

Über die Ausführung von Schlitzdüsen im Unterschallbereich

Dosdoğru, Günay
(1969)

DOI (TUprints): <https://doi.org/10.25534/tuprints-00017384>

License:



CC-BY 4.0 International - Creative Commons, Attribution

Publication type: Article

Division: 16 Department of Mechanical Engineering

Original source: <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/17384>

Über die Ausführung von Schlitzdüsen im Unterschallbereich

Zur Lufttrocknung von bedruckten Warenbahnen sowie Papieren, Textilien usw. werden bevorzugt Prallstrahldüsentrockner benutzt. Bei diesen Trocknern strömt Luft meistens aus mehreren Düsen, die rund oder schlitzförmig sein können, senkrecht auf das Trockengut. Um eine hohe Trockengeschwindigkeit zu erzielen, werden an diese Düsen gewisse Anforderungen gestellt. Sie müssen so konstruiert sein, daß die Luft möglichst turbulenzarm ausströmt, so daß der Strahlkern mit einem minimalen Verlust an Luftgeschwindigkeit in Bewegung bleibt. Die Düsenaustrittsgeschwindigkeit selbst ist nämlich nicht diejenige Luftgeschwindigkeit, welche die Trocknung direkt beeinflußt. Für den Wärme- und Stoffübergang und somit für die Trocknungsgeschwindigkeit ist vielmehr die wandparallele Geschwindigkeitskomponente des auf dem Trocknungsgut aufprallenden und umgelenkten Luftstromes verantwortlich. Sie hat umso mehr Bewegungsenergie zur Verfügung, je weniger Turbulenz der Strahl am Düsenaustritt aufweist.

Im Überschallbereich sind im Zuge der raschen Entwicklung der Luftfahrttechnik Düsen entwickelt worden, die nach aerodynamischen Gesichtspunkten - wie z. B. Charakteristiken-Verfahren - konstruiert werden, um die an sie gestellten Anforderungen befriedigend zu erfüllen. Im Gegensatz zu den Überschalldüsen werden aber den Unterschalldüsen insbesondere den Schlitzdüsen für den Unterschallbereich viel zu wenig Beachtung geschenkt, obwohl auch für diesen Geschwindigkeitsbereich die Güte der Düse in der Praxis aus wirtschaftlichen Gründen und im Laborbetrieb bezüglich der Genauigkeit der durchzuführenden Messungen von ausschlaggebender Bedeutung ist. Ein sehr gleichmäßiges Geschwindigkeitsprofil am Düsenaustritt und eine besonders große Kernlänge kann man im allgemeinen als Maß für die Güte einer Düse definieren. Als Kernlänge wird der Abstand der Stelle, vom Düsenaustritt bezeichnet, bei der in der Strahlachse die maximale Düsenaustrittsgeschwindigkeit gerade noch erhalten bleibt. Von verschiedenen Düsenkonstruktionen mit einer gleich großen Düsenöffnung hat diejenige Düse den höheren Gütegrad, die bei gleicher Düsenaustrittsgeschwindigkeit die größte Kernlänge besitzt. Ein merklicher Verlust an Bewegungsenergie setzt nämlich erst nach Überschreiten der Kernlänge ein. Düsen mit größerer Kernlänge gestatten einen großen Sicherheitsabstand von der Papierbahn ohne wegen dieses Abstandes merklich an Wirkung einzubüßen.

Mit zunehmendem Strömungsweg nach Überschreiten der Kernlänge

mischt sich der Luftstrahl infolge der größer werdenden turbulenten Bewegung sehr stark mit der Umgebungsluft und reißt sie immer mehr mit. Aus diesem Grunde liegen die erreichbaren Kernlängen in der Praxis z.B. mit VDI-Normdüsen zwischen dem vier bis fünffachen des Düsendurchmessers, bzw. bei Schlitzdüsen dem vier bis fünffachen der Düsenbreite. Anders sind die Verhältnisse, wenn es sich um einen Flüssigkeitsstrahl handelt, der sich in einem Gas z.B. Luft verbreitet. In diesem Fall erreicht bekanntlich der Flüssigkeitsstrahl eine viel größere Kernlänge gegenüber einem Luftstrahl, weil hier die Mischung mit der Umgebungsluft eine untergeordnete Rolle spielt, solange durch Tropfenbildung kein frühzeitiger Strahlzerfall zustande kommt.

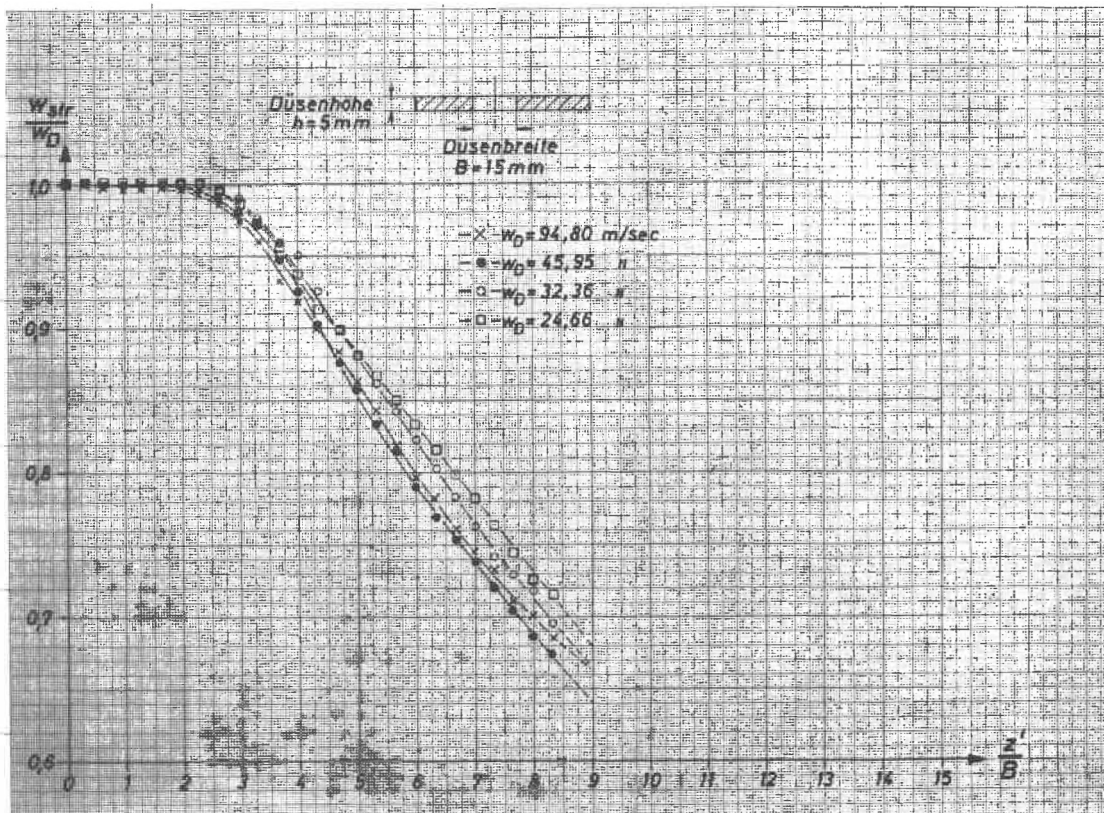


Bild 1

Die Strömungsverhältnisse an einer Schlitzdüse sind verglichen mit einem rotationssymmetrischen Strahl komplizierter, wenn das Verhältnis der Breite zur Länge der Schlitzdüse nicht klein genug ist. Wegen der endlichen Ausdehnung in Längsrichtung ist eine zusätzliche Störung des austretenden Luftstrahls durch Randeinflüsse vorhanden, die bei einer kreisrunden Düse wegen der Symetrie garnicht in Erscheinung tritt. Zur Vermeidung solcher Störungen muß die Schlitzdüse eine sehr große Länge besitzen, damit angenähert die Strömungsverhältnisse wie bei einer unendlich langen Düse erreicht werden. Bei Trockeneinrichtungen an Druckmaschinen ist das immer der Fall.

Um große bedruckte Flächen gleichmäßig trocknen zu können, werden in der Praxis meistens Schlitzdüsen gegenüber Runddüsen bevorzugt.

Daher wurden im Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren die Strömungsverhältnisse an verschiedenen Schlitzdüsenausführungen untersucht. Im folgenden wird über diese Untersuchung berichtet.

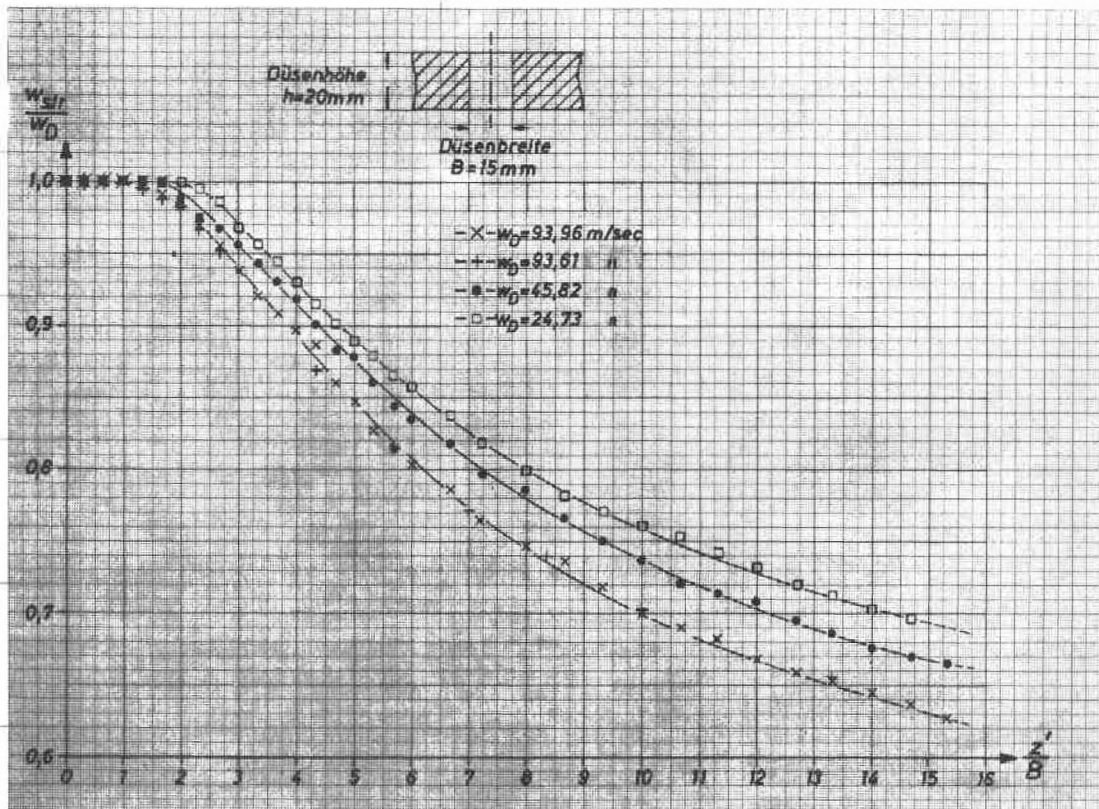


Bild 2

Die einfachste Ausführung einer Schlitzdüse ist durch zwei mehr oder weniger dicke Blechplatten möglich, die man am Austritt eines von einem Gebläse mit Luft gespeisten Beruhigungskastens - eventuell verschiebbar - so anschraubt, daß sie einen Schlitz bilden. Die verschiebbare Anordnung ermöglicht es, auf eine sehr einfache Weise verschiedene Düsenbreiten zu verwirklichen. Düsen von derart einfacher Konstruktion werden als Blenden bezeichnet. Die Kanten der Blechplatten im Strömungsquerschnitt können je nach Herstellungsart scharf oder etwas abgerundet sein.

Bezeichnet man die Düsenbreite mit B , die Düsenaustrittsgeschwindigkeit mit w_D , die Strahlachse, beginnend am Düsenaustritt mit z , die Kernlänge mit z_0 und die örtlich längs der Strahlachse in Strömungsrichtung gemessene Geschwindigkeit mit w_{str} , so kann man die verschiedenen Meßergebnisse besser miteinander vergleichen, wenn man das dimensionslose Geschwindigkeitsverhältnis w_{str}/w_D über den bezogenen Düsenabstand z/B aufträgt. Diese Art Auftragung, die die Bestimmung der bezogenen Kernlänge z_0/B ermöglicht, ist auch zum Vergleich einzelner Düsenausführungen hinsichtlich ihrer Güte sehr gut geeignet.

Das Ergebnis solcher Messungen an einer Schlitzdüse, die mit zwei scharfkantigen Blechplatten (5 mm stark) ausgebildet wurde, ist in Bild 1 dargestellt.

Die bezogene Kernlänge liegt etwa bei einem Wert von $z_0/B = 2$. Sie wird scheinbar mit größer werdender Düsenaustrittsgeschwindigkeit etwas kleiner. Diese Abnahme wird möglicherweise durch eine

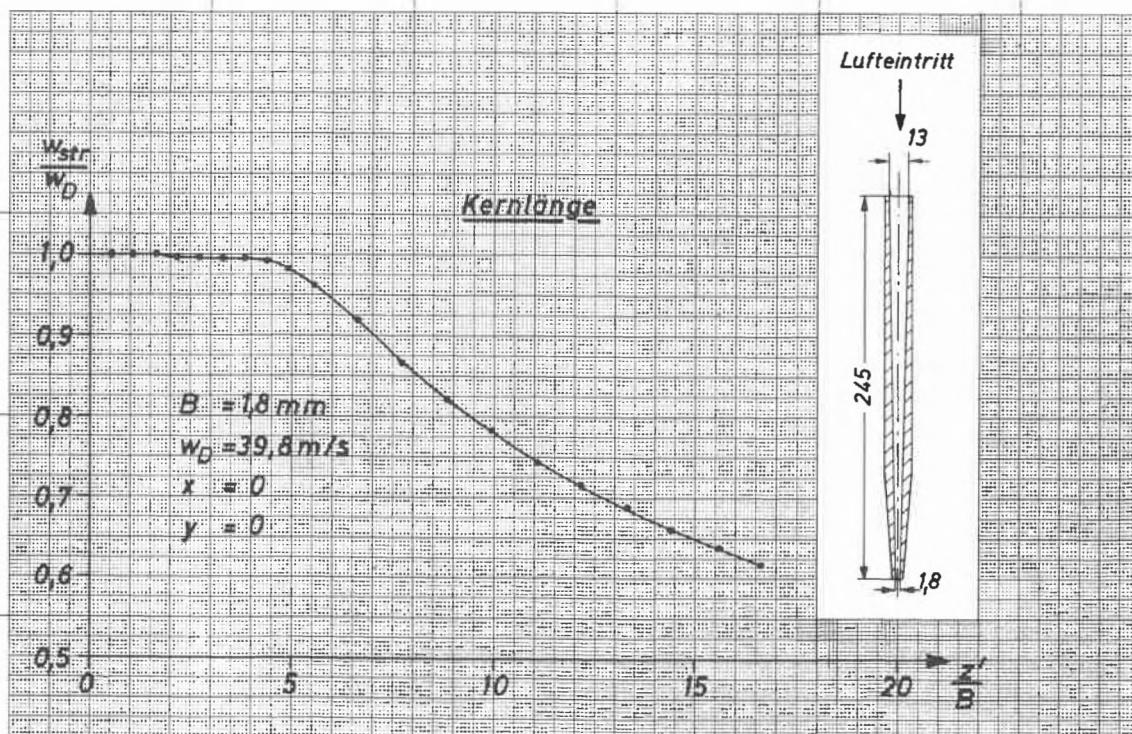


Bild 3

stärkere Turbulenz des Strahles bei höheren Geschwindigkeiten verursacht, die durch die Düsenform bedingt ist. Diese Kernlängen sind verglichen mit den vier bis fünffachen Kernlängen der Düsenbreiten bei den VDI-Normdüsen sehr klein.

Nach Überschreiten der bezogenen Kernlänge, also bei z'/B Werten über 2...2,5, ist der Abfall des Geschwindigkeitsverhältnisses $w_{str.}/w_D$ sehr stark, weil sich nun die turbulente Vermischung mit der ruhenden Luft bis in die Strahlenmitte auswirkt. Ferner ist festzustellen, daß auch in diesem Bereich höhere Düsenaustrittsgeschwindigkeiten grundsätzlich einen steileren Abfall der $w_{str.}/w_D$ Verläufe mit Zunahme der z'/B Werte bewirken.

Um einen etwaigen Einfluß der Düsenhöhe auf die Strömung zu untersuchen, wurde aus einer 20 mm starken Blechplatte eine zweite Schlitzblende hergestellt. Hierbei betrug die Düsenbreite auch $B = 15$ mm und die Düsenlänge $L = 100$ mm. Die Kanten waren scharf ausgebildet. Die Meßergebnisse dieser zweiten Düse, die aus Bild 2 zu entnehmen sind, sind grundsätzlich die gleichen, wie beim ersten Beispiel.

In der Praxis arbeitet man oft mit Schlitzdüsen, die aus zwei in einem bestimmten Winkel zueinander stehenden, geradlinigen Blechstücken hergestellt sind. Durch ihre Verjüngung in Strömungsrichtung erzeugen sie eine beschleunigte und somit mit weniger Druckverlusten behaftete Düsenströmung. Das Ergebnis der Messung zur Bestimmung der bezogenen Kernlänge einer solchen geradlinigen, verjüngten Düse ist in Bild 3 dargestellt. Die bezogene Kernlänge beträgt hier $z'_0/B \approx 4,5$ und ist somit etwa doppelt so groß wie die bezogenen Kernlängen der in Bild 1 und 2 dargestellten Düsenausführungen. Diese Ergebnisse, die sich auch bei anderen Düsenbreiten grundsätzlich wiederholen, waren hinsichtlich der Forderung einer möglichst großen Kernlänge nicht zufriedenstellend. Daher lag der Gedanke nahe, Profildüsen herzustellen, die für eine reibungsfreie Strömung nach der adiabatischen Expansion (Isentrope) berechnet werden, wobei längs der Düsenachse ein konstantes Druckgefälle zu grunde gelegt wurde. Insgesamt wurden fünf verschiedene Düsen hergestellt, die bei gleicher Düsenaustrittslänge von $L = 100$ mm Düsenaustrittsbreiten von $B = 2, 5, 8, 10, 15$ mm besaßen. Diese Profildüsen, die eine Höhe von 20 mm haben und für einen bündigen Einbau gedacht sind, sollen als Düsentyp 1 bezeichnet werden. Eine weitere Profildüse mit einem langen Auslauf (Düsenhöhe 200 mm) und mit einer Breite von $B = 1,6$ mm soll dagegen die Bezeichnung Düsentyp 2 erhalten. Bild 4 zeigt die beiden Düsentypen. Alle Profildüsen wurden für eine maximale Düsenaustrittsgeschwindigkeit von $w_D = 118$ m/s ausgelegt und besaßen jeweils sowohl in x als auch in y Richtung gleiche Wandprofile. Die Wandprofile der fünf Düsen (Düsentyp 1) sind in Bild 5 dargestellt. Dabei ist auf der Abszisse die Profiltiefe k_h aufgetragen, die in jeder beliebigen Düsenhöhe über die Gleichung

$$F_h = (B + 2k_h) (L + 2k_h^*)$$

mit der Düsenquerschnittsfläche F_h in Beziehung steht. Wegen der

Forderung nach Profilgleichheit in zwei Richtungen (Fräserbedingung) ist $k_h = k_h^*$. Bei der Berechnung nach der adiabatischen Expansion unter Zugrundelegung eines linearen Druckabfalls längs der Düsenachse erhält man nämlich als Endergebnis die Düsenquerschnittsfläche F_h in Abhängigkeit von der Düsenhöhe h . Die Profiltiefe k_h errechnet sich dann unter Beachtung der Bedingung $k_h = k_h^*$ wenn man die Gleichung (1) nach k_h umformt. Es ergibt sich dann eine quadratische Gleichung für k_h , die leicht zu lösen ist. Die Wandprofile sind je nach der Düsenaustrittsbreite B sehr verschieden.

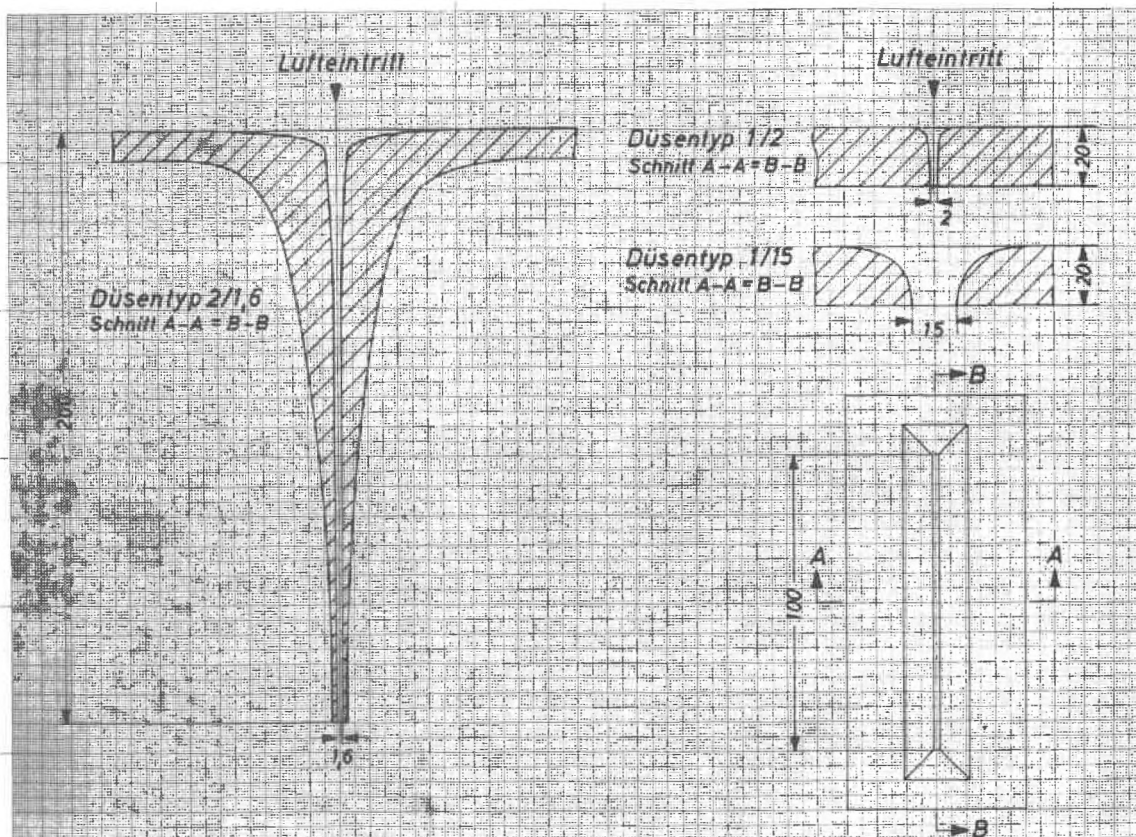


Bild 4

Die freie Strahlausbreitung unter einer Düse von $B = 15$ mm Austrittsbreite (Düsentyp 1) bei einer konstanten Düsenaustrittsgeschwindigkeit von $w_D = 48$ m/s ist in Bild 6 räumlich aufgezeichnet. Die gemessenen Geschwindigkeitsprofile unmittelbar am Düsenaustritt sind sowohl in x - als auch in y -Richtung bis zu den Rändern sehr gleichmäßig. Bild 7 zeigt die Abhängigkeit der Geschwindigkeit $w_{str.}$ in der Strahlachse mit dem Abstand z' vom Düsenaustritt bei verschiedenen Düsenaustrittsgeschwindigkeiten w_D für die gleiche Düse in Bild 6. Die bezogene Kernlänge bei dieser Düse liegt etwa bei

$z'_0/B = 8$ und ist somit erheblich größer als die in Bild 1, 2 und 3 dargestellten Kernlängen und übertrifft sogar die Kernlängen der VDI-Normdüsen um fast den doppelten Betrag. Im Gegensatz zu den in Bild 1 und 2 festgestellten Befunden, bewirkt die Erhöhung der w_D für $z'/B > 8$, einen flacheren Abfall der $w_{str.}/w_D$ -Verläufe mit Zunahme der z'/B -Werte.

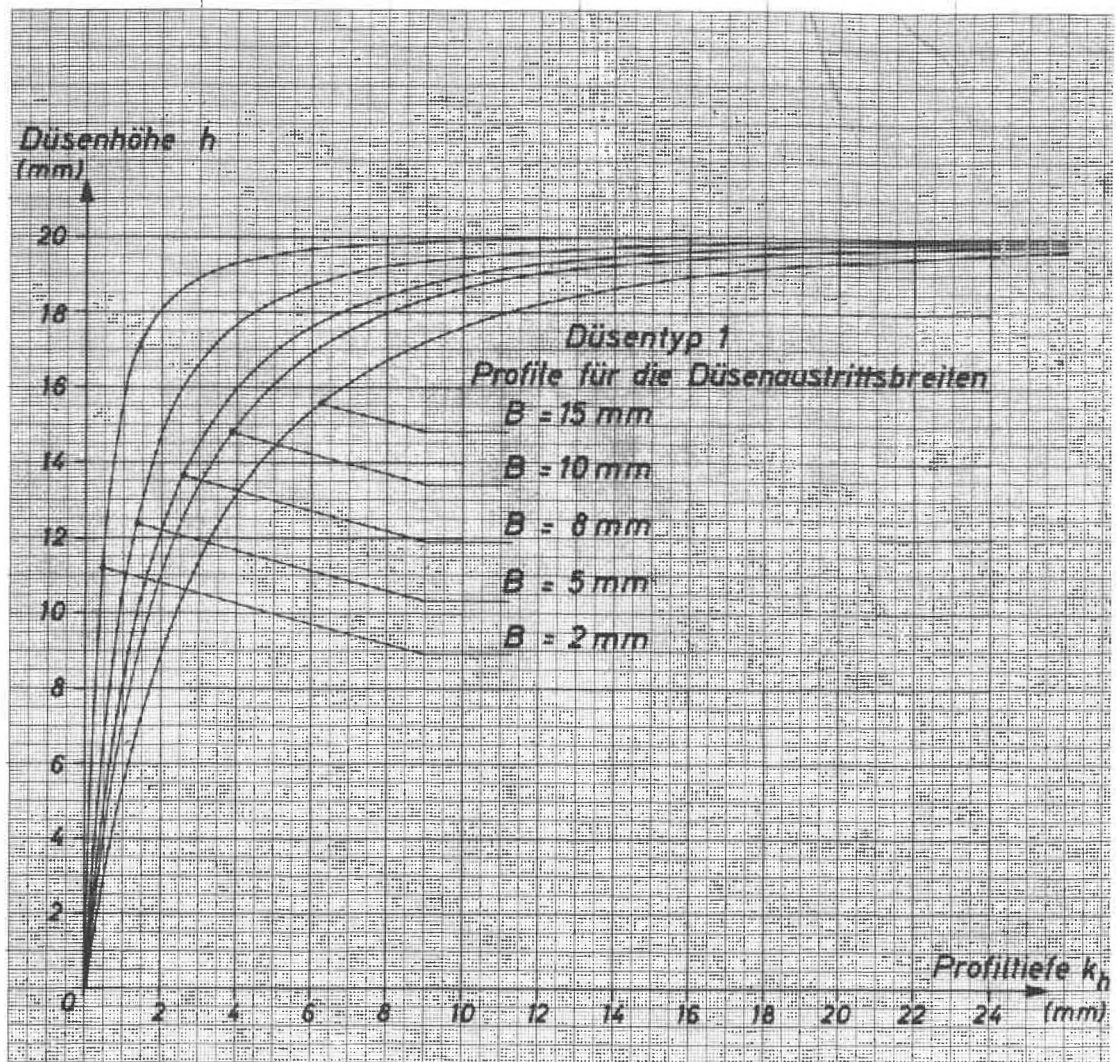


Bild 5

Ein Vergleich mit Bild 2 zeigt ferner, daß z.B. bei einem gleichen, bezogenen Düsenabstand von $z'/B = 15$ und einer mittleren Düsenaustrittsgeschwindigkeit von $w_D = 47,8 \text{ m/s}$ das Geschwindigkeitsverhältnis bei dieser Düse einen sehr hohen Wert von $w_{str.}/w_D \approx 0,93$ beträgt und bei der Blende nach Bild 2 schon auf einen Wert von $w_{str.}/w_D \approx 0,67$ abgesunken ist.

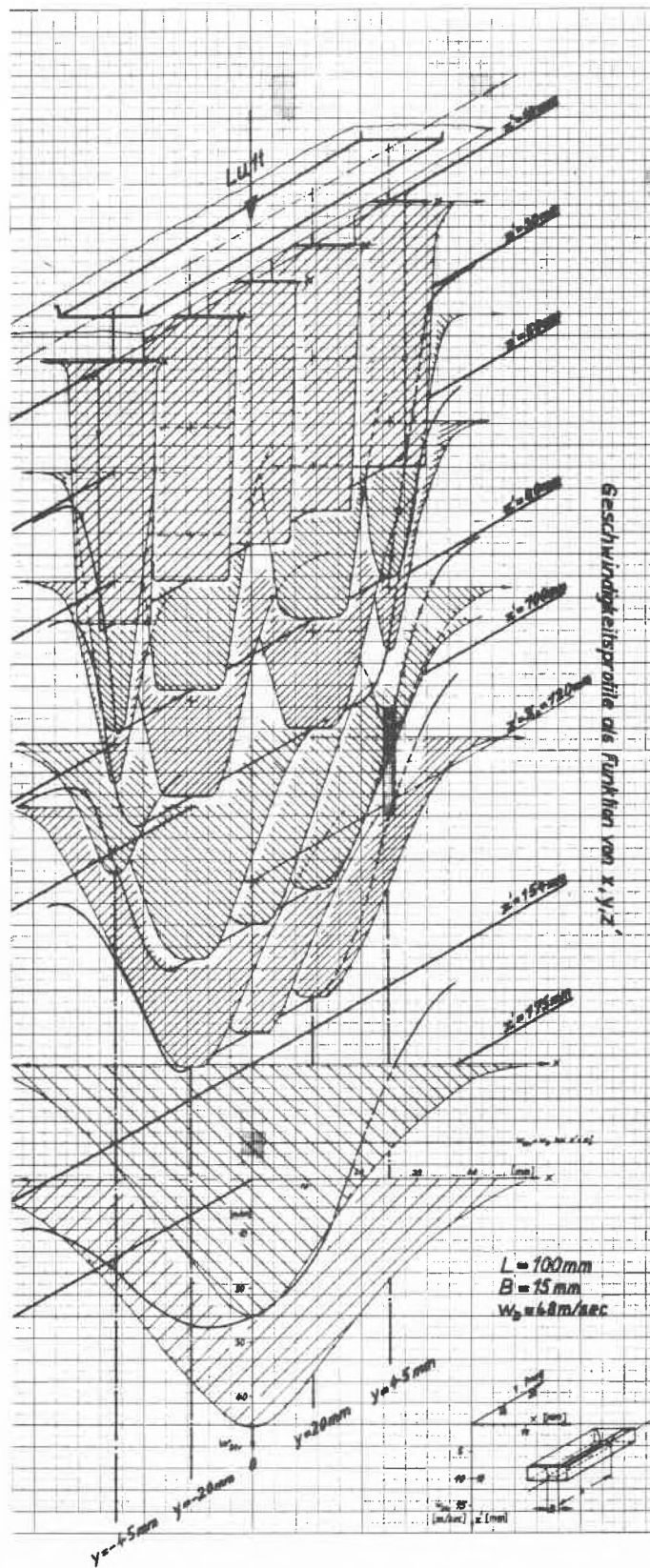


Bild 6

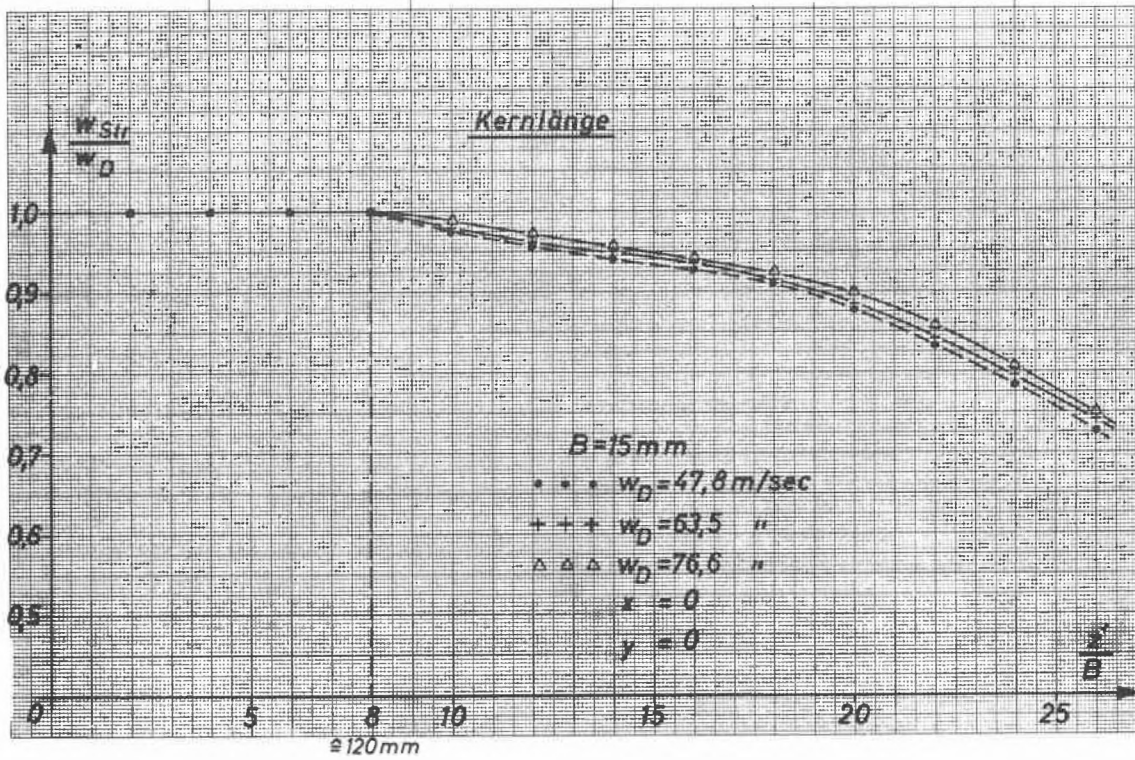


Bild 7

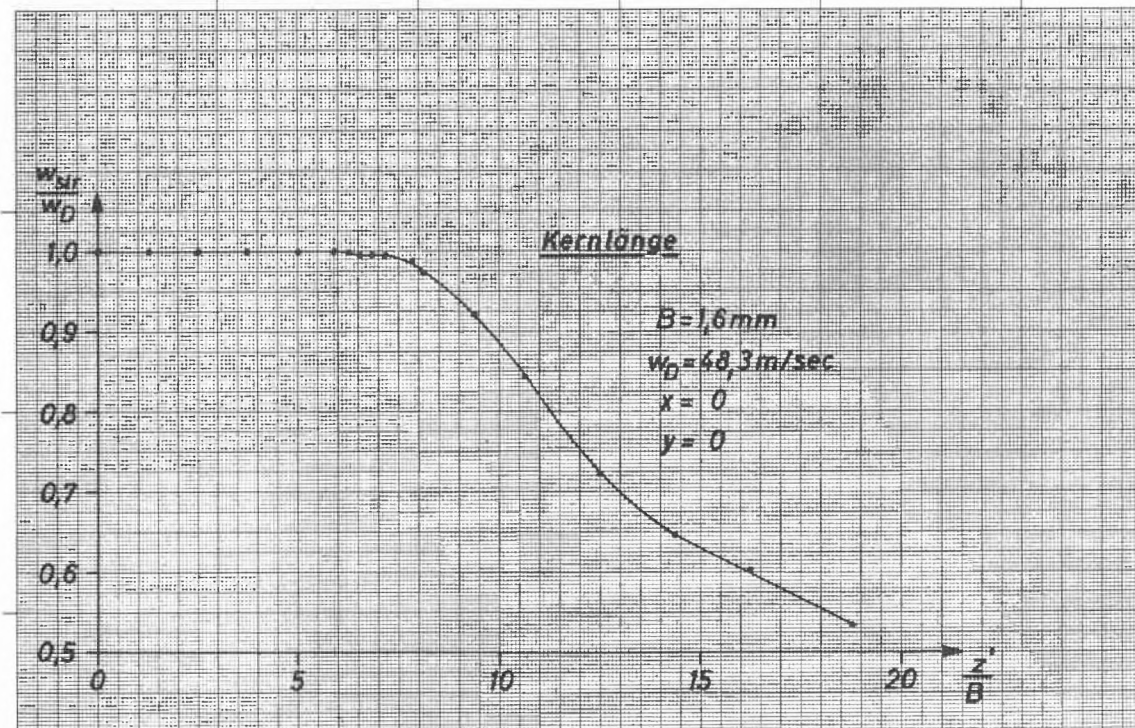


Bild 8

Der in Bild 4 dargestellte Düsentyp 2 liefert ebenfalls ziemlich große Kernlängen. Das Ergebnis einer solchen Messung bei einer Düsenaustrittsgeschwindigkeit von $w_D = 48,3 \text{ m/s}$ ist in Bild 8 zu ersehen.

Die dargestellten Ergebnisse beantworten zwar nicht alle Fragen, zeigen aber immerhin, daß man durch geeignete Formgebung der Wandprofile in beiden Ebenen bei Schlitzdüsen sehr gleichmäßige Geschwindigkeitsprofile und große Kernlängen erzeugen kann, die für Praxis und Labor von Bedeutung sind.

Dipl. - Ing. Günay Dosdogru, TH Darmstadt