

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 69 (1977)
Heft: 8-9

Artikel: Energieverbrauch, Substitution der flüssigen Brennstoffe und
Energierückgewinnung in der schweizerischen Zementindustrie
Autor: Eichenberger, Hans / Stopper, Peter
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-941496>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 04.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Hans Eichenberger und Peter Stopper

Der Energiehaushalt der Zementindustrie

Der Portlandzement ist das Produkt einer Mischung von Kalkstein und Kalkmergel bzw. Ton. Das Rohmaterial wird gebrochen, zu Mehl bzw. Schlamm vermahlen und anschliessend bei rund 1450 °C gebrannt. Bei dieser Temperatur gehen die Kalk- und Tonminerale in halbflüssigen Zustand (Sinterung) neue chemische Verbindungen ein, die den Ofen in Form von Klinker-Granalien verlassen. In der letzten Produktionsstufe werden die Klinkerkörner zum feinen Zementpulver vermahlen. Die Zerkleinerung der Rohmaterialien, das Brennen und das Mahlen der Klinkerkörner erfordern Energie in Form von Wärme und Elektrizität. Der weitaus grösste Teil (91 %) entfällt dabei auf die thermische Energie.

Der Energiebedarf des Brennprozesses ist je nach Verfahren verschieden. Beim Nassverfahren wird dem Ofen das unter Wasserbeigabe zu Schlamm aufbereitete Rohmaterial aufgegeben, dessen Wassergehalt von bis zu 35 % durch Wärme zuerst wieder ausgetrieben werden muss. Der spezifische Wärmebedarf je t Klinker liegt zwischen 1,3 und 1,6 Mio kcal. Noch vor wenigen Jahrzehnten waren solche Nassöfen bei der Zementherstellung allgemein üblich, weil der damalige technische Stand der Rohmaterial-Homogenisierung die pneumatische Durchmischung von trockenem Pulver nicht zulies.

Beim Trocken- bzw. Halbtrockenverfahren wird das Rohmaterial dem Ofen entweder trocken, in der Form leicht angefeuchteter Granalien oder aus dem Schlamm zubereiteter und mechanisch ausgepresster Filterkuchen aufgegeben. Der durch Wärme insgesamt auszutreibende Wassergehalt beträgt dabei lediglich noch ca. 5 % (Trocken-

verfahren) bzw. 15 bis 20 % (Halbtrockenverfahren). Der spezifische Wärmebedarf kann dadurch auf unter 1 Mio kcal/t Klinker gesenkt werden. Die schweizerischen Fabriken erreichten beispielsweise 1976 im Mittel 884 000 kcal. Bild 1 zeigt den schematischen Wärmefluss eines modernen Trockenofens. Unter Einschluss der Abgasverwertung zur Rohmaterialtrocknung und der Schwerölaufbereitung wird ein Gesamtwirkungsgrad von 65 % erreicht, was für einen industriellen Wärmeprozess als hoch bezeichnet werden darf.

Der Bedarf an elektrischer Energie für die Erzeugung einer Tonne Zement (Brechen und Mahlen des Rohgesteins, innerbetrieblicher Transport, Mahlen des Klinkers) beträgt heute im schweizerischen Durchschnitt rund 100 kWh, d. h. umgerechnet 86 000 kcal. Vier Fünftel entfallen dabei auf die Mahlprozesse.

Die Gesamtenergiebilanz der Zementindustrie 1959—1976

1976 benötigten die schweizerischen Zementwerke durchschnittlich etwas über 920 000 kcal/t Zement. 1959 belief sich der Verbrauch noch auf fast 1,3 Mio kcal. Innerhalb von 17 Jahren konnte der spezifische Gesamtenergieverbrauch somit um rund 30 % gesenkt werden.

Die Energieeinsparungen konzentrierten sich im wesentlichen auf den Wärmeverbrauch, d. h. den Brennprozess. Durch die Verbesserung der Ofenanlagen — insbesondere den vollständigen Uebergang vom Nass- auf das Trocken- bzw. Halbtrockenverfahren und die Wiederverwertung der Ofenabgase für die Trocknung des Rohmaterials im Verbundbetrieb mit den Rohmehlmühlen — konnte der Wärme-

