

Roadmap Industrie

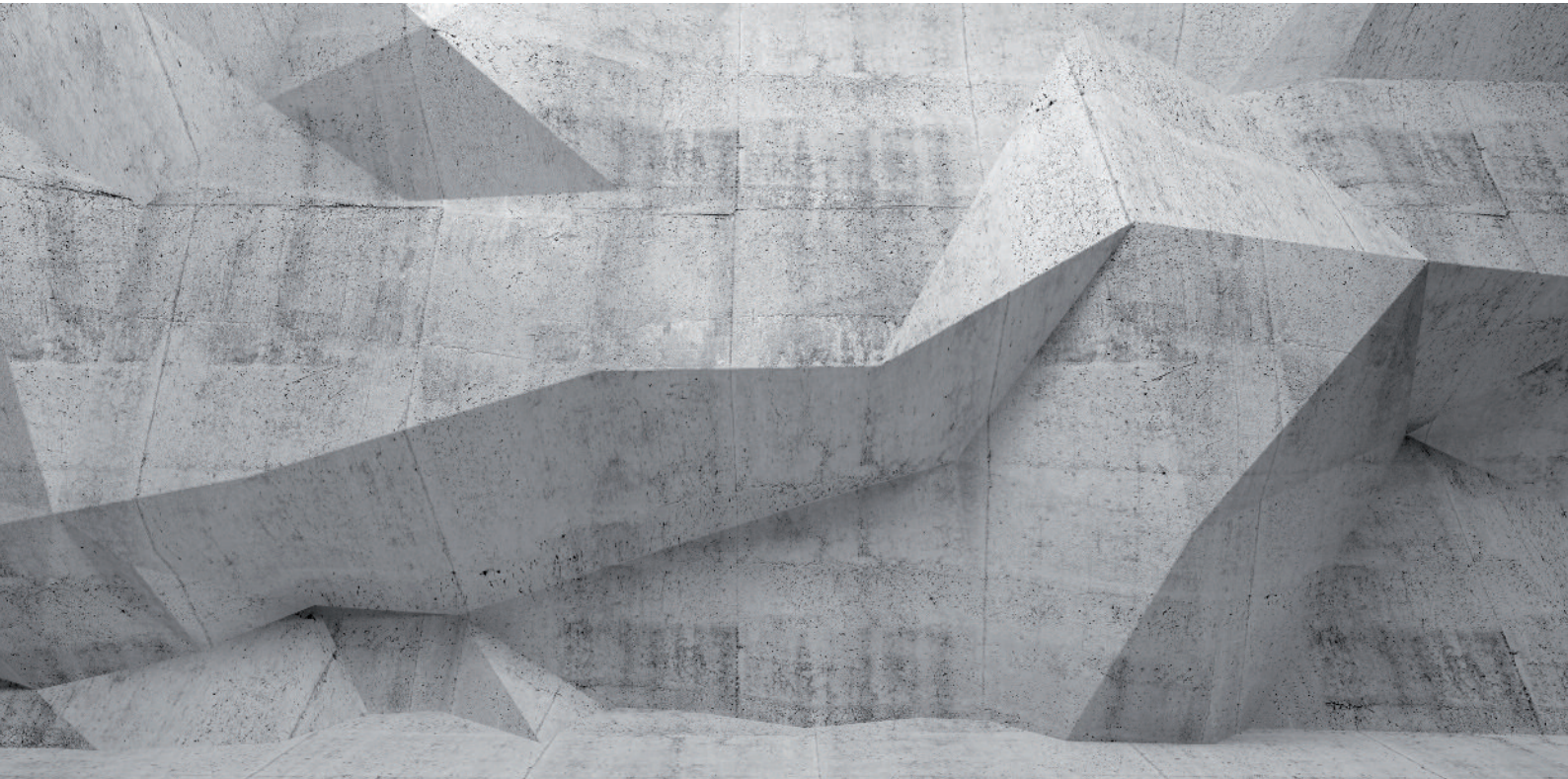
F&E-Fahrplan Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie

Zement

Diskussionspapier/Überarbeitete Fassung – Juli 2014



Institut für Energietechnik und Thermodynamik
Autoren: Markus Haider, Andreas Werner



Die vorliegende F&E-Roadmap ist im Auftrag des Klima- und Energiefonds entstanden. Die Erstellung des Berichts erfolgte durch das Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz in Kooperation mit dem AIT Austrian Institute of Technology.

Das Institut für Energietechnik und Thermodynamik der Technischen Universität Wien sowie das Clusterland Oberösterreich wurden über Werkverträge beteiligt. Weitere Beiträge wurden vom Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik der Montanuniversität Leoben beigesteuert.

Impressum

Herausgeber	Klima- und Energiefonds der österreichischen Bundesregierung Gumpendorfer Straße 5/22, 1060 Wien E-Mail: office@klimafonds.gv.at , Internet: www.klimafonds.gv.at
Projektbetreuung	Elvira Lutter, Programm-Management/Klima- und Energiefonds
Autoren	Markus Haider, Andreas Werner (Technische Universität Wien)
Grafische Bearbeitung	r+k kowanz
Foto	© eugeneseergeev – Fotolia
Herstellungsort	Wien, November 2014

Die hier dargestellten Inhalte spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider. Weder der Klima- und Energiefonds noch das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) oder die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) übernehmen Verantwortung für jegliche Verwendung der in dieser Publikation enthaltenen Informationen.

