

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 79 (1961)
Heft: 46

Artikel: Neue Anwendungen der "dynamischen Spülung" an Viertakt-Verbrennungsmotoren
Autor: Feiss, René
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-65630>

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: 22.01.2026

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

natürlich noch viele andere Aufgaben mechanischer, thermischer und verbrennungstechnischer Natur, zu deren Lösung es ebenfalls grosser Beharrlichkeit und eines ähnlichen Aufwandes bedurfte. Erst nach der Abklärung all dieser Probleme konnte ein befriedigendes Ganzes, ein betriebsicherer Motor mit grosser Leistungsballung, entstehen.

Die Arbeitsgruppe, die mit grosser Geduld diese Entwicklung vorantrieb und dabei vielen Rückschlägen und

häufiger Skepsis trotzte, war von der Denkart und der Handlungsweise beseelt, wie sie Prof. Eichelberg seinen Schülern zu vermitteln versuchte: nach klarer Konzeption des zu Schaffenden wird die Lösung der sich stellenden Einzelprobleme im Rahmen des gesuchten Ganzen durch kombinierte theoretische und experimentelle Bearbeitung in Angriff genommen und mit Ausdauer und Beharrlichkeit zum erstrebten Ziel geführt.

Neue Anwendungen der «dynamischen Spülung» an Viertakt-Verbrennungsmotoren

Von Dr. René Feiss, Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik (SLM), Winterthur

DK 621.43.031

Wird bei einem Verbrennungsmotor die Auspuffleitung in ihrer Länge zweckdienlich abgestimmt, so ist es möglich, den als Unterdruckwelle reflektierten Auspuff-Vorauslass-Stoss zur Durchspülung des Brennraumes mit Frischluft nutzbar zu machen. Da ein solches Druckwellensystem praktisch ohne Verzögerung auf Drehzahl- und Laständerungen am Motor anspricht, ist dessen Anwendung insbesondere bei Verschiebelokomotiven gegeben. Ein weiteres Anwendungsgebiet, das ebenfalls beschrieben wird, ist jenes der Gasmotoren, wo die Ausspülung der Restgase aus dem Brennraum, wie auch die Kühlung der Brennraumwände durch Spül Luft sehr erwünscht ist. Die gemessene Leistungssteigerung am Kupplungsflansch der Motorwelle kann ohne Erhöhung der thermischen Belastung bis zu 25 % betragen.

Einleitung

Im Brennraum des Verbrennungsmotors herrscht bei Öffnungsbeginn des Auslassventiles ein gewisser Überdruck. Die mit grosser Geschwindigkeit ausströmenden Gase erzeugen daher im Auspuffrohr eine Verdichtungswelle. Diese bewegt sich gegen das Rohrende; dort angelangt wird sie reflektiert und läuft als Verdünnungswelle zum Zylinder zurück. Wird im Moment, da diese im Zylinder anlangt, das Einlassorgan geöffnet, so strömt infolge des im Zylinder herrschenden Unterdruckes Frischluft in den Brennraum. Hält die Sogwirkung im Auspuffrohr genügend lange an, so kann der Zylinder von Verbrennungsrestgasen weitgehend befreit und mit Frischluft gefüllt werden.

Die Ausnutzung dieses Effektes wurde von Kadenacy [1] erstmals mit Erfolg auf Zweitakt-Verbrennungsmotoren angewandt. Viele Patente zeugen von den Bemühungen des Erfinders, alle dem Zweck dienlichen Auspuffleitungsformen zu schützen, die sich bei genauer Kenntnis der Strömungsvorgänge auf einen einfachen Nenner hätten bringen lassen. Seither hat man Methoden entwickelt, welche gestatten, den Druckverlauf in Auspuffleitungen, auch mit Druckschwankungen grosser Amplitude, wie sie beim Abgas-Vorauslass-Stoss auftreten, zu berechnen [2]. Versuche können sich daher heute darauf beschränken, die Randbedingungen bei besonderen Anwendungen zu ergründen.

Beim Viertakt-Verbrennungsmotor ist die «dynamische Spülung» verschiedentlich zur Anwendung gelangt, um bei Rennmotoren gegebenen Hubraumes eine Leistungssteigerung zu erzielen, doch ist diese unbedeutend, wenn man nicht dafür sorgt, dass die Ventilerhebungen von Auslass und Einlass eine genügend grosse zeitliche Überschneidung aufweisen; denn erst diese ermöglicht die wirksame Ausspülung des Brennraumes. Im Unterschied zum Zweitakt-Verfahren, bei dem die Spülphase im Bereich des unteren Kolben-Totpunktes erfolgt, muss hier im Bereich der oberen Totlage des Arbeitskolbens gespült werden. In diesem Zeitpunkt nähert sich der Raum zwischen Kolben und Zylinderdeckel einem Kleinstwert, daher kann mit einem geringeren Luftdurchsatz ein verhältnismässig grosser Erfolg erzielt werden.

Um die industrielle Verwertung der dynamischen Spülung bei Viertakt-Motoren abzuklären, hat die SLM vor über zehn Jahren ausgedehnte Versuche durchgeführt [3], deren Auswertung zu einer Abgrenzung des Anwendungsgebietes führte. Es zeigte sich, dass der Leistungsbereich des atmosphärisch ansaugenden Motors ausgedehnt werden kann bis zu jenem Punkt, bei dem die Aufladung des Brennraumes durch Abgasturbolader wirtschaftlich interessant wird, d. h. bis zu einem effektiven Arbeits-Mitteldruck von $p_{me} =$

7 kp/cm². Eine weitere Erstreckung ist ferner möglich, wenn man jedem Zylinder eine in der Länge ebenfalls zweckdienlich abgestimmte Einlassleitung vorschaltet [4], was eine bescheidene Aufladung des Zylinders durch eine Frischluft-Verdichtungswelle gestattet. Allerdings wird dadurch u. U. die Zugänglichkeit zu den übrigen Organen des Motors behindert. Man wird also insbesondere die dynamische Spülung überall dort mit Vorteil anwenden, wo man bisher eine Leistungssteigerung durch geringfügige Aufladung des Arbeitszylinders mit einem von der Kurbelwelle angetriebenen Gebläse mit all seinen Komplikationen anstrebt.

Geht man von den seinerzeit geheimnisumwobenen Versuchen aus, die Kadenacy an längsgespülten Zweitakt-Motoren ausgeführt hat, so zeigt die Durchsicht der vielen auf seinen Namen lautenden Patentschriften ein Hauptmerkmal, nämlich ein gegen das Ende hin mit einem Diffusor versehenes Auspuffkanal-System. Diese Anordnung hat E. Jenny [5] in seine Untersuchungen einbezogen und verschiedene Öffnungswinkel bzw. Längen des Diffusors durchgerechnet, gemessen und mit dem Rohr von durchgehend konstantem Querschnitt verglichen. Darnach gestattet der Diffusor eine erhebliche Steigerung der Saugwirkung, was seinen Grund darin hat, dass beim zylindrischen Rohr die Umsetzung der Energie mit geringerem Wirkungsgrad erfolgt. Das heisst, dass bei ihm die nicht als Verdünnungswelle zurückgesandte Energie verwirbelt, während sie beim Diffusor als Druckwelle weiterläuft und von neuem Saugwellen erzeugt. Wesentlich ist hierbei, dass die Länge des zylindrischen Rohrteils richtig bemessen ist: Die Verdünnungswelle soll beim Zylinder anlangen, wenn das Einlassventil öffnet. Diese rücklaufende Welle wird ausgelöst, wenn die Verdichtungswelle in den Diffusor eintritt.

