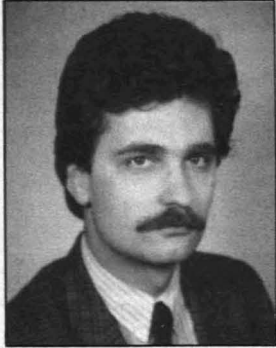


Energie aus der Wirbelschicht

Flexiblere Energieumwandlung durch den Einsatz von Wirbelschichtfeuerungen



Korhan KÖSE, Dipl.-Ing., WIV, Jahrgang 1957, Studium des Wirtschaftsingenieurwesens für Maschinenbau an der TU-Graz, anschließend Projektingenieur bei Enercon Ges.m.b.H. in Graz, ab April 1986 Projektingenieur bei der Firma Enka tecnica in Heinsberg/BRD.

Eine bereits seit mehreren Jahrzehnten bekannte Technologie findet in der letzten Zeit immer mehr Einsatz in der Feuerungstechnik. Wirbelschichtfeuerungen können gegenwärtigen und zukünftig zu erwartenden Anforderungen genügen, deren Erfüllung mit konventionellen Anlagen oft mit einem höheren technischen und finanziellen Aufwand verbunden ist.

Was ist eine Wirbelschicht?

Wird eine ursprünglich in einem Behälter ruhende Feststoffschüttung (z.B. Sand) mit einem Gas durchströmt und die Anströmgeschwindigkeit des Gases langsam gesteigert, gehen ab einer bestimmten Gasgeschwindigkeit die Feststoffpartikel in den Schwebezustand über. Dabei führen sie wirbelnde Bewegungen aus; es entsteht ein Gas/Feststoffgemisch, das in vielen Eigenschaften mit einer Flüssigkeit vergleichbar ist. Dieser Zustand, bei dem eine erkennbare Oberfläche erhalten bleibt, wird als Wirbelschichtzustand (fluidized bed) bezeichnet. Bei kontinuierlicher Steigerung der Gasgeschwindigkeit wird diese Wirbelschicht weiter ausgedehnt und die Partikel werden aus dem Behälter ausgetragen (Flugstromförderung).

Wirbelschichtfeuerungen

Überträgt man diese Gedanken auf die Anwendung in der Feuerungstechnik, wird der erste Zustand (ruhende Schüttung) bei konventionellen Rostfeuerungen und der letzte Zustand bei Staubfeuerungen beobachtet. Die Wirbelschichtfeuerung nimmt somit verfahrenstechnisch den Platz zwischen diesen beiden Feuerungstypen ein. Das Bettmaterial besteht bei Wirbelschichtfeuerungen bis über 95 Massen% aus körnigem Inertmaterial (z.B. Quarzsand, Asche). Nur ein geringer Teil besteht aus dem kontinuierlich eingebrachten Brennstoff und den für die Entschwefelung zudosierten Additiven (Kalkstein), die für die Schwefeleinbindung in der Brennkammer eingesetzt werden. Das Bettmaterial wird meist durch reine Luft, die durch einen Düsenboden eingebracht wird, fluidisiert. Im Wirbelschichtzustand werden durch die gute Durchmischung der Partikel und den guten Kontakt mit der Verbrennungsluft gleichmäßige Reaktionsbedingungen und sehr hohe Wärmeübergangszahlen von etwa 300 bis 500 W/m²K erreicht.

Dadurch ist es möglich, bis zu mehr als 50% der in die Wirbelschicht eingebrachten Brennstoffwärme durch sogenannte Tauchheizflächen aufzunehmen. Diese werden vom Wärmeüberträgermedium (Wasser, Dampf, Luft, etc.) durchströmt und führen die Wärme ab. Durch den Einbau der Tauchheizflächen wird die Betriebstemperatur im allgemeinen auf etwa 800–900 °C reduziert, wodurch auch die Entschwefelung in der Brennkammer sichergestellt und die NO_x-Bildung reduziert wird. Andererseits wird durch Verringerung der

nachgeschalteten Konvektionsheizflächen eine kompaktere Bauweise möglich. Das Prinzip der stationären Wirbelschichtfeuerung ist in Abb. 1 schematisch dargestellt.

Die vergrößerte Verweilzeit des Brennstoffes in der Wirbelschicht erhöht den Verbrennungswirkungsgrad und den Entschwefelungsgrad.