Inhalt

1.0	Erläuterungen zum Diskussionspapier	2
2.0	Erläuterungen der Autoren	2
3.0	Beschreibung der österreichischen Akteure	2
3.1	Anzahl Unternehmen, Standorte	2
3.2	Spezifika (Sub-Branchen, Herstellungsvarianten)	2
3.3	Stand der Technik	3
4.0	Trends	3
4.1	Zukunftsmärkte	3
4.2	Thematische Schwerpunkte	3
5.0	Bedarf der Industrie	3
5.1	Energieträger, Rohstoffe	3
5.2	FTI-Themenfelder	4
5.3	Begleitmaßnahmen	4
6.0	Absehbare technologische Neuerungen	4
6.1	Nach Ebene	4
6.2	Nach Technologiefeld	4
6.2.1	Entwicklung neuer energieeffizienter Produktionsprozesse	4
6.2.2	Reduktion des Energieeinsatzes im Prozess	4
6.2.3	Nutzung von Abwärme	5
6.2.4	Hocheffiziente (dezentrale) Stromerzeugung und -nutzung	6
6.2.5	Einsatz von Ersatzbrennstoffen	6
6.2.6	Einsatz von Ersatzrohstoffen	7
6.2.7	Industrielle Energiemanagementsysteme	7
6.2.8	Verfahren/Technologien zur Reduktion und Nutzung von Treibhausgasemissionen	7
6.2.9	Alternative Zemente und Bindemittel	9
7.0	Literatur	11

1.0 Erläuterungen zum Diskussionspapier

Dieses Diskussionspapier wurde im Zuge des Arbeitspakets 2 des Projekts „Roadmap Industrie – F&E-Fahrplan Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie“ (FFG-Nr. 843864) angefertigt. Es beschreibt die österreichischen Akteure, im Fall der energieintensiven Industrie deren Bedürfnisse und im Fall

österreichischer Technologielieferanten (Anlagenbau) deren Angebot. Technologische Möglichkeiten gemäß dem Stand und den Zielen der aktuellen Forschung werden angeführt, um in folgenden Arbeitsschritten eine Baseline zu kreieren.

2.0 Erläuterungen der Autoren

Die nachfolgenden Vorschläge wurden auf Basis von Diskussionen mit VertreterInnen der Werke, Beiträgen

der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie sowie der Literatur erstellt.

3.0 Beschreibung der österreichischen Akteure

3.1 Anzahl Unternehmen, Standorte

Im Folgenden sind österreichische Zement- und Mahlwerke angeführt.

- Zementwerk Hatschek GmbH (Gmunden, OÖ),
- Kirchdorfer Zementwerk Hofmann GmbH (Kirchdorf an der Krems, OÖ),
- Lafarge Zementwerke GmbH (Mannersdorf, NÖ),
- Lafarge Zementwerke GmbH (Retznei, ST),
- Schretter & Cie GmbH & Co KG (Vils, T),
- SPZ Zementwerk Eiberg GmbH & Co KG (Kufstein, T),
- W & P Zement GmbH (Klein St. Paul, K),
- W & P Zement GmbH (Peggau, ST),
- Wopfinger Baustoffindustrie GmbH (Waldegg, NÖ),
- Zementwerk LEUBE GmbH (St. Leonhard, S).

3.2 Spezifika (Sub-Branchen, Herstellungsverfahren)

Wärmetauscherturm (vier- oder fünfstufig; mit/ohne Kalzinator)

Rohmaterialfeuchte → gibt Verfügbarkeit der Restwärme vor

Satelliten-Kühler im Zementwerk Gmunden, sonst Rostkühler

Anzahl der Stufen im Wärmetauscherturm

- Spezifischer Energieverbrauch thermische Linie
- Luftreinhaltung steigert Energieverbrauch (Gebläse etc.)
- Biogene Brennstoffe → höhere Feuchte → mehr Abgas

Mahltechnik bei der Zementvermahlung

3.3 Stand der Technik

Zur Zementproduktion ist eine Best Available Technology Conclusion (BATC sind Nachfolgedokumente der

BREF gemäß IPPC-Richtlinie) für die Herstellung von Zement verfügbar.¹

4.0 Trends

4.1 Zukunftsmärkte

Aktuell wird der Zementmarkt regional beliefert. Der nationale Absatz ist derzeit rückläufig (Baubranche ist rückläufig).

Für den Fall einer relativen Verschlechterung der im internationalen Wettbewerb stehenden Unternehmen (z. B. durch hohe CO₂-Zertifikats-Preise) besteht die Gefahr des Klinkerimports z. B. aus Nordafrika oder dem Nahen Osten und somit einer Reduktion der nationalen Wertschöpfung auf lokale Vermahlung von importiertem Zementklinker und Zumischung von lokalen Zumahlstoffen (Kalkstein, Gips etc.). Dazu gibt es Studien von McKinsey (2008) und BCG (2008).

Der Exportanteil durch die Zementindustrie ist relativ gering.

4.2 Thematische Schwerpunkte

- Energieeffizienz, Emissionen
- Erhöhung der Zumahlstoff-Rate, in der Folge weniger CO₂
- Eigenschaften des Zements richten sich nach den technischen Anforderungen (z. B. Festigkeiten, Erstarrungszeiten etc.)

5.0 Bedarf der Industrie

5.1 Energieträger, Rohstoffe

- Mehr alternative, biogene Brennstoffe
- Weg von fossilen Brennstoffen wie Kohle, Erdgas, Schweröl etc.
- In Richtung Kunststoffe, Reifen, Papierfaserreststoffe, Tiermehl etc.
- Wichtig ist die Verfügbarkeit von Hochofenschlacke und Kohle-Flugasche (die Zementindustrie ist einerseits von der aktuellen Schließung von Kohlekraftwerken betroffen, andererseits und noch stärker würde sie von einer Abwanderung der Stahlindustrie aus Ö und EU betroffen sein)

¹ Amtsblatt der EU (2013) L 100, Jahrgang 56, 9. April 2013: Commission Implementing Decision of 26 March 2013 establishing the best available techniques (BAT) conclusions under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council on industrial emissions for the production of cement, lime and magnesium oxide.

5.2 FTI-Themenfelder

- Substitution fossiler Brennstoffe durch alternative, biogene Brennstoffe
- Thermochemische Wärmespeicherung
- Verstromung von Abwärme
- Heißgasfiltration
- Katalytische Entstickung
- Produktentwicklung inkl. normativer Vorbereitung

5.3 Begleitmaßnahmen

- EMAS-System; Energiemanagementsysteme etc.
- Energieeffizienzstudie der österreichischen Zementindustrie (Allplan, 2010)
- Eigenstromerzeugung als Inhalt des Ökostromgesetzes
- Anwendungstechnik (maßgeschneiderte Zemente für die unterschiedlichen Anwendungsbereiche im Hoch- und Tiefbau)

6.0 Absehbare technologische Neuerungen

6.1 Nach Ebene

- a. Komponentenebene
 - Heißgasfilter, Verstromung, Wärmespeicherung, Zusatzfeuerungs-systeme, Wärmetransformation
- b. Einzelprozessebene bzw. Anlagenebene (Multiprozessebene)
 - Alternative Mahlkonzep-te
 - Vermehrt Zumahlstoffe einsetzen (Klinker-Zement-Faktor optimieren)
 - Integrale Abwärme-Verstromung (siehe z. B. Referenzanlage Rohrdorf)

6.2 Nach Technologiefeld

6.2.1 Optimierung bestehender und Entwicklung neuer energieeffizienter Produktionsprozesse

Zur Herstellung von Zementklinker ist das Trockenverfahren Stand der Technik. Bei diesem Verfahren wird das Rohmehl mit den heißen Ofenabgasen und der zurückgewonnenen Abwärme aus dem Klinkerkühler vorgewärmt und vorkalziniert, bevor es anschließend dem Drehrohrofen für den eigentlichen Sinterprozess zugeführt wird. Durch das Trockenverfahren wird gegenüber anderen Verfahren, wie z. B. dem Nass- oder Halbnassverfahren, wie sie derzeit noch weltweit im Einsatz sind, eine beträchtliche Energieeinsparung erreicht.

Die österreichische Zementindustrie hat sämtliche produzierenden Öfen vollständig auf das Trockenverfahren und damit auf den aktuell modernsten Produktionsprozess umgestellt. Einzelne Potenziale zur weiteren Optimierung innerhalb dieses Prozesses bewegen sich nachweislich nur mehr im geringen Bereich (Allplan, 2010).

Breakthrough-Technologien, die gegenüber dem Trockenverfahren zu einer weiteren signifikanten Effizienzsteigerung führen, sind derzeit nicht in Sicht. Eine fundamentale Änderung der derzeitigen Produktionstechnologie, die unter Beibehaltung der von einer entwickelten Bauindustrie nachgefragten hohen Produktanforderung zu einer signifikanten Reduktion des spezifischen Energiebedarfs führt, erscheint damit aus heutiger Sicht unwahrscheinlich.

6.2.2 Reduktion des Energieeinsatzes im Prozess

Grundsätzlich weist der Zementherstellungsprozess mit ca. 70 % (chemische Energie zur Bildung der Klinkermineralien, Trocknungsenergie und Wärmeauskopplung bezogen auf den thermischen Energieeinsatz) im Vergleich zu anderen Industrieprozessen einen insgesamt hohen Wirkungsgrad auf. Der Gesamtenergiebedarf in der Zementindustrie unterteilt sich in etwa 13 % elektrische Energie und etwa 87 % thermische Energie.

Elektrischer Energiebedarf:

Elektrische Energie wird in der Zementindustrie vor allem für Mahlprozesse, aber auch für Umweltschutzmaßnahmen benötigt. Bei den Mahlprozessen ist derzeit kein Potenzial für signifikante Verbesserung der Energieeffizienz durch Break-through-Technologien in Sicht. Im Bereich des Umweltschutzes führen vor allem Maßnahmen zur Minderung der Emissionen von Staub und Stickoxiden zu einem höheren Druckverlust, der überwunden und durch zusätzliche oder stärkere Ventilatoren mit entsprechendem Mehrstrombedarf ausgeglichen werden muss. Bei weiter steigendem Umfang von Umweltschutzmaßnahmen ist mit einem steigenden spezifischen Strombedarf zu rechnen.

Thermischer Energiebedarf:

Die Herstellung von Zementklinker erfordert einen theoretischen Mindestenergiebedarf für die Bildung der Klinkerminerale und zur Einleitung der chemischen Umwandlungsprozesse. Thermische Energie wird in der Zementindustrie darüber hinaus für die Trocknung der Roh- und Brennstoffe benötigt. Eine wesentliche Möglichkeit zur Minderung des thermischen Energiebedarfs und damit einhergehend zur Reduktion der CO₂-Emissionen bietet die Reduktion des Klinkeranteils im Zement. Die Reduktion des Klinkergehalts von Zement kann prinzipiell durch die Zugabe von Zumahlstoffen wie Hüttensand, Kalkstein, Flugasche oder Puzzolan im Mahlprozess erfolgen, wobei die entsprechenden Zementnormen einzuhalten sind. Der geringere Klinkeranteil im Zement muss zumeist durch eine höhere Mahlfeinheit der Zumahlstoffe ausgeglichen werden, wodurch die Senkung des thermischen Energiebedarfs durch eine Erhöhung des elektrischen Energiebedarfs konterkariert werden kann. Weltweit beträgt der durchschnittliche Klinkerfaktor im Zement 76 %, Europa verzeichnet einen Durchschnitt von 73,6 %. Im Vergleich dazu ist es der österreichischen Zementindustrie gelungen, den Klinkergehalt im Zement auf durchschnittlich 70 % abzusenken. Prinzipiell sind noch weitere Reduktionen des Klinkeranteils im Zement denkbar. Die weitere Reduktion ist jedoch an die Produktanforderungen (Frühfestigkeit, Dauerhaftigkeit, chemische Resistenz etc.), an die lokale Verfügbarkeit der Zumahlstoffe und an die Besonderheiten des lokalen Marktes gekoppelt (Frost-Tau-Wechsel, Baukultur, Baugeschwindigkeit, Akzeptanz). Letzteres sind Faktoren, die die Zementindustrie ihrerseits nur sehr begrenzt beeinflussen kann.

Bei der Herstellung von Zementklinker wird das Rohmehl bis zu einer Temperatur von ungefähr 1.450 °C aufgeheizt, bis es im Drehrohrofen zu sintern beginnt. Dies führt zur Bildung der sogenannten Klinkerminerale, welche die charakteristischen Eigenschaften von Zement gewährleisten. Aus technischer Sicht könnte neben der Reduktion des Klinkeranteils im Zement die Absenkung der Brenntemperatur eine weitere Möglichkeit zur Reduktion des thermischen Energiebedarfs bieten. Diesbezüglich werden international verschiedenste Ansätze verfolgt (siehe Punkt 6.2.9 „Alternative Zemente und Bindemittel“). Die Herausforderungen bei diesen Entwicklungen stellen die Beibehaltung der universellen Einsetzbarkeit von Zement (seine breiten Anwendungsbereiche) und die Verfügbarkeit der benötigten Materialien dar.

6.2.3 Nutzung von Abwärme

Die Nutzung von Abwärme zählt in der österreichischen Zementindustrie zum Stand der Technik. Die Abwärme wird dabei vorwiegend werksintern zur Trocknung der Roh- und Brennstoffe verwendet, aber auch extern in Wärmenetze eingespeist. Die in den einzelnen Werken verfügbare Abwärme hängt dabei u. a. von der Rohmaterialfeuchte ab. An zwei Standorten ist einerseits ausreichend Abwärme und sind andererseits geeignete Verbraucher in der Umgebung des Zementwerks mit einem hohen konstanten Wärmebedarf vorhanden, um eine wirtschaftliche Einspeisung von Abwärme in bestehende Fern- und Nahwärmenetze durchführen zu können. An einem dritten Standort wird derzeit die Machbarkeit einer Abwärmeauskoppelung zur Versorgung eines Nahwärmenetzes geprüft.

Bislang wurde in der Zementindustrie immer wieder versucht, die Nutzung des vergleichsweise geringen Potenzials der Strahlungsabwärme des Drehrohrofens zu ermöglichen. In diesem Zusammenhang hat sich jedoch bis heute keine Technologie zum Stand der Technik entwickelt: Zum einen fällt die Wärme auf niedrigem Temperaturniveau an, sodass eine weitere Umwandlung nicht sinnvoll erscheint und die Wärme nur direkt als solche verwendet werden kann. Der zweite, aus betriebstechnischer Sicht wichtigere Punkt ist die notwendige Überwachung der Ofenwandtemperatur mittels Pyrometer als wichtiges Kontrollinstrument zur Vermeidung von Hotspots an der Ofenwand. In der Vergangenheit wurde eine Vielzahl technischer Maßnahmen zur Nutzung der Strahlungsabwärme untersucht und Versuche zur Absenkung

der Strahlungsabwärme durch zusätzliche Isolation der Drehrohrofenwand unternommen. Allerdings blieben auch diese Versuche letztlich erfolglos, da durch die Veränderung des Temperaturgradienten in der Drehrohrwand und der Ausmauerung gasförmige Alkalisalze auf der Ofeninnenwand auskondensieren und zu erheblichen Schäden an Feuerfestmaterial und Verankerungen führten. Aus den hervorgerufenen Temperaturänderungen resultierte eine Veränderung der Ansatzbildung des Zementklinkers an der Innenwandung des Drehrohrs, die bis zu seiner Verstopfung führte.

6.2.4 Hocheffiziente (dezentrale) Stromerzeugung und -nutzung

Für eine effiziente Dampferzeugung aus Abwärme sind hohe Abgastemperaturen erforderlich, welche in der Zementindustrie nur in einzelnen Fällen vorliegen. An keinem Standort der österreichischen Zementindustrie wird der Energieträger Dampf erzeugt. Der ORC-Prozess basiert auf einem Wasser-Dampf-Prozess, verwendet jedoch ein organisches Arbeitsmedium, welches bereits bei geringen Temperaturen verdampft. Daher wurde dieser Prozess an allen Standorten auf Basis der vorhandenen Abwärmepotenziale der österreichischen Zementindustrie im Zuge einer umfassenden Potenzialanalyse ausgiebig untersucht (Allplan, 2010). Nachfolgend ist das Potenzial für den ORC-Prozess in der österreichischen Zementindustrie dargestellt:

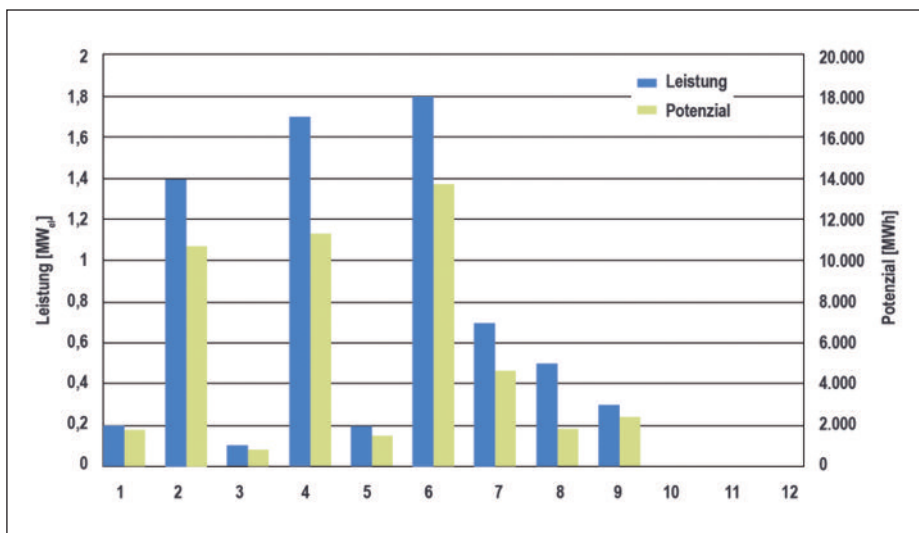


Abbildung 1:
Technisches Potenzial für den ORC-Prozess in der österreichischen Zementindustrie (Quelle: Allplan, 2010)

Es konnte jedoch kein Zementwerk gefunden werden, wo sich dieser Prozess innerhalb eines wirtschaftlich vertretbaren Zeitraums rentiert. Die statistischen Amortisationszeiten lagen damals bei mehr als fünf Jahren. Seit der Potenzialanalyse sind weitere Einflussfaktoren erschwerend hinzugekommen. So verzeichnen die Strompreise in den letzten Jahren sinkende Tendenz und verlängern damit den Zeitraum, innerhalb dessen sich Investitionen in die Eigenstromerzeugung lohnen. Auch die zuletzt in Österreich aufgetretene Diskussion über die Besteuerung der Eigenstromerzeugung verunsichert zunehmend die für diese Maßnahme langfristig erforderliche Planungssicherheit. Eine zunehmende Bedeutung könnte die Eigenstromversorgung hingegen zukünftig unter dem Blickwinkel der Versorgungssicherheit erlangen.

6.2.5 Einsatz von Ersatzbrennstoffen

Ersatzbrennstoffe sind aufgrund ihres niedrigeren Kohlenstoffgehaltes und des höheren Anteils biogener Fraktionen zur Senkung der CO₂-Emissionen geeignet. Der Einsatz von Ersatzbrennstoffen in der Zementindustrie hängt von mehreren Faktoren ab. Dazu zählen Anforderungen an die Ofentechnologie, technische Eigenschaften von Ersatzbrennstoffen, ihre Aufbereitung, Qualität und Verfügbarkeit, die soziale Akzeptanz von Ersatzbrennstoffen sowie die Abfallgesetzgebung. Die Internationale Energieagentur prognostiziert, dass der Anteil von Ersatzbrennstoffen am thermischen Gesamtenergiebedarf in der Zementindustrie in entwickelten Regionen bis zum Jahr 2030 auf 40–60 % gesteigert werden kann. Zu unterstreichen ist dabei,

dass die Ersatzbrennstoffe in der Zementindustrie im Gegensatz zur reinen Monoverbrennung nicht nur thermisch, sondern auch stofflich verwertet werden: Die aus den Brennstoffen entstehenden Aschen werden vollständig im Produkt eingebunden. Ersatzbrennstoffe liefern damit wertvolle Bestandteile, welche für die Bildung der Klinkerminerale erforderlich sind. Dadurch können die natürlichen Ressourcen geschont und der Einsatz von fossilen Energieträgern weiter zurückgedrängt werden. Dieses sogenannte CO-Processing ist Teil eines innovativen Rückgewinnungsprozesses, der inzwischen auch zum Stand der Technik erklärt wurde.

Der Einsatz von Ersatzbrennstoffen erfordert umfangreiche Erfahrung zur Anpassung des Produktionsprozesses an die unterschiedlichen Brennstoffeigenschaften und Anlageninvestitionen vor allem im Bereich der Lagerung, Behandlung und Aufbereitung der Brennstoffe. Die österreichische Zementindustrie weist heute bereits mit einem Anteil der Ersatzbrennstoffe von 72,4 % am thermischen Gesamtenergiebedarf ein im internationalen Vergleich überdurchschnittlich hohes Niveau auf. Aus technischer Sicht sind noch höhere Einsatzraten prinzipiell nicht ausgeschlossen.

Biogas in Form von vergaster Biomasse kann als Ersatz von fossilen Brennstoffen eingesetzt werden. Diese Technologie wurde von Andritz in Nordeuropa wirtschaftlich implementiert, für Österreich wird seitens des VÖZ angesichts der Versorgungssituation mit Biomasse kein Potenzial zur Umsetzung gesehen.

6.2.6 Einsatz von Ersatzrohstoffen

Kalziumoxid ist einer der Hauptbestandteile von Zement. Die Quelle für Kalziumoxid ist üblicherweise Kalziumkarbonat, welches in Kalkstein und Mergel enthalten ist. Durch den Einsatz von geeigneten kalziumoxidhaltigen und bereits entsäuerten Ersatzrohstoffen können die CO₂-Emissionen und der thermische Energiebedarf bei der Zementherstellung gesenkt werden. Zu den für die Zementindustrie geeigneten Materialien zählen beispielsweise Hüttensand und Flugaschen. Hierbei handelt es sich um Produkte der Stahlindustrie bzw. Kohlekraftwerksindustrie, deren Verfügbarkeit von der Produktionstätigkeit dieser Industrie und ihrem Erhalt in der nahen Umgebung abhängt. Beim Einsatz von Ersatzrohstoffen in der Zementindustrie ist zu beachten, dass für Zement spezielle Qualitätsvorgaben einzuhalten sind. Dies bedingt wiederum eine genau definierte Rohmehlzusammensetzung, mit der ein einwandfreier Ofenbetrieb gewährleistet und die spezifischen Produkteigenschaften des Zements wie z. B. Festigkeit, Dauerhaftigkeit oder chemische Resistenz erreicht

werden können. Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit geeigneter Ersatzrohstoffe werden diese in der Zementindustrie vorwiegend als Zuschlagstoffe eingesetzt. Auf diese Weise kann der Klinkeranteil im Zement und damit der thermische Energiebedarf zur Zementherstellung insgesamt reduziert werden. Würde es gelingen, zusätzliche geeignete Ersatzrohstoffe verfügbar zu machen, könnte dies zu einer weiteren Verbesserung der Emissions- und Energieeffizienz in der Zementindustrie führen. Als eine der weiteren Möglichkeiten für die Verwendung von bereits entsäuerten Zementbestandteilen wurde im Betonabbruch enthaltener Zementstein in Erwägung gezogen. Bislang konnte jedoch kein Verfahren entwickelt werden, mit dem der Zementstein unter einem vertretbaren Energieeinsatz zufriedenstellend von den übrigen Bestandteilen im Betonabbruch getrennt werden kann. Somit würde dieser Bereich eine Möglichkeit für weiteren Forschungsbedarf bieten.

6.2.7 Industrielle Energiemanagementsysteme

Einige Zementwerke haben bereits Umwelt- und Energiemanagementsysteme installiert, in weiteren Werken werden derzeit die Vorteile der Einführung von Energie- und Umweltmanagementsystemen untersucht. Bisherige Erfahrungen zeigen, dass diese Systeme mit fachkundigen Personen, welche über die erforderlichen Kenntnisse des komplexen Produktionsprozesses verfügen, zielführend betrieben werden können. Eine zunehmende Bedeutung der Energiemanagementsysteme kann im Zuge der europäischen Energieeffizienzrichtlinie erwartet werden.

6.2.8 Verfahren/Technologien zur Reduktion und Nutzung von Treibhausgasemissionen

Zur Reduktion der Treibhausgase wurden in der österreichischen Zementindustrie neben der Umstellung der Öfen auf den Stand der Technik der Einsatz von Ersatzbrennstoffen, die Reduktion des Klinkeranteils im Zement und der Einsatz alternativer Rohstoffe forciert. Diese Maßnahmen wurden in den obenstehenden Absätzen bereits näher erläutert.

Nachfolgend soll ein kurzer Einblick in den Stand der Erforschung der Technologien zur CO₂-Abscheidung gegeben werden. Die Forschungsagentur der europäischen Zementindustrie ECRA hat im Jahr 2007 ein langfristiges Projekt zur Erforschung von Carbon Capture and Storage initiiert. Das Konsortium für dieses Projekt besteht aus Zementherstellern, Zementverbänden

und -vereinen, Anlagenherstellern und Gaslieferanten. Im Zuge des Projektes soll die technische und wirtschaftliche Machbarkeit der Abscheidung von CO₂ in der Zementindustrie als Voraussetzung für eine sichere geologische Speicherung untersucht werden. Für die Zementindustrie stellen vor allem die hohen Rauchgasvolumen, die Abgaszusammensetzung und der Reinheitsgrad des Abgases eine Herausforderung dar. Um auch die prozessbedingten CO₂-Emissionen abscheiden zu können, werden die sogenannte Post-Combustion-Technologie und die Oxyfuel-Technologien näher untersucht.

Nachfolgend werden einige Beispiele für Post-Combustion-Technologien aufgezählt:

- **Chemische Absorption:** Die chemische Absorption mit Hilfe von Aminen hat sich in anderen Bereichen wie der chemischen Industrie etabliert, wo die Rauchgasvolumen und Absorptionszyklen im Vergleich zur Zementindustrie gering sind. Die Herausforderung liegt nun darin, diesen Prozess auf die Größenordnungen der Zementindustrie umzurüsten und effizientere Absorbentien zu entwickeln. Um eine Zersetzung der Absorbentien zu vermeiden, ist für die Anwendung dieser Technologie die Reduktion von SO₂, Feinstaub und Stickoxiden im Rauchgas erforderlich. Aufgrund der hohen Kosten müssen Absorbentien zudem regeneriert und wiederverwendet werden. Die Regeneration in einem Verdampfer ist mit hohen Energieverbräuchen verbunden und erfordert die Installation eines zusätzlichen Kraftwerks wie z. B. einer kohle- oder gasbefeuerten Kesselanlage, deren CO₂-Emissionen wiederum abgeschieden werden müssten.
- **Membrantechnologien:** Membrantechnologien können sich dann als eine taugliche Option erweisen, wenn geeignete Materialien und Wäsche-technologien entwickelt werden können. Derzeit ist es fraglich, ob der Bau von Membranreaktoren in den für die Zementindustrie erforderlichen Größenordnungen aus technischer Sicht möglich ist.
- **Carbonat Looping:** Beim Carbonat-Looping-Verfahren wird Kalk als Kreislaufmedium für den Prozess eingesetzt. Bei diesem Prozess wird Kalziumoxid mit dem CO₂ aus dem Abgas in Kontakt gebracht und im Zuge eines Sorptionsprozesses Kalziumkarbonat erzeugt. Aus dem Kalziumkarbonat wird anschließend das CO₂ ausgetrieben, wodurch ein CO₂-Strom mit einem hohen Reinheitsgrad zur anschließenden Kompression und Einleitung in eine CO₂-Transportinfrastruktur bzw. zur unterirdischen Speicherung erzielt werden kann. Dieser Prozess wird derzeit hinsichtlich der Möglichkeit einer Nachrüstung bestehender Zementanlagen eingehender untersucht. Die Synergie mit der

Zementindustrie ergibt sich dadurch, dass sich das deaktivierte Kalzium-Sorbens für den Einsatz als Rohmaterial im Klinkerproduktionsprozess eignen könnte.

Bei der Oxyfuel-Technologie handelt es sich um eine weitere in Erforschung befindliche Methode zur CO₂-Abscheidung an Zementöfen:

- Beim Konzept der Oxyfuel-Technologie wird Sauerstoff anstelle von Luft in den Zementöfen zur Verbrennung eingesetzt. Dadurch sollte ein vergleichsweise reiner CO₂-Strom erzielt werden, der z. B. komprimiert und in eine CO₂-Transportinfrastruktur eingeleitet werden kann. Die Verwendung von Sauerstoff anstelle von Luft ist jedoch mit erheblichen Auswirkungen auf den Zementproduktionsprozess (Änderung der Energiebilanz, höhere Flammentemperatur) verbunden, wodurch diese Technologie nach ihrer Erprobung aus heutiger Sicht aufgrund ihrer speziellen Anforderungen nur für neue Anlagen in Frage kommen wird. Unabhängig davon steckt diese Technologie derzeit in den Kinderschuhen und erfordert intensive Untersuchungen, bevor sie in einer Pilotanlage eingehender untersucht werden kann. Eine entsprechende Pilotanlage könnte frühestens im Jahr 2020 in Betrieb gehen. Die Anwendung in einer realen Zementanlage mit üblichen Größenordnungen wird nicht vor 2025 erwartet.

Das ECRA-Projekt zur Erforschung der CO₂-Abscheidung ist auf eine globale Perspektive ausgelegt, bei der auch der Nachhaltigkeitsaspekt betrachtet werden soll. Dies impliziert, dass nicht nur die CO₂-Emissionen als solche, sondern auch der sehr hohe Energieverbrauch für Anlagen mit CO₂-Abscheidungstechnologie betrachtet wird. Bis heute liegen für keine der beschriebenen Methoden Ergebnisse aus Versuchen an Drehrohröfen im industriellen Maßstab vor. Die Betrachtungen für die CO₂-Abscheidung in der Zementindustrie basieren daher vorwiegend auf theoretischen Studien mit begrenzter experimenteller Evaluierung. Weitere Anstrengungen zur Erforschung, Entwicklung und Demonstration der CO₂-Abscheidetechnologie sind erforderlich, bevor diese wirtschaftlich auf den Klinkerherstellungsprozess im industriellen Maßstab angewendet werden kann. Bisherige Forschungsergebnisse führen zur Erkenntnis, dass die Vermeidungskosten pro Tonne CO₂ inklusive Investition, Transport und Speicherung bei Post-Combustion-Technologien im Bereich von 50–100 €/t und bei der Oxyfuel-Technologie im Bereich von 40–60 €/t liegen werden. Die Herstellkosten für Zement würden durch die CO₂-Abscheidung signifikant ansteigen. Es wird erwartet, dass sich der Stromverbrauch für die Klinkerherstellung durch diese Technologie

verdreifachen wird und sich die Produktionskosten um 40–50 % erhöhen werden.

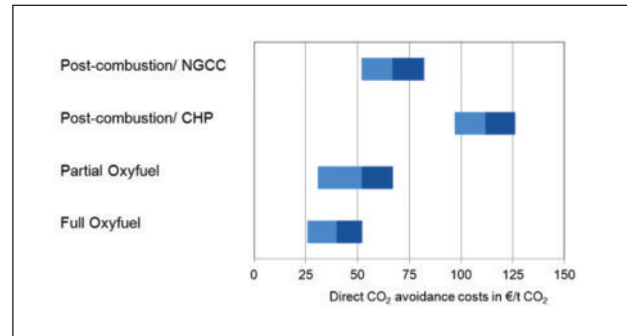
Abbildung 2:
Direkte CO₂-Vermeidungskosten von unterschiedlichen Technologien in der Zementindustrie
[Quelle: ECRA 2014]

Die Grafik zeigt, dass neben den technischen Aspekten auch die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für die zukünftige Anwendung der CO₂-Abscheidungstechnologien entscheidend sein werden. Die Anwendung der CO₂-Abscheidung wird zudem davon abhängen, ob die politischen Rahmenbedingungen Carbon Capture and Storage zulassen und das Risiko von Carbon Leakage (damit wird die CO₂-bedingte Verlagerung der Produktion in das Ausland bezeichnet) effektiv eindämmen werden. Weiters müssen die notwendigen Anreize, Forschungsförderungen und die langfristige Verbindlichkeit durch eine politische Unterstützung gewährleistet werden. Zur Nutzung bzw. Verwertung von abgeschiedenem CO₂ müssen noch geeignete Wege gefunden werden. Die öffentliche Akzeptanz für den Transport und die Speicherung von CO₂ wird dabei eine wichtige Rolle spielen. Die Kompression und unterirdische Speicherung stellen eine Möglichkeit dar, die jedoch in Österreich per Gesetz erheblich eingeschränkt wurde. Die Produktion von kohlenstoffhaltigen Getränken bietet angesichts der großen CO₂-Mengen in der Zementindustrie ein unrealistisches Potenzial. Andere Untersuchungen zielen auf CO₂ als Grund- bzw. Rohstoff zur Herstellung von Kunststoffen und Lösungsmitteln oder die Methanolsynthese ab. Bislang scheint die Öffentlichkeit keine gefestigte Meinung zur CO₂-Abscheidung zu haben, hier bestünde durchaus entsprechender Bildungs- und Informationsbedarf.

6.2.9 Alternative Zemente und Bindemittel

Schon seit längerer Zeit werden Alternativen zu Zement bzw. alternative Bindemittel erforscht. Hauptziel der Entwicklungen ist in den meisten Fällen die Reduktion des Klinkeranteils bzw. eine Verringerung des Anteils von Kalziumoxid im Zement, da die Kalzinierung von Kalziumkarbonat einen wesentlichen Energieeinsatz erfordert und Hauptursache für die produktionsbedingten Brennstoff- und Prozessemissionen ist.

In der folgenden Abbildung ist eine Kostenabschätzung für die vermiedene Tonne CO₂ dargestellt:



Mit alternativen Bindematerialien sind wesentliche Herausforderungen verbunden, welche primär auf der begrenzten Verfügbarkeit der benötigten Materialien für die Produktion und die beschränkte Anwendbarkeit der erzeugten Produkte beruhen. Im Folgenden sollen ausgewählte Konzepte für neue Bindemittel kurz vorgestellt werden.

Kalksteinbasierte Zemente:

- Kalziumsulfatbinderzement kann bei niedrigeren Temperaturen hergestellt werden und ist aufgrund des geringeren Kalkgehaltes im Vergleich zu herkömmlichem Portlandzement mit geringeren CO₂-Emissionen verbunden. Diesem Vorteil steht vor allem die schwierige und zeitintensive Verarbeitungsweise entgegen.
- Als ein Vertreter dieser Gruppe basiert „Aether“ auf einer alternativen Produktionsmethode, wo der Anteil von Kalziumoxid reduziert und durch Aluminium- sowie Siliziumoxid substituiert wird. Aufgrund des geringeren Anteils von Kalziumoxid können die Brenntemperatur, der Brennstoffbedarf und die CO₂-Emissionen reduziert werden. Die so produzierten Zemente werden für spezielle Anwendungsbereiche optimiert. Eine Herausforderung stellt die geänderte Rohstoffzusammensetzung dar, die an den heutigen Standorten in der notwendigen Form (Bauxite etc.) nicht zur Verfügung steht.

Kalziumaluminat und Kalzium-Aluminiumoxid-Silikatzemente:

- Zu dieser Gruppe zählt z. B. „Celiment“. Die Herstellung von „Celiment“ erfolgt auf Basis eines geringeren Kohlenstoffgehaltes in der Rohstoffmischung. Anstelle der heute weltweit angewendeten Drehrohren-Technologie erfordert die Herstellung von „Celiment“ die Anwendung von Druckgefäßen (Autoklaven) mit anschließender reaktiver Mahlung. Als ein erstes Anwendungsfeld von „Celiment“

sollen spezielle Baumaterialien wie Füllstoffe, Fliesenkleber, Putze und Mörtel in Erwägung gezogen werden.

- Natürliche und künstliche Puzzolane: Puzzolane können bis zu einem Anteil von 35 % als Ersatz von Zementklinker dienen. Ihre Verfügbarkeit ist jedoch regional sehr unterschiedlich.

Nicht kalksteinbasierte Zemente:

- Magnesiumbasierte Zemente wie „Novacem“, „TecEco“ etc.: Bei diesen Zementen wird Kalziumkarbonat durch korrespondierende Magnesiumkarbonate und -oxide substituiert. Da die Reaktionen bei niedrigeren Temperaturen stattfinden, kann der Energiebedarf um bis zu 30 % verringert werden. Aufgrund der beschränkten Verfügbarkeit der magnesiumbasierten Bestandteile ist ihr Potenzial für den weltweiten Einsatz eingeschränkt.
- „Calera“: Bei diesem Prozess wurde versucht, Kalzium- und Magnesiumionen aus dem Meerwasser zu gewinnen und in Verbindung mit CO₂ und SO₂ zu gewünschten Kalzium- und Magnesiumkarbonaten zu produzieren. Dieser Ansatz wurde letztlich aufgrund der Versauerung des Ozeans, des großen Wasser- und des großen Energiebedarfs nicht mehr weiter verfolgt.
- Geopolymere bestehen aus einer festen reaktiven Komponente und einem alkalischen Aktivator (meist Natronlauge). Da für die Herstellung der reaktiven Komponente kein Kalkstein eingesetzt wird, entstehen im Vergleich zu gewöhnlichem Zement weniger CO₂-Emissionen. Mit Geopolymeren können sehr hohe Festigkeiten für Anwendungen im korrosiven sowie im hohen Temperaturbereich erzielt werden. Die wesentliche technische Herausforderung bei dieser Technologie liegt in der Aufrechterhaltung einer stabilen und definierten Produktqualität sowie der Performance im Beton. Geopolymere benötigen eine hohe Basizität, die erreicht wird, indem der Mischung kaum Wasser zugegeben wird. Die Viskosität wird dadurch sehr hoch und die Verarbeitbarkeit sehr schwierig, der Umgang mit Laugen auf der Baustelle ist zudem mit weiteren Herausforderungen verbunden. Weltweit ist die Verfügbarkeit geeigneter Bestandteile (Flugasche, Hüttensand ...) begrenzt, sodass selbst bei Überwindung der technischen Barrieren Geopolymere nur in begrenzten Mengen produziert werden können.

Bislang hat keines dieser alternativen Konzepte Marktreife erlangt. Es wird nicht erwartet, dass diese Materialien in den nächsten Jahren den derzeitigen Portlandzementklinker signifikant substituieren werden können. Der heutige Anwendungsbereich von Zement basiert auf umfangreichen und jahrzehntelangen praktischen Erfahrungen und der Anpassung der Rezepturen an die regional zum Teil sehr unterschiedlichen klimatischen Bedingungen (Frost-Tau-Wechsel, chemische Resistenz), die strengen Sicherheitsvorgaben (Frühfestigkeit, Dauerhaftigkeit) sowie die hohen Produktanforderungen am Markt (Baukultur und -tradition, Baugeschwindigkeit, Ausschalzeiten-Akzeptanz). Auf diese Weise konnten Zement und seine Zusammensetzung mit weiteren Bestandteilen im Beton über Jahrzehnte optimiert und perfektioniert werden.

Sollten einmal alternative Zemente oder Bindekonzepte das Entwicklungsstadium überwunden haben, wird die eigentliche Herausforderung in ihrer Erprobung in der Praxis und in der Anpassung der Mixturen an die bereits erwähnten regional sehr unterschiedlichen Vorgaben liegen. In diesem Sinne wird die Erforschung der Anwendbarkeit alternativer Zemente mit der erforderlichen Anpassung der Betonmixturen eine wesentliche Breakthrough-Technologie darstellen.

7.0 Literatur

- [1] Allplan (2010): Energieeffizienz in der österreichischen Zementindustrie, Allplan GmbH, Verein Deutscher Zementwerke e.V., 2010, www.zement.at/downloads/energieeffizienzanalyse.pdf
Download am 2014-03-10.
- [2] BCG – Boston Consulting Group (2008): Assessment of the Impact of the 2013-2020 ETS Proposal on the European Cement Industry. Final Project Report, November 2008.
- [3] Mauschwitz (2013): Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie. Berichtsjahr 2012.
www.zement.at/downloads/emissionen_2012.pdf,
Download am 2014-03-10.
- [4] McKinsey (2008): Änderungen der europäischen Richtlinie zum Emissionshandel: Auswirkungen auf die deutsche Zementindustrie. Im Auftrag von: Verein Deutscher Zementwerke e.V. und Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. Düsseldorf, Juni 2008.
www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/UmweltundRessourcen/emissionshandel/EU_ETS_Zementindustrie_DE.pdf,
Download am 2014-03-10.
- [5] VÖZ (2012): Nachhaltigkeitsbericht 2012 der österreichischen Zementindustrie.
www.zement.at/downloads/nachhaltigkeitsbericht_2012.pdf,
Download am 2014-03-10.

Abkürzungsverzeichnis

BAT	Best Available Techniques (dt. beste verfügbare Techniken (BVT))
BATC	Best Available Techniques Conclusions (dt. BVT-Schlussfolgerungen)
BREF	Best Available Techniques Reference Documents (dt. BVT-Merkblätter)
CO	Chemische Formel von Kohlenmonoxid
CO₂	Chemische Formel von Kohlendioxid
ECRA	European Cement Research Academy (dt. Forschungsagentur der europäischen Zementindustrie)
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme (Gemeinschaftssystem für Umweltmanagement und Umweltprüfung)
ETS	Emission Trading Scheme (dt. Emissionshandelssystem)
EU	Europäische Union
FTI	Forschung, Technologie und Innovation
F&E	Forschung und Entwicklung
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control (dt. Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU))
K	Kärnten
NÖ	Niederösterreich
OÖ	Oberösterreich
ORC	Organic Rankine Cycle (Verfahren des Betriebs von Expansionsmaschinen mit einem organischen Arbeitsmittel)
Ö	Österreich
S	Salzburg
SO₂	Chemische Formel von Schwefeldioxid
ST	Steiermark
T	Tirol
t	Tonne
VÖZ	Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie

www.klimafonds.gv.at

In Kooperation mit:

