

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 105/106 (1935)
Heft: 3

Artikel: Gemischbildung und Verbrennung im Diesel-Motor
Autor: Aue, G.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-47377>

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: 15.05.2025

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

INHALT: Gemischbildung und Verbrennung im Diesel-Motor. — Neues Bäckereigebäude des Konsumvereins Winterthur. — Fussgängersteg über die Töss bei Winterthur. — Mitteilungen: Eidgen. Technische Hochschule. Birotor-Pumpe. Vom Ingenieur-Titel in Gross-Britannien. Dreissig Jahre Emil Hafely & Co. Wasserver-

sorgung in den Freibergen (Berner Jura). Die Direttissima Bologna-Firenze. Der 12. Genfer Automobilsalon. — Wettbewerbe: Ganz billige Einfamilienhäuser. Volkshaus in Thun. Schulhaus Oberriet (Rheintal). Teilgestaltung der Place Cornavin in Genf. — Mitteilungen der Vereine. — Sitzungs- und Vortrags-Kalender.

Band 105

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich.
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 3

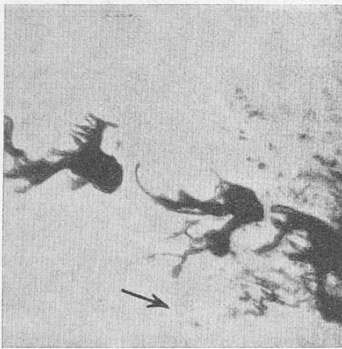


Abb. 1. Die Luft reisst vom Brennstoff Fetzen ab, die infolge der Oberflächenspannung zu Tröpfchen zusammenschrumpfen. Mikrophoto (siebenfach vergrössert) des NACA.

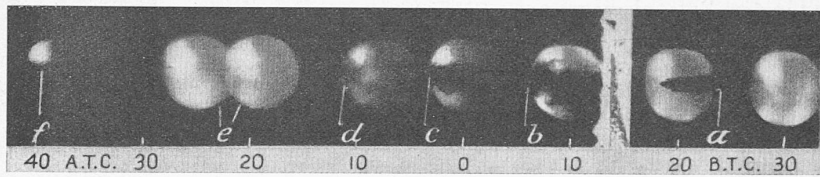
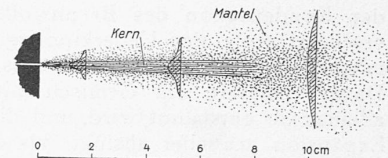


Abb. 4. Der eingespritzte Brennstoff ist bis d sichtbar, bei e ist er schon verdampft, bei f tritt Verfinstern der Kammer wegen Kondensation ein.

Abb. 2. Der Brennstoffstrahl besteht aus einem dichten, schnellen Kern und einem Mantel aus abgebremsten Öltröpfchen. (Aus Photographien u. Eindrücken in Plastilin, NACA).



Gemischbildung und Verbrennung im Diesel-Motor.

Von Dipl. Ing. G. AUE, Zürich.

Unsere Kenntnis von der Gemischbildung und Verbrennung im Dieselmotor ist durch eine Reihe von Forschungsarbeiten derart vervollständigt worden, dass wir uns ein anschauliches Bild vom Mechanismus dieser Vorgänge machen können.

Prinzipiell vollzieht sich die Gemischbildung in allen Verbrennungsmotorarten — Vergasermotor, klassischer Dieselmotor mit Lufteinblasung des Brennstoffs, und kompressorloser Dieselmotor — in der gleichen Weise, indem der Brennstoff infolge hoher Relativgeschwindigkeit zur Luft zerstäubt, und dann im Brennraum gleichmässig verteilt wird. Beim Vergasermotor erfolgt die Zerstäubung im Vergaser vor der Maschine, und das Gemisch hat während des Strömens zum Zylinder und während des Ansaugens und Kompressionshubes genügend Zeit sich zu homogenisieren. Eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit durch Erhöhung der Kompression ist hier nicht möglich, da das vorbereitete Gemisch sich bei hoher Verdichtung von selbst entzündet und klopft. Rudolf Diesel führte daher die getrennte Kompression der Luft und die Zuführung des Brennstoffs erst im oberen Totpunkt ein und verbesserte damit den Wirkungsgrad des Motors. Da nun die Zeit für die Bildung eines gleichmässigen Gemisches nicht ausreichte, nahm Diesel eine zusätzliche Energiequelle in Form von hochgespannter Pressluft zu Hilfe, die den Brennstoff fein zerstäubte und intensiv durch den Brennraum wirbelte. Die Erzeugung der Einblaseluft bildete aber eine zusätzliche Komplikation des Betriebes und verschlechterte den Wirkungsgrad, sodass nach dem Kriege die luftlose Druckeinspritzung des Brennstoffs entwickelt wurde; heute beherrscht der kompressorlose Dieselmotor vollständig das Feld. In diesem Fall steht weder Zeit noch Zusatzenergie zur Verfügung, und wir müssen die Vorgänge verstehen, um sie beherrschen zu lernen.

Die Zerstäubung des direkt eingespritzten Brennstoffstrahls erfolgt in der Weise, dass die Luft aus dem mit vielleicht 300 m/sec fliegenden Strahl Fetzen oder genauer gesagt Bändchen reisst, die unter dem Einfluss der Oberflächenspannung der Flüssigkeit zu Tröpfchen zusammenschrumpfen (Abb. 1). Diese feinen Tröpfchen von rd. 1 bis 50 μ Durchmesser werden von der Luft schnell abgebremst und bilden einen schwebenden Mantel um einen Kern, der aus dem nachschliessenden, noch wenig zerstäubten Strahl und mitgerissener Luft besteht (Abb. 2). Infolge dieses Mechanismus ist die Brennstoffverteilung im Strahl sehr ungleichmässig, wie es die eingezeichneten Mengenkurven zeigen. Je grösser der Lufteinfluss ist, den wir durch die Grösse des Staudrucks, $p_{\text{stau}} = \rho/2 \cdot v^2$ (ρ = Dichte

der Luft, v = Relativgeschwindigkeit zwischen Luft und Brennstoff), ausdrücken können, desto schneller und energischer werden die Bändchen abgerissen und desto feiner wird die Zerstäubung. Andererseits nimmt die Zerstäubungsfineinheit ab, wenn zähe Flüssigkeiten oder solche mit grosser Oberflächenspannung der Zerreissung einen grösseren Widerstand entgegensetzen.

Die zur Zerstäubung notwendige Energie wird dem Öl durch den Brennstoffpumpenkolben zugeführt, und zwar ist die Arbeit gleich dem Pumpendruck mal dem Hubvolumen der Pumpe. Davon geht ein Teil durch Reibung und Wirbelung in der Leitung und in der Düse verloren. Der Rest steht in Form von kinetischer Energie des austretenden Strahls zur Verfügung. Je grösser diese Energie pro cm^3 ist, das heisst je höher der Pumpendruck und je kleiner die Verluste, desto feiner ist, unter sonst gleichen Umständen, die Zerstäubung und desto grösser die Durchschlagskraft des Strahls. Je nach der Form der Kanäle unterscheidet man streuende und durchschlagende Düsen; die ersten lassen den Strahl schon stark turbulent austreten und erleichtern dadurch den Luftkräften dessen Auflösung; er wird also stark aufgeweitet und besitzt nur geringe Durchschlagskraft. Die Zerstäubung wird feiner als bei durchschlagenden Düsen, die einen Teil der Energie zur Ueberwindung des Luftwiderstandes aufbrauchen, wenn nicht die Turbulenz durch zusätzliche Druckverluste, wie z. B. infolge Einbaus eines Wirbeleinsatzes, erkaufte werden muss.

Findet die Einspritzung, wie es im Dieselmotor der Fall ist, in heisse, verdichtete Luft statt, so tritt nach einer gewissen Vorbereitungszeit die Zündung ein. Die viel umstrittene Frage, ob der Brennstoff vor der Zündung verdampfe, muss heute bejaht werden. In flüssigem Zustand sind die Moleküle gegenseitig behindert und können nicht richtig mit dem Sauerstoff reagieren, während freie Dampf-Moleküle durch Mischung mit der Luft viel mehr

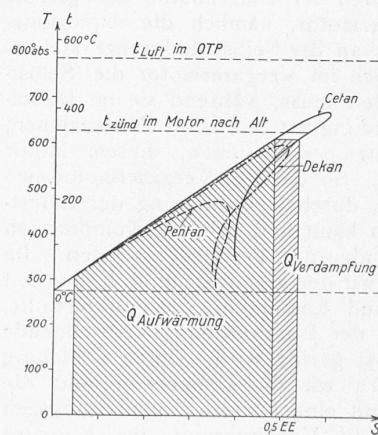


Abb. 3. Die zur Verdampfung des Brennstoffs notwendige Wärmemenge ist im Verhältnis zur Aufheizmenge so klein, dass eine wesentliche Verlängerung der Aufbereitungszeit nicht eintritt.

dem Angriff des heissen Sauerstoffs ausgesetzt sind. Der Einwand, die Zeit genüge für die Verdampfung nicht, wird durch die Kleinheit der Verdampfungs-, verglichen mit der Aufheizwärme des Gasöls entkräftet. Die Verhältnisse sind in dem Entropiediagramm (Abb. 3) für Cetan $C_{16}H_{34}$, das als guter Vertreter des Gasöls gewählt wurde, dargestellt.

Im weiteren haben Filmaufnahmen des Brennstoffstrahls in der laufenden Maschine (Abb. 4) ergeben, dass dieser nach der Einspritzung zunächst sichtbar ist, dann aber in der Gegend des oberen Totpunktes vollkommen verschwindet, also offenbar verdampft; tritt keine Zündung ein, so verfinstert sich der Brennraum bei der Expansion wegen der Kondensation des Brennstoffs. Diese Kondensation erscheint trotz der Ueberkipfung des Entropiediagramms möglich, wenn man bedenkt, dass kein reiner Brennstoffdampf, sondern ein Gemisch mit rd. 95 bis 97 % Luft adiabatisch entspannt wird, und die Lufttemperatur bei der Expansion schneller absinkt, als es der Dampfdruckkurve des Brennstoffs entspricht.

Bei idealer Verbrennung sollte der Brennstoff sofort bei Beginn der Einspritzung zünden und in dem Masse verbrennen, wie er eingespritzt wird; nach Schluss der Einspritzung wäre die Verbrennung auch fertig, und eine reine Expansion würde sich anschliessen.

In Wirklichkeit braucht es eine gewisse Zeit, bis der Brennstoff aufgewärmt und verdampft ist, und bis die Geschwindigkeit der Verbrennungsreaktion gross genug geworden ist, um durch die freiwerdende Wärmemenge die Wärmeverluste zu decken, und auch die benachbarten Teilchen bis zur Auslösung der Reaktion aufzuheizen. Dieser Auslinkzustand der Verbrennung wird normalerweise in 1 bis 5 Tausendstelsekunden erreicht. Die bis dahin verstrichene Zeit, der Zündverzug, spielt eine umso grössere Rolle, je schneller die Maschine läuft. Beim Langsamläufer beträgt der Zündverzug nur wenige Grad Kurbelwinkel, und die Verbrennung nähert sich von dieser Seite her der idealen. Mit der Steigerung der Drehzahl wächst der Zündverzug in Grad Kurbelwinkel ausgedrückt und erreicht beim Schnellläufer die Grössenordnung der Einspritzzeit; der Brennstoff ist also schon grossenteils oder gänzlich in den Brennraum eingespritzt, bevor überhaupt eine Zündung eintritt. Klinkt nun der Zündvorgang an irgend einer Stelle aus — das wird der Fall sein mit den zuerst eingespritzten feinsten Tröpfchen, die sich im Mantel befinden —, so schlägt die Reaktion plötzlich durch das ganze vorbereitete Zündgemisch, und es erfolgt eine scharfe Drucksteigerung, die im Motor als Klopfen hörbar wird. Prinzipiell ist also das Klopfen im Dieselmotor der gleiche Vorgang wie im Vergasermotor, nämlich die explosionsartige Verbrennung eines an der Selbstzündgrenze stehenden Gemisches; da jedoch im Vergasermotor die Selbstzündung verhindert werden muss, während sie im Dieselmotor die legitime Zündungsart ist, sind Massnahmen, welche die Selbstzündung beschleunigen, diesem Motor nützlich, jenem schädlich. So darf im Vergasermotor, wo das Klopfen, wie gesagt, durch Verhinderung der Selbstzündung verhütet werden kann und soll, die Kompression nicht über die Selbstzündgrenze gesteigert werden. Im Diesel hingegen müssen wir den Zündverzug, d. h. die Zeit zwischen Einspritzung und Entzündung des Brennstoffs, verkürzen, damit die bei der Durchzündung verbrennende Brennstoffmenge möglichst gering wird. Durch Erhöhung der Kompression steigern wir die Temperatur und die Dichte und erreichen damit eine kürzere Aufbereitungszeit der Tröpfchen, also eine Verringerung des Klopfens (Abb. 5). Aus dem selben Grund ist eine Erniedrigung der Selbstzündungstemperatur des verwendeten Brennstoffes im Dieselmotor willkommen, im Vergasermotor unerwünscht.

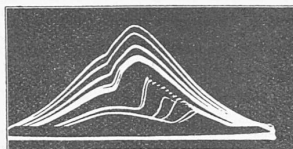


Abb. 5. Geringere Kompression, erhalten durch Drosselung der Ansaugluft, ergibt grösseren Zündverzug, steilern Druckanstieg und damit stärkeres Klopfen trotz kleineren Maximaldrücken.



Abb. 1. Strassenfront der Bäckerei an der Thurgauerstrasse, aus Norden.

Deshalb klopfen Benzol und Steinkohlenteeröle mit soliden ringförmigen Molekülen im Dieselmotor stärker, im Vergasermotor weniger leicht, als Erdöldestillate, die infolge ihres wenig stabilen Kettenaufbaues dem oxydierenden Sauerstoff weniger Widerstand leisten können und daher bei niedrigeren Temperaturen zünden.

Es kann natürlich nur der Brennstoff verbrennen, der den nötigen Sauerstoff bereits gefunden hat, der Rest muss ihn erst suchen, wird dabei durch die Flamme auf 1500 bis 2000° C erhitzt und zerfällt. Der sehr reaktionsfähige Wasserstoff oxydiert noch, und zurück bleiben ungesättigte, halb oxydierte, schlecht riechende Verbindungen und reiner Kohlenstoff als Russ. Diese Produkte machen den Betrieb mit unvollständiger Verbrennung im Dieselmotor vollständig unbrauchbar. Im Vergasermotor bildet sich jedoch wegen der besseren Durchmischung von Brennstoffdampf und Luft bei unvollständiger Verbrennung das giftige aber geruchlose Kohlenmonoxyd. Diese zwei Verbrennungsarten lassen sich leicht mit einer Gasflamme demonstrieren, die normal infolge lokalen Luftmangels Kohlenstoff abscheidet und daher leuchtet. Bei Verringerung des lokalen Luftmangels durch Zufuhr von Luft vor der Verbrennung erhält man die blaue nichtleuchtende Flamme des Bunsenbrenners. Wird die Reaktion durch Abkühlung unterbrochen — in der Flamme durch einen hineingehaltenen kalten Gegenstand, im Motor durch die Expansion — so bildet sich im ersten Falle Russ, im zweiten Kohlenoxyd.

Durch unvollständige oder auch schon durch späte Verbrennung steigt der Brennstoffverbrauch der Maschine, da unbenutzter Brennstoff ganz verloren ist, und spät verbrannter nur den Auspuff heizt, statt Arbeit zu leisten. Zum Ausgleich des lokalen Luftmangels muss mit hohem allgemeinem Luftüberschuss, also stark verdünnter Mischung gefahren werden, und die spezifische Leistung der Maschine, gemessen im Mitteldruck, sinkt auf die bekannten Werte von 5 und 6 kg/cm², gegenüber dem Doppelten bei Vergasermotoren, die mit theoretischer Mischung, ja sogar mit Brennstoffüberschuss laufen können.

Alle diese Fehler des Dieselmotors rühren von schlechter Verbrennung infolge von lokalem Luftmangel her und lassen sich durch Verbesserung der Gemischbildung beheben. Sobald ein Teilchen zur Verbrennung bereit ist, muss es seinen Sauerstoff serviert vorfinden. Bessere Ausfüllung des Brennraumes durch die Brennstoffstrahlen allein genügt nicht, denn, wie wir gesehen haben, ist die Verteilung im einzelnen Strahl an und für sich schlecht. Findet der Brennstoff allein den Sauerstoff nicht, so müssen wir ihn ihm zuführen, und zwar nicht durch brutale Wirbelung mit hohem Energieaufwand wie beim Luftpumpenmotor, sondern durch planmässige Luftbewegung. Sämtliche erfolgreichen Dieselschnellläufer, ich erinnere nur an die Bauarten von Ricardo oder an den neuen Saurermotor, der mit nur rd. 20 % Luftüberschuss einen guten Brennstoffverbrauch aufweist, sind auf dem Wege der Erkenntnis und der konsequenten Anwendung der planmässigen Luftzufuhr entwickelt worden. Dieser Weg des wirklichen Ver-

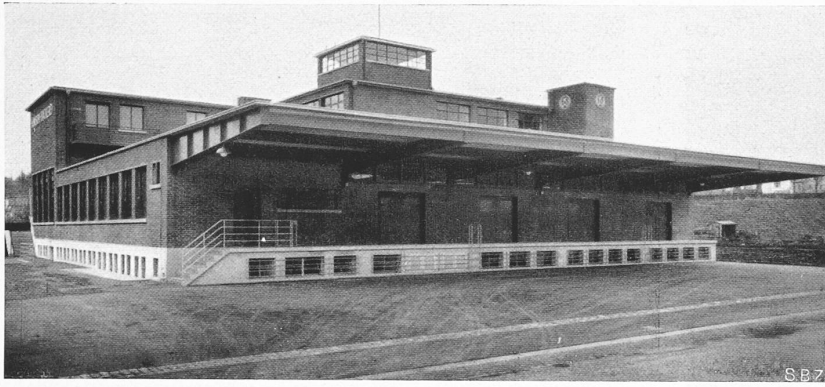


Abb. 2. Südansicht der Konsum-Bäckerei Winterthur, Speditions-Seite an der Werkstrasse.

stehens der Vorgänge ist aber auch der einzige, der eine sinnvolle Entwicklung auf ein Ziel hin ermöglicht; jeder andere Weg, mag er auch vom Glück begünstigt sein, bleibt ein Tappen im Dunkeln.

LITERATUR. Fr. Sass: „Kompressorlose Dieselmotoren“; National Advisory Committee for Aeronautics (NACA), Report No. 438, D. W. Lee: „Experiments on the Distribution of Fuel in Fuel-Sprays“; No. 454, D. W. Lee and Rob. Spencer: „Photomicrographic Studies of Fuel-Sprays“; No. 429, A. M. Rothrock: „NACA-Apparatus for Studying the Formation and Combustion of Fuel-Sprays and the Results from Preliminary Tests“; No. 440, Castleman, R. A. jr.: „The Mechanism of Atomisation accompanying Solid Injection“; VDI-Forschungsheft 366, G. D. Boerlage und J. J. Broeze: „Zündung und Verbrennung im Dieselmotor“.

Neues Bäckereigebäude des Konsumvereins Winterthur.

Architekten: FRITSCHI, ZANGERL & STRÄULI (heute Zangerl, Sträuli und Rüeger), Winterthur.

Ingenieure: SCHELLENBERG & CHATELAIN, Zürich.

BERICHT DER ARCHITEKTEN.

Ausführung. Bei der äusseren Gestaltung wurde Wert darauf gelegt, den Bau mit seiner Nachbarschaft in Einklang zu bringen, weshalb man das gleiche rote Backsteinmauerwerk gewählt hat, wie im gegenüberliegenden „Konsumhof“ und den Eisenkonstruktionswerkstätten Geilinger & Co. Dadurch ist ein nach Form und Farbe recht ansprechendes, einheitliches Bild der so verschiedenen Zwecken dienenden Bauten entstanden.

Alle Böden der Arbeitsräume sind ins Gefälle verlegt, mit Ablaufrinnen versehen und mit Platten verschiedener Art belegt. Beobachtungen im In- und Ausland zeigten, dass solche Bodenbeläge oft vorzeitig reparaturbedürftig werden. Dem vorzubeugen entschloss man sich, überall dort, wo mit Knetschalen, Gärständen und dergleichen gefahren wird, Eisenplättli zu verwenden. Die Wände der Arbeitsräume sind bis auf Türhöhe mit weissen, glasierten Platten belegt. Fensterrahmen und Türen sowie einzelne Zwischenwände sind aus Eisen. Im weit ausladenden Vordach, über dem Speditionsraum und an andern Stellen sind grössere Flächen begehbarer Glasdächer angebracht, sodass die betreffenden Räume sehr hell sind. Der Backraum, der von zwei Seiten durch andere Räume und auf der vierten Seite durch eine Brandmauer eingeschlossen ist, erhält seine Tagesbeleuchtung durch ein breites, unter der Decke verlaufendes Fensterband, wodurch auch Blendwirkung vermieden wird.

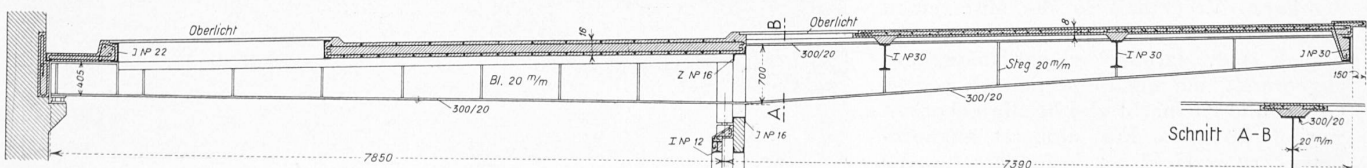


Abb. 3. Eisenbetondach über Speditionsraum (links) und Vorfahrt (rechts) mit Oberlichtern und geschweisstem eisernem Unterzug. — Masstab 1 : 80; Text Seite 30.

Der Arbeitsgang vollzieht sich wie folgt. Das Mehl wird im Lastwagen bei der Rampe vorgefahren, in Stössen von je 500 kg auf Holzuntersätze geladen und mittels Aufzug in den ersten Stock ins Lager befördert (Abb. 12). Am Tag vor dem Gebrauch wird das Mehl durch den Vormischapparat und den Zentrifugal-sichter gründlich aufgelockert (Abb. 11), gereinigt und durchgelüftet, um sodann durch ein Becherwerk in die Mehlsilos gehoben zu werden, die sich im kleinen Aufbau über dem Dach befinden.

Neben dem Mehllager und unter den Silos liegt der Knetraum. Auf die im Boden versenkte Brücke einer automatischen Waage wird eine Knetschale gefahren, in die aus den unmittelbar darüber befindlichen Silorohren die zu verbäckende Menge und Sorte Mehl fliesst. In der Knetmaschine (Abb. 13) wird dem Mehl das nach Bedarf temperierte Wasser zugemessen und sodann der Teig geknetet. Um den Gärungsprozess zu befördern, stellt man den Teig in den Gärraum, wo er bei erhöhter Temperatur und dampfgesättigter Luft sich rasch zur Reife entwickelt. Sollte er ausnahmsweise in diesem Zeitpunkt noch nicht zur Aufarbeitung kommen können, so schiebt man ihn zur Lagerung in die Kühlkammer.

In der Regel wird der Teig aus dem Gärraum in der Knetschale zum Kippapparat gefahren, wo er durch ein elektrisch angetriebenes Hebezeug in eine Teiggrutsche entleert wird und im Erdgeschoss in eine Mulde oder direkt auf den Wirtisch fällt (Abb. 14). Hier beginnt die eigentliche Handarbeit des Bäckers, die Aufteilung und Formgebung des Teiges. Wird es notwendig, den Teig nochmals etwas hochzutreiben, so wird er in den hier im Backraum vorhandenen zweiten Gärraum geschoben.

Der Turnusofen (Abb. 15 und 16) ist eine Neukonstruktion, kleiner als die bisher erstellten Backöfen dieses Systems. Er hat eine Länge von rd. 10 m, eine Breite von 3 m und eine Höhe von 2 m. Er ist nicht, wie bisher üblich, aus feuerfesten Steinen, sondern aus Stahlblech, wobei Schlackenwolle zur Isolierung verwendet ist. Durch die ganze Länge des Ofens geht ein oberer und ein unterer Backkanal (Abb. 15). Zwei endlose Ketten zu beiden

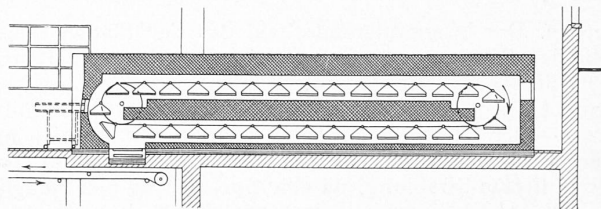


Abb. 15. Längsschnitt des elektr. Turnus-Backofens. — Schema 1 : 150.

Seiten übernehmen die Führung der 31 Backplatten, die quer im Ofen hängen. Man setzt etwa 14 zu Broten geformte Teigstücke auf den Aufsatzapparat, um sie, wenn sich der Ofen öffnet, in seinem Innern verschwinden zu lassen. Auf der heissen Backplatte geraten sie zunächst in den Schwadendampf der Vorbackzone, wandern durch den obren Backkanal nach hinten und durch den untern zur Ausgangsstelle zurück. Hier kippt die Backplatte um und die fertig gebackenen Brote rutschen auf das Transportband, auf dem sie in den Speditionsraum befördert