Die Versuche bei der SLM haben diese Erkenntnis bestätigt und ausserdem gezeigt, dass bei Mehrzylindermotoren im Falle sinkender Drehzahl die Verdünnungswelle geringere Höhe hat, dafür aber über einen grösseren Kurbelwinkel wirksam ist. Eine Verstimmung des Systems tritt also nicht so rasch ein, wie wenn ein Auspuffrohr durchgehend konstanten Querschnitts verwendet wird. Die Abstimmung erfolgt hierbei auf die höchste im Betrieb vorkommende Drehzahl, weil dabei die Leitungslänge konstanten Querschnittes am kürzesten ist. Die Länge des Diffusors ergibt sich aus der Dauer der angestrebten Spülphase, wobei darauf zu achten ist, dass bei sinkender Drehzahl die Dauer, die zur Spülung zur Verfügung steht, grösser wird und somit ein Kriterium für die Diffusorlänge ist. Ganz analog wird bei Motoren mit konstanter Drehzahl die Abstimmung auf die grösste Last ausgerichtet, da bei dieser die höchste Auspufftemperatur auftritt und somit wiederum die Leitung konstanten Querschnittes am kürzesten wird. Den Diffusor legt man in diesem Fall so aus, dass das Maximum der Verdünnungswelle dann am Auslassventil vorhanden ist, wenn der kombinierte Zeitquerschnitt von Ein- und Auslassventil den Höchstwert erreicht.

Industrielle Anwendungen

Die genauen Kenntnisse der Vorgänge während des Gaswechsels bei Mehrzylindermotoren ermöglichen die Frage zu beantworten, wo die dynamische Spülung mit Erfolg angewandt werden kann. Es ist dies vor allem dort der Fall, wo mit sinkender Drehzahl das Drchmoment stark abfällt, also überall dort, wo die Belastung der Propellercharakteristik folgt. Dynamische Spülung ist auch bei stossweiser Be-

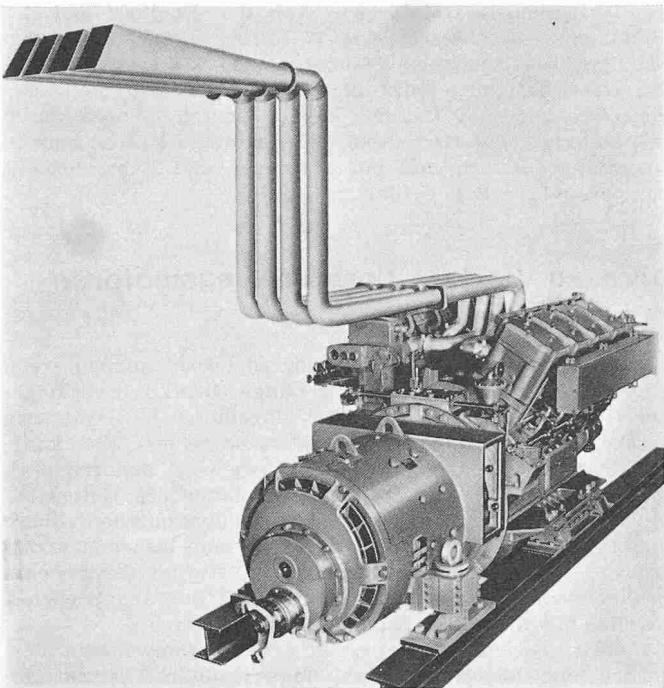


Bild 1. Achtzylinder-Viertakt-Dieselmotor der SBB-Verschiebelokomotive Em 3/3 von 600 PS (UIC-Leistung). Die zur dynamischen Spülung notwendigen Auspuffleitungen über dem Motor sind auf die Nenndrehzahl von 1200 U/min abgestimmt

lastung vorteilhaft, zumal die Sogwirkung sich praktisch verzögerungsfrei den Belastungsstößen anpasst, was insbesondere bei Leistungssteigerung durch Abgas-Turboaufladung nicht restlos der Fall ist. Bisher wurde eine grössere Anzahl Vierakt-Motoren mittlerer Grösse mit dynamischer Spülung (Gesamtleistung über 10 000 PS) abgeliefert, die zum Teil schon bald zehn Jahre im Betrieb stehen. Als Ergänzung einer früheren Veröffentlichung [3] sollen nachfolgend zwei typische Beispiele neueren Datums beschrieben werden:

a) Dieselmotor der SBB-Verschiebelokomotive Em 3/3 von 600 PS Leistung

Um die zu klein gewordenen Güterbahnhöfe der SBB zu entlasten, sieht die Verwaltung im gegenwärtigen Zeitpunkt als einzig gangbaren Ausweg die Beschaffung von Lokomotiven, die in jeder Beziehung rasch reagieren [7]. Es ist daher u. a. die Forderung aufgestellt worden, dass aus-

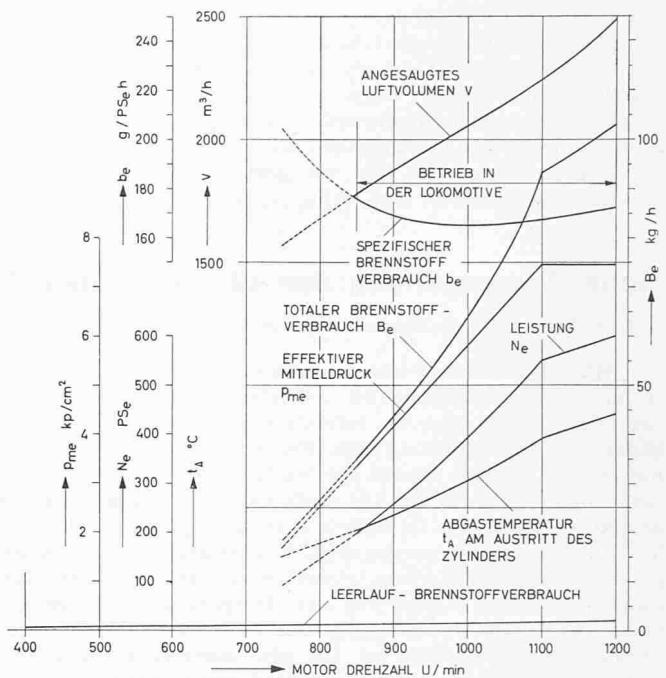


Bild 2. Während des hundertstündigen offiziellen UIC-Abnahmelaufes gemessene Betriebswerte des Motors nach Bild 1

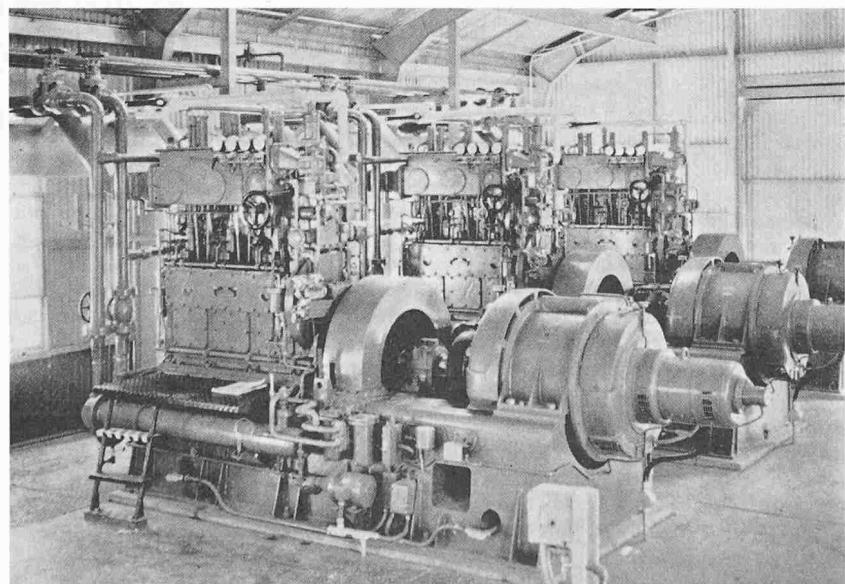


Bild 3. Dreizylinder-Gasmotoren von je 225 PS Leistung in einer Gas-Pumpstation in der Nähe von Buenos Aires

gehend vom Leerlauf des Dieselmotors bis zur Erreichung der maximalen Kraft am Zughaken der Lokomotive nicht mehr als fünf Sekunden verstreichen dürfen. Zur Erfüllung dieser Bedingung wurde ein Vierakt-Dieselmotor mit dynamischer Spülung gewählt. Bild 1 zeigt den Motor, dessen acht Zylinder in V-Form mit um 60° gegeneinander geneigten Reihen eine sehr kompakte Bauweise ergeben. Mit der Bohrung von 200 mm und dem Hub von 240 mm erreicht der Motor bei 1200 U/min eine Dauerleistung von 600 PS_e, die in einem offiziellen, nach den UIC-Vorschriften durchgeführten Abnahmelauf festgestellt worden sind. Vom effektiven Mitteldruck, der bei Vollast 7,5 kp/cm² beträgt, sind angenähert 25 % der Leistungssteigerung der dynamischen Spülung zuzuschreiben, während der Rest der rauchfreien Ueberlastmarge entnommen ist. Es sei in diesem Zusammenhang erwähnt, dass zur Verbesserung der Verbrennung Arbeitskolben mit hochgezogenem Rand und Zylinderdeckel mit vier Gaswechselventilen verwendet werden.

Eines der beiden Einlassventile ist mit einem Schirm versehen, der im Verein mit der Quetschwirkung des Kolbens einen Doppelwirbel der Frischluft im Brennraum zur Folge hat. Bei der hohen mittleren Kolbengeschwindigkeit von 9,6 m/s hat sich diese Anordnung als unerlässlich erwiesen, da der Brennstoff direkt in den Brennraum eingespritzt wird.

Was die Zusammenfassung der Auspuffleitungen bei Mehrzylindermotoren sowie die Ueberschneidung der Ventilöffnungszeiten anbelangt, gelten die selben Ueberlegungen wie bei Motoren mit Aufladung durch Abgasturbolader: es darf keine Vorauslass-Verdichtungswelle, auch nur teilweise, in die Spülphase eines anderen Zylinders fallen. Daher sind die Auspuffleitungen hier derart angeordnet, dass je zwei Zylinder eine gemeinsame Leitung haben und je zwei Leitungen in einen gemeinsamen Schalldämpfer einmünden, wobei diese auf dem Dach des Führerhauses untergebracht sind und den grösseren Teil der Diffusoren beherbergen.

Bild 2 gibt die während des UIC-100-Stunden-Abnahmelaufes gemessenen Werte (Motor an Wasserbremse). Da alle Hilfsmaschinen auf der Lokomotive direkt vom Dieselmotor angetrieben werden, musste die Leerlaufdrehzahl aus Brennstoffersparnisgründen auf 33 % der Nenndrehzahl festgesetzt werden, was aber nicht hindert, dass die volle Zugkraft der Lokomotive (Dieselmotordrehzahl 90 % der Nenndrehzahl) nach fünf Sekunden tatsächlich vorhanden ist. Dies ist durch Messungen am Dynamometerwagen der SBB geprüft worden.

b) Erdgas-Motor für «pipeline»-Pumpstationen in Argentinien

Für das vorerwähnte Projekt wurden von der SLM erstmals Gasmotoren mit dynamischer Spülung angeboten. Je drei der vorschiftsgemäss mit Kerzenzündung ausgerüsteten Motoren stehen heute in einer Pumpstation und arbeiten je nach Bedarf an elektrischer Hilfsenergie einzeln oder im Parallelbetrieb, wobei sich das Anlassen der parallel zu schaltenden Motoren vollautomatisch vollzieht. Bild 3 zeigt eine der vier unter sich identischen Anlagen, die von der SLM ausgeführt wurden.

Eingehende Versuche ergaben, dass der Betrieb mit Erdgas gegenüber demjenigen mit Stadtgas wegen der schmäleren Zündgrenze des ersten wesentliche Schwierigkeiten bei kleinen Lasten und im Leerlauf bereitet. Es muss nämlich an die Dosierung des Gas-Luft-Gemisches die Bedingung gestellt werden, dass über den ganzen Lastbereich das Mischungsverhältnis nahezu konstant und innerhalb der Zündgrenzen liegt. Dies bedingt insbesondere im Leerlauf eine extrem geringe Füllung, mithin grosse Unterdrücke im Zylinder, die wiederum die Intensität des Zündfunkens herabsetzen [6] und Zündaussetzer begünstigen.

Ein gleichmässiger Gang kann im Hinblick auf mögliche Lastschwankungen besser erreicht werden, wenn die Luft- und Gasdosierung unmittelbar vor jedem Zylinder erfolgt, was im Regelschema Bild 4 angedeutet ist; dort ist auch der hydraulische Antrieb des Gasdosierungsorgans besonder hervorgehoben. Der zugehörige Nocken sorgt dafür, dass das Gas erst Zutritt zum Zylinder erhält, wenn die Spülphase abgeschlossen ist.

Während in einer früheren Veröffentlichung [3] ideale Druckverlaufkurven eines Dieselmotors mit dynamischer Spülung gezeigt wurden, zeigt Bild 5 ausgesprochene Gasmotoren-Druckverlaufkurven. Man ersieht daraus, dass teils wegen ungleichen Gemisches, teils infolge ungleichmässiger Funkenbildung die Druckdiagramme im Zylinder und demnach der Druckverlauf in der Auspuffleitung starke Unregelmässigkeit aufweisen. Der Anschaulichkeit halber sind die für die Spülung verfügbaren Verdünnungswellen in Bild 5 durch eine vertikale Schraffur hervorgehoben.

Neueste Versuche mit analogen Gasmotoren haben gezeigt, dass sich die Zünddruck-Diagramme wesentlich gleichmässiger gestalten lassen, wenn einerseits sehr leistungsfähige Zündanlagen verwendet werden und man andererseits die gasseitige Drosselung im Mischgehäuse vor dem Zylinder-Eintritt auf die Luftpfeilung abstimmt.

Literaturhinweise:

- [1] Kadenacy Principle (Development of the —). «The Oil Engine», Nov. 1939, S. 214—217.
- [2] G. Eichelberg, Instationäre Strömungsvorgänge in Motoren «Forschung Ing.-Wesen», Bd. 14 (1943), S. 41—47.
- [3] R. Feiss, Augmentation de la puissance du moteur à 4 temps par balayage dynamique. «CIMAC-Colloque» 1955, La Haye.

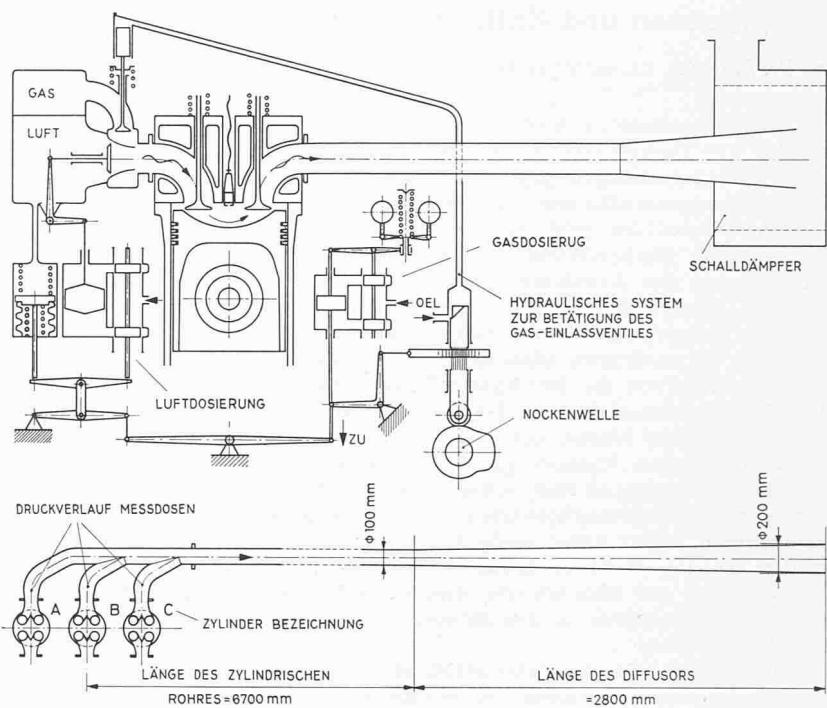


Bild 4. Regelschema und Auspuffleitung der mit Kerzenzündung versehenen Motoren nach Bild 3. Das Leitungssystem ist auf die Betriebsdrehzahl von 750 U/min abgestimmt

- [4] S. Saito, Exhaust inertia scavenging system, Vortrag gehalten in der «Japan society of mechanical engineers», April 1956.
- [5] E. Jenny, Berechnungen und Modellversuche über Druckwellen grosser Amplitude in Auspuffleitungen. Diss. ETH 1949.
- [6] G. Conzelmann und H. Knapp, Ueber die Jonenstrommessung und einige neuere Anwendungen dieses Messverfahrens am Ottomotor, «Motortechnische Zeitschrift» 1961 Heft 9, S. 337-343.
- [7] H. Loosli, Die neueste Entwicklung der Diesellokomotiven der SBB. SBZ 1961, H. 24, S. 409—421.

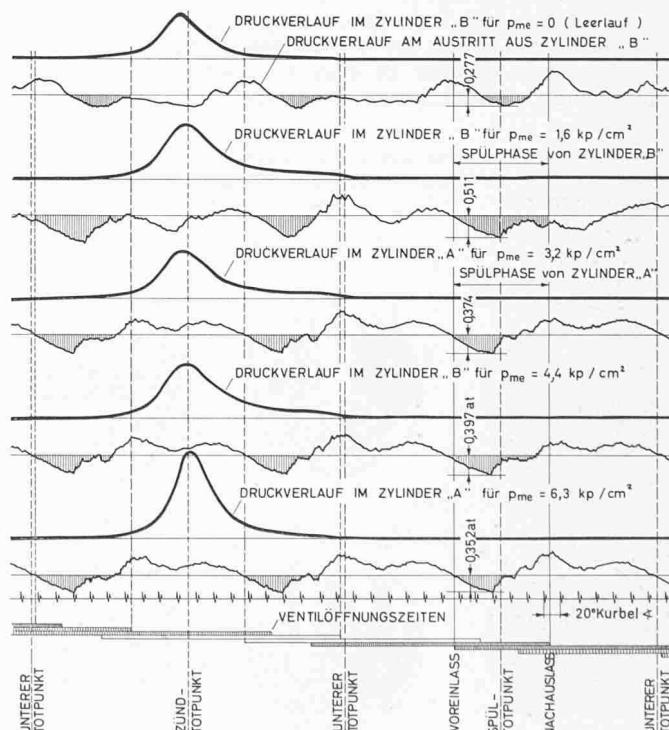


Bild 5. Druckverlauf im Zylinder und im Auspuffrohr. Die schraffierte Fläche veranschaulicht den zur Spülung des Brennraumes verfügbaren Anteil der Verdünnungswelle