

Zeitschrift:	Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber:	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band:	90 (1972)
Heft:	15
Artikel:	Der Cuénod-Anti-Smog-Brenner Typ PCE mit Wasseremulsion und "sauberer" Verbrennung
Autor:	Meissner, A.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-85173

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 14.01.2026

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

oberfläche lässt sich bei gegebenem Lagerdurchmesser nur durch Änderung der Lagerhöhe beeinflussen. Wie bereits beschrieben, hat das radiale Lagerspiel einen sehr grossen Einfluss auf die Lagersteifheit. Es muss klein gehalten werden. Nehmen wir $h = 0,005$ mm, so wird bei einer seitlichen Kolbenverschiebung von $1 \mu\text{m}$, das heisst $\Delta h/h = 0,2$, eine Reaktionskraft von $0,55 p_0 S$ erreicht. Für das hydrostatische Lager mit unveränderlichen Blenden erhält man $0,3 p_0 S$.

Es sind noch verschiedene andere Arten hydrostatischer Lager bekannt, zum Beispiel mit gesteuerten Blenden, wobei eine noch bessere Steifheit erreicht werden kann. Das besprochene Lager ist jedoch viel einfacher und absolut betriebsicher. Die erreichten Resultate sind der Präzision eines Lehrenbohrwerkes ebenbürtig.

6. Einfluss von Wärmequellen

Für Präzisions-Werkzeugmaschinen sind Wärmequellen und im besonderen solche von nicht konstanter Temperatur zu vermeiden, da diese eine unkontrollierte Verformung der Maschine zur Folge haben. Als Richtwert kann für den Wärmeausdehnungskoeffizienten der Maschine $0,01 \text{ mm pro } ^\circ\text{C}$ und pro Meter angenommen werden. Ist nun der Abstand zwischen der Achse des Arbeitskolbens und der Kolonne der Maschine

$0,50 \text{ m}$, so bedeutet dies eine Verschiebung der Achse von $5 \mu\text{m}$ pro 1°C Temperaturerhöhung des Maschinenkopfes. Bei elektromechanischen Antrieben sind diese Verformungen nicht leicht zu beseitigen. Oft ist mit einer lokalen Erwärmung zu rechnen, wobei ungleichmässige Verformungen auftreten. Bei einem hydraulischen Vorschubsystem mit hydrostatischer Lagerung lässt sich diese Schwierigkeit dadurch beseitigen, dass die Temperatur des Druckmediums mittels eines Wärmeaustauschers konstant gehalten wird.

7. Anwendung

Die Bilder 14 und 15 zeigen einige Funkenerosionsmaschinen, die die vorher besprochenen Merkmale aufweisen. Diese Maschinen sind mit einem elektrohydraulischen Vorschubsystem ausgerüstet. Oft werden sie mit einem Koordinatentisch mit eingebauter optischer Positionsablesung versehen, was eine Genauigkeit von $2 \mu\text{m}$ garantiert. Die Arbeitsbecken mit Doppeltür erlauben ein leichtes Einrichten und Wechseln der Werkstücke und der Elektroden.

Adresse des Verfassers: *Benno Bonga, dipl. Ing., Konstruktionsleiter der Werkzeugmaschinenabteilung, Ateliers des Charmilles S.A., 109, rue de Lyon, 1211 Genf 13.*

Der Cuénod-Anti-Smog-Brenner Typ PCE mit Wasseremulsion und «sauberer» Verbrennung

DK 662.944.2

Von A. Meissner

1. Grundsätzliches über die Verbrennung von Kohlenwasserstoffen

Im gegenwärtigen Zeitpunkt, da man sich mit den verschiedenen Fragen der Umweltverschmutzung und deren Milderung beschäftigt, ist es bedeutsam, dass es die neue, von Charmilles in Zusammenarbeit mit der Société Pétrolière Française (ELF) entwickelte Verbrennungsmethode ermöglicht hat, einen neuartigen Brenner-Typ mit Wasseremulsion und «sauberer» Verbrennung zu schaffen. Um dessen Arbeitsweise besser darstellen zu können, soll vorerst kurz der Verbrennungsvorgang von Kohlenwasserstoffen ins Gedächtnis zurückgerufen werden. Dieser Vorgang stellt eine exotherme Reaktion mit dem Sauerstoff der Luft dar, entsprechend der Gleichung