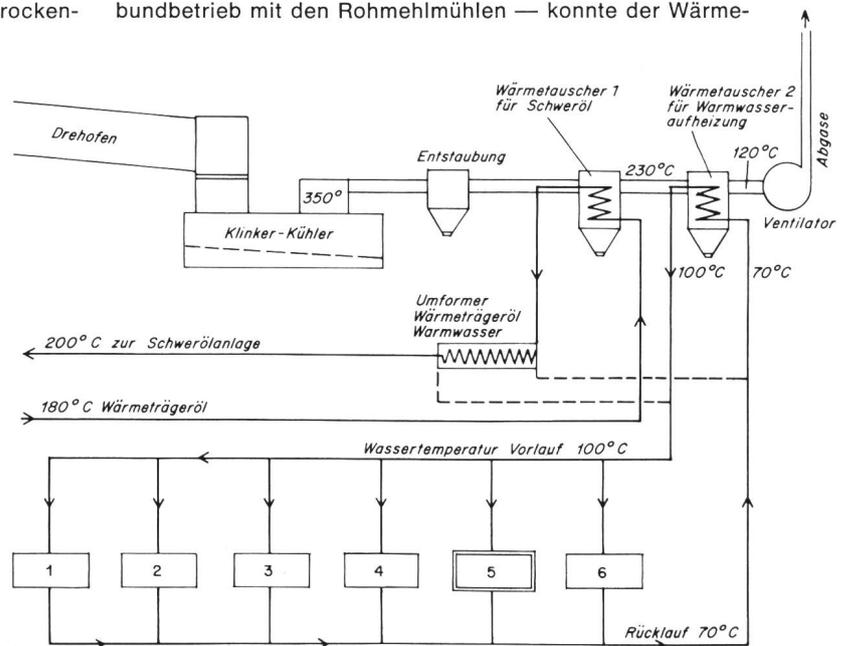
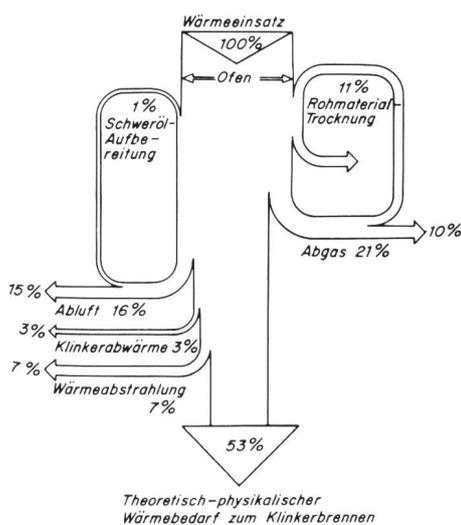


Bild 1, links. Wärmeflussdiagramm eines modernen Trockenofens: Vom Wärme-Input werden rund 53 % für die Umwandlung des Rohmehls in Klinker benötigt (= theoretisch-physikalischer Wärmebedarf). Die restlichen 47 % verlassen den Ofen in Form von Abwärme, welche ihrerseits zu 12 % einer Wiederverwertung (Rohmaterialtrocknung und Schwerölaufbereitung) zugeführt wird.

Bild 2, rechts. Beispiel einer Wärmerecuperation von Kühler-Abluft in einem aargauischen Zementwerk: Ein Teil der 350 °C betragenden Abluft wird in zwei Wärmetauschern für die Schwerölaufbereitung einerseits und die Heizung und Warmwasserzubereitung verschiedener Hochbauten andererseits benützt: 1 Kantine; 2 Verwaltungsgebäude 1; 3 Werkstätten und Verwaltungsgebäude 2; 4 Einfamilienhaus 1; 5 Einfamilienhausüberbauung «Dorf»; 6 Einfamilienhaus 2.

	Gesamtenergieverbrauch Mio kcal/t Zement
1959	1,27
1962	1,24
1965	1,28
1968	1,13
1971	1,02
1974	1,06
1975	1,02
1976	0,92

bedarf beispielsweise in den vergangenen zwei Jahren um nicht weniger als 14 % gesenkt werden. So wurden 1976 im Durchschnitt je t Klinker umgerechnet etwa 90 kg Schweröl verbraucht, 1974 betrug der Wärmebedarf umgerechnet noch rund 105 kg Schweröl.

Möglichkeiten und Grenzen der Substitution und der Wärmerückgewinnung

Substitution der flüssigen Brennstoffe

Kohle

1959 wurden noch über 4/5 des schweizerischen Zementes mit Kohle gebrannt. Im Verlauf der sechziger Jahre fand dann eine Verdrängung durch das wirtschaftlichere Schweröl statt, so dass 1971 der Anteil des Schweröls am Wärmeenergiebedarf bei rund 99 % lag. Die laufenden, zumeist recht massiven Preiserhöhungen auf dem Schweröl lassen die Kohle in jüngster Zeit aber wieder zu einer echten Alternative werden.

Gas

Ein verstärktes Ausweichen auf natürliches Erdgas muss dagegen als wenig sinnvoll bezeichnet werden. Die Zementindustrie ist nämlich zur Verwendung schwefelhaltiger Brennstoffe wie Oel und Kohle prädestiniert, weil ein grosser Teil (über 80 %) des umweltschädigenden Schwefeldioxyds (SO₂) im Klinker eingebunden wird. Das umweltfreundliche Erdgas sollte unseres Erachtens primär als Grundstoff für die chemische Industrie zur Verfügung gehalten werden.

Elektrizität

Auch die Substitution der flüssigen Brennstoffe durch Elektrizität bzw. durch Abwärme aus der Elektrizitätserzeugung (Kernkraftwerke) ist vorläufig wenig erfolgversprechend. Der direkte Einsatz von Elektrizität (Lichtbogen mit Kohleelektroden) ist zwar technisch möglich, jedoch nicht zu verantworten, weil der Verschleiss an Kohleelektroden so gross ist, dass von einer Einsparung gegenüber der Kohlefeuerung nicht gesprochen werden kann.

