



# Inhaltverzeichnis

1. Einführung des Wasserstrahlschneidens.....	1
1.1 Einleitung des Wasserstrahlschneidens.....	1
1.2 Definierung des Wasserstrahlschneidens.....	2
1.3 Geschichte der Wasserstrahlschneidtechnik.....	3
2. Verfahrensgrundlagen.....	4
2.1 Physikalische Grundlagen.....	4
2.2 Technologische Grundlagen.....	6
2.3 Anlagentechnik.....	12
2.3.1 Druckübersetzer.....	13
2.3.2 Schneidkopf.....	15
2.3.3 Führungssystem.....	17
3. Lösungen für technische Einrichtungen.....	18
3.1 Vorstellung von Reinwasserschneiden.....	18
3.1.1 TK-TRUMP50-C1525C (Beispiel).....	20
3.1.2 X-series von Waterjet (Beispiel).....	22
3.1.3 WARICUT HWE-P 2015/2-3D (Beispiel).....	25
3.2 Vorstellung von Abrasivschneiden.....	26
3.2.1 Wasserabrasiv - Suspensionsstrahl (WAIS).....	29
3.2.2 Wasserabrasiv- Injektorstrahl (WASS).....	30
3.2.3 Vergleich zwischen WAIS und WASS.....	31
3.2.4.1 FiveX (Beispiel).....	33
3.2.4.2 H-model (Beispiel).....	36
3.2.4.3 Longmen von Yuanli (Beispiel).....	38

4. Auslegung und Bewertung von Lösungsvarianten.....	41
4.1 Vergleich zwischen rein-und abrasive Wasserstrahlschneiden.....	41
4.2 Bewertungskriterien und Ergebnisse.....	42
5. Begründung und Prozess der Vorzugsvariante mit einem Beispiel.....	44
5.1 Beschreibung des Beispiels.....	44
5.2 Begründung der Vorzugsvariante.....	45
5.3 Prozess.....	47
6. Zusammenfassung.....	50

## **Aufgabenstellung**

Zunehmend gewinnt die Automatisierung in mannigfaltiger Form in der Produktionstechnik

an Bedeutung, so dass es bei der Auslegung der einzusetzenden Fertigungstechnik eine

Vielzahl an technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen zu beachten gilt.

Im Rahmen der Bachelorarbeit sind, gemäß der o. g. Themenstellung, das

Maschinenkonzept zu konzipieren, deren Struktur darzustellen sowie dazugehörige

maschinenbautechnische und organisatorische Besonderheiten aufzuzeigen und deren

Einbindung in den Prozessablauf zu analysieren.

## **Hinweise zur Lösung der Aufgabenstellung**

1. Analyse des gegenwärtigen Standes des Wasserstrahlschneidens und der zugehörigen Anlagentechnik in der Materialbearbeitung

2. Dokumentation der vorhandenen Lösung für die o. g. technischen Einrichtungen in derartigen Prozess

3. Auslegung und Bewertung von allgemeinen Lösungsvarianten für das Koppeln der drei genannten wasserstrahlgestützten Fertigungsverfahren

4. Beschreibung einer möglichen Lösung an einem selbst gewählten Beispielteil (mit Begründung)

5. Darstellung des Zusammenhangs zwischen den maschinenbaulichen und organisatorischen Schnittstellen Materialfluss (Rohteil, Fertigteil, Restmaterialien, Werkzeuge),

Transport und Handhabung sowie Ver- und Entsorgung der einzelnen Elemente für die Vorzugsvariante

# 1. Einführung des Wasserstrahlschneidens

## 1.1 Einleitung des Wasserstrahlschneidens

Schon seit weigen Zeiten werden in der Natur harte Materialien durch Wasser in ihrer Form verändert.

Die dadurch entstandenen Strukturen sind sowohl nützlich auch schön.

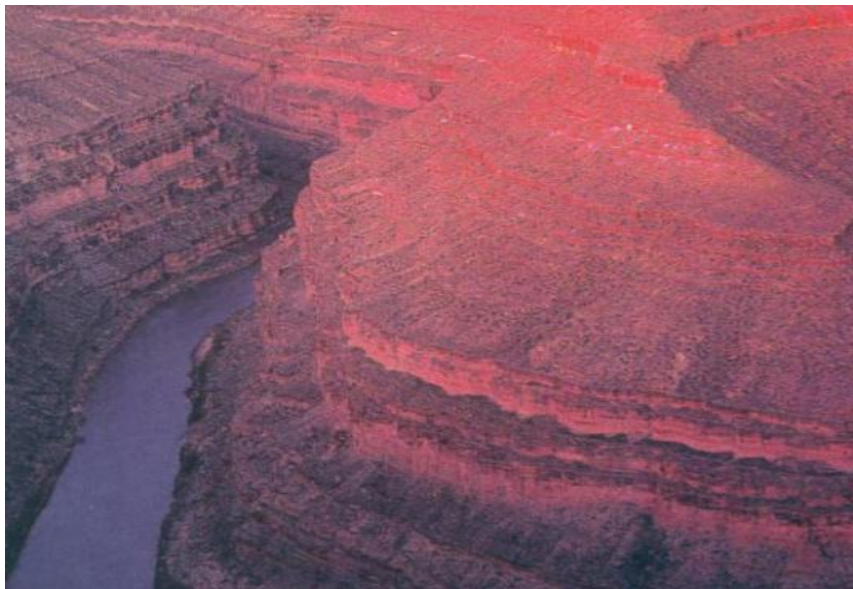


Abb.1

Der Grand Canyon wurde durch Wasser aus dem Gestein geschnitten.

Bei der Erosion von Gesteinen durch Wasserfluss, Brandungswellen oder Wind spielen neben dem Fluid, Wasser oder Luft, auch mitgeführte Partikel wie z.B. Sand oder Kieselsteine eine entscheidende Rolle.

Fast die gesamte Erdoberfläche ist durch solche Prozesse beeinflusst.

In der Wirtschaft ist heute hohe Qualität zu niedrigen Preisen gefordert. Im Bereich „Trennen“ sind viele etablierte Verfahren im Einsatz, jedoch ist die Anwendung jedes dieser Verfahren nur für einen bestimmten Einsatzbereich oder bestimmte Materialien möglich. Dabei gewinnt das Wasserstrahlschneiden nicht nur als umweltfreundliches Trennverfahren immer mehr an Bedeutung, sondern stellt durch seine Flexibilität und seine vielfältigen Einsatzmöglichkeiten auch eine geeignete Alternative zu „herkömmlichen“ Trennverfahren dar.

## 1.2 Definierung des Wasserstrahlschneidens

Das Wasserstrahlschneiden ist ein Fertigungsverfahren aus der Hauptgruppe des Trennens. Dort ist es gemeinsam mit dem Laserstrahlschmelzschnitten, dem Brennschneiden und dem Plasma-Schmelzschnitten der Gruppe der abtragenden Verfahren zugeordnet. Es wird unterschieden in Wasserstrahlschneiden mit reinem Wasser und Abrasivschneiden, bei dem dem Wasser ein hartes pulverförmiges Material – das Abrasiv – zugesetzt wird. Die zugehörige Werkzeugmaschine ist die Wasserstrahlschneidemaschine. <sup>[1]</sup>

Mit dem Reinwasserstrahlschneiden werden eher weiche Werkstoffe getrennt wie Kunststoffe, Folien, Schaumstoffe oder Papier. Das Abrasivschneiden wird bei harten Werkstoffen eingesetzt wie Stahl, Keramik oder Glas. Eine besondere Bedeutung hat es beim Trennen von Verbundwerkstoffen, die sich mit konventionellen Verfahren meist nicht zufriedenstellend trennen lassen. Außerdem ist es sehr umweltfreundlich. <sup>[1]</sup>



Abb. 2

Wasser unter Druck wird in der industriellen Fertigung für verschiedene Zwecke eingesetzt. Die Wasserstrahl-Technologie ist dort inzwischen nicht mehr wegzudenken und wird in Zukunft auch noch weiter an Bedeutung gewinnen. Eingeteilt nach Größe des Druckes bzw. der Strahlgeschwindigkeit bieten sich unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten.

### 1.3 Geschichte der Wasserstrahlschneidtechnik

Wasserstrahlen wurden im frühen 20. Jahrhundert im Bergbau zum Abtragen von Kies- oder Tonablagerungen eingesetzt. In den Goldminen Kaliforniens wurden damit Goldadern von Steinen und Erde getrennt. Ab 1930 verwendeten es amerikanische und russische Ingenieure zum Putzen von Gussstücken.

Damals wurden Drücke von nur 100 bar genutzt. Das erste Patent ging an Norman Franz für eine Maschine, die mit 700 bar arbeitete. In den späten 60er Jahren wurde es in der Flugzeugindustrie genutzt, um Teile zu trennen, die auf Wärme empfindlich reagieren wie Faserverbund-, Waben- und Schichtwerkstoffe

1968/70 wurde die Technik in der Flugzeugindustrie zum Schneiden von Faserverbund- und Schichtwerkstoffen eingeführt. Diese Materialien reagieren besonders empfindlich auf hohe Temperaturen und Drücke. Mit anderen konventionellen Verfahren wird beim Trennen die Struktur (d.h. die Gebrauchseigenschaften) dieser Werkstoffe bis zur Unbrauchbarkeit zerstört

Ab 1974 verwendete man harte Partikel als Zusatz im Wasserstrahl was die Qualität der Werkstücke und die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens erheblich steigerte und so zu seinem Durchbruch in der industriellen Anwendung führte. 1975/76 wurden Baustoffe, Kunststoffe und Wellpappe mit dem Verfahren getrennt

1983 wurde das weltweit erste kommerzielle Wasserstrahl-Schneidensystem mit Abrasivschneiden in den USA hergestellt, um Autoglas zu schneiden. Seitdem begann eine Revolution mit der Einführung der Wasserstrahlschneidtechnologie in der neuen Schneidtechnologie.

## 2. Verfahrensgrundlagen

### 2.1 Physikalische Grundlagen

Die im Schneidstrahl enthaltene kinetische Energie wird beim Auftreffen auf die Werkstückoberfläche in potenzielle umgewandelt, die sie stoßartig beansprucht. Die dadurch hervorgerufenen Spannungen haben elastische bzw. plastische Verformungen zur Folge, die zur örtlich begrenzten Zerstörung der Werkstoffoberfläche führen. Der Strahl reißt anschließend mikroskopisch kleine Werkstoffteilchen aus dem Material und arbeitet sich dabei immer tiefer in das Werkstück hinein.<sup>[2]</sup>

Der abrasiv wirkende Strahl schiebt auf seinem Weg im Werkstück Abraumpolster vor sich her und verliert aufgrund der großen Reibungsverluste an der Schnitttiefe ständig an Energie, wodurch die Schnittgüte (Rauigkeit) mit der Schnittdicke kontinuierlich abnimmt. Ähnlich wie beim Brennschneiden kommt es auch hier zu einer ausgeprägten Riefenstruktur und einem mit zunehmender Werkstückdicke größer werdenden „Rillennachlauf“.<sup>[2]</sup>

Für die folgenden Formeln soll die Flüssigkeitsströmung als inkompressibel und innerhalb der Düse als reibungsfrei angesehen werden. Unter der Voraussetzung einer rotationssymmetrischen Strömung und einer über den Querschnitt konstant verteilten Geschwindigkeit ist die Strahlleistung am Düsenaustritt

$$P = \rho \cdot A \cdot v^3 / 2 \quad [2]$$

Hierin bedeuten:

P Strahlleistung in W,

$\rho$  Dicht der Flüssigkeit in  $\text{kg/m}^3$

A Querschnittsfläche des Strahls in  $\text{m}^2$



v Strahlgeschwindigkeit in m/s

Der extrem große Einfluss der Strahlgeschwindigkeit ( $v^3$ !) auf die Strahlleistung und damit auf die Schneidleistung ist leicht erkennbar.

Wird für die Querschnittsfläche des Strahls der Düsenquerschnitt eingesetzt und die Strahlgeschwindigkeit nach der Bernoulli-Beziehung angenähert, dann ergibt sich die Strahlleistung P

$$P = \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot d_0^2 \cdot p^{1.5} \quad [2]$$

Es bedeuten:

$d_0$  Düsendurchmesser in m,

$p$  Flüssigkeitsdruck vor der Düse in  $\text{N/m}^2$

Die bei gegebener Flüssigkeit ( $p$ ) nur von  $d_0$  und  $p$  abhängige Leistung P einschließlich der Verlustleistung muss durch den Druckerzeuger (Kompressor) aufgebracht werden.

Prinzipiell lassen sich alle pumpbaren Flüssigkeiten verwenden. Aufgrund seiner hohen Verfügbarkeit, seiner geringen Kosten und seiner physiologischen Unbedenklichkeit wird überwiegend Wasser verwendet. Lediglich in der Lebensmittelindustrie werden teilweise spezielle Öle eingesetzt.<sup>[2]</sup>

## 2.2 Technologische Grundlagen

Generell lassen sich alle Flüssigkeiten als Strahlmedium verwenden. Jeoch bietet das Wasser als Energieträger entscheidende Vorteile gegenüber anderen Flüssigkeiten, da es gute Strömungseigenschaften besitzt sowie chemisch neutral, umweltfreundlich und kostengünstig ist.

(Der reine Wasserstrahl kann zum Reinigen, Abtragen oder Schneiden genutzt werden (Abb.3). Ein hoher Wasserdruck bewirkt eine hohe Strahlgeschwindigkeit und diese wiederum eine hohe kinetische Energie des Wasserstrahls. Der Energieinhalt des Wasserstrahles bestimmt den Einsatzbereich der Wasserstrahltechnologie.)<sup>[2]</sup>

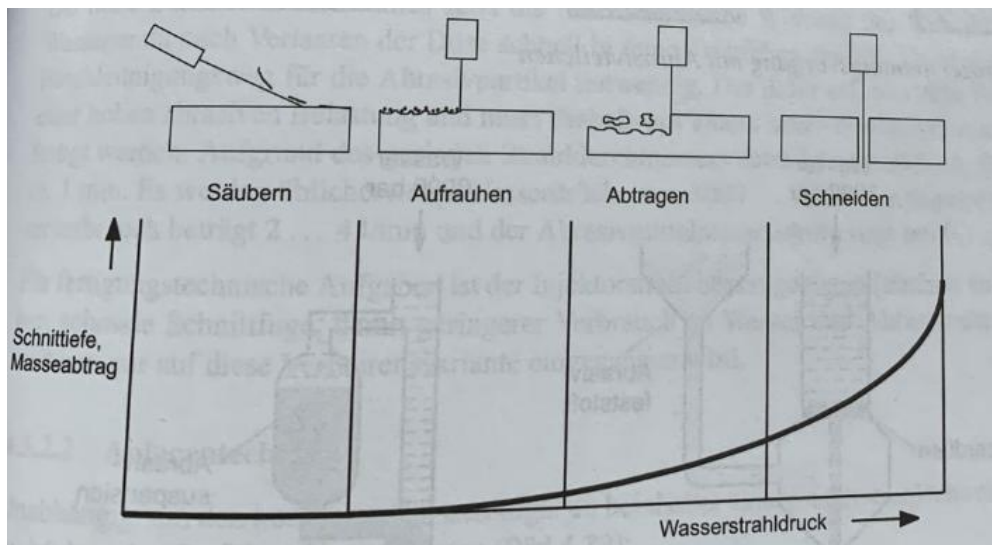


Abb. 3: Wirkungen des Wasserstrahls (nach Momber, Kovacevic)<sup>[2]</sup>

Für Reinigungsaufgaben sind nur relativ geringe Drücke (100 . . . 500 bar), jedoch im Sinne einer wirtschaftlichen Flächenbearbeitung hohe Volumenströme erforderlich. Beim Schneiden muss mit hohen Wasserdrücken (1500 . . . 4000bar) gearbeitet werden, wobei bereits wenige Liter pro Minute für üblich Bearbeitungsaufgaben ausreichend sind,

Bei der Bearbeitung mittels Wasserstrahl wird die erosive Wirkung von Flüssigkeitsstrahlen mit hoher Geschwindigkeit technisch genutzt. Aufgrund der geringen Abtragsleistung des reinen Wasserstrahls beschränkt sich diese

Verfahrensvariante auf nichtmetallische, „weiche“ Werkstoffe.(Pappe, Textilien, Schaumstoffe, Gummi, Leder).

(Durch eine Beimischung von Feststoffpartikeln zum Wasserstrahl wird ein Schleifmittelstrahl gebildet, Der Wasserstrahl dient als Trägermedium zur Beschleunigung der Partikel. Der Materialabtrag wird durch die abrasiv Wirkung der Feststoffpartikel verursacht.)<sup>[2]</sup>

Dieser Mikrozerspannungsvorgang (Abb.4) erhöht das Abtragspotential von Wasserstrahlen wesentlich, so dass nahezu alle Werkstoffe (auch metallische und keramische), Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde bearbeitbar sind. Diese Technologie wird als „Wasserabrasivstrahlschneiden“ und die verwendeten Feststoffpartikel werden als „Abrasive“ bezeichnet.

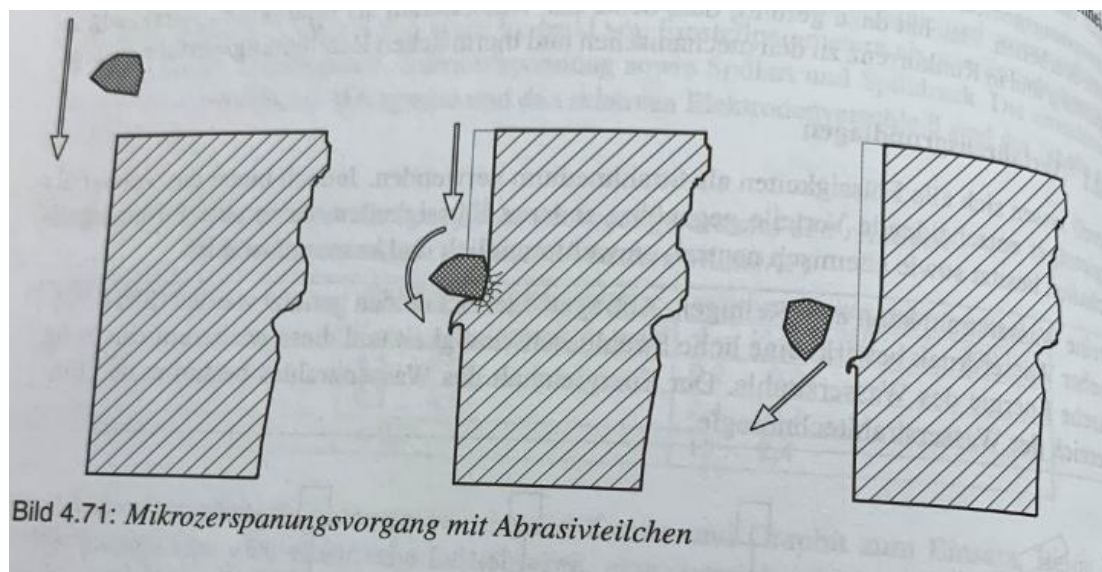


Abb. 4: Mikrozerspannungsvorgang mit Abrasivteilchen<sup>[2]</sup>

Bezüglich der Strahlstruktur ist deshalb beim Wasserstrahlschneiden eine Einteilung in Wasserstrahl und Wasserabrasivstrahl üblich. Letzterer kann nach dem Injektor- oder dem Suspensionsprinzip (vorgemischter Strahl) erzeugt werden (Abb.5),

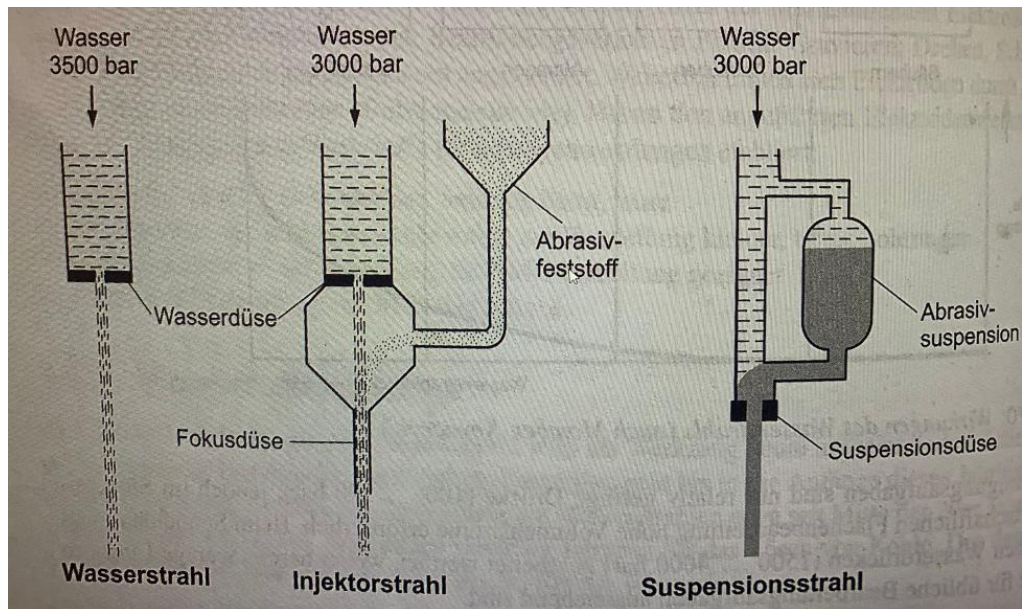


Abb. 5: Strahlarten

Beim Suspensionsstrahl wird das Abrasivmittel im Druckkreis dem Wasser zugeführt. Der Feststoffvorrat befindet sich im Druckbehälter. Die Suspension aus Wasser und Abrasivmittel wird durch eine einzige Düse gepresst. Ein nach dem Injektorprinzip arbeitender Schneidkopf saugt Abrasivmittel mit Hilfe des erzeugten Unterdrucks in der Mischkammer selbständig an. In einer zentrisch ausgerichteten zweiten Düse, auch Fokus genannt, werden die Abrasivpartikel durch den Wasserstrahl beschleunigt.

Der Suspensionsstrahl hat eine hohe Energiedichte, da er sich nur aus den zwei Komponenten Wasser und Abrasivmittel zusammensetzt. Deshalb können große Schnittiefen erreicht werden (bis zu 1 m in Stahlbeton), wobei die Schnittfuge relativ breit ist (ca. 3 mm). Es ist jedoch ein hoher apparativer Aufwand erforderlich, da der Abrasivmittelvorrat in einem Druckbehälter gelagert und als Suspension aufrecht erhalten werden muss. Auch sind die derzeit verwendeten Druckbehälter nur für relativ geringe Drücke ausgelegt (bis max. 700 bar), so dass die benötigte Leistung nur über einen hohen Volumenstrom an Druckwasser (bis 50 l/min) und damit verbunden über hohe Massenströme an Abrasivmittel (bis 5 kg/min) erreicht werden kann. Aufgrund seiner flexiblen Handhabungsmöglichkeit (nur eine Düse am Ende einer Schlauchleitung) ist dieses Verfahren besonders für Schneid- und Zerlegeaufgaben von großtechnischen Anlagen geeignet.<sup>[2]</sup>

Der Injektorstrahl besteht aus drei Anteilen : Abrasivmittel (ca. 1 % Anteil am Gesamtvolumen des Strahls), Wasser (ca.10%) und zum überwiegenden Teil Luft. Der Beschleunigungsprozess des Abrasivmittels ist beim Injektorprinzip deshalb nicht so effektiv wie beim Suspensionsstrahl.

Der hohe Luftanteil des Strahles die beschleunigende Wirkung des Wassers herab, da der Wasserstrahl nach Verlassen der Düse schnell in feine Tröpfchen zerfällt. Es ist ein relativ langer Beschleunigungsweg für die Abrasivpartikel notwendig. Der dafür erforderliche Fokus unterliegt einer hohen abrasiven Belastung und muss deshalb aus einem hochverschleißfesten Werkstoff gefertigt werden. Aufgrund des geringen Strahldurchmessers entsteht eine schmale Schnittfuge von ca. 1 mm. Es werden üblicherweise Wasserdrücke von 3000 . . . 3500 bar angewendet. Der Wasserverbrauch beträgt 2 . . . 4 l/min und der Abrasivmittelmassenstrom liegt bei 0,1 . . . 0,5 kg/min. <sup>[2]</sup>

## Schneidsystem

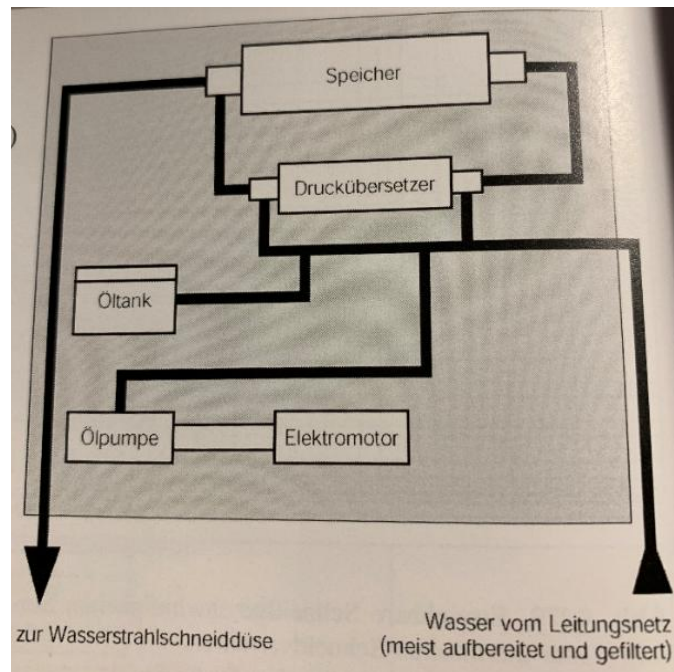


Abb. 6

Schematische Darstellung des Hochdruckpumpensystems zum Wasserstrahlschneiden.

Für große Fördermengen und Drücke bis etwa 2000bar werden mechanisch angetriebene Plungerpumpen verwendet, die einen hohen Wirkungsgrad (70 bis 80%) besitzen, aber wegen der ungleichförmigen Kolbenbewegung einen nicht konstanten Förderstrom erzeugen. Höchste Schneidwasserdrücke ( im Bereich 3000 bis 6000bar) werden mit hydraulisch angetriebenen Kolbenpumpen realisiert. Abb.3 zeigt schematisch ein Wasserstrahlschneidsystem. Das aus dem Leitungsnetz zugeführte Wasser wird zunächst mit Hilfe eines umgekehrten osmotischen Prozesses deionisiert, wodurch gelöste Feststoffe wie Eisen und Calcium entfernt werden. Danach durchläuft das Wasser einen Mikrofilter, der Partikel über einer Größe von etwa  $45 \mu\text{m}$  zurückhält. Dieser große Aufwand ist erforderlich, weil die genannten Fremdstoffe die Lebensdauer der teuren Hochdruckkomponenten und der Schneiddüse sehr stark herabsetzen.

In der Hochdruckpumpe treibt ein Elektromotor eine selbstregelnde Ölpumpe an und erzeugt im Hydrauliköl etwa 200bar, mit dem die Primärseite des Druckübersetzers beaufschlagt wird. Entsprechend dem Flächenverhältnis (etwa 20:1) wird das Schneidwasser auf der kleineren Sekundärseite auf etwa 6000bar verdichtet. <sup>[2]</sup>

Der Druckübersetzer ist doppelt wirkend, d.h., jeweils eine Seite fördert Druckwasser, während die andere Wasser ansaugt. Wegen des hier durch entstehenden diskontinuierlichen Förderstroms wird nach dem Druckbehälter ein Puffer (Speicher) angeordnet. Das verdichtete Schneidwasser gelangt über eine flexible Hochdruckleitung zur Schneiddüse.<sup>[2]</sup>

## 2.3 Anlagentechnik

Unabhängig von den konkreten Einsatzaufgaben beinhaltet eine Wasserstrahlschneidanlage immer nachfolgend aufgeführte Komponenten (Abb.4)

Hochdruckpumpe mit

Druckübersetzer: liefert den Volumenstrom bei dem notwendigen Betriebsdruck

Schneidkopf: Bildung des Wasserabrasivstrahls

Führungssystem: Steuerung des Schneidvorschubs

Strahlfänger: Abbau der Strahlrestenergie

Der Umfang des Praxiseinsatzes von Wasserstrahlen kann in direktem Zusammenhang mit der Entwicklung leistungsfähiger und dabei zuverlässiger Pumpensysteme gesehen werden. Durch die ständige Weiterentwicklung der Pumpentechnik werden immer höhere Druckbereiche sicher beherrscht.<sup>[4]</sup>

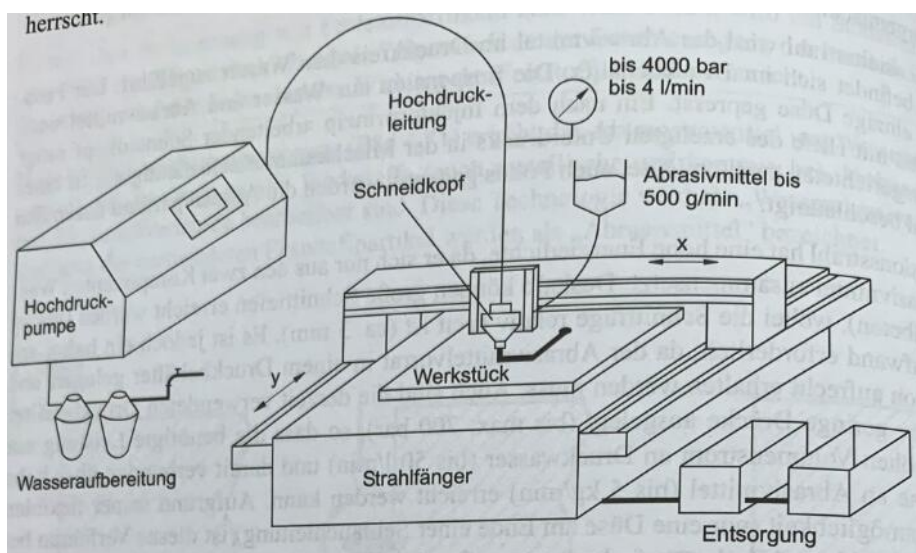


Abb7: Hauptkomponenten einer Wasserabrasivstrahlschneidanlage<sup>[4]</sup>



## 2.4 Druckübersetzer

Beim Einsatz der Wasserstrahltechnologie stellen der Pumpendruck und die Durchflussmenge die wesentlichen Parameter dar, welche die Gesamtenergie des Strahles (hydraulische Energie) charakterisieren. Die erforderliche Größe des jeweiligen Pumpenparameters wird vom speziellen Anwendungsfall bestimmt. Für das Reinigen und das Schneiden mit dem Suspensionsstrahl benötigt man große Fördermengen bei Drücken meistens unter 1000 bar. Diese Forderungen lassen sich mit Plungerpumpen erfüllen. Dagegen werden beim Injektorstrahlschneiden kleine Strahldurchmesser und damit geringe Volumenströme bei hohen Pumpendrücken angestrebt. Im Druckbereich über 2000 bar kommt in der Regel das Druckverstärkerprinzip zur Anwendung (Abb8) <sup>[4]</sup>

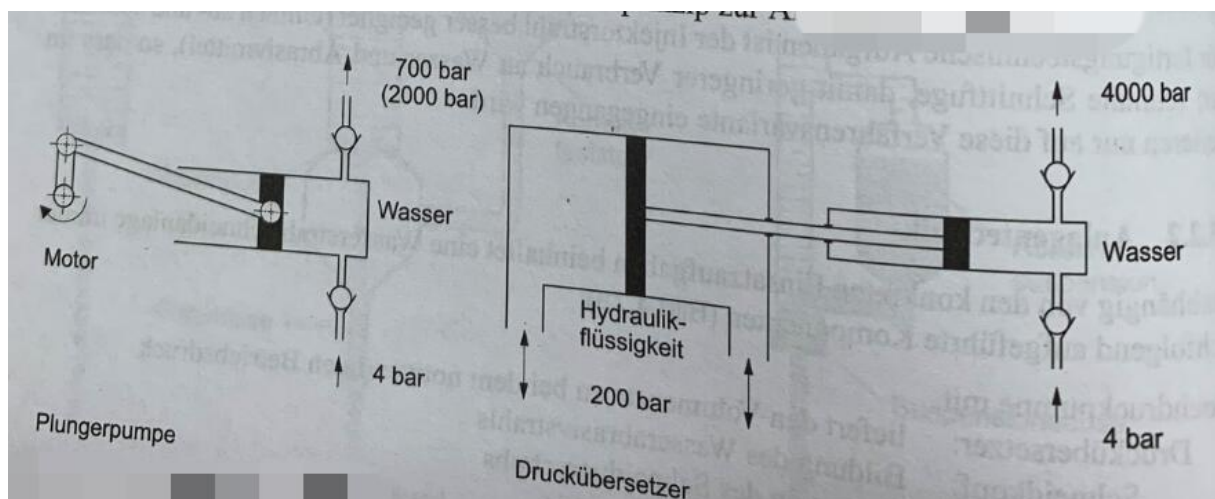


Abb8: Prinzipien der Druckerzeugung <sup>[4]</sup>

Der Antrieb der Plungerpumpe erfolgt direkt durch einen Elektro-, Diesel- oder Benzinmotor, Zusammen mit entsprechenden Druckregelorganen bewirkt die Hin- und Herbewegung des Plungers im Pumpenzylinder den Wasserzulauf und die Lieferung des Hochdruckwassers.

Der Druckverstärker arbeitet nach dem Prinzip des hydraulischen Druckübersetzers. Im Primärkreis wird mit einer Radialkolbenpumpe ein Ölvordruck bis ca. 200 bar erzeugt. Mit Hilfe eines Übersetzerkolbens wird dieser Öldruck in einen mehrfach höheren Wasserdruck im Sekundärkreis umgewandelt. Das Druckübersetzungsverhältnis ist umgekehrt proportional zum Verhältnis der Kolbenflächen. Ein üblicher Wert ist 1:20.

Bei doppelt wirkenden Druckübersetzern wird ein Hydraulikzylinder mit zwei spiegelsymmetrisch angeordneten Hochdruckzylindern mechanisch gekoppelt. Durch diesen Aufbau wird ein Leerhub vermieden. Solche Druckübersetzer erzeugen einen pulsierenden Druckverlauf aufgrund notwendiger Umsteuerzeiten zwischen den Pumphüben. Mit Druckspeichern (Attenuatoren) können die Druckeinbrüche in Abhängigkeit von Druck und Durchflussmenge gedämpft werden. Dabei wird die Eigenschaft des Wassers ausgenutzt, unter hohem Druck komprimierbar zu sein (bei 4000bar um ca.13%)

Einen gleichmäßigeren Druckverlauf liefern Hochdruckpumpen mit getrennt angetriebenen Druckübersetzern. Diese arbeiten phasenverschoben und werden so gesteuert, dass die Summe des erzeugten Hochdruckes konstant ist. Ein Druckspeicher ist nicht mehr erforderlich. Dadurch verringert sich die Wassermenge im Hochdruck-Leitungssystem deutlich. Im Dauerbetrieb können Druckübersetzer einen Wasserdruck bis 4000 bar bei Förderleistungen (Volumenströme) von 0,5 ... 8 l/min erzeugen. Dafür sind elektrische Antriebsleistungen von 5,5 ... 90 kW notwendig.

Für die Teilefertigung wird fast ausschließlich das in der Handhabung einfachere Injektorprinzip zur Strahlerzeugung genutzt. Die Zuführung des Hochdruckwassers von der Pumpe zum Schneidkopf erfolgt über Hochdruckrohre aus kaltverfestigtem Stahl. Zum Bewegungsausgleich können Drehverbindungen oder Rohrspiralen eingebunden sein. Unmittelbar am Schneidkopf befindet sich ein pneumatisch betätigtes Auf/Zu-Hochdruckventil. <sup>[4]</sup>

## 2.5 Schneidkopf

In einer Saphirdüse (Innendurchmesser 0,20 . . . 0,40 mm) wird zunächst ein Wasserstrahl erzeugt. Durch eine seitliche Öffnung gelangt das Abrasivmittel in die Mischkammer des Schneidkopfes. Der Transport erfolgt durch die angesaugte Luft. Anschließend werden die Partikel im Fokus vom Wasserstrahl auf sehr hohe Geschwindigkeiten beschleunigt (bis zu 500 m/s). Der Bohrungsdurchmesser des Fokus beträgt 0,8 . . . 1,5 mm, die Bohrungslänge 40 . . . 80 mm. Der Strahlkopf ist mit einem Kugelgelenk versehen, um die Symmetrieachsen von Fokusbohrung und Wasserstrahl zueinander auszurichten (Abb.6). Damit wird ein nach allen Seiten „scharfer“ Abrasivmittelstrahl gewährleistet und ein ungleichmäßiger Verschleiß im Fokus verhindert. <sup>[4]</sup>

Aufgrund der abrasiven Wirkung der Partikel bei sehr hohen Geschwindigkeiten erweitert sich die Bohrung des Fokus ständig. Der Verschleißwiderstand der Fokuswerkstoffe (feinkörnige Hartmetalle) konnte innerhalb der letzten Jahre wesentlich verbessert werden. Es werden Standzeiten von 50 . . . 100 h erreicht, wodurch sich die Fertigungsgenauigkeit erhöht und sich die periodisch notwendigen Wartungszeiten verringern.

Als Abrasivmittel sind praktisch alle aus der Sandstrahltechnik bekannten Strahlmittel einsetzbar. Üblich für das Wasserstrahlschneiden sind mineralische Strahlmittel mittlerer und hoher Härte (Quazsand, Granatsand). Die speziellen Eigenschaften des Abrasivmittels richten sich nach dem Anwendungsfall. Zum Beispiel lassen sich extrem harte Werkstoffe (verschleißbeständige Konstruktionskeramik) nicht mit „weichen“ Abrasivmitteln (Quarzsand) bearbeiten. Die Partikel zerbrechen auf der Werkstückoberfläche und werden reflektiert.

Die Korngröße des Strahlmittels liegt im Bereich von 0,1 ... 0,5 mm. Der maximale Durchmesser muss deutlich kleiner als der Fokusdurchmesser sein, Für einen effektiven Mikrozerspannungsprozess sollten die Partikel eine möglichst scharfkantige Form besitzen, wobei die benötigten Schneidkanten zum Teil erst während des

Beschleunigungsvorganges im Fokus durch Stoßen und Zerschneiden der Partikel gebildet werden.<sup>[4]</sup>

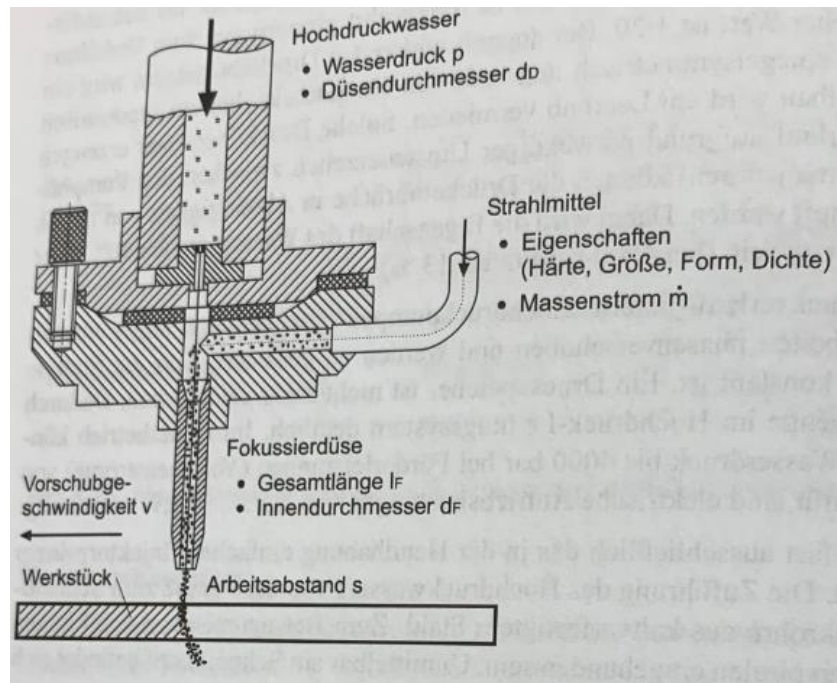


Abb.9 Schneidkopf mit Prozessparametern<sup>[4]</sup>

## 2.6 Führungssysteme

Zum Schneiden ist eine Relativbewegung zwischen Schneidwerkzeug und Werkstück notwendig. Dem Einsatzzweck entsprechend werden die Führungssysteme ausgelegt. Es wird unterschieden zwischen

- Handschneidgeräten (Schnittführung von Hand, oft entlang einer Schablone),
- Schneidbalken (feste Anordnung von Schneidköpfen zum Teilen von Bandmaterial),
- Schneidmaschinen (NC-gesteuert, zum Bearbeiten von Plattenmaterial, mit 2 . . . 5 Achsen auch für gekrümmte Flächen),
- Roboterführungen (freie 3D-Schnittführung mit Knickarmroboter, problematische Strahlrestenergieabsorbierung) und
- Sondereinrichtungen (spezielle produktbezogene Führungssysteme, z.B. Reifenschneidstation zum Schneiden von Probestreifen aus Fahrzeugreifen)

Je nach gewünschter Schnittqualität tritt der Abrasivstrahl nach dem Schnitt an der Bauteilunterseite mit einer hohen Restgeschwindigkeit aus und kann noch ein erhebliches Schädigungspotential besitzen. Um die Restenergie umzuwandeln, werden Strahlfänger (Catcher) eingesetzt. Dabei handelt es sich um feststehende oder mitbewegte Wasserbehälter, die mit Steinen, Stahlkugeln o.ä. gefüllt sein können. Die Energie des Strahles wird durch Zerstörung dieser Füllmaterialien und durch Reibung mit dem Wasser des Strahlfängers in Wärmeenergie umgewandelt.

Bei einem durchschnittlichen Abrasivmassenstrom von 0,5 kg/min werden innerhalb einer Stunde 30kg Abrasivstoff verbraucht. Nach dem Schneiden liegt eine Suspension aus Wasser, Abrasivstoff und abgetragenen Werkstückmaterial vor. Durch Wiederaufbereitungsanlagen gelingt es, ca. 40% des Abrasivmittels einem weiteren Schneidvorgang zuzuführen.<sup>[4]</sup>

## 3. Lösung für technische Einrichtungen

### 3.1 Vorstellung von Reinwasserschneiden

Mit diesem mit Reinwasser arbeitenden Verfahren werden weiche Werkstoffe (Kunststofffolien, Textilien, Elastomere, Thermoplaste, Papier, Faserstoffe, Schaum- und Dämmstoffe, Lebensmittel) mit Vorschubgeschwindigkeiten bis zu 200 m/min getrennt (Abb.6). Die sehr geringe Schnittwärme und die trotz extremer Energiedichte sehr kleinen Schnitt- und Reaktionskräfte sind die wichtigsten Gründe, die eine Bearbeitung weicher und nachgiebiger Werkstoffe erlauben, ohne ihre empfindliche Struktur zu zerstören.<sup>[2]</sup>

Das Werkstück liegt dabei auf dem Schneidrost, der sich in einem Wasserbecken befindet. Die gewünschte Kontur wird mit dem Schneidkopf abgefahren, der in einer Führungsmaschine, einem Roboter oder einem 2D- (bzw. Seltener einem 3D-Mehrachsen-) CNC- Portal integriert ist.<sup>[3]</sup>

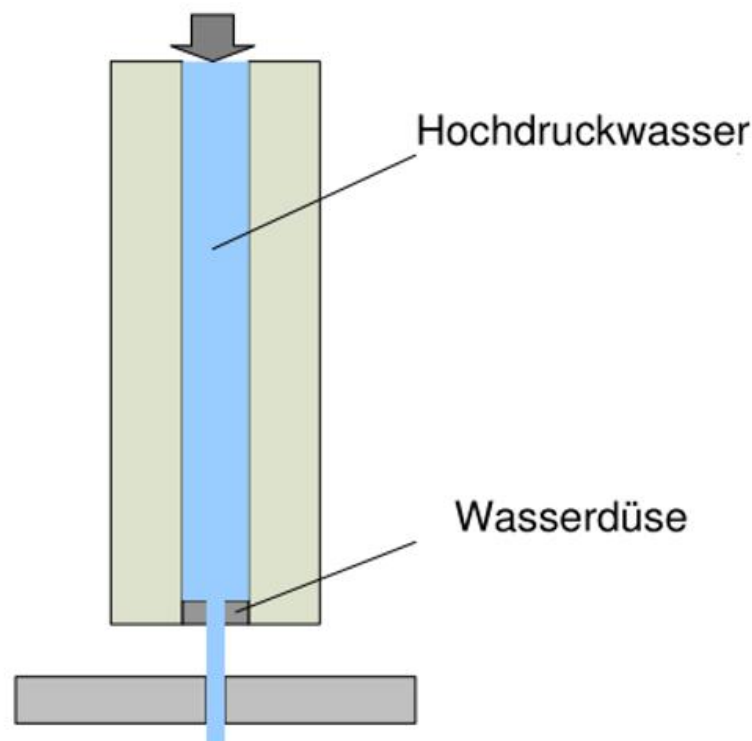


Abb.10:Prinzip des reinen Wasserstrahlschneidens

Aufgrund der kleinen Schnitt- und Reaktionskräfte sind zeit- und gerätetechnisch nur wenig aufwändige Spann- und Fixiermaßnahmen für den zu trennenden Werkstoff bzw. Die auszuschneidenden Teile erforderlich. Im Wesentlichen müssen die Tafeln/Schnittteile gegen die dissipativen Kräfte des expandierenden Wasserstrahls gesichert werden. Die bei anderen (thermischen) Trennverfahren als Folge von Temperaturdifferenzen entstehenden Kräfte treten hier kaum auf. Weiterhin erzeugt der Wasserstrahl keinen direkten Anpressdruck auf den Werkstoff, weil die mechanischen Reaktionen im Mikrobereich stattfinden, d.h., der Werkstoff wird nicht deformiert, also auch nicht „verschoben“.

Das weitgehend spannungsfreie Trennen, verbunden mit sehr geringen Schnittbreiten (in der Größenordnung des Düsendurchmessers!), ermöglicht ein bei den thermischen Trennverfahren nicht mögliches Maß der Bauteilverschachtelung im Trennplan und Verzugsfreiheit der Schnittteile. Die bessere Ausnutzung des Werkstoffs verringert den Verschnitt und die Stückkosten.

Das Wasserstrahlschneiden eignet sich besonders gut zum Erzeugen komplexer Konturen der Schnittteile, die sich in nahezu beliebigen Formen herstellen lassen. Scharfe Kanten, Hinterschnitte, schräge Schnittkante, spitze Winkel, Einstechen von Löchern, beliebiges Starten des Schneidvorgangs (Einstechen, fliegender Start von der Werkstückkante) sind realisierbar.

Das Verfahren ist sehr umweltschonend, sauber, nicht sonderlich lärmintensiv, erzeugt keinerlei Späne, Schleifstäube, toxische Gase oder Luftverschmutzung. Es sind keine Schneidemulsionen erforderlich. Das zum Schneidisch ausgebildete Wasserbecken („Catcher“) dient gleichzeitig zum Absorbieren der Restenergie des Strahls und mindert den Geräuschpegel auf ein erträgliches Maß.<sup>[2]</sup>

### 3.1.1 TK-TRUMP50-C1525



Abb11: Teenking reine Wasserschneidemaschine TK-TRUMP50-C1525 [5]

Teenking reine Wasserstrahlschneidemaschine für weiche Materialien wie Gummi, Lederschwamm etc .... Es ist ein Design für das Schneiden von weichem Material mit hoher Geschwindigkeit (kann bis zu 50m / min erreichen) mit hoher Genauigkeit.

Reiner Wasserstrahlvorteil: sehr sauberer Arbeitszustand (weil ohne Schleifmittel geschnitten, kein Wasser und Staubspritzer, lärmarm, kleine Schnittfuge (nur 0.15mm), keine Schneidverformung. Geringerer Stromverbrauch (ca. 8KW), geringe Kosten, lange Wartung) Freizeit, geringe Wartungskosten, geringe Anschaffungskosten ... und so weiter.

Reine Wasserstrahlanwendung: Es ist Entwurf für das weiche Material, das mit hoher Geschwindigkeit schneidet (kann bis 50m / min erreichen), wenn Sie nach kosteneffektiver High-End reiner Wasserstrahl-Schneidemaschine für weiche Materialien suchen Gummilederschwamm? Dann kann Teenking CNC reine Wasserstrahlmaschine Leistung sehr gut.



danach zeige ich ein Arbeitbild und entsprechende Produkte von diese rein wasserschneidmaschinen

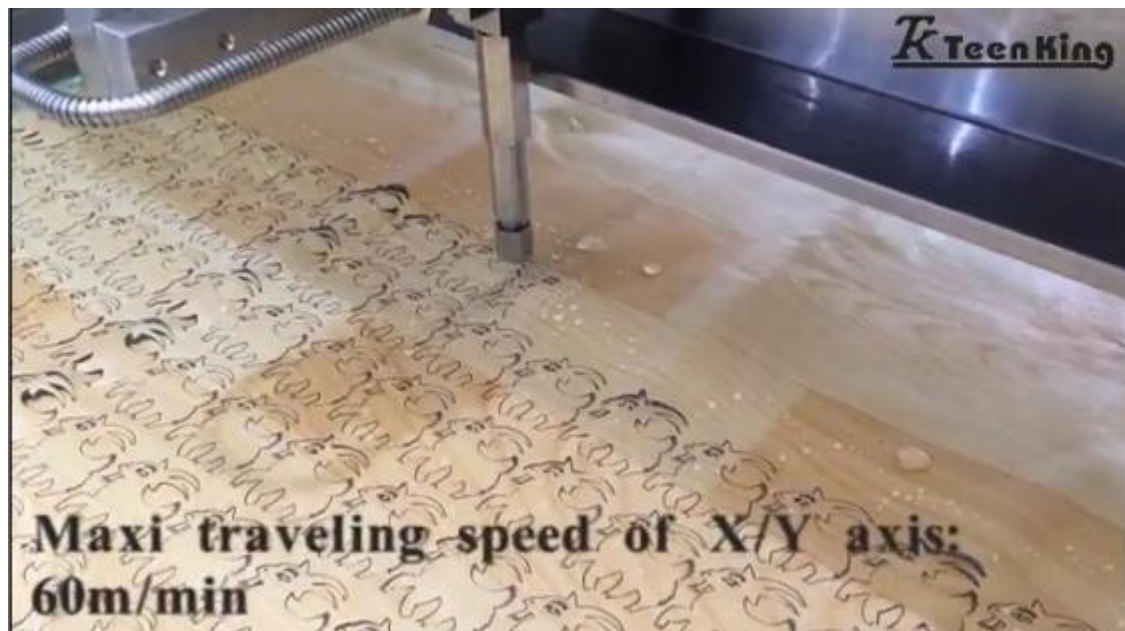


Abb12: Schneid bei TK-TRUMP50-C1525<sup>[5]</sup>



Abb13: Produkt bei TK-TRUMP50-C1525<sup>[5]</sup>

### 3.1.2 2D Wasserstrahlschneiden X-series von Waterjet

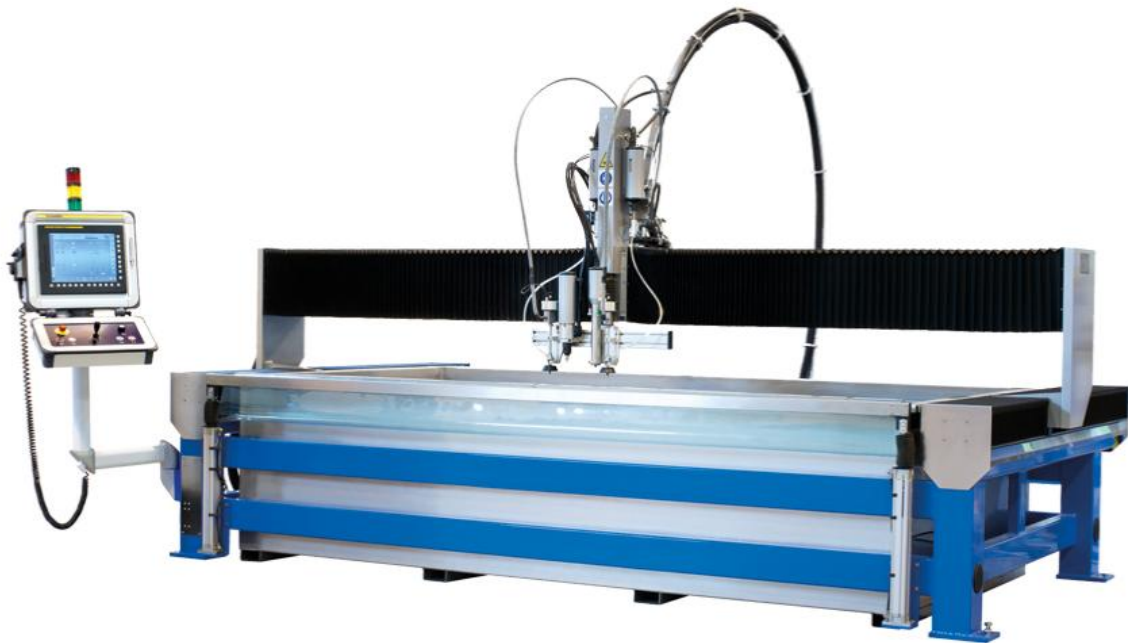


Abb14: X-series<sup>[6]</sup>

X-series kann mit ihren Möglichkeiten des 2D-Wasserstrahlschneidens alle beliebigen 2D-Formen aus einer Vielzahl von Materialien schneiden. Bei dieser alten Schneidetechnik werden die einzigartigen Eigenschaften des Basismaterials in keiner Weise beeinträchtigt.

Beim zweidimensionalen Wasserstrahlschneiden gibt es zwei geometrische Dimensionen: Länge und Breite. 2D-Formen sind flach - als wenn sie aus Papier ausgeschnitten würden. Mit Ausnahme des Kreises, der eine fortlaufende Rundung hat, haben sie Seiten und Scheitelpunkte (Ecken) und interne Winkel. Es kann sich um gleichmäßige (mit Seiten derselben Länge) oder ungleichmäßige (mit Seiten unterschiedlicher Längen) Formen handeln. Mit den Maschinen von FlowCut Waterjet Cutting kann jede flache Form mit rechten Winkeln ( $90^\circ$ ) ausgeschnitten werden.

Die X-Serie wird häufig für die Eigenfertigung und Kleinserien verwendet. Es verfügt über alle grundlegenden Funktionen, die Sie für hochpräzises 2D-Schneiden benötigen,

sowohl für 4000- als auch für 6000-bar-Technologien.

Die X-Serie verfügt über eine einzige Z-Bewegung, bei der mehrere Schneidköpfe (PWJ) oder ein zweiter Schneidkopf (AWJ) an einem Balken angebracht werden können. Als Standardoptionen stehen eine Reihe von Betriebsfunktionen und Tools zur Verfügung.<sup>[6]</sup>

Dann zeige ich einige Technische Daten von X-series:

Technical Data	
Construction: .....	Gantry
Frame: .....	Welded
Cutting Table/Tank: .....	Stainless Steel
Motion System: .....	Ballscrew
Control Unit: .....	Panel One HMI
CNC control system: .....	Fanuc
Process: .....	PWJ, AWJ and FAWJ compatible
Pressure Technology: .....	4000 bar and 6000 bar
Machine sizes: .....	1×1 m, 2×1 m, 3×1.5 m, 3×2 m and 4×2 m

Abb15: Technische Daten von X-series<sup>[6]</sup>

## Performance

---

Maximum Z-movement: .....	250 mm
Maximum Table Load: .....	800 kg/m <sup>2</sup>
Positioning Accuracy: .....	± 0.050 mm/m
Repetition Accuracy: .....	± 0.025 mm

Abb16: Performance Daten von X-series<sup>[6]</sup>

### 4.1.3 WARICUT HWE-P 2015/2-3D



Abb17:3D Reinwasserstrahlschneiden von WARICUT <sup>[7]</sup>

Die WARICUT® Baureihe HWE ist die neuste Entwicklung aus dem Hause H.G. Ridder GmbH. Den HWE-Maschinentyp haben das erste Mal auf der Euroblech 2004 in Hannover präsentiert werden – das neue Konzept wurde von unseren Kunden und Interessenten ausgesprochen gut angenommen.

Jede Maschine wird individuell nach Kundenwunsch als Einzel- oder Mehrkopfanlage in 2D oder 3D (oder einer Kombination) aufgebaut.

Schneidvolumen X 2050 / Y 1550 / Z 200/550 (mm)

#### Maschinenmaße (HWE-P)

Positionsabweichung PA	<± 0,020 mm
mittlere Positionsstreuung PS	<± 0,015 mm
Hub Schneidekopfachse (Z)	200 mm (2D) 300 mm (3D) 300 / 650 mm (3D) 400 / 750 (3D)

Abb18: Technischen Daten von 3D rein Wasserstrahlschneiden HWE-P<sup>[7]</sup>

## 4.2 Vorstellung von Abrasivschneiden

Zum Schneiden harter, fester und dickwandiger Werkstoffe wird dem Druckwasser feinkörniger (0,2-0,5 mm Durchmesser, etwa 150-250 g/min) Granat- oder Olivinsand (für weichere Werkstoffe auch Korund) in der Mischkammer zugesetzt, wodurch eine Mikrozerspanung erfolgt (Abb.7). Die hohe Strömungsgeschwindigkeit des Druckwassers erzeugt in der Mischkammer einen Unterdruck, der das Abrasivmittel ansaugt. Im mechanisch sehr hoch beanspruchten Mischrohr (Fokussierdüse, Paserrohr, Paser = Particle Stream EROsion) wird der mit dem Abrasivmittel vermischte Wasserstrahl erneut gebündelt und auf das Werkstück gelenkt. Die Abtragleistung nimmt mit der Härte und Scharfkantigkeit des Abrasivmittels zu, ebenso wirkt eine möglichst konstante Korngrößenverteilung.

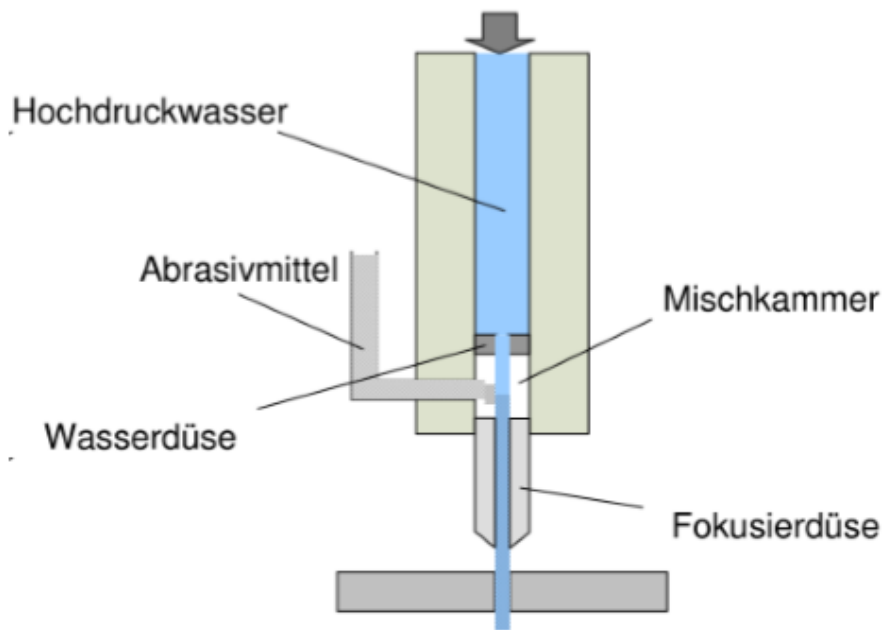


Abb19: Prinzip des Wasserstrahl-Abrasiv-Schneidens

Mit dieser Verfahrensvarianten lassen sich härtere Materialien wie Stein, Glas, Keramiken, Grafit, Holz, Marmor und alle Metalle, z.B. gehärteter Werkzeugstahl, Titan, Aluminium, Inconel, Cr-Ni-Strahl, Kupfer und Verbundwerkstoffe trennen. Die aus Werkstoffe mit unterschiedlichen Schmelzpunkten bestehenden Lamine lassen sich nur mit dem Wasserstrahlschneiden sauber schneiden!

Auf diese Weise können gehärtete Stähle bis 50 mm, Nichteisenmetalle (Cu, Ni, Ti, Al) bis 120 mm Dicke geschnitten werden.

Beim Trennen der verschiedenartigsten Metalle – sie können bei entsprechender Temperatureinwirkung härtbar, versprödbar, rissempfindlich, schmelzbar und (oder) verbrennbar sein – wird einer der größten Vorteile dieser Schneidtechnologie deutlich, der „kalte Schnitt“. Die Temperatur im Schnittflächenbereich wird dabei nur wenig höher als die Umgebungstemperatur. Damit können „Wärmeeinflusszonen“ d.h. Aufhärtungen bei Stählen, rissbegünstigende Eigenspannungen, Versprödung durch Gasaufnahme, die Bildung intermediärer Phasen oder die Maßhaltigkeit der Schneidteile beeinträchtigende Verzüge ebenso wenig eintreten wie oxidierte Schnittflächen und „wärmebehandelte“ Gefüge, d.h. Eigenschaftsänderungen jeder Art.

Zusammenfassend ergeben sich die folgenden wichtigen Vorteile des Wasserstrahlschneidens:

- Durch den feinen Strahl ergibt sich eine hohe Schnittqualität. Es können filigrane und kompliziert Konturen geschnitten werden.
- Es lassen sich beliebige Konturen schneiden und der Schnitt kann an jeder beliebigen Stelle der Werkstückoberfläche beginnen und enden.
- Wegen der geringen Schnitt- und Reaktionskräfte sind (auch bei dünnwandigen Werkstoffen!) nahezu gratfreie Schnittflächen möglich.
- Es wird ohne Anpressdruck auf den Werkstoff gearbeitet. So wird trotz hoher kinetischer Energie eine Deformation des Materials vermieden und eine hohe Schnittpräzision ohne Ausfransung oder Grat erzielt. Die Materialoberfläche wird nicht verletzt.
- Kohle- oder glasfaserverstärkte Kunststoffe, reflektierende Werkstoffe (problematisch z.B. bei der Lasertechnologie) lassen sich ebenso einfach trennen, wie aus mehreren Lagen unterschiedlicher Werkstoffe aufgebaute Materialien(Laminat).

- Ein Verklemmen im Schnittspalt ist nicht möglich.
- Aufgrund der geringen Temperaturen im Bereich der Schnittflächen entstehen beim Kunststoffschneiden keine toxischen Bestandteile.
- Mit dem Wasserstrahl-Abrasiv-Schneidverfahren lassen sich Werkstoffe trennen, die mit keinem anderen Verfahren geschnitten werden können.
- Die Umweltverträglichkeit wird in besonderem Maße gesichert, da der Schneidprozess sauber ist, kein Schneid- oder Schleifstaub, keine Späne und keine Luftverschmutzung erzeugt wird.

Bei den Düsen von abrasive Wasserstrahlschneidmaschinen unterteilt man sie in zwei Teile.

Wasserabrasiv-Injektorstrahl(WAIS) und Wasserabrasiv-Suspensionsstrahl(WASS)<sup>[2]</sup>



## 4.2 Wasserabrasiv-Suspensionsstrahl(WASS)

Das Arbeitsmedium wird durch Kolbenpumpen unter einen Druck von 40 bis 250 MPa gesetzt, und durch Rohrleitungen/ Schläuche zur Mischeinheit gefördert.

Der Medienstrom wird in einen Haupt- und einen Nebenfluss aufgeteilt; der Nebenstrom dient zum Austreiben des Abrasivmittels aus dem Vorratsbehälter.

Haupt- und Nebenstrom werden im Mischstück vereinigt und gelangen anschließend zur Düse.

In der Hartmetalldüse wird das Wasser/Sand-Gemisch beschleunigt und der Strahl geformt. Schlauchlänge nahezu beliebig.

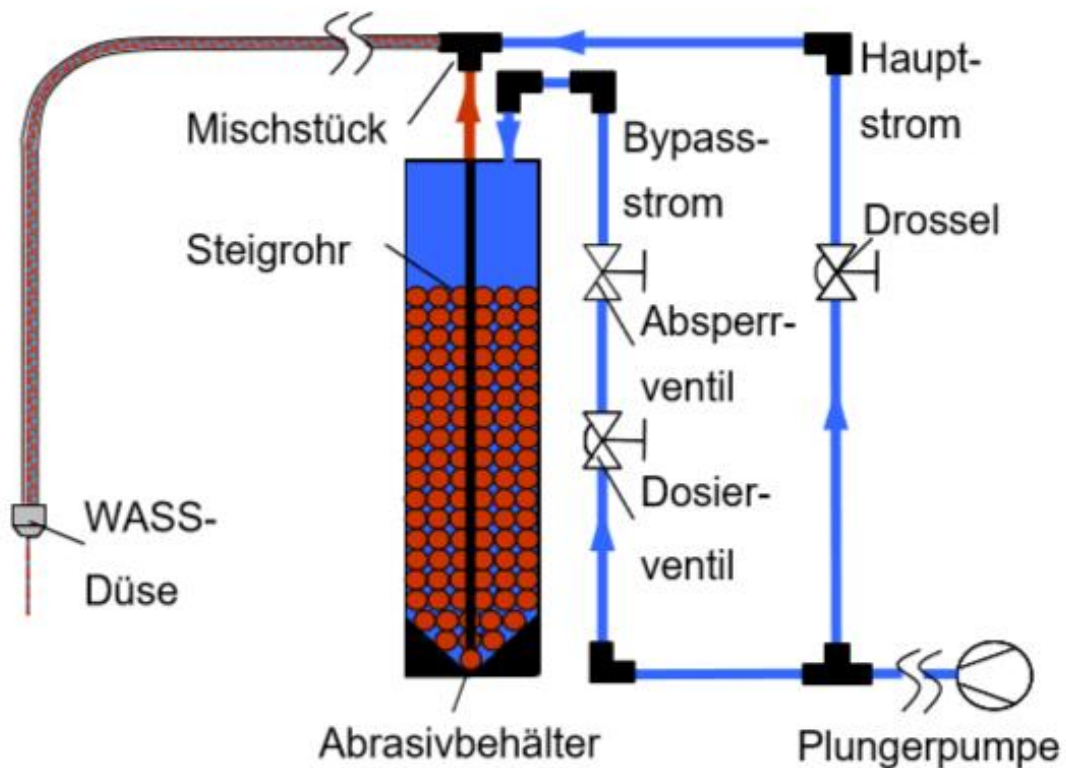


Abb20: Wasserabradivsusensionsstrahl-schneiden (WASS) <sup>[8]</sup>

### 4.3 Wasserabrasiv-Injektorstrahl(WAIS)

Das Arbeitsmedium wird durch Pumpen unter einen Druck von 300 bis 600 MPa gesetzt, und durch Rohrleitungen/ Schläuche zum Schneidkopf gefördert. Pumpe ist ein Druckverstärker, Kolbenpumpen werden momentan nur sekundär verwendet.

Das Medium wird in der Saphirdüse entspannt und auf ca. 850 m/s beschleunigt.

Nach dem Injektorprinzip entsteht in der Mischkammer ein Unterdruck; mit diesem wird das Abrasivmittel angesaugt (Schlauchlänge max. 2 m), und anschließend vom Wasserstrahl mitgerissen und beschleunigt. [8]

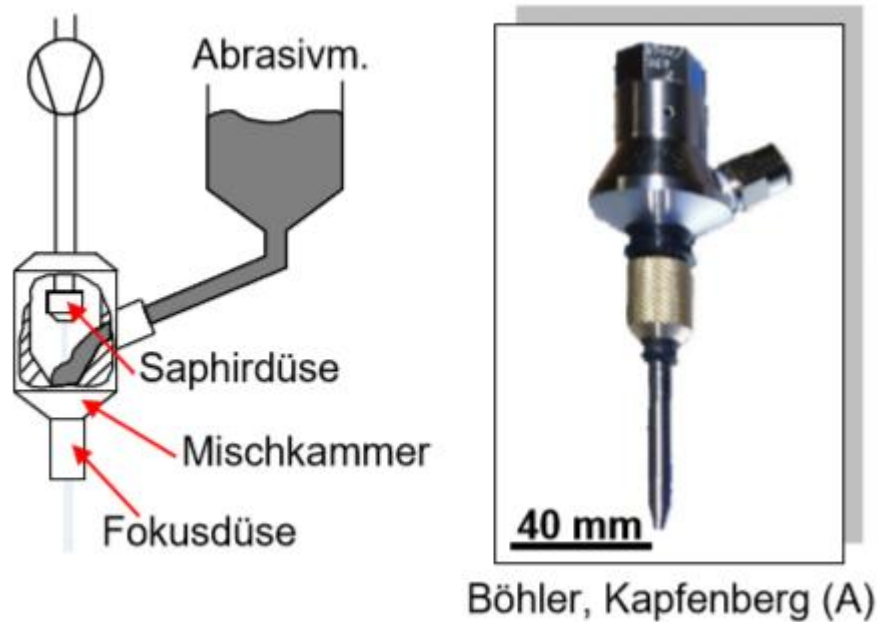


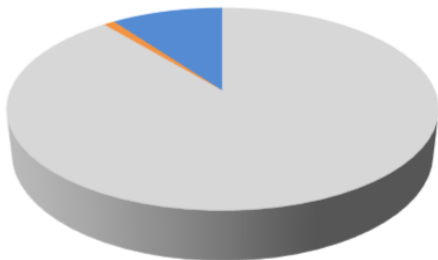
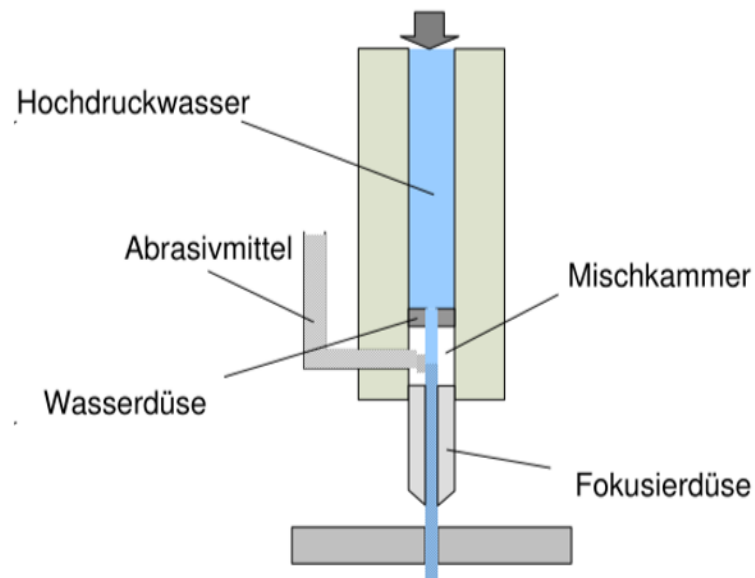
Abb21: Wasserabrasivinjektorstrahlschneiden (WAIS) [8]

## 4.4 Vergleich zwischen WAIS und WASS

In Bezug auf die Anwendungsbereiche gibt es fast keinen Unterschied zwischen WAIS und WASS.

Deshalb vergleichen wir aus strukturellen Zusammensetzung.

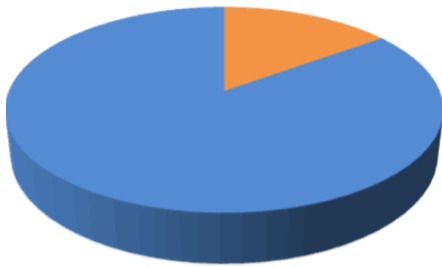
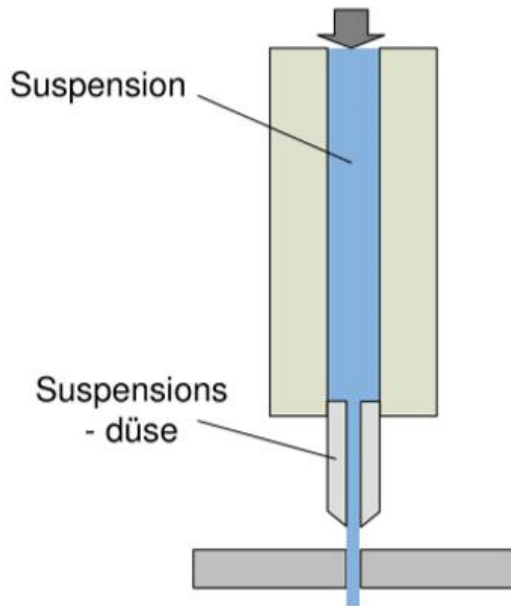
WAIS:



Strahlzusammensetzung:

- 89% Luft
- 10% Wasser
- 1% Abrasivmittel

WASS:



Strahlzusammensetzung:  
■ 85% Wasser  
■ 15% Abrasivmittel

[9]

### 3.2.4.1 3D Wasserabrasivstrahlschneiden FiveX

FiveX-Maschinen werden im Allgemeinen in der High-Tech-Industrie eingesetzt. Sie basieren auf unserer fortschrittlichsten Technologie und verfügen über ein außergewöhnlich stabiles Design, um wiederholt hochpräzises Freiformschneiden von vollständigen 3D-Komponenten durchführen zu können.

Die 5-Achs-Bearbeitung im großen Maßstab ermöglicht die Nutzung der Vorteile des Wasserstrahlverfahrens für die Fertigstellung von gefertigten Strukturen, Pressteilen, Verbundformteilen und anderen 3D-Teilen mit einer Z-Achsen-Kapazität von bis zu 1500 mm und einer großzügigen Verarbeitung. In der Region wurde die Wasserstrahltechnologie vor allem von der Verteidigungsindustrie, der Raumfahrtindustrie, der Luft- und Raumfahrtindustrie und der Energiewirtschaft angenommen und entwickelte Materialien wie gehärteter Stahl, Titan, Kevlar und Kohlefaser lassen sich leicht in präzise Form schneiden in ihre endgültige Form.



Abb22: 3D Wasserabrasivstrahlschneiden FiveX<sup>[10]</sup>

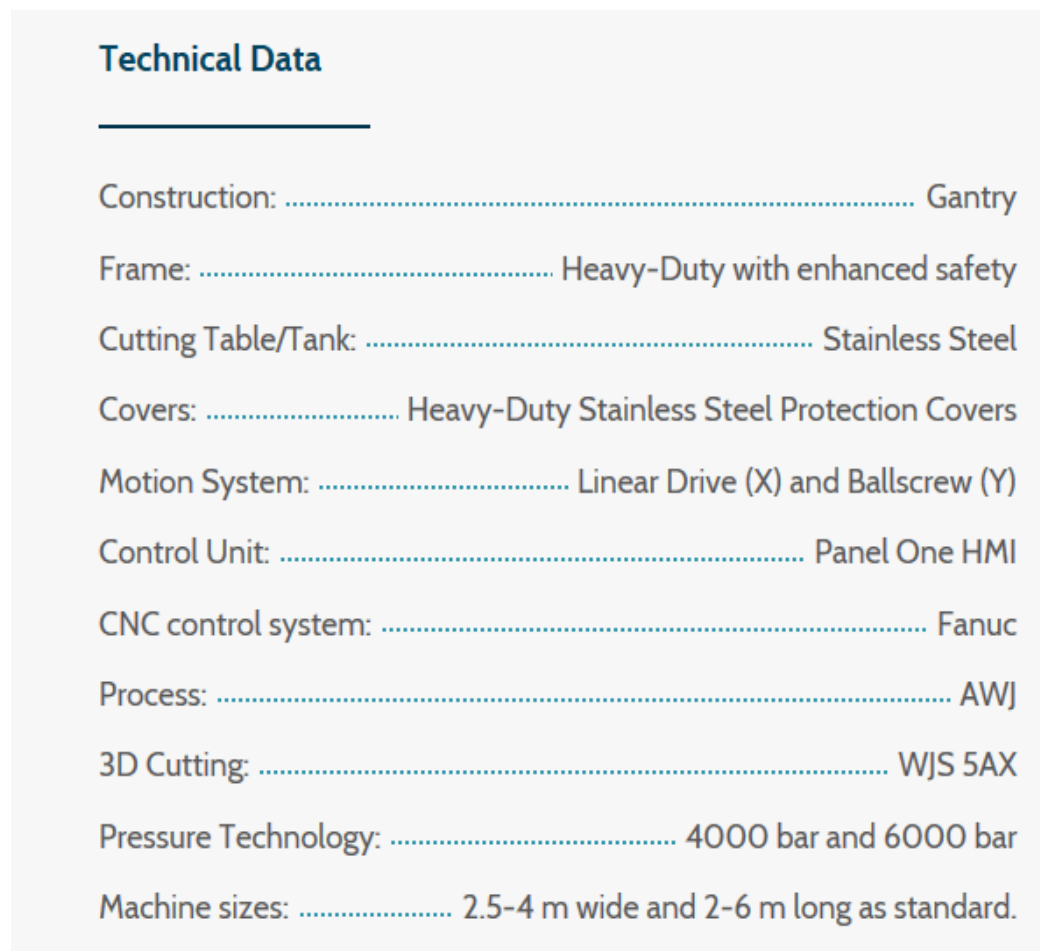
Eigenschaften:

Freiformschneiden - Verwenden Sie Freiformschneiden mit außergewöhnlich langen Z-Bewegungen bis zu 1500 mm. Speziell entwickelte Fixiertische auf Anfrage.<sup>[10]</sup>

Intelligente Sondenschnittstelle - Die Werkstückanzeige (Renishaw Probe Interface) ist in eine große Bibliothek vorkonfigurierter Messzyklen integriert. Optional können kundenspezifische Messzyklen geliefert werden.

Erhöhte Sicherheit - Seit dem FiveX-Schnitt in alle Richtungen verfügt die Maschine über ein komplettes Wanddesign und einen automatisierten Edelstahl- Seiten- und Frontschutz.

Technische Daten:



<b>Technical Data</b>	
Construction:	Gantry
Frame:	Heavy-Duty with enhanced safety
Cutting Table/Tank:	Stainless Steel
Covers:	Heavy-Duty Stainless Steel Protection Covers
Motion System:	Linear Drive (X) and Ballscrew (Y)
Control Unit:	Panel One HMI
CNC control system:	Fanuc
Process:	AWJ
3D Cutting:	WJS 5AX
Pressure Technology:	4000 bar and 6000 bar
Machine sizes:	2.5-4 m wide and 2-6 m long as standard.

Abb23: Technische Daten von FiveX<sup>[10]</sup>

Performance:

<b>Performance</b>	
Maximum Z-movement: .....	1500 mm
Positioning Accuracy: .....	$\pm 0.050$ mm/m
Repetition Accuracy: .....	$\pm 0.025$ mm
Cutting Performance: .....	$90^\circ$
A-axis movement: .....	$\pm 91^\circ$
C-axis movement: .....	$\pm 220^\circ$
Transmission accuracy A&C axis: .....	$< 1$ arcmin
Repetition accuracy A&C axis: .....	$< \pm 6$ arcsec

Abb24: die Performance von FiveX<sup>[10]</sup>

### 3.2.4.2 2D Wasserabrasivstrahlschneiden H-model von Waterjet

Das H-Modell ist ein direktes 2D-Wasserstrahlschneidsystem. Das Maschinensystem basiert auf dem weltweit patentierten Portal von Water Jet Sweden für eine lange Lebensdauer und konstante Leistung. Das H-Modell ist ein Mehrzweck-Schneidwerkzeug, das sich für Prototypwerkstätten, Ersatzteil- oder Inhouse-Werkstatt, Industrieanlagen oder Lohnschneidereien eignet.<sup>[11]</sup>

Das H-Modell ist in drei verschiedenen Tischgrößen erhältlich: 1 x 1 Meter, 2 x 1 Meter, 3 x 1,5 Meter.



Abb25: 2D Wasserabrasivstrahlschneiden H-model<sup>[11]</sup>



Technische Daten:

<b>Technical Data</b>	
Construction: .....	Gantry
Frame: .....	Welded Steel Beams
Cutting Table/Tank: .....	Stainless Steel
Covers: .....	Bellows
Motion System: .....	Ballscrew
Operator Panel .....	Fanuc 8.5" Touch Screen
CNC Control System .....	Fanuc
CAD/CAM Software .....	IGEMS
Cutting Tools .....	1-2
Process: .....	AWJ/PWJ
Pressure Technology .....	4000 and 6000 bar
Working Area .....	1 x 1 m, 1 x 2 m and 3 x 1,5 m
Maximum Z-movement: .....	250 mm
Maximum Table Load: .....	1200 kg/m2
Positioning Accuracy: .....	± 0.05 mm/m
Repetition Accuracy: .....	± 0.025 mm

Abb26: Technische Daten von H-mode<sup>[11]</sup>

### 3.2.4.3 3-Achse Longmen Wasserstrahlschneiden von Yuanli(China)

Der traditionelle dreiachsige Wasserstrahl ist ein nicht zu vernachlässigender Teil der Entwicklung des Wasserstrahls und ist eines der am schnellsten schneidenden und stabilsten Produkte in verschiedenen Wasserstrahlen. Es ist einfach zu warten und technisch stabil und ist für die Mehrheit der Anwender in der Zerspanungsbranche ein Muss. Es wird hauptsächlich beim Schneiden von Keramik, Stein, Glas, Metall, Kunststoff, Titan, Kohlenstoff und elektronischen Industrieprodukten verwendet.



Abb27: Longmen Wasserstrahlschneiden von China<sup>[12]</sup>

#### Eigenschaften:

Schnittfähigkeit für alle flachen Kurvenschnitte

Durch die speziell verstärkte Bettstruktur, ist die Schnittgeschwindigkeit hoch und die Bearbeitungsgenauigkeit ist auch sehr hoch

Einzigartiges Sandventil-Design, einfache Struktur, glatterer Sandfluss, bequemere Reparatur und verhindern das Auftreten von Wasser

Maximale Schneidenvolumen 2000 x 1500 (mm)

Schnittgeschwindigkeit: 0.03 ~ 4m / min

Maximale Geschwindigkeit: 8000mm / min

Schnittgenauigkeit:  $\pm 0.1$  mm

Wiederholpostion Genauigkeit: 0.025mm

CNC-Schaltschrank von Yuanli:



Abb28: CNC-Schaltschrank von Yuanli<sup>[12]</sup>

Die AUTO CAD-Zeichensoftware wird perfekt mit der automatischen Programmiersoftware des Unternehmens kombiniert.

Die neue numerische CNC-Steuerung ermöglicht eine Schnittgeschwindigkeit von 0-15 m / min und bietet eine Diagnosefunktion für den Selbsttest, die für die Wartung komfortabler ist.

CNC-System, größerer Speicher, mehr Speicher- und Verarbeitungsprozeduren, können die Verarbeitungszeit erheblich reduzieren.

Unabhängig entwickelte CAD / CAM-Software zum automatischen Setzen von  
Wasserstrahlsätzen

## **4 Auslegung und Bewertung von Lösungsvarianten**

### **4.1 Vergleich zwischen rein-und abrasive**

#### **Wasserstrahlschneiden**

Oben habe ich drei reine Wasserscheidemaschinen erwählt:

TK-TRUMP50-C1525C, X-series von Waterjet und HWE-P 2015/2-3D von WARICUT

In diesem Fall sind es der Druck und die Geschwindigkeit des Wassers selbst, die das Material penetrieren. Reines Wasserstrahlschneiden ist ideal für weichere Materialien wie Stoffe, Gummi oder Metallfolien.

Abrasive Wasserstrahlschneiden:

2D Wasserabrasivstrahlschneiden H-model von Waterjet, 3D

Wasserabrasivstrahlschneiden FiveX und

3-Achse Longmen Wasserstrahlschneiden von Yuanli(China)

Beim Abrasivschneiden wird ebenfalls, wie beim Reinwasserschneiden, normales und gereinigtes Leitungswasser mittels Hochdruckpumpe auf ca. 4000 bar komprimiert.

Im Gegensatz zum Reinwasserschneiden wird hier dem Wasserstrahl ein Abrasiv (Granatsand oder Korund mit einer Korngröße von ca. 0,2 bis 0,5mm) hinzugefügt.

Der Strahl mit seiner hohen Geschwindigkeit erzeugt ein Vakuum, welches das Abrasivmittel in die Mischkammer zieht. Anschließend wird der Strahl durch eine Abrasiv-Fokussierdüse zu einem Strahl von ca. 0,8-1mm gebündelt. Abrasivschneiden wird zum Trennen von härteten und dickeren Materialien, wie z.B. Metall, Kunststoff, Stein, Fliesen oder Glas eingesetzt.

Es ist ersichtlich, dass für Metall mit höherer Härte das Wasserabrasivstrahlschneiden für die Anwendung besser geeignet ist.

## 4.2 Bewertungskriterien und Ergebnisse

Als nächstes analysiere ich die verschiedenen abrasive Wasserstrahlschneidmaschinen:

Vergleich: Schnittvolumen

Maschinen	maximale Schnittvolumen
H-model(2D)	3x1.5m
FiveX(3D)	Unbekannt(Maschinen Größe2x2.5m)
Longmen(2D)	2x1.5m

Im maximale Schnittvolumen unterscheiden diese drei abrasive Wasserstrahlschneidanlage sich kaum.

Es sei denn, das Bearbeitmaterial ist ein spezielles großes Metall. Zum Beispiel, eine 1.3x2.5 Meter Metallplatte soll bearbeitet werden, kann man nur H-model verwenden. In der Regel kommt ein derart großes Metallstück selten vor.

Aber im Allgemeinen, In diesem Fall ist H-model besser als Longmen.

Vergleich: Genauigkeit

Maschinen	Genauigkeit	Wiederholpostion Genauigkeit
H-model(2D)	±0.05mm	±0.025mm
FiveX(3D)	±0.05mm	±0.025mm
Longmen(2D)	±0.1mm	±0.05mm

Aus dem Vergleich der Genauigkeit sind H-model und FiveX tatsächlich besser als Longmen.

Wasserschneidmaschinen H-model und FiveX sind beide von Deutschland, Longmen ist von China.

Das zeigt, dass die Wasserschneidmaschine in China in der Genauigkeit schlechter ist als die deutsche Wasserschneidmaschine.

Bei der Bearbeitung einiger feiner Industrieteile ist es besser, eine deutsche Wasserabrasivstrahlschneidmaschine zu verwenden.

Und in Bezug auf den Verarbeitungsmodus, verteile ich die abrasive Wasserstrahlschneiden in 2D Wasserscheidemaschinen und 3D Wasserscheidemaschinen.

Wenn nur die Ebene geschnitten wird, 2D und 3D Wasserscheidemaschinen sind gleich. Aber 2D-Maschinen können kein Metall zu bestimmten dreidimensionalen Formen verarbeiten.

## 5 Begründung und Prozess der Vorzugsvariante mit einem Beispiel

### 5.1 Beschreibung des Beispiels

Aufgabe: Ein Kupferblech zu einem schönen Ornament (in der Ebene) verarbeiten, wie gezeigt:



Abb29: chinesische Ornament<sup>[13]</sup>

Dieses Ornament gehört zu dem ebene Metall, das die Aufgabenstellung entspricht.

Dafür muss man eine geeignete Wasserstrahlschneidanlage wählen.

Die Realisierbarkeit der Lösung muss aus einer ganzheitlichen Perspektive betrachtet werden und die Gründe für die optimale Lösung sein.

Z.B. man muss von Kosten, Machbarkeit u.s.w. denken.



## 5.2 Begründung der Vorzugsvariante

Für dieses Beispiel ist zunächst die beste Variante, die ich gewählt habe, ist die dritte Variante: 2D abrasive Wasserstrahlschneidanlage Longmen von Yuanli (China).

Begründung:

Erstens, weil das Material, das geschnitten wird, ist Metall wie Kupfer. In Anbetracht dessen ist die Härte des Materials sehr groß, Ich habe die Variante des Einsatzes von reine Wasserstrahlschneidanlage ausgeschlossen.

Zweitens nach dem Inhalt dieser Arbeit:

Es handelt sich um ebenes Schneiden, es treten keine dreidimensionalen Probleme auf. Ich kann die optimale Variante in der 2D-abrasive Wasserstrahlschneiden Maschinen resevieren. das heißt, die Vorzugsvariante der Wasserstrahlschneiden Maschinen wird in H-model von Waterjet und Longmen von Yuanli gewählt.

(Es ist nicht so, dass der 3D-Wasserschneider die 2D-Schneidaufgabe nicht abschließen kann. Wenn man nur das Kostenproblem bedenkt: Mit der gleichen Aufgabe können wir die Verwendung einer 3D-Wasserschneidmaschine im 2D-Schneidenaufgaben Fall vermeiden. Die 3D-Wasserschneidemaschine ist teurer)

Zum Schluss werden die Genauigkeit und Kosten Leistung betrachtet :

Durch den Austausch mit Mitarbeiter von Yuanli erhielt ich von Longmen Wasserstrahlschneiden ein Zitat von 150,000Yuan. Ungefähr 20,000 Euro.

(Dies stellt den persönlichen Beratungspreis dar. Wenn Sie sich im Namen des Unternehmens beraten, können Sie ein Angebot vielleicht von 12 bis 130.000 Yuan erhalten. Nämlich 16,000 bis 17,500 euro)

Ich habe den Preis für das H-model von Waterjet nicht gefunden. Aber durch die Preisstudie der Wasserstrahlschneiden Maschinen in Deutschland, spekuliere ich , dass die Preis von H-model höher als 50,000 euro ist. Zumindest sicherlich nicht billiger als Longmen. Infolgedessen hat die Longmen Wasserstrahlschneiden Maschinen einen großen Vorteil gegenüber der H-model Wasserstrahlschneiden Maschinen in Bezug auf den Preis.

Nach dem Vergleich zweier Wasserstrahlschneiden Maschinen Genauigkeit:  
Genauigkeit von H-model ist 0.05mm, Genauigkeit von Longmen ist 0.1mm,  
Somit ist das H-Modell auf Genauigkeit etwas ein bisschen vorteilhaft.

Der Vorteil von Genauigkeit bei die Aufgabe von den großen Ornament ist jedoch nicht sehr hell. 0,1 mm Genauigkeit für diese große Ornament ist ausreichend.

Wenn die Aufgabe von einer feine Sache ist, ist die Genauigkeit sehr wichtig. Doch zu diesem Zeitpunkt reicht der enorme Kostenunterschied aus, um das Gleichgewicht der Vorzugvariante auf Longmen fallen zu lassen.

Zusammengefasst ist so longmen Wasserstrahlschneiden Maschinen von Yuanli meine Vorzugvariante.

### 5.3 Prozess

Um den Wasserschneidvorgang der oben genannten Aufgabe zu erreichen. Zuerst muss man das Schnittmuster bestimmen.

Nach der Vorstellung der Longmen Wasserschneidemaschine wissen wir, dass diese Wasserschneidemaschine mit einer eigens von Firma Yuanli entwickelten Software und AUTO-CAD Software kombiniert wird.

Das entsprechende Muster soll auf dem AUTO CAD gezeichnet. wie diese Bild gezeigt:

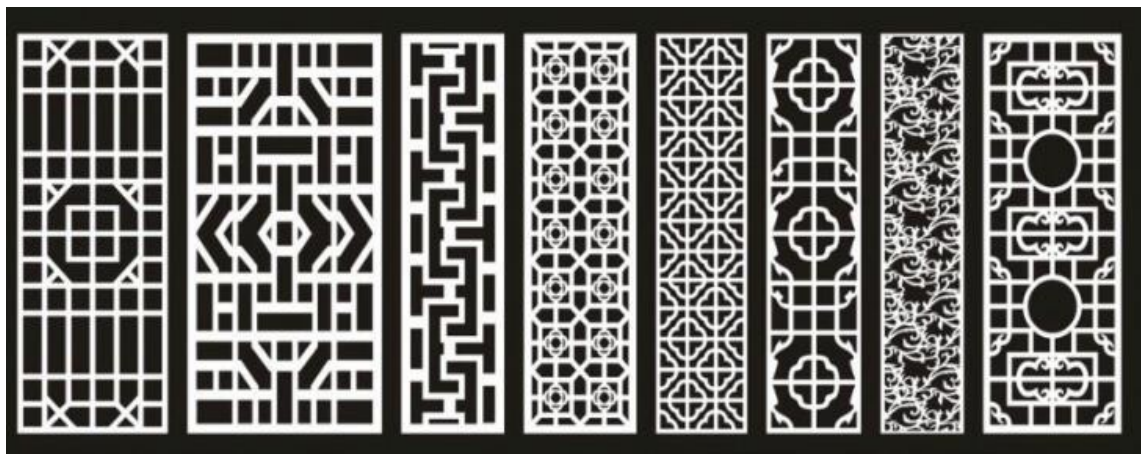


Abb30: Schnittmuster <sup>[14]</sup>

Danach sollten Sie die verschiedene Werte der mit ihm kombinierten Software debuggen. z.B. tiefe von Z-Achs u.s.w.

Wenn das zum Plan passende Schnittmuster in der Software simuliert werden kann, dann ist die Aufgabe des Softwareteils abgeschlossen. Der nächste Schritt ist die physische Bedienung.

Zunächst müssen wir uns die Größe der physischen Metallplatte ansehen, die mit dem übereinstimmt, was wir verarbeiten. Dann wird die Metallplatte am Wasserstrahlschneiden Maschinen befestigt. Zu diesem Zeitpunkt sollte beachtet werden, dass die Position der Metallplatte mit der in der Software simulierten Position übereinstimmen muss.

Wenn dies alles erledigt ist, prüfen Sie den Zustand des Wasserschneiders, inclusiv Sandzufuhrvorrichtung, Hochdruckverstärker, Aufgrund dieses

Wasserstrahlschneidemaschinen sind die beiden Geräte voneinander getrennt.

Wenn die Hard- und Software fertig sind, kann man mit dem Schneiden beginnen.



Abb31: automatische Sandzufuhrvorrichtung<sup>[12]</sup>

Reduzieren Sie die Belastung des Maschinenträgers und sorgen Sie dafür, dass die Maschine ruhiger und präziser läuft.

Automatisches Schleifen für zwei Wasserstrahlschneider gleichzeitig

Beim Schleifen wird das Ventil nach dem automatischen Entlüften automatisch geöffnet, und der Bediener kann jederzeit Sand in den Sandeimer geben.



Abb32: Hochdruckverstärker<sup>[12]</sup>

## 6 Zusammenfassung

Das Wasserstrahl-Schneideverfahren ist ein umweltfreundliches, kaltes und hochpräzises Verfahren um fast alle Materialien zu trennen.

Man unterscheidet zwischen zwei Schneidverfahren, dem Reinwasserschneiden. Beim Reinwasserschneiden wird das Werkstück mit reinem Wasser getrennt. Durch die Wasserdüse mit nur 0,25 mm Durchmesser sind die Schnittspalte nur minimal. Beim Abrasivschneiden wird dem Wasser ein Schneidmittel, das sog. Abrasiv, zugefügt um die Schneidleistung zu erhöhen. Hierbei hat der Schneidestrahler 0,8 mm Durchmesser; es können damit dickere Materialien getrennt werden.

Ein großer Vorteil des Wasserstrahl-Schneideverfahren gegenüber den thermischen Trennverfahren ist, dass es kaum thermische Einflüsse im Material gibt. Dadurch entstehen keine Verformungen oder Verfärbungen, die Gratbildung wird minimiert. Außerdem eignet es sich dadurch im Gegensatz zum Laserschneiden auch zum Schneiden von gehärtetem Stahl.

Ein weiterer großer Vorteil des Wasserstrahl-Schneideverfahren ist, dass eine Vielzahl von Materialien wie z.B. Stahl, Titan, Gummi, Kunststoffe, Glas, Stein uvm.geschnitten werden können. Hierbei spielt die Dicke des Materials eine tragende Rolle.

Das Wasserstrahlschneiden kann nach dem Schneidprozess in 2D und 3D unterteilt werden. 2D-Wasserstrahlschneiden eignet sich für Ebene Schneiden, das heißt der Schnittwinkel ist 90 Grad festgelegt. 3D- Wasserstrahlschneiden eignet sich zum schneiden einiger dreidimensionale Form.

## Quelle

- [1] <https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstrahlschneiden>
- [2] Grundlagen der Fertigungstechnik4., aktualisierte Auflage; Birgit Awiszus, Jürgen Bast, Holger Dürr, Klaus-Jürgen Matthes(Hrsg.)
- [3] CNC-Handbuch 30., überarbeitete Auflage; Hans B. Kief, Helmut A. Roschiwal, Karsten Schwarz
- [4] Grundlagen der Fertigungstechnik4 S197-200., aktualisierte Auflage; Birgit Awiszus, Jürgen Bast, Holger Dürr, Klaus-Jürgen Matthes(Hrsg.)
- [5] <http://www.tkwaterjet.de/machines/standard-water-jet/pure-waterjet-machine.html>
- [6] <https://www.waterjetsweden.com/products/x-series>
- [7] [http://www.ridder.de/waricut\\_hwe.php](http://www.ridder.de/waricut_hwe.php)
- [8] Institut für Werkstoffkunde; Prof.Dr.-Ing.E.h.Dr.h.c.Fr.-W.Bach
- [9] Corinna Fath Anne te Kaat 2.Fachforum
- [10] <https://www.waterjetsweden.com/products/fivex>
- [11] <https://www.waterjetsweden.com/products/h-model>
- [12] <http://www.fsyuanli.net/product/sanzhou>
- [13] <http://www.fsyuanli.net/product/jinshu/61.html>
- [14] <http://image.baidu.com/search/index?tn=baiduimage&ct=201326592&lm=-1&cl=2&ie=gb18030&word=%C6%C1%B7%E7%C9%E8%BC%C6%CD%BC&fr=ala&ala=1&alatpl=adress&pos=0&hs=2&xthttps=000000>

## **Selbständigkeitserklärung zur Bachelorarbeit**

Hier versichere ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig verfasst und nur die angegebenen Literatur und Hilfsmittel benutzt habe.

Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Merseburg, 25.02.2019 Wenxin Qi