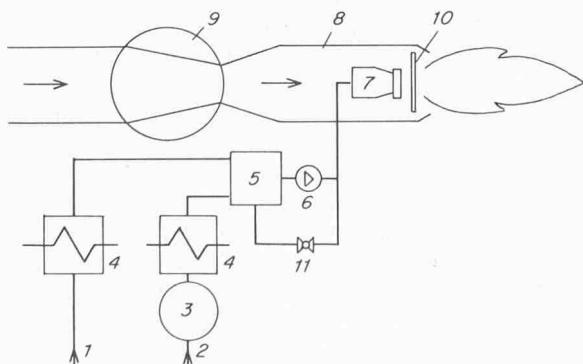


Bild 1. Prinzipschema des Emulsionsbrenners von Cuénod

- | | |
|--------------------|---------------------------|
| 1 Brennstoffzufuhr | 7 Düse |
| 2 Wasserzufuhr | 8 Brennereinsatz |
| 3 Dosierapparat | 9 Gebläse |
| 4 Vorwärmer | 10 Flammenstabilisator |
| 5 Mischer | 11 Rücklauf-Drosselventil |
| 6 Emulsionspumpe | 12 Motor (Bild 2) |

Demnach bestehen im Falle der vollständigen Verbrennung eines Kohlenwasserstoffs mit dem in der Luft enthaltenen Sauerstoff – dem Idealfall – die Verbrennungsprodukte nur aus Kohlendioxid (CO_2), Wasserdampf (H_2O) und dem Stickstoff der Verbrennungsluft. In Wirklichkeit werden jedoch die optimalen Verbrennungsbedingungen nie völlig erreicht; außerdem enthält das Heizöl außer Kohlenstoff und Wasserstoff noch Schwefel, Stickstoff und andere Stoffe, die in die Verbrennungsprodukte übergehen.

Der Hauptparameter einer Verbrennung ist ihr Überschuss an Luft. Dieser wird durch die Gleichung definiert:

$$\lambda = \frac{\dot{M}_L / \dot{M}_B}{(\dot{M}_L / \dot{M}_B)_{st}}$$

Es bedeuten:

\dot{M}_L der Massendurchsatz an Luft

\dot{M}_B der Massendurchsatz an Brennstoff

Im Zähler ist das wirkliche Durchsatzverhältnis, im Nenner das stöchiometrisch bestimmte einzusetzen.

Die Verbrennungsprodukte können außer CO_2 und H_2O -Dampf enthalten:

- in manchen Fällen das sehr giftige CO
- Schwefeldioxid (SO_2), das mehr oder weniger zu Schwefelsäureanhydrid (SO_3) werden kann und zusammen mit Wasser Schwefelsäure H_2SO_4 ergibt
- im Falle von Verbrennung bei hohen Temperaturen die Stickstoffoxide NO und NO_2
- Russ, der aus feinsten festen Teilchen von unverbranntem Kohlenstoff besteht
- Russflocken, das heißt zusammengebackener Russ in Form von Fasern oder Streifen, der fast immer sauer reagiert.

Die Verbrennungstechnik, auf der die Bauweise des neuen Brenners beruht, besteht darin, dass dem Brenner eine Emulsion aus Mittelheizöl, Schweröl oder extra-leichtem Heizöl zu-

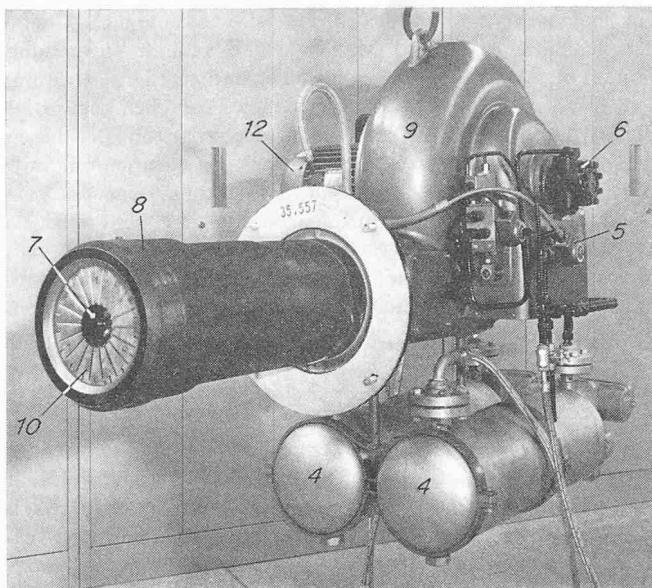


Bild 2. Ansicht eines Cuénod-Emulsionsbrenners Typ PCE 175
Die Ziffern beziehen sich auf die Legende zu Bild 1

