

Frank HAMMELMANN

Institut für Bergbaukunde II der RWTH Aachen

### PRÜFSTAND UND PRÜFVERFAHREN FÜR HÖCHSTDRUCKWASSERDÜSEN

Zusammenfassung. Das HDW-Verfahren hat Eingang in viele Bereiche von Industrie und Technik gefunden. Seine Leistungsvielfalt erreicht das Verfahren durch die hohe Energiedichte auf der Materialoberfläche. Die Energieumsetzung des durch die Pumpe hochgespannten Wassers in die kinetische Energie des Flüssigkeitsstrahles erfolgt in speziellen Düsen. Am Institut für Bergbaukunde II wurde mit dem Ziel einer Optimierung des Umwandlungsprozesses ein Düsenprüfstand konzipiert, konstruiert und in Betrieb genommen. O ist es möglich, für die verschiedensten Düsentypen ihre Leistungsfähigkeit im Hinblick auf die jeweilige Einbausituation, die spezielle Anwendung und unterschiedliche Arbeitsentfernungen anhand der Staudruckverteilung auf der Materialoberfläche zu beurteilen und zu optimieren.

### TESTING AND A TEST STAND FOR HIGH PRESSURE WATER NOZZLES

Summary. The main objects of the high pressure water engineering are indicated in the paper. The importance of the structure of a nozzle in the process of the transformation of potential energy into kinetic energy is stressed. A test stand designed and built for investigation of high pressure water nozzles is described in a very detailed manner. The stand works in RWTH Aachen.

### BADANIA I STANOWISKO POMIAROWE WYSOKOCIŚNIENIOWYCH DYSZ WODNYCH

Streszczenie. W artykule podano główne cele wodnej techniki wysokociśnieniowej. Zwrócono uwagę na znaczenie budowy dyszy w procesie zamiany energii potencjalnej wody na energię kinetyczną. Opisano szczegółowo stanowisko zaprojektowane i wybudowane dla celów badań wysokociśnieniowych dysz wodnych. Stanowisko to zainstalowano w RWTH Aachen.

## 1. DIE HDW-TECHNIK

Die HDW-Technik gewinnt industriell zunehmend an Bedeutung. Zu ihren Aufgaben gehören das Reinigen, das Abtragen, das Trennen sowie in Sonderfällen auch die Veredlung (Verfestigung) von Werkstückoberflächen. Je nach den Eigenschaften des zu bearbeiten - den Materials können die vorgenannten Arbeiten mit dem reinen Wasserstrahl oder einem Wasserabstrahlstrahl durchgeführt werden. Während der reine Wasserstrahl zur Bearbeitung vor praktisch allen nicht-metallischen und nicht keramischen Werkstoffen geeignet ist, erfordern Werkstoffe hoher Härte, hoher Festigkeit und hoher Zähigkeit den Einsatz der Wasserabstrahlstrahlen. Beide Werkzeuge - der Wasserstrahl und der Wasserabstrahlstrahl - zeichnen sich durch eine Vielzahl von Vorteilen, zum Beispiel: keine thermische Beeinflussung, geringe Schnitt- und Reaktionskräfte, usw. Zu den wesentlichen Komponenten einer HDW-Anlage gehören die Druckerzeugung und die Umsetzung der potentiellen Energie in kinetische Energie. Die Umsetzung erfolgt innerhalb spezieller Düsen (Abb.1). Beim Einsatz von Wasserabstrahlstrahlen sind Düsenysteme erforderlich.

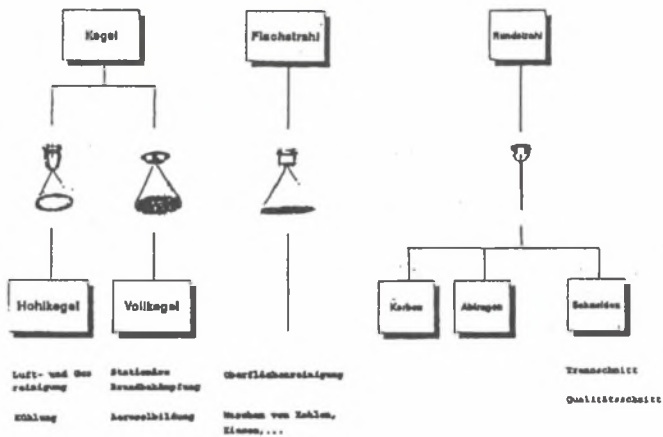


Bild 1. Stammbaum "Düsencharakteristik"  
Rys. 1. Schemat poglądowy charakterystyki dyszy

## 2. WARUM DÜSENUNTERSUCHUNGEN

Eine Besonderheit der HDW-Technik ist der hohe spezifische Energieaufwand. Um der jeweiligen Bearbeitungsaufgabe die optimale Düse zuzuordnen, wurde am Institut für Bergbaukunde II ein Düsenprüfstand konzipiert und gebaut. Die Düse stellt das eingetliche Herzstück der HDW-Anlage dar. In ihr findet die Umsetzung der

potentiellen Energie [E<sub>pot</sub>] des hochgespannten Wassers in die kinetische Energie [E<sub>kin</sub>] des Flüssigkeitsstrahls statt. Dieser Vorgang kann vereinfacht über den Energieerhaltungssatz dargestellt werden.

Energieerhaltungssatz:

$$E_{pot} = E_{kin} \frac{1}{\alpha_D} \quad (1)$$

$$p \dot{V} = \frac{\dot{m} v_s^2}{\alpha_D} \quad (2)$$

$$p \dot{V} = \frac{\dot{v} \rho v_s^2}{\alpha_D} \quad (3)$$

$$v_s = \sqrt{\frac{2p \alpha_D}{\rho}} \quad (4)$$

mit:

$\alpha_D = \alpha \mu$   
 $\mu$  = Ausflußzahl  
 $\alpha$  = Kontraktionszahl

Der Faktor  $\alpha_D$  trägt den Charakter eines Wirkungsgrades; er stellt ein Kriterium zur Beurteilung von Düsen dar. Formal ergeben sich die Umwandlungsverluste aus der Kontraktion der Strahlflüssigkeit am Düsenaustritt (Kontraktion  $\alpha$ ) (Abb.2) und den Reibungsverlusten an den Düseninnenflächen (Ausflußzahl  $\mu$ ).

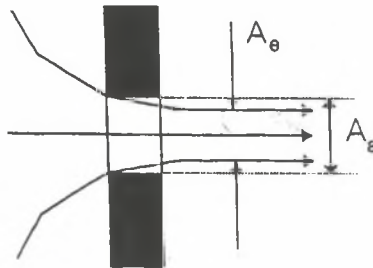


Bild 2. Kontraktion  $\alpha$  der Strahlflüssigkeit  
 Rys. 2. Przewężenie  $\alpha$  strumienia cieczy

So werden bei den Rundstrahldüsen stetige und unstetige Düsenbauformen unterschieden. Während bei den stetigen Düsen (meist aus Hartmetall gefertigt) der Wirkungsgrad  $\eta_D$  mit der Ausflußzahl  $\mu$  annähernd gleichzusetzen ist, ergeben sich die Umsetzungsverluste bei den unstetigen Düsen (meist aus Saphir gefertigt) nahezu ausschließlich aus der Einschnürung  $\alpha$  des Strahles.

### 3. DER DÜSENPRÜFSTAND

Um die Belastung auf der Materialoberfläche d.h. die Leistungsfähigkeit des Wasserstrahles zu ermitteln, sind verschiedene Meßprinzipien denkbar. So wurden in der Vergangenheit Klingen, Drähte, Stösel oder Blenden definiert durch den HDW-Strahl geführt. Da die Zerstörungsarbeit des Strahls von der Druckverteilung auf der Materialoberfläche abhängig ist, entschieden wir uns vorerst für eine Staudruckmessung nach dem Pitotprinzip. Bereits im Jahre 1966 ermittelten Leach und Walker [1]<sup>1</sup> zur Beurteilung des Energieumwandlungsprozesses Staudruckprofile für verschiedene Düsengeometrien.

Zur meßtechnischen Erfassung des HDW-Strahls bieten sich verschiedene Druckmeßtechniken an. So ist der Einsatz der DMS-, der Piezoresistiven und der Piezo-Technik denkbar. Während sich die DMS-Technik zur Aufnahme des Staudruckprofils eignet, lassen sich mit Hilfe der Piezomeßtechnik Druckschwankungen mit höherer Auflösung erfassen. Aus diesem Grund wurden sowohl die DMS- als auch die Piezo-Technik im Prüfstandskonzept realisiert.

#### 3.1. Die Strahlerfassung und Eckdaten des Abtastvorgangs

Durch den HDW-Strahl wird eine Meßblende geführt, die nach Strahldurchgang, in vertikaler Richtung ständig umgesteuert wird und in horizontaler Richtung nach jedem Strahldurchgang schrittweise versetzt wird (Abb.3). Die Schrittweite in horizontaler Richtung kann entsprechend der gewünschten Auflösung bis auf 0,05 mm reduziert werden. Da die Meßblenden dem HDW-Strahl direkt ausgesetzt sind, müssen sie aus besonders verschleißfestem Material gefertigt werden. Dies hat zur Folge, daß die Blendenöffnungen nicht mit konventionellen Werkzeugen erstellt werden können. Der Durchmesser der Meßblenden sollte in einem definierten Verhältnis zum Düsendurchmesser stehen, um eine ausreichend hohe Auflösung der Staudruckverteilung zu erhalten. Derzeit werden z.B. Meßblenden mit einer Blendenöffnung von 0,2mm Durchmesser bei einem Düsendurchmesser von 0,8 mm eingesetzt.

---

<sup>1</sup>. Die Zahlen in den eckigen Klammern beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Ende des Vortrages.

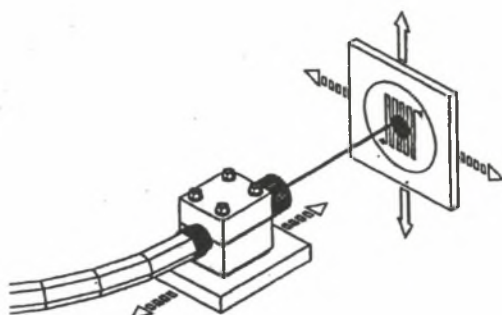


Bild 3. Strahlerfassung  
Rys. 3. Ujęcie strumienia cieczy

### 3.2. Die Meßwerterfassung und Kommunikation zwischen Rechner und Prüfstand

Bei der Versuchsdurchführung wird die Position der Meßblende mit Hilfe zweier induktiver Wegmeßgeber aufgenommen und dem Rechner zugeführt. Gleichzeitig werden den so ermittelten Koordinaten die Druckwerte zugeordnet. Um die Messung auf den Wirkungsbereich des Strahles zu beschränken, erfolgt das Umsteuern der Meßblende automatisch bei Erreichen des Strahlrandes. Der Rechner ermittelt den Strahlrand anhand des Druckverlaufes. Bei den vorliegenden Untersuchungen wurde der Strahlrand mit dem Ort gleichgesetzt, wo ein erster Tropenschlag zu einem Meßsignal führt [2]. Somit erfolgt eine automatische Zentrierung zwischen Düse und Meßblende und ein automatisches Zurückfahren in die Ausgangsposition nach Beendigung des Versuches.

### 3.3. Die Meßwertverarbeitung und Möglichkeiten der Meßwertausgabe

Die Meßwerte werden in Matrizen abgelegt, wodurch die Möglichkeit besteht, sie durch eine eigenständige Auswert-Software weiterzuverarbeiten. So ist es möglich, die Staudruckverteilung in einem dreidimensionalen Diagramm anschaulich darzustellen (Abb.4).

Im weiteren ist die Darstellung in verschiedenen Projektionen oder in Form von Isobaren möglich. Mit Hilfe dieser Diagramme sind folgende Aussagen möglich:

- vergleichende Bewertung verschiedener Düsenbauformen,
- Ermittlung des Einflusses des Arbeitsabstandes auf die Staudruckverteilung,
- qualitative Aussagen bezüglich der Lebensdauer verschiedener Düsen,
- Zuordnung der Düsen zu unterschiedlichen Einsatzbedingungen,
- Bestimmung der geeigneten hydraulischen Einbaubedingungen.

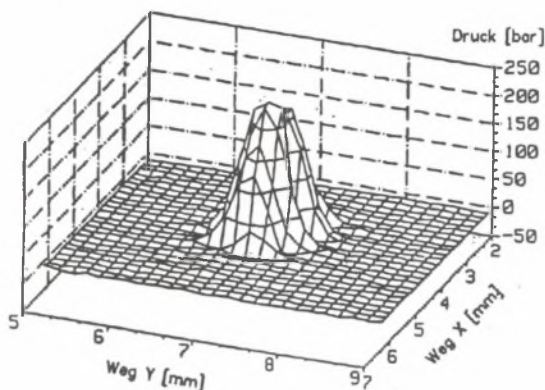


Bild 4. Staudruckverteilung  
Rys. 4. Rozkład ciśnienia spiętrzenia

#### LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Leach, S.J., Walker, G.L.: Some Aspects of Rock Cutting by High Speed Water Jets. Phil. Trans. of the Royal Society of London. Vol 260 A 1966, ss.295/308
- [2] Werner, M.: Einflußparameter und Wirkmechanismen beim Abtrag von Mörtel und Beton mit dem Hochdruckwasserstrahl RWTH Aachen 1991

Recenzent: prof. dr hab. inż. J. Antoniak

Wpłynęło do Redakcji w grudniu 1994 r.