

**Abrasives**  
**Wasserstrahlschneiden**  
**In der Praxis**



Heinz Eichhorn

# Abrasives Wasserstrahlschneiden in der Praxis

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Wasserstrahlschneiden Historie und Gegenwart	2
2. Schneidtechnologien	8
3. Antriebssysteme	16
4. Catcher und Werkstückauflage	24
5. Pumpenauswahl	34
6. Schneidkopf und Abrasivfluss	38
7. Sicherheitseinrichtungen	44
8. Vergleichbarkeit von Wasserstrahlschneidsystemen	50
9. Trennung von Catcher und Antriebssystem	57
10. Wasseraufbereitung	64
11. Effizienz und Kosten	69
12. Mannloser Betrieb	76
13. Umweltverträglichkeit	81

# Wasserstrahlschneiden

## Historie und Gegenwart

Wasser durchbricht Gebirgszüge, einzelne Tropfen höhlen massives Gestein aus. In der Natur stechen die Kraft und Härte des Wassers seit Jahrtausenden hervor. Diese Kraft macht sich die Wasserstrahlschneidtechnik seit Anfang des 20.

Jahrhunderts zunutze, erst zum Schürfen von Kies und Ton, in den 1930er Jahren zum Erz- und Kohleabbau mittels eines Hochdruckwasserstrahls. Der Flugzeugbauer Boeing sorgte in den 1960er Jahren schließlich für den entscheidenden Antrieb, den Wasserstrahl als Schneidtechnik zu nutzen. 1971 wurde schließlich die erste Maschine zum Wasserstrahlschneiden gefertigt. Zu der Zeit wurden überwiegend Druckübersetzer verwendet, die in ihren Hochdruckzylindern den Schneidstrahl erzeugten. Später wurden dann auch Kolbenpumpen eingesetzt, die mittels Direktantrieb den Strahl erzeugen.

Anfangs beschränkte man sich auf das Reinwasserschneiden und so war die erste industrielle Anwendung, das Schneiden von Einwegwindeln. Man forschte aber bereits mit verschiedenen Zusatzstoffen an Möglichkeiten, auch Metalle und Verbundwerkstoffe zu trennen. Die Zugabe von Abrasiv war der Durchbruch für das Verfahren Wasserstrahlschneiden und in den folgenden Jahrzehnten gab es jedes Jahr zweistellige Zuwachsraten.

Eine Hochdruckpumpe sorgt dafür, dass der Wasserstrahl bei einer modernen Schneidmaschine auf bis zu 6.000 bar komprimiert und anschließend durch eine Düse gepresst wird. Dadurch erreicht der Strahl Austrittsgeschwindigkeiten von bis zu 1.200 m/s. Das entspricht etwa der vierfachen Schallgeschwindigkeit.

Diese Strahlgeschwindigkeit und die Zugabe von Abrasiv, erzeugt den Schneidstrahl für den Materialabtrag. In der Industrie und bei den Schneidbetrieben, haben sich Drücke von 4.000 bar als idealer Kompromiss zwischen Leistung und Langlebigkeit etabliert. Heute arbeiten die Hersteller kontinuierlich an Konzepten zur Wasser- und Energieeinsparung. Jedes Wasserstrahlschneidsystem ist ein Beitrag für die umweltschonende, moderne Fertigung. Da bei dieser Schneidtechnik nur Naturstoffe wie Wasser und Sand zum Einsatz kommen, entstehen weder giftige Gase noch Dämpfe. Die Abfälle der Bearbeitung, das Schmutzwasser und die gebrochenen Sandkörner, sind für die Umwelt unkritisch und können dem Wertstoffkreislauf zugeführt werden.

## Reinwasser- oder Abrasivschneiden

Im Industriellen Einsatz kommen überwiegend zwei Varianten dieser Wasserstrahltechnik zum Einsatz. Das Reinwasserschneiden und das Abrasivschneiden. Mikrowasserstrahlschneiden und Suspensionsstrahlschneiden sind Technologien, die ebenfalls mit abrasivem Wasserstrahl arbeiten, jedoch im hier beschriebenen Umfeld des Plattenzuschnitts, nur eine untergeordnete Rolle spielen. Das Reinwasserstrahlschneiden wird bei weichen Materialien eingesetzt. Der reine Wasserstrahl durchdringt mit einem Durchmesser von wenigen Zehntel Millimetern das Material wie mit einem Messer. Entgegen dem abrasiven Wasserstrahlschneiden, wird hier kein Material aus der Schnittfuge herausgeschliffen, sondern lediglich ein feiner

Schnitt erzeugt. Das Reinwasserschneiden wird zum Schneiden von Dichtungen, Gummi, Leder, Stoff und dünnen Kunststoffen eingesetzt. Metalle lassen sich damit lediglich in Form von hauchdünnen Folien schneiden. Für das Reinwasserschneiden benötigt man in der Regel eine sehr schnelle Maschine, da die Schnittgeschwindigkeiten wesentlich höher sind als beim Abrasivschneiden. Für die typischen Materialien die mit Reinwasser geschnitten werden, sind außerdem zusätzliche Materialauflagen erforderlich, die das dünne und weiche Material beim Schneiden unterstützen. Hier haben sich Waben aus Aluminium, Edelstahl oder Polypropylen als sehr gute Lösung erwiesen. Bei der Anschaffung einer Wasserstrahlschneidmaschine sollte man die Möglichkeiten des Reinwasserschneidens in die Entscheidung mit einbeziehen. Nicht alle Maschinen sind aufgrund ihres Aufbaus und der erzielbaren Geschwindigkeiten für dieses Trennverfahren geeignet. Beim Reinwasserschneiden kann auf das Abrasivmedium verzichtet werden. Der Schneidkopf wird entsprechend umgerüstet, sodass auf das Fokussierrohr verzichtet werden kann und die Düse das letzte Element darstellt. Reinwasseranwendungen benötigen weniger Wasservolumen und oft auch niedrigeren Schneiddruck. Eine Maschine, die diese Möglichkeiten von vorne herein berücksichtigt, kann bei Reinwasserschnitten die Betriebskosten mehr als halbieren.

Das Abrasivschneiden ist das meistgenutzte Verfahren im Bereich des Wasserstrahlschneidens. Der Düsendurchmesser, der Druck und das Schneidmittel beeinflussen die erzielbare Strahlleistung. Wie beim Reinwasserschneiden wird auch hier der Wasserstrahl aus der Hochdruckpumpe, mit Drücken bis zu

6.000 bar durch eine Saphir-, Rubin- oder Diamantdüse gedrückt. Jedoch trifft dieser Strahl nicht direkt auf das Werkstück, sondern er wird in einer keramischen Mischkammer mit einem Abrasiv vermischt. Das Abrasivmittel wird in diesem Schneidkopf über den Venturi Effekt eingesaugt und tritt - mit dem Wasser vermischt - aus einem Fokussierrohr aus. Dieses Fokussierrohr besteht aus extrem hartem und verschleißfesten Wolframkarbid. Trotzdem wird durch den Abrasivstrahl selbst dieses Fokussierrohr nach einer gewissen Zeit ausgewaschen. Für moderne Schneidköpfe sind diese Fokussierrohre in unterschiedlichen Durchmessern, Längen und Qualitäten verfügbar sodass der Anwender die für siech wirtschaftlichste Lösung auswählen kann. Auf dem Markt gibt es auch Schneidköpfe, bei denen die Verschleißkomponenten Düse und Mischkammer fest verbaut sind. Diese Köpfe sind im Betrieb teurer, da sie komplett ausgetauscht werden müssen, sobald eine der Komponenten verschlissen ist. Das verwendete Abrasiv ist in der Regel Granatsand oder ein ähnlich hartes, gemahlene Gestein. Das Abrasiv gibt es ebenfalls in unterschiedlichen Qualitäten und Körnungen. Die Körnung 80 mesh hat sich in der Branche als Standard durchgesetzt. Diese Körnung ist in Bezug auf Schneidleistung und Oberflächenqualität zur Zeit der beste Kompromiss. Für Anwendungen im Glas oder Kunststoffbereich wird oft auch 120 mesh eingesetzt um die Oberflächenqualität zu verbessern und seidenglatte Schnittflächen zu erzeugen. Beim Mikrocutting wird sogar mit Körnungen von 300-400 mesh gearbeitet. Dieses Abrasivmaterial erzeugt eine optimale Schnittqualität und reduziert die Oberflächenrauigkeit, ist allerdings sehr teuer. In Einzelfällen können auch andere Abrasive wie Salze, Quarz oder Granat/Korund Gemische eingesetzt werden.

# Anwendungsbereiche für Wasserstrahlschneidmaschinen

Der Hauptanwendungsbereich des Abasivstrahlschneidens, sind Metalle, Naturstein, Keramiken oder Verbundwerkstoffe. Mit dem abrasiven Wasserstrahl kann aber so gut wie jedes Material geschnitten werden, und zwar ohne dass sich - wie beim Brennschneiden oder Laserschneiden - das Werkstück erwärmt und in den Wärmeeinflusszonen das Materialgefüge verändert wird. Da die Temperaturen in der Schnittzone nur bei rund 50 °C liegen, zählt dieses Schneidverfahren zu den Kaltschneidprozessen. Wo keine Gefügeveränderungen an den Schnittkanten erwünscht sind, dort kommt das Wasserstrahlschneiden zum Einsatz. Zudem ist es möglich, beliebige Konturen zu schneiden und an jeder Stelle der Materialoberfläche zu beginnen und zu enden. Es ist sogar problemlos möglich, eine gehärtete Stahlplatte mit dem abrasiven Wasserstrahl anzubohren und zu schneiden. Ein Startloch zu bohren oder zu erodieren, ist nicht nötig. Für den Wasserstrahl ist die Oberfläche des Werkstückes uninteressant. Eine Stahlplatte kann selbst dann sauber und exakt geschnitten werden, wenn die Oberfläche korrodiert, verschmutzt oder verzündert ist. Lediglich der Düsenabstand muss während des Wasserstrahlschneidens eingehalten werden. Andererseits können auch polierte Edelstahlbleche oder Spiegel geschnitten werden, ohne dass die optische Reflektion einen Einfluss auf den Prozess hätte. Das Wasserstrahlschneiden wird fälschlicherweise oft als langsames und schmutziges Trennverfahren wahrgenommen. In der Realität sieht es anders aus.

Moderne Systeme bieten die Möglichkeit, den Wasserstand anzuheben und das Material während des Schneidprozesses zu fluten. Bei Schnitten unter der Wasseroberfläche, reduziert sich die Verschmutzung der Maschine und der Umgebung drastisch. Auch die Geräuschbelastung sinkt merklich.

Bei dünnen Blechen ist das Laserschneiden und das Plasmaschneiden deutlich schneller als das Wasserstrahlschneiden. Bei extrem dicken Blechen, ist das Brennschneiden die schnellere Alternative. Der Bereich in dem das Wasserstrahlschneiden gegenüber den Verfahren Laserschneiden, Plasmaschneiden und Brennschneiden, die bessere Wirtschaftlichkeit bietet, lässt sich rechnerisch bestimmen. Allerdings ist dieser Vergleich auf die wenigen Materialien begrenzt, die auch von den thermischen Verfahren geschnitten werden können. Hier spielt die Wasserstrahltechnik ihren größten Vorteil aus: Die universellen Einsatzmöglichkeiten - eine Maschine für jedes Material, jede Dicke und jede Kontur.

Die Konturgenauigkeit hat in den letzten Jahren eine deutliche Steigerung erfahren. Da beim abrasiven Wasserstrahlschneiden, bei steigender Vorschubgeschwindigkeit nicht nur die Riefenbildung, sondern vor allem die Konizität des Schnittspaltes deutlich zunimmt, wurden Strategien zum dynamischen Winkelfehlerausgleich entwickelt. So kann man auf fast jeder Wasserstrahlschneidmaschine mit 3D Schneidkopf, auch den Winkelfehler über die Software kompensieren. Die Maßhaltigkeit und die geringe Winkelabweichung, bleibt auch bei höheren Schneidgeschwindigkeiten erhalten. Moderne Wasserstrahlschneidmaschinen bietet zudem eine Reihe von Technologieoptionen zum Fasenschneiden, Bohren, Gewinden, Senken und ermöglicht zudem die Integration von Supporten zum Plasmaschneiden.

# Wasserstrahl Schneidtechnologien

## Konventionell, Winkelfehlerausgleich, Fasenschnitte

Beim abrasiven Wasserstrahlschneiden unterscheiden wir die verschiedenen Schneidtechnologien auf Basis der unterschiedlichen Bewegung des Schneidkopfes durch das Antriebssystem.



### Konventionelles Schneiden

Beim Schneiden mit einem konventionellen Schneidkopf wird lediglich ein Strahl erzeugt, der zweidimensional durch das Werkstück bewegt wird. Dieser konventionelle Schnitt wird nach wie vor sinnvoll eingesetzt für Bauteile, deren Toleranzen groß genug sind um den systembedingt auftretenden Winkelfehler abzudecken.

Die Anforderungen an das Antriebssystem sind gering. Es werden keine aufwändigen zusätzlichen Motoren am Schneidkopf benötigt.

Schneidkopf Schnittmodell Allfi

## Dynamischer Winkelfehlerausgleich in 2D und 3D

Schneidköpfe, die den Winkelfehler im 2D Betrieb ausgleichen, benötigen zwei zusätzliche Achsen um den Schneidkopf entsprechend gegen zu steuern. Die Motoren werden als A/B Systeme oder A/C Systeme aufgesetzt.

Beim A/B System liegen die Motoren in der selben Ebene, beim A/C (oder B/C) System gibt es eine Drehachse und ein Schwenkachse. Während mittlerweile viele Anbieter den Winkelfehlerausgleich anbieten, gibt es nur sehr wenige Anbieter, die den Winkelfehler *dynamisch* ausgleichen.



Der große Unterschied besteht darin, dass beim *dynamischen* Winkelfehlerausgleich der Schneidkopf immer wieder den aktuellen Schneidbedingungen angepasst wird.

Der Anstellwinkel verändert sich während der Bearbeitung ständig in Abhängigkeit von der jeweils gefahrenen Geschwindigkeit, der Materialart und der Materialstärke.

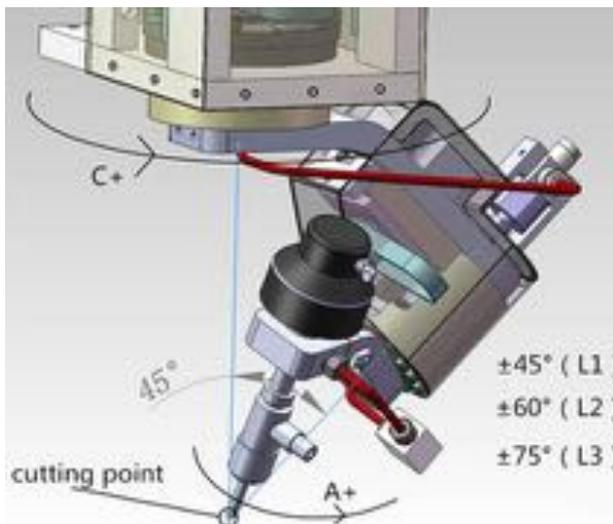
Bei Innenecken in einem Bauteil muss die Maschine zwangsläufig die Vorschubgeschwindigkeit in der Ecke reduzieren und idealerweise die Abrasivmenge drosseln um das Auswaschen zu verhindern.

Wird aber die Geschwindigkeit reduziert, so verändert sich auch der Winkel und der Winkelfehler.  
Systeme mit dynamischem Winkelfehlerausgleich verändern dann kontinuierlich den Anstellwinkel des Schneidkopfes um ein winkelgenaues Teil zu erzeugen.

### Fasenschnitte

Seit einigen Jahren werden auch 3D Schneidköpfe im Bereich der abrasiven Wasserstrahlschneidmaschinen eingesetzt.

Hierbei werden üblicher weise A/C Systeme eingesetzt um den Störkreis des 3D Kopfes möglichst klein zu halten.



Wird mit einem A/C System ein dynamischer Winkelfehlerausgleich durchgeführt, so ändert sich auch die Vorschubgeschwindigkeit, weil die Winkelfehlerkompensation mittels überlagerten Dreh und Schwenkbewegungen

geringfügig mehr Zeit benötigt als bei A/B Systemen, die in der selben Ebene arbeiten. Dafür sind allerdings genaue Winkelschnitte auch mit Winkelfehlerkompensation möglich.

Was bedeutet Winkelfehler?

Schneiden wir mit einem abrasiven Strahl durch ein Bauteil, so verliert der Strahl auf dem Weg durch das Material Energie und die Abrasivkörner brechen. Der Durchmesser des Strahls wird kleiner.

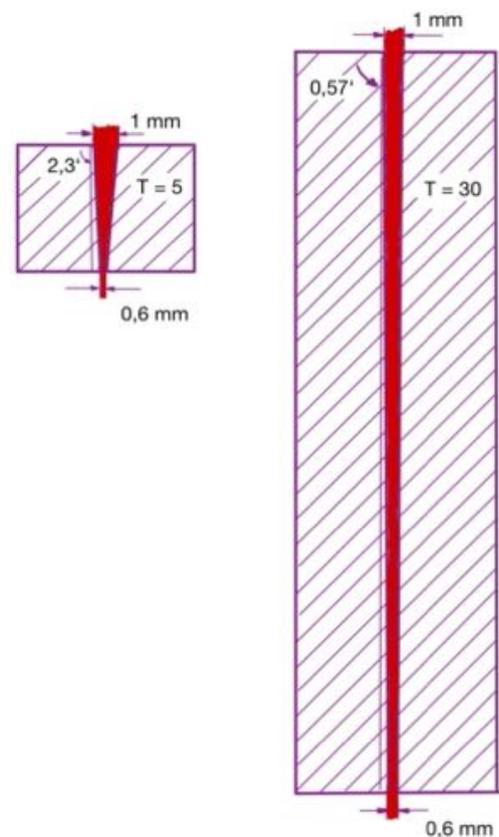
Beispiel: Der Strahl hat an der Eintrittsseite einen Durchmesser von 1mm. Am Austritt hat er noch 0,6 mm. Das bedeutet für das Bauteil, wir verlieren 0,2 mm an jeder Seite und das Bauteil wird unten 0,4 mm größer.

Bei Bauteilen mit großer Toleranz ist das akzeptabel. Ein konventioneller Schneidkopf reicht aus.

Je größer die Materialdicke ist, desto weniger macht sich der Winkelfehler (in Winkelgrad) bemerkbar.

Physikalisch bedingt wird man bei gleicher Materialart und Oberflächenqualität umso langsamer, je dicker das Material ist. Die Vorschubgeschwindigkeit reduziert sich dabei aber das Verhältnis Eintrittsbreite zu Austrittsbreite bleibt weitestgehend erhalten. Allerdings ändert sich dabei der Winkel!

Nehmen wir beispielsweise zwei Bauteile gleichen Materials aber unterschiedlicher Dicke, schneiden sie mit den Parametern für eine bestimmte Oberflächenqualität, so ergibt sich folgender Effekt:



In beiden Fällen verlieren wir wieder 0,4 mm in der Breite, also 0,2 mm auf den Winkel.

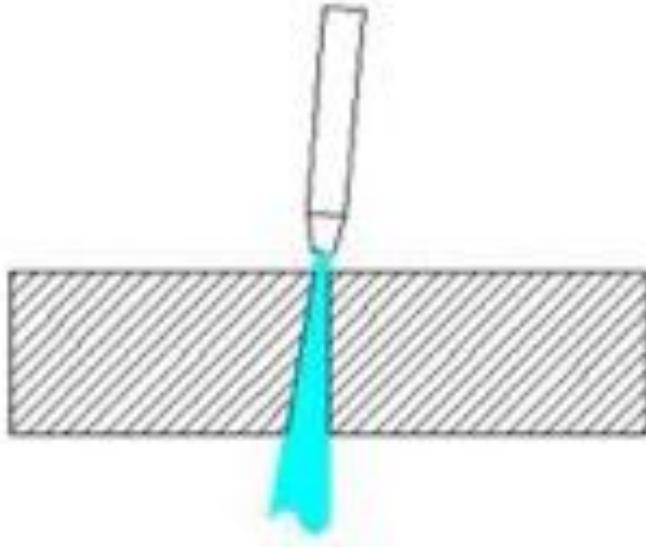
Bei Materialstärke 30 mm ist der Winkelfehler dann 0,57 Grad, bei Materialstärke 5 mm ist der Winkelfehler jedoch 2,30 Grad. Dieser Umstand wird oft von Herstellern und Kunden vollkommen falsch verstanden. Man hört immer wieder, dass der Winkelfehlerausgleich für dickeres Material interessant wäre aber das Gegenteil ist der Fall.

Eine weitere Aussage sorgt ebenfalls sehr oft für Verwirrung beim Kunden: Es wird behauptet, dass man auch ohne Winkelfehlerausgleich winkelgenaue Teile schneiden kann. Nun, das ist sogar richtig, denn wenn man nur langsam genug schneidet und dem Strahl alle Zeit der Welt läßt um den Schnittspalt auch an der Austrittsseite auf das selbe Maß wie am Eintritt zu schleifen, dann bekommt man tatsächlich ein winkelgenaues Bauteil. Wie in der Grafik gezeigt, ist es sogar möglich den Strahl an der Austrittsseite breiter zu bekommen als auf der Eintrittsseite.

Die Zeit, die man dazu braucht ist aber immens. Es gibt für jedes Material und für für jede Dicke eine sogenannte „Null Fehler Geschwindigkeit“.

Der Vorschub wird dabei je nach Material um etwa fünfmal langsamer als bei einem Qualitätsschnitt.

Ist das Bauteil enger toleriert, so verwendet man den dynamischen Winkelfehlerausgleich und erhält ein winkelgenaues Bauteil während der Fehler in den Abfall gelegt wird.



Im Bereich der Fasenschnitte wird oft von 3D Bearbeitung gesprochen. Tatsächlich ist meist das Fasenschneiden unter verschiedenen Winkeln in Flachmaterial gemeint denn eine volle 3D Anwendung erfordert einen viel größeren Schwenkbereich am Schneidkopf und dementsprechend eine komplette Sicherheitseinhausung.

Bleiben wir also bei den flachen Bauteilen, den Blechen. Die meisten Anwendungen für solche Schrägschnitte liegen im Bereich der Schweißkantenvorbereitung.

Leider ist das Verfahren Wasserstrahlschneiden für diese eher ungenaue und untergeordnete Anwendung viel zu teuer.

Echte Schrägschnittanwendungen spielen in der Wasserstrahlschneidtechnik eher in der präzisen Vorbereitung von Frästeilen oder in der Natursteinbearbeitung eine Rolle und oftmals ist es für Lohnschneidebetriebe sinnvoller, gleich in eine wirklich hochwertige 3D Technik mit dynamischem Winkelfehlerausgleich, zu investieren.

Wenn es die eigenen Bauteile erfordern, so sollte man auf jeden Fall auf den Schwenkbereich des Schneidkopfes achten. Auf dem Markt sind unterschiedliche Systeme für Winkelschnitte zwischen 45° und 65°. Bedenken Sie, dass man für eine umlaufende 45° Fase an der Schnittstelle der Flächen einen Schwenkbereich von 55,2° benötigt!

Ein 3D Schneidkopf, egal welcher Ausführung, schränkt bei vielen Herstellern den Schneidbereich der Wasserstrahlschneidmaschine ein. Aus Sicherheitsgründen müssen Hard- und Software Endschalter im 3D Betrieb gesetzt werden, die verhindern dass der Schneidstrahl das Becken verläßt und den Bediener verletzen kann. Bei einer Höhe des Schneidkopfes über der Auflage von 150 mm und einer Winkelstellung von 60° wird beispielsweise der Verfahrweg um 200 mm im Radius eingeschränkt.

Das bedeutet in der Praxis, dass man eine Maschine die Winkel schneiden soll, entsprechend größer dimensionieren muss um die Standard Blechformate schneiden zu können. Es ist wichtig, sich vor der Anschaffung genau darüber zu informieren, ob die angebotene Maschine auch im 3D Modus die geforderten Verfahrwege abdecken kann.



Ein weiterer Betrachtungspunkt sollte die Werkstückauflage sein.

Die meisten Maschinen arbeiten mit „Schwertern“.

Das sind Blechstreifen von 2 -3mm Stärke, die aufrecht in ein Trägersystem eingesteckt werden.

Beim überfahren mit dem Abrasivstrahl werden diese Blechstreifen angeritzt.

Der Strahl wird jedoch vom Blech auch abgelenkt und ritzt es nur an, wenn er zentrisch darüber steht.

Im 2D Bereich können die Schwerter viele Stunden eingesetzt werden, bevor man sie umdreht und die Rückseite nutzt oder letztlich austauscht.

Beim 3D Schnitt werden die benachbarten Schwerter jedoch nicht nur angeritzt sondern auch auch seitlich angeschossen.



Auf diese Art und Weise können beim Fasenschnitt die benachbarten Schwerter strukturell zerstört werden.

Es ist also wichtig, beim Fasenschnitt alle diese Dinge zu beachten und gegebenenfalls Vorkehrung zu treffen.  
(Schwerter die gefährdet sind, herausnehmen oder mit Vorrichtungen arbeiten, die ein freies Schussfeld ermöglichen)  
Ansonsten kann Fasenschneiden erhöhte Betriebskosten verursachen

# Antriebssysteme in Wasserstrahlschneidsystemen

Im Grunde genommen ist das Verfahren Wasserstrahlschneiden ein relativ ungenaues Schneidverfahren, zumindest im direkten Vergleich mit zerspanenden Verfahren wie Fräsen oder dem verwandten Verfahren Schleifen. Der abrasive Wasserstrahl ist ein lebendiges Werkzeug, das von vielen Faktoren beeinflusst wird. Druck, Volumen, Sandmenge und der Zustand der einzelnen Verschleißteile Düse, Fokussierrohr und Mischkammer verändern den Strahl ständig.

Umso wichtiger ist es, an dieser Stelle mit besonderer Sorgfalt die Komponenten zu warten und gegebenenfalls zu ersetzen.

Was der Anwender aber nicht selbst beeinflussen kann, ist das Führungssystem selbst. Der Strahl wird von diesem Führungssystem in den Achsen X, Y und Z sowie oft noch in den Achsen A, B und / oder C manipuliert.

Um dieses Führungssystem soll es in diesem Artikel gehen. Ich möchte die unterschiedlichen Möglichkeiten darstellen wie ein Schneidkopf in den Achsen X, Y und Z bewegt wird sowie die Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme ansprechen.

Zunächst ist die Aufgabe für alle Systeme die gleiche: Es muss eine lineare Bewegung erzeugt werden. Dabei soll der Antrieb schnell, genau und im besten Fall spielfrei sein.

Aktuell werden im Bereich der Wasserstrahlschneidmaschinen unterschiedliche Techniken eingesetzt und Philosophien verfolgt:

- Die **Trapezgewindespindel**,

die wir alle aus dem Schraubstock kennen, wird heute so gut wie nicht mehr in Werkzeugmaschinen eingesetzt. Dem Vorteil dieser Spindel, die hohe



Selbsthemmungskraft, steht das Umkehrspiel dieses Systems und die damit verbundene Ungenauigkeit entgegen.

- Der **Zahnriemenantrieb** ist heute nur noch vereinzelt in Wasserstrahlschneidmaschinen zu finden. Er ist zwar die billigste Art und Weise eine Maschine anzutreiben, aber auch die ungenaueste. Beim Zahnriemenantrieb gibt es die Möglichkeit, den Riemen an den zu bewegenden Komponenten zu befestigen und über Riemenscheiben anzutreiben oder den Riemen fest zu verbauen und den Antrieb in das zu bewegende Element zu legen. Wichtig ist in jedem Fall, dass der Riemen einen möglichst großen Umschlingungswinkel um die jeweiligen Räder hat.

- Zahnriemenantriebe werden zum Teil mit Stahl oder Textilfäden verstärkt, um dem Effekt der Längung entgegenzuwirken. Zahnriemenantriebe sind relativ schnell, sind aber einem hohen Verschleiß unterworfen, wenn große Lasten beschleunigt und gebremst werden müssen.



- Der **Stahlbandantrieb** ähnelt in der Funktion dem Zahnriemenantrieb. Hierbei läuft ein dünnes Stahlband auf einer stählernen Antriebsrolle. Der Vorteil liegt in der nicht vorhandenen Dehnung. Er läuft leiser und ist verschleißärmer. Der Stahlbandantrieb hat jedoch den Nachteil des Schlupfs zwischen den Antriebselementen. Dieser Schlupf ist so groß, dass das Führungssystem fast zwangsläufig mit einem direkten Wegmeßsystem versehen werden muss. Dem preisgünstigen Antrieb steht damit ein aufwändiges Wegmeßsystem mit Magnetstreifen und Leser oder besser noch einem Glasmaßstab mit optischer Leseinheit entgegen.

- Die **Kugelumlaufspindel** ist im Werkzeugmaschinenbau als hochgenaue und spielfreie Antriebskomponente bekannt und beliebt. Die Vorteile sind der kleine Bauraum, der benötigt wird und die hohe Präzision. Aber auch die Nachteile sollen nicht verschwiegen werden: Bei den Kugelumlaufspindeln gibt es große Qualitätsunterschiede. Es gibt eingängige- und mehrgängige Spindeln mit unterschiedlichen Steigungen. Es gibt hochpräzise Spindeln, die spannungsfrei montiert werden und es gibt Spindeln, die mechanisch vorgespannt werden müssen um die geforderten Werte zu erreichen. Letztlich gibt es auch noch sehr einfache und preisgünstige Kugelumlaufspindeln, die eine elektronische Kompensation der Maschine erfordern. Bei der Kugelumlaufspindel ist die Länge das größte Problem. Während es sich anbietet in kurzen Achsen wie z.B.: in den Z- Achsen und bei kleinen Maschinen in der Brücke oder im Ausleger auf diese Variante zu gehen, ist die Kugelumlaufspindel bei den langen Basisachsen oft zu teuer. Außerdem kommt hier die Schwingung hinzu, die es oft erfordert, die langen Spindeln zusätzlich zu stabilisieren. Meist geht man dann den Weg und treibt die Mutter an - und das über einen Zahnriemen, der für sich betrachtet zu den ungenauesten Elementen in der Antriebstechnik zählt.



- Der **Zahnstange-Ritzel-Antrieb** ist das meist verwendete Bewegungssystem im Maschinenbau überhaupt. „Rack and pinion“ Antriebe findet man überall in jeder Größe und in den unterschiedlichsten Qualitäten. Ob ein gerade- oder ein schrägverzahnter Antrieb der bessere ist, ist so leicht nicht zu beantworten. Ist bei

einer Schrägverzahnung die Überdeckung größer und damit theoretisch die Übertragung größerer Momente möglich, so ist bei einer

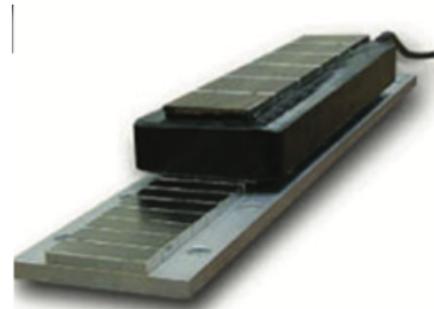


einer Schrägverzahnung eine aufwändigere axiale Lagerung der

Ritzel nötig. Auf die Geräuschentwicklung hat die Art der Verzahnung dagegen nur einen geringen Einfluss.

- Die Geräuschentwicklung hängt viel mehr von der Fertigungsqualität der verwendeten Komponenten ab. Hochwertige, geschliffene Zahnstangenantriebe gelten als weitgehend spielfrei. Ein weiterer großer Vorteil ist die Möglichkeit, bei einer Beschädigung oder bei Verschleiß, einzelne Segmente auszutauschen.
- Maschinen mit Zahnstangenantrieben erfordern bei einem modularen Aufbau weniger Aufwand um die Achsen zu einem späteren Zeitpunkt zu verlängern. Zahnstange-Ritzel-Antriebe sind meist sehr schnell - wegen ihrer Stabilität und Schwingungsunempfindlichkeit sind sie für hohe Beschleunigungen geeignet.

- Der **Linearmotor**-Antrieb ist das zur Zeit schnellste Antriebssystem, das in Wasserstrahlschneidmaschinen verbaut wird. Ebenso wie bei der Zahnstange, können hier einzelne Segmente zusammengesetzt werden, um die Maschine über große Längen zu bewegen und es können im Reparaturfall einzelne Segmente ausgetauscht werden. Der Linearmotor gehört zu den energiesparenden Antrieben. Er ist jedoch relativ teuer und schmutzempfindlich. Durch die auftretenden Elektromagnetischen Felder muss - speziell bei der Bearbeitung von ferritischen Stählen - Mehraufwand bei den Abdeckungen betrieben werden. Hinzu kommt, dass der Linearmotor gleichzeitig die Führung der zu bewegenden Maschinenteile übernimmt, während bei den bisher genannten Systemen, Antrieb und Führung getrennt ausgeführt sind.



- Der **Traktionsantrieb** nutzt ebenso wie der Linearmotor die Führungsleisten der zu bewegenden Komponenten, um dort die Bewegungsenergie einzuleiten. Beim Traktionsantrieb wird ein Reibrad auf die Führungsleiste gedrückt, das die Drehbewegung in eine lineare Bewegung umsetzt. Bei diesem System entsteht ähnlich wie beim Stahlbandantrieb, Schlupf. Traktionsantriebe benötigen daher zwingend direkte Wegmeßsysteme. Der Traktionsantrieb ist unempfindlich gegen Schmutz, einfach im Aufbau und billig in der Herstellung.



Zusätzlich zu den Antriebssystemen, müssen wir noch die **Wegmeßsysteme** betrachten:

- **Direkte Wegmeßsysteme** in Wasserstrahlschneidmaschinen sind entweder als Glasmaßstab ausgeführt, der photoelektrisch abgetastet wird, oder als Magnetstreifen, der mit einem Lesekopf abgefragt wird. Während der Glasmaßstab sehr temperaturstabil ist und damit die beste Dauergenauigkeit bietet, ist der Magnetstreifen abhängig von seinem Trägermaterial, auf das er aufgeklebt wird. Dabei ist zu beachten, dass dieser Träger thermisch von der Maschine entkoppelt ist. Ansonsten hat die Wärmeausdehnung einen zu großen Einfluss auf das Messergebnis.
- **Indirekte Wegmeßsysteme** kann man immer dann einsetzen, wenn die Drehbewegung des Motors schlupffrei in eine lineare Bewegung umgesetzt wird. Zahnstangenantriebe, Gewindespindeln und Kugelumlaufspindeln werden fast ausnahmslos mit indirekten Wegmeßsystemen kombiniert. In dem Fall kommt das Ausgangssignal, das die CNC Steuerung verarbeiten muss, von einem inkrementalen Drehgeber.

Beide Meßsysteme sind im Prinzip für den Einsatz in Wasserstrahlschneidmaschinen sehr gut geeignet. Es gibt allerdings große Unterschiede in der Ausführung und die beeinflussen direkt das Schneidergebnis. In einfachen Auslegersystemen, in denen nur drei Achsen bewegt werden,

kommt es hauptsächlich auf die Auflösung der Wegmeßsysteme an. Während es Magnetstreifen mit einer Auflösung von nur 60 Schritten / mm gibt, haben Glasmaßstäbe und Drehgeber oft 200 bis 1000 Schritte / mm. Bei Gantry-Systemen wird es schwieriger. Dort müssen zwei Basisachsen simultan angetrieben werden um die Brücke zu bewegen. Bei einer Gantry-Machine ist unbedingt darauf zu achten, dass beide Antriebe der Basisachsen mit separaten Wegmeßsystemen ausgestattet sind, die auch winkelsynchron betrieben werden. Wird nur eine Seite mit einem Wegmeßsystem ausgerüstet und einfach beide Motoren mit den gleichen Werten angesteuert, so kommt es je nach Schlupf früher oder später dazu, dass die Maschine Parallelogramme schneidet.

Um meinen Eingangsgedanken vom lebendigen Werkzeug noch einmal aufzugreifen, komme ich zu dem Ergebnis, dass der bestmögliche Schneidstrahl nur dann ein gutes Schneidergebnis erzeugt, wenn der Hersteller seine Führungsmaschine mit hochwertigen, aufeinander abgestimmten Komponenten aufbaut.

# Catcher und Werkstückauflage

## Wassertank oder Systemkomponente?

Die Bezeichnung „Catcher“ kommt von der Hauptaufgabe dieses Bauteils, nämlich dem „Fangen“ des Strahls. Der abrasive Wasserstrahl, hat – nachdem er seine Schneidarbeit erledigt hat und aus dem Werkstück austritt – noch 50 - 80 % seiner Energie und die muss abgebaut werden. Dazu nimmt man ein Wasser gefülltes Becken mit etwa 600 - 800 mm Füllhöhe.

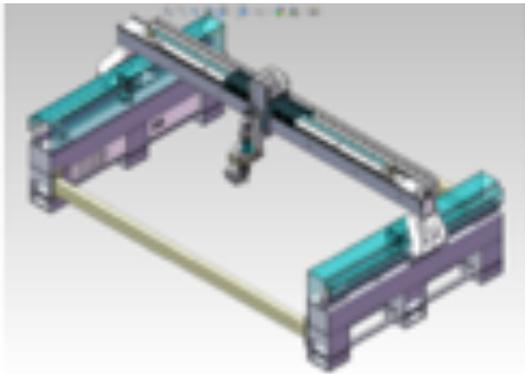
Der „Catcher“, „Tank“ oder „Tisch“ ist eine wichtige Komponente des Wasserstrahlschneidsystems. Er hat gleich mehrere Aufgaben zu erfüllen: Er ist das Becken für das Wasser, die Auffangwanne für den Schlamm und die Reststücke, er trägt die Werkstücke, er bietet Platz für integrierte Entschlammungseinrichtungen, Kratzförderer, Niveauregulierungen, Tanks, Aufnahmen, Rohrleitungen, Spannvorrichtungen und vieles mehr.



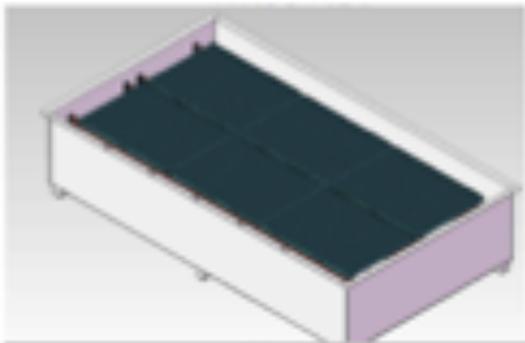
Manche Catcher tragen sogar die Achsen und das

Führungssystem. Bei diesen Monoblockmaschinen muss der Catcher dann den Maschinenrahmen bilden.

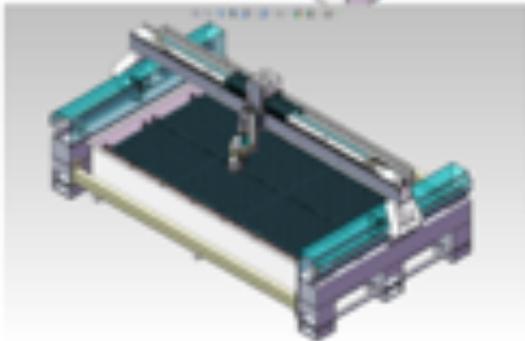




In der Mehrheit der Fälle werden heute „stand-alone Catcher“ eingesetzt.



Sowohl bei Auslegermaschinen als auch bei Brückenmaschinen wird der Catcher vom X-/Y-System getrennt und somit thermisch und schwingungstechnisch entkoppelt.



Jedoch sind auch Monoblockmaschinen auf dem Markt zu finden, die schwingungsfest und temperaturstabil aufgebaut sind.

Grafik Copyright TK



Diese Tanks werden heute aus verschiedenen Materialien angeboten. Angefangen bei Polypropylen, über Stahl, Edelstahl bis hin zu Beton, wurde bereits alles eingesetzt, was wasserdicht und ausreichend stabil dafür ist.

Ich beschränke mich bei der weiteren Ausführung auf die Stahl- und Edelstahltanks, die 99 % der Wasserstrahlschneidmaschinen heute nutzen.

Stahltanks bei einer Wasserstrahlschneidmaschine? Ja, warum nicht! Die Stahltanks sind in der Herstellung günstig und stabil. Wenn der Tank gut vorbereitet, grundiert und lackiert ist, dann spricht nichts dagegen. Natürlich wird die Lackschicht innerhalb des Tanks irgendwann verletzt werden und der Tank rostet, aber das ist über einen sehr langen Zeitraum unkritisch. Unter der Wasseroberfläche geht der Korrosionsprozess sehr langsam voran, da der Sauerstoffgehalt gering ist. Durchgerostete Tanks kommen nur sehr selten vor. Sofern das Blech vernünftig dimensioniert ist, wird der Tank über die komplette Lebensdauer der Maschine halten. Der Rost, der im Tank ist, findet sich aber nach einiger Zeit als Schwebstoff im Wasser wieder. Besonders bei der Bearbeitung von polierten Edelstahlblechen findet man dann feine Anhaftungen von Eisenoxid, was meist vom Endkunden nicht toleriert wird.

Edelstahl ist für den Tankbau ein teures Material und der Aufpreis ist meist im fünfstelligen Eurobereich angesiedelt – hat aber viele Vorteile. So kann auf die Lackierung auf der Innenseite verzichtet werden und auch im Sichtbereich bleibt die Maschine länger ansehnlich.

Für den Schneidprozess ist die Optik zweitrangig. Hier ist es wichtig, dass die Auflage möglichst stabil ist. Das kann auf zwei unterschiedliche Wege erreicht werden: Man kann ein einfaches Becken nehmen und einen stabilen Tisch hineinstellen.



Oder man baut den Catcher mit diversen Verstrebungen auf, die dann auch die Werkstückauflage tragen. Je stabiler der Tank dabei ausgeführt wird, desto steifer ist die Auflage.



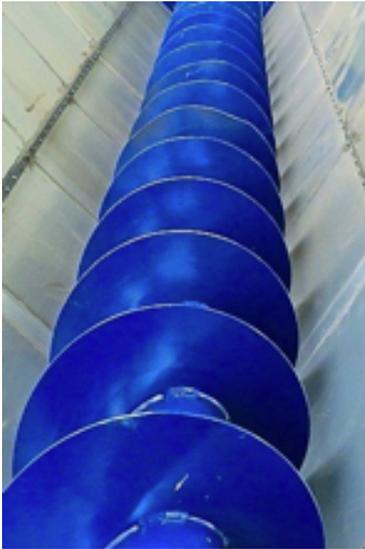
Die wichtigsten Aufgaben sind damit schon erledigt, aber in den vergangenen Jahren haben sich weitere Ausstattungsdetails durchgesetzt, die von den führenden Herstellern meist optional angeboten werden:

### Die automatische Entschlammung:

Im Wesentlichen gibt es dafür zwei unterschiedliche Strategien: Man bringt den Schlamm mittels eines Kratzförderers oder einer Schnecke aus dem Catcher oder man versucht, den Sand in Schwebelage zu halten und ihn dann mittels Kreis- oder Membranpumpe in ein Absetzbecken zu befördern.



Bei der ersten Variante kann der Kratzförderer mit Abweisblechen kombiniert werden und sorgt für einen fast vollständigen Austrag des Schlammes und kleiner Abfallteile. Der Aufnahmebehälter kann mit normalen Säcken bestückt werden, in denen der Schlamm der Entsorgung zugeführt wird.



Wird anstatt des Kratzförderers eine Förderschnecke eingesetzt, so muss am Austritt aus dem Catcher trotzdem ein Förderband nachgeschaltet werden, das den Schlamm auf Auswurfhöhe bringt. Schnecken haben den Vorteil des einfachen Aufbaus bestehend aus wenigen Einzelteilen.

Der Nachteil ist, dass man bei Reparaturarbeiten oder Wartung an der Lagerung die Schnecke neben der Maschine komplett herausziehen können muss. Der Platzbedarf ist bei der Installation zu berücksichtigen. Bei einem Kratzförderer hingegen können die Ketten, Glieder, Abstreifer und Lager nach Ablassen des Wassers im Catcher gewartet werden.

Variante zwei ist die Absaugung des Schlammes mit handgeführten Sauglanzen oder einer auf dem Boden verlegten festen Verrohrung: Das Wasser-Sand-Gemisch wird mittels Kreiselpumpen oder Membranpumpen in ein



Absetzbecken befördert, wo das Wasser durch einen Filtersack wieder in den Vorlagebehälter läuft und von dort durch eine zweite Pumpe zum Aufwirbeln des abgesetzten Schlammes zurück in den Catcher gedrückt wird. Der Schlamm bleibt im Filtersack und wird nach dem Abtropfen zur Entsorgung gegeben.

Diese Variante ist einfacher und billiger im Aufbau und erfordert keine weitere Veränderung des Catchers. Allerdings bleiben strömungsbedingt immer mehr oder weniger stark ausgebildete Sandnester übrig. Diese Art der Entschlammung sollte ständig laufen und auch nach Abschalten der Maschine einige Minuten nachlaufen, damit der Schlamm sich nicht in den Rohr- oder Schlauchleitungen absetzen kann. Abgesetzter Schlamm kann nach wenigen Tagen aushärten und den Betrieb dieser Anlagen stören. Man sollte daher immer auf möglichst kurze Schlauchlängen achten und das Absetzbecken so nahe wie möglich an der Maschine platzieren.

#### Die Wasserniveauregulierung:

Die Wasserniveauregulierung wird verwendet, um den Wasserspiegel möglichst schnell anzuheben oder abzusenken. Im Prinzip kann jede Wasserstrahlschneidmaschine unter Wasser schneiden. Da der Abstand zwischen Fokussierrohr und Materialoberfläche nur etwa 2 mm beträgt, macht es für das Schneidergebnis so gut wie keinen Unterschied, ob man über- oder unter Wasser schneidet.

Der Unterschied ist lediglich, dass ein Schnitt unter Wasser sauberer und leiser ist.

Beim Schneiden unter Wasser ist von dem eigentlichen Schneidgeräusch so gut wie nichts mehr zu hören. Die Pumpe ist dann das lauteste Element im Prozess und moderne Pumpen liegen heute unter 79 dbA.

Hebt man jedoch den Schneidkopf an und schießt aus 200 mm Höhe in den Catcher, so erzeugt man einen Lärmpegel von rund 100 dbA.

Es macht also Sinn, unter Wasser zu schneiden, sofern das Material nicht aufschwimmt und nicht hygroskopisch ist.

In der Vergangenheit wurden Tanks neben den Catcher gestellt und das Wasser wurde bei Bedarf in die ein oder andere Richtung gepumpt, um den Wasserstand zu regulieren.



Die elegantere Lösung sind Tanks, die unter der Wasseroberfläche gleich in den Catcher integriert und mit Druckluft beaufschlagt werden. Die einströmende Luft verdrängt das Wasser und hebt den Wasserspiegel an.

Zum Absenken des Wasserspiegels wird einfach ein Ventil geöffnet und der Lufttank entleert.

Je größer das Volumen dieser Tanks, desto größer ist die Hubhöhe des Wasserniveaus. Da diese Tanks in der Regel nach unten offen sind, funktionieren sie dauerhaft nur in Verbindung mit einer Entschlammung.

## Der Füllstandssensor

Ist die Maschine mit einem Sensor ausgestattet, dann kann über die Steuerung der Wasserstand millimetergenau eingestellt werden. Der Sensor verhindert auch ein Überlaufen des Catchers wenn das Wasservolumen zu groß wird und gleichzeitig das volle Volumen des Lufttanks genutzt wird.



## Die Klemmvorrichtungen:

Beim Wasserstrahlschneiden muss das Blech nicht immer geklemmt werden – zumindest nicht im Bereich der 2D-Schnitte. Hier reicht es oft aus, das Material zusätzlich mit Gewichten auf die Auflage zu drücken.

Will man jedoch möglichst genau schneiden, evtl. sogar mit einem schräg gestellten 3D-Kopf, dann muss das Material zwingend geklemmt werden.

Hier kommt nun der Catcher als Träger für die Aufnahmevorrichtung ins Spiel. Man kann die Catcherwand so stabil ausführen, dass man daran eine Aufnahme für Spannelemente oder sogar für Nullpunktspannsysteme, wie sie im Werkzeugbau üblich sind, anbringen kann.

Wichtig ist dabei, dass das Spannelement so ausgelegt wird, dass die Kraft gegen die Werkstückauflage gerichtet ist.

## Die Catcherkühlung:

Zum Schluss dieser Betrachtung über Catcher komme ich zu einer Option, die nur sehr selten gefordert wird. In den wenigen Fällen, in denen eine Wasserstrahlschneidmaschine im hochpräzisen Toleranzbereich betrieben werden soll, kann es notwendig sein, die Wassertemperatur stabil zu halten. Auch wenn die Einleitervorschriften für das Abwasser eine Maximaltemperatur beinhalten, kann es sinnvoll sein, den Catcher zu kühlen.

Am einfachsten ist das mit einem Wasser/Luft-Wärmetauscher zu lösen, dessen Abwärme man gleich zum Heizen der Halle nutzen kann. Wenn eine Entschlammung montiert ist, kann das Rücklaufwasser in die Kühlkette integriert werden.

Der Catcher ist also nicht nur ein Wassertank, sondern eine echte Systemkomponente.

Für den Betreiber ist es sinnvoll, für die Wartung des Catchers etwas mehr Zeit einzuplanen. Es wird sich langfristig auszahlen.

# Pumpenauswahl

Welche Ultrahochdruckpumpe ist die beste?

Diese Frage stellt sich sicher jeder Käufer einer Wasserstrahlschneidmaschine irgendwann.

Wenn man sich dann bei den potenziellen Lieferanten umhört, wird man sehr viele teils widersprüchliche Aussagen hören. Deshalb möchte ich hier etwas zur Entscheidungsfindung beitragen.

Gehen wir zuerst einmal ein paar Jahre in die Vergangenheit zurück. Damals, vor etwa 20 Jahren, war der Markt relativ überschaubar. Es gab einige wenige Hersteller von Ultrahochdruckpumpen, die meist als hydraulische Druckübersetzer aufgebaut waren. Die Unterschiede waren marginal und bezogen sich meist auf die verwendeten Materialien, die Ventiltechnik und die Art der Ansteuerung. Die Drücke lagen bei etwa 3.500 - 3.800 bar. Einzelne Hersteller bauten direkt getriebene Pumpen, die damals noch geringe Standzeiten hatten.

Zu dieser Zeit gab es bereits Hersteller von Wasserstrahlschneidmaschinen, die ihre eigenen Pumpen nur für den eigenen Bedarf produzierten und es gab die reinen Pumpenhersteller, die ihre Produkte auf dem Markt über OEM-Partner vertrieben.

Der Markt entwickelte sich und die Drücke stiegen. 4.000 - 4.200 bar waren nun der Standard für die Druckübersetzer und 3.800 bar für die direkt getriebenen Pumpen. Gleichzeitig stiegen auch die Standzeiten für die Dichtungen und

Hochdruckbauteile und die Pumpen wurden standfest und zuverlässig.

Mitte der 2000er kamen die ersten 6.000 bar Druckübersetzerpumpen auf den Markt. Die Anforderungen an die Dichtungen und die Hochdruckkomponenten stiegen enorm und die Betriebskosten für 6.000 bar Pumpen waren sehr hoch. Um dem entgegenzuwirken, reduzierten viele Anwender den Druck auf 4.000 - 5.000 bar, um die Kosten für die Verschleißteile zu reduzieren – und reduzierten damit auch die Leistung und die Effizienz ihrer Wasserstrahlsysteme.

Der Markt suchte nun nach anderen Möglichkeiten, um Leistung und Effizienz zu steigern. Viele Pumpen wurden mit frequenzgeregelten Elektromotoren ausgestattet, um die Pumpe optimal an die Erfordernisse des Betreibers anzupassen.

Einige Hersteller ersetzten die Ölhydraulik der Druckübersetzerpumpen durch mechanische Antriebe und erkaufte den damit verbesserten Wirkungsgrad mit Kühleinheiten, um die empfindliche Mechanik zu kühlen.

In den letzten Jahren verbreitet sich eine Start-/Stop-Strategie. Druckübersetzerpumpen werden mit schnell reagierenden elektrohydraulischen Systemen in Bruchteilen einer Sekunde hoch und runtergefahren und können ihre Vorteile bei Programmen mit vielen On-/Off-Zyklen und Eilgangfahrten ausspielen. Direktgetriebene Pumpen reagieren bauartbedingt langsamer, sodass sich hier eher das klassische Bypassventil in den unterschiedlichsten Versionen durchsetzt.

Ein weiterer Trend der letzten Jahre ist die Sensorik. Die Hersteller versuchen mit mehr oder weniger Erfolg, ihre Produkte mit Sensoren auszustatten, die Druck, Temperatur und viele andere Parameter messen. Durch den Einsatz dieser Sensoren möchte man Rückschlüsse über die Wartungszyklen ziehen und die Betriebssicherheit erhöhen.

Trotz allem technischen Fortschritt und vielen Verbesserungen im Detail, bleibt auch heute noch die Erkenntnis, dass eine direktgetriebene Pumpe ihre Vorteile in langen kontinuierlichen Schnitten und in dicken Materialien hat – während Druckübersetzerpumpen bei kurzen Schaltzyklen, dünnen Materialien und Reinwasserschnitten im Vorteil sind.

Die Pumpen der „4.000 bar Klasse“ sind in der Branche heute der Standard. Die 6.000 bar Technik hat sich weiterentwickelt, spielt aber im Verhältnis dazu eine untergeordnete Rolle.

Da sich die Schneidleistung aus einem Produkt aus Druck, Volumen und Abrasivsand zusammensetzt, zieht die Veränderung einer Komponente auch zwangsläufig die Veränderung der anderen Komponenten nach sich. Bei gleicher Eingangsleistung kann man den Druck erhöhen, verliert aber Volumen. Geringeres Volumen bedeutet, man kann weniger Sand befördern.

Insofern sollte man immer genau ausrechnen, welche Pumpe für den eigenen Anwendungsfall die wirtschaftlichste Lösung darstellt. Im Internet und in verschiedenen App-Stores bieten die großen Hersteller wie BFT Kalkulationsprogramme an, die sehr gut sind. Damit kann man sich einen ersten Eindruck verschaffen.

Kaufen Sie eine Wasserstrahlschneidmaschine bei einem Hersteller, der auch seine Pumpen selbst herstellt, dann wird diese Pumpe immer als die beste Pumpe beworben werden. Hier hat jeder Hersteller genug Argumente gesammelt, um sein Produkt in den Vordergrund zu rücken. Trotzdem lohnt es sich, diese Argumente zu hinterfragen und zu vergleichen.

Kaufen Sie die Maschine bei einem Hersteller, der seine Pumpe zukaufte, dann haben Sie oft die Wahl zwischen verschiedenen Pumpensystemen. Die meisten Pumpen, die auf dem Markt angeboten werden, sind „Stand-alone-Pumpen“, die eine eigene Steuerung mitbringen und mit Maschinensteuerungen verknüpft werden können.

Moderne „Stand-alone-Pumpen“ können in der Regel von der Maschine angesteuert werden, sodass Parameter wie Druck, Drehzahl etc. direkt aus der Steuerung übernommen werden.

Um jetzt noch einmal auf die Eingangsfrage zurückzukommen:

### **DIE beste Pumpe – die gibt es nicht!**

Vielmehr gibt es die Pumpe, die sich für den jeweiligen Einsatzzweck am besten eignet. Die Pumpe, die die geforderte Schneidleistung erbringt und dabei zuverlässig und preisgünstig im Betrieb ist.

# Schneidkopf und Abrasivzuführung

## Ausführung, Wirkungsweise, Einsatzkriterien

### Abrasivzuführung

Der Schneidkopf ist für das Abrasiv und für das Hochdruckwasser die Endstation in der Wasserstrahlschneidmaschine. Im Schneidkopf werden diese Medien zusammengeführt und zu einem Strahl gebündelt. Aber vorher muss der Abrasivsand zum Schneidkopf transportiert-, der Fluss überwacht- und die Sandmenge dosiert werden.

Der Abrasivsand wird entweder in 25 KG Säcken, oder in in Big Bags á 1000 KG angeliefert. 25 KG Säcke werden verwendet, wenn die Maschine nur wenige Stunden pro Woche läuft und das Volumen des Abrasivzuführbehälters sehr klein gewählt wurde oder wenn die Beladung mittels Big Bag wegen fehlendem Kran oder Gabelstapler nicht möglich ist. Kleine Zuführbehälter, die gefüllt-, abgeschlossen- und komplett unter Druck gesetzt werden, sind in Deutschland kaum noch zu finden. Diese Technik ist einfach und billig, kann aber nur im drucklosen Zustand gefüllt werden.



In der Praxis sind heute überwiegend Abrasivzuführsysteme anzutreffen, deren Ladevolumen mindestens 1t beträgt.

Durch ihren Aufbau mit einem separaten Druckbehälter, können diese Systeme während des Betriebs der Maschine nachgefüllt werden.

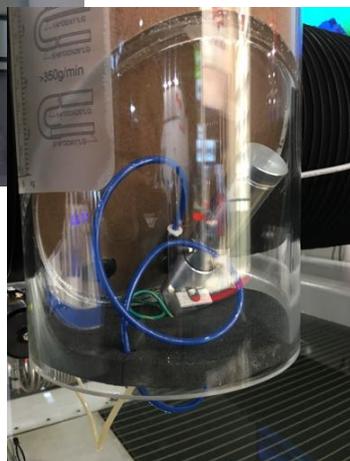
## Dosiereinheit

Das Abrasiv wird mittels Druckluft zur Dosiereinheit befördert. Bei den Dosiereinheiten gibt es verschiedene Strategien, die Sandmenge zu regulieren:



Die einfachste Art ist, den Sand in einen kleinen Dosierbehälter zu befördern und den Durchfluss zum Schneidkopf mit einer Drosselblende oder einem Rohr mit

definiertem Durchmesser zu begrenzen. Diese Systeme sind einfach im Aufbau und werden von der Steuerung lediglich „auf“ oder „zu“ geschaltet.



Die Drosseln sind verschleißfest und einfach in der Handhabung. Diese Systeme

lassen immer eine definierte Sandmenge zum Schneidkopf durch. Bei Bedarf kann die Abrasivmenge durch den Austausch der Blende manuell verändert werden.

Dazu muss jedoch der Schneidprozess unterbrochen werden.

Wesentlich aufwändiger aber dafür komfortabel im Betrieb, sind Systeme die die Sandmenge *aktiv* steuern. In diesem Fall läuft der Sand auf ein Förderband und wird damit in den freien Zulauf des Zuflussschlauchs befördert.

Steht das Förderband, fließt kein Sand mehr nach und der Abrasivfluss wird unterbrochen. Je schneller das Förderband läuft, desto mehr Sand wird gefördert.

Der große Vorteil ist bei diesen Systemen, dass die Menge des Abrasivsand es über die Steuerung der Maschine eingestellt werden kann. Man muss also nicht mehr den Schneidprozess stoppen, wenn man die Abrasivmenge verändern will. Das ist hilfreich wenn man beispielsweise Gravieren möchte und dazu die Sandmenge reduzieren muss.

Auch im Betrieb macht es oftmals Sinn, den Abrasivfluss zu beschränken um eine Auswaschung in Innenecken zu vermeiden.

Die Möglichkeit, programmgesteuert mit geringerer Sandmenge und reduziertem Druck anbohren zu können, macht in den meisten Fällen Vakuum - Anbohrhilfen oder mechanische Bohreinheiten überflüssig.





Die abgebildete Dosiereinheit enthält zusätzlich Sensoren, die für den mannlosen Betrieb unerlässlich sind. Im oberen Bereich wird abgefragt, ob Sand vorhanden ist. Wenn „nein“, dann wird der Schneidprozess gestoppt. Am Auslauf wird abgefragt, ob die Leitung zum Schneidkopf frei ist. Kommt es durch eine Verstopfung am Schneidkopf zu einem Rückstau, so wird er hier erkannt und der Schneidprozess wird gestoppt. Ohne diese Sensoren, würde die Maschine bei einem Fehler weiterlaufen, das Material beschädigen und die Umgebung verschmutzen.

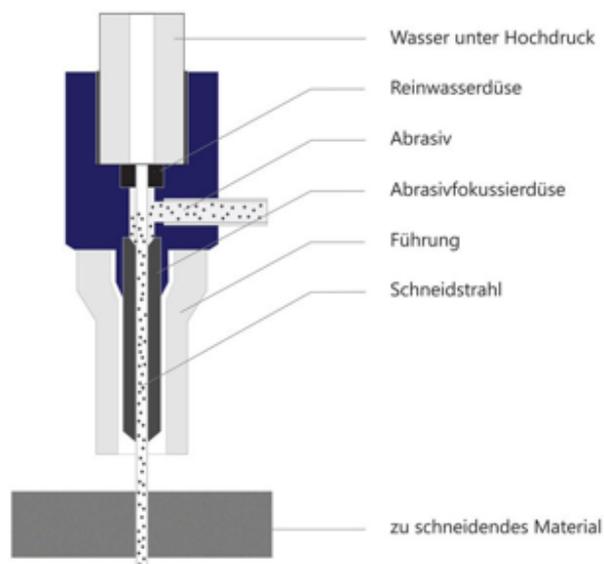
## Schneidkopf

Der Schneidkopf hat die wichtige Aufgabe, das Hochdruckwasser mit dem Abrasiv zusammen zu bringen und daraus einen Strahl zu erzeugen. Jeder Hersteller hat dabei seine eigene Strategie und preist die Vorzüge seines eigenen Schneidkopfes an. Letztlich ist das Ergebnis: Es wird pro Liter Wasser zwischen ca. 90g und ca. 170g Abrasivsand zugeführt und daraus ein abrasiver Strahl mit einem Durchmesser zwischen 0,8mm und 1mm geformt.

Die Schneidköpfe auf dem Markt sind sehr unterschiedlich geformt.



Aber das Arbeitsprinzip ist immer das gleiche:



Das Wasser wird durch eine Düse aus Saphir, Rubin oder Diamant gedrückt und schießt dann in eine keramische Mischkammer.

Dort wird der Abrasivsand zugeführt und verwirbelt und tritt dann durch ein Fokussierrohr aus Wolframkarbid aus.

Düse, Mischkammer und Fokussierrohr sind Verschleißteile und haben je nach Qualität unterschiedliche Lebenserwartungen.

Auf dem Markt gibt es Schneidköpfe, bei denen Diamantdüse und Mischkammer fest verbaut- und nicht austauschbar sind. Diese Schneidköpfe sind einfach in der Handhabung und erfordern erst dann einen Eingriff des Bedieners, wenn eine der Komponenten defekt ist - dann muss allerdings der komplette Schneidkopf ausgetauscht werden, was meist sehr teuer ist!

Die Alternative dazu sind Schneidköpfe, bei denen sich die Düse und die Mischkammer separat austauschen lassen. Man kann dabei zwischen verschiedenen Düsenarten und Durchmessern wählen und denselben Schneidkopf für unterschiedlichste Aufgaben optimieren. Die Verschleißteile sind dabei relativ preisgünstig.

Die Fokussierrohre sind in verschiedenen Längen, Durchmessern und Qualitäten erhältlich. Einige wenige Hersteller nutzen in ihren Schneidköpfen besondere Aufnahmen, die nur mit speziell geformten, eigenen Fokussierrohren kompatibel sind. Die meisten Hersteller verwenden Fokussierrohre in Standard Größen, sodass der Anwender auch hier eine große Auswahl hat.

# Sicherheitseinrichtungen

Arbeiten ohne Lichtschranke oder trennende Schutzeinrichtungen?

Die trennende Schutzeinrichtung ist etwas, das uns oft im Weg steht, wenn wir eine Wasserstrahlschneidmaschine betreiben wollen.

- Stellfläche ist teuer.
- Räumliche Gegebenheiten sind oft schwierig.
- Bei großen Maschinen wird fast immer die Möglichkeit des Hauptzeit-parallelen Be- und Entladens gefordert.
- Jeder Wasserspritzer, der die Maschine verlässt und in die Lichtschranke kommt, stoppt die Maschine.
- Bei Arbeiten über Wasser kommt es oft zu Dampfbildung. Auch diese Dämpfe, schalten die Maschine ab, sobald sie von der Lichtschranke erfasst werden.



Bei allen diesen Punkten ist die Lichtschranke ein großes Problem und im Betrieb sehr oft ein KO Kriterium. Fast alle Hersteller bieten Lichtschranken an. Teils als Option, teils als zwingend erforderlichen Bestandteil der Installation. Der Unterschied liegt in der Beurteilung der Gefährdung durch den Hersteller.

Nehmen wir zum Beispiel eine Risikoanalyse gemäß DIN EN13855 und vergleichen sie mit der Definition der „Gefährdungsbeurteilung von Sicherheitsrelevanten Systemen“ und deren Einstufung:

In dieser Betrachtung sind vier Kriterien zu beurteilen:

Auswirkungen:

C1 geringe Verletzung

C2 schwere irreversible Verletzung oder Tod

C3 Tod mehrerer Personen

C4 Tod sehr vieler Personen

Häufigkeit und Aufenthaltsdauer:

F1 selten bis öfter

F2 häufig bis dauernd

Gefahrenabwehr:

P1 möglich unter bestimmten Bedingungen

P2 beinahe unmöglich

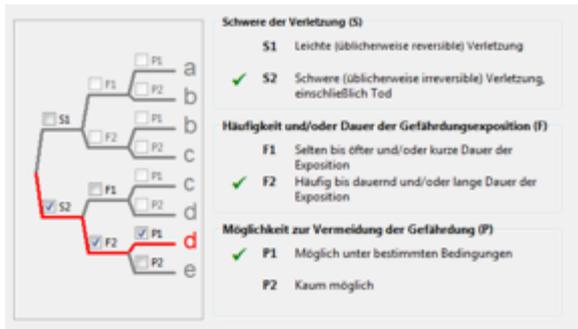
Eintrittswahrscheinlichkeit des unerwünschten Ereignisses:

W1 sehr gering

W2 gering

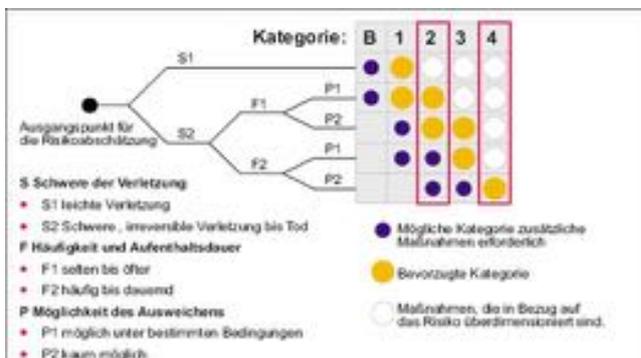
W3 relativ hoch

Nehmen wir nun beispielsweise eine Risikoanalyse eines Herstellers, der seine Maschinen grundsätzlich mit Lichtschranken ausrüstet:



Ohne weitere Betrachtung des Punktes W / Eintrittswahrscheinlichkeit, liegen wir hier bereits in einem Bereich, der zwingend den Einsatz einer trennenden Schutzeinrichtung vorschreibt.

Wenn wir nun als Vergleich eine Maschine betrachten, deren Hersteller die Möglichkeit der Gefahr anders einschätzt, dann kommen wir zu einem völlig anderen Ergebnis:



- S2 (schwere Verletzungen)
- F1 (selten bis häufig)
- P1 (möglich unter bestimmten Bedingungen)
- W2 (geringe Wahrscheinlichkeit)

Dann benötigen wir nach EN 13855 KEINE trennende Schutzeinrichtung!

Was ist nun der Unterschied zwischen diesen beiden Sichtweisen?

Der Eine sagt, die Dauer oder Häufigkeit der Gefährdung ist „häufig bis dauernd“

Die Anderen sagen, die Dauer oder Häufigkeit der Gefährdung ist „selten bis öfter“

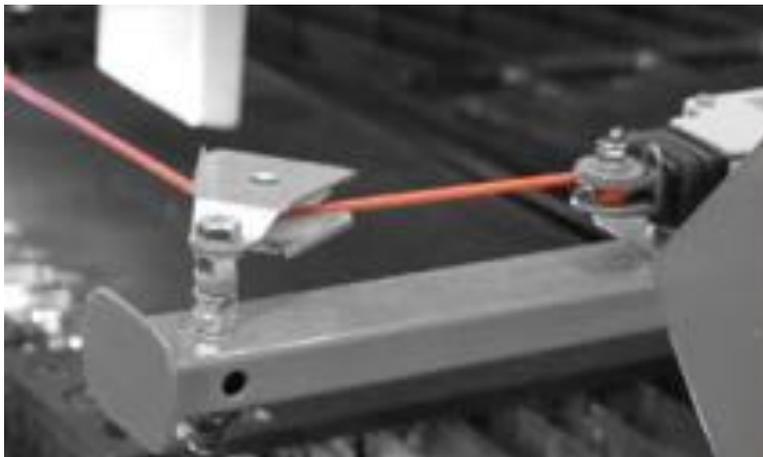
Was ist nun richtig?

Gehen wir davon aus, dass die Gefährdung nur dann besteht, der Schneidkopf nicht im Schneidprozess ist und nicht im korrekten Abstand zur Material Oberfläche steht und /oder wenn der Spritzschutz (Untergreifschutz) nicht montiert ist. Ist das nun eher „häufig“ oder eher „selten“ ?

Aber eine Wasserstrahlschneidmaschine bietet noch eine weitere Gefahr, die Gefahr der Einklemmung eines Körperteils. Aus diesem Grund wenden die Hersteller konstruktive Maßnahmen an, um einen Einklemmschutz zu realisieren. Das geht mit Schutzblechen, Bumpern, Zäunen oder einfach in dem man Quetschkanten vermeidet und störende Anbauteile anders positioniert.

Noch schwieriger wird die Absicherung bei 3D Maschinen. In der Regel ist der Winkel bei 3D Köpfen auf 60 Grad begrenzt. Aber wichtig ist, dass er mechanisch begrenzt wird und nicht nur softwareseitig. Ein 3D Kopf könnte bei fehlender Begrenzung, hochgefahrener Z-Achse und maximaler Auslenkung ,leicht aus der Maschine heraus schießen und den Bediener verletzen.

Die Alternative für solche Maschinen, ist eine komplette Einhausung, wie sie einige Hersteller optional anbieten.



Als gute und praktikable Lösung, haben sich mitfahrende Schutzeinrichtungen erwiesen. Der Schneidbereich wird dabei von

einer mitfahrenden Seilabsicherung oder einer mitfahrenden Lichtschranke abgesichert.

Die Seilabsicherung hat den Vorteil, dass sie schmutzunempfindlich ist und Spritzwasser den Schneidprozess nicht unterbricht.

Eine weitere Möglichkeit die angewandt wird ist, die Eilgang Geschwindigkeit auf unter 5 m/min zu reduzieren. In dem Fall ist es offiziell eine „langsam laufende Werkzeugmaschine“, die generell keine trennende Schutzeinrichtung benötigt.

Der Nachteil ist bei dieser Lösung, dass diese Maschinen extrem lange für große Eilgangbewegungen brauchen. So benötigt eine solche Maschine in der Größe 2X6 m volle 1,2 min um einmal diagonal den Arbeitsbereich zu überfahren. Mit den heute üblichen  $>30\text{m/min}$  wären es höchstens 0,2 min.

Eine auf diese Art eingebremste Maschine ist für Reinwasserschnitte fast nicht mehr zu gebrauchen, weil hier alleine im Betrieb schon Geschwindigkeiten um die 20 m/min gefordert sind.

Dementsprechend muss bei einer schnellen Schneidbewegung allerdings auch die Mechanik auf diese Anforderung ausgelegt werden.

Ob- und welche trennende Schutzeinrichtung zum Einsatz kommt, entscheidet im ersten Moment der Hersteller. Dieser hat als Bestandteil der CE Konformitätserklärung, eine Gefährdungsanalyse durchzuführen.

Wenn der Betreiber seine trennende Schutzeinrichtung entfernt oder durch eine andere Schutzeinrichtung ersetzt, dann ist seine Maschine u.U. nicht mehr CE konform und der Betreiber ist selber in der Verantwortung! In dem Fall sollte man sich unbedingt mit seinem Maschinenlieferanten über Alternativen unterhalten.

Jeder Maschinenbediener muss an einer Sicherheitsunterweisung teilnehmen und ist für seine PSA (persönliche Schutz Ausrüstung) verantwortlich. Dennoch sollte der Betreiber darauf achten, dass die werksseitig angebrachten Schutzeinrichtungen nicht überbrückt oder entfernt werden

# Vergleichbarkeit von Wasserstrahlschneidsystemen

Antriebskonzepte, hydraulische Leistung und Oberflächenqualität

Oft versuchen die Menschen, die sich mit der Anschaffung einer Wasserstrahlschneidmaschine befassen, die Angebote der unterschiedlichen Hersteller anhand der Prospekt Daten zu vergleichen. Dieser Ansatz führt selten zum Erfolg denn letztlich ausschlaggebend, ist die Qualität und die Schneidzeit des Bauteils sowie die Langzeitqualität und Werthaltigkeit der Maschine.

## Pumpentechnologie

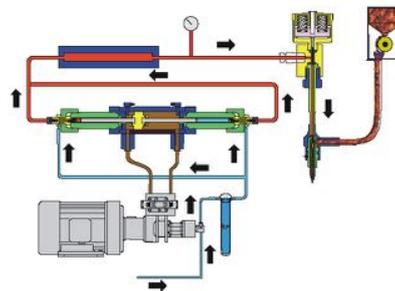
Auf dem Markt findet man zwei verschiedene Konzepte: Die Direktpumpe und die Druckübersetzerpumpe.

Bei der Druckübersetzerpumpe wird mittels einer Hydraulikvorpumpe ein Öldruck von etwa 200 bar erzeugt, der dann in einem doppelt wirkenden Zylinder den Druck im Verhältnis 20:1 – 30:1 auf Wasserdrücke von ca. 4.000 bis ca. 6.000 bar übersetzt.

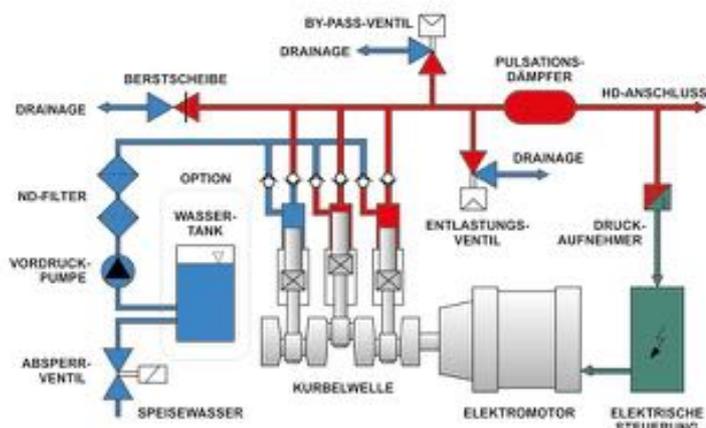
Vom Prinzip kann man sich das vorstellen wie eine große Fahrradluftpumpe, mit der man seinen Reifen aufpumpt. Auch hier wird ein Volumen komprimiert und ein hoher Druck erzeugt. Druckübersetzerpumpen arbeiten üblicherweise mit etwa 60 – 100 Hübten pro Minute. Dementsprechend wird ein Drucksignal erzeugt, dass mit einer Frequenz von 60-100/min pulsiert.

Um dieses Signal zu glätten, wird ein nachgeschalteter Druckspeicher verwendet.

Auf der Ölseite muss zusätzlich das Hydrauliköl gekühlt werden. Um genug thermische Reserven zu haben, werden hier für eine Mittelklassepumpe mit 37 kW ca. 100 Liter Hydrauliköl verwendet die mit einem externen Ölkühler gekühlt werden. Bei modernen Pumpen, ist der Wärmetauscher bereits integriert.



Skizze Druckübersetzer Copyright BFT



Prinzipskizze Vectron Copyright BFT

Demgegenüber steht die Direktpumpe. Hier werden mittels eines Dreizylinderkurbeltriebs drei Keramikkolben mit einer Kurbelwellendrehzahl von 600 bis 800/min bewegt. Durch die überlagerten Drucksignale der drei Kolben wird hier eine Schwingung mit einer Frequenz von 1800 bis 2400/min erzeugt. Diese wird oft über einfache Wendel in der Druckleitung geglättet. Hochwertige Direktpumpen wie die abgebildete BFT Vectron haben jedoch ebenfalls einen Druckspeicher

Direktpumpen verwenden das Schneidwasser zur eigenen Kühlung. Bei einfachen, preisgünstigen Konstruktionen wird das Kühlwasser nur mit dem Leitungsdruck durch die Pumpe bewegt und es wird auf den Vorlagebehälter verzichtet. Bei Eilgangfahrten mit geschlossenem Schneidkopf, wird das Wasser dabei über einen Bypass in den Abfluss geleitet oder aber das Kühlwasser wird mit Frischwasser verschnitten und es werden jede Minute *zusätzlich* etwa 2 Liter Frischwasser in den Abfluss befördert - ob die Maschine schneidet oder nicht. Den Vorteilen in der Energieeffizienz, steht bei den preisgünstigen Pumpen ein Mehrverbrauch von Wasser entgegen.

Hochwertige Pumpen arbeiten mit frequenzgeregelten Motoren, die bei Stillstand vollständig herunter fahren, das komplette Kühlwasser aufnehmen und später zum Schneiden verwenden. Diese Pumpen sind sehr sparsam und effizient.

Ein wichtigster Punkt bei der Auswahl der Pumpe ist der Wirkungsgrad.

Während die Druckübersetzer Wirkungsgrade von 62-67% (Herstellerangaben) erreichen, liegen Direktpumpen bei 85-92% (Herstellerangaben)

Deutlich erkennbar wird das, wenn man sich die Leistungsangaben dieser Pumpen anschaut.

Beispiele:

Druckübersetzer 37 kW Antrieb, 3,7 l/min bei 4200 bar

Druckübersetzer 37 kW Antrieb, 2,5 l/min bei 6000 bar

Direktpumpe 37 kW Antrieb, 4,5 l/min bei 3800 bar

Direktpumpe 30 kW Antrieb, 3,5 l/min bei 3800 bar

Die tatsächlich an der Schneiddüse erzeugte Leistung liegt somit rechnerisch bei:

Druckübersetzer 37 kW Antrieb / 4200 bar – Düsenleistung 26,2 kW  
Druckübersetzer 37 kW Antrieb / 6000 bar – Düsenleistung 23,0 kW  
Direktpumpe 37 kW Antrieb / 3800 bar – Düsenleistung 30,3 kW  
Direktpumpe 30 kW Antrieb / 3800 bar – Düsenleistung 23,3 kW

Wenn wir also die Konzepte vergleichen, so benötigt die Direktpumpe aus dem Beispiel oben für die *gleiche Systemleistung* ca. 18,9% weniger Energie aber die Direktpumpe mit *gleicher Antriebsleistung* erzeugt ca. 15 % mehr Düsenleistung als eine Druckübersetzerpumpe.

Die Düsenleistung der 6000 bar Druckübersetzerpumpe fällt hier nochmals ab. Das zeigt deutlich, dass mit steigendem Druck der Wirkungsgrad schlechter wird. Aus diesem Grund nehmen auch die meisten erfahrenen Anwender den Dauerarbeitsdruck um 200-400 bar zurück um ein optimales Verhältnis von Schneidleistung zu Standzeit zu erzielen.

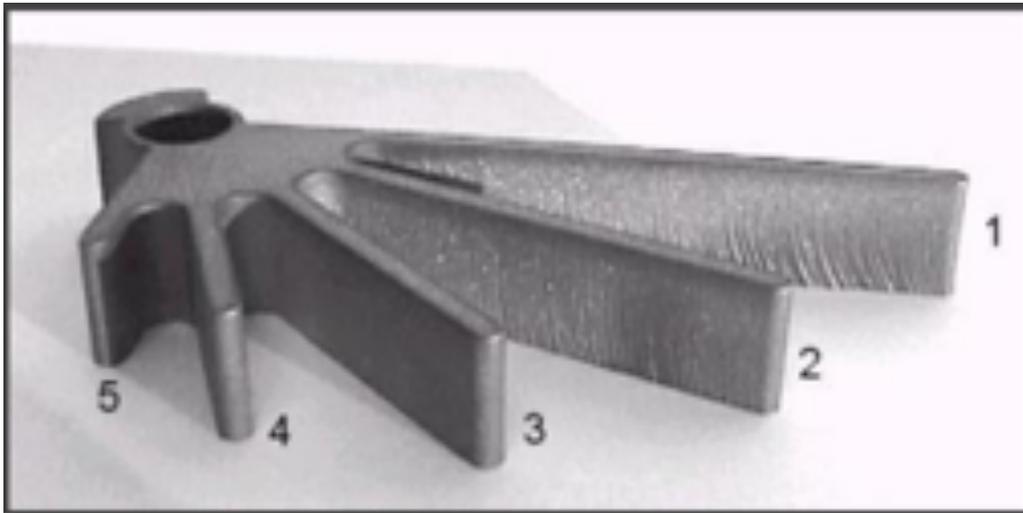
Kommen wir nun zum zweiten wichtigen Kriterium für die Vergleichbarkeit - der Oberfläche:

Auf dem Markt befinden sich zwei grundverschiedene Herangehensweisen für die Aussage über Schneidqualitäten.

Die meisten Hersteller beziehen sich bei der Angabe der Qualitäten auf die VDI / NCG Richtlinien.

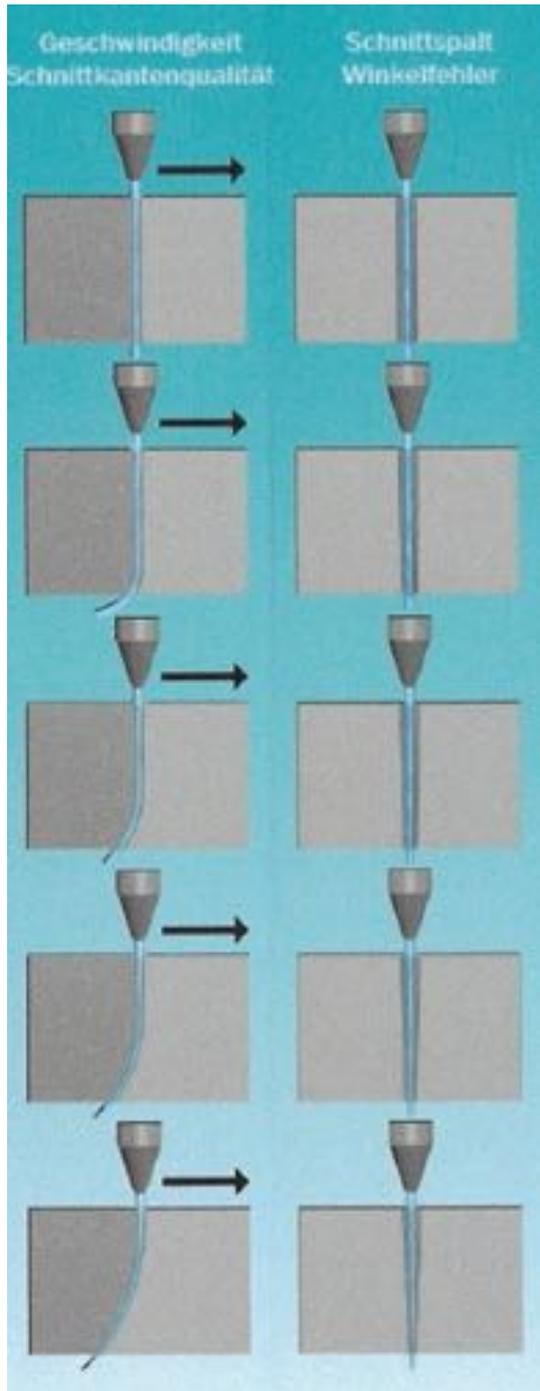
Die Qualitätsstufen heißen Q1 bis Q5 wobei Q1 ein „rauer Schnitt“ und Q5 ein „Qualitätsschnitt“ ist.

Bei dieser Einteilung geht man davon aus, dass selbst der raue Schnitt nach Q1 noch eine Qualität zeigt, die marktfähig ist.



Muster verschiedener Schnittqualitäten

Andere Herstellern definieren ihre Qualitätsstufen als Geschwindigkeitsstufen. Hier wird von 20%, 40%, 60%, 80%, 100% gesprochen. Die Prozentangaben beziehen sich dabei auf die maximale Trenngeschwindigkeit, bei der das Material gerade eben noch getrennt wird. Ein solcher 100% Schnitt ist natürlich weder verkäuflich, noch prozesssicher. Trotzdem ist in der Branche die Angabe der Prozentzahl als Messlatte für die Schnittqualität weit verbreitet.



- 20% = Präzisionsschnitt

- 40% = Qualitätsschnitt

- 60% = Standardschnitt

- 80% = Grobschnitt

-100% = Trennschnitt

Will der Kunde nun „eine mittlere Qualität“ vergleichen, so entsteht oft der Irrtum, ein „60% Schnitt“ würde einer „Qualität Q3“ entsprechen. Dem ist aber nicht so.

Die Qualitätsstufen nach VDI / NCG entsprechen etwa:

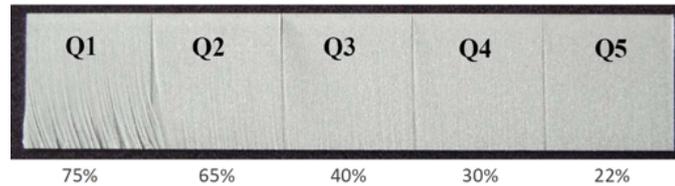
Q1 – 75% der maximalen Trenngeschwindigkeit

Q2 – 65 %

Q3 – 40%

Q4 – 30%

Q5 – 22%



Sie merken also, man sollte nicht Äpfel mit Birnen vergleichen und für jede Entscheidung zu Gunsten einer Wasserstrahlschneidmaschine sollten Sie vorher die in Frage kommenden Hersteller einem Benchmark Test unterziehen.

# Trennung von Catcher und Antriebssystem

## Thermische und schwingungstechnische Entkoppelung

Wasserstrahlschneidmaschinen sind auf dem Markt in unterschiedlichen Bauweisen anzutreffen.

Für diese Betrachtung beschränke ich mich auf das Kriterium der Trennung von Catcher und Antriebssystem.

Die Monoblock Bauweise, bei der die Antriebsachsen fest mit dem Catcher verbunden sind, hat nicht *nur* Nachteile gegenüber der Trennung von Antrieb und Catcher bei der beide Hauptkomponenten lediglich über den Hallenboden miteinander verbunden sind.

So kann bereits ab Werk die Geometrie der Maschine eingestellt werden und man verkürzt damit die Installationszeit um einige Tage. Die Antriebssysteme und Führungen sind stabil mit dem Maschinenrahmen verbunden und die Beschaffenheit des Hallenbodens ist dabei relativ egal, da das komplette System aufgestellt und ausgerichtet wird. Dafür muss man in Kauf nehmen, dass die Wärme des Schneidprozesses sich auf die Antriebe überträgt und diese immer wieder erwärmt und abgekühlt werden. Auch die Schwingungen, die beim Schneiden entstehen, übertragen sich auf die Führungsmaschine. Viel gefährlicher ist jedoch für die Antriebe und Führungen, das Beladen der Maschinen mittels Flurförderfahrzeug oder Kran. Hierbei treten regelmäßig Erschütterungen auf, die sich auf die gesamte Maschine auswirken und die Dauergenauigkeit beeinträchtigen

Getrennte Systeme müssen zwangsläufig auf dem Hallenboden ausgerichtet und verschraubt werden. Dafür sind sie genauer und auf Dauer unempfindlicher gegen auftretende Vibrationen und Schwingungen. Für die Verschraubung auf dem Hallenboden werden üblicherweise Bodenanker verwendet, deren Bohrlöcher 100 -150 mm tief in den Hallenboden gehen. In Hallen mit einer Fußbodenheizung müssen in dem Fall zusätzliche Trägerplatten



verwendet werden, die die Belastung auf eine größere Anzahl kürzerer Schrauben verteilen. Eine Bohrtiefe von 80 mm ist dabei ausreichend und kann in den allermeisten Fällen problemlos genutzt werden.



Ein verschraubter Maschinenkörper sollte nicht über eine Dehnfuge im Beton übergreifen. Um eine geometrische Genauigkeit zu erreichen, müssen alle Komponenten nach der Installation vermessen und ausgerichtet werden.

Außerdem muss die Geometrie Genauigkeit der Maschine vor Ort mittels elektronischer Messgeräte nachgewiesen werden.

Ein großer Vorteil dieser Auslegung liegt darin, dass Erschütterungen bei der Beladung, mögliche Kollisionen mit Staplerarmen und Vibrationen nicht auf die präzisen und hochgenauen Antriebe und Führungen übertragen werden. Bei getrennten Systemen ist es oft möglich, den Tank, den Auflagetisch, die Art der Entschlammung und vieles mehr, zu konfigurieren während bei Monoblock Maschinen die Materialien und Ausstattungen festgelegt sind. Edeltank sind nur bei getrennten Systemen erhältlich.

Eine dritte Variante des Maschinenbaus ist ein Mix aus beiden Strategien:

Bei diesen Brückenmaschinen stützen sich die Träger der Basisachsen in Bodenhöhe auf Doppel T Trägern ab, die auch den Tank tragen. Damit wird eine stabile Verbindung zwischen dem Antriebssystem und dem Material Auflage System hergestellt. Zwischen Basisachsen und Tank ist ein Zwischenraum um Schwingungen und Wärmeausdehnung, die sich auf das Antriebssystem übertragen, zu minimieren. Trotzdem wirken auch hier grobe Stöße auf die Führungen und der Tank kann bei Beschädigung nicht ausgetauscht werden. Auch die Möglichkeit, eine solche Maschine modular zu erweitern und Edeltank einzusetzen, ist - wie bei der Monoblock Bauweise - ausgeschlossen.

## Was bedeutet „Schwingung“?

Bei den Schwingungen, die bei Wasserstrahlschneidmaschinen auftreten können, handelt es sich zum Teil um die Schwingungen, die aus einem pulsierenden Wasserstrahl resultieren.

Diese Schwingungen werden von den Herstellern von Druckübersetzerpumpen bereits an der Pumpe durch einen Druckspeicher geglättet und sind damit kaum noch spürbar. Bei Direktpumpen ist die Schwingung durch die hohe Frequenz der Einzelhübe meist nur wenig spürbar. Die letzten Generationen direkt getriebener Pumpen, werden jedoch ebenfalls mit Druckspeichern ausgestattet.

Im Betrieb einer Wasserstrahlschneidmaschine treten Schwingungen auf, die vom Wasserstrahl selbst erzeugt werden. Je nach Bearbeitung und Vorschub wird das Wasser im Catcher verwirbelt, von der Catcherwand reflektiert und in eine unregelmäßige Schwingung versetzt.

All diese Schwingungen haben jedoch in der Praxis keinen oder nur einen sehr geringen Einfluss auf das Schneidergebnis und die Antriebe.

Die Entkopplung der Antriebssysteme ist eher interessant um Stöße abzufangen. Es kommt immer wieder vor, dass bei der Beladung der Maschine, die Blechtafel am Kranhaken schwingt und beim Auflegen unsanft gegen die Catcherwand schlägt. Diese Stöße führen dank der Strategie der Systemtrennung nicht zu einem Ausfall des Antriebssystems.

## Was bedeutet „Wärmegang“?

Man hört immer wieder auf dem Markt die Aussage, bei einer Wasserstrahlschneidmaschine würde das Wasser im Mehrschichtbetrieb „fast kochen“ und dann würden „die Maße weglaufen“.

Nun, dazu sollte man wissen, dass das Wasser rein physikalisch nur eine bestimmte Höchsttemperatur erreichen kann und die liegt rund 40 Grad über der jeweiligen Raumtemperatur. Das Wasser bringt Wärme aus der Pumpe mit und es nimmt im Schneidspalt Wärme auf. Auf der anderen Seite hat man bei einer Standardmaschine etwa 10 Kubikmeter Wasser, die über eine Fläche von 34qm über Luft oder Stahl, Wärme an die Umgebung abgeben.

Trotzdem ist die Wärme im Catcher ein wichtiger Punkt.

Das Längenwachstum eines Bleches kann über diese Differentialgleichung genau berechnet werden:

$$L(T) = L(T_0) \cdot \exp\left(\int_{T_0}^T \alpha(T) dT\right)$$

Die Gleichung berechnet das Längenwachstum eines Stabes mit einem materialspezifischen Ausdehnungskoeffizienten, einer definierten Ausgangslänge und einer definierten Wärmedifferenz.

Schauen wir uns nun die Tabelle der Wärmeausdehnungskoeffizienten der wichtigsten Metalle an, so sehen wir, dass eines der meist geschnittenen Metalle, nämlich Aluminium einen sehr großen Wärmeausdehnungskoeffizienten hat.

Das Längenwachstum eines Aluminium Bauteils ist demnach etwa doppelt so groß wie die eines Stahlteils gleicher Dimension. Gehen wir also gemäß der obigen Formel an die Berechnung des Längenwachstums heran, so stellen wir fest, dass 1m Aluminium bei 1 Grad Temperaturerhöhung um 0,0231 mm wächst.

In der Praxis sind Temperaturdifferenzen von 20 Grad durchaus gängig, 1 m Aluminium wächst dabei folglich um 0,46 mm – was sogar noch im Bereich der Toleranzen nach DIN 2768-1 (mittel) liegt.

Trotzdem ist es natürlich wichtig und richtig, diesen Wärmegang nicht auf das Antriebssystem zu übertragen, denn ansonsten müsste man an der Stelle gegebenenfalls mit Fest- und Loslagerung in den Antrieben arbeiten.

Aber was passiert nun mit dem (thermisch entkoppelten) Blech, unserem wichtigen und teuren Bauteil dass auf dem oder im Catcher liegt?

Bezeichnung	$\alpha$ in $10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Aluminium [1]	23,1
Magnesium [1]	24,8
Beryllium [1]	11,3
Mangan [1]	21,7
Blei [1]	28,9
Nickel [1]	13,4
Chrom [1]	4,9
Platin [1]	8,8
Diamant [1]	1,18
Silber [1]	18,9
Eisen [1]	11,8
Silizium [1]	2,6
Germanium [1]	5,8
Titan [1]	8,6
Gold [1]	14,2
Wolfram [1]	4,5
Graphit [2]	1,9...2,9
Zink [1]	30,2
Invar [1]	0,55...1,2
Zinkcyanid [3]	-18,1
Kochsalz [4]	40
Zinn [1]	22,0
Kupfer [1]	16,5
Zirconiumwolframat [3]	-8,7

Richtig, es nimmt die Wärme auf und wächst. Und nach dem Abkühlen schrumpft es wieder und die eingestellten und tatsächlich gefahrenen Maße verringern sich.

Dieser wichtige und entscheidende Punkt wird in der Argumentation oft verschwiegen, denn die Physik lässt sich nicht überlisten.

Ist die Bauteilgenauigkeit entscheidend, dann sollte man sich auf jedem Fall die Strategien der Hersteller ganz genau anschauen. Eine thermische Entkoppelung, die nur das Antriebssystem schützt, ist die Mindestanforderung und ist ohnehin als Stand der Technik zu sehen.

Kommt die Anforderung hinzu, das Bauteil vor Temperatureinflüssen zu schützen, so ist die einzige praktikable Lösung für dieses Problem, die Kühlung des Catchertanks.

Am einfachsten löst man diese Aufgabe mit einer externen Kühleinheit, die sicher stellt, dass immer eine konstante Wassertemperatur eingehalten wird.

Diese Kühlung wird nicht nur bei hochpräziser Bearbeitung eingesetzt, sondern auch um eine übermäßige Wasserverdunstung zu unterbinden.

Für die weiter oben genannte Standardmaschine ergibt sich rechnerisch bei 60% Luftfeuchtigkeit eine Verdunstung von 94 Litern pro Tag bei 20 Grad Wassertemperatur.

Bei einer Temperatur von 40 Grad sind es dann schon 241 Liter Wasser, die pro Tag verdunsten.

Die Energie, die für die Kühlung des Catchers aufgewendet wird, kann zum Teil wieder genutzt werden. Die Abwärme des Kühlers dient dann zur Unterstützung der Hallenheizung.

# Wasseraufbereitung für Wasserstrahlschneidsysteme

## Anforderungen an das Wasser, Probleme und Lösungen

Wenn man sein Auto tankt, ist alles einfach. Benzin, Super und Diesel unterliegen einer Norm. Sofern man den richtigen Treibstoff tankt, hat man keine Probleme.

Ganz anders ist es beim Wasser – dem Betriebsstoff jeder Wasserstrahlschneidmaschine.

Wasser muss in Deutschland der Trinkwasserverordnung entsprechen. Dabei ist der Anteil gelöster Stoffe aber regional sehr unterschiedlich. Während die eine Gemeinde mit Talsperrenwasser versorgt wird, das wenig Kalk enthält, bekommt die nächste Gemeinde Brunnenwasser, das je nach Niederschlagsituation in seiner Zusammensetzung schwankt oder sogar Uferfiltrat aus Flussauen mit sehr hohen Härtegraden.

Was unserem Körper egal ist, ist für unsere Pumpen zum Teil gefährlich.

Jeder Hersteller gibt Vorgaben für das Zulaufwasser, jedoch ist letztlich der Betreiber in der Pflicht, sein Wasser zu prüfen und gegebenenfalls aufzubereiten. Der Hersteller kann hier nur beraten. Zum Teil wird sogar die Gewährleistungszusage für Ultrahochdruckpumpen an die Einhaltung bestimmter Wasserwerte geknüpft.

Welche Stoffe sind gefährlich für Ultrahochdruckpumpen ?  
 Calcium, Magnesium, Eisen, Mangan, Sulfat und Silikat sind die kritischen

Bestandteile unseres Wassers. Um eine grobe Idee zu bekommen, ob das zur Verfügung stehende Wasser aufbereitet werden muss, kann man von seinem Wasserversorger eine Analyse verlangen.

Diese Analysen liegen in der Regel zum Download vor und geben Aufschluss über die Bestandteile. Der Pumpenlieferant wird zusätzlich bei Bedarf eine eigene Analyse anfertigen, wenn gewünscht.

Für eine erste Einschätzung schaut man sich die Karbonathärte an (Grad Deutscher Härte) sowie den PH Wert.

Idealerweise sollte das Wasser im sogenannten „Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht“ liegen. Das heißt, der Härtegrad sollte mit dem Säuregrad im Gleichgewicht stehen damit sich weder freie Kohlensäure noch Kalkablagerungen bilden.

Karbonathärte °dKH	pH-Wert Neutralpunkt
1,9	8,59
2,2	8,53
2,5	8,48
3,1	8,40
3,6	8,32
3,9	8,29
4,2	8,26
4,7	8,20
5,9	8,07
6,7	7,99
7,2	7,95
8,1	7,88
8,6	7,81
8,9	7,79
9,2	7,75
9,5	7,72
9,8	7,69
10,3	7,64
10,6	7,62
10,9	7,59
11,2	7,55
11,7	7,51
12,0	7,48
12,3	7,45
13,1	7,38
13,4	7,36
13,7	7,34
14,0	7,32

Grafik – copyright WTS

Der nächste wichtige Punkt heißt Silikate.

Silikate sind in vielen Wässern vorhanden, werden aber auch teilweise von den Wasserwerken zusätzlich erzeugt. Um Korrosion in den Rohrleitungen zu verhindern, wird dem Trinkwasser in vielen Teilen Deutschlands Kieselsäure beigemischt. Die Kieselsäure ist in der Konzentration absolut ungefährlich für Mensch und Tier – für die Ultrahochdruckpumpe ist sie aber auf Dauer tödlich denn unter Druck bildet sie Silikate, die Dichtungen, Kolben und Zylinder angreifen.

Um Die Standzeiten der Dichtungen und anderer Hochdruckkomponenten zu verlängern, zum Teil sogar zu verdoppeln, sollte man unbedingt die Herstellervorgaben beachten.

Chemisch-physikalische Beschaffenheit				
Parameter	Zeich.	Empfehlung für HD-Pumpe		Einheit
		Ohne weitere Maßnahmen	Mit Einsatz EKOWA-2054WS	
Aussehen		farblos	farblos	
Trübung		klar	klar	FTU
pH-Wert		7,0-8,5	6,0-9,0	
Leitfähigkeit	$\sigma$	100-450	$\leq 2000$	$\mu\text{S/cm}$
Gesamthärte		0,36-1,78 (2-10°dH)	0,25-7,14 (1,4-40°dH)	mmol/l
Calciumhärte		0,36-1,78 (2-10°dH)	0,25-7,14 (1,4-40°dH)	mmol/l
Säurekapazität pH 4,3	m-Wert	0,36-1,78	$\leq 7,14$	mmol/l
Chlorid	Cl <sup>-</sup>	$\leq 50$	$\leq 150$	mg/l
Eisen	Fe <sup>+2/+3</sup>	$\leq 0,2$	$\leq 0,5$	mg/l
Mangan	Mn <sup>+2</sup>	$\leq 0,05$	$\leq 0,1$	mg/l
Kupfer	Cu <sup>+2</sup>	$\leq 2,0$	$\leq 2,0$	mg/l
Silikat	SiO <sub>2</sub>	$\leq 5,0$	$\leq 40$	mg/l
Sulfat	SO <sub>4</sub>	$\leq 25,0$	$\leq 250$	mg/l
Filtertrocken- rückstand		$\leq 350$	$\leq 750$	mg/l
Stabilitätsindex bei 10-45 °C	S.I.	6,0-6,5	4,0-15,5	
Eintrittstemperatur für Speisewasser		+10 - 25	+10 - 25	°C
Speisewasservordruck		0,3 - 0,7	0,3 - 0,7	MPa

Die abgebildete Tabelle gibt Auskunft über die zu prüfenden Werte und gibt eine Empfehlung, ab wann eine Wasseraufbereitung eingesetzt werden sollte.

Beispiel BFT / Ekowa

## Umkehrosmose

Bei der Umkehrosmose wird mittels Membrantechnik jedes gelöste Salz aus dem Wasser entfernt. Man erhält ein absolut reines Wasser ohne irgendwelche gelösten Stoffe. Der Nachteil ist, dass durch die Osmose der PH Wert sinkt. Das Wasser wird sauer und es bildet sich freie Kohlensäure, was in der Pumpe zu Kavitationsschäden führt. Außerdem ist Osmosewasser aggressiv gegen alle Metalle. Wenn man mit Osmosewasser arbeiten will, dann muss man das Wasser mit Leitungswasser „verschneiden“ um wieder das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht zu erhalten. Die Umkehrosmose ist die teuerste Möglichkeit der Wasseraufbereitung und zieht zusätzlich hohe Betriebskosten nach sich. Das Handling solcher Anlagen und Verschneidevorrichtungen ist sehr aufwändig und es reicht oftmals nicht aus. Die positiv geladenen Wasserstoff Ionen müssen zusätzlich ausgewaschen werden.

## Ionenaustauscher

Bei dieser Technik werden Calcium Kationen gegen Natrium Kationen ausgetauscht. Die Technik ist sehr einfach und preisgünstig. Allerdings muss der Ionenaustauscher auch regelmäßig mit Natriumchlorid regeneriert werden. Die gleiche Technik wird in Spülmaschinen angewandt. Ein Ionenaustauscher hilft zumindest gegen Kalk aber leider nicht gegen Silikate. Bei der Regeneration können kurzzeitig hohe Salzkonzentrationen im Abwasser auftreten. Für die Regeneration wird außerdem eine sehr große Menge an Frischwasser benötigt.

## Injektion von Additiven:

In den letzten Jahren haben sich Systeme durchgesetzt, die je nach Härtegrad mit unterschiedlichen Additiven arbeiten. In der Regel werden dem Wasser dabei Säureester in Verbindung mit anderen umweltverträglichen Additiven beigemischt.

Diese Additive haben die Eigenschaft, die gelösten Stoffe auf Ihrem Weg durch die Ultrahochdruckpumpe zu binden sodass sie nicht ausfallen können. Wichtig ist dabei, dass die Injektorpumpe weit genug vor dem Pumpeneingang sitzt um den Additiven ausreichend Reaktionszeit zu geben und dass der Rückfluss in das Trinkwassernetz durch einen Phasentrenner sicher verhindert wird. Die Additive und ihre Konzentration muss so gewählt werden, dass sie beim Einleiten in das Abwasser, den jeweiligen Einleitervorschriften genügt.

Aktuelle Additive sind so umweltverträglich, dass sie keiner Schadstoffkennzeichnung unterliegen und bedenkenlos eingeleitet werden können.

In der Praxis haben sich Kombinationen aus hochwertigen Vorfiltern in den Pumpen und Aufbereitungen, die wenige Milliliter Additive zuführen, bewährt. Diese Anlagen stellen im Moment den besten Kompromiss zwischen Betriebssicherheit, Umweltverträglichkeit Betriebskosten dar.



Foto Copyright EKOWA GmbH

# Effizienz von Wasserstrahlschneidsystemen

Wasserverbrauch, Wirkungsgrad,  
Betriebskosten und Nebenkosten

## Wasser und Abwasser

Auf dem Markt findet man zwei verschiedene Pumpenkonzepte: Die direkt angetriebene Kolbenpumpe und die Druckübersetzerpumpe.

Bei der Druckübersetzerpumpe wird meistens mittels einer Vorpumpe ein Öldruck von etwa 200 bar erzeugt, der dann in einem doppelt wirkenden Zylinder den Druck im Verhältnis 20:1 – 30:1 auf Wasserdrücke von ca. 4.000 bis ca. 6.000 bar übersetzt.

Auf der Ölseite muss zusätzlich das Hydrauliköl gekühlt werden.

Eine Druckübersetzerpumpe mittlerer Leistung, arbeitet mit einem Ölvolumen von rund 100 Litern. Um dieses Öl zu kühlen, waren früher im Betrieb ca. 10 l/min Leitungswasser bei <15 Grad Celsius erforderlich.

Heute sind diese Pumpen mit integrierten Öl/Luftkühlern ausgestattet.





Seit einiger Zeit werden auch elektrisch- oder elektrohydraulisch angetriebene Druckübersetzer gebaut.

Diese Pumpe fährt in Sekundenbruchteilen ihre Leistung hoch oder runter und benötigt nur eine geringe Ölmenge.

Die elektrisch angetriebenen Pumpen verzichten auf eine Ölhydraulik und treiben statt dessen die HD Kolben mittels einer Gewindespindel an. Die Kühlung des Antriebs erfolgt dabei über einen Ölkreislauf mit integriertem Öl/Luft Kühler.

Bei der direkt angetriebenen Kolbenpumpe gibt es sowohl einfache, günstige Systeme als auch high Tech Pumpen.

Bei den preisgünstigen Pumpen wird mit Leitungswasser gekühlt, das anschließend in erwärmtem Zustand in den Abfluss geleitet - oder mit kaltem Leitungswasser verschnitten, zum Schneiden genutzt wird. Hier wird auf einen externen Kühler verzichtet, es wird jedoch zusätzliches Frischwasser benötigt.

Diese Pumpen benötigen allerdings auch dann Wasser, wenn der Schneidprozess gestoppt wird, also zb.: bei Eilgangfahrten und immer dann, wenn der Schneidkopf geschlossen ist. In der Praxis kann man durchaus von 2 bis 3 l/min ausgehen, die ungenutzt und erwärmt in den Abfluss oder in den Catcher geleitet werden.

Hierbei ist zu beachten, dass die Einleitervorschriften der Länder und Gemeinden oft die Temperatur des einzuleitenden Abwassers begrenzen. Wird das Abwasser in den Catcher geleitet, so sollte man bedenken dass bei steigender Wassertemperatur die Menge des verdunstenden Wassers stark zunimmt und Feuchtigkeit in der Halle entsteht.

Da diese Pumpen auch bei geschlossenem Schneidkopf weiter laufen, unterliegen sie einem relativ hohen Verschleiß.

Dem gegenüber stehen die high Tech Pumpen, die über ihre Steuerung ständig an die Erfordernisse des Schneidprozesses angepasst werden.

Diese direkt getriebenen Pumpen werden über einen frequenzgeregelten Elektromotor bei Bedarf bis zum Stillstand herunter gefahren und benötigen dann weder Energie, noch Wasser.



Die neuesten Generationen von Direktpumpen nehmen das benutzte Kühlwasser in Tanks komplett auf und verwenden es verlustfrei zum Schneiden. Das senkt die Betriebskosten und den Verschleiß.

## Wirkungsgrad

Die Hersteller geben Wirkungsgrade für direktangetriebene Pumpen und elektrisch angetriebene Druckübersetzer mit 85-92% an, während die hydraulischen Druckübersetzer mit 62-67% Wirkungsgrad angegeben werden.

Die Berechnung des jeweiligen Wirkungsgrades kann leicht mit der Formel zur Strahlleistung ermittelt werden.

$$P = pA \frac{v^3}{2}$$

Die ermittelte Düsenleistung, in Relation zur elektrischen Antriebsleistung gesetzt, ergibt dann den Wirkungsgrad. Hierbei sollte man die elektrische Leistung der jeweiligen externen Kühler in die Berechnung mit einbeziehen.

Bei diesen Betrachtungen haben direktgetriebene Pumpen einen Vorteil gegenüber Druckübersetzerpumpen. Das gilt für den Fall, dass die Pumpen an ihrer oberen Leistungsgrenze betrieben werden. Reduziert man den Druck, verschlechtert man auch den Wirkungsgrad.

Zusammenfassend kann man sagen, dass eine direktgetriebene Pumpe ihre Vorteile überwiegend in langen kontinuierlichen Schnitten und in dicken Materialien hat. Druckübersetzerpumpen sind bei kurzen Schaltzyklen, dünnen Materialien und Reinwasserschnitten im Vorteil.

Preisgünstige direktgetriebene Pumpen sind in der Anschaffung billiger als Druckübersetzerpumpen, sie haben aber auch mehr Verschleißteile und sind in der Regel wartungsintensiver.

Hochwertige direktgetriebene Pumpen liegen in der Anschaffung und Verschleißkosten auf dem Niveau von Druckübersetzerpumpen.

## Betriebskosten

Die Betriebskosten einer Wasserstrahlschneidmaschine werden von den Herstellern fast ausschließlich auf die Betriebskosten der Pumpe und der Schneidköpfe beschränkt. Die Kosten für den Wasserverbrauch, die elektrische Energie, die Druckluft und den Abrasivsand lassen sich relativ genau ermitteln.

Die Kosten für die Verschleißteile, Pumpendichtungen- und Ersatzteile, Fokussierdüsen, Schneidköpfe, Filter etc., lassen sich - für den optimalen Fall, dass alle Komponenten die vom Hersteller angepeilten Standzeiten auch *wirklich* erreichen -, ebenfalls genau vorhersagen.

Das sind zwar der größten Faktoren in der Kalkulation aber noch nicht alles.

An dieser Stelle werden auch üblicherweise nur die Ersatzteile in die Berechnung einbezogen und es wird davon ausgegangen, dass der Kunde die Wartung selber durchführt. (In dem Fall bitte die Garantiebedingungen beachten)

Für eine Wartung durch einen Monteur kann man mit An- und Abfahrt, je nach Standort des Herstellers, durchaus 10 Arbeitsstunden plus Spesen einkalkulieren.

Im Entscheidungsprozess sollte man hinterfragen, welche Kosten für die Herstellerwartung anfallen, von wo die Anfahrt berechnet wird und wie lang die Reaktionszeit ist.

In der Praxis muss auch langfristig der Austausch von Spindeln, Motoren, Ölpumpen und Führungen einkalkuliert werden. Eine Kugelrollspindel hat je nach Länge eine kürzere oder längere Standzeit und muss bei Defekt komplett ausgetauscht werden. Zahnstangen und Linearmotoren, lassen den Austausch einzelner Segmente zu. Führungen sind heutzutage meist mit automatischen Schmierungen ausgestattet und damit wartungsfrei. Man sollte darauf achten, dass die Führungswagen leicht ausgetauscht werden können. Es ist sinnvoll, die Führungswagen präventiv nach Herstellervorgaben zu tauschen um einen teuren Austausch der Führungsleisten zu vermeiden.

Auch eine CNC oder PC Steuerung hat nur eine begrenzte Lebenserwartung. Ebenso werden Kabel, die auf Biegung beansprucht werden oder Motoren irgendwann ihr Lebensende erreichen.

Für diesen normalen Verschleiß der Werkzeugmaschine sollte man etwa 1% des Maschinenpreises pro tausend Betriebsstunden einkalkulieren.

## Nebenkosten

Die Entschlammung und die Entsorgung des Abrasivsandes verursacht ebenfalls Kosten. Auch die Art des zu schneidenden Materials kann bei der Schlamm Entsorgung einen sehr großen Unterschied machen. Während keramische Stoffe wie Stein oder Fliesen-, aber auch Aluminium und Stahl unkritisch zu entsorgen sind, kann der Abfall beim Schneiden von Kupfer, Blei oder hoch legierten Stählen als Sondermüll eingestuft werden sofern der Anteil des Kerbmateriale im Schlamm die vorgegebenen Grenzwerte überschreitet.

Zum Schluss kommen noch die Kosten für die Wasseraufbereitung hinzu.

Je nach Wasserqualität muss das Schneidwasser aufbereitet werden. Dafür stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, die je nach Qualität des Zulaufwassers von den Lieferanten empfohlen werden.

Die Betriebskosten sind sehr unterschiedlich und müssen im Vorfeld genau anhand einer Wasseranalyse ermittelt werden.

Leider ist die Wasserchemie auch für Unternehmen aus der Branche manchmal ein ungeliebtes Thema und so wird gerne verkauft, was man eben im Programm hat. Dabei ist gerade die Wasseraufbereitung ein Kernthema für unsere Maschinen. Es gibt einfache, preisgünstige Anlagen, die mit Additiven arbeiten, die bedenkenlos in das Abwasser eingeleitet werden können. Es gibt auch teure Anlagen ohne zusätzlichen Einsatz von Additiven, hier müssen jedoch regelmäßig die Filter getauscht (und natürlich entsorgt !!) werden. Auch diese Kosten sollte man sich genau anschauen und vorher berechnen lassen.

# Mannloser Betrieb von Wasserstrahlschneidsystemen

## Sensorik, Risiken und Lösungen

Viele Betreiber von Wasserstrahlschneidmaschinen wollen diese irgendwann mannlos produzieren lassen. Sei es um die Maschine nach Feierabend noch den Job fertig fahren zu lassen, Überkapazitäten abzubauen oder die Maschine dauerhaft in einer kompletten „Geisterschicht“ auszunutzen.

Dabei sollte nicht vergessen werden, dass eine Wasserstrahlschneidmaschine lange nicht so prozesssicher arbeitet, wie ein Laser oder ein Bearbeitungszentrum.

Der Prozess „Wasserstrahlschneiden“ ist sensibel. Es kann zu Druckschwankungen im System kommen, die Qualität des Abrasivsandes kann schwanken, die Wasserdüse kann von einer Sekunde auf die nächste ausfallen, der Verschleiß des Mischrohres kann zu veränderten Druckverhältnissen im Schneidkopf führen.

Fragt man die Hersteller nach mannlosem Betrieb, so hört man oft „grundsätzlich ja, aber...“

In der Tat ist diese Anforderung nur mit vorbeugender Wartung, mit ein paar grundsätzlichen vorbeugenden Maßnahmen und mit entsprechender Sensorik lösbar.

## Düsen und Fokussierrohre

Für lange, mannlose Schichten, sind Diamantdüsen empfehlenswert.

Eine Diamantdüse hat etwa die 10 fache Standzeit einer Saphirdüse und zusätzlich ein komplett anderes Verschleißverhalten. Während eine Saphirdüse ab der ersten Stunde langsam und kontinuierlich an Düsenleistung verliert, läuft eine Diamantdüse bis kurz vor dem Ende ihrer Lebensdauer mit fast gleichbleibender Düsenleistung, bis sie dann irgendwann innerhalb sehr kurzer Zeit rapide nachlässt.

Bei den Fokussierrohren ist darauf zu achten, dass es unterschiedliche Qualitäten gibt. Die Fokussierrohre bestehen aus Wolframkarbid. Sie sind in den Qualitäten „Roctec 100“, „Roctec 500“ und weiteren Qualitäten erhältlich.

Roctec 500 Fokussierrohre haben eine 50-100% längere Lebenserwartung als Roctec 100 Rohre. Je nach Maschinenhersteller schwankt die Angabe für die Lebensdauer der Roctec 500 Fokussierrohre zwischen 40 und 120 Stunden.

Man sollte aber bedenken, dass die Fokussierrohre im Betrieb nicht nur im Durchmesser wachsen, sondern dass sie dabei auch an Leistung einbüßen.



Natürlich kann man das Durchmesserwachstum über die Radienkorrektur ausgleichen aber man sollte nicht vergessen, dass auch die Schneidleistung nachlässt und die Oberfläche schlechter wird.

Aus wirtschaftlicher Sicht sollte auch ein hochwertiges Fokussierrohr nach etwa 50 Stunden ausgetauscht werden. Für die mannlose Schicht bedeutet das, es ist sicher zu stellen dass sich Düse und Fokussierrohr in einem Zustand befinden, der die restliche Bearbeitungszeit problemlos abdeckt.  
Ausfallursachen, Resultate und Abhilfe

Einer der meist verbreiterten Ausfallgründe ist der „Verstopfer“. Eine Sandverstopfung tritt ein, wenn der Sand nass geworden ist. Der häufigste Grund dafür ist, dass der Schneidkopf beim Anschließen des Startloches zu nah an der Werkstückoberfläche steht. Der Wasserstrahl staut sich im Schneidkopf und es kommt zu einem Rückstoß in die Sandzuführung. In der Folge fährt die Maschine einfach weiter ihre Kontur ab und spritzt dabei ihr volles Wasservolumen auf die Oberfläche ohne diese durchzuschneiden.  
Als Ergebnis findet man am nächsten Morgen eine komplett nasse Halle vor.

Abhilfe schafft hier ein einfacher Trick. Man lässt die Maschine vor jedem Anstechen die Z-Achse um 1-2mm anheben. Damit wird die Gefahr des Rückstaus minimiert. Moderne Maschinen bieten diese Funktion bereits als in der Steuersoftware hinterlegtes Makro.

Letztendlich bieten jedoch nur Sensoren eine absolute Sicherheit. Fließt kein Abrasiv mehr, weil der Schneidkopf verstopft ist, so schaltet der Sensor die Pumpe ab und stoppt das Programm.

Läuft die Abrasivzuführung leer, so unterbricht ebenfalls ein Sensor das Schneidprogramm.

Ein Abfall des Pumpendrucks ist für die Maschine die gefährlichste Ausfallursache. Der Pumpendruck einer Ultrahochdruckpumpe schwankt normalerweise im Bereich weniger Prozentpunkte rund um den Einstellwert.

Wenn die Hochdruckdichtungen am Ende ihrer Standzeit mehr und mehr Undichtigkeiten zulassen, so kann man eine Druckübersetzerpumpe durchaus noch mehrere Stunden weiter betreiben, auch wenn man damit die Lebensdauer der Steuerventile reduziert.

Eine frequenzgeregelte Direktpumpe kann für einige Stunden mit höherer Drehzahl betrieben werden um den Druckverlust auszugleichen. Beide Konzepte haben also Notlaufeigenschaften. Dennoch ist es ratsam, Dichtungen rechtzeitig zu wechseln. In seltenen Fällen kann eine Dichtung innerhalb kurzer Zeit ihre Arbeit einstellen und einen starken Druckverlust nach sich ziehen. Moderne Pumpen sind oft schon mit Drucksensoren ausgestattet. Bei diesen Sensoren wird ein Fenster vorgegeben, in dem sich der Pumpendruck bewegen darf. Bei Defekt einer Dichtung oder eines Ventils, bei Ausfall der Druckerhöhungspumpe (falls vorhanden) oder Ausfall der Frischwasserversorgung, schaltet dieser Sensor die Pumpe ab und stoppt das Schneidprogramm.

Nach Beendigung des Schneidprogramms im mannlosen Betrieb stoppen die meisten Maschinen ihre Bearbeitungsprogramme und ihre Pumpe. Druckübersetzerpumpen sind an der Stelle am einfachsten anzusteuern. Sie fahren herunter, öffnen ihr Entlastungsventil und hinterlassen eine drucklose Maschine.

Nun sind zwar die kritischen Punkte überwacht und die Maschine kann weder sich noch ihrer Umgebung, noch dem Werkstück einen Schaden zuführen, dafür steht sie unter Umständen mehrere Stunden mit einer Fehlermeldung bevor der Bediener den Fehler behebt und die Maschine wieder in Betrieb nimmt.

Die Lösung hierfür ist der GSM Sensor, der eine auftretende Fehlermeldung sofort an das Bereitschaftspersonal sendet. Diese Funktion sollte mittlerweile bei jeder Wasserstrahlschneidmaschine Standard sein.

Wenn man bis hierhin alles beachtet hat, Düse und Fokussierrohr in gutem Zustand sind, der Abrasivzuführbehälter voll ist und alle Sensoren eingeschaltet sind, dann steht dem mannlosen Betrieb nichts mehr im Weg.

# Umweltverträglichkeit von Wasserstrahlschneidsystemen

## Wasser, Abwasser, Zusatzstoffe und Abfallentsorgung

Das Wasserstrahlschneiden ist eine der umweltfreundlichsten Schneidtechnologien auf dem Markt. Es entstehen keine giftigen Dämpfe, es wird kein Gas zugeführt. Absaugung und Filterung der Luft ist nicht erforderlich. Interessenten für eine Wasserstrahlschneidmaschine sollten in ihre Entscheidung, das gesamte Wertstoffkonzept ihres Lieferanten einbeziehen.

Umweltschutz beginnt bereits beim Bau der Maschine. Die Europäischen Hersteller unterliegen alle den jeweiligen nationalen Bestimmungen. Die ISO 14001 legt dabei die Anforderungen an ein Umweltschutzkonzept fest.

Moderne Wasserstrahlschneidmaschinen verfügen über gekapselte Antriebssysteme, die das Austreten von Schmierstoffen sicher vermeiden. Die eingesetzten Motoren sind auf größtmögliche Effizienz optimiert und bei den Schneidköpfen wird auf die Möglichkeit geachtet, die Verschleißteile wie Düsen und Mischkammer, separat austauschen- und den Schneidkopf weiterverwenden zu können. Für die Werkstückauflage werden größtenteils Zinkfreie Tragbleche verwendet.

Aktuelle Ultrahochdruckpumpen sind ebenfalls sehr umweltfreundlich.

Bei den direktgetriebenen Pumpen wird heute nicht mehr wie früher üblich, das Kühlwasser vollständig oder zumindest teilweise in den Abfluss befördert, sondern es wird für die Kühlung genutzt, danach in einen geschlossenen Behälter geführt und dann vollständig zum Schneiden verwendet. Dadurch kann der Wasserverbrauch deutlich reduziert werden. Die modernen Druckübersetzerpumpen arbeiten mit kleinsten Hydraulikölmengen und schnellen, effizienten Antriebsmotoren.

Leckagebohrungen, die früher für die Sichtprüfung genutzt wurden, werden heute mit Sensoren abgefragt und das austretende Medium wird in geschlossenen Behältern aufgenommen. Der komplette Ölinhalt moderner Pumpen, wird im Leckagefall von integrierten Wannen aufgenommen und kann nicht in die Umwelt gelangen. Auch in Wasserschutzgebieten ist damit keine zusätzliche Wanne mehr erforderlich.

Kommen wir nun von der Maschine zu den Verbrauchsstoffen: Das Wasser muss in seiner Zusammensetzung bestimmte Kriterien erfüllen. Diese richten sich je nach Pumpentyp und Ausführung nach den Herstellerangaben. Es werden außer dem pH Wert und dem Härtegrad, noch verschiedene andere Kriterien abgefragt. Falls das Wasser diese Anforderungen nicht ausreichend erfüllt, muss es aufbereitet werden. Dazu gibt es verschiedene Möglichkeiten, um mit Filtern oder Additiven die Vorgaben zu erfüllen. Der Kunde sollte bereits bei der Planung auf die Möglichkeiten hingewiesen werden. Die weit verbreiteten Additive sind umweltfreundlich und enthalten keine ausweisungspflichtigen Substanzen.

Sie sind meist unbedenklich für die Einleitung ins Abwasser und unterliegen nicht der GHS Kennzeichnungspflicht.

Der Abrasivsand ist ebenso wie das Wasser ein Naturprodukt. Der Sand wird auf dem Markt in verschiedenen Qualitäten und Korngrößen angeboten. Einige wenige Lieferanten, liefern qualitativ hochwertigen Sand und kümmern sich auch um das Recycling.

Die Naturprodukte Sand und Wasser sind für die Umwelt absolut unkritisch.

Wir haben aber noch ein dritte Komponente zu betrachten: Das „Kerbmateriale“ ist der Anteil, den wir beim Zuschnitt aus der Platte herausschleifen. Das Volumen des Kerbmateriale kann überschlägig berechnet werden, in dem man die Schnittbreite mit der Schnitlänge und der Materialdicke multipliziert.

Der prozentuale Anteil des Kerbmateriale im gesamten Abfall, variiert mit der Geschwindigkeit, der Materialart und -dicke und der eingesetzten Sandmenge.

So liegt der Anteil des Kerbmateriale beispielsweise bei 3 vol% beim Schneiden von 5mm dickem Aluminium bis 6 vol% beim Schneiden von 50mm dickem Stahl.

Dieses Kerbmateriale, dass der Betreiber einer Wasserstrahlschneidmaschine zusammen mit seinem benutzten Abrasivsand als Abfall entsorgen muss, sollte im Idealfall recycelt werden.

Hierbei helfen Fachunternehmen, die den Abrasivsand liefern und im Zuge dieser Lieferung den entstandenen Schlamm wieder zurück nehmen. So werden Frachtkosten niedrig gehalten und Leerfahrten vermieden.

Der Schlamm wird dann analysiert und auf eventuelle Schadstoffe überprüft. Sofern man die üblichen Materialien wie Stein, Alu, Stahl etc. schneidet, ist der Schlamm in der Regel recycling-fähig. Die Analyse ist dann für 5 Jahre gültig. Sollte der Schlamm belastet sein, beispielsweise durch Schwermetalle, dann wird der Abfall gemäß seiner jeweiligen Klassifikation auf eine entsprechende Deponie verbracht. Die dafür notwendigen Analysen werden jährlich wiederholt. Beim Recycling wird das Kerbmateriale vom Sand getrennt und wieder dem Metallkreislauf zugeführt.

Der Sand wird zum großen Teil wiederaufbereitet und gelangt in Form von Abrasivsand kleinerer Korngrößen, wieder auf den Markt. Die nicht mehr verwertbaren Bestandteile gehen als Füllmaterial in den Straßenbau oder werden anderweitig sinnvoll und umweltschonend verwendet.

In jedem Fall erhält der Kunde einen Entsorgungsnachweis für seine Verbrauchsstoffe und die Gewissheit, dass seine Wasserstrahlschneidmaschine die Umwelt schont.

Dieses Buch entstand mit freundlicher Unterstützung von:

MicroStep Europa GmbH  
[www.microstep.com](http://www.microstep.com)

BFT GmbH  
[www.bft-pumps.com](http://www.bft-pumps.com)

Allfi AG  
[www.allfi.com](http://www.allfi.com)

Ekowa GmbH  
[www.ekowa.de](http://www.ekowa.de)

Es basiert auf meinen langjährigen Erfahrungen in dieser Branche und auf dem intensiven Meinungsaustausch mit Anwendern und Herstellern von Wasserstrahlschneidmaschinen und Komponenten. Es soll eine Entscheidungshilfe für potentielle Einsteiger in die vielfältige Welt des abrasiven Wasserstrahlschneidens sein.

Der Autor  
Heinz Eichhorn  
[heinz@eichhorn.world](mailto:heinz@eichhorn.world)



# Your Partner for Cutting, Bending and Automation

Sie möchten eine persönliche Beratung oder unsere Anlagen live in Aktion erleben?

Alternativ stehen wir Ihnen auch telefonisch oder per E-Mail zur Verfügung:

Telefon: +49 8247 96294 50



## Zentrale:

MicroStep Europa GmbH  
Messerschmittstraße 10  
D-86825 Bad Wörishofen

+49 8247 96294-50  
vertrieb@microstep.com  
www.microstep.com

## CompetenceCenter Süd:

MicroStep Europa GmbH  
Messerschmittstraße 3  
D-86825 Bad Wörishofen



## CompetenceCenter Nord:

MicroStep Europa GmbH  
Fürst-Leopold-Allee 92  
D-46284 Dorsten