Der Verwendung von Abwärme aus der Elektrizitätserzeugung in Kernkraftwerken schliesslich stellen sich verschiedene, noch keineswegs gelöste technische Probleme in den Weg: Bei den heute gebräuchlichen Leicht- und Schwerwasserreaktoren und den sich noch im Entwicklungsstadium befindenden schnellen Brüttern liegt die maximale Abwärmtemperatur unter 300 °C. Das für die Zementproduktion notwendige Temperaturniveau beträgt jedoch 1450 °C. Selbst die zukünftigen gasgekühlten Hochtemperaturreaktoren erreichen Kühlgastemperaturen von höchstens 900 bis 950 °C.

Wärmerückgewinnung

Die auch bei einem modernen Trockenofen (Gesamtwirkungsgrad 65 %) noch immer entweichenden und nicht zu vernachlässigenden Wärmemengen können wenigstens teil-

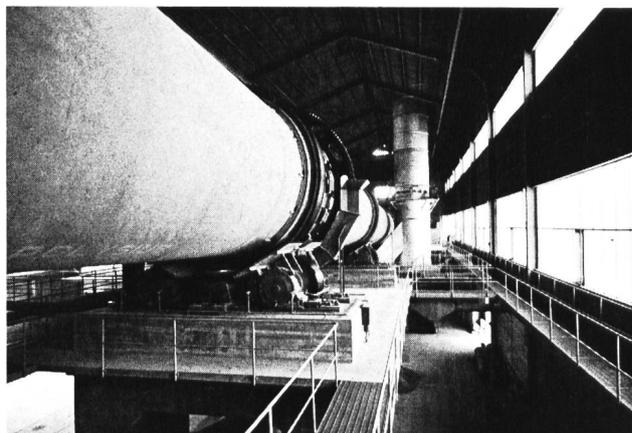


Bild 3. Drehofenanlage, das Herzstück der Zementfabrikation: Im leicht geneigten, langsam rotierenden Ofen (feuerfest ausgekleidete Stahlrohre bis 4½ m Durchmesser) rutscht das Rohmaterial (Rohmehl, angefeuchtete Granalien, ausgepresste Filterkuchen) unter ständig zunehmender Erhitzung der Sinterzone entgegen. Hier gehen die Kalk- und Tonminerale im halbflüssigen Zustand neue chemische Verbindungen ein und verlassen den Ofen in Form des Klinkers. Die Brenntemperatur von 1450 °C wird heute zur Hauptsache mit Schweröl, teilweise mit Kohlestaub oder mit Erdgas, erzeugt. Die physikalischen und chemischen Reaktionen des Brennprozesses laufen dabei in folgender Reihenfolge ab, wobei sie je nach Ofentyp zum Teil auch ausserhalb des Ofens — in einem separaten Wärmeaustauscher — stattfinden können:

		Temperatur
Trockenzone	Verdampfen des freien H ₂ O	ca. 100 °C
Vorwärmzone	Abspalten des gebundenen H ₂ O	bis 600 °C
Kalziniertzone	Dissoziation des CaCO ₃ (CaCO ₃ → CaO + CO ₂)	
Sinterzone	Verbindung des Kalkes mit den Tonbestandteilen, den Silizium-, Aluminium- und Eisen-Oxyden	950 °C bis 1450 °C
Kühlzone	Abkühlen in speziellen Kühlern, Kristallisation der Schmelze	Rückkühlung auf 170 °C bis 50 °C

weise zur Deckung anderweitiger Wärmebedürfnisse herangezogen werden (Gebäudeheizung, Warmwasseraufbereitung).

So ist auf das neueste Beispiel einer aargauischen Zementfabrik hinzuweisen: Vom Klinkerkühler am Ofenausgang wird ein Teil der 350 °C betragenden Abluftmenge abgezweigt und in einer speziellen Anlage entstaubt. In einem ersten Wärmeaustauscher erhitzt dieser Teilgasstrom ein Wärmeträgeröl, welches der Erwärmung des Schweröls für die Befuerung des Ofens dient. Hierauf heizt er in einem zweiten Wärmeaustauscher Wasser auf, welches in einem geschlossenen Kreislauf zwischen der Fabrik und einer nahegelegenen eigenen Wohnüberbauung zirkuliert. Die pro Stunde abgegebene Wärmemenge an das Wasser beträgt 1,2 Mio kcal und dient so der Versorgung von vorläufig rund 40 Wohneinheiten mit Warmwasser und Heizung. Dieses Beispiel zeigt, dass im Bereich der Kühler-Abluft realistische Möglichkeiten einer Wärmerecuperation bestehen, welche nicht ungenutzt bleiben sollten (Bild 2).

Adresse der Verfasser: Dr. Hans Eichenberger und Dr. Peter Stopper, Verein Schweizerischer Zement-, Kalk- und Gips-Fabrikanten, Talstrasse 83, 8001 Zürich.