Arten von Wirbelschichtfeuerungen

In der Praxis werden folgende, sich im wesentlichen durch die Art der Wirbelschicht und durch den Betriebsdruck unterscheidende Typen von Wirbelschichtfeuerungen

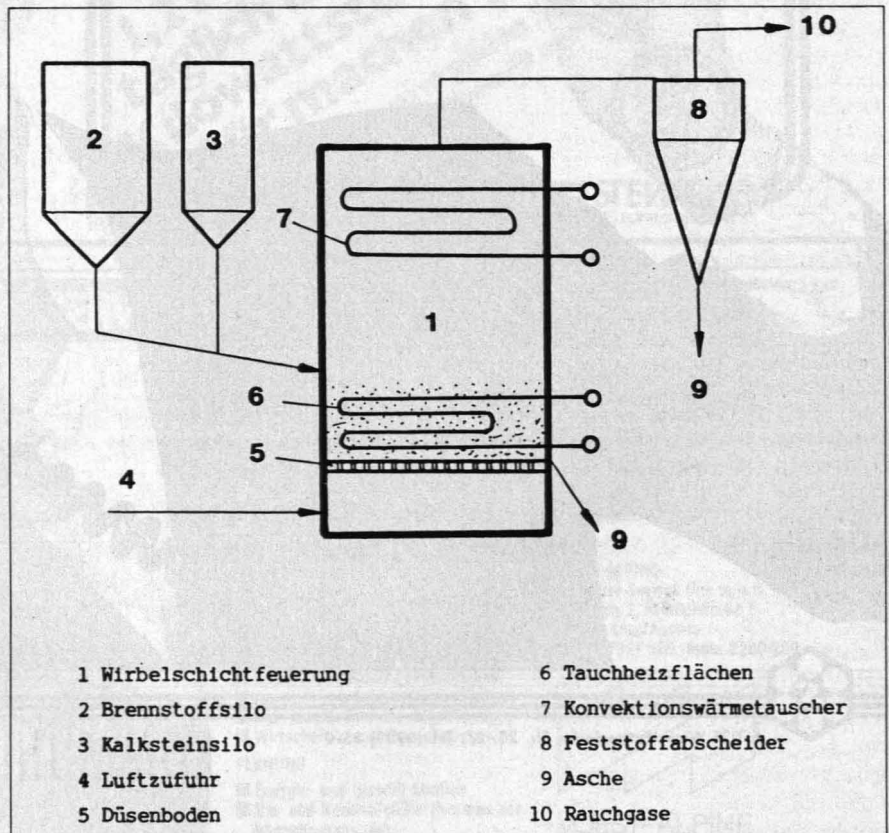


Abb. 1: Prinzipskizze einer stationären Wirbelschichtfeuerung

eingesetzt und entwickelt:

- atmosphärisch-stationäre,
- extern zirkulierende,
- intern zirkulierende und
- druckbetriebene Wirbelschichtfeuerung

● Atmosphärisch-stationäre Wirbelschichtfeuerungen

Diese werden unter Atmosphären-Druck mit relativ geringen Anströmgeschwindigkeiten (etwa 1 bis 3 m/s) betrieben und weisen eine definierte Bettoberfläche auf (siehe Abb. 1). Je nach Bettiefe kann hier zwischen der Tiefbett- und der Flachbetetechnik unterschieden werden. Wirbelschichthöhen bis zu etwa 1,5 m werden bei Tiefbett-Wirbelschichtfeuerungen und Wirbelschichthöhen von nur etwa 20 cm werden bei Flachbett-Wirbelschichtfeuerungen eingehalten.

Die atmosphärisch-stationäre Wirbelschichtfeuerung ist die bisher am meisten erprobte und eingesetzte Art unter den Wirbelschichtfeuerungen.

Es können hiermit Verbrennungswirkungsgrade bis zu ca. 95 % und Querschnittsbelastungen von ca. 1 bis 2 MW/m² erreicht werden. Ein problemloser Betrieb bis zu einem Teillastbereich von 50 % ist möglich.

