

AUSRICHTUNG DES BLECHZUSCHNITTES IN DER ABTEILUNG STAHLBAU DER ANDRITZ AG

Diplomarbeit

von

Markus Schreiber

In Zusammenarbeit mit



eingereicht am

Institut für Betriebswirtschaftslehre- und Betriebssoziologie

Technische Universität Graz

O. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. U. Bauer

Graz, im April 2011

DANKSAGUNG

Ich bedanke mich bei der Firma ANDRITZ AG, für die Möglichkeit, diese Diplomarbeit durchführen zu dürfen. Ganz besonders möchte ich Hrn. Ing. Karl Weinhofer danken, der mir diese Arbeit nicht nur nahe gelegt, sondern auch ermöglicht und mich während der Durchführung immer tatkräftig unterstützt hat. Des Weiteren gilt mein Dank Frau Marianne Schrempf und den Herren Dipl.-Ing. Markus Maier, Gerald Theussl, Gerald Fiebrich, Siegfried Wagner, Heimo Podbrečnik und Günther Slansek, die mir sämtliche Informationen zur Verfügung gestellt und mich weiters auch tatkräftig bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben.

Den Herren Dipl.-Ing. Dr.techn. Paul Pfleger und Dipl.-Ing. Jochen Kerschenbauer vom Institut für Betriebswirtschaftslehre- und Betriebssoziologie der Technischen Universität Graz danke ich recht herzlich für Ihre Unterstützung. Ohne ihren fachkundigen Beistand hätte sich die Erfüllung dieses Projektes als weitaus schwieriger gestaltet.

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....

(Unterschrift)

ZUSAMMENFASSUNG

Der Zuschnitt von Blechen erfolgt im Stahlbau der ANDRITZ AG durch drei Zuschnittanlagen. C-Stähle jeglicher Stärke werden mittels autogenem Brennschnitt getrennt und rostfreie Stähle durch Plasmastrahltechnologie. Hierbei werden Bleche bis 40 mm mittels Unterwasserplasma und über 40 mm mittels Trockenplasma geschnitten.

In den letzten Jahren verschlechterte sich die Auslastung der Anlagen, weshalb kaum positive Ergebnisse in der Abteilung Zuschnitt erzielt werden konnten. Eine Neuausrichtung wurde daher in der ANDRITZ AG angedacht. Zusätzliche Faktoren, die eine Neugestaltung nahe legen, sind das Alter der Anlagen und damit verbunden veraltete angewandte Technologien. Ausgehend von der derzeitigen Auslastungssituation und des Produktespektrums sollte nun untersucht werden, ob ein Zuschnitt in dieser Form noch weiter tragbar wäre. Des Weiteren sollten Alternativen gefunden und nach technologischen und wirtschaftlichen Kriterien bewertet werden.

Die Ausarbeitung und Dokumentation dieser Aufgabe hat nun gezeigt, dass eine Weiterführung in derzeitiger Konstellation zu keinem wirtschaftlich guten Ergebnis führen kann. Alternative Verfahren wie das Laserstrahl- bzw. Wasserstrahlschneiden wurden ebenso auf ihre Wirtschaftlichkeit untersucht. Diese müssen jedoch von der Möglichkeit eines Ersatzes aus folgenden Gründen ausgeschlossen werden: a) beim Laserstrahlschneiden werden die Verfahrensgrenzen zu schnell erreicht und b) beim Wasserstrahlschneiden kann aufgrund zu langer Prozesszeiten das benötigte Zuschnittpensum nicht bewältigt werden. Außerdem gewährleisten hohe Investitions- und Betriebskosten kein gutes wirtschaftliches Ergebnis. Eine Investition in solche Anlagen kann ausschließlich zur Erweiterung des Maschinenparks gesehen werden, was bei der derzeitigen Auslastung des Zuschnittes jedoch nicht zu empfehlen ist. Ein Verbleib bei den bereits eingesetzten Technologien, Autogen- und Plasmaschneiden, ist daher zu empfehlen. Dies obwohl durch eine Ersatz- bzw. Erweiterungsinvestition beim Autogenschneiden kaum ein technologischer bzw. ökonomischer Vorteil erzielt werden kann. Es kann jedoch die Anlagengröße auf den derzeitigen Zuschnittbedarf ausgelegt und andererseits die Komponenten auf den neuesten Stand der Technik gebracht werden. Auch was die Beeinflussung von Mensch und Umwelt durch Ausstoß diverser Emissionen anbelangt.

Aufgrund der Berechnungen ist eine Investition in die Unterwasserplasmaanlage als am Sinnvollsten zu erachten. Etwaige Neuinvestitionen in Plasmaanlagen würden sich durch sehr hohe Investitionskosten zu Buche schlagen. Hingegen kann mittels Generalüberholung dieser Anlage nicht nur der Investitionsaufwand in Grenzen gehalten, sondern auch der Maschinenpark von drei auf zwei Anlagen reduziert werden. Somit würde Raum in der betreffenden Halle für ein dringend benötigtes Restblechlager geschaffen. Auch die Schnittqualität könnte so für rostfreie Produkte gesteigert werden.

