

Zementrohstoffe in Deutschland

Geologie, Massenbilanz, Fallbeispiele



Bundesverband der
Deutschen Zementindustrie e.V.



Verein Deutscher Zementwerke e.V.

Herausgeber:

Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e. V., Köln
Verein Deutscher Zementwerke e. V.,
Düsseldorf

Fachliche Betreuung:

AG Geologie der
BDZ/VDZ-Kommission Rohstoffe

Bearbeiter:

Michael Basten
Heinz Bröker
Dr. Bernd Eber
Dr.-Ing. Jürgen Hilger
Dr. Manfred Lütkehaus
Dr. Thomas Reimer
Dr.-Ing. Holger Rosemann
Dr. Markus Schauer
Prof. Dr.-Ing. Siegbert Sprung
Carsten Wertel

Kontakt:

Michael Basten
Bundesverband der Deutschen
Zementindustrie e. V.
Luisenstr. 44
10117 Berlin

Auftraggeber:

Sozialpolitische Arbeitsgemeinschaft der
Deutschen Zementindustrie e. V., Köln

Gesamtherstellung:

Verlag Bau + Technik GmbH
Postfach 12 01 10
40601 Düsseldorf

Abb. 2, S. 59: Kartengrundlage TK 25,
Blatt 8338 Bayrischzell und 8339 Oberau-
dorf; Wiedergabe mit Genehmigung des
Bayerischen Landesvermessungsamtes
München, Nr. 1355/02

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme
Zementrohstoffe in Deutschland: Geologie, Massenbilanz, Fallbeispiele / Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V.; Verein Deutscher Zementwerke e.V. – Düsseldorf: Verlag Bau + Technik, 2002
ISBN 3-7640-0430-4

Vorwort	5
I Geologie:	
Geologische und mineralogische Aspekte der Zementherstellung	7
1 Zement – Produkt, Prozess, Geschichte	8
2 Chemische und mineralogische Anforderungen an die Rohmaterialien	9
3 Entstehung und Klassifizierung von Kalksteinen	11
4 Lagerstätten und Rohstoffbasis der deutschen Zementwerke	12
II Massenbilanz:	
Rohstoffbedarf für die Klinker- und Zementproduktion	17
1 Datenbasis	18
2 Zementherstellung im Überblick	18
3 Strukturelle Aspekte der deutschen Zementindustrie	20
4 Massenströme und Substitutionspotenziale	20
4.1 Roh- und Brennstoffe für die Klinkerherstellung	20
4.2 Einsatzstoffe für die Zementmahlung	22
5 Zusammenfassung	24
III Fallbeispiele:	
Rohstoffgewinnung und Zementherstellung unter standortspezifischen Bedingungen	25
1 Zementproduktion aus Kreide und Hüttensand in Lägerdorf und Höver	27
2 Klinker- und Zementherstellung mit Mergel und Massenkalk in Ennigerloh	33
3 Wiesbaden-Amöneburg – Zementproduktion im Tertiär des Mainzer Beckens	41
4 Ölschieferzementwerk in Dotternhausen	49
5 Kiefersfelden – Integrierter Standort in den nördlichen Kalkalpen	57
Literatur	63

Für modernes, nachhaltiges Bauen sind zementgebundene Baustoffe unverzichtbar. Die Herstellung des Bindemittels Zement setzt ihrerseits die Gewinnung von Rohstoffen voraus. Hierbei handelt es sich insbesondere um Kalkstein und Ton oder deren natürlich vorkommendes Gemisch, den Kalkmergel. Aufgrund der Standortgebundenheit der Lagerstätten und der hohen Kapitalintensität ihrer Anlagen ist die Zementindustrie auf eine langfristige Sicherung geeigneter Flächen zur Rohstoffgewinnung angewiesen. Durch werksnahe Abbaustätten werden nicht nur Transportkosten, sondern auch Verkehrsaufkommen und entsprechende Emissionen vermieden.

Obwohl der jährliche Flächenbedarf der deutschen Zementindustrie nach Berechnungen der BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2000) mit weniger als 0,0002 % der Landesfläche relativ gering ist, stellt Rohstoffgewinnung vor Ort stets einen Eingriff in Natur und Landschaft dar. Jede Abgrabung ist deshalb an strenge Auflagen und Ausgleichs- bzw. Ersatzmaßnahmen gebunden. Durch eine umweltschonende Abbauführung und Gewinnungstechnik, die Verwendung von Sekundärstoffen und industriellen Koppelprodukten sowie eine zeitnahe Renaturierung oder Rekultivierung tragen die Zementhersteller aktiv zum Ressourcenschutz bei. Die entsprechenden Flächen werden in jedem Fall nur temporär in Anspruch genommen.

Gleichwohl haben die Konflikte zwischen der Rohstoffgewinnung und anderen Belangen um die Nutzung von Flächen zugenommen. Die deutsche Zementindustrie hat daher eine Kommission „Rohstoffe“ ins Leben gerufen, die im Hinblick auf

eine fundierte Information und Kommunikation relevante Fakten branchenweit aufarbeitet. Dazu wurden mehrere projektorientierte Arbeitsgruppen gebildet, die u. a. eine naturschutzfachliche Bestandsaufnahme der Abbaustätten betreut sowie eine flächendeckende Werksumfrage durchgeführt haben. Die Ergebnisse der Umfrage sind unlängst erschienen (BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN ZEMENTINDUSTRIE/VEREIN DEUTSCHER ZEMENTWERKE 2001). Als weitere Veröffentlichung liegt nunmehr diese Broschüre vor, in der diverse Beiträge der Arbeitsgruppe „Geologie“ zusammengefasst wurden.

In Teil I wird nach einer Einführung zu Produkt, Prozess und Geschichte auf chemisch-mineralogische Anforderungen an die Zementrohstoffe, die Entstehung und Einteilung der Kalksteine sowie die Lagerstätten und Rohstoffbasis der Zementwerke mit Klinkerproduktion (integrierte Zementwerke) eingegangen. In Teil II „Massenbilanz“ wird auf der Basis der verfügbaren Statistiken und Analysen eine detaillierte Berechnung der Massenströme und der Substitutionspotenziale für das Zwischenprodukt Klinker und die Zementmahlung vorgelegt. Da generelle Aussagen nur eingeschränkt möglich sind, werden in Teil III schließlich – abgerundet durch ergänzende Informationen über die betreffenden Werke – anhand konkreter Fallbeispiele standortspezifische Bedingungen der Rohstoffversorgung und Zementproduktion herausgearbeitet.

I Geologie:

Geologische und mineralogische Aspekte der Zementherstellung

1 Zement – Produkt, Prozess, Geschichte

Der Ausdruck Zement bezeichnet im weiteren Sinne jede Art von Material, das als Bindemittel einzelne Komponenten zu einem Ganzen verbindet, also gewissermaßen zusammenklebt. Im Folgenden geht es um Zemente, die im Bauwesen eingesetzt werden. Das Ausgangsmaterial moderner Bauzemente besteht aus einer Mischung von 70 bis 80 Masseprozent (M.-%) Kalkstein und 20 bis 30 M.-% Ton, die in vielen Abbaustätten der Zementindustrie im Prinzip bereits natürlich vorliegt. Je nach chemischer Zusammensetzung der Lagerstätte müssen Korrekturstoffe, z. B. Eisenerz oder Sand, zugefügt werden.

Nach Gewinnung, Förderung, Zerkleinerung und Homogenisierung wird das Rohmaterial zu Rohmehl fein gemahlen. Das Rohmehl wird dann entsäuert, indem das CaCO_3 der Kalkkomponente in CaO und CO_2 zerlegt wird, und bei Temperaturen von etwa 1.450 °C in Drehöfen bis zur Sinterung gebrannt. Der dabei entstehende Zementklinker in Form dunkelgrauer, bis faustgroßer Granalien wird dann unter Zugabe von Sulfatträgern zur Steuerung der späteren Erstarrung im Beton zu staubfeinem Portlandzement vermahlen. Weitere Stoffe, wie z. B. granulierten Hochofenschlacke (Hüttensand), vulkanische Aschen (Tuffe, Puzzolane) oder Kalkstein, können zur Erzielung besonderer Produkteigenschaften zugemahlen oder zugemischt werden. Entsprechende Produkte werden Hochofen- bzw. Portlandkompositzemente genannt. Neben natürlichen und industriell erzeugten Materialien setzt die Zementindustrie beim Klinkerbrand auch Sekundärrohstoffe ein (vgl. Teil II dieser Veröffentlichung).

Zement ist ein hydraulisches Bindemittel, da der Zusatz von Wasser zur Bildung verschiedener Calciumsilikat- und Calciumaluminathydrate führt, die als „Klebstoff“ für die verschiedenen Zuschlagstoffe im Beton bzw. in diversen Mörteln fungieren. Natürliche Zuschläge sind Sand, Kies und Splitt, unter bestimmten Voraussetzun-

gen werden auch recycelte Zuschläge eingesetzt (siehe z. B. SCHMIDT 2000). Abb. 1 zeigt links einen Schnitt durch einen Standardbeton, der aus ca. 35 M.-% Sand, 52 M.-% Kies und nur aus 13 M.-% Zement besteht. Die hydratisierten Zementbestandteile bilden einen feinen Überzug auf den Sand- und Kieskörnern und verkleben diese fest miteinander, so dass ein künstliches Gestein entsteht. Das Prinzip – die Verbindung von grobkörnigem Zuschlag durch feinkörnigen „Mörtel“ – kennt bereits die Natur. Entsprechende Gesteine werden „Konglomerate“ oder Brekzien genannt. Aus geologischer Sicht handelt es sich hierbei meist um fossile Schotterbetten, die durch spätere natürliche Prozesse (Diagenese) verfestigt wurden. Aus dem Voralpenraum ist vor allem die „Nagelfluh“

einführten und perfektionierten (LAMPRECHT 1996). Dies zeigt das unter Kaiser Hadrian um 120 n. Chr. in seiner jetzigen Form errichtete Pantheon in Rom (Abb. 2), von dem nur wenige wissen, dass es nahezu vollständig in Betonbauweise erstellt wurde. Seine teilweise sogar in Leichtbeton ausgeführte Kuppel hat eine Spannweite von 43,30 m, die erst 1911 von der Jahrhunderthalle in Breslau mit einer Spannweite von 65 m übertroffen wurde.

Im Mittelalter und der frühen Neuzeit waren die römischen Baustoffe und -verfahren kaum noch bekannt. Erst ab dem 18. Jahrhundert wurde in Europa nach Alternativen für die nur noch vereinzelt genutzten vulkanischen Aschen gesucht. Der Engländer John Smeaton (1724-1792) entdeckte in den 50er-Jahren des 18. Jahr-



Abb. 1: links: Schnitt durch einen Beton (Größtkorn 32 mm)

rechts: natürliches Konglomerat (Gollinger Nagelfluh, Quartär)

bekannt, die heute noch als Naturwerkstein Verwendung findet (Abb. 1, rechts).

Gebrannter Kalk dient schon seit etwa 9.000 Jahren zur Herstellung von (Kalk-) Mörtel. Erste hydraulisch erhärtende Mörtel wurden um 1000 v. Chr. von phönizischen Baumeistern verwandt, die gebrannten Kalk mit gemahlenen Ziegeln oder natürlichen vulkanischen Aschen vermischten. Diese Produktionstechnologie wurde von den Griechen an die Römer weitergegeben, die dann mit ihrem „opus caementitium“ eine frühe Betonbauweise

hundert, dass die Qualität eines hydraulischen Mörtels vom Anteil der tonigen Komponente im gebrannten Bindemittel abhängt. Er veröffentlichte seine Erkenntnisse allerdings erst 1791, und von da ab entwickelte sich diese Baustofftechnologie schnell weiter (VEREIN DEUTSCHER ZEMENTWERKE 2000).

Dem Engländer Joseph Aspdin wurde 1824 ein Patent zur Herstellung von „Portland“-Zement erteilt, bei dem gebrannter Kalk mit Ton vermischt bei Temperaturen unterhalb der Sinterung gebrannt und



Abb. 2: Innenansicht des Pantheons in Rom mit Kassettendecke aus Beton

dann zu einem gebrauchsfertigen Produkt vermahlen wurde. Den Namen erhielt dieser Baustoff aufgrund der Ähnlichkeit seiner Farbe mit der eines damals beliebten Naturwerksteins von der südenglischen Insel Portland. Wichtige Erkenntnisse, insbesondere zum Mischungsverhältnis von

Kalkstein und Ton, haben auch der Franzose Vicat und der Deutsche John gewonnen. Offenbar war aber William Aspdin, ein Sohn Joseph Aspdins, der Erste, der um 1840 einen Zement herstellte, der aufgrund höherer Brenntemperaturen und einer zumindest teilweisen Sinterung die für moderne Portlandzemente charakteristischen Klinkerphasen enthielt und entsprechende Festigkeiten erreichte.

Es bedurfte noch vieler Verbesserungen, bis sich dieses Bindemittel gegenüber anderen Baustoffen endgültig durchsetzte. Der Entwicklung innovativer Zemente mit speziellen Anwendungseigenschaften sind bis heute keine Grenzen gesetzt (SCHMIDT 1998, SPRUNG/SYLLA 2000).

Die ersten Produktionsstätten zur industriellen Herstellung von Zement wurden in Deutschland um 1850 in Betrieb genommen. Bald nahmen auch der Maschinenbau und die Anlagentechnik einen rasanten Aufschwung. Aus Schachtöfen, mit denen täglich nur wenige t Zementklinker produziert werden konnten, haben sich mittlerweile höchst energieeffiziente Drehofenanlagen mit Leistungen von bis zu über 10.000 t/d entwickelt. Bei einer Produktion von jährlich über 1,5 Mrd. t Zement weltweit ist dieser Baustoff nicht

mehr wegzudenken (BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN ZEMENTINDUSTRIE 2001). Abb. 3 und Abb. 4 spiegeln den verfahrenstechnischen Wandel wider. Abb. 3 zeigt einen der im Zementwerk Wiesbaden-Amöneburg bis zum Anfang des 20. Jahrhunderts betriebenen Hoffmann'schen Ringöfen, deren Jahreskapazität jeweils rd. 2.000 t betrug, Abb. 4 eine moderne Ofenlinie mit Wärmetauscherturm und einer Tagesleistung von 5.000 t Klinker im Zementwerk Bernburg/Sachsen-Anhalt.

2 Chemische und mineralogische Anforderungen an die Rohmaterialien

Die chemischen und mineralogischen Anforderungen an die Rohmaterialien moderner Zemente lassen sich mit DUDA (1976) zunächst folgendermaßen zusammenfassen:

„Zur Zementherstellung können sowohl Mineralien natürlicher Herkunft als auch industrielle Produkte verwendet werden. Als Ausgangsmaterial dienen Mineralstoffe, welche die Hauptbestandteile des Zementes, Kalk, Kieselsäure, Tonerde und Eisenoxid, enthalten. Diese Komponenten werden selten in der gewünschten Zu-

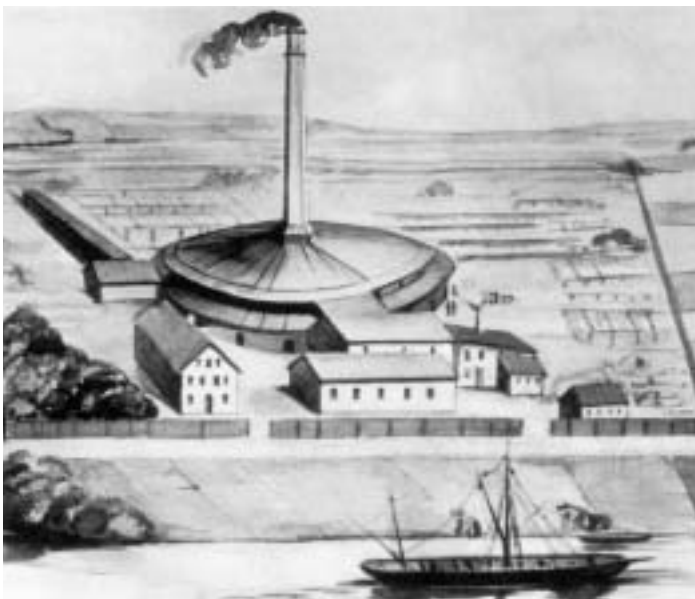


Abb. 3: Ringofen im Zementwerk Wiesbaden-Amöneburg um 1870



Abb. 4: Moderne Ofenlinie mit Wärmetauscher in Bernburg

sammensetzung in nur einem Rohstoff gefunden. Deshalb muss meistens ein berechnetes Gemisch einer kalkreichen Komponente (Kalkkomponente) mit einer kalkärmeren, jedoch mehr Kieselsäure, Tonerde und Eisenoxyd enthaltenden Komponente (Tonkomponente) gewählt werden. Diese beiden Hauptkomponenten sind in der Regel Kalkstein und Ton oder Kalkstein und Mergel.“

Die Zusammensetzung entsprechender Rohmischungen für die Klinkerherstellung schwankt je nach der lokalen Verfügbarkeit von Rohstoffen und den Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Zemente innerhalb folgender chemischer Grenzen (Tab. 1, vgl. SPRUNG 1981):

Tab. 1: Zusammensetzung der Rohmischungen

Glühverlust (CO ₂ + H ₂ O)	32 – 36 M.-%
SiO ₂	12 – 16 M.-%
Al ₂ O ₃ + TiO ₂	2 – 5 M.-%
Fe ₂ O ₃ + Mn ₂ O ₃	bis 2 M.-%
CaO	40 – 45 M.-%
MgO	0,3 – 3 M.-%
SO ₃	bis 1,2 M.-%
Alkalien (Na ₂ O _a)	bis 1,2 M.-%

Diese Anhaltswerte sind glühverlusthaltig angegeben, d. h. das im Kalkstein enthaltene Kohlendioxid (CO₂) und Wasser aus dem Kristallgitter von Tonmineralien sind noch im Rohmaterial enthalten, da sie erst beim Brennprozess entweichen.

Wichtige Indikatoren für das Brennverhalten der Rohmischung und für die mineralogische Zusammensetzung des Klinkers sind folgende Verhältniszahlen oder Moduln:

$$\text{Silikatmodul (SM)} = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

Er kann zwischen 1,9 und 3,2 schwanken, die häufigsten Werte liegen zwischen 2,2 und 2,6. Höhere Werte bedingen eine schwerere Brennbarkeit der Mischung im Ofen.

$$\text{Tonerdemodul (TM)} = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$$

Er liegt üblicherweise zwischen 1,5 und 2,5 und nur sehr selten darüber. Dieser Modul ist ein wichtiger Indikator für die Zusammensetzung der Schmelzphase beim Klinkerbrennen.

$$\text{Kalkstandard II} = \frac{\text{CaO}}{2,8 \cdot \text{SiO}_2 + 1,18 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 0,65 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

Für normale Portlandzemente liegt der Kalkstandard bei 90 bis 95, für Zemente höherer Festigkeit bei 95 bis 98.

Als Korrekturmateri­alien zur ge­nauen Ein­stellung der Moduln wer­den z. B. Sande und Eisenerze oder hochwertiger Kalkstein eingesetzt. Zu­dem sind die Aschen der beim Bren­nen verwen­deten Energie­träger zu berück­sich­ti­gen, da diese als stoffliche Kom­po­nente in den Klinker ein­ge­baut wer­den. Die Zementin­dus­trie setzt nicht nur Stein- und Braunkohlen, son­dern zu­neh­mend auch Sekun­där­brennstoffe wie z. B. Alt­rei­fen, Holz­reste oder Kunststoffe ein, durch deren ener­getische und stoffliche Verwertung sie einen nachhaltigen Beitrag zur Schonung natürlicher Ressourcen und zur Verminderung des Bedarfes an Deponieraum leistet.

Wichtige Bestandteile des Zements sind außerdem die Sulfat­träger Gips (CaSO₄ · 2 H₂O) und Anhydrit (CaSO₄). Würde zement­fein gemahlener Klinker allein mit Wasser vermischt, käme es zu einem sehr schnellen und unkontrollierbaren Erstarren, weshalb ein solches Bindemittel im Normalfall technisch nicht verwendbar wäre. Werden dem Klinker bei der Zementmahlung jedoch etwa 5 M.-% Gips bzw. Anhydrit zugegeben, so lässt sich das Erstarren des Zements im Beton verlangsamen und steuern. Statt Naturgips wird in den letzten Jahren vermehrt Gips aus den Rauchgasentschwefelungsanlagen von Kohlekraftwerken zur Zementproduktion eingesetzt („REA-Gips“).

Für die Zementmahlung werden zudem andere sekundäre oder industrielle Einsatzstoffe verwendet. Der wichtigste Stoff ist hierbei granuliert­e, basische Hochofenschlacke, die aus Gangart (Nebenbestandteile des Eisenerzes), Koksasche und Zuschlägen als Koppelprodukt bei der Roheisenerzeugung entsteht. Die heiße, flüssig aus dem Hochofen austretende Schlacke wird dazu mit Wasser abgeschreckt und erstarrt weitgehend glasig. Das dabei gebildete Granulat wird auch als Hüttensand bezeichnet und ist ein latent hydraulischer Stoff, dessen Erhärtung mit Hilfe von Portlandzementklinker und Calciumsulfaten alkalisch bzw. sulfatisch angeregt werden kann. Durch die Vermahlung bzw. Vermischung von Hüttensand mit Klinker und Sulfat­trägern werden Zemente mit normalen und besonderen Eigenschaften hergestellt, wobei der Anteil des Hüttensandes zwischen 21 und 35 M.-% (Portlandhüttenzemente) bzw. zwischen 36 und 95 M.-% (Hochofenzemente) schwankt. Durch die Herstellung dieser Zementarten und eine entsprechende, partielle Substitution des Klinkers vermindert die Zementindustrie in erheblichem Umfang den Einsatz natürlicher Rohstoffe zur Klinkerproduktion. Zugleich werden so die CO₂-Emissionen reduziert, die mit der Klinkerproduktion verbunden sind (vgl. Teil II dieser Veröffentlichung).

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass es bei der Zementherstellung darauf ankommt, aus mehr oder minder heterogenen Ausgangsmaterialien bzw. Einsatzstoffen in einem mehrstufigen Prozess homogene, qualitativ hochwertige Produkte zu erzeugen. Dazu sind nicht nur beträchtliche Stoffströme und Durchsätze zu beherrschen, es kommt vielmehr hinzu, dass bereits geringe Änderungen der Moduln des Klinkers oder der Zusammensetzung des Hüttensands zu höchst unterschiedlichen Zementeigenschaften führen können. Zu berücksichtigen ist hierbei auch, dass die Produktpalette der Zementhersteller aufgrund kundenspezifischer Anforderungen zunehmend differenzierter geworden ist.

3 Entstehung und Klassifizierung von Kalksteinen

Natürliche Gesteine lassen sich im Wesentlichen in drei große Gruppen unterteilen:

Magmatische Gesteine

entstehen aus glutflüssigem Magma der tieferen Erdschichten, das entweder am Ort seiner Entstehung abkühlt und erstarrt, in andere Gesteine der Kruste eindringt oder diese Kruste sogar durchdringt und an der Erdoberfläche in Form von Lavas oder Lockergesteinen wie z. B. Tuffen abgelagert wird.

Senkungsgebieten wie kontinentalen Seen, Flachmeeren oder auch in der Tiefsee. Durch stärkere Absenkung der entsprechenden Gebiete werden die Sedimente im Laufe ihrer Diagenese zu Gesteinen verfestigt. Auch die nachstehend beschriebenen Kalksteine sind Sedimentgesteine [vgl. z. B. TEGETHOFF 2000].

Bei der Gebirgsbildung durch Faltung und Hebung kommen all diese Gesteine in den Bereich der oberflächennahen Verwitterung, werden zerkleinert und zersetzt und gelangen dann als Fracht der Flüsse wieder in Ablagerungsgebiete. Dieser Kreis-

mit dem gelösten Calcium seinen „Lösungspartner“ entziehen, fällt ebenfalls CaCO_3 aus. Außerdem entziehen viele Tierarten dem Wasser CaCO_3 zum Aufbau schützender oder stützender Hartteile, so dass Karbonatgesteine häufig besonders schön erhaltene Fossilien aufweisen (Abb. 5 bis 7).

Kalksteine werden zum weitaus größten Teil in warmen Flachmeergebieten gebildet (vgl. z. B. LIEBER 1990). Hier finden sich auch die großen, mehrere 100 m mächtigen Rifffkomplexe, die hauptsächlich aus Überresten und Bruchstücken von Korallen-



Abb. 5: Ammonit (*Staufelia staufensis*, Jura, Dogger-Beta, Maßstab: 1 cm)



Abb. 6: Muschelpflaster (*Plagiotoma striatum*, Trias, Muschelkalk, Maßstab: 1 cm)



Abb. 7: Steinkernerhaltung, vermutlich Vogeleier (Tertiär, Maßstab: 1 cm)

Metamorphe Gesteine

entstehen, wenn magmatische Gesteine oder die nachstehend genannten Sedimente in größere Tiefen der Kruste abgesenkt und dort unter dem Einfluss hoher Drücke und/oder Temperaturen in unterschiedlichem Ausmaß verändert werden. Dabei kann es zur völligen Umbildung der ursprünglichen Minerale kommen und schließlich zum völligen Aufschmelzen, so dass wieder ein Magma entsteht.

Sedimentgesteine

entstehen durch die Ablagerung der Verwitterungsprodukte (Gerölle, Sand, Ton) von magmatischen und metamorphen Gesteinen sowie älteren Sedimenten in

lauf findet auf der Erde seit dem Zeitpunkt statt, zu dem Wasser in flüssiger Form verfügbar wurde, d. h. seit etwa vier Mrd. Jahren.

Bei der Zerstörung der Mineralien eines Gesteines während der Verwitterung werden wasserlösliche Bestandteile wie das Calcium durch CO_2 -haltige Verwitterungslösungen (Grund- und/oder Oberflächenwässer) weggeführt. Aus diesen Lösungen kann das Calcium dann bei Verdunstung oder Erwärmung direkt, d. h. ohne Einwirkung von Organismen, als Calciumcarbonat (CaCO_3) ausgefällt werden. Wenn Pflanzen, z. B. Algenarten, dem Wasser bei der Assimilation CO_2 und da-

len, Schwämmen, Muscheln oder Schnecken aufgebaut werden und ihr meist sehr massives Erscheinungsbild der Verkittung dieser Fossilien durch kalkhaltige Lösungen verdanken (Abb. 8).

Die Kreideschichten, die in Norddeutschland, Dänemark, Frankreich und England bedeutende Rohstoffquellen für die Zementindustrie darstellen, bestehen nur aus Fossilien, in diesem Falle aus den mikroskopisch kleinen Gehäusen einzelliger Meereslebewesen, den Foraminiferen und Coccolithophoren, die nur leicht verkittet sind. Foraminiferen können in Form von Nummuliten auch sehr groß werden (Abb. 9). Feste Blöcke derartiger Kalkstei-



Abb. 8: Schnitt durch ein mitteldevonisches Riff in einem Steinbruch bei Villmar/Lahn. Die hellen Strukturen sind einzelne Kolonien von Stromatoporen, d. h. Krusten bildenden, korallenähnlichen Organismen.



Abb. 9: Tertiärer Foraminiferen-Kalkstein (Nummuliten) Rohrdorf/Oberbayern (Maßstab: 1 cm)

ne wurden u. a. für den Bau der Pyramiden von Gizeh verwendet.

Je nach Bildungsmilieu und Klima können im Meer gebildete Kalksteine unterschiedliche Beimengungen von tonigem oder sandigem Material enthalten, das durch Flüsse vom Festland herantransportiert wurde. Dabei ergeben sich Mischungen zwischen sehr reinen Kalksteinen mit z. T. über 95 M.-% CaCO_3 (Abb. 6) und z. B. Tonsteinen mit nur wenigen Anteilen CaCO_3 . Kalksteine mit umfangreicheren tonigen und kieseligen Beimengungen werden allgemein als Mergel oder Mergelstein bezeichnet. Zur Klassifikation dieser Mischgesteine gibt es eine Reihe von Vorschlägen, die in Tab. 2 stammt von KÜHL (1958).

Tab. 2: Klassifikation der Mischgesteine

Hochprozentiger Kalkstein	96 – 100 % CaCO_3
Mergeliger Kalkstein	90 – 96 % CaCO_3
Kalkmergel	75 – 90 % CaCO_3
Mergel	40 – 75 % CaCO_3
Tonmergel	10 – 40 % CaCO_3
Mergeliger Ton	4 – 10 % CaCO_3
Ton	0 – 4 % CaCO_3

Es kann vorkommen, dass das üblicherweise zusammen mit dem Calciumcarbonat in unterschiedlichen Konzentrationen ausgefällte Magnesiumcarbonat später umgelagert wird. Hier bilden sich dann Dolomite, d. h. Gesteine mit etwa 30 M.-% CaO und 20 M.-% MgO . Zwischen reinen Kalksteinen und reinen Dolomiten gibt es alle Übergänge. In einer Rohmischung für den Klinkerbrand muss der MgO -Gehalt allerdings begrenzt werden, da im Klinker ein Wert von 5,0 M.-% nicht überschritten werden darf.

Entsprechend der geologischen Häufigkeit sind die meisten der weltweit in der Zementindustrie eingesetzten Kalksteine marine Sedimente. In Ländern, in denen diese selten sind oder fehlen, wird, soweit verfügbar, auf andere Arten von Kalksteinen zurückgegriffen. So wird z. B. im Osten Ugandas Kalkstein mit etwa 80 M.-% CaCO_3 aus einem jungen Vulkanschlot für ein Zementwerk gewonnen. In Südafrika werden von einigen Zementwerken junge, nur bis zu 15 m mächtige Kalkkrustenbildungen unter Savannenböden (calcretes) abgebaut. Ein weiteres Werk gewinnt hier seinen Kalkstein aus einem bis 30 m mächtigen Travertinkegel, der sich im Laufe von vielen Tausend Jahren entlang der Steilkante eines Dolomitplateaus durch Auskristallisation des CaCO_3 aus Grundwasser gebildet hatte.

Vereinzel werden auch Marmore, d. h. durch Metamorphose unterschiedlich stark veränderte Kalksteine, verwendet. Es handelt sich bei diesen Beispielen sicherlich um Sonderfälle, die aber besonders deutlich zeigen, wie vielgestaltig die Rohmateriallagerstätten von Zementwerken sein können.

4 Lagerstätten und Rohstoffbasis der deutschen Zementwerke

In Abb. 10 wird die Rohstoffbasis der deutschen Werke mit Klinkerproduktion (integrierte Zementwerke) den verschiedenen Perioden der Erdgeschichte zugeordnet. Am linken Rand der linken Säule sind die vier großen Zeitalter vom Präkambrium bis zum Känozoikum zu sehen, rechts daneben die einzelnen Zeitstufen mit Angabe der absoluten geologischen Alter. Die Bezeichnung der Zeitstufen ist häufig auf die Landschaften, in denen ihre Gesteine erstmals als typisch beschrieben wurden, zurückzuführen oder direkt auf die typischerweise abgelagerten Rohstoffe (z. B. das Kambrium nach der englischen Grafschaft Cumbria, das Karbon nach seinen Kohlen oder die Kreide nach dem gleichnamigen Gestein). Der Name Trias bezieht sich auf die charakteristische Dreiteilung (Buntsandstein, Muschelkalk, Keuper) dieser Schichtfolge, die Bezeich-

nungen Tertiär und Quartär entstammen geologischen Zeiteinteilungen aus dem frühen 19. Jahrhundert.

Kalksteine finden sich in nahezu allen Erdzeitaltern. In Deutschland treten die ältesten Gesteine dieser Art im Fichtelgebirge auf; sie sind über 545 Mio. Jahre alt und stammen aus dem frühen Kambrium. Die ältesten zurzeit auf der Erde bekannten kalkhaltigen Sedimente bildeten sich in Grönland vor etwa 3,8 Mrd. Jahren, d. h. im frühen Archaikum. Allerdings sind die Karbonatgesteine des Präkambriums meist dolomitreich oder sogar reine Dolomite. Erst ab dem Kambrium ist die Bildung von Kalksteinen weltweit häufiger zu verzeichnen.

In der zweiten, rechten Säule von Abb. 10 wird die Rohstoffbasis der integrierten Zementwerke nach den jeweiligen geologischen Zeitstufen zusammengefasst und der entsprechende Anteil an der gesamten Jahresförderung in Deutschland wiedergegeben. Dabei lassen sich zwei Schwerpunkte erkennen, nämlich die Kreide mit einem Anteil von 38 % und der Muschelkalk in der Trias mit einem Anteil von 32 %. Nimmt man den Jura (17 %) hinzu, liefern die Lagerstätten des Mesozoikum (250 bis 65 Mio. Jahre) zusammen 87 % aller Kalksteine und Kalkmergel für die deutsche Zementproduktion. Weitere Perioden mit starker Karbonatbildung, die zugleich für die Zementherstellung von Bedeutung sind, waren das Tertiär (9 %) als jüngste und das Devon (4 %) als älteste Zeitstufe. Die Kalksteine des

Karbon und des Perm spielen für die deutsche Zementproduktion keine Rolle.

Abb. 11 zeigt die Verbreitung der Lagerstätten in Deutschland sowie die Lage der Zementwerke mit und ohne Klinkerherstellung. Alle integrierten Zementwerke verfügen über eine Rohstoffbasis in Werksnähe. Bei den (Mahl-)Werken ohne eigene Klinkerproduktion handelt es sich häufig um ehemals integrierte Standorte, die ebenfalls in Regionen mit entsprechenden Lagerstätten liegen. Diese Werke müssen heute mit dem Zwischenprodukt Klinker versorgt werden. Dies gilt selbstverständlich auch für alle anderen Mahlwerke einschließlich der Standorte, die sich in räumlicher Nähe zur Stahlindustrie auf die Verarbeitung von Hüttensand spezialisiert haben. Im Folgenden werden

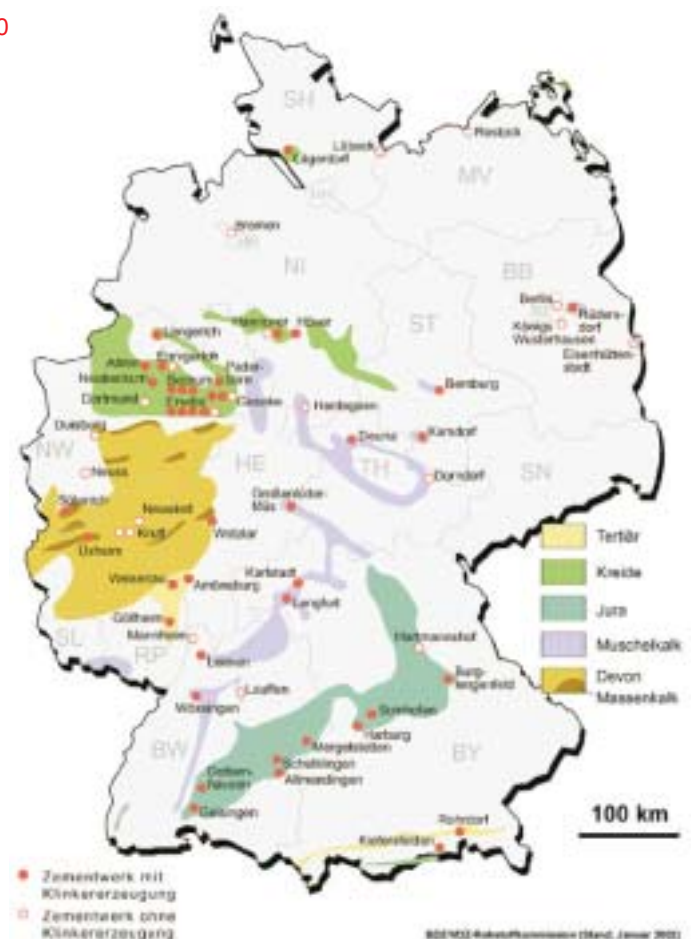
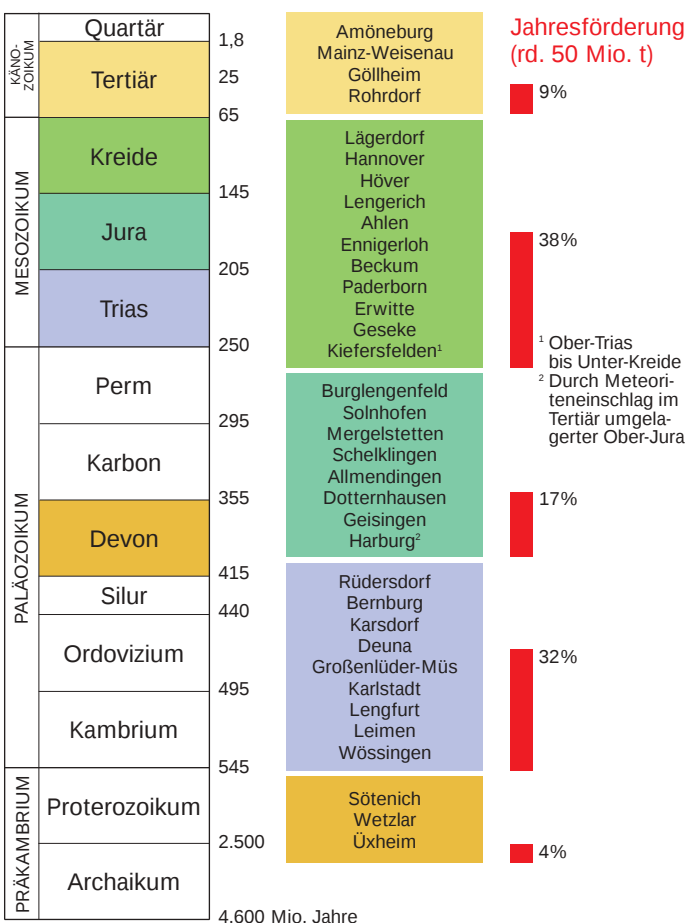


Abb. 10: Geologische Alter der Rohstoffbasis integrierter Zementwerke

Abb. 11: Zementwerke in Deutschland – Geologische Verbreitung der Rohstoffe



Abb. 12: Oberkreide bei Ennigerloh/Westfalen

die wichtigsten Zusammenhänge erläutert, wobei nicht entlang der geologischen Periodisierung, sondern nach der quantitativen Bedeutung der für die deutsche Zementproduktion relevanten Zeitstufen vorgegangen wird. Weitere Informationen lassen sich der Veröffentlichung von GOTTHARDT/ KASIG (1996) sowie den Fallbeispielen (Teil III dieser Veröffentlichung) entnehmen.

Die meisten Zementrohstoffe in Deutschland kommen aus Lagerstätten der Oberen Kreide. Dies gilt vor allem für den westfälischen Raum zwischen Lengerich am Rande des Teutoburger Waldes im Norden, Ennigerloh/Beckum in der Mitte und der Soester Boerde mit Erwitte und Geseke im Süden. Aufgrund geeigneter Lagerstätten, der Bedeutung der regionalen Absatzmärkte und struktureller Besonderheiten finden sich hier 14 integrierte Zementwerke sowie zahlreiche, auf die Zementindustrie spezialisierte Zulieferer des Maschinen- und Anlagenbaus. Die Kalkmergelsteine in Beckum und Ennigerloh (Abb. 12) enthalten häufig nicht mehr genügend CaCO_3 für die Klinkerproduktion, so dass hier reinere devonische Riffkalksteine aus dem weiter südlich gelegenen Sauerland (Warstein) als Korrekturstoff zugeliefert werden müssen. Weitere Produktionsstandorte mit Lagerstätten der Kreide befinden sich im Raum Hannover (zwei integrierte Werke) sowie in Lägerdorf, Schleswig-Holstein. In Lägerdorf wird so genannte Schreibkreide gewon-



Abb. 13: Kalkstein mit steil stehenden Schichten im Steinbruch Wachtl

nen, die durch Salztektonik, d. h. Fließbewegungen tiefer liegender Salzlagerstätten, an die Oberfläche gehoben und durch die vordringenden Gletscher im Pleistozän freigelegt wurde.

Im Werk Kiefersfelden, im äußersten Süden Bayerns, werden neben Rohstoffen der Kreide auch Gesteine aus Trias und Jura der stark gefalteten nördlichen Alpen genutzt. Der Steinbruch befindet sich auf österreichischem Staatsgebiet (Abb. 13).

Die Kalk- und Mergelsteine des Muschelkalkes (Mittlere Trias) sind die zweitwichtigste Rohstoffbasis für die Zementherstellung in Deutschland (Abb. 14). In Rüdersdorf, wo der gesamte Muschelkalk durch Salztektonik an die Oberfläche gedrückt wurde, geht der Obere und der Untere Muschelkalk in die Zement- und Kalkherstellung, während der dolomitische, d. h. magnesiumhaltige Mittlere Muschelkalk zu Verfüllzwecken bzw. zur Produktion von Magnesium-Dünger für die Landwirtschaft genutzt wird. Drei weitere große Werke in den neuen Bundesländern (Bernburg und Karsdorf in Sachsen-Anhalt



Abb. 14: Unterer Muschelkalk/Trias bei Heidelberg



Abb. 15: Oberer Jura bei Blaubeuren



Abb.16: Tertiär bei Mainz-Weisenau



Abb. 17: Devonischer Massenkalk bei Wetzlar (fossiles Riff)

sowie Deuna in Thüringen) und einige Werke in Bayern (Karlstadt und Lengfurt in Unterfranken), Hessen (Großenlüder-Müs) und Baden-Württemberg (Leimen bei Heidelberg) fördern primär Unteren Muschelkalk für die Zementproduktion, das Werk Wössingen in Baden-Württemberg Oberen Muschelkalk.

Die Kalksteine des Oberen Jura sind nur im Bereich der Schwäbischen und Fränkischen Alb nahe genug an der Oberfläche, sie werden daher auch nur an den entsprechenden süddeutschen Standorten (u. a. Allmendigen, Schelklingen und Mergelstetten im Raum Ulm, Burglengenfeld nördlich Regensburg) für die Zementproduktion abgebaut (Abb. 15). Ein Zementwerk in Dotternhausen (Südwestteil der Schwäbischen Alb) gewinnt zusätzlich Ölschiefer des Unteren Jura, der bei der Klinkerherstellung als Brennstoff und als Rohstoffkomponente dient. Zudem entsteht in Wirbelschichtöfen mit nachgeschalteter Kraftwerkstechnik hydraulisch aktiver „gebrannter Ölschiefer“, der für die Herstellung von Portlandölschieferzement und Spezialbindemitteln verwendet wird. Aus der beim Brennen frei werdenden Energie wird elektrischer Strom erzeugt.

Eine besondere geologische Situation findet sich in Harburg am Südwestrand des Nördlinger Ries (Fränkische Alb), einem großen, im Tertiär entstandenen Meteoritenkrater. Hier wird aus den beim Ein-

schlag umgelagerten Schichten des Oberen Jura neben Zement auch Kalk produziert.

In weiten Teilen Deutschlands war das Tertiär eine Zeit tiefgründiger, stellenweise sogar tropischer Verwitterung und Abtragung. Gering verfestigte Kalksteine des Jungtertiärs wurden im Wesentlichen im Mainzer Becken, dem Nordteil des Rheintalgrabens, abgelagert und dienen drei integrierten Zementwerken, Göllheim und Mainz-Weisenau in Rheinland-Pfalz sowie Wiesbaden-Amöneburg in Hessen, als Rohstoffbasis (Abb. 16). Tertiäre Gesteine treten auch in einem schmalen Streifen am Nordrand der Alpen auf. Hierbei handelt es sich um alttertiäre Sedimente der so genannten Helvetischen Zone, die während der Herausbildung der Alpen intensiv verfaltet wurden. Aus einer entsprechenden Lagerstätte bezieht das Werk Rohrdorf bei Rosenheim (Bayern) sein Rohmaterial.

Die älteste Periode, aus der in Deutschland Zementrohstoffe gewonnen werden, ist das Devon. Im Devon erstreckte sich eine breite Riffzone mit sehr reinen und mächtigen Kalksteinen von Nordfrankreich bis zum Harz. Bei diesen so genannten devonischen Massenkalken handelt es sich um Flachmeerablagerungen, die erst später, am Beginn des Karbons, gefaltet wurden (Abb. 17). Im Rheinischen Schiefergebirge finden sich im Bereich der ursprünglichen Riffbrücken neben Kalkwerken auch einige Zementwerke. Je-

weils ein integrierter Standort liegt in Nordrhein-Westfalen (Sötenich), Rheinland-Pfalz (Üxheim) und Hessen (Wetzlar). Devonische Massenkalk aus Warstein sind – wie bereits erwähnt – als Korrekturstoffe für die Zementwerke in Beckum und Ennigerloh von Bedeutung.

Zusammengefasst bedeutet dies: An Standorten, an denen im Laufe der Erdgeschichte Kalk- und Kalkmergelsteine in die Nähe der Erdoberfläche gebracht wurden – in der Geologie spricht man von Aufschlüssen oder vom Ausstreichen der Schichten – befinden sich die Zementwerke. Die kapitalintensive Zementindustrie ist auf große Lagerstätten geeigneter Gesteine als langfristige Rohstoffbasis angewiesen (vgl. u. a. BASTEN 2002). Da für die Herstellung von 1 t Zementklinker etwa 1,6 t Rohstoffe bewegt werden müssen, ist es in der Regel weder ökonomisch noch ökologisch sinnvoll, das Rohmaterial über größere Entfernungen zu einem integrierten Zementwerk zu transportieren. Gewisse Ausnahmen sind allerdings bei den Werken gegeben, die in begrenztem Umfang Teile der benötigten Rohmaterialien als Korrekturstoffe aus dem weiteren Umfeld beziehen müssen.

II Massenbilanz:

Rohstoffbedarf für die Klinker- und Zementproduktion

1 Datenbasis

Die folgende Berechnung der Massenströme zur deutschen Zementproduktion basiert auf aktuellen Angaben des Statistischen Bundesamts, des Bundesverbands der Deutschen Zementindustrie, des Monitoring-Berichts des Vereins Deutscher Zementwerke über die freiwillige Selbstverpflichtung zur Minderung klimarelevanter Emissionen sowie auf repräsentativen Daten über die Zusammensetzung von Roh- und Einsatzstoffen aus dem Forschungsinstitut der Zementindustrie. Ergänzt wurden die Zahlenwerte durch eine Umfrage des Vereins Deutscher Zementwerke, die alle Werke mit Klinkerproduktion umfasst und die Auskunft über die Art und Menge der eingesetzten Roh- und Brennstoffe gibt.

2 Zementherstellung im Überblick

Zement ist ein Baustoff, der aufgrund chemischer Reaktionen mit Wasser erhärtet und bei seiner Nutzung sowohl an der Luft als auch unter Wasser fest und dauerhaft bleibt. Wesentlicher Bestandteil ist der Portlandzementklinker. Zur Herstellung des Klinkers als Zwischenprodukt werden sowohl natürliche als auch sekundäre Roh- und Brennstoffe eingesetzt. Ausgangsstoffe für die Zementmahlung sind außer Klinker eine Reihe industrieller wie natürlicher Stoffe.

Zemente werden durch gemeinsames Feinmahlen oder Mischen getrennt ermahleener Haupt- und Nebenbestandteile hergestellt. Zu den Hauptbestandteilen nach DIN EN 197-1 (2001), DIN 1164

(2000) und DIN 1164-1 (1994) zählen Portlandzementklinker, Hüttensand, gebrannter Ölschiefer, natürliche Puzzolane (z. B. Trass), Kalkstein oder Steinkohlenflugasche. Außer Nebenbestandteilen (Füller) müssen zur Steuerung des Erstarrens und der Festigkeitsentwicklung Sulfatträger (natürlicher Gips und Anhydrit, Gips aus Rauchgasentschwefelungsanlagen) zugesetzt werden. Eine schematische Darstellung des Herstellungsprozesses zeigt Abb. 1.

Portlandzementklinker wird heute überwiegend nach dem Trockenverfahren in Drehrohröfen mit vorgeschalteten Vorwärmern und Calcinatoren bei Temperaturen um 1.450 °C durch Sintern eines Gemisches unterschiedlicher Rohstoffe (Rohmehl) unter Einsatz verschiedener Regel-

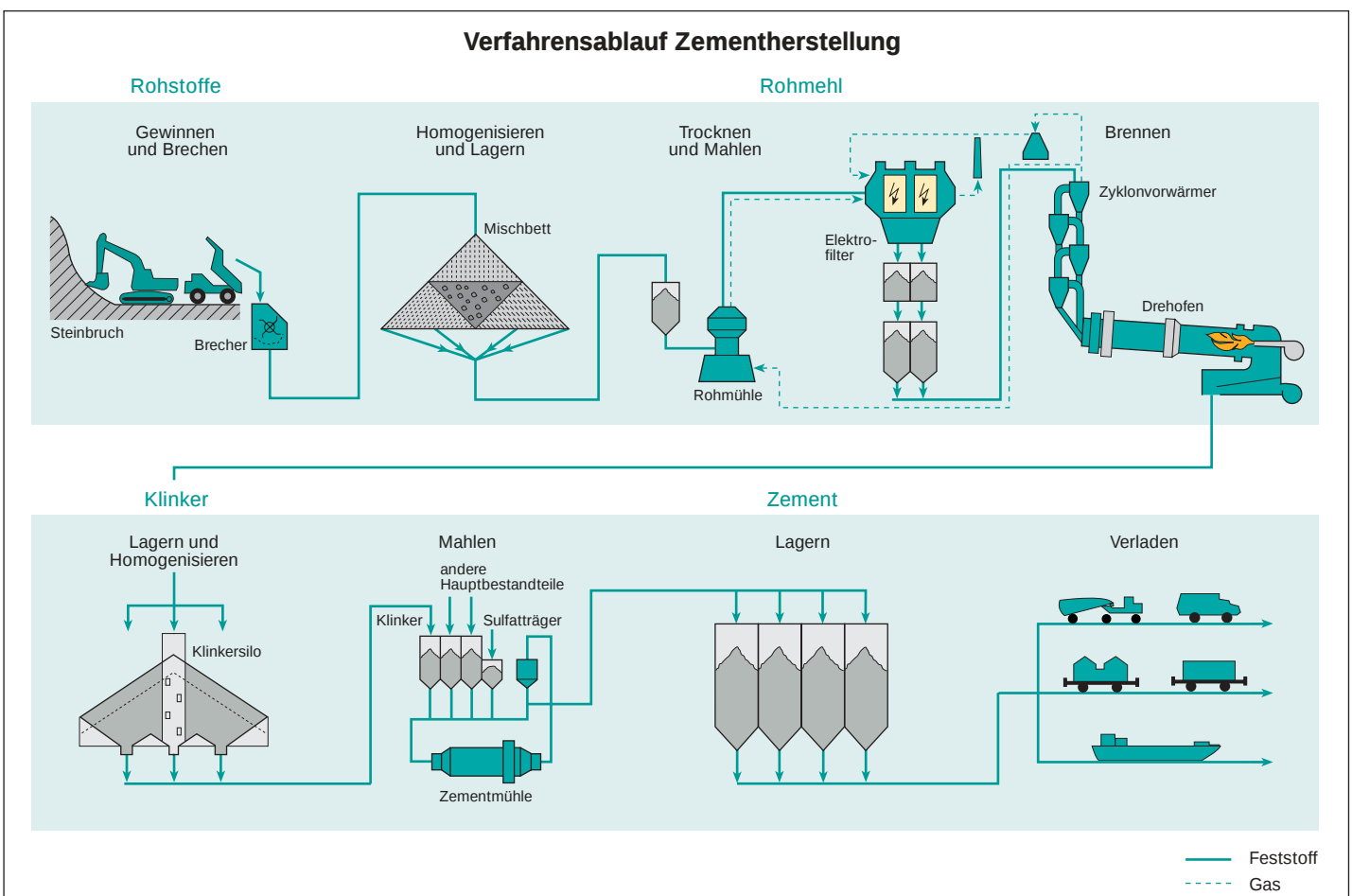


Abb. 1: Schematische Darstellung des Zementherstellungsprozesses vom Steinbruch bis zum Versand

Tab. 1: Anzahl und Kapazität der Ofenbauarten mit Betriebsgenehmigung in den Jahren 1998 bis 2000

	Stand: 01.01.1998			Stand: 01.01.1999			Stand: 01.01.2000		
	Anzahl	Kapazität t/d	%	Anzahl	Kapazität t/d	%	Anzahl	Kapazität t/d	%
Öfen mit Zyklonvorwärmer	50	118.500	85,4	47	113.700	84,9	46	112.500	84,8
Öfen mit Rostvorwärmer	19	17.770	12,8	19	17.770	13,3	19	17.970	13,5
Trockenöfen	1	1.050	0,7	1	1.050	0,7	1	1.050	0,8
Schachtöfen	8	1.200	0,9	8	1.200	0,9	8	1.200	0,9
Schwefelsäure-Zement-Verfahren	2	280	0,2	2	280	0,2	–	–	–
Summe	80	138.800	100	77	134.000	100	74	132.720	100
Mittlere Ofenkapazität in t/d	Drehöfen	1.962			1.980			1.993	
	Schachtöfen	150			150			150	
	Schwefelsäure-Zement-Verfahren	140			140			–	
Klinkerproduktion (Jahr)		(1997)			(1998)			(1999)	
Mio. t/a		26,5			27,5			27,7	
Auslastung %		60			64			65	

und Sekundärbrennstoffe hergestellt. Anzahl, Kapazität und Auslastungsgrade der Ofenanlagen mit Betriebsgenehmigung gehen aus Tab. 1 hervor (VEREIN DEUTSCHER ZEMENTWERKE/FORSCHUNGSINSTITUT DER ZEMENTINDUSTRIE 1999). Die Auslastung ist auf eine angenommene Anlagenverfügbarkeit von jährlich 320 Tagen bezogen. Im Jahr 2000 wurden in Deutschland insgesamt rd. 28,3 Mio. t Klinker für die inländische Zementherstellung und den Export produziert.

Die natürlichen Rohstoffe Kalkstein, Kalkmergel, Ton und Sand sowie Eisenerze bilden das Rohstoffgemisch, das aufgrund von Anforderungen an die Eigenschaften des Klinkers (Leistungsfähigkeit) neben einer hohen Mahlfeinheit und Homogenität eine genau definierte Zusammensetzung unter Berücksichtigung von Aschemenge und Aschezusammensetzung der jeweils eingesetzten Brennstoffe aufweisen muss. Außer den natürlichen Rohstoffen und Regelbrennstoffen werden teilweise auch geeignete Reststoffe anderer Produktionszweige als sekundäre Roh- und Brennstoffkomponenten eingesetzt.

Tab. 2: Haupt- und Nebenbestandteile des Zementklinkers normaler Zusammensetzung, Klinkerphasen und Moduln

	Moduln PZ-Klinker		
	H	M	N
Kalkstandard (KST)	104	97	91
Silikatmodul (SM)	4,1	2,5	1,6
Tonerdemodul (TM)	3,7	2,3	1,4
Sulfatisierungsgrad (SG)	189	80	35
	Klinkerphasen nach Bogue (M.-%)		
	H	M	N
Tricalciumsilikat (C ₃ S)	85	65	52
Dicalciumsilikat (C ₂ S)	27	13	0
Tricalciumaluminat (C ₃ A)	16	11	7
Calciumaluminatferrit (C ₄ AF)	16	8	4
Freier Kalk (CaO _{fr})	5,6	1,2	0,1
Bestandteil	Klinker (M.-%)		
	H	M	N
SiO ₂	24,3	21,4	19,7
Al ₂ O ₃	6,8	5,5	3,8
TiO ₂	0,5	0,3	0,2
P ₂ O ₅	0,3	0,1	0,0
Fe ₂ O ₃	4,6	2,7	1,3
Mn ₂ O ₃	0,7	0,1	0,0
CaO	70,1	66,5	63,8
MgO	4,5	1,5	0,0
SO ₃	2,1	0,8	0,2
K ₂ O	1,8	0,9	0,3
Na ₂ O	0,3	0,1	0,0
Na ₂ O-Äqu.	1,3	0,8	0,3
Glv.	1,6	0,4	0,1
CO ₂	0,8	0,1	0,0
H ₂ O	1,1	0,3	0,0

Die wichtigsten Oxide des Rohstoffgemisches sind Calciumoxid (CaO), Siliciumdioxid („Kieselsäure“ SiO₂), Aluminiumoxid („Tonerde“ Al₂O₃) und Eisenoxid (Fe₂O₃). Zu den Nebenbestandteilen mit geringerer technischer Bedeutung zählen u. a. Magnesiumoxid (MgO), die Alkalien (K₂O, Na₂O) sowie Schwefelverbindungen (Sulfat). Außerdem enthält Portlandzementklinker aufgrund der in den natürlichen Einsatzstoffen vorgegebenen geochemischen Verteilung Spurenelemente.

Aus den Oxiden der Ausgangsstoffe entstehen beim Sinter- und Kühlprozess die Klinkerphasen. Hierbei handelt es sich in erster Linie um Calciumsilikate, Calciumaluminat und Calciumaluminatferrite, die dem Zement seine charakteristischen Eigenschaften bei der Erhärtung in Gegenwart von Wasser verleihen. Tab. 2 gibt die Mittelwerte (M) sowie die durch Höchst- (H) und Niedrigstwerte (N) gekennzeichneten Spannweiten der chemischen Zusammensetzung des Portlandzementklinkers mit seinen Haupt- und Nebenbestandteilen, des Gehalts an Klinkerphasen, des Kalkstandards sowie des Silikat- und Tonerdemoduls wieder (VEREIN DEUTSCHER ZEMENTWERKE/FORSCHUNGSINSTITUT DER ZEMENTINDUSTRIE 1999).

Der im Drehofen gebrannte Klinker wird in Zementmahanlagen unter Zusatz von Calciumsulfatträgern und weiteren Haupt- sowie Nebenbestandteilen zu Zement gemahlen. Mit Hilfe der Calciumsulfate wird die Erstarrungszeit so gesteuert, dass der Zement bei der Betonherstellung optimal verarbeitet werden kann und nach der Betonhärtung zu einer hohen Leistungsfähigkeit führt. Die Hauptbestandteile Hüttensand, gebrannter Ölschiefer, Puzzolan und Kalkstein weisen latent hydraulische und/oder puzzolanische Eigenschaften auf oder wirken ausschließlich physikalisch als Füller. Die Massenströme der insgesamt produzierten Zemente, die auf der Basis der für das Bezugsjahr 2000 vorliegenden Statistiken ermittelt wurden, gehen aus Tab. 6 im Abschnitt 4.2 hervor. Die Angaben umfassen den Inlandsversand und den Export.

3 Strukturelle Aspekte der deutschen Zementindustrie

Zement ist ein genormtes, homogenes Massengut, das je nach Anwendung im Mörtel und Beton normale oder besondere sowie auch individuell auf den Anwender abgestimmte Eigenschaften aufweist. Außer genormten Produkten werden, jedoch in deutlich geringerem Umfang, Zemente mit einer Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik hergestellt. Weitere kennzeichnende Merkmale für den Zement sind der Energieaufwand und die Kostenintensität für die Herstellung und den Versand.

Die Zemente werden in Zementwerken mit und ohne Klinkerherzeugung hergestellt. Die deutschen Produktionsstandorte mit eigener Klinkerherstellung (integrierte Zementwerke) befinden sich in unmittelbarer Nähe der genutzten Kalkstein- bzw. Kalkmergelvorkommen. Im Jahr 2000 produzierten bundesweit 38 Unternehmen in 64 Werken insgesamt ca. 35,8 Mio. t Zement. In Teil I dieser Veröffentlichung wird ein Überblick über die geographische Verteilung von Werken mit und ohne Klinkerproduktion in Deutschland einschließlich der geologischen Zuordnung der Lagerstätten in den verschiedenen Regionen gegeben.

Zu den Hauptabnehmern von Zement gehören die Transportbetonindustrie mit rd. 52 % sowie die Hersteller industriell gefertigter Betonbauteile mit rd. 26 % der Zementproduktion. Bei zunehmendem Siloversand werden nur noch etwa 9 % des Zements als Sackware abgesetzt (BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN ZEMENTINDUSTRIE 2000).

Tab. 3: Struktur der deutschen Zementindustrie (2000)

Inlandsversand	Zahl der Werke
0 - 200.000 t	11
201 - 500.000 t	27
501 - 1.000.000 t	18
> 1.000.000 t	8
Werke gesamt	64

4 Massenströme und Substitutionspotenziale

4.1 Roh- und Brennstoffe für die Klinkerherstellung

Der Bedarf an Roh- und Korrekturstoffen für die Klinkerherstellung wird überwiegend aus natürlichen Quellen gedeckt. Zu den natürlichen Rohstoffen zählen Kalkstein und Ton oder deren natürlich vorkommende Gemische, die Kalkmergel, sowie Sand und Eisenerz.

Darüber hinaus können auch geeignete Sekundärrohstoffe, die als Reststoffe anderer industrieller Produktionen anfallen, zur Klinkerherstellung verwendet werden. Sie lassen sich je nach Mengenanteil der Hauptbestandteile in Gruppen, z. B. Ca-, Si-, Fe-, oder Al-Gruppe, einteilen (SPRUNG 1992). Zu diesen sekundären Rohstoffen zählen u. a. Kalkschlämme aus der Trinkwasseraufbereitung, Gießereialsande oder Flugaschen unterschiedlicher Art aus der Entstaubung von Kohlekraftwerken.

Die Anforderungen, die an die stoffliche Zusammensetzung der Sekundärstoffe zu stellen sind, hängen im Einzelfall von der vorgegebenen Rohstoffsituation des Werks, z. B. vom CaCO₃-Gehalt des Kalksteinvorkommens, sowie auch von den existierenden Umweltauflagen ab. Aus Tab. 4 gehen die als Rohstoffkomponenten zur Klinkerherstellung genutzten Arten von Sekundärstoffen sowie die Summe der Mengenanteile in den jeweiligen Gruppen hervor. Die Werte beruhen auf einer Umfrage, die 100 % der deutschen Klinkerproduktion abdeckt (VEREIN DEUTSCHER ZEMENTWERKE/FORSCHUNGSINSTITUT DER ZEMENTINDUSTRIE 2002). Angaben über eine mittlere Zusammensetzung der einzelnen Stoffe liegen nicht vor.

Danach fiel die Substitution natürlicher Rohstoffe bei der Produktion von Portlandzementklinker im Jahr 2000 mit insgesamt etwa 1,5 Mio. t/a verhältnismäßig gering aus. Bezogen auf die gesamte Rohstoffeinsatzmenge zur Klinkerproduktion von über 42 Mio. t liegt der Anteil nur bei rd. 3,6 %. Dementsprechend kann die

jeweilige Zusammensetzung der eingesetzten Sekundärrohstoffe bei der Berechnung des Massenstroms der Rohstoffkomponenten näherungsweise unberücksichtigt bleiben.

Das Substitutionspotenzial hängt entscheidend von der geforderten Leistungsfähigkeit des Klinkers ab. Es ist bei Werken mit kalkreichen Lagerstätten generell höher einzuschätzen als bei Werken mit Kalkmergel-Lagerstätten. Darüber hinaus bestimmen das jeweilige Mengenangebot sowie der wirtschaftliche Aufwand für Transport, Lagerung, Dosierung und Homogenisierung die Einsatzmöglichkeiten.

Der Ascheanteil, der aus den für das Klinkerbrennen eingesetzten Brennstoffen stammt, wird in das Brennprodukt eingebunden und beteiligt sich an der Klinkerphasenbildung. Brennstoffasche substituiert demnach anteilig natürliche Rohstoffkomponenten, z. B. Tone und Sande.

Auf der Basis der im Jahr 2000 für die Klinkerherstellung eingesetzten Stein- und Braunkohlemengen von rd. 1,064 Mio. t/a bzw. 1,400 Mio. t/a (VEREIN DEUTSCHER ZEMENTWERKE/FORSCHUNGSINSTITUT DER ZEMENTINDUSTRIE 2000) und der aufgrund der Heizwerte angenommenen mittleren Aschegehalte von 25 bzw. 5 M.-% ergaben sich Aschemengenströme von rd. 0,266 Mio. t/a Steinkohle- und 0,070 Mio. t/a Braunkohleasche. Zusammen mit einer geschätzten Aschemenge aus Sekundärbrennstoffen von etwa 0,163 Mio t/a errechnen sich in der Summe Aschemengen von rd. 0,500 Mio. t/a, die bei der Massenstromberechnung berücksichtigt wurden.

Der stoffliche Substitutionseffekt der Aschen aus Regel- und Sekundärbrennstoffen ist mit rd. 1,2 %, bezogen auf den Rohmehlmassestrom, insgesamt geringer als der von Sekundärrohstoffen. Gleichwohl ist der Einfluss von Menge und Zusammensetzung der Aschebestandteile auf die Klinkereigenschaften aus Gründen der Qualität und Leistungsfähigkeit der daraus hergestellten Zemente in jedem Einzelfall zu beachten. Das trifft z. B. für den Einsatz von Altreifen zu,

Tab. 4: Summe der sekundären Rohstoffkomponenten in den jeweiligen Gruppen für die Klinkerproduktion im Jahr 2000

Sekundäre Rohstoffkomponenten für die Klinkerproduktion		
Gruppe	Rohstoff	Einsatzmenge [1.000 t/a] (als Summe)
Ca	■ Kalkschlämme (Trink- und Abwasseraufbereitung) ■ Kalkhydrat ■ Porenbetongranulat ■ Calciumchlorid ■ Industrielle Kalkabfälle ■ CaF₂-haltige Reststoffe	264
Si	■ Gießereialsand	137
Al	■ Al-Werkstäube ■ Rückstände der Salzschlackenaufbereitung ■ Katalysatorstaub ■ Al-Hydroxid	40
Si/Al	■ Bentonit, Kaolinit ■ Rückstände Kohleaufbereitung	47 22
Fe	■ Kiesabbrand ■ Verunreinigte Erze ■ Stahlwerksstäube ■ Walzzunder	321
Si/Al/Ca	■ Flugaschen ■ Papierreststoffe ■ Rostaschen ■ Eisenoxid/Flugaschegemisch ■ Schlacken ■ Ölverunreinigte Böden	683
Gesamt		1.514

bei dem insbesondere der Fe₂O₃-Anteil, der aus den Stahlkarkassen stammt, als stoffliche Komponente die Bildung und Zusammensetzung der Klinkerphasen beeinflusst. Hier findet also nicht nur eine energetische, sondern auch eine stoffliche Verwertung statt.

Der Massenstrom an heimischen Rohstoffen, der im Jahr 2000 für eine Klinkerproduktion von insgesamt rd. 28,6 Mio. t (inkl. Klinkerexport) verbraucht wurde, ließ sich unter den genannten Vorgaben näherungsweise unter Zuhilfenahme von Mittelwerten für den Kalkstandard (KST = 97), den

C₃S-Gehalt (65 M.-%) und den CaO-Gehalt (66,5 M.-%) des Klinkers (Tab. 2) sowie unter Berücksichtigung der Annahmen für Mengenanteil und mittlere chemische Zusammensetzung von Steinkohle- und Braunkohleasche berechnen. Das Ergebnis der Abschätzung der Massenströme ist in Abb. 2 in Form eines Fließdiagramms dargestellt.

Die rechnerisch auf der Basis von Klinkerproduktion und -zusammensetzung ermittelten Rohstoffmassenströme fallen in der Summe von Rohstoff und Brennstoffasche mit rd. 42,8 Mio. t/a niedriger aus

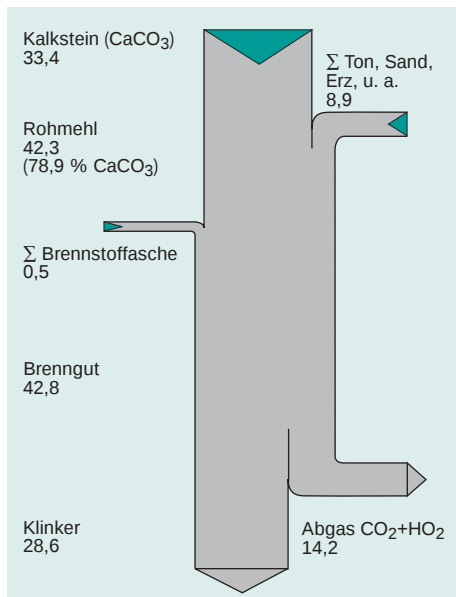


Abb. 2: Berechnete Massenströme der Rohstoffe zur Klinkerherstellung (inkl. Asche aus Regel- und Ersatzbrennstoffen) in Mio. t/a

als die aus der Umfrage mit rd. 50 Mio. t/a ermittelten Einsatzmengen. Die Ursachen hierfür dürften in der jeweils verwendeten Basis für die Erhebung zu suchen sein. Eine nicht unerhebliche Rolle spielt hierbei z. B. der Feuchtigkeitsgehalt der Rohstoffe. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass an mehreren Standorten außer Zement verschiedene Kalkprodukte (Brantkalk, Rohsteinschotter) im Produktionsverbund hergestellt werden.

Gemessen an den eingesetzten Mengen an sekundären Rohstoffen wie auch an den aus den Regel- und Sekundärbrennstoffen stammenden Ascheanteilen ist aus der rechnerischen Abschätzung insgesamt der Schluss zu ziehen, dass derzeit der Bedarf an Einsatzstoffen für den Klinkerbrand im Mittel zu über 95 % aus natürlichen Rohstoffen gedeckt werden muss. Das schließt höhere Abweichungen im Einzelfall nicht aus. Es ist davon auszugehen, dass in der Zukunft – insbesondere aufgrund von hohen Anforderungen an die Zementqualität und an die Umweltvorsorge – keine grundlegenden Änderungen dieser Verhältnisse eintreten werden.

4.2 Einsatzstoffe für die Zementmahlung

Gegenüber der Klinkerherstellung zeigen sich bei der Zementmahlung deutlich größere Substitutionsmöglichkeiten. Der Bedarf an Ausgangsstoffen unterschiedlicher Art, die zur Herstellung von Zement verwendet werden, lässt sich unter Berücksichtigung von Versandstatistiken des BDZ (BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN ZEMENTINDUSTRIE 2000) und des Statistischen Bundesamts abschätzen. In die Rechnung wurden auch die exportierten Zementmengen einbezogen, da sie einheimische Ressourcen in Anspruch nehmen. Die nicht genormte Zementproduktion blieb dagegen weitgehend unberücksichtigt.

Als weitere Voraussetzung für die Berechnung wurden für die unterschiedlichen, im Jahr 2000 produzierten Zementarten nach DIN EN 197-1 (2001) und nach DIN 1164 (2000) mittlere Gehalte an Klinker und anderen Hauptbestandteilen außer Klinker sowie an Calciumsulfatträgern und Nebenbestandteilen festgelegt, die der Erfahrung entsprechen. Die für jede Zementart getroffenen Annahmen gehen aus Tab. 5 hervor.

Mit Hilfe dieser Angaben wurden die Massenströme an Klinker, Hüttensand, Puzzolan, gebranntem Ölschiefer, Kalkstein und Sulfatträger berechnet, die zur Zementherstellung verwendet wurden. Die Zahlenwerte gehen aus Tab. 6 hervor.

Tab. 5: Mittlere stoffliche Zusammensetzung (Hauptbestandteile außer Klinker, Nebenbestandteile und Sulfatträger) von Zementen nach DIN EN 197-1 (2001) und DIN 1164 (2000)

Zementart	Hüttensand	Puzzolan	Ölschiefer (gebr.)	Kalkstein	Sulfatträger (CaSO_4)	Nebenbestandteil
	M.-%					
CEM I	-	-	-	-	4,5	3,5
CEM II-A/S	20	-	-	-	4,5	2,0
CEM II-B/S	30	-	-	-	4,5	2,0
CEM II-B/P	-	32	-	-	4,5	-
CEM II-A/B/T	-	-	28	-	-	-
CEM II-A/LL	-	-	-	15	4,5	-
CEM III-A	50	-	-	-	4,5	3,0
CEM III-B	70	-	-	-	4,5	3,0
Sonst. Zement	30				4,5	-

Tab. 6: Massenströme für die Herstellung von Zementen im Jahr 2000 (inkl. Export)

Zementart	Klinker	Hüttensand	Puzzolan	Ölschiefer (gebr.)	Kalkstein	Sulfatträger	Summe	Anteil
	1.000 t/a							%
CEM I	20.253	-	-	-	770	991	22.011	61,4 61,4
CEM II-A/S	1.421	390	-	-	49	88	1.948	5,4
CEM II-B/S	2.090	995	-	-	83	149	3.317	9,2
CEM II-B/P	154	-	77	-	-	11	242	0,7
CEM II-A/B-T	307	-	-	119	-	-	426	1,2
CEM II-A/LL	1.812	-	-	-	338	101	2.251	6,3 22,8
CEM III-A	1.996	2.348	-	-	141	211	4.696	13,1
CEM III-B	170	519	-	-	19	33	741	2,1 15,2
Sonst. Zement	132	21	20	-	20	9	202	0,6 0,6
Summe	28.335	4.273	97	119	1.420	1.593	35.834	100,0 100,0

Danach lag der Anteil an CEM I-Zementen im Jahr 2000 bei rd. 61 % und der von Zementen mit anderen Hauptbestandteilen außer Klinker bei etwa 39 %. Weitgehend unberücksichtigt blieben Zemente und Bindemittel mit bauaufsichtlicher Zulassung, deren Mengenanteil jedoch – gemessen an der Gesamtproduktion – als verhältnismäßig gering anzusehen ist. Insgesamt ergab sich daraus rechnerisch eine Klinkermenge, die nur um etwa 0,082 Mio. t/a über der statistisch ausgewiesenen Klinkerproduktion aller deutschen Werke lag. Das entspricht einer Abweichung von weniger als 1 %.

Die Rechnung zeigt weiterhin, dass Hüttensand, der als Koppelprodukt bei der Roheisenerzeugung entsteht, als Hauptbestandteil im Zement mit etwa 4,3 Mio. t/a [trocken] den größten Anteil vor allen anderen Hauptbestandteilen außer Klinker und damit den größten Substitutionsbeitrag stellt. Die rechnerisch für die Zementherstellung ermittelte Menge lag um knapp 0,9 Mio. t/a [trocken] unter der im Jahr 2000 insgesamt erzeugten und statistisch ausgewiesenen Hüttensandmenge von 5,840 Mio. t [feucht] (VEREIN DEUTSCHER ZEMENTWERKE/BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN ZEMENTINDUSTRIE 2000). Die Abweichungen der Zahlenwerte können u. a. auf unterschiedlichen Angaben für den Feuchtegehalt von Hüttensand beruhen, der für diese Abschätzung allerdings mit 12 M.-% bereits an der oberen Grenze angenommen wurde. Mit Blick auf die Zementherstellung leistet Hüttensand damit den größten Beitrag zur Schonung natürlicher Roh- und Brennstoffressourcen und damit auch zur Minderung der Emission des klimarelevanten Kohlendioxids (CO₂).

Während es sich bei natürlichen Puzzolanen und gebranntem Ölschiefer um eher regional eingesetzte Hauptbestandteile handelt, geht aus der Berechnung ferner hervor, dass neben den Mengenanteilen für die Klinkerproduktion zusätzlich rd. 1,4 Mio. t Kalkstein als Haupt- und Nebenbestandteil bei der Zementmahlung ohne Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit des Zements eingesetzt wurden.

Zwar bedarf diese Zumahlung ihrerseits natürlicher Kalksteinressourcen. Neben dem Ersatz von Klinker einschließlich der entsprechenden Roh- und Brennstoffe trägt sie aber in beachtlichem Umfang zur Minderung der durch den Klinkerbrennprozess bedingten klimarelevanten CO₂-Emissionen bei, deren spezifischer Wert im Jahr 1999 bei insgesamt 0,694 t CO₂/t Zement lag (VEREIN DEUTSCHER ZEMENTWERKE/FORSCHUNGSINSTITUT DER ZEMENTINDUSTRIE 2000).

Durch teilweisen Ersatz des Klinkeranteils im Zement wurden im Jahr 2000 demnach bei Berücksichtigung des Anteils der Sekundärrohstoffe (Tab. 4) und der Brennstoffaschen rechnerisch insgesamt rd. 25 % des Bedarfs an natürlichen Rohstoffen für den Brennprozess ersetzt. Diese Entwicklung weist eine bis heute weiter ansteigende Tendenz auf.

Der Verbrauch an Kalkstein für die Zementmahlung wurde rechnerisch um rd. 170.000 t/a von der eingesetzten Menge an Sulfatträgern übertroffen, die in Übereinstimmung mit der Definition in den Zementnormen nicht als Ersatz für Klinker gewertet werden können, sondern der Steuerung von Wasseranspruch, Erstarren und Festigkeitsentwicklung der Zemente dienen. Allerdings stammen bei den Sulfatträgern inzwischen etwa 25 % des Gesamtbedarfs aus Anlagen der Rauchgasentschwefelung (REA) oder aus anderen chemischen Prozessen. Bei etwa 75% handelt es sich um natürlichen Gips und natürlichen Anhydrit. Der Einsatz von natürlichem Anhydrit ist aus Qualitätsgründen unumgänglich, weil er derzeit nicht substituiert werden kann.

Die Massenströme der Haupt- und Nebenbestandteile, die im Jahr 2000 zur Zementmahlung eingesetzt wurden, sind in Abb. 3 in Form eines Fließdiagramms dargestellt. Daraus geht deutlich die Bedeutung hervor, die der Portlandzementklinker in Deutschland auch heute noch aufgrund der Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von Zement im Beton hat. Unterschiede zwischen einzelnen Ländern bzw. Märkten in Europa sind nicht

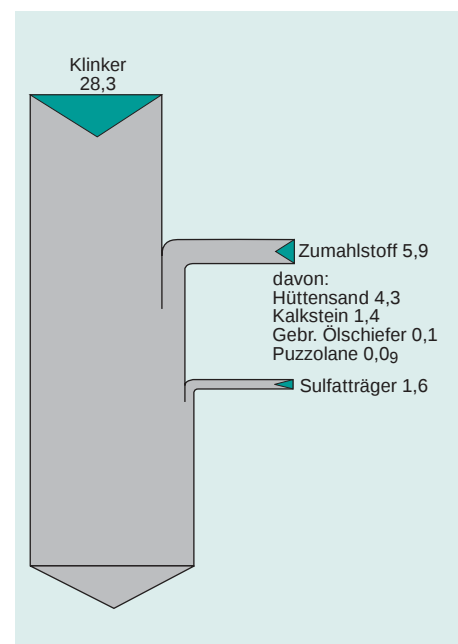


Abb. 3: Berechnete Massenströme der Haupt- und Nebenbestandteile zur Zementmahlung in Mio. t/a

zuletzt auf die jeweiligen klimatischen Verhältnisse zurückzuführen (CEMBUREAU 1999). Aufgrund witterungsbedingter Vorgaben haben daher in Deutschland derzeit nur 12 der europäisch genormten 27 Zementarten eine generelle Anwendungszulassung zur Herstellung von dauerhaftem Beton nach DIN EN 206 bzw. DIN 1045.

Ein hohes Qualitätsniveau des Klinkers steigert die Aussichten für eine teilweise Substitution durch andere Hauptbestandteile bei Wahrung der Leistungsfähigkeit (Wasseranspruch, Festigkeit, Dauerhaftigkeit) des genormten Zements. Allerdings wird hierdurch eine über den derzeit geregelten Rahmen hinausgehende Erschließung von Substitutionspotenzialen für Zement im Beton durch Betonzusatzstoffe aus Gründen der Dauerhaftigkeit deutlich eingeschränkt. Das gilt insbesondere für den Einsatz von Flugaschen im Beton, aber auch für andere Betonzusatzstoffe.

Die Substitutionseffekte bei der Klinker- und Zementherstellung für das Jahr 2000 und die Tendenzen der in den kommenden

Jahren zu erwartenden Entwicklung sind vereinfacht in Tab. 7 dargestellt.

5 Zusammenfassung

Zu den Massenströmen für die Klinkerherstellung zählen die hierfür erforderlichen natürlichen und sekundären Roh- und Brennstoffe. Zur Zementmahlung werden außer Portlandzementklinker natürlich anfallende und industriell hergestellte Stoffe als Haupt- und Nebenbestandteile eingesetzt.

Für die Klinkerherstellung wurden im Jahr 2000 über 42 Mio. t Rohstoffe benötigt. An diesem Gesamtbedarf gemessen, erreichte die Substitution von natürlichen Rohstoffen wie Kalkstein, Kalkmergel, Ton, Sand und Eisenerz durch Sekundärrohstoffe und Brennstoffaschen nur einen

verhältnismäßig geringen Wert von knapp 5 %. Das ist u. a. auf die hohen Anforderungen an die Leistungsfähigkeit des Klinkers zurückzuführen.

Demgegenüber wurden bei der Zementmahlung deutlich größere Substitutionseffekte erzielt. Bei den genormten Zementen betrug der Anteil des produzierten Portlandzements im Jahr 2000 nur noch etwa 61 %. Die übrigen 39 % der Zemente enthielten außer Klinker andere Hauptbestandteile wie Hüttensand, Puzzolane, gebrannten Ölschiefer und Kalkstein. Diese Materialien können einen Teil des Klinkers ersetzen, ohne dass es zu Einschränkungen der Leistungsfähigkeit des Zements im Beton kommt. Andererseits wird hierdurch die Ausschöpfung von Substitutionspotenzialen für Zement im Beton durch Betonzusatzstoffe, wie z. B. Steinkohlenflugasche, eingeschränkt.

Im Jahr 2000 wurden über den Ersatz von Klinker durch andere Haupt- und Nebenbestandteile sowie unter Berücksichtigung der Brennstoffaschen und der Sekundärrohstoffe rechnerisch rd. 25 % des Bedarfs an natürlichen Rohstoffen für den Klinkerbrand ersetzt. Damit verminderte sich anteilig zugleich die Emission klimarelevanter Gase. Diese Entwicklung weist eine weiter steigende Tendenz auf.

Sulfatträger können nicht als Ersatz für Klinker bewertet werden, da sie zur Steuerung der Verarbeitungseigenschaften und der Festigkeitsentwicklung unumgänglich erforderlich sind. Allerdings werden große Anteile Naturgips vor allem durch REA-Gips ersetzt.

Tab. 7: Substitutionseffekte und -potenziale im Jahr 2000
(Prozentangaben gerundet)

Produktionsstufe	Art der Einsatzstoffe	Anteile	Tendenz
Klinkerherstellung	Rohstoffe		
	Natürliche Rohstoffe	95 %	→
	Sekundäre Rohstoffe/Asche	5 %	→
	Brennstoffe		
	Primäre Brennstoffe	77 %	↘
	Sekundäre Brennstoffe	23 %	↗
Zementmahlung	Hauptbestandteile		
	Zementklinker	79 %	↘
	Σ anderer Hauptbestandteile	17 %	↗
	Sulfatträger		
	Gips/Anhydrit	75 %	→
	REA-/Industriegipse	25 %	→

III Fallbeispiele:

Rohstoffgewinnung und Zementherstellung unter standortspezifischen Bedingungen

Zementproduktion aus Kreide und Hüttensand in Lägerdorf und Höver

Inhalt

- 1 Allgemeines
- 2 Werksgruppe Lägerdorf
 - 2.1 Kreidegewinnung
 - 2.2 Klinkerherstellung
 - 2.3 Hüttensandproduktion
- 3 Werksgruppe Höver
 - 3.1 Kalkmergelgewinnung
 - 3.2 Klinkerherstellung
 - 3.3 Hüttensandproduktion
- 4 Zusammenfassung



1 Allgemeines

Die Alsen AG produziert als größter Zementhersteller Norddeutschlands rd. 3 Mio t/a Zement. Hauptproduktionsstandorte sind die Werke Lägerdorf bei Itzehoe und Höver bei Hannover. An diesen Standorten werden Drehofenanlagen betrieben, deren Rohstoffversorgung von der ortsnahen Verfügbarkeit der Rohstoffe Kreide bzw. Kalkmergel abhängt. An diesen beiden Standorten wird seit über 100 Jahren Zement hergestellt; die Kapazität der Ofenanlagen wurde im Zuge der Modernisierung auf heute 4.500 t/d in Lägerdorf und 3.000 t/d in Höver gebracht.

In den letzten Jahren wurden besondere Anstrengungen unternommen, den Bedarf an natürlichen Rohstoffen durch granulierten Hochofenschlacke (Hüttensand) aus der Stahlindustrie und Flugasche aus Steinkohlekraftwerken zu verringern. Hierdurch kann der Bedarf an Kalkstein bzw. Kreide und Ton entsprechend reduziert werden. In den Werken Bremen und Salzgitter werden rd. 1 Mio. t/a Hochofenschlacke der Stahlwerke Bremen und der Salzgitter AG verarbeitet und für die nachfolgende Zementproduktion aufbereitet. Auch der Standort Hardeggen wird in diesem Zusammenhang heute vorwiegend als Mahlwerk für Hüttensand betrieben.

2 Werksgruppe Lägerdorf

Die Werksgruppe Lägerdorf besteht aus den Standorten Lägerdorf, Bremen und Rostock. Während die Kalkproduktion alleine am Standort Lägerdorf möglich ist, findet die Zementproduktion im Verbund der Werke Lägerdorf, Bremen und Rostock statt. Dabei wird der Portlandzementklinker auf der Basis von Kreide als Rohstoff ausschließlich in Lägerdorf gebrannt und vermahlen, während der zweite Haupteinsatzstoff, nämlich Hüttensand, vom Standort Bremen geliefert wird.

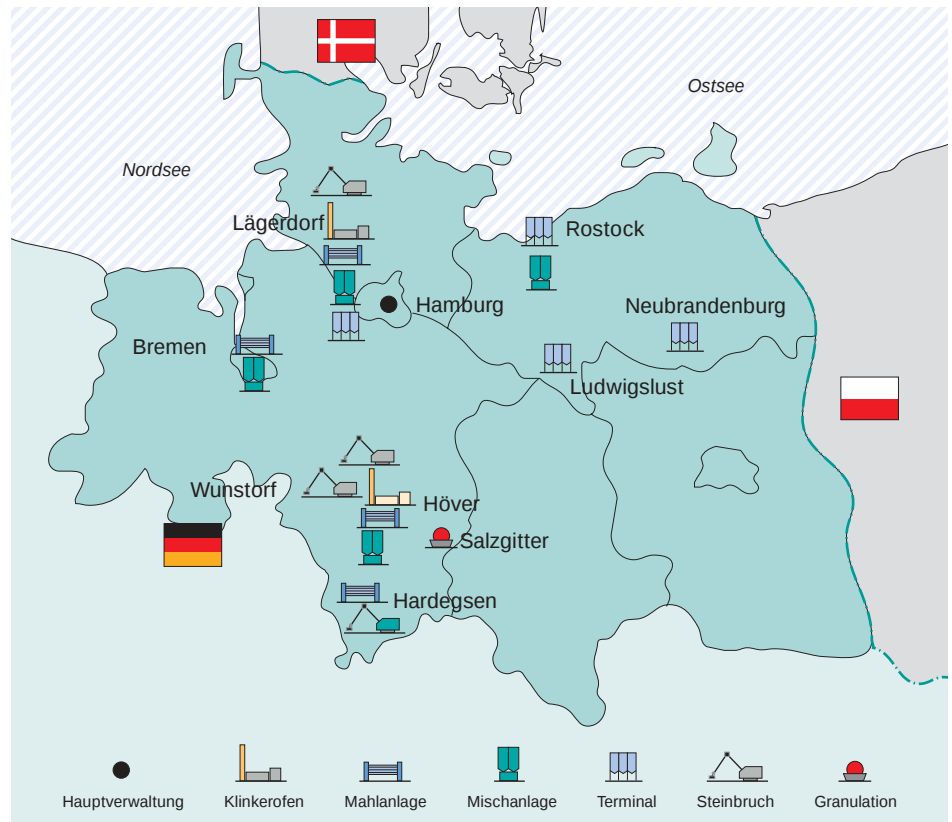


Abb. 1: Standorte der Alsen AG

Werksgruppe Lägerdorf

Standorte:	Werk Lägerdorf (Drehofen, Zementproduktion)
	Werk Bremen (Hüttensanderzeugung und -mahlung)
	Werk Rostock (Terminal)
Produkte:	Portlandzemente
	Portlandhüttenzemente
	Hüttenzemente
Kapazität:	2 Mio. t/a Zement

2.1 Kreidegewinnung

Am Standort Lägerdorf wird Kreide zur Zementherstellung in ortsnah gelegenen Gruben gewonnen. Die ca. 70 bis 80 Mio. Jahre alte Schreibkreide besteht aus fossilen Ablagerungen von mikroskopisch kleinen Schalentieren, die aufgrund ihrer geringen Partikelgröße von wenigen μm die hohe Feinheit verursachen (s. Abb. 3). Die Kreidesedimente wurden im Raum

Lägerdorf durch den Kremper Salzstock, der sich unter der Elbe von Hemmoor nach Nordosten erstreckt, aus einer Tiefe von ca. 2 km an die Erdoberfläche emporgehoben. Die Rohstoffe weisen eine natürliche Feuchte von ca. 25 % und einen sehr hohen Reinheitsgrad mit einem CaCO_3 -Gehalt zwischen 92 und 96 M.-% auf. Mit diesen Eigenschaften können sie sowohl zur Zement- als auch zur Kalkproduktion verwendet werden.



Abb. 2: Schaufelradbagger in der Grube Heidestraße bei Lägerdorf



Abb. 3: REM-Aufnahme von Kreidepartikeln

Die geologisch jüngeren, in den oberen Schichten des Vorkommens liegenden Kreidehorizonte haben einen niedrigeren CaCO_3 -Gehalt. Deshalb wird die unterhalb von 50 m u. N. N. liegende Kreide mit höherem CaCO_3 -Gehalt bevorzugt zur Kalkherstellung genutzt, während die darüber liegenden Kreidehorizonte zur Zementherstellung eingesetzt werden. Aus der hochwertigen Kreide werden von benachbarten Industriebetrieben auch Füllstoffe für die Papier- und Farbenindustrie hergestellt.

Am Standort Lägerdorf werden heute jährlich bis zu 2,5 Mio t/a Kreide abgebaut. Zur Gewinnung der Kreide werden Schaufelradbagger und Eimerkettenbagger mit einer Abbauleistung bis zu 1.000 t/h eingesetzt. Der Kreideabbau erfolgt an zwei Abbaupunkten der Grube, an denen qualitativ nach dem CaCO_3 -Gehalt der Kreide differenziert wird. Die Kreide wird in einem am Grubenrand gelegenen Aufbereitungsbetrieb aufgeschlämmt und über eine Distanz von ca. 4 km per Pipeline in das Werk gefördert. Dieses umweltfreundliche Konzept ermöglicht einen Rohstofftransport zum Werk ohne Bandgeräusche und LKW-Einsatz, ist aber an geeignete Rohstoffe bzw. die Nassaufbereitung der Rohmaterialien gebunden.

Die Lagerstätten können je nach Chloridkonzentration bis zu einer Tiefe zwischen 50 m u. N. N. und 100 m u. N. N. genutzt

werden. Aufgrund der Lage der Vorkommen ist eine umfangreiche Wasserhaltung in den Grubenbetrieben erforderlich, das Regen- und Grubenwasser wird über den Fluss „Stör“ abgeleitet. Die Gruben werden sich nach Einstellung der Wasserhaltung zu Seen entwickeln können. Die ortsnahe verfügbaren Kreidevorkommen ermöglichen eine weitere Produktion am Standort über einen Zeitraum von ca. 80 Jahren.

2.2 Klinkerherstellung

Herzstück der Zementproduktion am Standort Lägerdorf ist der für eine Leistung von 4.500 t/d konzipierte Drehofen 11, der mit moderner, Energie sparender Vorcalciner-Technik ausgerüstet wurde. Die Rohstoffsituation des Werkes mit Kreide, Flugasche und Sand als Hauptkomponenten ermöglicht die Herstellung eines stark differenzierten Produktsortimentes auf der Basis von drei Klinkerqualitäten. Die im Werk Lägerdorf hergestellte Produktpalette ist speziell auf den Bedarf der norddeutschen Region ausgerichtet und umfasst auch die hier besonders benötigten Spezialzemente mit niedrigem Alkaligehalt bzw. hohem Sulfatwiderstand.

Eine Besonderheit des neuen Drehofens 11 liegt in der Nutzung von sekundären Roh- und Brennstoffen, die stofflich und energetisch bei der Klinkerproduktion ver-

wertet werden können. Rund 50 % der Brennstoffenergie wird heute durch alternative Brennstoffe wie Altöl, Altreifen und Bleicherde substituiert. Außerdem kommt statt natürlichem Ton, der bis vor einigen Jahren noch zur Zementherstellung benötigt wurde, heute Steinkohlenflugasche bei der Klinkerherstellung zum Einsatz. Mit der stofflichen und energetischen Verwertung von Sekundärstoffen leistet das Werk auch einen wertvollen Entsorgungsbeitrag im regionalen Wirtschaftskreislauf.

2.3 Hüttensandproduktion

Am Standort Bremen werden in zwei Hochöfen als Koppelprodukt der Roheisenerzeugung jährlich rd. 720.000 t Hüttensand erzeugt, der als Hauptbestandteil zur Zementherstellung genutzt wird. Der Hüttensand wird überwiegend in der auf dem Standort des Stahlwerks betriebenen Mahltrocknungsanlage der Alsen AG zementfein aufgemahlen und anschließend in den eigenen Werken Bremen, Lägerdorf und Rostock zusammen mit Portlandklinker zu Zementen verarbeitet. Außerdem wird Hüttensand auch unvermahlen direkt an Kunden der Zementindustrie geliefert. Durch den Einsatz von Hüttensand können der Klinkerbedarf zur Zementproduktion und die sich daraus ergebenden CO_2 -Emissionen signifikant verringert werden.

Tab. 1: Rohstoffbilanz der Werksgruppe Lägerdorf

Zement- und Klinkerabsatz	1,9 Mio. t/a		
Klinkeranteil im Zement	72 %		
Einsatzstoffe zur Klinkerherstellung	t/a	kg/kg Klinker	kg/kg Zement
Kreide (inkl. Glv.)	1.700.000	1,248	0,898
Sand	160.000	0,119	0,086
Eisenerz/Bauxit	23.000	0,016	0,012
Flugasche	135.000	0,099	0,070
Ferrocabon	40.000	0,029	0,021
Zwischensumme	2.058.000	1,511	1,087
Einsatzstoffe zur Zementmahlung			
Hüttensand	375.000		0,197
REA-Gips/Anhydrit	80.000		0,042
Zwischensumme	455.000		0,239
Summe	2.513.000		1,326

Mengenangaben bezogen auf Trockensubstanz



Abb. 4: Ansicht des neuen Drehofens 11 im Werk Lägerdorf

3 Werksgruppe Höver

Die Werksgruppe Höver besteht heute aus den Standorten Höver, Hardeggen und Salzgitter. Am Standort Höver wird eine 3.000 t/d-Zementdrehofenanlage zur Klinkerproduktion betrieben. Der zur Zementherstellung benötigte Hüttensand wird im Stahlwerk Salzgitter produziert, die Alsen AG ist an diesem Standort auch Betreiber der direkt am Hochofen installierten Granulationsanlage. Der erzeugte Hüttensand wird im Werk Hardeggen vermahlen und von hier aus für die Zementproduktion der Werksgruppe Höver bereitgestellt.

Werksgruppe Höver		
Standorte:	Werk Höver	(Drehofenbetrieb, Zementproduktion)
	Werk Salzgitter	(Hüttensanderzeugung)
	Werk Hardeggen	(Mahlwerk für Klinker und Hüttensand)
Produkte:	Portlandzemente	
	Portlandhüttenzemente	
	Hüttenzemente	
Kapazität:	1,2 Mio. t/a Zement	

3.1 Kalkmergelgewinnung

Die ausgedehnten Mergelvorkommen bei Misburg/Anderten und Höver sind wegen ihrer günstigen Gesteinszusammensetzung Rohstoffbasis der Zementindustrie im Raum Hannover. Dabei handelt es sich geologisch um Formationen der Oberkreide (Campan). Im Steinbruch des Standorts Höver wird der Kalkmergel mit Reißraupen gelöst, dann in Brechern bereits im Steinbruch auf < 100 mm zerkleinert und über Bandanlagen in die auf dem Werksgelände befindliche Rohmaterialhalle transportiert.

Grundsätzlich besteht in entsprechendem Abstand zum Ortsrand auch die Möglichkeit zur sprengtechnischen Gewinnung. Die Lagerstätte weist insgesamt einen CaCO₃-Gehalt zwischen 70 und 80 % auf, hat im Zentrum aber einen deutlich höheren Kalkgehalt als in den Randbereichen. Deshalb wird der Kalkmergel an drei Abbaupunkten getrennt gewonnen. Durch gezielten Abbau der Rohstoffe mit nachfolgender Mischung und Korrektur der Stoffzusammensetzung wird das Rohmaterial auf den gewünschten Sollwert eingestellt. Die mittlere Zusammensetzung des Kalkmergels entspricht annähernd den gewünschten Sollwerten des Rohstoffs, so dass nur ein geringfügiger Zusatz von Eisenerz, Sand oder anderen Korrekturstoffen an der Rohmühle erforderlich ist.



Abb. 5: Mobiler Brecher mit Hochlöffelbagger im Steinbruch Höver



Abb. 6: Teilansicht Werk Lägerdorf

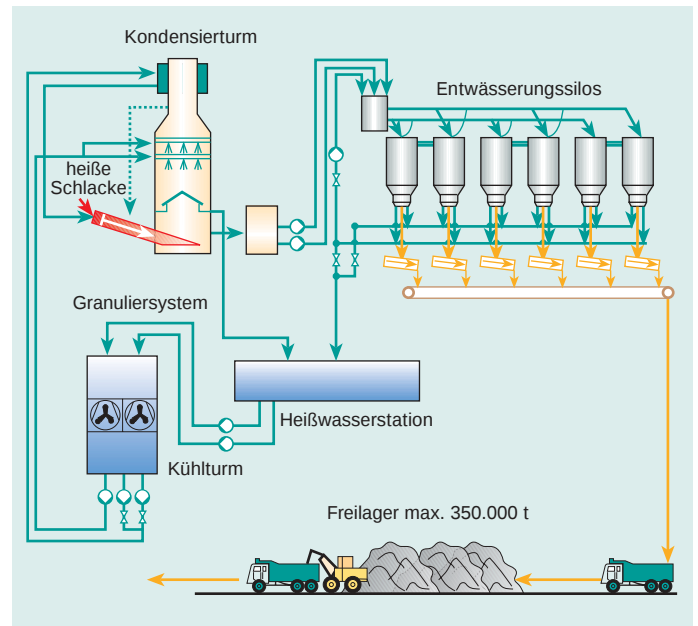


Abb. 7: Fließbild der Granulationsanlage zur Erzeugung von Hüttensand im Werk Salzgitter

Im Steinbruch Höver wird die Abbautiefe vor allem durch den Chloridgehalt der Rohstoffe begrenzt, so dass die Lagerstätte nur bis zu einer Tiefe zwischen 30 und 60 m nutzbar ist. Das Rohmaterial enthält außerdem in Teilbereichen Pyrit, deshalb sind besondere Maßnahmen zur Absorption von Schwefeldioxid beim Brennprozess erforderlich. Die Rohmaterialfeuchte beträgt ca. 12 M.-%. Die ortsnahe verfügbare Lagerstätte wurde im Rahmen eines Raumordnungsverfahrens für die zukünftige Gewinnung des Mergels gesichert, so dass eine Produktion am Standort Höver für weitere 60 Jahre möglich ist. Teile des Steinbruchs werden zur Bodenablagerung genutzt oder wurden bereits rekultiviert. Ein weiterer Teil steht Interims-Biotopen, d. h. dem Naturschutz, zur Verfügung. Aufgrund der Grundwasserverhältnisse ist eine geringfügige Wasserhaltung im Steinbruch erforderlich.

3.2 Klinkerherstellung

Am Standort Höver wird eine 3.000 t/d-Zementdrehofenanlage mit Satellitenkühler betrieben. Das Werk Höver liegt direkt am Rand des Steinbruchs und wird mit Bandanlagen aus dem Steinbruch versorgt. Während bei der Rohmahlung nur geringfügige Korrekturen der chemischen Hauptkomponenten erforderlich sind, ist beim Brennprozess auf die Chlorid- und Schwefelgehalte des Rohmaterials Rücksicht zu nehmen. Die Ofenanlage wird daher mit einem Chlorid-Bypass betrieben. Zur Entschwefelung der Drehofenabgase wird Kalkhydrat im Trockenverfahren eingesetzt. Die Produktpalette des Werks Höver wurde in den letzten Jahren weiter differenziert, vor allem wurde die Herstellung der hüttensandhaltigen Zemente verstärkt. Das Werk Höver arbeitet heute im Verbund mit dem Mahlwerk Hardeggen, in dem neben Klinker aus Höver auch Hüttensand verarbeitet wird.

3.3 Hüttensandproduktion

Die Werksgruppe Höver stützt ihre Rohstoffversorgung mittlerweile in einem bedeutenden Umfang auf die innerhalb ihres Absatzgebietes gelegene Hüttensanderzeugung des Standorts Salzgitter. Hier hat die Alsen AG im Jahr 1998 eine moderne Anlage zur Granulation von Hochofenschlacke errichtet, mit der heute insgesamt 400.000 t/a Hüttensand erzeugt werden. Die Granulationsanlage arbeitet nach modernsten Umweltstandards abwasser- und emissionsfrei im Kreislaufbetrieb. Der in Salzgitter erzeugte Hüttensand wird einerseits im Mahlwerk Hardeggen für die eigene Zementproduktion aufbereitet, andererseits aber auch von benachbarten Werken der Zementindustrie genutzt.

Tab. 2: Rohstoffbilanz der Werksgruppe Höver

Zement- und Klinkerabsatz	1,1 Mio. t/a		
Klinkeranteil im Zement	84 %		
Einsatzstoffe zur Klinkerherstellung	t/a	kg/kg Klinker	kg/kg Zement
Kalkstein (inkl. Glv.)	1.470.000	1,590	1,336
Sand	22.000	0,024	0,020
Eisenerz	3.000	0,004	0,003
Oxiton/FPK	13.000	0,014	0,012
Zwischensumme	1.508.000	1,632	1,371
Einsatzstoffe zur Zementmahlung			
Hüttensand	120.000		0,109
Gips/Anhydrit	50.000		0,042
Zwischensumme	170.000		0,151
Summe	1.678.000		1,522

Mengenangaben bezogen auf Trockensubstanz

4 Zusammenfassung

Die Alsen AG stellt heute in Norddeutschland rd. 3 Mio. t/a Zement her. Der Rohstoffabbau findet ortsnahe und umweltverträglich an den Standorten mit Klinkerproduktion in Lägerdorf und Höver statt. Zur Ressourcenschonung setzt die Alsen AG bei der Klinkerproduktion sekundäre Rohstoffe, insbesondere Flugasche aus den benachbarten Steinkohlekraftwerken, ein. Bei der Zementproduktion wird granuliertte Hochofenschlacke (Hüttensand) aus der Stahlindustrie zur partiellen Substitution von Zementklinker als Hauptbestandteil verarbeitet. Der Bedarf an den natürlichen Rohstoffen Kreide, Kalkmergel und Ton wird damit direkt und indirekt deutlich reduziert. Gleichwohl bleibt zur Standortsicherung bzw. für die Klinker- und Zementproduktion in Norddeutschland eine langfristige, ortsnahe Versorgung mit natürlichen Rohstoffen unverzichtbar.

ALSEN AG (Hauptverwaltung)
Ost-West-Straße 69
20457 Hamburg
Tel.: 0 40/3 60 02-0
Fax: 0 40/36 24 50
email: uk@alsen.de
Internet: www.alsen.de

Klinker- und Zementherstellung mit Mergel und Massenkalk in Ennigerloh

Inhalt

- 1 Allgemeines
- 2 Geschichtliche Entwicklung
- 3 Standortumfeld
- 4 Rohstoffversorgung
 - 4.1 Eigenmaterial Ennigerloh
 - 4.2 Fremdmaterial Warstein
- 5 Folgenutzung in Ennigerloh
- 6 Werksgruppe Ennigerloh
 - 6.1 Werk Nord
 - 6.2 Werk Süd

1 Allgemeines

Die Anneliese Zementwerke AG (AZ) produziert in Westfalen an den Standorten Ennigerloh, Paderborn und Geseke Zement und zementhaltige Spezialprodukte. Zusätzlich stellen Tochter- und Beteiligungsgesellschaften Bergbau-, Tiefbau- und Umwelttechnikprodukte, Transportbeton sowie zementgebundene Werkstoffe, Komponenten und Bauelemente für den Hoch- und Tiefbau her.

2 Geschichtliche Entwicklung

Die Werksgruppe Ennigerloh der Anneliese Zementwerke AG mit dem Sitz der AZ-Hauptverwaltung sowie den Steinbruchbetrieben und Produktionsstätten geht zurück auf die „Anneliese Portland-Cement und Wasserkalkwerke Aktiengesellschaft“. Seit der Gründung im Jahre 1909 trägt das Unternehmen zur Entwicklung der Stadt Ennigerloh und des Umfeldes bei.

Die wirtschaftliche Entwicklung der Gemeinde Ennigerloh wurde bis ins 19. Jahrhundert fast ausschließlich von der Landwirtschaft geprägt. Kurz nach dem Bau der Köln-Mindener-Eisenbahn hielt ab 1855 zunächst die Kalkindustrie Einzug in Ennigerloh, es entstanden viele Kalkwerke. Nach dem Bau der Westfälischen Landes-eisenbahn von Neubeckum nach Warendorf (1899-1901), die Ennigerloh mit dem Bahnhof Neubeckum verband, setzte eine zweite Welle von Werksgründungen ein. Sie wurde von Unternehmen der Zementindustrie geprägt, deren Entwicklung einem erheblichen Strukturwandel unterworfen war.

1896/97 wurde im Süden Ennigerlohs das Zementwerk „Rhenania“ gegründet, 1905 das der W. Kalthöner Portlandzement- und Kalkwerke. Zudem entstand 1899 an der südlichen Ortsgrenze zu Ennigerloh, auf Beckumer Gebiet, das Zementwerk „Elsa“, das später mit anderen Unternehmen im westfälisch-niedersächsischen Raum zusammengeschlossen wurde und schließlich auch die bereits

genannten Werke übernahm. 1972 wurde die Elsa AG mit der Anneliese AG fusioniert. Die Standorte im Süden Ennigerlohs sind heute auf das AZ-Werk Süd konzentriert.

Im Norden Ennigerlohs wurden Anfang des 20. Jahrhunderts drei Werke gegründet: 1901 das Werk der Finkenberg AG, 1909 das der Anneliese Portlandzement und Wasserkalkwerke AG und 1914 das der Preußen AG. Nachfolger dieser Standorte ist das AZ-Werk Ennigerloh Nord. Die Anneliese AG ist heute mit den Werken Nord und Süd das einzige Zement produzierende Unternehmen in Ennigerloh.



Abb 1: Werksansicht um 1925

3 Standortumfeld

Die Zementindustrie beeinflusst in Ennigerloh seit mehr als 100 Jahren die Beschäftigungssituation, die Sozialstruktur sowie die Entwicklung von Landschaft und Umwelt. Große, graue Fabrikanlagen und weiträumige Abbaugelände prägten bis Anfang der 1970er-Jahre das Umfeld der Werke. Durch den Einbau moderner Dämm- und Filteranlagen wurde die Belastung durch Lärm und Staub drastisch reduziert.

Die stillgelegten Abgrabungsflächen wurden bereits ab den 1920er-Jahren rekultiviert, obwohl eine entsprechende gesetzliche Grundlage erst seit 1973 existiert,

als das NRW-Abgrabungsgesetz in Kraft trat, wonach für die Genehmigung einer Abgrabung zugleich ein Folgenutzungsplan vorgelegt werden muss.

Die Zielsetzungen für die Folgenutzung haben sich seither deutlich geändert. Während zunächst die land- und forstwirtschaftliche Rekultivierung sowie die Deponienutzung im Vordergrund standen, werden heute zunehmend Renaturierungen angestrebt. In den Steinbrüchen entwickeln sich oftmals neue Lebensräume für seltene Tier- und Pflanzenarten. In Ennigerloh gilt dies beispielsweise für Orchideen und Enziane, Edelkrebse und Kröten.

Teilweise werden auch Freizeit- und Erholungsgebiete geschaffen.

4 Rohstoffversorgung

Die Versorgung der Ofenanlage für die Klinkerproduktion am Standort Ennigerloh erfolgt zu etwa 75 % aus den vor Ort befindlichen Steinbrüchen. Die entsprechenden Rohsteinmengen werden zu 4/5 (etwa 800.000 t/a) dem Steinbruch Nord und zu 1/5 (etwa 200.000 t/a) dem Steinbruch Süd entnommen. Im Steinbruch Ennigerloh Süd werden zudem etwa 150.000 t/a für die Herstellung von Sonderprodukten im Werk Süd abgebaut.



Abb. 2: Naturnahe Folgenutzung im Steinbruch Ennigerloh Nord

Zur Anreicherung der Calciumcarbonat-Komponente für die Rohmehlmischung wird hochprozentiger Kalkstein aus dem Warsteiner Raum eingesetzt, der über die Westfälische Landeseisenbahn angeliefert wird. Die entsprechende Menge beträgt etwa 300.000 t/a, liegt also bei rd. 25 % des Rohstoffinputs für die Klinkerproduktion.

4.1 Eigenmaterial Ennigerloh

Die im Raum Ennigerloh/Beckum für die Zementproduktion abgebauten Gesteine gehören geologisch in das Campan, eine Unterabteilung der Oberen Kreide, und sind etwa 80 Mio. Jahre alt. Es handelt sich dabei um Kalkmergel mit einem höheren Anteil an tonigem Material, die in einem flachen, warmen Meer abgelagert wurden, das damals weite Teile Europas bedeckte. Heute liegen diese Gesteine im Zentrum der so genannten Münsterländer Bucht, einer geologischen Absenkung, die im Norden durch den Teutoburger Wald und im Süden durch die paläozoischen Faltungen des Sauerlandes begrenzt wird. Die Schichten liegen daher in den verschiedenen Steinbruchsbereichen nahezu horizontal und weisen nur vereinzelt kleinere Verwerfungen auf. Die in Tab. 1

verzeichneten Namen der einzelnen Bänke wurden von Steinbrucharbeitern zur einfacheren Orientierung beim Abbau eingeführt.

Nach dem Abräumen der Deckschichten, den so genannten Vorhelmer Schichten, deren Mächtigkeit zwischen 1,5 und 11 m beträgt, treten die Beckumer Schichten zu Tage, deren abbauwürdige Mächtigkeit 16 bis 18 m beträgt. In diesem schichtigen Kalkmergelmaterial mit bankiger Struktur schwankt der Calciumcarbonatgehalt (CaCO_3) in den einzelnen Lagen zwischen 50 und 90 %, der Durchschnitt beträgt etwa 73 %. Weitere Komponenten sind 17 % Kieselsäure (SiO_2), 4 % Aluminiumoxid (Al_2O_3), ca. 1,5 % Eisenoxid (Fe_2O_3) sowie Magnesiumoxid und Alkalien. Unterhalb der Kalkmergelschichten erstrecken sich die tonigen Stromberger Schichten mit deutlich geringeren Kalkgehalten ($< 40 \% \text{CaCO}_3$).

Je nach Verwendung bzw. Abbauverfahren werden die Gesteine der Beckumer Schichten in einsohligem oder zweiseohligem Abbau gewonnen und bilden die Hauptkomponente des Rohmehls für den Klinkerbrennprozess. Der Kalkmergel der Ennigerloher Steinbrüche ist ein relativ

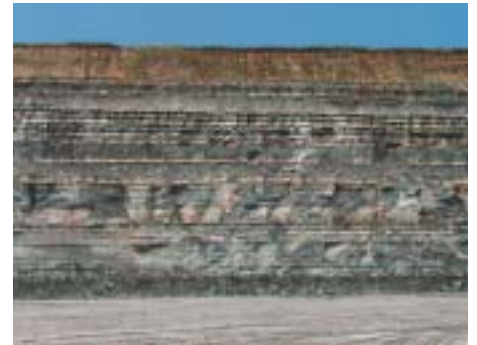


Abb. 3: Steinbruchprofil – Steinbruch Ennigerloh Süd

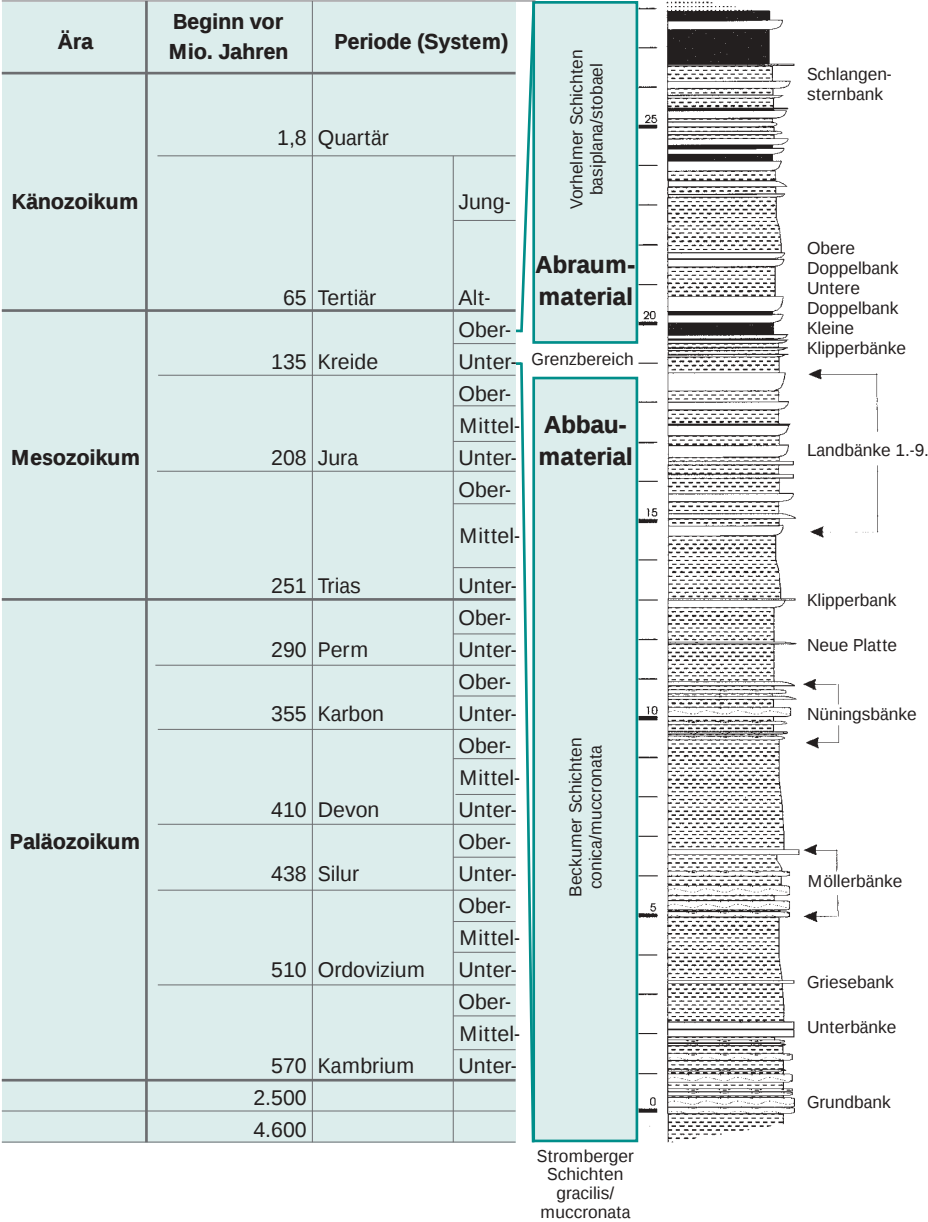
leicht brechendes Material, für das sich je nach Struktur und Lage zwei Abbauverfahren eignen: Das früher überwiegend genutzte Verfahren „Sprengen und Laden“ (Großbohrlochsprengen/Einsatz schwerer Radlader) wird heute zunehmend durch das „Reißen und Laden“ (Einsatz von Hochlöffel-Reißbaggern) ersetzt. Den Transport zu den Brecheranlagen in die Werke übernehmen Schwerlastkraftwagen (SKW) mit einer Nutzlast bis zu 60 t.

4.2 Fremdmaterial Warstein

Wie bereits erwähnt, wird ein Teil des Rohmaterials in Form von CaCO_3 -reichen Kalksteinen aus dem Raum Warstein (Sauerland) mit der Bahn in das AZ-Werk Ennigerloh-Nord geliefert. Diese Kalksteine entstammen massiven Riffen, die während des Oberen Devon vor etwa 375 bis 365 Mio. Jahren in einem warmen, verhältnismäßig flachen Meer abgelagert worden waren. Die heutige Oberfläche dieser devonischen Massenkalksteine weist starke Verwitterungserscheinungen (Verkarstungen) auf, die nahe der Erdoberfläche etwa zur gleichen Zeit entstanden, als die Schichten im Raum Ennigerloh im Meer abgelagert wurden.

Das Abbaufeld im Bereich des Warsteiner Massenkalkzuges ist für die derzeitige Gewinnung auf vier Fördersohlen aufgeschlossen. Die Abbauhöhen betragen jeweils bis zu 25 m in geschwungenen Abbaubreiten von bis zu 250 m. Durch die Struktur der Geländeoberfläche zeichnen sich die Überdeckungsschichten (Abraum)

Tab. 1: Die in Ennigerloh abgebauten Schichten und ihre Stellung in der Erdgeschichte



durch stark wechselnde, meist jedoch erhebliche Mächtigkeit aus. Die aufgeschlossenen Vorkommen bestehen aus massigen Kalksteinschichten, die von einer Vielzahl von Klüften und Spalten durchzogen werden, die deutlich bis in tiefere Zonen mit Lehm belegt sind.

Die CaCO₃-Gehalte in den Vorkommen liegen üblicherweise zwischen 83 und 98 %, stellenweise sogar zwischen 95 und 99 %, mit lokalen Anreicherungen an Magnesiumcarbonat, Aluminiumoxid, Eisenoxid und Kieselsäure. Die unterschiedliche Ausdehnung der Störzonen auf den einzelnen Abbausohlen macht einen selektiven Abbau notwendig. Das Material der Störzonen wird zusammen mit dem Überdeckungsmaterial als Abraum verbracht.

In den Warsteiner Brüchen wird der Kalkstein mit Großbohrlochsprengungen hereingewonnen, mit Radladern oder Hydraulikbaggern auf Schwerlastkraftwagen verladen und von diesen zu den Aufbereitungsanlagen transportiert. Hier wird der Kalkstein gebrochen und in verschiedene Körnungen abgesiebt. Die feineren Körnungen werden im Straßenbau oder bei der Betonherstellung eingesetzt, wo-



Abb. 4: Steinbruchbetrieb mit Radlader und SKW im gesprengten Haufwerk bei Wandhöhen bis 16 m



Abb. 5: Hochlöffel-Hydraulikbagger im Reißbetrieb bei Wandhöhen bis 10 m für zweisohligen Abbau



Abb. 6: Verladung des gesprengten Haufwerks zum Transport in die Brechanlage des Schotterwerks (Warstein)



Abb. 7: Beladung des Zugverbandes für die Belieferung der Zementwerke (Warstein)

hingegen die Zementwerke der Anneliese AG mit den gröberen Fraktionen versorgt werden. Für den Weitertransport zu den Verbrauchsstellen stehen Verladeanlagen für LKW- und Bahn-Transporte zur Verfügung.

Die Belieferung der Anneliese Zementwerke AG erfolgt über das Schienennetz der Westfälischen Landeseisenbahn in Ganzzugladungen mit jeweils etwa 750 t Kalkstein. Auch die anderen Zementwerke im Raum Ennigerloh/Beckum werden zum größten Teil von Warstein aus mit hochprozentigem Kalkstein beliefert.

5 Folgenutzung in Ennigerloh

Durch den Konzentrationsprozess der Zementindustrie im Raum Ennigerloh und durch die ländliche Struktur stehen für die AZ-Standorte im Prinzip ausreichend Flächen zur Verfügung, die für eine Abgrabung geeignet sind. Die genehmigten Abgrabungsflächen reichen für einen Zeitraum von etwa 30 Jahren.

Die im Rahmen der Abgrabungsgenehmigung festgelegte zeitnahe Wiederherrichtung der Abgrabungsflächen zur Folgenutzung enthält unterschiedliche Ziele.

Steinbruch Ennigerloh Nord:

Die Folgenutzung des Steinbruchgebietes Ennigerloh Nord umfasst vier Folgenutzungstypen und ist damit sehr vielschichtig strukturiert (Tab. 2 und Abb. 8).

Steinbruch Ennigerloh Süd:

Der Standort Ennigerloh Süd ist durch eine großflächige Struktur zusammenliegender ehemaliger Steinbruchflächen geprägt. Abb. 9 gibt die Lage der Wald- und Sukzessionsflächen einschließlich eines Naturschutzgebietes wieder. Der Anteil landwirtschaftlicher Nutzflächen (LNF) ist relativ gering.

6 Werksgruppe Ennigerloh

Die AZ-Werksgruppe Ennigerloh besteht aus den zwei Werken Nord und Süd, die Klinkerproduktion ist auf die Ofenanlage im Werk Nord konzentriert worden.

Präzise aufeinander abgestimmte, modernste Produktionstechniken, die von zentralen Leitständen aus gesteuert und überwacht werden, garantieren eine konstant hohe Produktqualität. Die Verminderung von Staub und Lärmemissionen wird durch Hochleistungsfilter, Schalldämmein-

richtungen und eine sensible Überwachungstechnik mit kontinuierlicher Erfassung der Abgasströme sichergestellt. Umweltschutz und Energieeffizienz sowie die Schonung natürlicher Ressourcen durch Einsatz von Sekundärstoffen sind zentrale Produktionsziele der Anneliese AG. So wird durch eine konsequente Wärmerückgewinnung und durch Einsatz von Sekundärbrennstoffen der Bedarf an primären Energieträgern gesenkt und eine erhebliche Verminderung der CO₂-Emissionen erreicht.

Werk Nord:

- Steinbruchbetrieb
- Drehofenbetrieb mit Rohmühle und Ofenanlage
- Kohlenmahlanlage
- Hüttensandtrocknung
- Zementmühlenbetrieb

Werk Süd:

- Steinbruchbetrieb
- Zementmühlenbetrieb
- Mahlanlage für Sonderprodukte

Kapazität:

- 1,2 Mio. t/a Zement
- 0,2 Mio. t/a Kalk- und Compoundprodukte

Tab. 3: Sortenstruktur der Werksgruppe Ennigerloh

CEM I 32,5 R
CEM I 42,5 R
CEM I 42,5 R-sp
CEM I 42,5 R-HS
CEM I 52,5 R
CEM II B-S 32,5 R
CEM II A-S 42,5 R
CEM II B-P 32,5 R
CEM III/A 32,5 N
CEM III/A 32,5 N-NW/NA
CEM III/B 32,5 N-NW/HS/NA

Tab. 2: Aufteilung der Folgenutzung im Steinbruchgebiet Ennigerloh Nord

Hausmülldeponie Kreis Warendorf:	47 % der Fläche
Rekultivierung als Landwirtschaftliche Nutzfläche (LNF):	26 % der Fläche
Renaturierung als Flächen- oder Heckenpflanzung:	10 % der Fläche
Sukzessionsflächen:	17 % der Fläche



Abb. 8: Steinbruchgebiet Ennigerloh Nord



Abb. 9: Steinbruch Germania mit Anschluss Steinbruch Elsa (alt)

6.1 Werk Nord

Am Standort Ennigerloh Nord wird das Rohmaterial aus den Steinbrüchen Nord und Süd zunächst einer Vorbrecheranlage zugeführt und dann mit dem hochprozentigen Kalksteinmaterial aus dem Warsteiner Raum in der Rohmühle zu Rohmehl für den Ofenprozess vermahlen.

In der Drehrohrofenanlage mit einer genehmigten Leistung von 3.500 t/d und einem zweisträngigem, vierstufigen Wärmetauscher mit Satellitenkühler wird der Portlandzementklinker bei Temperaturen um 1.450 °C gebrannt. Als Brennstoffe werden etwa 45 % (56.000 t) Steinkohlenstaub, 20 % (21.000 t) Altreifen und etwa 35 % (33.000 t) sonstige Sekundärbrennstoffe verwendet. Mit dem Abgas der Drehrofenanlage wird das Rohmaterial beim Mahlen energieeffizient getrocknet. Zudem wird das Abgas zur Trocknung von Hüttensand und Rohkohle in der Kohlenmahanlage genutzt.

In drei Zementmahanlagen wird der Portlandzementklinker zusammen mit Sulfatträgern (Naturgips, REA-Gips und Anhydrit) sowie Hüttensand und Rohtrass zu Zementen vermahlen und in den Zement-silos für den Versand vorgehalten. Bei der Zementmahlung wird nach Möglichkeit REA-Gips verwendet. Der Versand erfolgt entweder in loser Form mittels LKW- und Bahntransport oder als Sackzement.

Tab. 4: Rohstoffbilanz des Werkes Ennigerloh Nord 1999

Zement- und Klinkerabsatz	1.031.500 t/a		
Klinkeranteil im Zement	70 %		
Einsatzstoffe zur Klinkerherstellung			
	t/a	kg/kg Klinker	kg/kg Zement
Eigenmaterial Nord	805.000	1,260	
Eigenmaterial Süd	198.000		
Warsteiner Kalkstein	296.000	0,380	
Calciumhydroxid	3.000	0,004	
Summe	1.302.000	1,644	
Einsatzstoffe zur Zementmahlung			
Klinker	588.000		0,707
Eigenmaterial	37.000		0,044
Naturgips	6.000		0,007
Anhydrit	18.000		0,021
REA-Gips	14.000		0,017
Hüttensand	164.000		0,197
Rohtrass	6.000		0,007
Summe	833.000		1,000
Hüttensand-Bezugsmenge feucht: 294.000 t			



Abb. 10: Ansicht Werk Nord



Abb. 11: Ansicht Werk Süd

6.2 Werk Süd

Am Standort Ennigerloh Süd befinden sich ein Zementmahlwerk der Anneliese AG sowie eine Produktionsstätte der AZ-Tochtergesellschaft Anneliese Baustoffe für Umwelt und Tiefbau (AZ BUT, einschließlich Verwaltung).

Im Steinbruch wird das Rohmaterial im 2-Sohlen-Verfahren mit einem Hochlöffelbagger gelöst und geladen. Das Material der unteren Sohle wird mit LKW zur Brecheranlage ins Werk Nord gefahren, das Material der oberen Sohle über SKW-Transport der Brecheranlage Süd zugeführt und aufbereitet. In der Mahlanlage wird das vorgebrochene Eigenmaterial mittels Heißgas getrocknet und unter Zugabe von hochprozentigem Kalksteinmaterial zu Halb- und Fertigprodukten vermahlen. Die zwei Zementmahanlagen werden zudem mit Portlandzementklinker aus dem Werk Ennigerloh Nord versorgt.

Die AZ BUT produziert am Standort Ennigerloh Süd aus Zement und anderen Komponenten Baustoffe für verschiedene Anwendungen im Bergbau-, Umwelt- und Tiefbaubereich, die u. a. bei Deponieabdichtungen, Bergsicherungen und Dükerverfüllungen eingesetzt werden.

Tab. 5. Rohstoffbilanz des Werkes Ennigerloh Süd 1999

Zementproduktion	348.000 t/a	
Klinkeranteil im Zement	73 %	
Einsatzstoffe zur Zementmahlung	t/a	kg/kg Zement
Klinker	254.000	0,728
Eigenmaterial	15.000	0,045
Naturgips	7.000	0,021
Anhydrit	8.000	0,023
Hüttensand	64.000	0,183
Summe	348.000	1,000
Herstellung Sonderprodukte	179.000 t/a	
- Warsteiner Kalkstein	27.000 t/a	
- Eigenmaterial	152.000 t/a	

Die Zemente und Fertigprodukte der Anneliese AG und der AZ BUT werden über die LKW-Loseverladung als Siloware oder über die Packerei als Sackware zum Versand gebracht.

Anneliese Zementwerke AG
Finkenweg 26
59320 Ennigerloh
Tel.: 0 25 24/29-0
Fax: 0 25 24/29-170
eMail: info@azag.de
Internet: www.azag.de

Wiesbaden-Amöneburg – Zementproduktion im Tertiär des Mainzer Beckens

Inhalt

- 1 Allgemeines
- 2 Geschichte des Werkes
- 3 Standort und Umfeld
- 4 Produkte und Markt
- 5 Rohstoffversorgung
- 6 Geologie
- 7 Gewinnung und Transport
- 8 Rekultivierung und Renaturierung

1 Allgemeines

Das Zementwerk Wiesbaden-Amöneburg der Dyckerhoff Zement GmbH liegt im Süden der Stadt Wiesbaden gegenüber von Mainz direkt am Rhein (Abb. 1). Es verfügt über einen eigenen Bahnanschluss und liegt verkehrsgünstig nahe den Autobahnen A 66 und A 661.

2 Geschichte des Werkes

Die Fa. Dyckerhoff & Söhne wurde am 4. Juni 1864 in Amöneburg am Rhein gegründet, einem Mainzer Ortsteil, der seit 1945 zum Stadtkreis Wiesbaden gehört. Auf dem direkt am Rhein gelegenen Gelände wurden je ein Schacht- und ein Ringofen errichtet, in denen aus mit Schiff angelieferten Rohmaterialien im ersten kompletten Produktionsjahr insgesamt 2.400 t Zementklinker hergestellt wurden.

Im Jahre 1872 lag die Produktion aus zwei Schacht- und zwei Ringöfen schon bei 7.000 t/a (Abb. 2). Mittlerweile war es auch gelungen, in der Nähe des Werkes Lagerstätten geeigneter Kalksteine und Tone zu erschließen, die zunächst mit Pferdefuhrwerken und später mit einer werkseigenen Bahn zum Zementwerk transportiert wurden. Die Rohstoffe wurden zu Schlamm vermahlen. Aus dem wurden dann „Ziegel“ hergestellt, die nach Trocknen an der Luft in den Öfen zu Zementklinker gebrannt wurden.

Nach der Errichtung von vier Nassdrehöfen im Jahre 1909 stieg die Produktion bis 1913 auf die damals „atemberaubende“ Menge von etwa 400.000 t/a. Auch im Steinbruch Kastel wurden die Produktionsmethoden modernisiert, insbesondere durch den Einsatz von Schaufelbaggern, das Rohmaterial wurde allerdings nach wie vor mit einer eigenen Schmalspurbahn ins Werk transportiert.

Nach der Weltwirtschaftskrise Anfang der 1930er-Jahre nahm die Produktion wieder zu und 1938 war das Werk Amöneburg mit seinen acht Drehöfen und einer Jahresleistung von 800.000 t das größte Ze-



Abb. 1: Standort Wiesbaden-Amöneburg

mentwerk Europas. Im Zweiten Weltkrieg blieb das Werk zunächst von größeren Bombenschäden verschont, musste aber im Herbst 1944 wegen Brennstoffmangels und den Folgen einiger Großangriffe stillgelegt werden. Es konnte aber bereits

im August 1945 wieder teilweise in Betrieb gehen.

Im Jahre 1948 liefen wieder sechs Drehöfen ständig und ein weiterer zeitweilig. Die Kapazität des Werkes wurde durch



Abb. 2 : „Portland-Cement-Fabrik Dyckerhoff und Söhne“ im Jahr 1880



Abb. 3: Zementwerk Wiesbaden-Amöneburg

den Bau weiterer Öfen fortlaufend gesteigert und im Jahr 1959 waren schließlich zehn Öfen mit einer Gesamtkapazität von 2 Mio. t/a in Betrieb.

In Anbetracht der hohen, durch das Nassverfahren verursachten Brennstoffkosten wurde Mitte der 1960er-Jahre beschlossen, die vielen kleinen Nassöfen durch zwei große moderne Wärmetauscheröfen mit einer Tagesleistung von je 2.500 t zu ersetzen. Diese wurden zwischen 1966 und 1970 errichtet, begleitet von einer grundlegenden Modernisierung der Rohmaterialaufbereitung im Steinbruch, einem Mischbett zur Homogenisierung der chemisch sehr variablen Rohmaterialien und einer leistungsfähigen Förderbandanlage, die den Bahntransport zwischen Steinbruch und Werk ersetzte. Im Steinbruch selbst wurde das Rohmaterial zunächst noch per Bahn befördert.

Im Jahr 2002 ist das Werk somit seit 138 Jahren, abgesehen von Kriegsschäden, ununterbrochen in Betrieb und stellt damit eines der ältesten noch in Betrieb befindlichen deutschen Zementwerke dar. Im Laufe dieser Zeit wurden insgesamt mehr als 85 Mio. t Zement am Standort Amöneburg produziert.

3 Standort und Umfeld

Bei seiner Gründung (1864) befand sich das Werk gewissermaßen auf grüner Wiese zwischen den Städten Wiesbaden und Mainz, verkehrsgünstig direkt am Fluss und in der Nähe der Eisenbahn gelegen (Abb. 2). In der Nachbarschaft lagen nur zwei chemische Fabriken und eine Glashütte.

So wie sich im Laufe der Jahrzehnte die beiden Städte ausdehnten, wuchsen allmählich Wohn- und Gewerbegebiete an den Standort heran. Daraus resultierte ein stetiger Druck für verstärkte Umweltschutzmaßnahmen. Ältere Mitbürger erinnern sich noch lebhaft an den Grauschleier, der – wie auch bei anderen Zementwerken – vor dem Bau der beiden modernen Zyklonvorwärmeröfen mit Elektrofiltern zur Abgasentstaubung charakteristisch für die Umgebung war, heute aber der Vergangenheit angehört.

Die Lagerstätte liegt 2 bis 3 km vom Werk entfernt (Abb. 1). Die beiden Steinbrüche, Kalkofen und Kastel-Ostfeld, sind aus der Umgebung nicht einzusehen und werden daher nicht als störend empfunden. Auch das Zementwerk selbst wird allgemein von der Bevölkerung akzeptiert und die seit langem vorbildliche Umweltschutzsituation wird entsprechend dem technischen Fortschritt ständig verbessert.

4 Produkte und Markt

Das Werk Amöneburg produziert derzeit folgende Zementsorten:

Portlandzemente
CEM I 32,5 R
CEM I 42,5 R
Portlandhüttenzemente
CEM II/B-S 32,5
Hochofenzemente
CEM III/A 32,5
CEM III/B 32,5-NW/HS

Außerdem werden verschiedene Spezialbindemittel, Putze und Tiefbau- bzw. Umweltschutzprodukte hergestellt sowie Spezialzemente anderer Dyckerhoff-Werke vertrieben. Das Hauptabsatzgebiet des Werkes Amöneburg für Standardzemente sind heute Hessen und angrenzende Teile von Rheinland-Pfalz.

Aus den Rohstoffen Kalkstein, Kaolin und Sand, die besonders niedrige Gehalte an Eisen und anderen färbenden Elementen, wie Chrom oder Mangan, aufweisen müssen, wird im Werk Amöneburg außerdem ein weißer Portlandzementklinker gebrannt, aus dem dann die Weißzement-sorten CEM I 42,5 R-dw und CEM I 52,5 R-sw hergestellt werden. Die dazu benötigten Rohmaterialien sind am Standort selbst nicht verfügbar und müssen daher

per LKW (Kalkstein) und Schiff (Sand und Kaolin) angeliefert werden.

Das Werk Amöneburg ist der einzige Standort in Deutschland, an dem Weißzement hergestellt wird. Erste Versuche dazu waren bereits 1870 nur wenige Jahre nach der Gründung des Werkes unter- nommen worden, die Produktion dieses Zementes wurde nach mehrjährigen Ver- suchen allerdings erst 1931 aufgenom- men. Anfang der 1970er-Jahre wurde dann einer der beiden Nassöfen der Weißanlage auf den Trockenprozess mit einem Gegenstromvorwärmer (Gepol) umgestellt. Der andere Ofen wurde still- gelegt. Der Gepol-Vorwärmer musste 1999 im Zuge einer weiteren Modernisie- rung einem Zyklonvorwärmer weichen. Dadurch konnte der Energieverbrauch noch weiter reduziert werden.

In der Frühzeit des Werkes nahm der Ex- port aufgrund der günstigen Lage am Rhein eine wichtige Stellung ein, und um 1895 wurden fast 25 % der gesamten Produktion in die USA verschifft – damals noch in Fässern von je 180 kg Fassungs- vermögen, die in der werkseigenen Küfe- rei hergestellt wurden. Die Schiffsfracht von Amöneburg nach New York war da- mals niedriger als die Bahnfracht z. B. nach München. Zu diesem Erfolg auf dem amerikanischen Markt hat sicher beigetra- gen, dass beim Bau des Fundamentes der Freiheitsstatue in New York im Jahr 1885, des größten Betonkörpers seiner Zeit, insgesamt 8.000 Fass Amöneburger Zement (etwa 1.500 t) zum Einsatz ge- kommen waren. Auch beim Bau der Me- tropolitan Oper und des Waldorf Astoria Hotels in New York wurde Amöneburger Zement verwandt.

5 Rohstoffversorgung

Aus den beiden Lagerstätten Kalkofen und Ostfeld wurden im Jahr 1999 insge- samt 1.084.000 t Kalkmergel und 60.000 t Sand für die Produktion von normalem Klinker gefördert. Außerdem wurden 28.000 t hochgradiger Kalkstein (per LKW), 96.000 t Hüttensand (per Schiff) und 38.500 t Naturgips bzw. -anhydrit (per Schiff) zugeliefert. Die Verbräuche der verschiedenen Einsatzstoffe zur Zement- produktion im Werk Wiesbaden-Amöne- burg sind in Tab. 1 zusammengestellt.

Als Brennstoff wurden 1999 insgesamt 80.000 t Braunkohlenstaub eingesetzt, der per LKW aus dem Raum Köln angeliefert wird. Außerdem wurden etwa 14.000 t Altreifen verwertet, deren Energiegehalt primäre Brennstoffe ersetzt und deren Stahlkarkassen als Fe-Komponente in die Rohstoffmischung eingehen. Damit wird einerseits ein wichtiger Beitrag zum Res- sourceschutz geleistet und andererseits wertvoller Deponieraum eingespart.

6 Geologie

Während der geologischen Zeiteinheit des Tertiärs bestand vor 20 bis 25 Mio. Jahren im Bereich des heutigen Rheins, südlich von Taunus und Hunsrück, ein fla- ches, warmes Meer, das meist mit dem damaligen Mittelmeer im Süden und zeit- weilig sogar mit der Nordsee in Verbin- dung stand. In diesem Meer wurden hauptsächlich kalkige Sedimente abgelag- ert, die sich nach den in ihnen enthalte- nen Fossilien stratigraphisch unterteilen lassen (Abb. 4).

Abgebaut werden die oberflächennah an- stehenden unteren, nach einer kleinen charakteristischen Schnecke benannten Hydrobien-Schichten bis hinunter auf die Grenzfläche zu den unterlagernden Corbi- cula-Schichten. Letztere bestehen vorwie- gend aus dunkelgrauen Mergeln, die für die Rohmaterialmischung nicht geeignet sind, da die Hydrobien-Schichten selbst lediglich „Grenzqualität“ besitzen, d. h. ihr CaCO_3 -Gehalt ist verhältnismäßig niedrig.

Tab. 1: Rohstoffbilanz des Werkes Amöneburg 1999

Zement- und Klinkerabsatz	810.000 t/a		
Klinkeranteil im Zement	82 %		
Einsatzstoffe zur Klinkerherstellung	t/a	kg/kg Klinker	kg/kg Zement
Kalkmergel*	1.084.000	1,671	1,368
Sand	60.000	0,092	0,075
Kalkstein	11.000	0,017	0,014
Anhydrit/Gips	4.500	0,002	0,002
Filterpresskuchen	15.000	0,023	0,019
Zwischensumme	1.174.500	1,805	1,478
Einsatzstoffe zur Zementmahlung			
Hüttensand	96.000		0,119
Kalkstein	17.000		0,020
Anhydrit/Gips	34.000		0,042
Zwischensumme	147.000		0,181
Summe	1.321.500		1,659

*inkl. stark schwankender Feuchtigkeit (10 - 25 %)

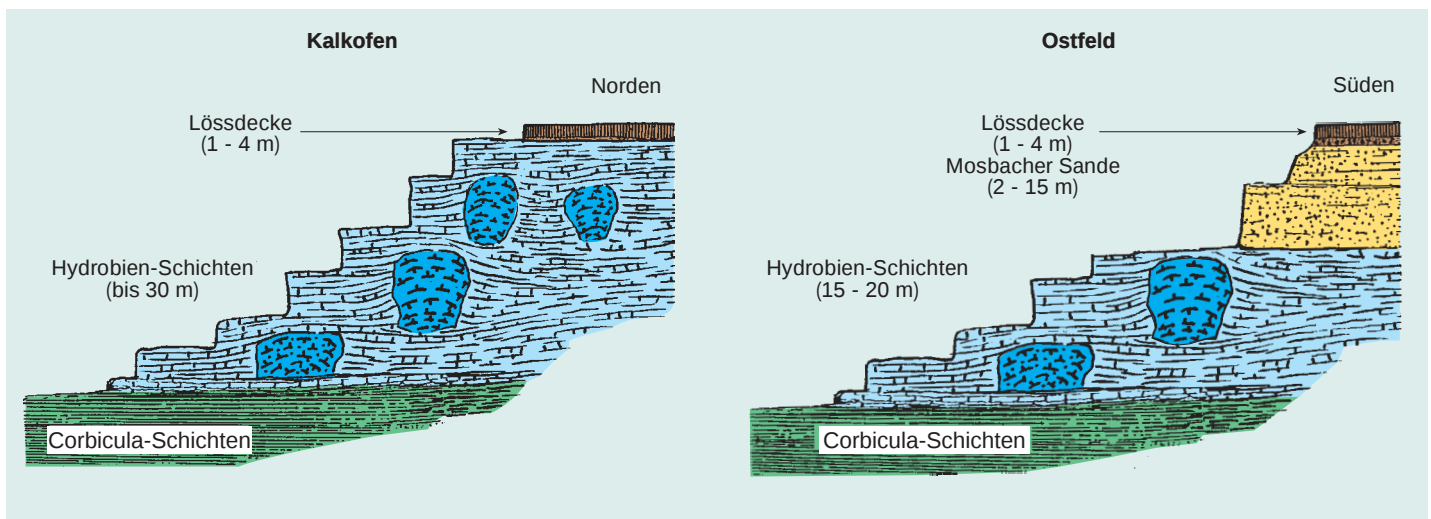


Abb. 4: Profil durch die Lagerstättenteile Kalkofen und Ostfeld

Auch aus Gründen des Grundwasserschutzes müssen die Grenzmergel erhalten bleiben. Diese abdichtenden Basis-schichten ermöglichten es den Entsorgungsbetrieben der Stadt Wiesbaden, in den ausgekalkten Steinbruchteilen (Abb. 1) eine moderne Hausmülldeponie einzurichten.

In den Hydrobien-Schichten reicht die Aufschluss- und Abbauhöhe bis zu 30 m. An der Bruchwand ist ein schwaches Einfallen von 4 bis 5° nach Südwesten zu erkennen sowie im Schichtenaufbau eine Wechsellagerung von harten, dichten, kavernösen, teilweise knolligen Kalksteinen mit kalksandigen Mergeln, grünlichen Tonmergeln und feinsandigen Mergeln. Hydrobien treten überall auf, besonders aber als Schill-Lagen in den Tonmergeln. Die harten Kalksteine sind vorwiegend Algenkalksteine, in denen früher häufig, heute jedoch nur noch vereinzelt, bis 10 m hohe und 20 bis 50 m im Grundriss messende Algenkalkriffstöcke (Abb. 4) hervortraten. In den Kalkmergeln finden sich neben den für das warme Flachmeer typischen Fossilien auch vom Festland her eingeschwemmte Blätter und Knochen von verschiedenen Landwirbeltieren, wie z. B. Tapir und Maus, sowie von Reptilien und Vögeln.

Die Überlagerung besteht im Steinbruch Ostfeld unter einer geringen Lössdecke aus den bis 15 m mächtigen Mosbacher Sanden der eiszeitlichen Hochterrasse des Rheines. Sie sind für ihre Funde von eiszeitlichen Säugetierfaunen mit z. B. Mammuts, Mastodons und Riesenhirschen bekannt. Die Sande finden bei der Klinkerherstellung als Korrekturmateriel Verwendung, gehen in ein benachbartes Kalksandsteinwerk, teils auch in den Tiefbau oder dienen zum Abdecken der städtischen Mülldeponie. Dadurch wird eine optimale Nutzung der verschiedenen im Steinbruch vorkommenden Materialien gewährleistet. Im topographisch etwas höher gelegenen Steinbruch Kalkofen tritt nur Löss als Abraum auf, die Mosbacher Sande wurden hier nicht abgelagert.

7 Gewinnung und Transport

In der Frühzeit des Werkes wurde das Rohmaterial noch per Hand abgebaut (Abb. 5) und mit Pferdefuhrwerken bzw. später mit einer Schmalspurbahn zum Zementwerk transportiert.

In Bereichen mit festeren Kalksteinen wurde Sprengarbeit eingeführt und das Material mit großen Seilbaggern auf Bahn-

waggons verladen. Im Jahr 1926 war hier der damals mit einer Ladeleistung von 200 t/h größte fahrbare Bagger der Welt mit einem Schaufelinhalt von 5 m³ in Betrieb gegangen. Zu einer Zeit, als im Steinbruch insgesamt etwa 300 Personen tätig waren, waren alleine 30 Arbeiter nur damit beschäftigt, die Gleise ständig so zu verschieben, dass der Abstand zwischen der Steinbruchwand und den einzelnen Beladestellen nicht zu groß wurde.

Über lange Jahre wurde außerdem Kalkstein aus dem etwa 14 km entfernt gelegenen Steinbruch Falkenberg bei Flörsheim am Main per Schiff nach Amöneburg transportiert. Der Transport wurde im Zuge der Umstellung des Werkes auf den Trockenprozess Ende der 1960er-Jahre auf die Bahn verlagert. Dieser Steinbruch wurde schließlich im Jahr 1975 stillgelegt.

In den 1970er-Jahren wurde der Transport innerhalb des Steinbruches von der Bahn auf SKW umgestellt, die direkt an der Wand beladen werden, denn aufgrund seiner meist geringen Festigkeit kann der Kalkmergel in beiden Steinbrüchen ohne vorherige Sprengungen direkt mit Hydraulikbaggern aus der Wand gewonnen werden (Abb. 6). Dadurch war es möglich, auf den Einsatz von Sprengstoffen völlig zu verzichten und Lärmemissionen in die Umgebung weitgehend zu vermeiden.

Derzeit transportieren SKW mit 45 bis 85 t Ladevermögen das Rohmaterial zu dem 1 bzw. 2 km entfernten Doppelwalzenbrecher, der eine Leistung von etwa 1.000 t/h aufweist und die Kalkmergel und Kalksteine von maximal 1,2 m Kantenlänge auf unter 30 cm zerkleinert.

Da die Gesteinsabfolge der Lagerstätte in horizontaler und vertikaler Richtung beträchtliche Inhomogenitäten aufweist, muss durch sehr selektiven Abbau versucht werden, einen chemisch gleichmäßigen Massenstrom schon vor dem Brecher zu erreichen. Von dort wird der Kalkmergel, dem hier bei Bedarf verschiedene Korrekturmaterien, wie Sand und Gips, zugesetzt werden, über eine Bandanlage zur Homogenisierung auf ein Rundmischbett von fast 150 m Durchmesser befördert. Dort wird die Mischung mit einem Schaufelradbagger aufgenommen und den letzten Kilometer zur Rohmahanlage im Werk dann ebenfalls per Förderband transportiert.

Die im Steinbruch abgebauten Schichten lagen ursprünglich in der Nähe der alten Küstenlinie in der Zone, in der Temperatur und Wassertiefe optimal für das Wachstum von Kalkalgen waren, die hier massive Einzelriffe bilden konnten. Die anfangs abgebauten, näher am Werk gelegenen Bereiche wiesen daher so hohe Kalkgehalte auf, dass es erforderlich war, Material aus den unterlagernden Grenzmergeln zur Einstellung der Rohmischung zuzuführen.

In dem Maße, wie sich der Abbau dann um insgesamt etwa 2 km in Richtung der alten Küste am Fuße des wenige km nördlich gelegenen Taunus weiterbewegte, nahm der Kalkgehalt der Abfolge ab, da die Kalkalgen schlechtere Lebensbedingungen vorfanden. Es wurde daher erforderlich, devonische Riffkalksteine aus dem Lahnggebiet bzw. tertiäre Kalksteine aus einem Steinbruch bei Oppenheim/Rhein per LKW zuzufahren. Dies illustriert deutlich, dass sich bei einem Steinbruch, der über 100 Jahre in Betrieb ist, der Bedarf an Korrekturmateriel im Laufe der Zeit drastisch verschieben kann.



Abb. 5: Kalksteinabbau im Jahr 1887



Abb. 6: Direktabbau aus der Steinbruchwand durch einen Hydraulikbagger mit 7,5 m³-Tieflöffel auf 85 t-SKW im Jahr 2002

Da während des Zweiten Weltkrieges die benachbarten Wiesbadener und Mainzer Industriebetriebe, das Zementwerk und der benachbarte Flughafen Erbenheim das Ziel von Bombenangriffen waren, muss jede Teilfläche des Steinbruches vor Beginn der Abgrabung von einem Fachun-

ternehmen aus Sicherheitsgründen auf Blindgänger abgesucht werden. Die Kosten belaufen sich auf etwa 1,50 DM/m², jedoch belegen einzelne Funde von Blindgängern mit Gewichten bis zu 500 kg die Berechtigung solcher aufwendigen Untersuchungen.

8 Rekultivierung und Renaturierung

Bereits in den 1950er-Jahren, als Rekultivierung noch weitgehend ein Fremdwort war, hatte es sich der Leiter der Werksgärtnerei, Landwirtschaftsrat Weyl, zur Aufgabe gemacht, aus der „Mondlandschaft der Abraumhalden blühende Gärten zu gestalten.“ Immerhin fielen damals täglich bis zu 4.000 m³ Abraum an, die es zu deponieren galt. Als Abgrenzung zur Stadt hin wurde ein breiter Streifen aus Pappeln, Erlen, Weiden, Schlehen und Weißdorn gepflanzt, dahinter eine etwa 3,5 ha große Obstplantage, so dass heute in dieser Gegend nicht mehr zu erkennen ist, dass hier einmal ein großer Steinbruch lag. Die Werksgärtnerei war übrigens 1947 auf Empfehlung der Werksküche gegründet worden, um deren Versorgung mit frischem Gemüse in der Zeit des allgemeinen Mangels sicherzustellen.

Ein großer Teil des alten, westlich vom Ostfeld gelegenen Steinbruchs Kastel wird mittlerweile von der Stadt Wiesbaden als Hausmülldeponie genutzt (Abb. 1). Die Rekultivierungsaufgaben für die in Be-

trieb befindlichen Steinbrüche Kalkofen und Ostfeld fordern neben der Errichtung flacher Endböschungen z. T. eine flächige Verfüllung, so dass weitgehend auch eine ackerbauliche Folgenutzung möglich ist. Randliche Teile dieser Auffüllbereiche sind bereits bepflanzt.

In einem kleinen Teil des Steinbruchs Kalkofen wurde ein Feuchtbiotop eingerichtet. Dieses hat sich mittlerweile zu einem jahreszeitlich in seiner Größe stark schwankenden Weiher entwickelt, der sich als Nahrungs-Eldorado für die Störche der etwa 6 km entfernten Brutkolonie Wiesbaden-Schierstein herausgestellt hat. Bei laufendem Steinbruchbetrieb wurden hier an „guten“ Tagen schon bis zu 41 Störche gezählt. Auch andere Vögel, wie Uferschwalben und Flussregenvögel, nutzen die Steinbrüche gern.

An zwei Stellen der Abbauwand im Steinbruch Kalkofen werden „geologische Fenster“ mit einem quartärwissenschaftlich bedeutsamen Lössprofil und Dolinenbildungen für wissenschaftliche Untersuchungen freigehalten. Die frisch freige-

legten Aufschlüsse in den Mosbacher Sanden werden regelmäßig von einem Paläontologen des Hessischen Landesamtes für Denkmalspflege nach Fossilien abgesucht. Erst 1999 wurde dabei ein 3,5 m langer Stoßzahn eines Mammuts gefunden. Die Steinbrüche erfreuen sich bei Geologen großer Beliebtheit, es finden immer wieder Exkursionen statt. Auch mehr naturkundlich orientierte Führungen werden in Zusammenarbeit mit lokalen naturkundlichen Vereinigungen durchgeführt.

Aus den Steinbrüchen des Werkes wurden über einen Zeitraum von 138 Jahren insgesamt über 110 Mio. t Kalkstein und Kalkmergel gefördert. Dies belegt deutlich, dass bei der Beurteilung der Vorräte von Lagerstätten für Zementwerke von sehr langen Zeiträumen ausgegangen werden muss. Diese Zeiträume überschreiten bei weitem den Rahmen staatlicher Planungen, wodurch entsprechende Konflikte vorgezeichnet sind. Gerade bei Zementwerken ist jedoch aufgrund der hohen Investitionskosten eine weit vorausschauende Rohstoffsicherung unabdingbar.

Dyckerhoff Zement GmbH
Werksgroupe Süd
Biebricher Straße 69
65203 Wiesbaden
Tel.: 06 11/6 76 24 12
Fax: 06 11/6 76 26 85
eMail: info@dyckerhoff.de
Internet: www.dyckerhoff.de

Ölschieferzementwerk in Dotternhausen

Inhalt

- 1 Allgemeines
- 2 Geschichtliche Entwicklung
- 3 Werksbeschreibung
 - 3.1 Werksanlagen
 - 3.2 Verwendung des Ölschiefers
 - 3.3 Investitionen
 - 3.4 Umweltaspekte
- 4 Produkte/Markt
- 5 Rohstoffgeologische Situation/Rohstoffverbrauch
- 6 Rohstoffgewinnung
 - 6.1 Ölschiefersteinbrüche Dotternhausen und Dormettingen
 - 6.2 Tonsteinbruch Withau
 - 6.3 Kalksteinbruch Plettenberg
- 7 Werkforum/Fossilienmuseum

1 Allgemeines

Das Ölschieferzementwerk der Firma Rohrbach Zement befindet sich in Dotternhausen, Baden-Württemberg, zwischen Stuttgart und dem Bodensee, unmittelbar am Fuß der Schwäbischen Alb. Das Werk liegt direkt an der B 27 und verfügt über einen Bahnanschluss mit Werksgleisanlage.



Abb. 1: Rohrbach Zement in Dotternhausen, Ansicht von NW: Im Vordergrund der Ölschiefersteinbruch, im Hintergrund der 1.000 m hohe Plettenberg, auf dem sich der Kalksteinbruch befindet.

2 Geschichtliche Entwicklung

In den 1930er-Jahren forschte Rudolf Rohrbach nach einer Möglichkeit, den in Baden-Württemberg oberflächennah vorkommenden Rohstoff „Ölschiefer“ wirtschaftlich zu nutzen. Die Voraussetzungen sind bei einem Ölausbringen von nur 40 bis 45 l/t, einem Heizwert von nur 3.400 kJ/kg und einem Aschegehalt von 71 % nicht gerade günstig. Nachdem Rohrbach aber herausgefunden hatte, dass man Ölschiefer so brennen kann, dass er hydraulische Eigenschaften entwickelt, war klar, dass die Lösung in der gleichzeitigen Nutzung der im Ölschiefer enthaltenen Energie und seiner mineralischen Bestandteile liegt.

1939 gründet Rudolf Rohrbach in Dotternhausen das Zementwerk, das von Anfang an darauf ausgerichtet war, den Rohstoff Ölschiefer vorteilhaft in die Produktion von Zement und anderer hydraulischer Bindemittel einzubinden. Der Standort Dotternhausen wurde deswegen gewählt, weil hier auf engstem Raum alle für ein Ölschieferzementwerk erforderlichen Rohstoffe zur Verfügung stehen.

Zunächst wurde der Klinker unter Verwendung von Ölschiefer auf Saugzug-Sinterbändern und vorübergehend auch in einem Schachtofen gebrannt. Zudem wurde zeitweise eine Pyrolyseanlage zur Verschwelung des Ölschiefers betrieben.

In den 1960er-Jahren erfolgten zwei bedeutende verfahrenstechnische Entwicklungsschritte, die zu der noch heute genutzten Technologie des Ölschieferzementwerkes führten:

- 1961 wurde das Kraftwerk in Betrieb genommen, in dem in zwei Wirbelschichtöfen aus Ölschiefer der hydraulisch aktive „gebrannte Ölschiefer“ hergestellt wird. Die dabei frei werdende Energie des Ölschiefers wird zur Stromerzeugung genutzt,

wodurch der gesamte Bedarf des Werkes an elektrischer Energie abgedeckt wird. Dies war eine der ersten Anwendungen der heute weit verbreiteten Wirbelschichttechnik.

- 1966 wurde für die Klinkerproduktion ein Drehrohrföfen mit Schwebegaswärmetauscher gebaut. Damit an diesem Ofen der Ölschiefer als Brennstoff und Rohstoffkomponente eingesetzt werden konnte, wurde hier erstmals ein Calcinator verwendet, in den der gemahlene Ölschiefer aufgegeben wird.

Bis heute stehen die Nutzung aller zur Verfügung stehenden Energie und die vollständige Verwertung der mineralischen Bestandteile des Ölschiefers im Vordergrund der verfahrenstechnischen Optimierungen – und zwar vor dem Hintergrund einer sich immer stärker diversifizierenden Produktpalette.

3 Werksbeschreibung

3.1 Werksanlagen

Rohstoffgewinnungsbetriebe:

- Ölschiefersteinbruch Dotternhausen, angrenzend an das Werksgelände, dessen Vorräte im Jahr 2001 abgebaut waren
- Ölschiefersteinbruch Dormettingen, nördlich des Werkes und mit diesem durch eine 2.350 m lange Kurvenbandanlage verbunden; Abbau ab 2001
- Tonsteinbruch Withau bei Schömburg, ca. 5 km vom Werk entfernt
- Kalksteinbruch Plettenberg, 1.000 m ü. N. N. gelegen und über eine 2,3 km lange Materialseilbahn mit dem 350 m tiefer gelegenen Werk verbunden

Klinkerproduktion:

- 2 x 5.000 t Längsmischbett für Kalkstein
- Walzenschüsselmühle zur Mahltrocknung des Rohmaterials
- Drehrohrföfen mit 5-stufigem Zyklonvorwärmer, Calcinator für den Einsatz von Ölschiefer und Sekundärbrennstoffen, Dampfkessel zur Energieauskoppelung (2 MW), Rostkühler sowie Walzenschüsselmühle für die Mahltrocknung von Ölschiefer; Ofenkapazität: 1.650 t/d Klinker

- Klinkersilos für 80.000 t Klinker

Produktionslinie für gebrannten Ölschiefer und elektrische Energie:

- 8.000 t Rundmischlager für Ölschiefer
- Nachzerkleinerung mit einer Prallmühle und zwei Siebmaschinen auf 0 - 12 mm
- 3 Wirbelschichtföfen zum Brennen des Ölschiefers mit nachgeschalteten Dampfkesseln und Dampfturbine; Input: 48 t/h Ölschiefer, Output: 34 t/h gebrannter Ölschiefer und 11,2 MW elektrische Leistung

- Silos für 51.000 t gebrannten Ölschiefer

Mahlanlagen:

- 1 zweistufige Zementmahanlage mit Gutbettwalzenmühle, VSK-Sichter, Kugelmühle und Stabkorbsichter; Leistung: 130 t/h CEM II/B-T 32,5 R
- 1 Kugelmühle (4 x 10 m; 3,5 MW) mit einer Leistung von 150 t/h CEM II/B-T 32,5 R
- 5 Kugelmühlen mit Leistungen zwischen 15 und 25 t/h

Fertigprodukthanlagen:

- 10 Zementsilos mit insgesamt 34.000 t Lagerkapazität
- 2 Rundpacker und 2 Palettierer
- Bindemittelmischwerk für Spezialbindemittel mit 19 Silokammern, einem 6 m³-Mischer und zwei Verladestraßen
- Trockenmörtelwerk für 50.000 t/a (lose und gesackt)

Qualitätssicherung:

- Laborautomation für die Online-Prozesssteuerung
- Röntgenfluoreszenzanalyse, Diffraktometer, Lasergranulometer
- Analytisches Labor, Mörteltechnisches Labor, Betonlabor

3.2 Verwendung des Ölschiefers

Der Prozess des Ölschieferzementwerkes gliedert sich im Wesentlichen in zwei thermische Produktionslinien: den Drehrohrföfen zur Klinkerherstellung und das Wirbelschichtkraftwerk zur Herstellung

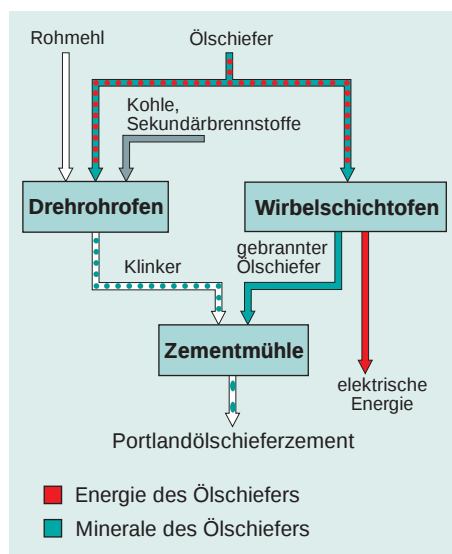


Abb. 2: Schema des Prozesses zur Herstellung von Portlandölschieferzement

des gebrannten Ölschiefers und elektrischer Energie. Aus den beiden Zwischenprodukten „Klinker“ und „gebrannter Ölschiefer“ werden dann durch Mahlung Portlandölschieferzemente und Spezialbindemittel hergestellt.

Ca. 20 % des gewonnenen Ölschiefers werden bei der Klinkerproduktion eingesetzt. Der Ölschiefer liefert hier 20 % der erforderlichen Energie und 10 % der mineralischen Rohmaterialien. Der übrige Ölschiefer wird in Wirbelschichtföfen gebrannt. Dabei wird als Koppelprodukt elektrischer Strom erzeugt, der den Eigenbedarf des Werkes übersteigt.

Für das gesamte Zementwerk liefert der Ölschiefer 50 % der erforderlichen Energie (100 % der elektrischen Energie und 20 % der thermischen Energie). Mineralisch liefert der Ölschiefer ca. 36 % der Rohstoffe.

Darüber hinaus dient der gebrannte Ölschiefer im Portlandölschieferzement auch als Sulfatträger. Der SO₃-Gehalt des Zementes wird über den Gehalt an gebranntem Ölschiefer eingestellt. Gips und Anhydrit sind nicht erforderlich.

3.3 Investitionen

Die Jahre 1999 bis 2001 waren geprägt durch eine ganze Reihe von zukunftsorientierten Investitionen:

- Neuaufschluss des Ölschiefersteinbruchs Dormettingen mit fördertechnischem Anschluss an das Werk
- Kohlesilo mit automatischer Ein- und Auslagerung
- Neubau von Infrastruktureinrichtungen innerhalb des Werkes (Umschlag- und Transporteinrichtungen, Druckluft, Kühlwasser)
- Dritter Block für das Wirbelschichtkraftwerk; damit wurden die Produktionskapazitäten für gebrannten Ölschiefer und elektrische Energie um 50 % erhöht

- Zweistufige Zementmahanlage, bei der mit innovativer Technik ein Höchstmaß an Flexibilität bei der Produktion insbesondere von Ölschieferzement erreicht wird
- Anlage für den Einsatz von Sekundärbrennstoffen, insbesondere Tiermehl und Tierfett
- Inbetriebnahme des überarbeiteten Dampfkessels zur Wärmeauskoppelung im Wärmetauscher des Drehrohrofens zur Erzeugung von 2 MW elektrischer Leistung

3.4 Umweltaspekte

Durch die Koppelproduktion von gebranntem Ölschiefer und elektrischer Energie entsteht bei der Herstellung von Portlandölschieferzement weniger CO₂ als bei Portlandzement.

Seit 1982 werden jährlich ca. 7.500 t Altreifen (ca. 1 Mio. Reifen) als Brennstoff eingesetzt. Damit wird ein beachtlicher Teil der ständig anfallenden Altreifen umweltverträglich verwertet. Seit 2001 werden auch andere Sekundärbrennstoffe (z. B. Tiermehl und Tierfett) unter Einhaltung der strengen Emissionsgrenzwerte eingesetzt.

Aus den rekultivierten und renaturierten ehemaligen Abbaubereichen haben sich ökologische Nischen entwickelt, die eine in der Region einzigartige Artenvielfalt bei Flora und Fauna aufweisen.

Der Ölschiefersteinbruch Dotternhausen wird wieder auf das ursprüngliche Niveau aufgefüllt, so dass das Gelände nach Abschluss der Rekultivierungsarbeiten genauso aussieht wie vorher. Dabei werden große Mengen an Erdaushub aus der Umgebung sinnvoll entsorgt.

Rohrbach Zement bietet in seiner Palette der Spezialbindemittel auch Produkte für den Umweltschutz an, so z. B. zum Verfüllen, Stabilisieren, Abdichten und Immobilisieren.

4 Produkte/Markt

Das Werk ist für alle Produktbereiche zertifiziert nach DIN EN ISO 9001. Portlandölschieferzement darf bis zu 35 % gebrannten Ölschiefer enthalten. Dieser Zement steht im südwestdeutschen Raum am Markt in Konkurrenz zu anderen Zementen. Der Schwerpunkt des Absatzes liegt bei Transportbetonwerken und Betonfertigteilterwerken.

Portlandölschieferzement:

CEM II/B-T 32,5 R
CEM II/B-T 42,5 R
CEM II/B-T 52,5 R
CEM II/A-T 52,5 R

Farbiger Portlandölschieferzement

CEM II/B-T 32,5 R tm TERRAMENT®
CEM II/B-T 42,5 R tm TERRAMENT®

Portlandzement:

CEM I 32,5 R
CEM I 42,5 R

Spezialbindemittel für:

- Injektionen für Unterfangungen und Gebirgssicherungen
- Hohlraumverfüllungen
- Abdichtungen durch Schmal- und Schlitzwände
- Klärschlammverfestigung und Immobilisierung in kontaminierten Böden
- Stabilisierung und Bodenverbesserung – auch staubfrei
- Hydraulisch gebundene Trag-schichten

Spezialbindemittel auf der Basis von gebranntem Ölschiefer haben wegen ihrer besonderen Eigenschaften und ihrer besonderen Eignung für vielfältige Aufgaben des Erd- und Grundbaus einen überregionalen Markt. Die entsprechenden Produkte werden von dem Tochterunternehmen Georoc in ganz Europa vermarktet.

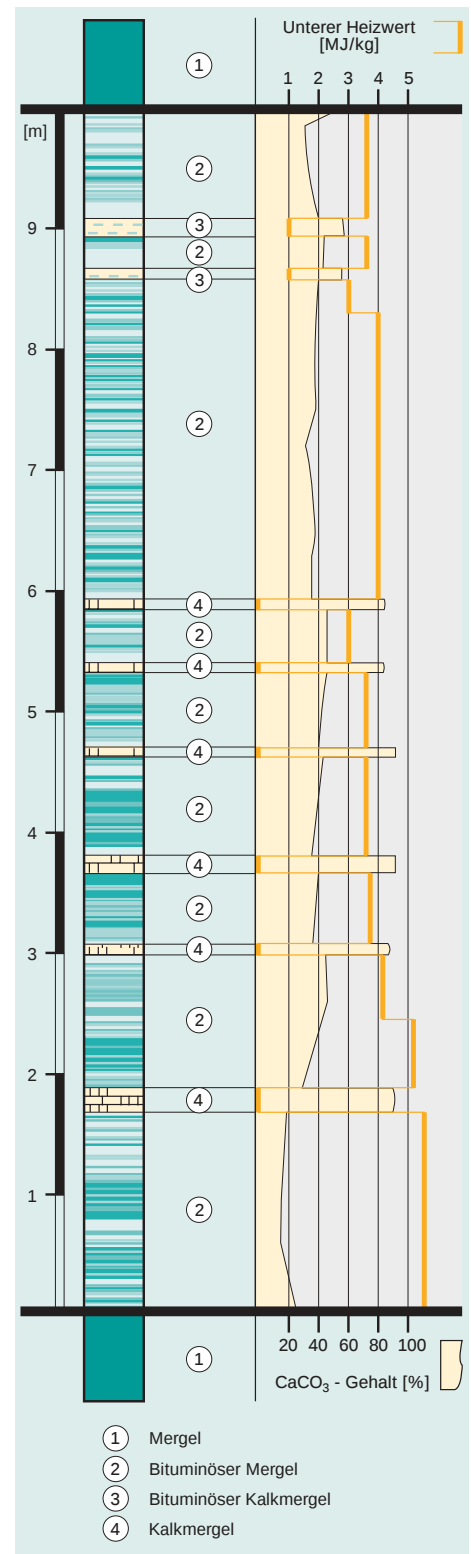


Abb. 3: Profil durch den Ölschiefer des Lias e

5 Rohstoffgeologische Situation/ Rohstoffverbrauch

Dotternhausen liegt mitten im schwäbischen Schichtstufenland unmittelbar am Fuße des Albtraufs, der an dieser Stelle einen Höhengsprung von 350 m aufweist. In diesem Bereich streichen alle Schichten des Jura aus vom Lias bis zum Malm. In den tiefer liegenden Tälern zum Neckar hin sind darüber hinaus die Schichten des Trias mit den Muschelkalklagerstätten und den Gipslagerstätten des Keuper aufgeschlossen. Rohrbach Zement baut ausschließlich Jura-Rohstoffe ab.

Das Zementwerk selbst steht auf der Ölschieferlagerstätte. Der 185 Mio. Jahre alte Ölschiefer des Lias ϵ erstreckt sich hier mit minimaler Überdeckung über große Flächen. In den darüber liegenden Schichten des Dogger α wird Opalinuston abgebaut. Kalkstein wird aus den obersten Schichten der Schwäbischen Alb gewonnen, aus dem ca. 150 Mio. Jahre alten Oxford β und den oberen Schichten des Oxford α .

Im Jahr 1999 wurden folgende Rohstoffmengen verarbeitet:

Kalkstein	634.000 t
Ölschiefer	347.000 t
Ton	57.000 t
Sonstige natürliche mineralische Rohstoffe	25.000 t

Die Zementproduktion betrug im selben Jahr 476.000 t. Gips/Anhydrit ist für die Produktion von Portlandölschieferzement nicht erforderlich.

6 Rohstoffgewinnung

6.1 Ölschiefersteinbrüche Dotternhausen und Dormettingen

Beim Ölschiefer handelt es sich um eine flözartige Lagerstätte mit einer Mächtigkeit von max. 9 m und durchschnittlich 7 m. Die Lagerung ist söhlig und tektonisch nahezu ungestört. Die Abraummächtigkeit liegt im Durchschnitt bei 1 m.

Diese Lagerstättenverhältnisse führen zu einem relativ großen Flächenverhieb von durchschnittlich 2,3 ha/a. Die offene Betriebsfläche wird möglichst klein gehalten und wandert allmählich über das Abbaugebiet.

Die Deckschichten werden mit einer Laderaupen getrennt nach Humus und Abraum abgeschoben und mit einem Muldenkipper zu einem Zwischenlager oder gleich zur Rekultivierungsfläche transportiert.

Die Gewinnung erfolgt durch Bohr- und Sprengarbeit. Die Bohrlöcher werden mit einem Drehbohrgerät hergestellt. Die La-



Abb. 5: Ölschiefersteinbruch Dormettingen mit Mobilbrecher

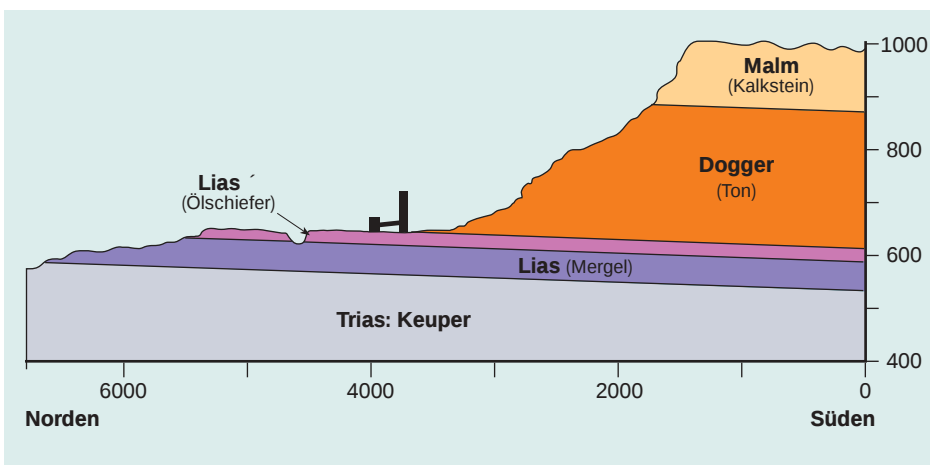


Abb. 4: Schematische Darstellung der Jura-Formationen am Albtrauf bei Dotternhausen

desäule, bestehend aus einer Schlagpatrone und ANC-Sprengstoff, wird aus dem Bohrlochtieftsten gezündet.

Zwischen 1995 und 1999 befand sich der Abbau in der Nähe von Bebauung. Um die zulässigen Erschütterungswerte in den dortigen Gebäuden nicht zu überschreiten, wurde hier die Gewinnungstechnik umgestellt. Zum Einsatz kam ein 80 t-Hydraulikbagger mit Tieflöffelausrüstung, der den Ölschiefer in zwei Bänken gerissen hat.

Geladen wird mit einem Radlader mit 6,5 m³ Schaufelinhalt. Der Förderweg beträgt zwischen 10 und 50 m. Das Hauf-

werk wird zur Vorzerkleinerung in einen Mobilbrecher gegeben. Kernstück dieser Anlage ist ein Hammerbrecher mit einer Leistung von 300 t/h bei einem Austrag von 0 bis 70 mm. Der 200 t schwere Mobilbrecher hat ein Reifenfahrwerk, mit dem er etwa alle 4 bis 6 Wochen umgesetzt wird.

Die Förderung erfolgt kontinuierlich über Bandanlagen, im Abbaubereich über ein rückbares Strossenband. Die Länge des Strossenbandes beträgt je nach Lage der Feldesgrenze 250 bis 450 m. Abhängig von der aktuellen Strossenlänge wird das Band alle 6 bis 10 Monate der Gewinnungsfront folgend gerückt. Dabei bildet die Übergabe auf das nachfolgende Band den Drehpunkt.

In einem Rundmischlager mit einer Kapazität von 8.000 t, das entspricht einem Vorrat für eine Woche, wird der Schiefer homogenisiert.

Nach dem Durchgang des Abbaus wird das Gelände möglichst schnell wieder rekultiviert oder renaturiert, so wie es in den Betriebsplänen vorgesehen ist. Ein ca. 16 ha großes Gelände der ehemaligen Abbaufäche wurde renaturiert zu einem Biotop „Öde Flusslandschaft“. Dort befinden sich permanente und temporäre Wasserflächen, substratarme Rohböden, freie Felswände und Böschungen. Zwei Gutachter haben unabhängig voneinander hier eine ungewöhnliche Artenvielfalt bei Flora und Fauna festgestellt, die weit über das in der Region übliche Maß hinausgeht. Daneben gibt es landwirtschaftliche Rekultivierungen sowohl auf der Steinbruchsohle als auch auf Gelände, das auf das ursprüngliche Niveau wieder aufgefüllt wurde.

Die genehmigten Vorräte im Steinbruch Dotternhausen, der unmittelbar an das Werk angrenzt, wurden bei einer Förderleistung von 360.000 t/a im Jahr 2001 vollständig abgebaut. Der Abbau hat mittlerweile in den Steinbruch Dormettingen gewechselt. Dort sind in 2 bis 3 km Entfernung vom Zementwerk auf einer Fläche von 143 ha 23 Mio. t Ölschiefer-

vorräte genehmigt. Unter Zugrundelegung der derzeitigen Förderrate reichen diese Vorräte für 60 Jahre.

Der Steinbruch Dormettingen ist über ein 2.350 m langes Kurvenförderband mit dem Werk verbunden. Zu der Wahl einer umweltverträglichen Trassenführung gehört auch, dass eine Senke einschließlich Bachlauf mit einer 130 m langen Brücke überspannt wird und dass das Band in zwei Tunnelabschnitten mit insgesamt 766 m Länge unterirdisch geführt wird. Außerhalb der Tunnel ist die Bandanlage komplett mit einer Jumbo-Haube abgedeckt.

6.2 Tonsteinbruch Withau

Die Lagerstätte des Tons befindet sich stratigraphisch ca. 50 m über dem Ölschiefer und ist wenige Mio. Jahre später als dieser entstanden. Nach der langsamen Sedimentation im Lias-Meer senkte sich der Meeresboden rasch ab und es kam zu der mächtigen Ablagerung des Opalinustons des Dogger α . Ein bis zu 30 m hoher Bergrücken vor dem Albtrauf wird auf einer Breite von 200 m auf zwei Sohlen abgebaut. Eine 5 bis 10 m mächtige Verwitterungsschicht ist durch ihre braune Farbe gekennzeichnet. Darun-

ter hat der Ton eine graue Farbe, ist relativ trocken und soweit verfestigt, dass er eher als Festgestein anzusehen ist.

Der Abbau wird von einem Subunternehmer betrieben. Die jährliche Abbaumenge beträgt ca. 50.000 t, das ergibt einen Abbaufortschritt von ca. 6 m pro Jahr. Die Gewinnung erfolgt reißend mit einem Hydraulikbagger. Mit einem Radlader wird der Ton auf Straßen-LKW verladen und zum 5 km entfernten Zementwerk transportiert. Auf diese Weise wird zweimal wöchentlich eine Vorratshalde von ca. 600 t gefüllt.

6.3 Kalksteinbruch Plettenberg

Der mengenmäßig bedeutendste Rohstoff ist der Kalkstein, der gut 300 m über dem Ölschiefer auf der Hochfläche der Schwäbischen Alb ansteht. Der Steinbruch befindet sich auf dem Plettenberg, einem 1.000 m hohen, inzwischen von der übrigen Albhochfläche abgetrennten Zeugenberg, unmittelbar am Albtrauf. Die Lagerstätte besteht aus Malmkalken des mittleren und oberen Oxfordiums und hat ein Alter von etwa 150 Mio. Jahren.

Der Abbau erstreckt sich über drei Sohlen à 20 m von der Hochfläche bis hinunter



Abb. 6: Tonsteinbruch Withau



Abb. 7: Kalksteinbruch Plettenberg

zum Niveau 940 m ü. N. N. Die Liegendgrenze des Oxford α wird nicht erreicht. Die Grenze zwischen Oxford α und β zieht sich auf unterschiedlichen Niveaus durch den Steinbruch. Die CaO-Gehalte in diesen beiden Horizonten unterscheiden sich deutlich:

Im Oxford α sind 38 bis 49 % CaO enthalten, im Oxford β 49 bis 55,5 %. Generell nimmt zur Teufe hin der CaO-Gehalt ab, während die Gehalte an SiO_2 , Al_2O_3 und Fe_2O_3 steigen. Die flachen bis leicht geneigten bankigen Kalke werden unterbrochen durch Schwammriffe, die auch die Ursache für das unterschiedliche Einfallen der Schichten sind. In einigen eng begrenzten Bereichen ist der Kalkstein stärker dolomitisiert. Die MgO-Gehalte, die normalerweise bei 1 % liegen, können dort bis über 10 % steigen.

In diesem Steinbruch werden jährlich 650.000 t Kalkstein abgebaut. Mit Großbohrlochsprengungen werden jeweils bis

zu 10.000 t Material gewonnen. Die unterschiedlichen Qualitäten werden selektiv abgebaut, so dass dem Zementwerk immer eine gleich bleibende Mischung geliefert wird. Das Haufwerk wird von einem Radlader mit 6,5 m³ Schaufelinhalt auf Muldenkipper mit 46 t Nutzlast geladen. In einem stationären Hammerbrecher mit einer Leistung von 400 t/h wird das Material vorgebrochen. Mit einer 2,3 km langen Seilbahn, die einen Höhenunterschied von 320 m überwindet, wird der Kalkstein zum Werk gefördert und dort in einem Längsmischbett homogenisiert.

7 Werkforum/Fossilienmuseum

Zum 50. Firmenjubiläum (1989) wurden das Werkforum und das Fossilienmuseum eröffnet. Im Fossilienmuseum sind die interessantesten Funde aus den Steinbrüchen ausgestellt. Darüber hinaus finden im Werkforum regelmäßig verschiedene Veranstaltungen statt: Kundenver-



Abb. 8: Eingangsbereich des Werkforum/Fossilienmuseums

anstaltungen, geologische Ausstellungen, Konzerte, Kunstausstellungen, Diavorträge und Autorenlesungen.

Zwei Präparatoren und ein Paläontologe suchen, bergen und präparieren die Versteinerungen und bearbeiten sie wissenschaftlich. Den Schwerpunkt der Ausstellung bilden Fossilfunde aus dem Ölschiefer (Lias ϵ) von Dotternhausen: Ammoniten, Belemniten, Seelilien, Fische, Ichthyosaurier, Krokodile und Flugsaurier – über 185 Mio. Jahre alte „Zeitzeugen“. Eine „erdgeschichtliche Rampe“ lässt die unvorstellbar langen Zeitspannen der Erdgeschichte und die Kürze der Menschheitsgeschichte erahnen. Auf dem für jedermann zugänglichen Klopffplatz direkt vor dem Werkforum machen sich Kinder und Erwachsene selbst auf die Suche nach im Ölschiefer verborgenen Fossilien – sie werden meist schnell fündig.

Der Eintritt ist frei. Öffnungszeiten: Dienstag bis Donnerstag 13 bis 17 Uhr, Sonn- und Feiertage 11 bis 17 Uhr (geschlossen vom 1.12. bis 6.1.).

Rohrbach Zement GmbH & Co. KG
Dormettinger Straße 25
72359 Dotternhausen
Tel.: 0 74 27/79-0
Fax: 0 74 27/79-201
eMail: info@rohrbach-zement.de
Internet: www.rohrbach-zement.de

Kiefersfelden – Integrierter Standort in den nördlichen Kalkalpen

Inhalt

- 1 Allgemeines
- 2 Geschichte
- 3 Werksanlagen
- 4 Produkte/Markt
- 5 Rohstoffversorgung
- 6 Gewinnung/Transport
- 7 Geologie
- 8 Rekultivierung/Renaturierung
- 9 Öffentlichkeitsarbeit

1 Allgemeines

Das Zementwerk Kiefersfelden der Heidelberger Zement AG befindet sich im oberbayerischen Inntal, 5 Minuten von der Autobahn A 93, direkt an der Grenze zu Tirol/Österreich (Abb. 2).

Die Gemeinde Kiefersfelden ist als Luftkurort bemüht, den Tourismus zu fördern. Auch die umliegenden Gemeinden sowohl auf der bayerischen (Oberaudorf) als auch auf der Tiroler Seite (Kufstein, Thiersee) sind sehr stark vom Tourismus abhängig.

2 Geschichte

Die Firma „Cementwerk Kiefersfelden GmbH“ wurde 1920 als Familienunternehmen gegründet, dann aber im April 1922 in eine Aktiengesellschaft mit dem Namen „Bayerisches Portland Cementwerk Kiefersfelden A.G.“ umgewandelt.

Trotz eines seit 1916 bestehenden allgemeinen Verbots der Errichtung neuer Zementfabriken konnte 1922 aufgrund einer Ausnahmegenehmigung mit dem Bau des Werks begonnen werden. Im September 1923 ging das Werk in Betrieb, der erste Jahresversand betrug 3.500 t.

Im Jahr 1926 wurde in einem ersten Schritt die Aktienmehrheit durch die „Portland-Cementwerke Heidelberg – Mannheim – Stuttgart AG“, den Vorläufer der heutigen Heidelberger Zement AG, übernommen. Die restlichen Aktien wurden in einem zweiten Schritt Ende 1926 gegen Heidelberger Aktien getauscht.

Im Jahr 1939 erregte das Werk Kiefersfelden mit der ersten Großbohrlochsprengrung der deutschen Zementindustrie in technischer Hinsicht besonderes Aufsehen.

Die Eingliederung der bis dahin rechtlich selbstständigen Tochtergesellschaft in die spätere Heidelberger Zement AG geschah im Jahr 1948.

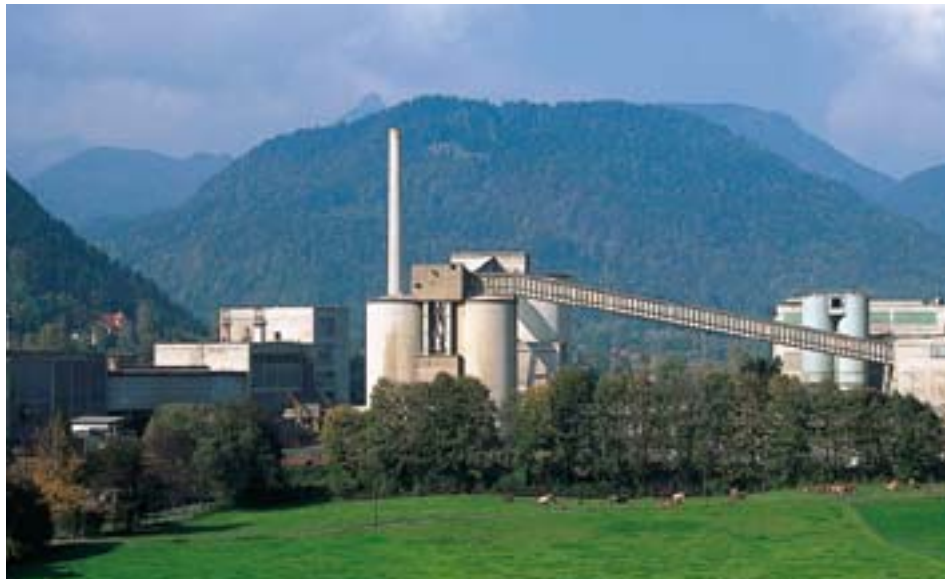


Abb. 1 Zementwerk Kiefersfelden

In den Jahren 1959 bis 1962 wurde die Produktion von Schachtöfen auf zwei Lepolöfen, die heute noch in Betrieb sind, umgestellt.

In den Jahren 1971 und 1972 erreichte Kiefersfelden mit etwa 870.000 t Zement sowie Putz- und Mauermörtelbinder die höchsten Versandzahlen der Werks-geschichte.

1974 wurde in Kiefersfelden der erste Palettierautomat Deutschlands in Betrieb genommen.

3 Werksanlagen

- Steinbruch:
siehe Abschnitt 6
(Gewinnung/Transport)
- Steinbruchbahn:
2 E-Loks (440 kW), 28 GHH-Waggons
(20 m³), elektrifiziert (1.200 V Gleich-
strom), täglich ca. 10 Züge à 400 t
- Brecher:
Einwellenhammerbrecher, 400 kW,
70 Hämmer à 90 kg, 450 t/h
Einlagerung in 4 Schottersilos
(ca. 8.000 m³)
- Mahltrocknung:
Rollenpresse KHD RP 100-63,
2 x 320 kW, 230 t/h
Mahltrocknung MT 1 und MT 2,
je 2 x 1.020 kW, je 100 t/h
Mahltrocknung MT 3, 1.020 kW, 40 t/h
- 7 Rohmehlsilos (4.500 m³)
- 2 Lepolofenanlagen:
Baujahr 1959 bzw. 1961,
2 x 1.000 t/d Klinker;
Brennstoffe: Steinkohle, Petrolkoks,
Altöl, Altreifen, seit 2000 auch Kunst-
stoffe (BPG); maximaler Anteil der
Sekundärbrennstoffe 50 %
- Klinkerlager (75.000 t)
- Zementmühlen:
ZM 4, 1.020 kW, 25 t/h
ZM 5, 1.200 kW, 35 t/h
ZM 7, 2.400 kW, 75 t/h
ZM 8, 2 x 1.400 kW, 85 t/h
- Packerei und Verladung:
5 LKW-Beladestellen, eine Bahn-
beladestelle, Rotopacker, Palettier-
automat
- Qualitätssicherung:
Chem. Analysen mit RFA Siemens
MRS 400 und Oxford Lab-X 3000,

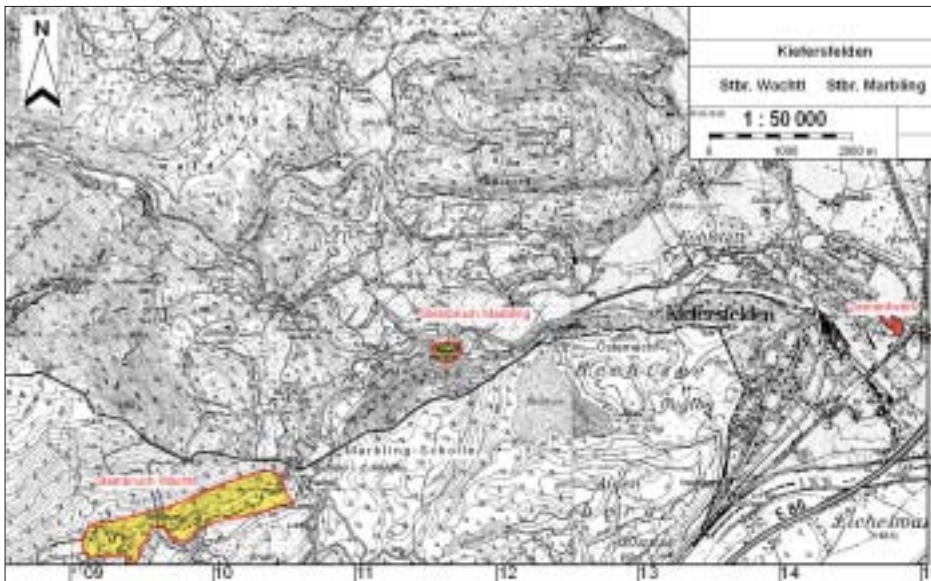


Abb. 2: Zementwerk Kiefersfelden (rot), Steinbruch Wachtl in Tirol/Österreich (gelb) und der aufgelassene Steinbruch Marbling

Feinheitsbestimmung mit Lasergranulometer, Freikalkbestimmung mittels Titrationsautomat, Heizwertbestimmung mittels IKA C 4000, Eigenüberwachung nach EN 197-2, Betonlabor

■ Investitionen:

Für die Jahre 2001 und 2002 sind verschiedene größere Projekte geplant bzw. bereits durchgeführt (Rotopacker, neue Zementmühle, Bahnentladestelle für Kohle). Der Bau und die Inbetriebnahme einer SNCR-Anlage ist abgeschlossen. Diese Anlage vermindert den NO_x -Anteil im Abgas durch Eindüsung einer ammoniumhaltigen Lösung; es entstehen Stickstoff (N_2) und Wasser (H_2O).

4 Produkte/Markt

Das Werk Kiefersfelden produziert derzeit folgende sechs Zementsorten:

CEM I 32,5 R
CEM I 42,5 R
CEM I 52,5 R
CEM II/A-S 32,5 R
CEM II/A-S 42,5 R
CEM II/B-S 32,5 R

Nach Österreich werden die folgenden Sorten geliefert:

PZ 275
PZ 375
PZ 475
PZ 275 (H)
PZ 375 (H)
PZ 375 (H) – TZ 2 (Tunnelzement)

Ein Produkt mit besonderen Anwendungseigenschaften stellt der Tunnelzement TZ 2 nach den Richtlinien „Innenschalenbeton“ und „Spritzbeton“ des Österreichischen Betonvereins dar. Es

handelt sich hierbei um einen Portlandhüttenzement mit erhöhter Frühfestigkeit, besonders gleichmäßiger Feinheit (Abweichung vom Mittelwert $\leq 5\%$), verminderter Wasserabsonderung und begrenzter Hydratationswärme.

Neben den genannten Zementen wird Kalksteinmehl zur Verwendung als Füller in Asphaltmischungen hergestellt und vertrieben.

Die Hauptliefergebiete des Zementwerks Kiefersfelden sind der südbayerische Raum einschließlich des Großraums München sowie das österreichische Bundesland Tirol.

5 Rohstoffversorgung

Aus dem eigenen Steinbruch Wachtl/Tirol (Österreich) wurden 1999 483.000 t Kalkstein und 279.000 t Mergel für die Zementproduktion sowie 25.500 t dolomitische Plattenkalk für die Produktion von Füllermehl gefördert und per werkseigener Bahn nach Kiefersfelden transportiert.

Zudem wurden Kalkstein aus dem Kalkwerk Fischbach im Inntal (123.000 t per Bahn), Hüttensand von Voest in Linz (69.000 t per LKW), REA-Gips vom Kraftwerk Zolling (17.800 t per LKW) sowie Naturgips und Naturanhydrit aus Kuchl, Salzburger Land, (21.400 t per LKW) zugeführt.

Abb. 3: Rohstoffversorgung per Werksbahn



Tab. 1: Rohstoffbilanz des Werkes Kiefersfelden 1999

Zement- und Klinkerabsatz	659.700 t/a		
Klinkeranteil im Zement	82,8 %		
Einsatzstoffe zur Klinkerherstellung	t/a	kg/kg Klinker	kg/kg Zement
Kalkstein	483.000	0,874	0,723
Mergelstein	279.000	0,505	0,418
Fremdkalkstein	123.000	0,223	0,184
Zwischensumme	885.000	1,602	1,325
Einsatzstoffe zur Zementmahlung			
Hüttensand	69.000		0,103
Gips und Anhydrit	21.400		0,032
REA-Gips	17.800		0,027
Zwischensumme	108.200		0,162
Summe	993.200		1,487

6 Gewinnung/Transport

Im Steinbruch Wachtl/Tirol werden sowohl der Kalk- als auch der Mergelstein im Festgesteinstagebau durch Großbohrlochsprengungen gewonnen. Dabei betragen die maximalen Wandhöhen bis zu 40 m. Es sind zwei Bohrmaschinen im Einsatz (Hausherr HBM 60, Böhler). Das Material wird von den höher gelegenen Terrassen bis zur Bruchsohle teilweise mehrfach gestürzt.

Für die Förderung stehen drei Radlader (Cat 990, Cat 988B, Komatsu WA 600) sowie drei SKWs (2 x Cat 773B, 1 Faun) zur Verfügung. Das Material wird mittels SKW zur Bahnverladung transportiert; von dort erfolgt der Transport in das Zementwerk mit der werkseigenen Steinbruchbahn (ca. 6 km). Für die Abraumgewinnung und Rekultivierung stehen Planierraupen (Cat D9N, Komatsu D355), Raupenbagger (Komatsu) sowie zwei Dumper (Cat D400E) zur Verfügung.



Abb. 4: Steinbruch Wachtl, Kalkseite (Westteil, Blick von Süden)

7 Geologie

Der Steinbruch Wachtl liegt am Nordrand der West-Ost streichenden „Thiersee Mulde“. Die Schichten stehen mehr oder weniger steil. Abb. 6 zeigt die geologische Einordnung der Rohstoffe im Steinbruch Wachtl:

In der linken Spalte (Entwicklung der Erde) ist die sich verändernde Verteilung von Landmassen und Meer über den Zeitraum von 2,5 Mrd. bis 1 Mio. Jahren vor unserer Zeitrechnung zu sehen.

Die nächste Spalte (Entwicklung des Lebens) zeigt die Entwicklung von einfach gebauten, wirbellosen Tieren, wie z. B. Quallen, bis hin zu komplizierten Wirbeltieren, den Primaten, zu denen auch der Mensch gehört.

Die dritte Spalte (Geologische Zeitskala) gibt die geologische Periodisierung mit ihren Unterteilungen und dem absoluten Alter in Mio. Jahren wieder.

Im Steinbruch Wachtl werden die mesozoischen Schichten Trias, Jura und Kreide abgebaut. Die detaillierte Aufbau dieser Schichten ist der Spalte ganz rechts zu entnehmen.

Der Süd-Nord-Schnitt darunter zeigt, dass die Schichten durch Faltung nahezu steil stehen. Abgebaut wird innerhalb der Nordflanke der „Thiersee-Mulde“, wie diese Struktur in der geologischen Literatur genannt wird.



Abb. 5: Steinbruch Wachtl, Blick von Westen; links, also im nördlichen Teil, steht Kalkstein an.

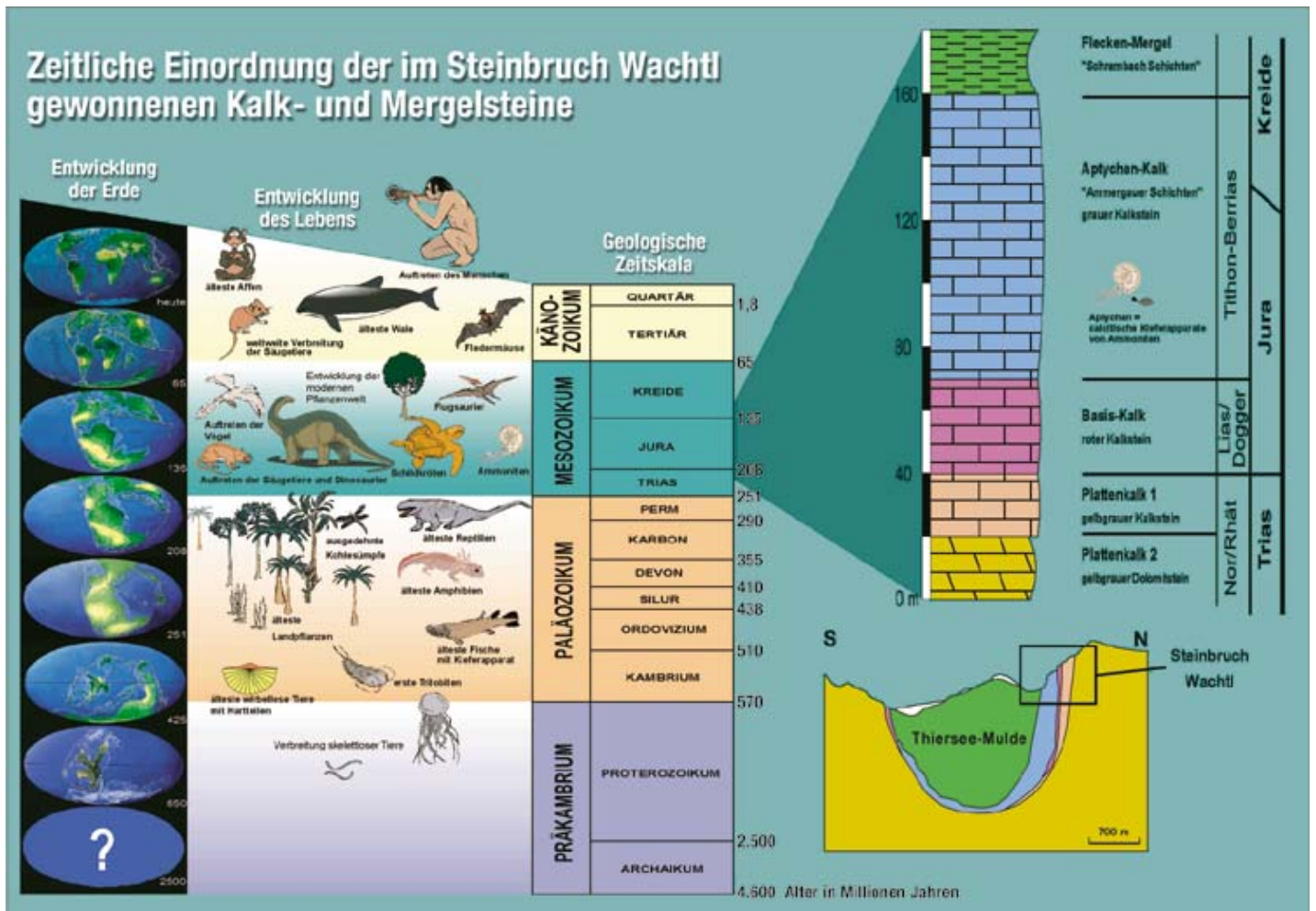


Abb. 6: Geologische Einordnung der Rohstoffe im Steinbruch Wachtl

8 Rekultivierung/Renaturierung

Die Betriebsfläche beträgt zurzeit ca. 28 ha. Von Osten her wird eine Abraumphalde nachgezogen, die zwei Funktionen hat:

- Verringerung der Höhenunterschiede unter der sehr steilen ($\approx 80^\circ$) und sehr hohen (≈ 150 m) ehemaligen Nordwand
- Renaturierung des Klausenbachtals (der Klausenbach fließt von West nach Ost über eine Länge von ca. 1,5 km durch den Steinbruch)

Insgesamt sind ca. 17 ha wieder hergerichtet, davon 5 ha als Vorwald (Forst) so wie 12 ha für die Folgenutzung Natur.

9 Öffentlichkeitsarbeit

Die Information der Bevölkerung über die Emissionssituation des Werks Kiefersfelden geschieht durch eine öffentlich ausgehängte Umwelterklärung. Zudem wurde eine standortbezogene Umweltbroschüre erstellt und an alle Haushalte in der Gemeinde verteilt. In der quartalsweise erscheinenden Gemeindezeitung („Kieferer Nachrichten“) wird auch über aktuelle Projekte des Zementwerks berichtet.

Das Erholungswerk der Heidelberger Zement AG unterhält mehrere Ferienwohnungen in Kiefersfelden. Mit 6.000 Übernachtungen hatte das Erholungswerk im Jahr 2000 einen bedeutenden Anteil an der Gesamtzahl der Übernachtungen (ca. 85.000).

Als Tourismus-Attraktion verkehrt in den Sommermonaten regelmäßig an sieben Wochenenden der „Wachtl-Express“ zwischen Kiefersfelden und dem Steinbruch Wachtl. Mit Unterstützung durch das Zementwerk betreibt die Museums-Eisenbahn-Gesellschaft Wachtl e. V. diesen Nostalgiezug zu den nahe gelegenen Ausflugszielen auf den Gleisanlagen zwischen Steinbruch und Zementwerk.

Heidelberger Zement AG
Werk Kiefersfelden
Am Neugrund 39
83088 Kiefersfelden
Tel.: 0 80 33/60-0
Fax: 0 80 33/60-280
eMail: info@hzag.de
Internet: www.hzag.de

- Basten, M. (2002): Investitionen, Rohstoffe und Naturschutz – Aspekte nachhaltiger Entwicklung am Beispiel der Zementindustrie in Nordrhein-Westfalen. In: Zement-Kalk-Gips 55 (2002) H. 3, S. 54-59.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2000): Flächenbedarf für den Abbau von oberflächennahen Rohstoffen (Steine und Erden, Braunkohle, Torf) im Jahr 1997. Commodity Top News No. 9, Hannover.
- Bundesverband der Deutschen Zementindustrie (2000): Zement-Jahresbericht 1999-2000.
- Bundesverband der Deutschen Zementindustrie (2001): Zement-Jahresbericht 2000-2001.
- Bundesverband der Deutschen Zementindustrie/Verein Deutscher Zementwerke (2001): Naturschutz und Zementindustrie. Projektteil 1: Auswertung einer Umfrage. Bearbeitet von U. Tränkle und M. Röhl, Düsseldorf.
- CEMBUREAU (1999): Domestic Deliveries and Strenghts of Cement – 1997. Economic Circular.
- Duda, W. H. (1976): Cement-Data-Book. Internationale Verfahrenstechniken der Zementindustrie/International Process Engineering in the Cement Industry, Wiesbaden u. a.
- Gotthardt, R./Kasig, W. (1996): Karbonatgesteine in Deutschland. Rohstoff, Nutzung, Umwelt, Düsseldorf.
- Kühl, H. (1958): Zement-Chemie. Band II: Das Wesen und die Herstellung der hydraulischen Bindemittel, 3. Aufl. Berlin.
- Lamprecht, H.-O. (1996): Opus Caementitium. Bautechnik der Römer. 5. Aufl. Düsseldorf.
- Lieber, W. (1990): Calcit, Baustein des Lebens. Hrsg. von Münchner Mineralientage Fachmesse GmbH, Oberhaching.
- Schmidt, M. (1998): Innovative Zemente – Schnellzemente, Spritzement, Feinstement und Zemente mit hohem Sulfat- und Säurewiderstand. In: Zement-Kalk-Gips 51 (1998) H. 8, S. 444-450.
- Schmidt, M. (2000): Technische, ökologische und wirtschaftliche Einflüsse auf die derzeitigen und zukünftigen Mengen an recyklierten Baustoffen. In: Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden (Hrsg.): Der Bedarf an mineralischen Baustoffen. Gutachten über den künftigen Bedarf an mineralischen Rohstoffen unter Berücksichtigung des Einsatzes von Recycling-Baustoffen, Frankfurt/Main.
- Sprung, S. (1981): Technologische Probleme beim Brennen des Zementklinkers. Ursache und Lösung. Düsseldorf (Schriftenreihe der Zementindustrie 56).
- Sprung, S. (1992): Umweltentlastung durch Verwertung von Sekundärrohstoffen. In: Zement-Kalk-Gips 45 (1992) H. 5, S. 213-221.
- Sprung, S./Sylla, H.-M. (2000): Zemente mit „individualisierten“ und „besonderen“ Eigenschaften. In: Bauhaus-Universität Weimar (Hrsg.): ibausil – 14. Internationale Baustofftagung. Tagungsbericht Band 1, Weimar.
- Tegethoff, F. W. (2000): Calciumcarbonat. Von der Kreidezeit ins 21. Jahrhundert, Basel u. a.
- Verein Deutscher Zementwerke (2000): Zement Taschenbuch 2000, 49. Ausgabe Düsseldorf.
- Verein Deutscher Zementwerke/Bundesverband der Deutschen Zementindustrie (2000): Interne statistische Erhebungen zur Hüttensanderzeugung.
- Verein Deutscher Zementwerke/Forschungsinstitut der Zementindustrie (1999): Tätigkeitsbericht 1996-99.
- Verein Deutscher Zementwerke/Forschungsinstitut der Zementindustrie (2000): Verminderung der CO₂-Emissionen – Beitrag der deutschen Zementindustrie. Monitoring-Bericht 2000.
- Verein Deutscher Zementwerke/Forschungsinstitut der Zementindustrie (2002): Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2000.