● Extern zirkulierende Wirbelschichtfeuerungen

Durch höhere Anströmgeschwindigkeiten (5 bis 10 m/s) können Wirbelschichtfeuerungen mit einem sehr stark ausgedehnten Wirbelbett betrieben werden, so daß Feststoffpartikel bzw. unverbrannter Brennstoff mit den Rauchgasen aus dem Feuerraum ausgetragen werden. Bei extern zirkulierenden Wirbelschichtfeuerungen werden diese Feststoffpartikel in einem nachgeschalteten Abscheider vom Rauchgas getrennt und in die Brennkammer wieder zurückgeführt (siehe Abb. 2). Dadurch wird die Verweilzeit des Brennstoffes in der Wirbelschicht vergrößert und eine Steigerung des Verbrennungswirkungsgrades (bis zu 99%) sowie des Entschwefelungsgrades erzielt. Durch diese Betriebsweise werden Querschnittsbelastungen von 4—7 MW/m² und ein besseres Teillastverhalten (bis zu 30% pro Linie) ermöglicht. Bei extern zirkulierenden Wirbelschichtfeuerungen, bei denen es keine definierte Bettoberfläche gibt, ist die Bettichte gegenüber den stationären Wirbelschichtfeuerungen wesentlich geringer, das Bettmaterial weist eine feinere Körnung auf.

● Intern zirkulierende Wirbelschichtfeuerungen

Eine interne Zirkulation innerhalb des Wirbelbettes kann durch konstruktive Maßnahmen und gezielte Luftführung erreicht werden (siehe Abb. 3). Auch eine derartige Maßnahme trägt zur Erhöhung der Verweilzeit in der Wirbelschicht bei. Durch die intensivere Vermischung des Bettmaterials gegenüber den stationären Wirbelschichtfeuerungen werden hier gleichmäßigere Reaktionsbedingungen und ein gleichmäßigerer Temperaturverlauf geschaffen. Bezüglich der Verbrennungswirkungsgrade und der Querschnittsbelastungen können nahezu Werte erreicht werden, die bei ex-

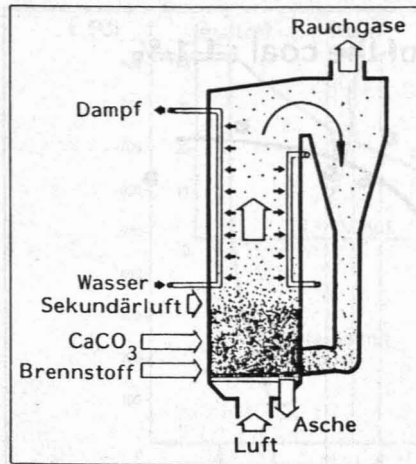


Abb. 2: Extern zirkulierende Wirbelschichtfeuerung [1]

tern zirkulierenden Wirbelschichtfeuerungen beobachtet werden.

● Druckbetriebe Wirbelschichtfeuerungen

Bei druckbetriebenen Wirbelschichtfeuerungen befindet sich der Feuerraum unter Druck. Diese Betriebsweise ermöglicht sehr hohe Querschnittsbelastungen (bis zu 20 MW/m²) und sehr gute Feuerungswirkungsgrade (bis zu 99 %) bei niedrigen Anströmgeschwindigkeiten. Der Betrieb unter Druck wirkt sich außerdem günstig auf die Emissionseigenschaften der Wirbelschicht aus. Druckbetriebene Wirbelschichtfeuerungen können in stationärer oder zirkulierender Bauweise ausgeführt sein.

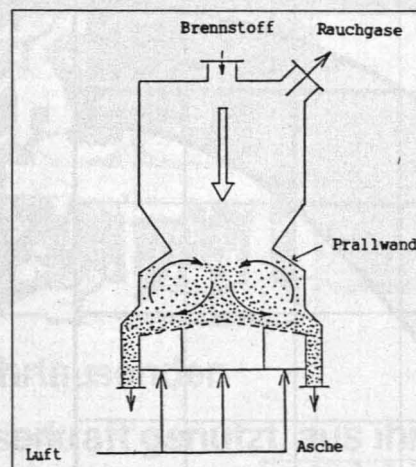


Abb. 3: Intern zirkulierende Wirbelschichtfeuerung [2]

Diese Technologie befindet sich derzeit noch weitgehend im Entwicklungsstadium, da hier die Brennstoffzufuhr, die Entschung unter Druck und die Entstaubung von Rauchgasen unter hohen Temperaturen Probleme mit sich bringen.

● Andere Arten von Wirbelschichten

Unter Beibehaltung der Grundprinzipien wurden zusätzliche Bauarten von Wirbelschichtfeuerungen entwickelt. Multi-Bed-Wirbelschichten, bei denen die Verbrennung in mehreren in Serie geschalteten Kammern stattfindet, sind eine solche Entwicklung. Das Ziel der Entwicklungen von

verschiedenen Modifikationen ist das Erreichen von verbesserten Betriebseigenschaften - insbesondere die Verbesserung des Ausbrandes und der Emissionssituation.

Warum Wirbelschichtfeuerung?

Nicht zuletzt der Ölschock der 70er Jahre, die Verknappung und Verteuerung der höherwertigen fossilen Brennstoffe, sowie die Notwendigkeit der Verminderung der Umweltbelastung stellten härtere Anforderungen an die Betreiber und somit auch an die Hersteller von Feuerungsanlagen.

Der Betrieb unter Druck wirkt sich günstig auf die Emissionseigenschaften der Wirbelschicht aus.

Um einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen, wurde angestrebt, Errichtungskosten und Betriebskosten für derartige Anlagen zu minimieren und Systeme mit möglichst hoher Verfügbarkeit sowie hohem Wirkungsgrad zu entwickeln und gleichzeitig den Anforderungen der verbesserten Rauchgasreinigung zu genügen. Somit wurde die schon seit ca. 60 Jahren aus der Verfahrenstechnik bekannte Wirbelschichttechnologie erneut zur Entwicklung einer ausgereiften Feuerungstechnologie aufgegriffen.

Durch die Anwendung der Wirbelschicht-Feuerungstechnologie werden folgende Vorteile gegenüber konventionellen Feuerungen erzielt:

- hohe Brennstoffflexibilität unter Berücksichtigung der Einsatzmöglichkeit von ballastreichen und minderwertigen Brennstoffen
- die Möglichkeit der Einbindung der Schadstoffemissionen bereits in der Brennkammer durch Zugabe von basischen Additiven und eine kostengünstige Verminderung der gasförmigen Emissionen
- hoher Verbrennungswirkungsgrad auch beim Einsatz von minderwertigen Brennstoffen
- gutes Teillastverhalten bei großem Regelbereich

Beim Einsatz von Abfällen und Klärschlamm übernimmt die Wirbelschichtfeuerung eine Entsorgungsfunktion.

● Brennstoffflexibilität

Diese Eigenschaft der Wirbelschichtfeuerungen ermöglicht dem Betreiber außer dem Einsatz von höherwertigen festen Brennstoffen, auch die Verwertungsmöglichkeit von ballastreicher Braunkohle, Ölschiefer, diversen Produktionsabfällen, land- und forstwirtschaftlichen Abfällen, wie z.B. Nußschalen, Schilf, Reishülsen etc. Je nach Bauart der Feuerung, der Brennstoffaufbereitung und -zufuhreinrichtungen, können

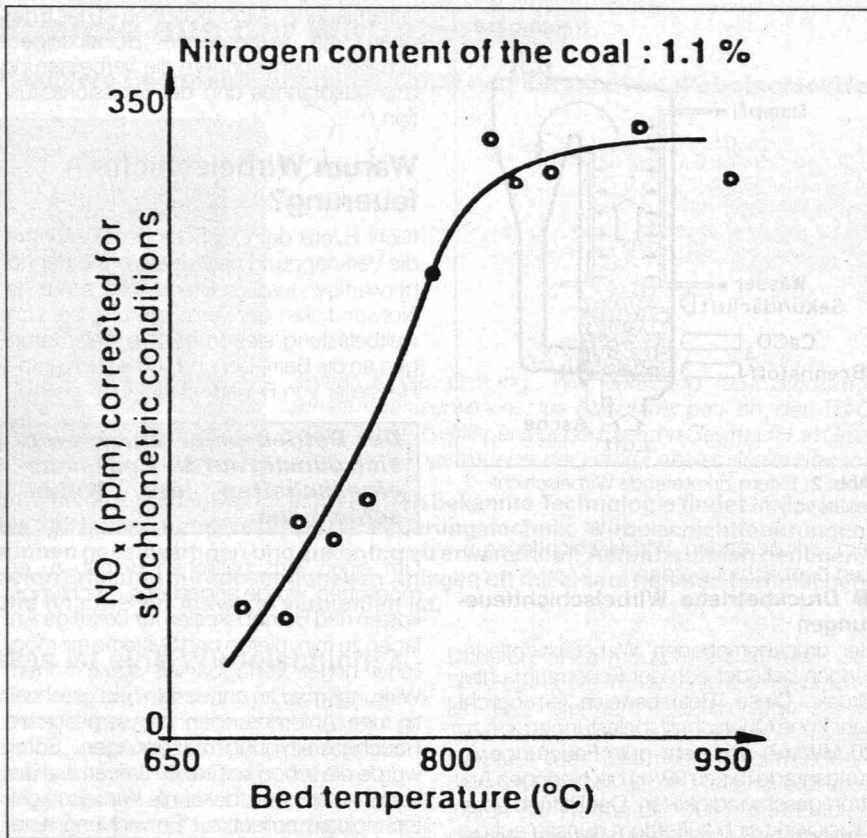


Abb. 5: Einfluß der Betttemperatur auf die NO_x-Emission bei der Verbrennung [4]

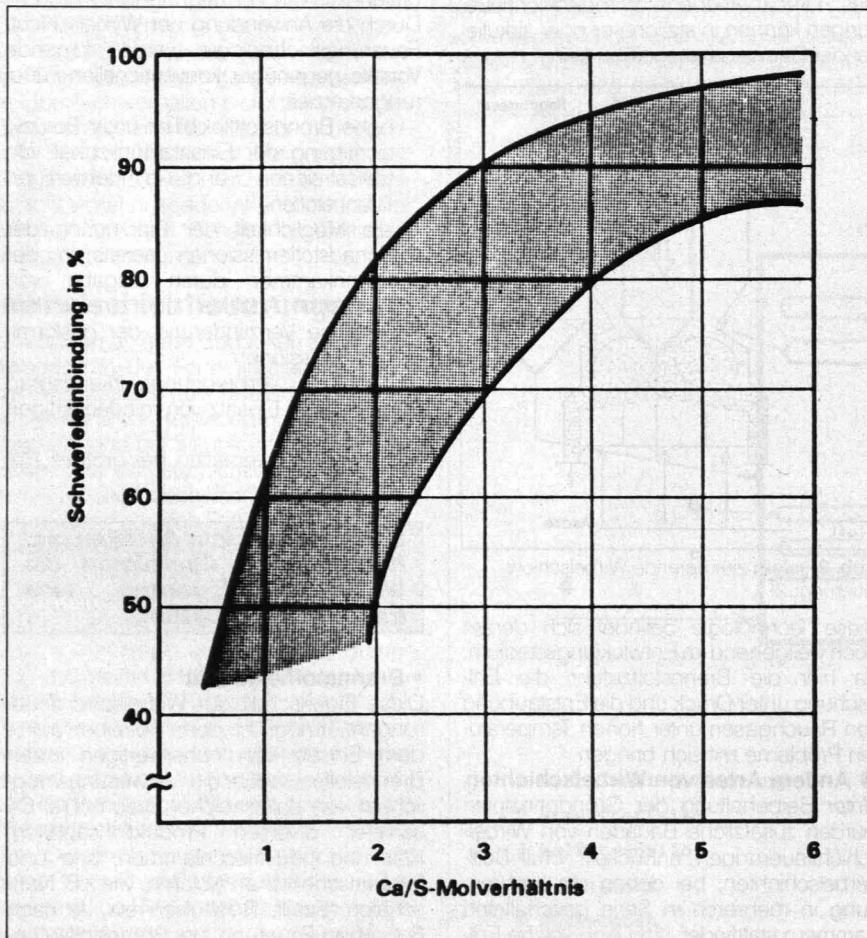


Abb. 4: Schwefeleinbindung in Abhängigkeit vom Ca/S Molverhältnis [3]

verschiedenartige Brennstoffe und Brennstoffmischungen verfeuert werden. Beim Einsatz von Produktionsabfällen und kommunalen Klärschlämmen übernimmt die Feuerung auch die Entsorgungsfunktion.

• Emissionsminderung

Die Einbindung von Schadstoffemissionen wie SO₂ und Spurenelementen erfolgt direkt in der Brennkammer relativ einfach durch Zugabe von basischen Additiven, wie z.B. Kalkstein, wobei dadurch niedrigere Emissionswerte erreicht werden können als bei konventionellen Feuerungen. Durch niedrige Verbrennungstemperaturen und gestufte Luftführung können auch NO_x-Emissionen sehr niedrig gehalten werden. Der Wirkungsgrad der Schadstoffeinbindung ist von unterschiedlichen Einflußgrößen abhängig. Als wichtigste Einflußparameter können genannt werden:

- Art und Korngröße des Additives
- Ca/S Molverhältnis
- Verweilzeit
- Betriebstemperatur und -druck
- Luftverhältnis und -führung
- Brennstoffzusammensetzung
- Art der Wirbelschichtfeuerungen

Bedingt durch die Vielfalt der Einflußparameter kann bezüglich der Emissionseinbindung keine allgemein gültige Aussage getroffen werden. Diese wird meist durch Versuche unter bestimmten Bedingungen ermittelt und in Form von Diagrammen (oft mit einer gewissen Bandbreite) dargestellt (siehe Abb. 4 und 5). Durch Variation von einem oder mehreren dieser Einflußparameter ist es möglich, den Schadstoffausstoß zu minimieren. Bei einem geringen SO₂-Gehalt des Rauchgases werden auch tiefe Rauchgastemperaturen ermöglicht.

Wirbelschichtfeuerungen bieten in Zukunft eine echte Alternative zu konventionellen Feuerungsanlagen.

• Verbrennungswirkungsgrad

Je nach Ausführung (intern oder extern zirkulierende Wirbelschichtfeuerungen) können durch zusätzliche Maßnahmen die Verweilzeit des Brennstoffes in der Brennkammer erhöht und/oder der Brennstoff, der mit der Asche ausgetragen wird, in die Brennkammer rückgeführt werden. Dadurch werden sehr hohe Verbrennungswirkungsgrade auch beim Einsatz von ballastreichen, schwierigen Brennstoffen erzielt.

• Teillastverhalten

Zur Leistungsregelung von Wirbelschichtfeuerungen können grundsätzlich

- die Menge des zugeführten Brennstoffes,
- die wirksame Fläche der Tauchheizkörper und
- die Temperatur im Feuerraum verändert werden. Außerdem kann durch eine sinnvolle Teilung des Wirbelbettes in mehrere Segmente und durch getrennte Regelung dieser Segmente ein Betrieb bei Teillast ermöglicht werden. Somit können Wirbelschichtanlagen bis zu Teillastbereichen von etwa 15 % betrieben werden. Ins-



besonders wirkt sich die hohe Wärmespeicherkapazität der sich nach einer Abschaltung im Ruhezustand befindenden Wirbelschicht günstig auf die Flexibilität der Anlage aus. Nach mehreren Stunden Stillstand kann die Anlage innerhalb einer kurzen Zeit (siehe Abb. 6) wieder den Vollastbetrieb aufnehmen.

Entwicklungsstand

Weltweit werden derzeit Wirbelschichtfeuerungen von etwa 100 Firmen und Institutionen angeboten und/oder entwickelt. Die Entwicklung der Wirbelschichtfeuerungstechnologie für den kommerziellen Einsatz wird in vielen Ländern besonders gefördert. Führend sind auf diesem Gebiet Länder wie USA, Großbritannien, BRD und Japan. Für den kleinen bzw. mittleren Leistungsbereich werden Wirbelschichtfeuerungsanlagen in atmosphärisch-stationärer Bauweise bevorzugt eingesetzt. Bei höheren Leistungen lösen die extern bzw. intern zirkulierenden Wirbelschichtfeuerungen die atmosphärisch-stationäre Feuerungsart ab, wobei hier von einer großen Überschneidungszone gesprochen werden kann. Angepaßte stationäre Wirbelschichtfeuerungen können durchaus auch im größeren Leistungsbereich eingesetzt werden. Druckbetriebene Wirbelschichtfeuerungen werden ihren Einsatz zukünftig hauptsächlich im Großfeuerungsbereich finden. Somit bietet die Wirbelschichttechnologie

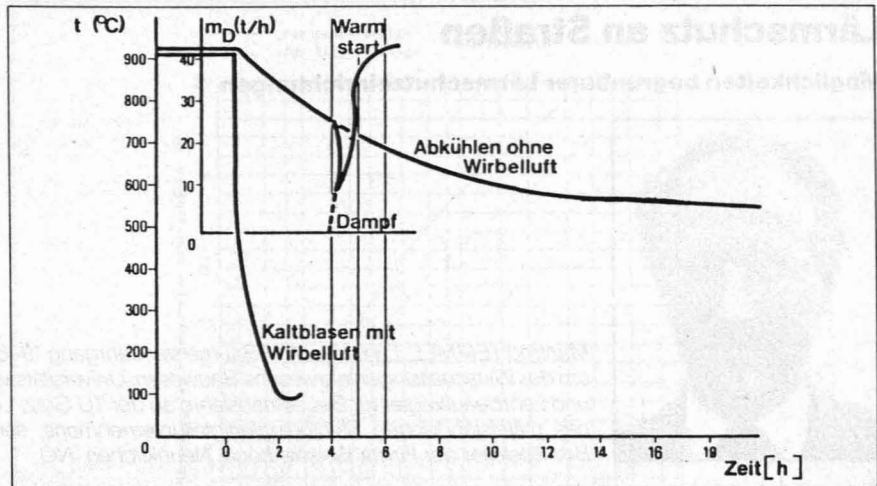


Abb. 6: Abkühlverhalten von Wirbelschichten [5]

sinnvolle Einsatzmöglichkeiten für eine große Leistungs-Bandbreite in der Feuerungstechnik. Derzeit sind weltweit kommerzielle Anlagen sowohl in der Größenordnung von mehreren 100 kW als auch von einigen 100 MW im Einsatz.

Als ausgereiftes Produkt werden Wirbelschichtfeuerungen in Zukunft sowohl in technischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht eine echte Alternative zu konventionellen Feuerungsanlagen bieten.

Literatur:

[1] ENERCON: Wirbelschichttechnologie, Graz, September 1985, unveröffentlicht.

- [2] Firmenschrift der EBARA Corp. Japan.
- [3] BRIEDA, F.; DÜWEL, L.: Emissionsminderungen durch Wirbelschichtfeuerungen, in: Wirbelschichtfeuerung - Veranstaltung der TÜV-Akademie Rheinland am 1. Dez. 1982 in Köln-Poll.
- [4] Firmenschrift der Riley Stoker Corp. USA (mit Abänderungen)
- [5] Firmenschrift der Lurgi Chemie und Hütten-technik GmbH, C1469, 6/83.



... seit Jahrtausenden
wird Wasserkraft genutzt, aus ihr

Strom
zu gewinnen, hat
Zukunft

KÄRNTNER ELEKTRIZITÄTS-AG.

Lärmschutz an Straßen

Möglichkeiten begrünbarer Lärmschutzeinrichtungen



Manfred TEMMEL, Dipl.-Ing., WIV, Baumeister, Jahrgang 1946, Studium des Wirtschaftsingenieurwesens-Bauwesen; Universitätsassistent und Lehrbeauftragter für Baubetriebslehre an der TU Graz; Leiter eines mittelständischen Stahlbetonfertigteilternehmens, seit 1984 Betriebsleiter der Firma Weissenböck, Neunkirchen, NÖ.

Österreich hat vor mehr als 30 Jahren begonnen, sein übergeordnetes Straßennetz auszubauen, das nun in der zweiten Hälfte der achtziger Jahre zum überwiegenden Teil fertig ist und das auch nach internationalen Maßstäben zu den anspruchsvollsten Technikerleistungen zählt. Doch ist wie im Ausland auf die Wechselbeziehung zwischen Straße und Umwelt bei der Planung zu wenig geachtet worden, so daß Straßen von der anwohnenden Bevölkerung zunehmend als belastend empfunden werden und Neuplanungen nahezu generell großer Widerstand entgegengesetzt wird. Neben dem ungünstigen optischen Eindruck und der Luftverschmutzung ist es vor allem der Straßenverkehrslärm, der die Ablehnung dieses Verkehrsträgers hervorruft. Zwei Drittel der Bürger der BRD fühlen sich nach Meinungsumfragen durch Straßenverkehrslärm belästigt und fordern Abhilfe. [1]

In Österreich ist vor wenigen Jahren mit der Bundesstraßengesetznovelle 1983 der Kampf gegen den Verkehrslärm durch den gezielten Einsatz von 1% der zweckgebundenen Mineralölsteuer angelaufen und hat bereits zu vielfältigen objekt- und straßenseitigen Lärmschutzmaßnahmen geführt, die im Jahr 1986 mit einem Budget von öS 400 Mio. fortgesetzt werden sollen. Die Entwicklung der vergangenen Jahre zeigt jedoch, daß dem politischen Willen nicht in jedem Fall technisch und ästhetisch befriedigende Lösungen folgen und allseits gewünschte und akzeptierte Lärmschutzeinrichtungen wenige Jahre nach ihrer Errichtung grundweg abgelehnt werden. Die Entwicklung ist im Fluß, Meinungen und Bestimmungen sind noch nicht gefestigt, so daß Investitionen geistigen und finanziellen Kapitals in einen Hoffungsmarkt für das Bauwesen sinnvoll erscheinen.

1. Störung durch Verkehrslärm

Straßenverkehrslärm wird vom Menschen individuell störend empfunden und ist keine eindeutig meßbare Größe. Befragungen haben aber Richtwerte für das Ausmaß der Störung ergeben, wonach in städtischen Siedlungsgebieten höhere Lärmpegel toleriert werden als in Vorstädten und im ländlichen Siedlungsraum. Menschen, die bisher hohen Lärmimmissionen (über 70 dB) ausgesetzt sind, fühlen sich im Verhältnis weniger gestört als Bewohner ruhiger Gebiete (bei ca. 60 dB); weiters sind Menschen in geschlossenen Wohnungen belastbarer als jene, die Freiflächen (Balkone, Terrassen) benutzen wollen. Tätigkeitsabhängig ist die Störung während des Schlafs

am größten, gefolgt von geistiger Arbeit, Lesen, Lernen; geringer ist die Störung bei Unterhaltung, Konsumation von TV und Radio, am geringsten ist sie bei manueller Tätigkeit wie Hausarbeit. [2]

Die Summe individueller Störungen führt letztlich auch zu volkswirtschaftlichen Auswirkungen, wie Leistungsabfall lärmgestörter Menschen, erhöhter Streßbelastung, geringem Erholungseffekt während der Freizeit und den damit langfristig höheren Sozialkosten. Volkswirtschaftlich nachteilig ist aber auch die Entwertung der durch Straßenverkehrslärm beeinträchtigten Bebauungsflächen und bestehenden Wohngebäude.

2. Mögliche Lärmschutzmaßnahmen

Zur Eindämmung des Verkehrslärms bieten sich einerseits Maßnahmen an der Schallquelle selbst (»Aktiver Lärmschutz«), andererseits Schallschutzmaßnahmen am Im-

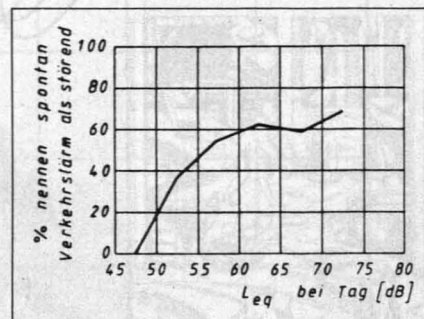


Abb. 1: Statistischer Zusammenhang zwischen dem äquivalenten Dauerschallpegel bei Tag vor dem Gebäude und der Störung in Wohngebäuden

missionsort (»Passiver Lärmschutz«) an. Unter »Aktivem Lärmschutz« sind sowohl Vorkehrungen am Fahrzeug zu verstehen — Minderung der Motor-, Roll- und Windgeräusche durch konstruktive und dirigistische Maßnahmen (z.B. Geschwindigkeitsbeschränkung, Lkw-Fahrverbot) —, aber auch solche in der Trassenführung (z.B. Tieflage, Untertunnelung) und Lärmschutzbauten, die für den öffentlichen Auftraggeber unabhängig und nachträglich realisierbar sind. »Passiven Lärmschutz« kann man durch Einbau von Schallschutzfenstern, Anordnen von Wohnräumen an der schallabgewandten Seite u.ä. betreiben.

3. Anforderungen an Lärmschirme

3.1 Erträgliche Schallimmissionen

Bei der Abschätzung der zulässigen Schallimmissionen ist von den Planungsrichtwerten nach ÖNORM S 5021, Teil 1, auszugehen, die einen A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel von 45 — 65 dB am Tag und ca. 35 — 65 dB nachts zulassen. Die ÖAL-Richtlinie Nr. 23 [3] sieht daher vor, daß an der Fassade von Wohngebäuden keinesfalls der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel von 60 dB tags bzw. 50 dB nachts überschritten werden soll. Untersuchungen mit Bewohnern im Grünland zeigen jedoch, daß bereits im Bereich zwischen 50 und 60 dB eine starke Zunahme der Störung durch Verkehrslärm empfunden wird und es daher sinnvoll erscheint, die zulässigen Immissionen in Grünland um ca. 10 dB tiefer anzusetzen. (Abb. 1)

3.2 Zusammensetzung des Verkehrslärms

Die Ermittlung der maßgebenden Lärmimmissionen in der Nähe von bestehenden Straßen kann von Lärmmessungen, verbunden mit einer Erhebung der Verkehrsgrößen (z.B. Verkehrszählungen) ausgehen, während sie für geplante Straßen aufgrund der zu erwartenden Verkehrsstärken unter Berücksichtigung der Charakteristika des Verkehrs und der örtlichen Gegebenheiten zu erfolgen hat. In jedem Fall sind die Lärmimmissionen bei Tag und Nacht getrennt festzustellen. Die analytische Berechnung des energieäquivalenten Dauerschallpegels geht von einem Grundwert