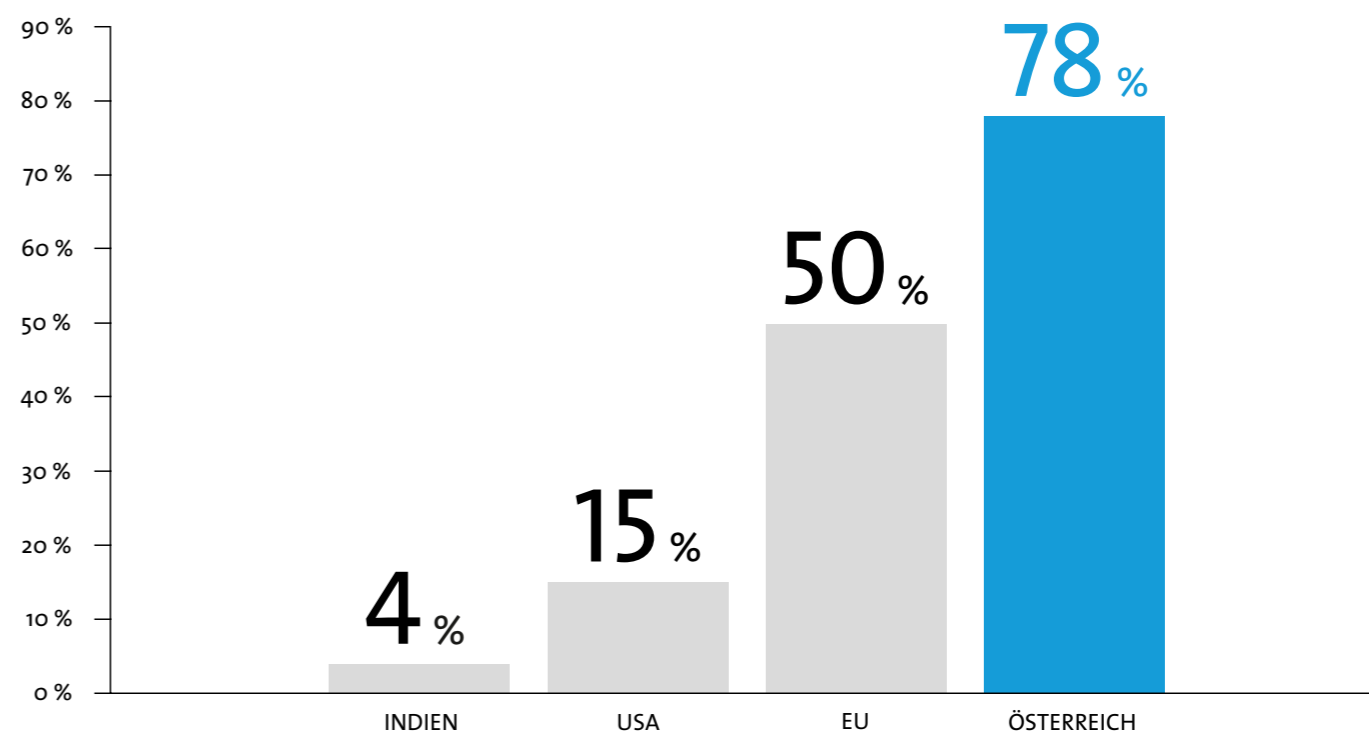
vorzugsweise Hüttensand, Flugasche und Kalkstein. Die österreichische Zementindustrie nimmt seit Jahren in diesem Bereich weltweit einen Spitzenplatz ein. Im Jahr 2020 wurden über 1 Mio. Tonnen an diesen alternativen Zuschlagstoffen unseren Zementmühlen für eine nachhaltige Verwertung zugeführt.

Alternative Brennstoffe

Durch den Einsatz von alternativen Brennstoffen (auch als Ersatzbrennstoffe bezeichnet) wie z. B. Altreifen, nicht recyclerbare Altkunststoffe, Sonnenblumenkernschalen und Klärschlämme, werden vor allem Stein- und Braunkohle ersetzt. Im Jahr 2019 wurden 500.000 Tonnen dieser Ersatzbrennstoffe zur Herstellung von Klinker verwendet. Somit wurden branchenweit beachtliche 78 % (siehe Grafik Seite 33 oben) der benötigten Brennstoffenergie ressourcenschonend gedeckt.