ABSTRACT

In the manufacturing department of ANDRITZ the cutting of steel parts out of plates is performed by thermal cutting machines. Carbon steels are cut by a gas cutting machine which is nearly 30 years old. Stainless steels are cut by two plasma arc cutting machines. The latest one was installed in 2001 and is able to cut steels of 40 mm thickness under water. Steels above 40 mm thickness are processed by a dry plasma arc cutting machinery from 1993.

In the last few years, the utilization of these three machines was spiral downwards and the cutting department did not gain any benefits. Furthermore, the applied parts are not state of the art. Hence, the whole equipment is questioned. Based on the utilization and the amount of pre-cut parts from 2010, the current situation should be evaluated. Is it possible to work profitable in the next few years in this constellation? Or should be invested in new machinery? If so, which are the reasonable alternatives?

The result of this study showed that in case of the present situation the cutting department is not able to realize any profits. So, it is time for a change. But evaluated alternatives like laser cutting or water jet cutting are not able to deal with the mass of cutting. Therefore, these alternative equipments may rather be seen as an enhancement of the current machinery than a replacement. Yet, the company ANDRITZ is not able to enhance its portfolio of machines in the current economic situation. Also, the costs of investment and operation are comparatively high compared to other cutting technologies.

Reasonable options for cutting jobs in ANDRITZ are the gas- and plasma arc cutting technology. Newer gas cutting systems do not have serious advantages over the existing ones. Yet, the use of a smaller table will generate a lot of space, which may be used for storage. Importantly, an investment in a gas cutting machine may result in less impact of the environment and the people in the production area. The economically advantage, however, is not very high. For this evaluation, the best and cheapest way to restructure the cutting department is an overhauling of the existing underwater plasma arc cutting machine. Spending costs are comparably low and benefits respectable. It may be suggested to drop out the unprofitable dry plasma arc cutting machine thereby generating more space. Also the quality of the cutting jobs of stainless steels could be increased due to improved development of the new parts.

INHALTSVERZEICHNIS

DANKSAGUNG	I
EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	II
ZUSAMMENFASSUNG	III
ABSTRACT	IV
1 EINLEITUNG	1
1.1 DAS UNTERNEHMEN.....	1
1.2 DAS PROBLEM.....	3
1.3 DAS ZIEL	3
1.4 DIE AUFGABENSTELLUNG.....	3
2 TECHNISCHE GRUNDLAGEN	5
2.1 THERMISCHE TRENNVERFAHREN.....	5
2.1.1 Autogenschneiden.....	7
2.1.2 Plasmaschneiden.....	9
2.1.2.1 Plasmabildende Medien	11
2.1.2.2 Verfahrenstechniken.....	12
2.1.2.3 Voraussetzungen für einen perfekten Plasmaschnitt	15
2.1.3 Laserstrahlschneiden	17
2.2 SPANENDE TRENNVERFAHREN.....	20
2.2.1 Wasserstrahl-Abrasivschneiden.....	21
2.3 VERGLEICH DER TRENNVERFAHREN	24
2.3.1 Anwendungsgrenzen.....	25
2.3.2 Schnittqualitäten.....	26
2.3.2.1 Fugenform	26
2.3.2.2 Maß- und Formtoleranz	27
2.3.2.3 Rauigkeit der Schnittflächen.....	28
2.3.3 Vor- bzw. Nachteile der Verfahren	29
3 WIRTSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN	31
3.1 EINFÜHRUNG IN DIE INVESTITIONSRECHNUNG.....	31
3.2 AUFGABEN DER INVESTITIONSRECHNUNG	32
3.3 SCHWACHSTELLEN IM INVESTITIONSBEREICH.....	33
3.4 INVESTITIONSPLANUNG	35
3.5 INVESTITIONSRECHENVERFAHREN	37

3.5.1	Statische Verfahren.....	37
3.5.2	Dynamische Verfahren.....	38
3.6	AUSWAHL INVESTITIONSRECHENVERFAHREN.....	39
4	DARSTELLUNG DER IST – SITUATION	40
4.1	DIE ANLAGEN	40
4.1.1	I: ESAB SUPRAREX SXE-P3 6500 (BJ 2001).....	41
4.1.2	II: ESAB NUMOREX NXB-P7500 (BJ1982/1996).....	42
4.1.3	III: ESAB SUPRAREX SXE-P4000 (BJ 1993).....	43
4.2	DIE SOFTWARE.....	44
4.3	DIE AUSLASTUNG	45
4.4	DIE BELEGUNG	49
4.5	DIE KOSTENANALYSE.....	51
5	ENTWICKLUNGSSZENARIOEN DES ZUSCHNITTES	54
5.1	BEST CASE – SZENARIO	54
5.2	WORST CASE – SZENARIO	55
5.3	REALISTISCHES SZENARIO.....	55
6	DARSTELLUNG DER ALTERNATIVEN	57
6.1	ANGEBOTE	57
6.1.1	Plasmaschneiden.....	57
6.1.1.1	Retrofit UW-Plasma (ESAB Suprarex SXE-P3 6500)	57
6.1.1.2	Neue Tr.–Pl. Anlage (MESSER OmniMat L 5000)	57
6.1.2	Autogenschneiden.....	58
6.1.2.1	Retrofit Autogen – Anlage (ESAB Numorex NXB-P7500).....	58
6.1.2.2	Retrofit Autogen – Anlage inkl. Plasma Aggregat	58
6.1.2.3	Neue Autogen – Anlage (ESAB Suprarex SXE 4000).....	59
6.1.2.4	Neue Autogen – Anlage (MESSER MultiTherm 4000).....	59
6.1.3	Wasserstrahlschneiden.....	60
6.1.3.1	Fa. STM (HB 12030 PREMIUM)	60
6.1.3.2	Fa. INNOMAX (OMAX 120x63 Jet Machining Center).....	60
6.1.4	Laserstrahlschneiden	61
6.1.4.1	Fa. PRIMA (ZAPHIRO MIT CV5000)	61
6.2	INVESTITIONSVARIANTEN.....	61
7	VERGLEICH DER MÖGLICHEN VARIANTEN	63
7.1	SCHNITTGESCHWINDIGKEITSVERGLEICH.....	63
7.1.1	Rostfreier Stahl.....	63
7.1.2	C-Stahl	64
7.2	KOSTENVERGLEICH.....	66

7.2.1	Schnittmeterkosten.....	67
7.2.1.1	Generelle Annahmen bzw. Festlegungen	67
7.2.1.2	Das Berechnungsschema	73
7.2.1.3	Auswertung der Berechnungen	75
7.2.2	Schnittmeterkosten (konkretes Beispiel).....	78
7.2.2.1	Generelle Annahmen bzw. Festlegungen	78
7.2.2.2	Das Berechnungsschema	79
7.2.2.3	Auswertung der Berechnungen	81
7.2.3	Komplettbearbeitung (Zuschnitt + mechanische Bearbeitung).....	83
7.2.4	Einfluss der Entwicklungsszenarien auf die Kosten.....	86
7.3	NÖTIGE AUSLASTUNG FÜR BREAK EVEN.....	88
7.3.1	Einfluss der Entwicklungsszenarien auf den BE-Punkt.....	91
7.4	RISIKOABSCHÄTZUNG MITTELS STATISCHER AMORTISATION	92
7.4.1	Retrofit.....	94
7.4.2	Neuanlagen – einzeln betrachtet.....	94
7.4.3	Investitionsvarianten.....	95
7.5	LOHNSCHNITT IM VERGLEICH MIT EIGENFERTIGUNG	96
7.5.1	Lohnfertigungsbetriebe.....	96
7.5.2	Vergleich anhand eines konkreten Beispiels.....	98
8	BEWERTUNG DER INVESTITIONSARIANTEN.....	101
9	ERGEBNIS DER STUDIE	105
9.1	RAHMENBEDINGUNGEN	105
9.2	WENIGER EMPFEHLENSWERTE VARIANTEN	105
9.2.1	Laserstrahlschneiden	105
9.2.2	Wasserstrahlschneiden	105
9.3	EMPFEHLUNG	106
9.3.1	Plasmaanlagen.....	106
9.3.2	Autogenanlagen	107
9.4	ZUSAMMENFASSUNG.....	108
	LITERATURVERZEICHNIS	109
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	110
	TABELLENVERZEICHNIS	112
	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	113

1 EINLEITUNG

1.1 DAS UNTERNEHMEN¹

„Die ANDRITZ – Gruppe ist einer der weltweit führenden Lieferanten von kundenindividuell maßgeschneiderten Anlagen, Systemen bzw. Dienstleistungen in den Bereichen Wasserkraft, Zellstoff- und Papierindustrie, der Stahlindustrie sowie anderen Spezialindustrien (Fest-Flüssig-Trennung, Futtermittel und Biomasse)“. Sie besteht aus mehr als 120 Produktions- und Service-Gesellschaften weltweit mit Stammsitz in Graz. Für das Unternehmen sind insgesamt ca. 14.700 Mitarbeiter tätig (Stand per 31. Dezember 2010).

Der Unternehmenserfolg der Gruppe setzt sich wie folgt aus den einzelnen Geschäftsbereichen zusammen (Anteil an Auftragseingängen).

HYDRO	~ 40 – 50 %
PULP & PAPER	~ 30 – 35 %
METALS	~ 10 %
ENVIRONMENT & PROCESS	~ 10 %
FEED & BIOFUEL	~ 5 %

Der Geschäftsbereich HYDRO bietet sowohl elektromechanische Komplettlösungen sowie Dienstleistungen für Wasserkraftanlagen an. Zusätzlich umfasst das Produktespektrum noch die Herstellung von Pumpen und Komponenten der Weltraumtechnik.

PULP & PAPER entwickelt und produziert Systeme zur Herstellung von nahezu allen Arten von Zellstoff für die Produktion von Papier, Karton und Faserplatten. Auch Spezialanlagen zur Herstellung von *Tissuepapier* werden in dieser Sparte entwickelt.

Der Bereich METALS liefert Systeme zur Herstellung von Kalt- und Warmband aus Kohlenstoffstahl, Edelstahl und Nichteisenmetallen ebenso wie Regenerations- und Oxidanlagen. Des Weiteren werden hier Anlagen für Stanz- und Umformtechnik angeboten.

Die Sparte ENVIRONMENT & PROCESS beschäftigt sich hauptsächlich mit der Fest/Flüssig-Trennung und bietet auf diesem Sektor neben Technologien und Produkten auch Dienstleistungen an.

FEED & BIOFUEL bietet schließlich Systeme zur industriellen Tierfutter- und Spezialfutterherstellung an. Darüber hinaus nimmt diese Sparte noch eine führende Rolle bei Systemen zur Herstellung von Holzpellets ein.

¹ Vgl. <http://www.andritz.com> (03.03.2010)

Meilensteine des Unternehmens²

- 1852 – 1900** Gegründet wird das Unternehmen im Jahre 1852 als Eisengießerei von Josef Körösi aus der sich schließlich die heutige ANDRITZ AG entwickelt hat. Kurz nach der Gründung umfasst das Produktions-Portfolio bereits größere Investitionsgüter wie Kräne, Pumpen, Wasserturbinen, Dampfkessel und weitere Produkte.
- 1900 – 1946** Aufgrund der beiden Weltkriege und der Weltwirtschaftskrise in den 1930er Jahren stand die Produktion in ANDRITZ still.
- 1946 – 1980** Nach Wiederaufnahme der Produktion startete ANDRITZ 1949 die Zusammenarbeit mit der Schweizer Escher Wyss – Gruppe. Die Zusammenarbeit betrifft zunächst nur den Bereich Wasserturbinen, doch sehr bald startete man mit der Produktion von kompletten Papiermaschinen.
- 1980 – 1990** Die AGIV AG, eine Investmentfirma mit Sitz in Deutschland, erwirbt die Mehrheit von ANDRITZ. Das Unternehmen beginnt sich neu auszurichten und wird vom Lizenznehmer anderer Maschinenhersteller zum international führenden Anbieter von High-Tech-Produktionssystemen.
- Seit 1990** Mit dem Erwerb des US-Maschinenbauunternehmers Sprout-Bauer beginnt die ANDRITZ – Gruppe mit ihrer erfolgreichen Expansionspolitik. Seitdem bildet neben dem organischen Wachstum die Akquisition von Unternehmen eine wichtige Komponente des Unternehmenswachstums.
- 1999** Die AGIV AG verkauft ihren Anteil an ANDRITZ an ein Konsortium von Finanzinvestoren. Darunter befindet sich auch die von Dr. Wolfgang Leitner (ANDRITZ Vorstandsvorsitzender) gegründete CUSTOS Privatstiftung.
- 2001** Börsegang an der Wiener Börse.
- 2003** *Secondary placing* von ANDRITZ Aktien an der Wiener Börse.

² Vgl. <http://www.andritz.com> (07.03.2010)

1.2 DAS PROBLEM

Im Fertigungsbetrieb der ANDRITZ AG, Standort Graz, Abteilung Stahlbau befinden sich zurzeit drei Blechzuschnittanlagen in Betrieb. Dies sind Anlagen für den Zuschnitt von C-Stahl bis 300 mm Blechstärke und für rostfreie Werkstoffe bis 120 mm.

Der wirtschaftliche Betrieb dieser Anlagen bzw. deren Auslastung ist aufgrund der derzeitigen Sicht des Kosten- und Stundenmonitorings anzuzweifeln. Zudem ist fraglich, ob sich diese Anlagen auf dem derzeitigen Stand der Technik befinden bzw. den künftigen Anforderungen entsprechen und sich mit modernen Werkstoffen wie Duplex oder Super-Duplex ein optimales Ergebnis erzielen lässt.

Des Weiteren wird für die Schachtelplanung der Bleche ein bereits älteres System verwendet, mit dem ausschließlich manuell geschachtelt werden kann. Diese Software wurde bereits in den 80er Jahren speziell für ANDRITZ entwickelt und wurde im Laufe der Zeit an die steigenden Anforderungen des Zuschnittes angepasst.

1.3 DAS ZIEL

Ziel dieser Arbeit ist es eine detaillierte Darstellung der derzeitigen Situation im Zuschnitt aufzuzeigen. Ausgehend davon stellt sich dann die Frage, ob mit dieser Konstellation in Zukunft ein Unternehmenserfolg erzielt werden kann oder nicht.

Ebenso sollen mehrere Varianten einer Neukonstellation dieser Abteilung in Hinblick auf Neuanschaffungen bzw. Aufrüstungen der bestehenden Anlagen ausgearbeitet werden. Diese Ausarbeitungen sollen sowohl einen technischen als auch einen ökonomischen Vergleich möglich machen. Ausgehend davon soll den Entscheidungsträgern des Unternehmens die Beurteilung der derzeitigen Situation ermöglicht und die Festlegung der künftigen Investitionsstrategie erleichtert werden.

1.4 DIE AUFGABENSTELLUNG

Im ersten Schritt soll die bestehende Situation erfasst werden. Wie viele Stunden wurden in den letzten Jahren je Maschine verrechnet bzw. welche Materialien und vor allem welche Materialstärken wurden geschnitten? Das Produktportfolio des Werkes Graz der ANDRITZ AG unterliegt einem ständigen Wechsel. Daher ist es auch sinnvoll die Entwicklung der zu schneidenden Materialien der nächsten Jahre zu untersuchen. Das heißt: Welcher Bedarf an Zuschnitten wird in den kommenden Jahren auf den Stahlbau zukommen und werden die bestehenden Anlagen diesen Herausforderungen auch gerecht?

Im nächsten Schritt soll die optimale Auslastung der einzelnen Maschinen ermittelt werden. Wie viele Stunden müssten erzielt werden, damit der Zuschnitt ein positives Ergebnis

erreichen kann? Ebenso die Schnitttauglichkeit von modernen Werkstoffen soll überprüft werden. Sind die bestehenden Anlagen in der Lage künftigen Anforderungen gerecht zu werden, bzw. sind alternative Verfahren dazu besser in der Lage?

Ausgehend von der derzeitigen Situation sollen dann Alternativen ermittelt werden, mit denen man die Abteilung Zuschnitt neu ausrichten könnte.

Abschließend soll ein wirtschaftlicher Vergleich zwischen bestehenden Anlagen und ausgearbeiteten Alternativen angestellt werden. Welche Variante ist für die Neuausrichtung des Zuschnittes am ehesten geeignet? Auch muss die Möglichkeit eines reinen Zukaufs bzw. einer Kombination aus Eigenfertigung und Zukauf in Betracht gezogen werden.

2 TECHNISCHE GRUNDLAGEN

2.1 THERMISCHE TRENNVORFAHREN³

Die thermischen Trennverfahren werden nach dem Ordnungssystem der Fertigungsverfahren nach DIN 8580 unter dem Begriff „Thermisches Abtragen“ geführt. Nach DIN 2310 Teil 6 werden diese schließlich nach weiteren Gesichtspunkten aufgeschlüsselt und eingeteilt.

Eine solche Einteilung der thermischen Schneidverfahren kann nun nach folgenden Gesichtspunkten vorgenommen werden⁴:

- Nach der Art des von außen auf das Werkstück einwirkenden Energieträgers
- Nach der Physik des Schneidvorganges
- Nach dem Grad der Mechanisierung
- Nach der Anordnung des Wasserbades

Die Trennverfahren werden nach der Art des von außen einwirkenden Energieträgers auf das Werkstück in drei Hauptgruppen eingeteilt. Diese Energieträger können sein: Gase, elektrische Gasentladung und Strahlen. Die weitere Untergliederung erfolgt nach den physikalischen Vorgängen beim Schneiden. Hierbei wird zwischen dem Brenn-, Schmelz- und Sublimierschneiden unterschieden. Beim Brennschneiden wird das Material zum größten Teil oxidiert (verbrannt) und die entstehenden Rückstände durch den Gasstrahl ausgeblasen. Hingegen wird beim Schmelzschnneiden der Werkstoff nur aufgeschmolzen und ausgetrieben wird er wiederum durch die kinetische Energie des Gasstrahles. Beim Sublimierschneiden wird das Material verdampft und durch Expansion der entstehenden Gase bzw. den Gasstrahl ausgetrieben.

Beim Grad der Mechanisierung kann zwischen Handschneiden, teilmechanischen, vollmechanischen bis hin zum vollautomatischen Schneiden unterschieden werden. Auch der Einsatz von Wasserbädern ist möglich. Hierbei können die Anwendungen unterteilt werden, zwischen:

- Schneiden über Wasser
- Schneiden auf Wasser
- Schneiden unter Wasser

³ Vgl. Böhme/Hermann (1992), S. 73 ff

⁴ Vgl. DIN 2310 – Teil 6 (2003), S. 5

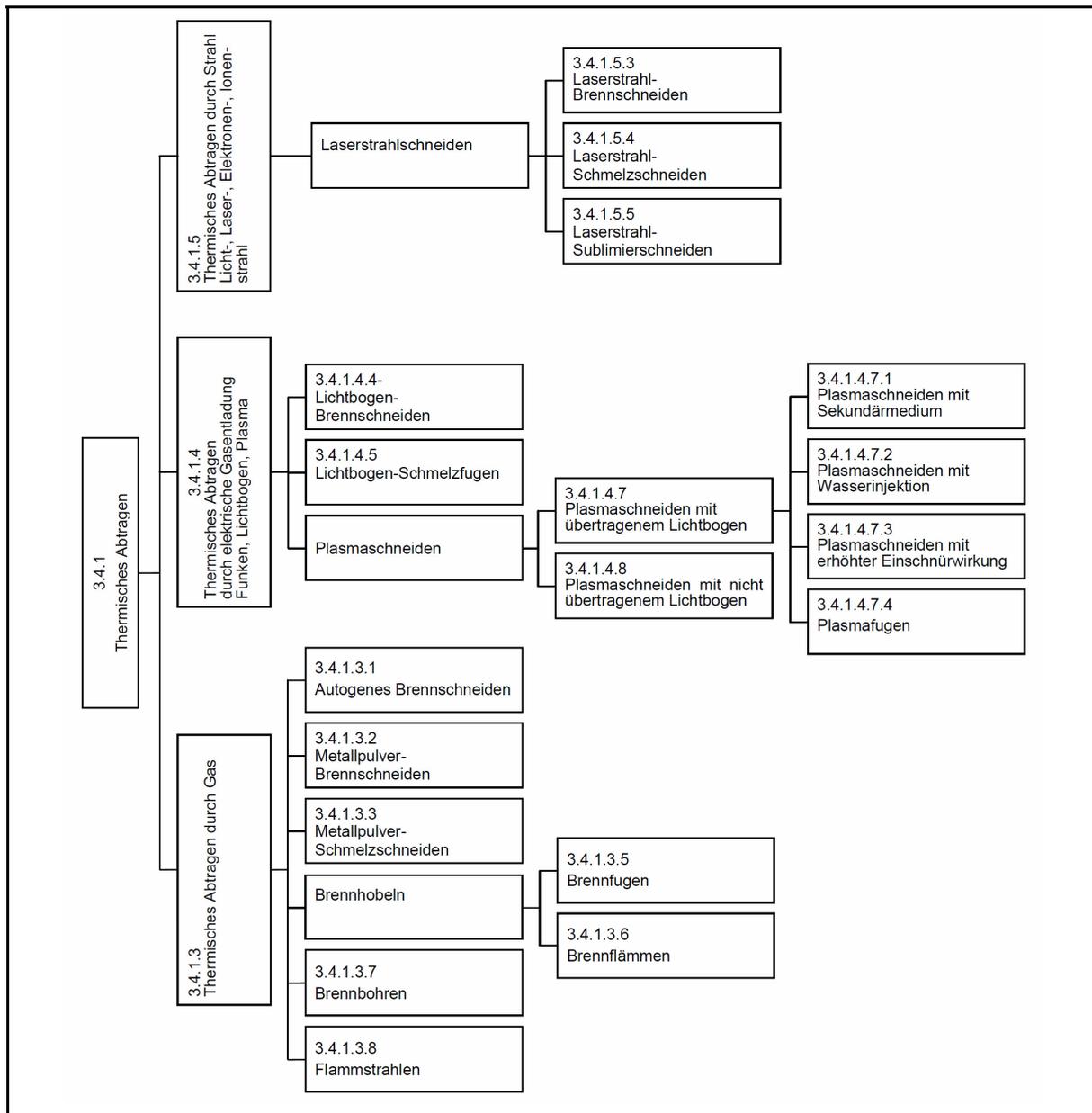


Abbildung 2-1 Einordnung der Verfahren zum thermischen Schneiden⁵

Im Fertigungsprozess von Metallverarbeitenden Betrieben werden thermische Trennverfahren zum Ausschneiden bestimmter Bauteilgeometrien und zur Vorbereitung von Schweißkanten eingesetzt. Dabei haben sie einen sehr hohen Stellenwert erreicht, da durch diese Verfahren nicht nur gerade Schnitte, sondern jegliche kurvenförmige Konturformen möglich sind. Auch aufgrund der guten Maßhaltigkeit und der qualitativ guten Schnittkanten erreichen diese Verfahren immer mehr an Bedeutung. Vor allem autogene Brennschnitte, welche durchaus bereits mit mechanischen Bearbeitungsverfahren vergleichbar sind. Zusätzlich sind sie sehr gut mechanisier- und auch automatisierbar, was sie besonders für Serienproduktionen interessant macht.

⁵ Quelle: DIN 2310 – Teil 6 (2003), S. 17

2.1.1 AUTOGENSCHNEIDEN

Die grundlegende Erfindung des autogenen Brennschneidens geht bis in das Jahr 1902 zurück. Jedoch wurde speziell in den letzten Jahrzehnten die Entwicklung der mechanisierten Brennschneidmaschinen, der Schneiddüsen und der Werkzeuge enorm vorangetrieben. Qualitativ können somit die erreichten Schnittkanten durchaus mit den Ergebnissen klassischer mechanischer Werkzeugmaschinen mithalten. Mittels Brennschneidtechnologie ist es möglich, Stähle bis zu 3000 mm Stärke zu trennen. Maschinenschnitte werden üblicherweise jedoch nur bis 300 mm Materialstärke ausgeführt, um definierte Qualitäten erreichen zu können.⁶

Technische Grundlagen⁷

Beim autogenen Brennschneiden (Abbildung 2-2) wird der zu schneidende Werkstoff durch eine Flamme, bestehend aus einem Brenngas/Sauerstoff – Gemisch, erwärmt. Diese sogenannte Heizflamme hat die Aufgabe, das Material auf Zündtemperatur aufzuheizen (ca. 1200°C) und sie durch Ersetzen der abgeleiteten Wärme auch auf diesem Temperatur-Niveau zu halten. Weiters soll die Heizflamme den Schneidsauerstoffstrahl anwärmen, ihn stabilisieren und zusätzlich vor Umgebungseinflüssen schützen.

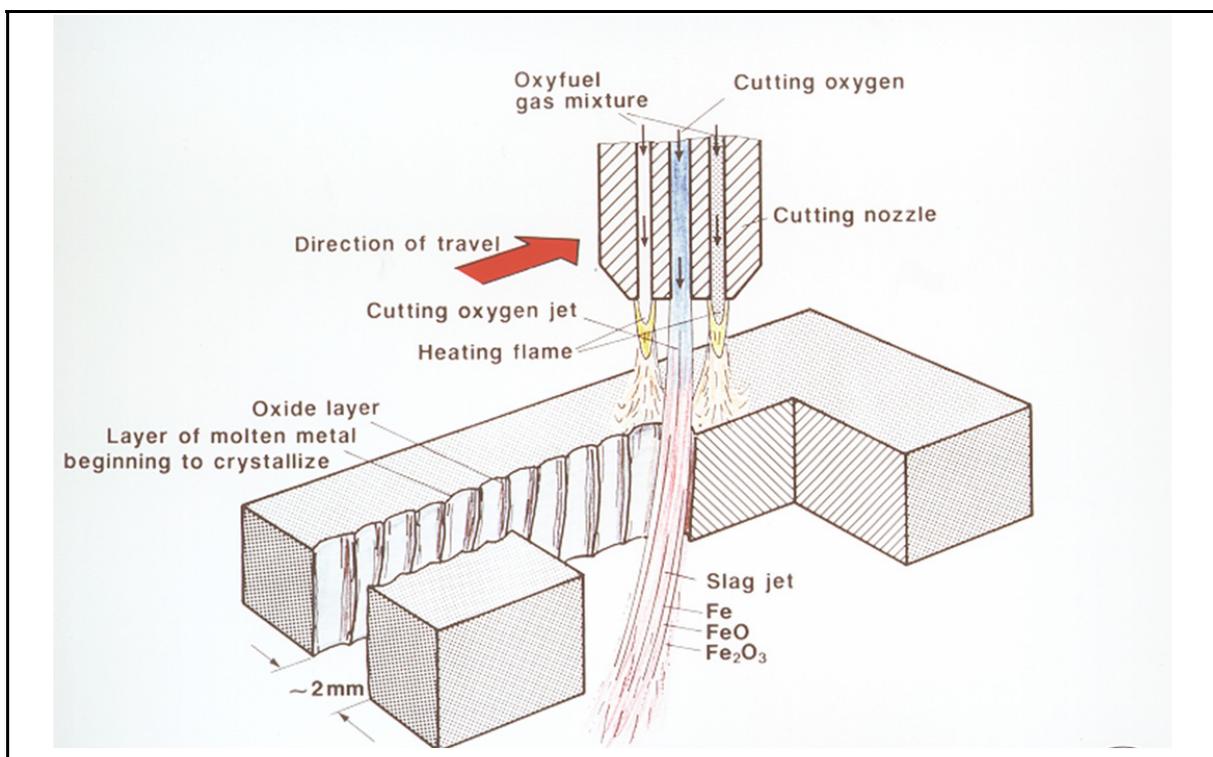


Abbildung 2-2 Autogener Brennschneidvorgang (schematisch)⁸

⁶ Vgl. Böhme/Hermann (1992), S. 75

⁷ Vgl. Böhme/Hermann (1992), S. 75 ff

⁸ Quelle: ESAB, Nübel/Carlsson - Unternehmenspräsentation

Ist die Zündtemperatur erreicht, wird der Schneidsauerstoffstrahl zugeschaltet und der Werkstoff oxidiert. Dieser Vorgang läuft exotherm ab, da bei der Reaktion von Eisen mit Sauerstoff zu Eisenoxid Wärme freigesetzt wird. Dadurch wird eine fortlaufende Verbrennung sowohl in die Tiefe als auch in Schneidrichtung gewährleistet, wobei der Großteil der zur Verbrennung notwendigen Energie vom Werkstoff selbst geliefert wird.

Die entstehende Schneidschlacke wird schließlich durch die hohe kinetische Energie des Schneidsauerstoffstrahles aus der Schnittfuge ausgetragen.

Um diesen chemisch-physikalischen Ablauf gewährleisten zu können, muss der zu schneidende Werkstoff jedoch einige Voraussetzungen erfüllen:

- Das Material muss im Sauerstoffstrom verbrennbar sein.
- Die Zündtemperatur muss kleiner als die Schmelztemperatur sein.
- Die Schmelztemperatur der Oxide muss kleiner als die Schmelztemperatur des Werkstoffes sein.
- Oxide müssen dünnflüssig sein.
- Der Werkstoff sollte eine geringe Wärmeleitfähigkeit besitzen.

Reines Eisen würde diesen Anforderungen optimal entsprechen, jedoch sinkt bei Stählen mit steigendem Gehalt an Kohlenstoff und Legierungsbestandteilen die Schneidbarkeit. Daher sind zu den schneidbaren Materialien nur un- und niedrig-legierte Stähle zu zählen. Titan und Titanlegierungen bilden hier jedoch eine Ausnahme und können auch mittels autogenen Brennschnitts getrennt werden.

Tabelle 2-1 gibt nun die oberen Grenzgehalte der Legierungselemente wieder, bei denen Stahl noch brennschneid-geeignet ist.

Tabelle 2-1 Brennschneideignung von Stahl in Abhängigkeit von den Legierungselementen⁹

Legierungselement	oberer Grenzgehalt	
Kohlenstoff	bis	1,6%
Silizium	bis	2,5% bei max. 0,2% C
Mangan	bis	13,0% und 1,3% C
Chrom	bis	1,5%
Wolfram	bis	10,0% und 5,0% Cr, 0,2% Ni, 0,8% C
Nickel	bis	7,0% bzw. bis 35% bei mind. 0,3% C
Molybdän	bis	0,8% bei höheren Anteilen W, Cr, C jedoch nicht geeignet
Kupfer	bis	0,7%

⁹ Quelle: Böhme/Hermann (1992), S. 77

Die hier erwähnten Legierungsbestandteile beeinflussen mit steigendem Gehalt aber nicht nur die Schneidbarkeit, sondern können auch aufgrund der erforderlichen Aufheizung zu unerwünschten Nebenerscheinungen wie Aufhärtungen, Eigenspannungen und Rissen im Bereich der Schnittfuge führen.

2.1.2 PLASMASCHNEIDEN

Das Plasma – Schmelzschnneiden, kurz Plasmaschneiden genannt, wurde etwa 1955 erstmals für industrielle Zwecke eingeführt und stieg seither zum meistverwendeten Trennverfahren der Stahlindustrie auf. Ursprünglich wurde dieses Verfahren nur dort eingesetzt, wo die Verfahrensgrenzen des autogenen Brennschneidens erreicht waren. Dies gilt vor allem für hochlegierte Stähle sowie für Leicht- und Buntmetalle. Jedoch wird es mittlerweile auch zum Schneiden von un- und niedrig-legierten Stählen im unteren Blechdickenbereich eingesetzt. In diesem Bereich gewinnt Plasmaschneiden auch immer mehr an Bedeutung, da aufgrund der hohen Schnittgeschwindigkeit und der geringeren thermischen Belastung ein wirtschaftlich besseres Ergebnis erzielt werden kann. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass dieses Verfahren heutzutage zum Schneiden von allen leitenden Materialien eingesetzt wird.¹⁰

Technische Grundlagen¹¹

Beim Plasmaschneiden wird durch Einschnürung eines Lichtbogens ein Plasmastrahl mit sehr hoher Temperatur und kinetischer Energie erzeugt, welcher das zu schneidende Material aufschmilzt, teilweise verdampft und sprühregenartig ausbläst, wodurch die Schnittfuge entsteht. Anders als beim autogenen Brennschneiden, bei dem der Großteil der benötigten Energie durch exotherme Reaktion vom Werkstoff selbst stammt, wird beim Plasmaschneiden die benötigte Energie extern zugeführt. Es entsteht also keine zusätzliche Verbrennungswärme. Dadurch ist die maximal schneidbare Dicke auch mit 150 mm begrenzt. Das Funktionsprinzip dieses Prozess ist also nahezu unabhängig hinsichtlich der Eigenschaften des Werkstoffes. Einzig eine elektrische Leitfähigkeit muss gegeben sein, da beim Plasmaschneiden mit übertragenem Lichtbogen gearbeitet wird. Somit sind also jegliche Metalle geeignet zum Plasmaschneiden.

Prinzipiell gibt es beim Plasmaschneiden verschiedene Möglichkeiten der elektrischen Anordnung von Anode und Kathode zur Erzeugung des elektrisch eingeschnürten Lichtbogens. Wobei jede dieser Möglichkeiten eine eigene Brennerbauweise benötigt.

¹⁰ Vgl. Böhme/Hermann (1992), S. 112

¹¹ Vgl. Böhme/Hermann (1992), S. 115 ff

- Übertragener Lichtbogen
- Nicht übertragener Lichtbogen
- