

Fertigungstechnisches Seminar

Hochdruck-
Wasserstrahlschneiden

Roland Wiebicke
DI 3405, 5. Semester
Fachhochschule Wedel

Inhaltsverzeichnis

1	EINFÜHRUNG, GESCHICHTE, ANBIETER	3
1.1	Einführung	3
1.2	Geschichte	3
1.3	Anbieter	3
2	MASCHINENAUFBAU	3
3	DRUCKÜBERSETZER (PUMPEN)	4
3.1	Allgemein	4
3.2	Doppelt wirkender Druckübersetzer mit Druckspeicher	4
3.3	Streamline ⁰ Phase III (2 unabhängige Zylinder)	5
4	SCHNEIDDÜSEN	6
4.1	Allgemein	6
4.2	Reine Wasserstrahldüse	6
4.3	Abrasivstrahl-Schneiddüse	6
4.4	Schnitttheorie Abrasivstrahl	6
4.5	Schnittgeschwindigkeiten	7
4.6	Schnittmeterkosten	7
4.7	Düsenarten	7
5	AUFFANGBECKEN, RECYCLING	8
5.1	Auffangbecken	8
5.2	Recycling	8
6	WERKSTOFFE & SCHICHTSTÄRKEN IM TECHNOLOGIEVERGLEICH	8
6.1	Werkstoffgruppen und maximal schneidbare Materialstärken	8
6.2	Verfahrens-Leistungsdaten	9
7	VORTEILE	9
7.1	Werkstoff	9
7.2	Werkzeug	9
7.3	Schneidkantenqualität	10
7.4	Arbeitssicherheit	10
7.5	Umweltschutz	10
8	ANWENDUNGEN	10
8.1	Flugzeugbau (Boeing 757/767)	10
8.2	Windeln	10
8.3	Schaumstoffringe	10
8.4	Weitere Anwendungen	11
9	BESONDERE ANWENDUNGEN AM BEISPIEL VON „HYDROCAT“	11
10	QUELENNACHWEIS	12

1 Einführung, Geschichte, Anbieter

1.1 Einführung

Wasserstrahlschneiden ist das Schneiden von unterschiedlichsten Materialien mit Hilfe eines unter sehr hohem Druck stehenden Wasserstrahles. Dabei unterscheidet man zwischen dem einfachen Wasserstrahlschneiden und Abrasiv-Wasserstrahlschneiden, das zum Schneiden von harten Materialien wie Metall, Glas und Stein verwendet wird.

1.2 Geschichte

Die Kraft von Wasser ist schon seit Jahrhunderten durch Bodenerosion und Auswaschungen im Stein bekannt. Bestes Beispiel ist hier das Gestein am Colorado River. Um 1870 herum wurde erstmals von amerikanischen Goldgräbern ein Wasserstrahl zum Entfernen von Gestein und hartem Erdreich von einer Goldader verwendet. Mitte der dreißiger Jahre wurde die Kraft des Wassers von russischen und amerikanischen Bergbauingenieuren für den Gesteins- und Kohleabbau genutzt. 1950 wurde der energiereiche Wasserstrahl auch beim Mineralienabbau verwendet. 1956 gab es in der UdSSR den ersten Steinschnitt mit einem unter 2000 bar stehenden Wasserstrahl. Das eigentliche Wasserstrahlschneiden wurde aber erst 1968 einem Prof. der Universität von British Columbia patentiert.

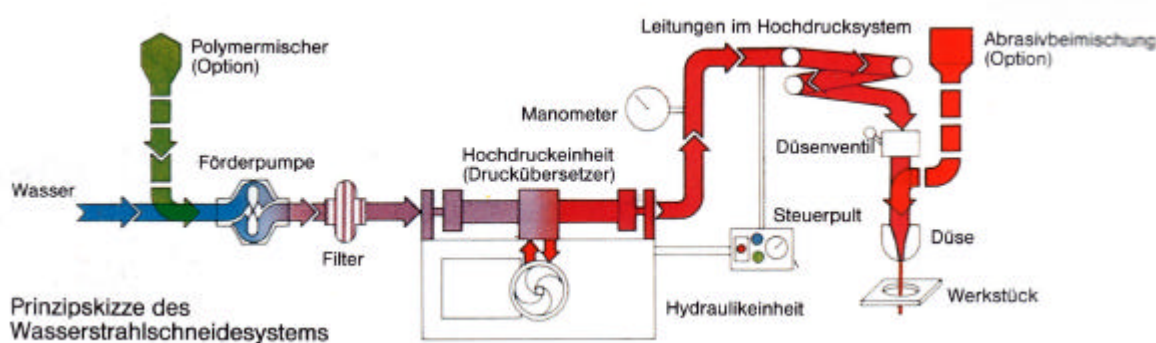
Ende der 60er Jahre entschied sich Boeing für das Wasserstrahlschneiden zum Bearbeiten von Faserverbund-, Waben- und Schichtwerkstoffen.

1.3 Anbieter

Es gibt weltweit 5 große Anbieter auf diesem Gebiet, darunter sind Flow International (US-Konzern), Bystronic und Ingersoll-Rand (Deutschland). Ingersoll-Rand war 1971 der erste Anbieter einer Wasserstrahlschneidanlage. Flow International ist seit 1974 auf diesem Gebiet tätig und Bystronic seit 1986. Neben den fünf großen Anbietern gibt es auch sehr viele kleine Firmen, die Speziallösungen anbieten.

Die Nachfrage nach derartigen Schneidsystemen ist seit der Ersteinführung 1971 drastisch angewachsen. Auch sind mittlerweile Anwendungsmöglichkeiten für sehr komplexe Konturen entwickelt worden.

2 Maschinenaufbau



Eine Wasserstrahlschneidanlage besteht grundsätzlich aus einer Förderpumpe, einem Filter, einem Druckübersetzer mit Hydraulikeinheit, einer Schneiddüse sowie einem Auffangbecken. Optional können noch ein Polymermischer und ein Abrasivbeimischer verwendet werden. Die Polymerbeimischung dient der Optimierung der Strahlqualität und hat auch schmierende Eigenschaften. So erhöhen sich die Standzeiten der Verschleißteile um ein vielfaches. Die Förderpumpe dient zur Erzeugung eines Vordruckes für den Druckübersetzer. Der Filter dient zum Schutz der Hochdruck-Leitungen sowie der Düse(n) vor Verschmutzungen und Ablagerungen.

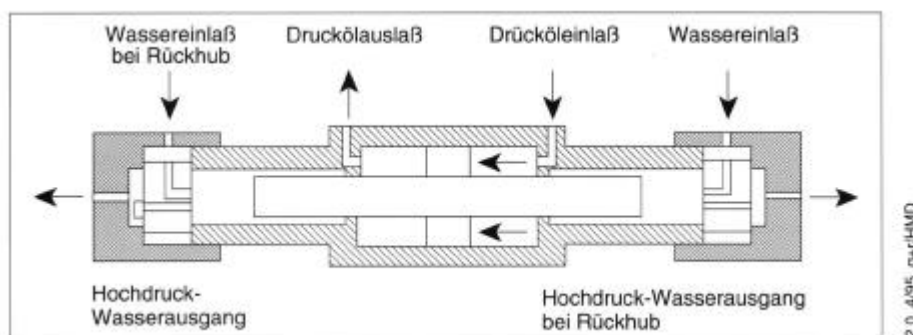
Das Düsenventil dient zum sofortigen Abschalten der Düse(n) und ist aus Gründen der Arbeitssicherheit zusätzlich mit dem Not-Aus-Schalter verbunden. Die Abrasivbeimischung ist beim Schneiden von harten Materialien nötig.

3 Druckübersetzer (Pumpen)

3.1 Allgemein

Der Druckübersetzer (Hochdruckpumpe) ist mit das wichtigste Bauelement bei einer Wasserstrahlschneidanlage, da ohne den enormen Druck von bis zu 4000 bar ein Schneiden überhaupt nicht möglich wäre. Das Problem bei herkömmlichen Kolben-Pumpen ist nur das Erzeugen eines konstanten Druckes ohne Schwankungen zum kontinuierlichen Schneiden. Um diese Schwankungen auszugleichen gibt es zwei verschiedene Verfahren. Den doppelt wirkenden Druckübersetzer mit Druckspeicher und Streamline® Phase III bestehend aus zwei nebeneinanderliegenden, unabhängigen Zylindern.

3.2 Doppelt wirkender Druckübersetzer mit Druckspeicher

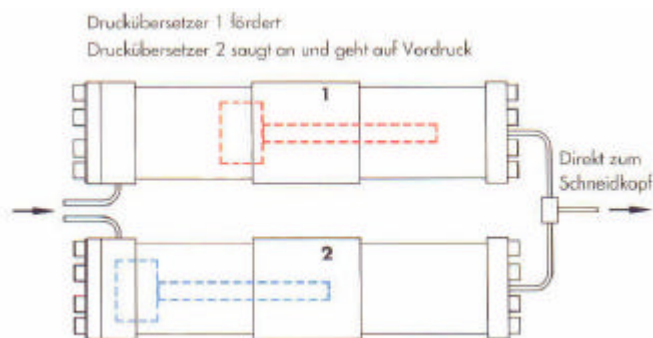


Die Kolbenpumpe arbeitet nach dem Druckverstärkerprinzip, das für alle Baugrößen gleich ist. Eine elektrisch angetriebene Pumpe fördert Öl in einen Hydraulikzylinder, an dessen Kolben beidseitig je eine als sogenannter Plunger ausgeführte Kolbenstange angebracht ist. Das auf jeder Seite aus dem Hydraulikzylinder herausragenden Ende der Plunger wird von je einem weiteren Zylinder aufgenommen und bildet mit diesem und dem Ventilvorsatz zusammen den Pumpenkopf. In diesen Pumpenkopf wird das zu fördernde Wasser angesaugt und verdichtet. Im Ventilvorsatz befinden sich Rückschlagventile, die den in den bzw. aus dem Verdrängungsraum des Pumpenkörpers gelangenden Wasserstrom in die entsprechende Richtung steuern.

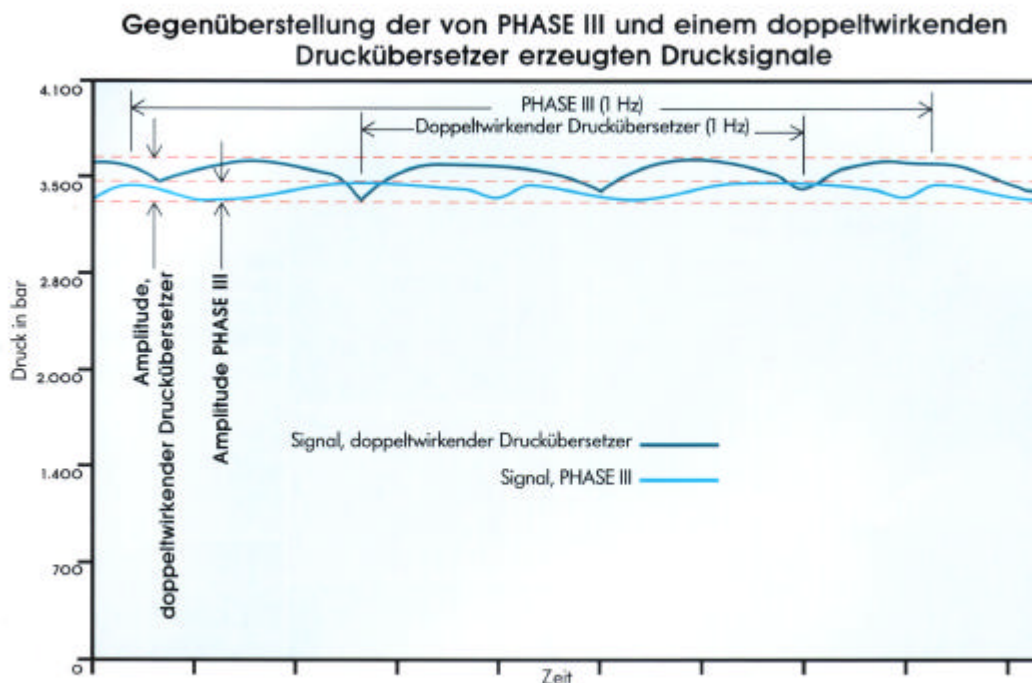
Fährt der Kolben des Hydraulikzylinders in eine Richtung, wird aus dem Pumpenkopf, der in der Bewegungsrichtung des Kolbens liegt, das darin befindliche Wasser verdrängt. Gleichzeitig wird in dem anderen Kolben Wasser aus der Zuleitung angesaugt. Erreicht der Kolben die Endlage, wird durch Näherungsinitiatoren, die an jedem Ende des Hydraulikzylinders angebracht sind, ein Umsteuervorgang initiiert. Die Bewegungsrichtung des Kolbens kehrt um, wodurch sich auch das Förderverhalten der Pumpenköpfe ändert. Der bisher saugende verdrängt jetzt, und der, aus dem das Wasser gerade verdrängt wurde, saugt jetzt an.

Um einen konstanten Wasserdruck zum Schneiden zu erzeugen wird zwischen Druckübersetzer und Schneiddüse ein Hochdruckspeicher geschaltet. Dieser verhindert starke Druckschwankungen, die zu einer schlechten Schnittqualität führen können.

3.3 Streamline[®] Phase III (2 unabhängige Zylinder)



Dieser doppelte Druckübersetzer unterscheidet sich von herkömmlichen doppelten Druckübersetzern durch die Trennung der beiden Zylinder, was eine zeitliche Abstimmung möglich macht. Das hat den Vorteil, dass der zweite Zylinder das in ihm befindliche Wasser schon mal auf Vordruck bringen kann während der erste seinen Leistungshub ausführt. Dadurch wird ein Druckabfall während des Umschaltens von einem zum anderen Zylinder verhindert und ein Druckspeicher somit überflüssig. Dieser Druckabfall entsteht dadurch, dass Wasser bei 500 bar um 11 Vol. % verdichtet werden kann und der Zylinder normalerweise 1/9 seines Hubweges benötigt um das Wasser auf den Soll-Druck zu bringen. Außerdem können die Zylinder durch die Trennung auch langsamere Hubbewegungen ausführen, was sich positiv auf die Frequenz des Drucksignals auswirkt. Durch diese Herabsenkung der Frequenz erhöht sich die Dauerhaltbarkeit der Hochdruckkomponenten.



Die vorstehende Abbildung zeigt die von einem doppelwirkenden Druckübersetzer mit Dämpfer und dem Streamline[®] PHASE III ohne Dämpfer erzeugten Drucksignale. Hierbei ist folgendes zu beachten:

- Erstklassiges Drucksignal (geringere Amplitude) beim Druckübersetzer mit zeitlicher Abstimmung
- Niedrigere Frequenz des Druckübersetzers mit zeitlicher Abstimmung

4 Schneiddüsen

4.1 Allgemein

Es gibt grundsätzlich zwei verschiedene Düsenarten. Eine Düse für das Wasserstrahl-Schneiden und eine für das Abrasiv-Wasserstrahlschneiden. Die Durchmesser der Düsen liegen zwischen 0,1 und 0,3 mm. Eine Schneidanlage kann bis zu 10 Düsen enthalten, die alle von einer Pumpe gespeist werden.

4.2 Reine Wasserstrahldüse

Das unter bis zu 4000 bar stehende Wasser wird durch den Düsenkopf entspannt. Dabei entwickelt der Strahl eine sehr hohe Energie, die dann zum Schneiden verwendet wird.

4.3 Abrasivstrahl-Schneiddüse

Die Düse ist baugleich mit einer Wasserstrahldüse, jedoch erweitert um eine Abrasiv-Mischkammer in der Abrasivmittel und Wasser zusammengeführt werden und eine weitere Austrittsdüse für den Abrasiv-Wasserstrahl.

4.4 Schnitttheorie Abrasivstrahl

Der Schneidstrahl wird bei zunehmender Schneidtiefe immer stärker abgelenkt. Dadurch entstehen zwei Zonen, die Verschleiß- und die Deformationszone.

Man kann die Schnittqualität an der Deformationszone durch Herabsetzen der Vorschubgeschwindigkeit verbessern.

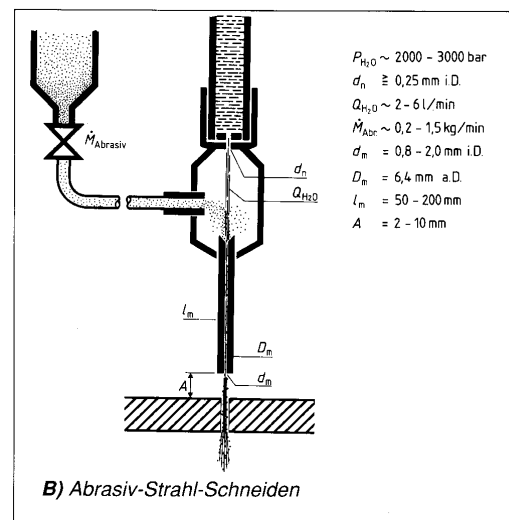
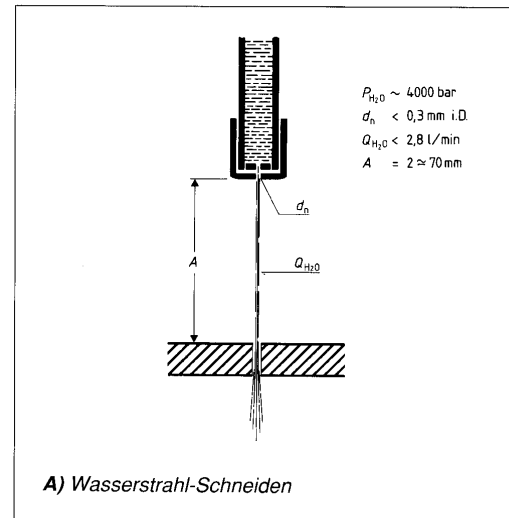


Bild 3: Schematische Darstellung



Bild 35: Vergleich von Verschleiß- und Deformationszone am Beispiel Granit
links: Qualitätsschnitt, rechts: Trenn-Schnitt

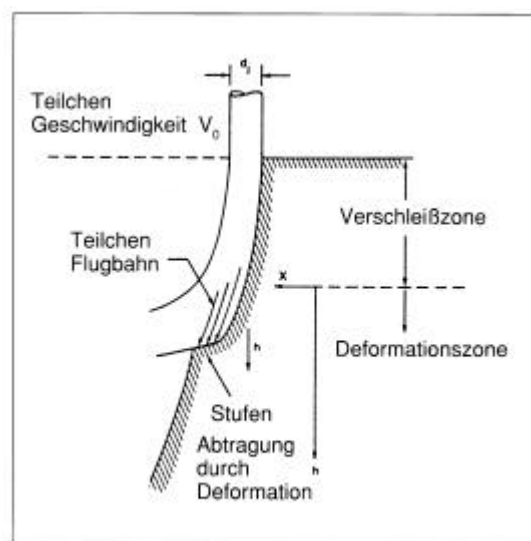


Bild 34: Theorie des Abrasiv-Strahl-Schneidens

4.5 Schnittgeschwindigkeiten

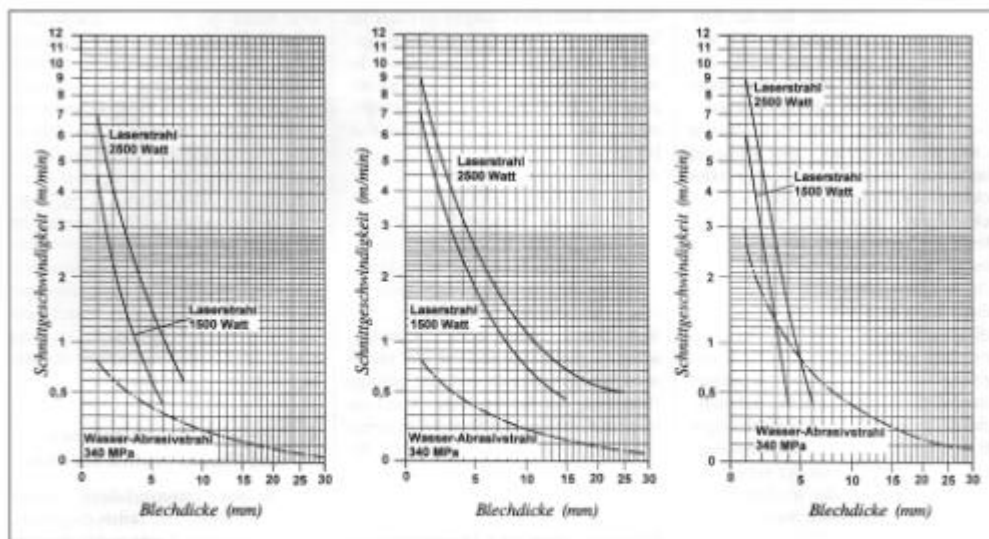
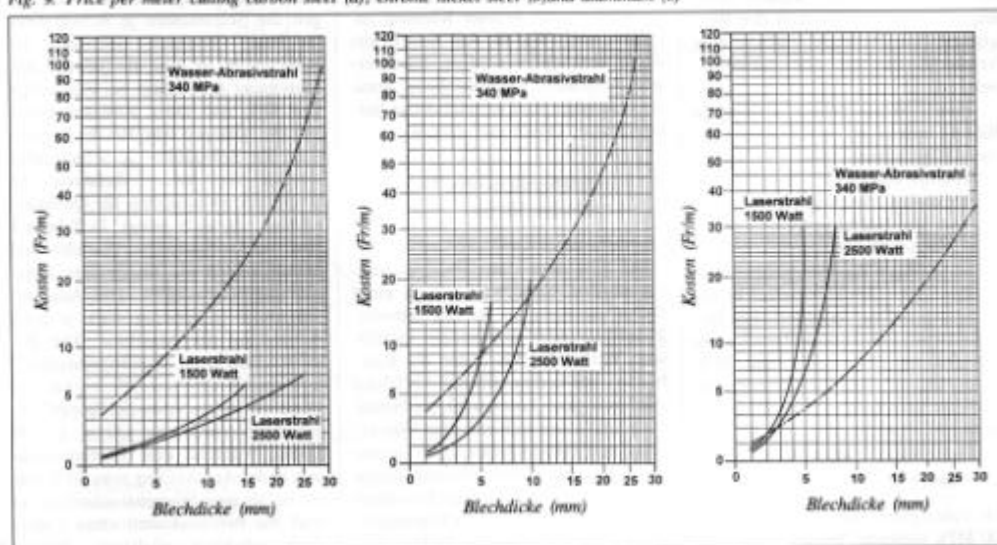


Bild 8. Schnittgeschwindigkeiten für das Schneiden von Baustahl (a), Chrom-Nickel-Stahl (b) und Aluminium (c)
 Laserstrahlschnitte: im Brennschneideverfahren
 Wasserstrahlschnitte: im Wasser-Abrasive-Strahlverfahren
 Fig. 8. Cutting speed for carbon steel (a), chrome nickel steel (b) and aluminum (c)

4.6 Schnittmeterkosten

Bild 9. Schnittmeter-Kosten für das Schneiden von Baustahl (a), Chrom-Nickel-Stahl (b) und Aluminium (c)
 Fig. 9. Price per meter cutting carbon steel (a), chrome nickel steel (b) and aluminum (c)



4.7 Düsenarten



AUTOLINE Diamantdüse



Purwasser Diamantdüse



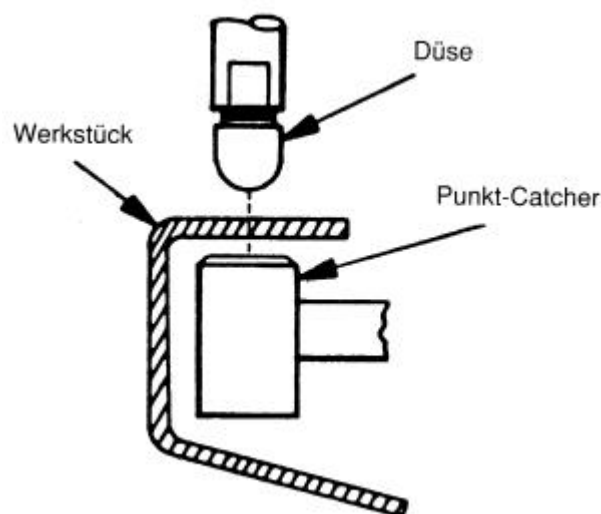
Saphirdüse

Die Düsen sind mit Edelsteinen versehen, um möglichst lange Wechselintervalle zu bekommen. Durch die Düsen bekommt der Wasserstrahl eine Endgeschwindigkeit von bis zu 800 m/s, das entspricht der 2,5-fachen Schallgeschwindigkeit.

5 Auffangbecken, Recycling

5.1 Auffangbecken

Das Auffangbecken wird zur Aufnahme des Schneidwassers und des Schneidabfalls (Späne und evtl. Abrasivmittel) genutzt. Außerdem dient es zur Vernichtung der Restenergie des Wasserstrahles. Dazu ist das Becken mit Wasser gefüllt, manchmal wird auch ein Gitter mit sogenannten Catchern über dem Becken eingesetzt. Bei komplizierten Konturen benötigt man einen Punktcatcher um nicht zu schneidende Werkstücke vor dem Hochdruckstrahl zu schützen.



5.2 Recycling

Durch Zusatzanlagen zur Sortierung und Trennung der Abrasivmittel und Späne voneinander können bis zu 70 % der Abrasivmittel wiederverwendet werden. Voraussetzung dafür ist jedoch die schonende Abbremsung des Abrasivschneidstrahles durch ein Wasserbecken, damit nur so wenig Abrasivmittel wie möglich zerstört wird. Bei Einsatz eines Punktcatchers ist ein Recycling nicht wirtschaftlich. Durch Recycling des Abrasivmittel lassen sich die Schneidkosten beim Abrasiv-Wasserstrahlschneiden um bis zu 50% reduzieren.

6 Werkstoffe & Schichtstärken im Technologievergleich

6.1 Werkstoffgruppen und maximal schneidbare Materialstärken

Werkstoff	Laser-Schnitt	Wasserstrahl-Qualitäts-Schnitt	Wasserstrahl-Schrupp-Schnitt
Rostfreie Stähle	bis 12mm	bis 30mm	bis 60mm
Baustähle	bis 20mm	bis 30mm	bis 60mm
Werkzeugstähle	bis 5mm	bis 30mm	bis 60mm
Aluminium	bis 8mm	bis 40mm	bis 80mm
Kupfer, Messing, Bronze	bis 3mm	bis 30mm	bis 60mm
Titan	bis 3mm	bis 30mm	bis 60mm
Kunststoffe (Thermoplaste)	bis 25mm (nur PMMA)	bis 50mm	bis 100mm
Duroplaste, Lamine	unter Vorbehalt	bis 50mm	bis 100mm
Holz, Leder, Textilien	bis 25mm	bis 50mm	bis 100mm
Natur- und Kunststeine, Keramik, Verbundmaterialien, Glas und Sonderwerkstoffe	-	bis 40mm	bis 100mm

Oxydfreie Laserschnitte in rostfreiem Stahl bis 12mm !

Beim Vergleich von Laser- und Wasserstrahlschnitt erkennt man, dass der Wasserstrahlschnitt deutlich leistungsfähiger ist als der Laserschnitt. Im Wasserstrahl-Schrupp-Schnitt kann meistens noch doppelt so starkes Material wie beim Qualitätsschnitt verwendet werden.

6.2 Verfahrens-Leistungsdaten

Argument	Laser-Schnitt	Wasserstrahl-Schnitt
Arbeitsbereich (X x Y x Z)	3000 x 1500 x 220mm	4000 x 2200 x 100mm
Positionsabweichung	+/- 0,1mm/m	+/- 0,1mm/m
Repetitionstoleranz	+/- 0,05mm	+/- 0,1mm
Kleinste programmierbares Wegmass	0,01mm	0,01mm
Schnittwinkelfehler	ca. 0 - 0,5°	ca. 0 - 2°
Beste Schnittgüte (Standardwert)	N7 (N10)	N8 (N10)
Kleinster Lochdurchmesser	ca. 1/3 der Materialstärke	ca. 1/5 der Materialstärke
Kleinste Stegbreite	bis 1/10 der Materialstärke	bis 1/20 der Materialstärke
Strahldurchmesser / Schnittspalt	ca. 0,2mm	ca. 0,8mm
Materialvielfalt	eingeschränkt	beliebig
Thermische Einflüsse / Verzug	gering	keine
Gefügeveränderung an der Schnittkante	gering	keine
Rissbildung durch thermische Induktion	ev. vorhanden	nicht vorhanden
Gratbildung	meist ohne	keine bis sehr geringe
Gravieren / beschriften möglich	ja	ja
Folierte Bleche bearbeitbar	bedingt	sehr gut (Startloch vorgebohrt)
Mehrlagiges schneiden möglich	bedingt	ja
Komplexe Teilegeometrien	geeignet	geeignet
Beliebiges Ansetzen der Einstechposition	ja	ja (Verbundmat. mit Vorbohren)

Auch hier sieht man, dass das Wasserstrahlschneiden gerade für das Schneiden von Verbundwerkstoffen, die immer weitere Anwendungsmöglichkeiten finden, das bessere Verfahren ist.

7 Vorteile

7.1 Werkstoff

Das Schneiden von weichen, brüchigen, klebrigen Werkstoffen, von Gewebe, von Vlies, Gummi, explosiblen und organischen Materialien (Lebensmittel) wird einfacher und kostengünstiger.

Mit Abrasivzusätzen lassen sich außerdem Metalle, NE-Metalle, Steine, Keramiken, Glas und Faserverbundstoffe schneiden.

7.2 Werkzeug

Eine vollständige räumliche Beweglichkeit in alle drei Raumkoordinaten durch die Verwendung eines Sechssachsroboters gestattet das Schneiden beliebiger räumlicher Konturen. Bei zweidimensionalen Schneidaufgaben werden Portale aller Art eingesetzt, die im Gegensatz zum Roboter auch das Schneiden mit kleinen Radien bei höchster Genauigkeit und rationeller Schnittgeschwindigkeit ermöglichen. Ein Werkzeugwechsel mit der damit verbundenen Führungskoodinatenkorrektur entfällt, da im Verschleißfall lediglich die Schneiddüse ausgewechselt wird. Die Überwachung des Schneidstrahles ist durch ein optisch-mechanisches Messgerät möglich. Außerdem übt der Wasserstrahl nur sehr kleine, vorhersehbare Kräfte auf seine Führungseinrichtung aus.

7.3 Schneidkantenqualität

Der Wasserstrahl liefert weitgehend trockene Schnittkanten ohne starke Gratbildungen und Ausfransungen. Durch spezielle Ventile mit Schaltzeiten von ca. 100 ms kann der Schneidstrahl beliebig zu- und abgeschaltet und somit Einstiche ins Material ermöglicht werden. Wegen der sehr geringen Erwärmung (max. bis 100°C) entfällt jede Veränderung der Textur des Werkstückes. Da keine Span- und Staubablagerungen auf der Werkstückoberfläche auftreten, kann der nächste Arbeitsschritt meistens ohne eine vorherige Reinigung folgen.

7.4 Arbeitssicherheit

Es können keine durch die Schneidtemperatur hervorgerufene Brände oder Explosionen auftreten. Außerdem entstehen keine giftigen Dämpfe aus schmelzenden bzw. sich erwärmenden Materialien.

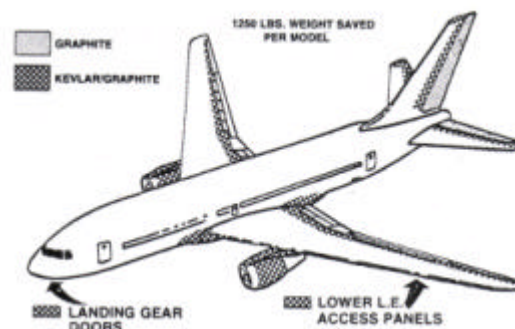
7.5 Umweltschutz

Die Späne werden vollständig und sicher aufgefangen und können so entweder recycelt oder entsorgt werden. Durch das Wasser werden evtl. entstehende Stäube sofort gebunden und entsorgt werden.

8 Anwendungen

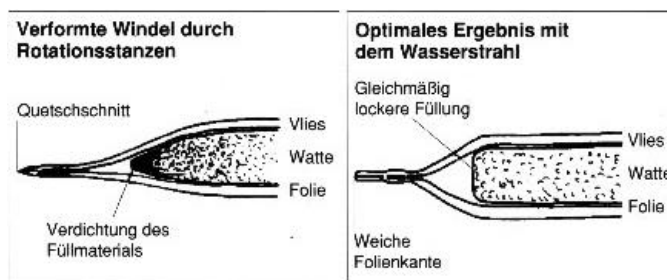
8.1 Flugzeugbau (Boeing 757/767)

Anwendung beim Schneiden von Verbundwerkstoffen wie GFK und CFK sowie Schaumstoffen.



8.2 Windeln

Beim Schneiden der Beinkonturen wird ein reiner Wasserstrahl von 3000-4000 bar verwendet. Vorteile sind die weichere Schnittkante und die höhere Verfügbarkeit der Maschine gegenüber rotierenden Messern.



8.3 Schaumstoffringe

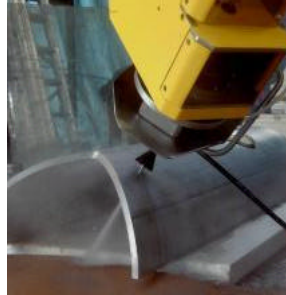
Der orange Ring mit dem Wasserstrahl geschnitten, der schwarze Ring wurde gestanzt.



8.4 Weitere Anwendungen



Herstellung von
Ornamenten



Schneiden von
3D-Elementen



Abtrennen von
Platinen

9 Besondere Anwendungen am Beispiel von „Hydrocat“

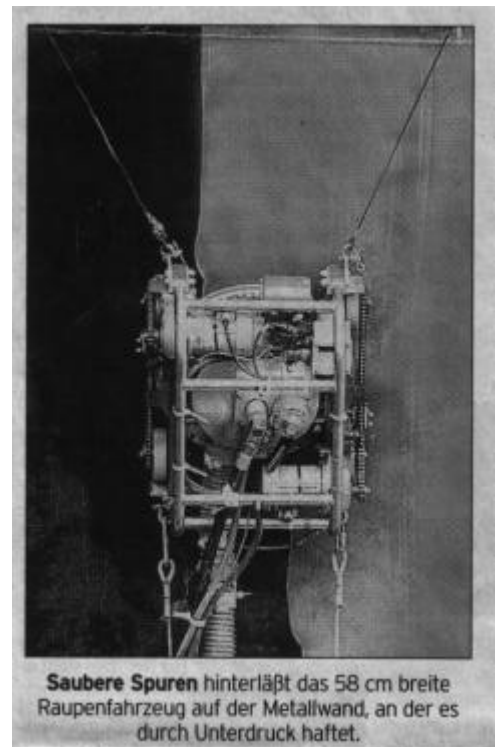
„Hydrocat“ ist ein Hochdruckautomat zur Metallflächenreinigung von der Firma **Flow International**.

Der Automat soll das Sandstrahlen ersetzen, da es während des Strahlens zu einer starken Staubentwicklung und damit zu einem großen Schmutzeintrag in die Umwelt kommt.

Die Vorteile von „Hydrocat“ liegen auf der Hand: Die abgetragenen Partikel werden zusammen mit dem Washwasser durch den Unterdruck abgesaugt und können nach der Filterung getrennt entsorgt werden, das Wasser in die Kanalisation, die Feststoffe als Sondermüll.

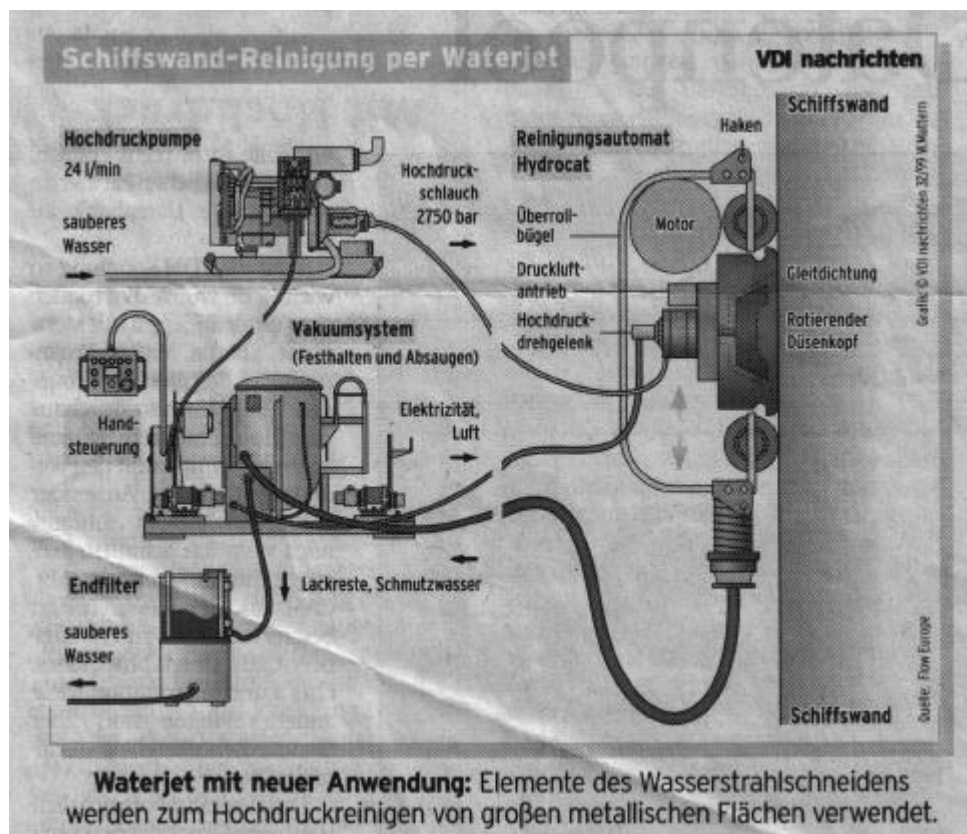
Das Gerät kann in allen Positionen arbeiten, sogar über Kopf, da es durch Unterdruck an der Oberfläche haftet. Dabei werden kleine Unebenheiten wie z.B. Schweißnähte und Dellen mit Hilfe einer Gleitdichtung überwunden. Das Gerät bewegt sich mit Hilfe eines Raupenantriebes und einem System aus Sicherungseilen. Es erfordert eine 1-Mann-Bedienung, da es beim ungewolltem Stillstand auf z.B. Beton zu Ausfräsungen führen kann, wenn der Wasserdruck nicht rechtzeitig reduziert wird.

Anwendung findet dieser Automat z.B. bei der Schiffsreparatur bei der Entlackung des Schiffsrumpfes, das bislang mit Hilfe des Sandstrahlens gemacht wurde.



Saubere Spuren hinterläßt das 58 cm breite Raupenfahrzeug auf der Metallwand, an der es durch Unterdruck haftet.

„Hydrocat“ schafft 90 m²/h zu entlacken, ein Werftarbeiter dagegen nur 20 m²/h. Jedoch ist derzeit noch günstiger ein Schiff durch Sandstrahlen von dem Antifouling-Anstrich zu befreien als mit dem Entschichtungsautomaten, da die Investitionskosten bei ca. 1 Mio. DM liegen. Derzeit akzeptieren die Reedereien aber nur einen Durchschnittspreis von 24 DM/m².



10 Quellennachweis

Diverse Broschüren und Werbeprospekte der nachfolgenden Firmen sowie Materialien auf deren Homepages im Internet.

- Flow Europe / Flow International
- Ingersoll-Rand (<http://207.127.111.140>)
- UHDE
- Bystronic (www.haemmerle.ch)
- Cut Tec AG (www.cuttec.ch)
- Jet Cut (www.apsgmbh.at)
- Aquacut in der Schweiz (www.aquacut.ch)
- diverse andere Internetseiten, die hier nicht genannt werden sollen jedoch im Internet unter www.yahoo.de und Wasserstrahlschneiden als Suchbegriff zur Verfügung stehen.