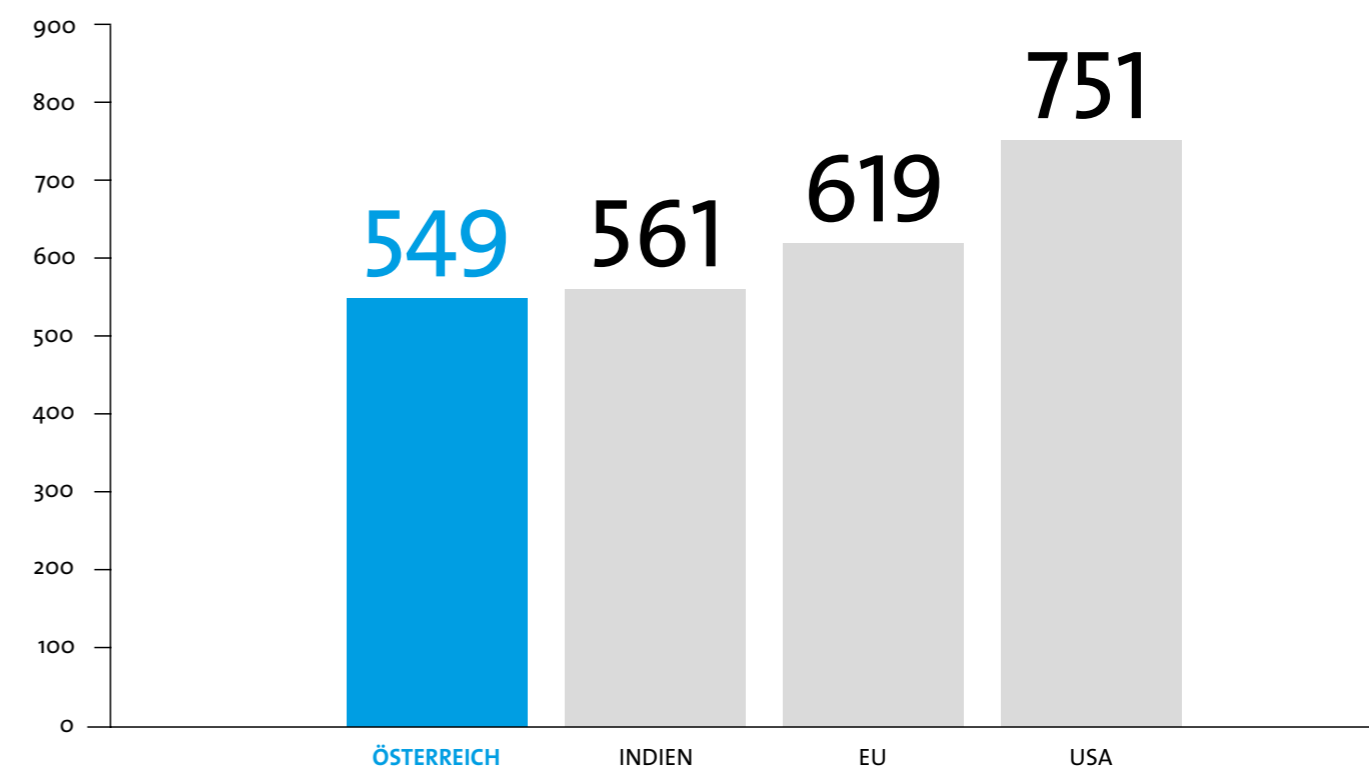
Durch die Reduktion fossiler Brennstoffe gelang es den Zementproduzenten in den letzten Jahren, die CO₂-Emissionen in der Herstellung signifikant zu verringern. Die österreichischen Zemente weisen im weltweiten Vergleich die niedrigsten CO₂-Emissionen auf (siehe Grafik Seite 33 unten).

Ersatzbrennstoffraten der Zementindustrie



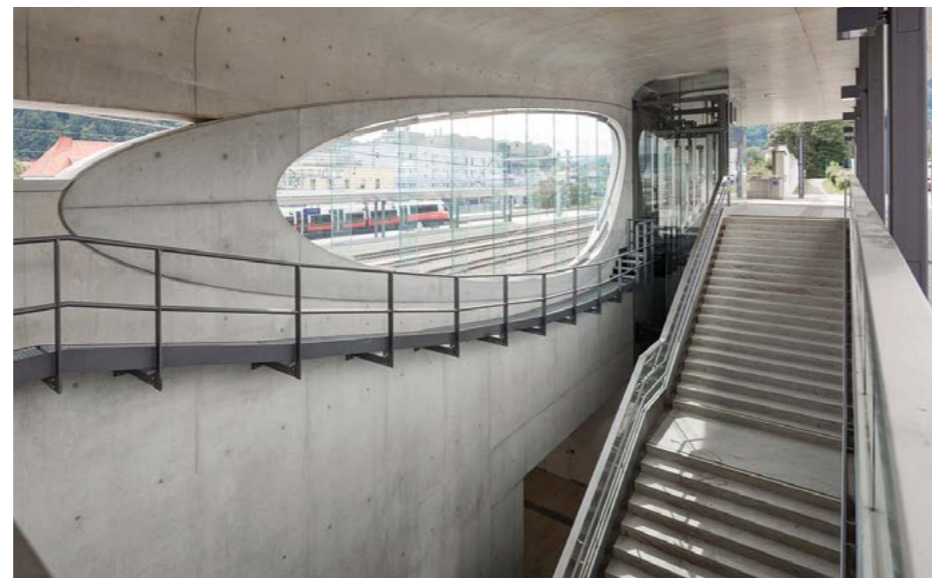
Spezifische CO₂-Emissionen der Zementindustrie im Vergleich

kg CO₂ pro Tonne Zement



Fotos: vdz.w&pp/Foto Freisinger

Zement, das Bindemittel für BETON



Beton ist ein natürlicher, mineralischer Baustoff, der durch das Mischen der Ausgangsstoffe Zement, Wasser und Gesteinskörnung hergestellt wird. Er kann außerdem Betonzusatzstoffe und Betonzusatzmittel enthalten. Gesteinskörnungen, im Wesentlichen Sand und Kies, werden lokal aus natürlichen Lagerstätten gewonnen oder im Zuge des Recyclings von Baurestmassen hergestellt.

Der Zement dient als Bindemittel, um die anderen Bestandteile zusammenzuhalten. Die Festigkeit des Betons entsteht durch die Hydratation des Zements. Es wachsen Kristallnadeln, die sich fest ineinander verzahnen. Das Kristallwachstum hält über Monate an, sodass die endgültige Festigkeit erst lange nach dem Betonguss erreicht wird.

In frischem Zustand ist Beton beliebig formbar, er wird in Schalungen gegossen. Dort erhärtet der Frischbeton zum Festbeton. Beton zeichnet sich durch seine Langlebigkeit, Dauerhaftigkeit und

Festigkeit aus. Er widersteht Hitze, Feuer und Kälte und ist unempfindlich gegenüber vielen chemischen und physikalischen Beanspruchungen. Die Eigenschaften von Beton können an den Verwendungszweck mit unterschiedlichen Rezepturen flexibel angepasst werden.

Beton weist eine hohe Druckfestigkeit auf, aber nur eine geringe Zugfestigkeit. Dies führte zur Erfindung von Eisenbeton, später Stahlbeton, bei dem die Stahleinlagen die Zugkräfte aufnehmen.

Beton ist der weltweit am meisten verwendete Baustoff. Als einer von wenigen Baustoffen kommt er für erdberührte Bauwerke und Konstruktionen zum Einsatz. Dementsprechend ist Beton – gerade für Anwendungen im Tiefbau – unverzichtbar. Fundamente, Tunneln, Kläranlagen, Dämme, aber auch Wasser- und Windkraftwerke zur Gewinnung erneuerbarer Energie könnten ohne Beton nicht errichtet werden.

Anwendungen von Beton

Bild oben:
Kraftwerk Sohlstufe Lehen, Salzach

Bild mitte links:
Wasserbehälter aus Beton, Wienerberg

Bild mitte rechts:
Bahnhof Kapfenberg, Landmark mit städtebaulichem Mehrwert

Bild unten links:
Die größte Bogenbrücke der Schweiz ist imposante 417 Meter lang.

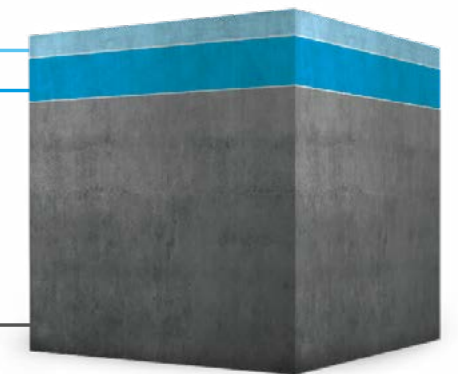
Bild unten rechts:
Windenergieanlagen im Windpark der Österreichischen Bundesforste auf der Pretulalpe

Ein Kubikmeter Normalbeton enthält:

7 % WASSER
170 kg/m³

13 % ZEMENT
300 kg/m³

80 % SAND & KIES
1.900 kg/m³



Von „Normalbeton“ spricht man bei einem spezifischen Gewicht (Dichte) von 2.000 kg/m³ bis maximal 2.600 kg/m³.

A

Alternativbrennstoffe:

In allen österreichischen Zementwerken werden neben den üblichen Brennstoffen, wie Öl, Kohle und Gas, immer mehr sogenannte alternative Brennstoffe für die Energiegewinnung verwendet. Die wichtigsten alternativen Festbrennstoffe sind: nicht recycelbare Altkunststoffe, Altreifen, Altöle und Lösungsmittel sowie Papierschlämme.

B

Baustoffrecycling:

(Wieder-)Verwertung von Alt- oder Restbaustoffen, die den natürlichen Baustoffen wie Sand, Kies und Schotter qualitätsmäßig entsprechen und die bautechnischen Anforderungen des Straßen-, Wege-, Verkehrsflächenbaus, des Hoch- und Tiefbaus sowie des Erdbaus erfüllen. Mit der Verwendung von Recyclingbaustoffen werden Rohstoffe geschont und zugleich Deponieraum gespart.

Beton:

Beton ist ein Baustoff, erzeugt durch Mischen von Zement mit grober und feiner Gesteinskörnung und Wasser, mit oder ohne Zugabe von Zusatzmitteln und Zusatzstoffen. Die wesentlichen Eigenschaften von Beton resultieren aus der Hydratation des Zements (Verbindung von Zement mit Wasser zu Zementstein).

Betonbruch:

Material, das bei Abbruch- und Umbauarbeiten von Betonbauwerken oder Betonprodukten anfällt.

Blainewert:

ist ein standardisiertes Maß für den Grad der Feinheit von Zement. Je feiner der Zement aufgemahlen ist, desto höher wird die reaktive Oberfläche und damit die Festigkeitsentwicklung. Standard-Portlandzement CEM I 32,5 hat etwa einen Blaine-Wert von 3.000 bis 3.500 cm²/g.

C

Calcinator:

siehe Vorwärmer

Carbonatisierung:

ist ein natürlicher Prozess, der im Zementstein abläuft. Bei der Herstellung von Zementklinker wird Kalkstein durch Erhitzung „entsäuert“, d. h., das im Kalkstein eingebundene CO₂ entweicht. Die Carbonatisierung ist die Umkehr der Entsäuerung des Kalksteins. Das aus der Luft aufgenommene CO₂ wird zu Kalkstein, der Beton wird fester und dichter. Um die Stahlbewehrung vor Korrosion zu schützen, wird im Zuge der Planung festgelegt, mit wie viel Beton sie überdeckt sein muss, damit die Carbonatisierung während der Nutzungsdauer nicht bis zur Bewehrung vordringt.

CE-Konformitätszeichen:

Produkte mit diesem Zeichen entsprechen den geltenden europäischen Richtlinien für das jeweilige Produkt. Die CE-Kennzeichnung ist rechtlich kein Gütesiegel (Qualitätszeichen), sondern dokumentiert die Einhaltung der gesetzlich zulässigen Mindestanforderungen für das „Inverkehrbringen“ des Produktes.

CO₂-Abscheidung:

Verfahren zur Abtrennung von Kohlendioxid aus dem Rauchgasstrom eines Zementwerkes. Anschließend kann das CO₂ verwertet (Carbon Capture and Utilization) oder gespeichert (Carbon Capture and Storage) werden.

D

Dekarbonatisierung:

Beim Brennvorgang bei der Zementherstellung wird dem Rohmehl CO₂ ausgetrieben, dieser Vorgang wird als Dekarbonatisierung bezeichnet – siehe auch Entsäuerung.

Drehrohrofen:

ist ein Ofen mit einem in Längsrichtung geneigten Ofenrohr, das sich ständig um die eigene Achse dreht. Das darin befindliche Material – in unserem Fall das Rohmehl – wird bei Temperaturen von ca. 1.450 °C zu sogenanntem Klinker gebrannt.

Druckfestigkeit:

beschreibt eine wesentliche Eigenschaft des Betons. Der Baustoff Beton kann hohen Druck aushalten (z. B.: 40 MPa und mehr; entspricht ca. 220 Kleinwagen auf einem DIN-A4-Blatt).

E

Emissionen:

sind Aussendungen/Ausstöße von Störfaktoren in die Umwelt. Typische Beispiele: Abgase von Autos oder Schornsteinen, Abwässer von Fabriken, aber auch Lärm und Licht können als Emissionen bezeichnet werden.

Emissionshandel:

Der EU-Emissionshandel ist ein Instrument der EU-Klimapolitik mit dem Ziel, die Treibhausgasemissionen zu senken, indem eine begrenzte Zahl an Emissionsrechten ausgegeben und anschließend auf einem Markt gehandelt wird.

Entsäuerung:

ist die Abspaltung von CO₂ aus dem Kalkstein beim Brennprozess – siehe auch Dekarbonatisierung.

Ersatzbrennstoffe:

siehe Alternativbrennstoffe

Expositionsklassen:

Zu erwartende Umwelteinwirkungen (chemische und physikalische Angriffe) und damit verbundene Anforderungen an den Beton sowie dessen Bewehrung, mit dem Ziel, die geforderte Dauerhaftigkeit sicherzustellen.

F

Flugasche:

ist ein staubförmiger Rückstand von Verbrennungen (z. B. von kalorischen Kraftwerken). In der Baustoffindustrie wird schadstofffreie Flugasche aus der Kohleverbrennung als Zusatzstoff für Zement und Beton verwendet.

Frischbeton:

Solange der fertiggemischte Beton verarbeitet und verdichtet werden kann, wird er als Frischbeton bezeichnet.

Frühfestigkeit:

Festigkeit des Betons im jungen Alter (einige Stunden oder Tage), wichtig z. B. für die Festlegung des Termins zum Ausschalen. Im Allgemeinen ist für die Beurteilung der Festigkeit des Betons die 28-Tage-Druckfestigkeit maßgebend.

G

Gesteinskörnungen:

sind natürliche und künstliche Gesteinskörner in verschiedenen Korngrößen, die zur Herstellung von Baustoffen wie Beton, Asphalt oder Mörtel dienen.

Getemperte Tone:

Tone sind Gemische aus meist mehreren Mineralen und einer großen Anzahl von Begleitmineralen. Beim Tempern werden die Tone auf eine bestimmte Temperatur erhitzt und entwickeln so reaktive Eigenschaften. Unter geeigneten Bedingungen können getemperte Tone bis zu 50 % des Zementklinkers ersetzen. Das Tempern der Tone ist nicht so energieintensiv wie das Brennen von Zementklinker, da nicht so hohe Temperaturen notwendig sind, zudem entfällt die CO₂-Emission durch die Entsäuerung des Kalksteins.

H

Homogenisierung:

Unter Homogenisierung versteht man die Schaffung einer homogenen, das heißt einer möglichst gleichartigen und gleichmäßigen Mischung des Rohmehls.

Hüttensand:

ist ein feinkörniges (< 5 mm) Nebenprodukt der Roheisenherstellung. Seit über 100 Jahren wird gemahlener Hüttensand überwiegend in der Zementindustrie als Hauptbestandteil von sogenannten Portlandhütten- und Hochofenzementen verwendet und macht den Zement besonders resistent gegen den Angriff von Chemikalien wie z. B. Säuren.

Hydratation:

Das Erstarren und Erhärten des Zements beruht auf der Bildung wasserhaltiger Verbindungen, die bei der Reaktion zwischen den Zementbestandteilen und dem Abbindewasser entstehen. Der Zement reagiert in einem plastischen Gemisch mit Wasser, mit Wasser-Zement-Werten zwischen etwa 0,4 und 0,6. Die Reaktion wird als Hydratation bezeichnet.

Hydraulisch:

nennt man Stoffe, die mittels Einbindung von Wasser sowohl an der Luft als auch unter Wasser er härten.

K

Kalk oder Kalkstein:

ist ein Sedimentgestein, das überwiegend aus dem chemischen Stoff Calciumcarbonat (CaCO₃) besteht. Kalksteine besitzen eine enorme wirtschaftliche Bedeutung als Rohstoff für die Bauindustrie und als Naturwerkstein.

Klimazölle:

Instrument zur Bepreisung von Produkten, die aus Drittstaaten mit geringeren Klimaschutzvorgaben importiert werden. Der Fachbegriff lautet Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM).

Klinker oder Portlandzementklinker:

ist ein hydraulischer Stoff, der im Wesentlichen aus Calciumsilicaten besteht. Portlandzementklinker wird durch Mahlen und Brennen der Rohstoffe Kalkstein und Ton hergestellt. Beim Brennen mit einer Temperatur von 1450 °C entstehen harte, dichte kugelige Stücke (Granalien) mit Durchmessern bis zu mehreren Zentimetern, die als Portlandzementklinker bezeichnet werden.

Klinkerfaktor:

Anteil von Zementklinker im Zement.

Konformitätskriterien:

Konformität bedeutet hier die Übereinstimmung eines hergestellten Betons mit den in der Norm vorgegebenen, festgelegten Eigenschaften. Da eine völlige Übereinstimmung üblicherweise nicht erreicht werden kann, formuliert die Norm sog. Konformitätskriterien (z. B. für die Druckfes-

tigkeit, die Konsistenz, den Wasserzementwert), in denen die erlaubten Abweichungen aufgeführt sind. Die Kriterien können Anforderungen an absolute Höchst- oder Mindestwerte, Wertespannweiten oder andere statistische Kennwerte einer Prüfwertesamtheit sein.

Korrekturmaterialien:

Korrekturstoffe in der Zementherstellung, die den Rohstoffen zur Optimierung der Zusammensetzung zugegeben werden.

Kreislaufwirtschaft:

Wirtschaftssystem, das durch Wiederverwendung, Reparatur und Recycling mit möglichst wenig Ressourcen auskommt und die Menge der Abfälle reduziert.

Kugelmühle:

ist ein Aggregat, bei dem Kugeln zur Mahlung des Mahlgutes eingesetzt werden. Kugelmühlen kommen großtechnisch zum Zerkleinern von Klinker, Erzen, Kohle usw. zum Einsatz und sind in der Regel aus einem horizontal oder leicht geneigten, drehbar gelagerten Zylinder aufgebaut. Die Kugeln darin sind meistens aus Stahl, können aber auch aus Stein, Porzellan oder Keramik sein. Durch die Rotation des Zylinders schlagen die Kugeln aufeinander und zertrümmern das Mahlgut in ganz feine Körner.

L

Leitstand:

Kontrollzentrum eines Zementwerks

M

Mergel:

ist ein weltweit verbreitetes Sedimentgestein (Sedimentation bedeutet Ablagerung), enthält sowohl Kalk als auch silikatische Bestandteile (Tone) und hat eine sehr feine Körnung.

Mischbett:

Im Mischbett wird das Rohmaterial (Kalkstein, Sand, Ton) auf die für die Zementherstellung notwendige Zusammensetzung vorgemischt und homogenisiert (vergleichmäßig). Dies ist die Voraussetzung für eine gleichmäßige Klinker- und Zementqualität.

Mörtel:

Gemisch aus Bindemittel, Wasser und Gesteinskörnung, letztere mit höchstens 4 mm, das nach einer bestimmten Zeit erstarrt und erhärtet. Mörtel dienen beispielsweise zum Verbinden von Mauersteinen oder zum Verputzen von Bauteilen.

Mörteltechnische Eigenschaften:

mechanische Eigenschaften eines normierten Mörtels, wie Verarbeitbarkeit, Erstarrungsverhalten, Plastizität, Feuchtigkeitsregulierung, Dichtigkeit, Schutz gegen chemische Angriffe u. a.

N

Natürliche Ressourcen:

sind zum Beispiel Bestandteile der Natur wie Rohstoffe, Fläche oder Funktion und Qualität von Teilen der Umwelt wie Boden, Luft und Wasser oder genetische Vielfalt.

O

ÖNORM:

eine von Austrian Standards International (ASI) veröffentlichte nationale österreichische Norm.

P

Portlandzementklinker:

ist der gebrannte Bestandteil des Zements. Er wird auch Zementklinker oder auch kurz Klinker genannt.

R

Rekultivierung:

ist die Wiederherstellung von naturnahen Lebensräumen für Pflanzen und Tiere.

Recycling:

(Wieder-)Verwertung von Alt- oder Reststoffen.

Ressourcen:

sind materielle Mittel wie z. B. Rohstoffe, Geld, Energie (siehe auch „natürliche Ressourcen“).

Rohmehl:

Die Rohstoffe für die Zementherstellung werden vorzerkleinert und in das Zementwerk befördert. In einer Mühle werden alle Rohmaterialien zusammen vermahlen und gleichzeitig getrocknet, es entsteht das Rohmehl.

S

Schalung:

Die Schalung ist die Form, in die Frischbeton zur Herstellung von Betonbauteilen eingebracht wird. Nach dem Erhärten des Betons wird sie im Regelfall entfernt.

Sinterung:

Feinkörnige, pulvrige Stoffe werden vermischt und auf Temperaturen unterhalb deren Schmelztemperatur erhitzt. Dadurch entstehen neue Verbindungen wie z. B. im Klinker.

Sulfatträger:

Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) und Anhydrit (CaSO_4) werden zur Steuerung einer zeitlichen Verzögerung der Erstarrung des Zementleims im Frischbeton bei der Zementherstellung zugemahlen.

T

Ton:

ist ein natürlich vorkommendes Material und enthält überwiegend Schichtsilikate und Wasser.

V

Vorwärmer:

Der Vorwärmer (auch Calcinator) heizt das Rohmehl optimal auf, bevor es in den Drehofen gelangt. Dabei erhitzen die Ofenabgase das Rohmehl in Zyklonen im Gegenstrom, die Hitze steigt auf, das Rohmehl sinkt ab.

W

Walzenmühle:

besteht aus zwei gleich großen Walzen, die sich mit gleicher Geschwindigkeit gegenläufig drehen und das zu brechende Material in der Mitte zerkleinern.

Wasserzementwert (W/B-Wert):

beschreibt das Verhältnis zwischen der Masse des Gesamtwassers (Anmachwasser und Wasser, das an der Gesteinskörnung haftet) und der Masse des Bindemittels einer verdichteten Mischung.

Z

Zement:

ist ein hydraulisches Bindemittel für Beton.

Zementklinker (Portlandzementklinker, kurz: Klinker):

ist der gebrannte Bestandteil des Zements.

Zementleim:

ist eine zähflüssige Mischung aus Zement und Wasser und bildet das Bindemittel für Beton. Ausgehärteter Zementleim wird auch als Zementstein bezeichnet.

Zementsorte:

Dem Portlandzement werden Hütten sand, Flugasche, getemperte Tone oder Kalkstein in unterschiedlichen Mengen zugemahlen, dadurch entstehen die verschiedenen Zementsorten, und die erforderlichen Eigenschaften der Zemente werden damit gesteuert.

Zementstein:

ist ausgehärteter Zementleim.

Zumahlstoffe:

Stoffe, die zusätzlich zum Zementklinker in der Zementmühle dem Mahlprozess beigegeben werden.

Impressum

Medieninhaber

und Herausgeber: Zement + Beton Handels- und Werbeges.m.b.H., TU Wien Science Center, Franz-Grill-Straße 9, O 214, 1030 Wien E-Mail: zement@zement.at www.zement.at

Redaktion:

VÖZ: Cornelia Bauer, Rupert Friedle, Felix Papsch, Sebastian Spaun Z+B: Claudia Dankl, Cathérine Stuzka, Susanne Teschner SMG: Robert Hula, Stefan Krispel Unter dankenswerter Mitarbeit von KollegInnen der österreichischen Zementindustrie

Gestaltung:

Z+B: Susanne Teschner

Lektorat:

Z+B: Cathérine Stuzka

Illustration:

© VÖZ: S. 10, 11, 13, 15, 17, 19, 21

Druck:

Samson Druck, www.samsondruck.at

8. überarbeitete Auflage – November 2021



8. überarbeitete Auflage – NOV 2021 Foto: Z4B/Herfert