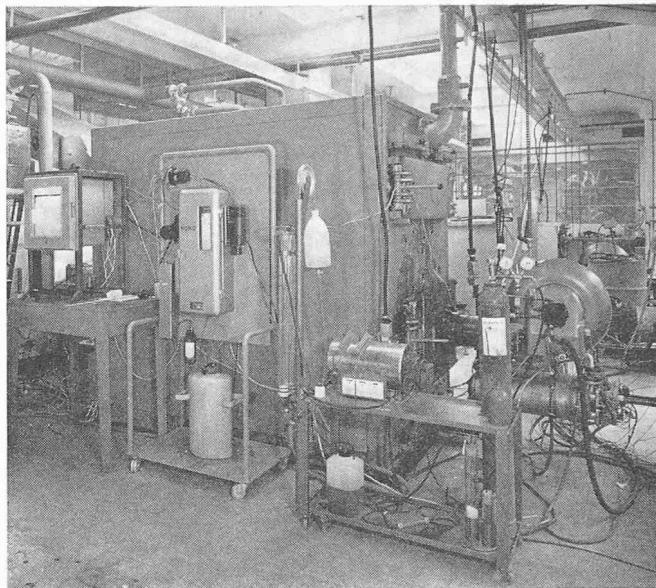


Bild 3. Versuchsstand des Cuénod-Laboratoriums in Châtelaine

sammen mit einem bestimmten Prozentsatz Wasser zugeführt wird. Auf diese Weise gelingt es, den Verbrennungsvorgang wesentlich zu verbessern. Das zeigt sich vor allem darin, dass der Anteil an unverbrannten, festen Kohlenwasserstoff-Rückständen sich bis auf 5 bis 10% der Gewichtsmenge verringern lässt, die bei den bisherigen Verfahren festgestellt wurden. Weiter lässt sich der Luftüberschuss herabsetzen, wobei zugleich der SO₃-Gehalt des Rauchgases auf etwa einen Drittels des bisherigen Wertes verkleinert werden kann.

Bei einer gewöhnlichen Mischung von Heizöl und Wasser trennen sich die beiden Flüssigkeiten: Das schwerere Wasser sammelt sich am Boden des Gefäßes, das leichtere Öl steigt nach oben. Im Gegensatz hierzu bleibt bei einer richtigen Emulsion die gegenseitige vollständige Durchdringung beider Stoffe erhalten. Zu ihrer Herstellung sind geeignete Apparate erforderlich. Diese bilden einen wesentlichen Bestandteil des neuen Brenners. Deren Schaltung geht aus dem Prinzipschema in Bild 1 hervor. In der Wasserzuleitung 2 ist ein Dosierapparat 3 eingebaut, der selbsttätig das Einhalten des gewünschten Mischverhältnisses besorgt. In den Vorwärmern 4 werden Brennstoff und Wasser auf die für die Emulsionsbildung erforderliche Temperatur gebracht; diese erfolgt im Mischer 5. Die Pumpe 6 setzt das Gemisch unter den nötigen Zerstäubungsdruck, worauf dieses der Düse 7 zufliest und dort zerstäubt wird. Die vom Gebläse 9 geförderte Verbrennungsluft durchströmt den Brennereinsatz 8, in welchem die Düse 7 eingebaut ist. Ein an diesem Ende angebrachter Fächer 10 mit Schlitzten dient zum Stabilisieren der Flamme. Er erteilt der Luft einen Drall und beschleunigt dadurch die Flammenrotation.

Bild 2 zeigt einen Emulsionsbrenner in einbaufertigem Zustand; auf Bild 3 ist der Versuchsstand des Laboratoriums in Châtelaine zu sehen, in welchem die Entwicklungsversuche durchgeführt wurden.

2. Die Verbrennung der Heizöl-Wasser-Emulsion

Man hat bereits seit langem festgestellt, dass die Zugabe von Wasser zu Kohlenwasserstoffen den Verbrennungsvorgang verändert; vor allem wird der Brennstoff vollständiger verbrannt. Nach dem heutigen Stand der Forschung beeinflusst das Wasser die Verbrennung sowohl chemisch wie auch physikalisch.

2.1 Die chemische Wirkung

Der Kohlenstoff reagiert mit Wasserdampf nach der Gleichung:



Der Wasserstoff verbrennt nach der Gleichung



Die Umsetzungen nach den Gleichungen (2) und (3) bewirken eine Verringerung des Kohlenstoffes in der Flamme bei stärkerer Vergasung des Brennstoffes. Gleichzeitig mildert das Wasser die Krackung der Heizölpartikel, wodurch diese nicht in das letzte Koksstadium kommen.

2.2 Die physikalische Wirkung

Um diese zu verstehen, muss man sich an die Vorgänge der mechanischen Zerstäubung und der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen erinnern. Das durch die Pumpe unter hohen Druck gesetzte Heizöl dringt durch tangentiale Kanäle (Bild 4) in die Rotationskammer einer Düse ein; es fliesst dann in einer spiralförmigen Wirbelbewegung weiter bis zur Austrittsöffnung. Die Geschwindigkeit wächst (umgekehrt proportional zum Abstand von der Achse der Öffnung), wobei sich die Druckenergie in kinetische Energie verwandelt. Im

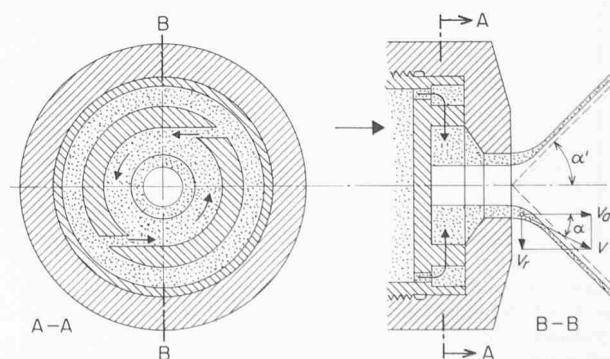


Bild 4. Zur Wirkungsweise der Zerstäuberdüse

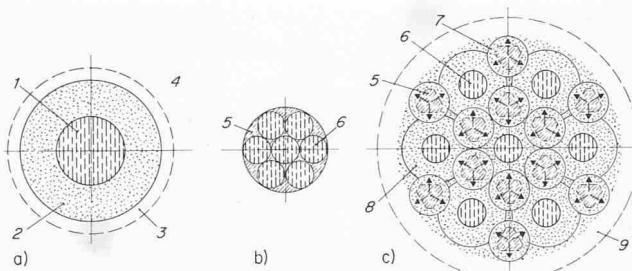


Bild 5. Schematische Darstellung der Verdampfung und Verbrennung eines Brennstofftropfens

Bild 5a. Vorgänge bei nicht emulgiertem Tropfen

1 Brennstofftropfen, 2 Hülle aus Brennstoffdampf, 3 Verbrennungszone, 4 Luft

Bild 5b. Emulsionstropfen. 5 Wasserpartikel, 6 Brennstoffpartikel

Bild 5c. Verdampfung und Verbrennung eines Emulsionstropfens
7 Wasserdampfhülle, 8 Brennstoffdampfhülle, 9 Verbrennungszone

Kern des Wirbels, wo der Druck nur noch sehr klein ist, bildet sich ein Zylinder aus Brennstoffdampf. Das Heizöl fliesst in Spiralform bis zur Austrittsöffnung weiter. Beim Herausfliesen aus dieser Öffnung bildet die Gesamtheit der aus der Düse austretenden Heizöltröpfchen ein Rotationshyperboloid, dessen Achse mit der der Düse zusammenfällt und dessen Winkel durch die tangentielle Geschwindigkeit V_r und eine Axialgeschwindigkeit V_a bestimmt wird gemäss der Gleichung:

$$(6) \quad \tan \alpha = V_r / V_a$$

Beim Austritt aus der Düse bildet sich ein kegelförmiger Flüssigkeitsfilm, der immer dünner wird und sich schliesslich in eine Vielzahl von Tröpfchen auflöst. Die so geschaffene grosse Kontaktfläche mit der Luft gewährleistet eine gute Durchmischung von Brennstoff und Luft. Um jedes Brennstofftröpfchen bildet sich eine Dampfhülle, wie das in Bild 5a für den Fall von reinem Brennstoff (ohne Wasserbeimischung) dargestellt ist. An der Kontaktzone zwischen Dampfhülle und Luft verbrennt der Brennstoffdampf. Die Verbrennungswärme teilt sich der Hülle und der umgebenden Luft mit und bewirkt eine rasch fortschreitende Verdampfung des flüssigen Tropfenkerns.

Der beschriebene Vorgang beginnt zuerst bei den kleinsten Tröpfchen und vollzieht sich bei diesen am raschesten. Die Flamme ist hier kurz, die Verbrennung erfolgt vollständig, es bilden sich keine festen Rückstände, das Anzünden geht leicht vor sich. Die Zerstäubung muss daher so geführt werden, dass

ein angemessener Teil des Brennstoffes in möglichst feine Tröpfchen aufgelöst wird. Man erreicht das durch Anwendung hoher Drücke, kleiner Düsenöffnungen und gute Drallwirkung.

Die Verbrennungswärme der feinen Tröpfchen begünstigt die Verdampfung und Verbrennung der grösseren. Bei diesen besteht nun allerdings die Gefahr, dass die Verbrennung aufhört, wenn die Tropfen zu rasch in eine kalte Zone des Verbrennungsraumes gelangen oder eine Wand berühren. Es bilden sich dann flüssige oder feste Rückstände, je nach dem Stadium, in welchem die Verbrennung zum Stillstand kam. Diese Rückstände entweichen entweder durch den Schornstein oder setzen sich als Russ an den Wänden fest. Um solche Erscheinungen zu vermeiden, sollen die Flammenzonen schlank sein.

Beim neuen Verfahren wird die Heizöl-Wasser-Emulsion durch einen Druck zerstäubt, der etwas höher als jener ist, der für Heizöl allein angewendet wird. Jedes Tröpfchen enthält eine grosse Zahl innig vermischter Heizöl- und Wasserpartikel, wie das in Bild 5b schematisch angedeutet ist. Von diesen verdampfen die Wasserpartikel wegen ihrer niedrigeren Siedetemperatur zuerst. Da dieser Vorgang sehr rasch erfolgt, bewirkt er eine feine Zerteilung der Heizölpartikel, wie das Bild 5c zeigt, sowie deren Vermischung mit der Verbrennungsluft. Die oben beschriebenen Vorgänge der Dampfhüllbildung und der Verbrennung erfolgen nun unter sehr günstigen Bedingungen, was sich u.a. in einer deutlich sichtbaren Verkleinerung der Flamme äussert.

Die Vorteile des neuen Verfahrens lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die festen, unverbrannten Rückstände verringern sich auf 5 bis 10% jener, die bei der Verbrennung von Heizöl allein feststellbar sind.
- Wegen der guten Durchmischung von Brennstoffdampf und Luft kann man mit geringerem Luftüberschuss arbeiten, was die Bildung schwefliger Säure einschränkt sowie die Korrosion an den kalten Teilen der Heizkessel verringert.
- Die Heizkessel lassen sich sauberer halten als bei Verbrennung von Heizöl ohne Wasserzusatz.
- Der Kesselwirkungsgrad wird günstig beeinflusst, weil der Kessel viel weniger stark verschmutzt (Bild 6), und weil der Wärmeübergang dank höherem Anteil der Wasserdampfstrahlung und geringerem Luftüberschuss besser ist. Diese Einflüsse gleichen die Wärmeverluste infolge Verdampfung der Wasserzugabe aus. Im ganzen werden gleich hohe Wirkungsgrade erreicht wie bei Verbrennung von Heizöl ohne Wasserzugabe.

3. Die eingespritzte Wassermenge

Die zur Erreichung eines optimalen Ergebnisses nötige Wassermenge beträgt etwa 25% (Gewicht) des durch die Leistung des Kessels bestimmten Heizöldurchsatzes. Bei stöchiometrischer Verbrennung kommen nach Gleichung (5) auf 2 kg Wasserstoff 16 kg Sauerstoff, woraus sich 18 kg Wasserdampf bilden. Da in 1 kg Heizöl etwa 12% Wasserstoff enthalten sind, ergeben sich bei seiner Verbrennung $0,12 \cdot 18/2 = 1,08$ kg Wasserdampf.

Bei einer Emulsion erhöht sich der Gehalt an Wasserdampf in den Verbrennungsgasen, im Höchstfall um $25/1,08 = 23\%$. Diese Erhöhung ist sehr wohl zulässig. Sie kann sich nur dann schädlich auswirken, wenn die Rauchgastemperatur den Säuretaupunkt unterschreitet, weil dann die Gefahr besteht, dass sich Schwefelsäure bildet.

Die Öl-Wasser-Emulsion wird in einem Vormischer gebildet, der in die Ansaugeleitung der Brennerpumpe eingebaut ist und ähnlich arbeitet wie ein Venturimischer. Die zur Emulsionsbildung nötige Energie liefern das unter Leitungsdruck stehende Wasser und das strömende Öl.

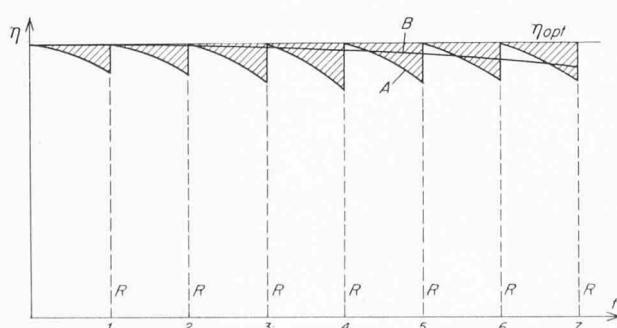


Bild 6. Verlauf des Kesselwirkungsgrades in Abhängigkeit von der Zeit t ; A bei herkömmlichem Brenner ohne Emulsion, B bei Emulsionsbrenner, R Reinigungen. Die schraffierte Fläche stellt die Wirkungsgrad-Einbussen infolge Verschmutzung bei Betrieb ohne Emulsion dar

4. Anpassung der Brennerleistung

Der Brennstoffdurchsatz und damit die Heizleistung werden beim Emulsionsbrenner in den meisten Fällen in gleicher Weise geregelt wie bei den handelsüblichen Brennern: Man stellt sie auf einen festen Wert ein, der durch die Grösse des im Brennerkopf befindlichen Zerstäubers bestimmt ist. Dieser Wert wird dem vorliegenden Fall angepasst. Er lässt sich durch Auswechseln des Zerstäubers verändern. Gleichzeitig wird der Verbrennungsluftstrom auf günstigsten Luftüberschuss eingestellt.

Zweistufige Brenner wiesen zwei Zerstäuber auf, die entweder übereinander oder nebeneinander angeordnet sind. Daraus ist der eine Zerstäuber für niedrige, der andere für hohe Leistung bestimmt. Es wird dafür gesorgt, dass das Mischungsverhältnis von Öl zu Wasser sowie der Luftüberschuss beim Übergang von einem zum anderen Zerstäuber konstant bleiben. Dasselbe trifft auch bei Brennern mit progressiver Modulierung der Leistung zu. Diese wird durch Regulieren des Rücklaufstromes am Drosselventil 11, Bild 1, erreicht, wobei sich der Zerstäubungsdruck entsprechend ändert.

Alle Emulsionsbrenner sind mit elektrischen Steuer- und Sicherheitsgeräten ausgerüstet, welche einen wartungsfreien Betrieb gewährleisten.

5. Versuchsergebnisse

5.1 Messung der unverbrannten Rückstände

Ein erster Vergleichsversuch wurde mit Leichtöl sowie mit einer Emulsion aus Mittelheizöl und Wasser durchgeführt. Die unverbrannten festen Rückstände sind dem Rauchgas nach der Norm NFX 43003 entnommen worden. Die Hauptdaten der Anlage sind:

- Warmwasser-Heizkessel der Firma Ygnis Kessel AG, Luzern Leistung 1250 Mcal/h
- Cuénod-Zweistufenbrenner PCE 175
- Öldurchsatz 130 kg/h (entspricht Vollast)
- Viskosität des Mittelheizöls bei 50 °C $\eta_{50} \approx 5$ °E

In Tabelle 1 sind die Versuchsergebnisse zusammengestellt.

Beim zweiten Vergleichsversuch hat man Schweröl und eine Emulsion aus Schweröl und Wasser angewendet. Die Anlagendaten sind:

- Warmwasser-Heizkessel der Firma Ygnis Kessel AG, Luzern Leistung 1600 Mcal/h
- Cuénod-Modulierbrenner PCE 175 M
- Viskosität des Schweröls $\eta_{50} \approx 50$ °E

Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse.

5.2 Schwefeloxidbildung

Die Vergleichsversuche wurden mit Mittelheizöl und einer Emulsion von Mittelheizöl und Wasser an einem Warmwasser-Heizkessel der Firma Ideal Standard, Paris, für 1250 Mcal/h durchgeführt. Beim emulgierten Brennstoff arbeitete man in einem ersten Versuch mit angenähert dem gleichen Luftüberschuss wie beim Versuch mit nicht emulgiertem Heizöl, in einem zweiten Versuch mit nur geringem Luftüberschuss. Wie aus Tabelle 3 ersichtlich, verändert sich der SO₂-Gehalt der Rauchgase beim Übergang auf emulgierten Brennstoff nicht nennenswert; er hängt lediglich von dessen Schwefelgehalt ab. Dagegen stellt sich ein merklich geringerer SO₃-Gehalt ein (er entsteht durch Oxydierung von SO₂) besonders bei geringem Luftüberschuss. Das Wasser-Emulsionsverfahren ermöglicht es, diesen Überschuss bei gleichzeitiger schwacher Russbildung herabzusetzen. Dabei wird auch die Korrosionsgefahr verringert.

Tabelle 1. Gemessene, feste, unverbrannte Rückstände nach NFX 43003 in g/1000 kcal und Bacharach-Index nach NFX 43002

Brennstoff	Luft- überschuss %	Rückstände		Bacharach- Index
		Durchmesser $> 5\mu$	Durchmesser $< 5\mu$	
Mittelheizöl	20	0,150	0,015	1
Emulsion	20	0,010	0,002	$0 \leq 1$

Tabelle 2. Gemessene feste Rückstände nach NFX 43003 in g/1000 kcal und Bacharach-Index nach NFX 43002

Brennstoff	Last	Öl- durch- satz kg/h	Luft- überschuss %	Rückstände		Bacharach- Index
				Durch- messer $> 5\mu$	Durch- messer $< 5\mu$	
Schweröl	voll	130	20	0,240	0,020	4
Emulsion		130	20	0,005	0,020	< 1
Schweröl	mittel	100	30	0,170	0,020	3
Emulsion		100	30	0,010	0,020	< 1
Schweröl	klein	70	50	0,130	0,020	3
Emulsion		70	50	0,010	0,020	< 2

Tabelle 3. SO₃ und SO₂ im Rauchgas (in mg/1000 kcal), Säuretaupunkt und Korrasion bei 90 °C (in mgFe/10 cm², h)

Methode oder Apparat	Messungen	Mittelheizöl		Mittelheizöl/Wasser (Emulsion)	
		1. Versuch	2. Versuch	1. Versuch	2. Versuch
Orsat	Luftüberschuss Volum-%	44	42	10	
NFX 43002	Bacharach-Index	4	< 1	1	
Zähler	Öldurchsatz kg/h	116	116	116	
IFP ¹⁾	SO ₃ -Gehalt	11,8	7,3	2,7	
IFP ¹⁾	SO ₂ -Gehalt im Feuerraum	1820	1765	1860	
	im Rauchgas	1805	1710	1705	
BCURA ²⁾	Säuretaupunkt °C	118	110	108	
IFP ³⁾	Korrasion ⁴⁾	0,9	0,8	0,25	

¹⁾ Institut Français de Pétrol, Methode von Goksoyr und Ross

²⁾ British Coal Users Research Association

³⁾ Korrasions-Methode BUCURA des IFP

⁴⁾ Bei 90 °C, mg Fe/h, 10 cm²

Tabelle 4. Vergleich der gemessenen Feuerungswirkungsgrade bei Verfeuerung von Mittelheizöl ohne und mit Wasseremulsion

Brennstoff	ohne Emulsion	mit Emulsion	
CO ₂ -Gehalt, Volum-%	13,1	13,0	13,0
Russbild nach Bacharach	1÷2	1÷2	0÷1
Wassertemperatur im Kessel °C	85	88	86
Verbrennungslufttemperatur °C	28	29	26
Abgastemperatur ¹⁾ °C	228	230	203
Feuerungstechnischer Wirkungsgrad %	91,5	91,4	92
			91,8

¹⁾ 30 cm nach Kessel

5.3 Wirkungsgradvergleich

An einem Warmwasser-Heizkessel Ygnis Rayol R 1000 N der Firma Ygnis Kessel AG, Luzern, von 1000 Mcal/h Leistung wurde die Wirkungsgrade bestimmt. Als Brenner diente bei einer ersten Messung ein Cuénod-Zweistufenbrenner Typ PCS, bei einer zweiten Messung der Typ PCE 175. Zur Verfeuerung kam Mittelheizöl mit einer Viskosität bei 50 °C von etwa 5 °E, und zwar das eine Mal ohne, das andere Mal mit Wasseremulsion. Der Durchsatz betrug bei allen Messungen etwa 111 kg/h. Die Wirkungsgrade wurden sowohl durch direkte Messung der Heizleistung und des Brennstoffverbrauchs als auch durch Messung der Wärmeverluste bestimmt. Tabelle 4 enthält die Ergebnisse. Der Wärmebedarf für das Aufheizen des Brennstoffgemisches und für die Verdampfung des Wassers wird durch eine bessere Wärmeausstrahlung der

Flamme ausgeglichen, so dass der Wirkungsgrad, wie ersichtlich, keine nennenswerte Veränderung erfährt.

Wesentlich ist jedoch die Tatsache, dass der Kessel dank geringerem Russgehalt der Rauchgase viel weniger schnell verschmutzt und infolgedessen die Wärmeübertragung im Verlauf längerer Zeitabschnitte weniger stark beeinträchtigt wird. Dieser Vorteil kommt in Bild 6 zum Ausdruck, das den Verlauf des Kesselwirkungsgrades während längerer Betriebszeiten bei Verwendung von gewöhnlichem und von emulgiertem Brennstoff zeigt. Hinzu kommen Ersparnisse infolge wesentlich geringerer Reinigungsarbeiten und Betriebsunterbrüchen.

Adresse des Verfassers: *A. Meissner*, dipl. Ing. ETHZ, Leiter des thermischen Laboratoriums der Ateliers des Charmilles S. A., Werke Châtelaine, 13, ch. de Maisonneuve, 1211 Châtelaine-Genève.

Der Gaswechsel beim Zweitakt-Benzinmotor hoher Leistung

Von **H. Renfer**, dipl. Ing. ETHZ, und **W. Affolter**, dipl. Ing. ETHZ

Den Entwicklungstendenzen folgend, muss auch der Konstrukteur mehr und mehr leichte und kompakte Motoren hoher Leistung entwerfen, ohne jedoch deren Betriebssicherheit zu beeinträchtigen. Seine Anstrengungen richten sich vorwiegend auf die Verbesserung des Wirkungsgrades und der spezifischen Leistung. Eine höhere Leistung ergibt sich bei gegebenem Zylinderinhalt vor allem durch eine bessere Spülung. Die Beherrschung des Gaswechsels ist daher von grosser Bedeutung.

1. Bemerkungen zum Gaswechsel

Bedeutend verwickelter als beim Viertaktmotor ist der Ladungswechsel beim Zweitakter. Die aufeinander abzustimmenden Größen (Abmessungen der Steuerschlitzte, Geometrie der Überströmkanäle, Zustand der Ladung vor dem Einströmen in den Zylinder, Ansaug- und Auspuffsystem usw.) sind hier wesentlich vielfältiger. Eine optimale Abstimmung der Zweitaktmaschine ist daher im allgemeinen auch schwieriger zu erreichen. Im Vordergrund stehen naturgemäß die Forderungen nach hoher Leistung und niedrigem Verbrauch über den gesamten Drehzahlbereich; sie stehen in direktem Zusammenhang mit der Güte des Ladungswechsels. Eine günstige Spülung zeichnet sich durch einen hohen Reinheitsgrad bei geringem Luftaufwand sowie kleiner Gaswechselarbeit aus, wobei das Frischladungs-Rauchgasgemisch im Zylinder am Ende der Spülung möglichst homogen und seine Masse möglichst gross sein soll.

Es sei darauf hingewiesen, dass aus Leistung und Verbrauch allein nicht auf die Güte des Ladungswechsels ge-

schlossen werden darf. Unbefriedigende Betriebsergebnisse können auch die Folge mangelhafter Gemischbildung, ungünstiger Verbrennung und anderer Vorgänge sein.

Die Gliederung des Gaswechsels wird üblicherweise wie folgt vorgenommen:

Vorauslass: Ausströmen der heissen Rauchgase aus dem Zylinder bei Freigabe der Auspuffschlitze durch den Kolben bis zum Beginn des Einströmens der Frischladung in den Zylinder.

Spülung: Dauer des Einströmens der Frischladung bei gleichzeitig anhaltendem Ausströmen der Rauchgase. Diese Phase kann weiter unterteilt werden in eine Verdrängungsspülung und in eine Mischspülung.

Nachausströmen: Ausströmen der frischen Ladung mit restlichem Rauchgas vermischt durch die Auspuffschlitze nach Abschluss der Spülslitze.

Ähnliche Phasen können bei den Vorgängen im Kurbelkasten unterschieden werden.

2. Dimensionslose Kennzahlen

Wie bereits angedeutet, sind die während des Ladungswechsels ein- und ausströmenden Gasmassen wie auch die im Zylinder verbleibende Frischlademasse charakteristisch für die Güte der Spülung. Man bezieht diese Massen zweckmäßig auf eine Bezugsmasse m_0 und erhält so die folgenden dimensionslosen Kennzahlen:

Bezugsmasse m_0 : Beim unaufgeladenen Motor und auch beim Zweitakter mit Kurbelkastenspülung ist m_0 durch den Umgebungszustand p_u , T_u und das Hubvolumen V_H definiert entsprechend der Gasgleichung:

$$m_0 = \frac{p_u V_H}{R T_u}$$

Luftaufwand:

$$\lambda_E = \frac{\int dm_E}{m_0},$$

wobei der Zähler die in den Zylinder einströmende Frischluftmasse bedeutet.

Liefergrad:

$$\lambda_{LZ} = \frac{\int dm_{LZ}}{m_0},$$

wobei der Zähler die im Zylinder verbleibende Frischluftmasse bezeichnet.

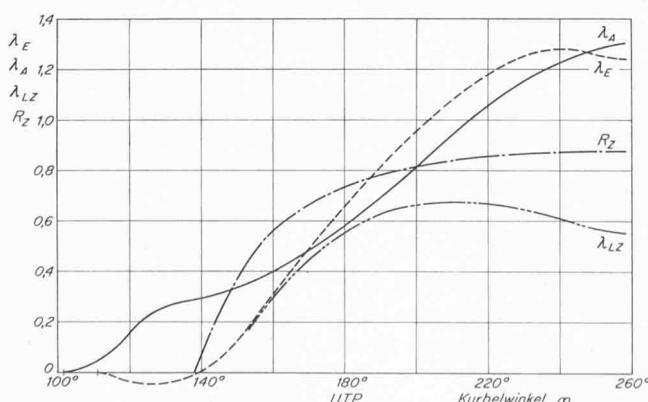


Bild 1. Verlauf der Größen λ_E (Luftaufwand), λ_A (austretende Gasmasse), λ_{LZ} (Liefergrad) und R_Z (Reinheitsgrad) in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel φ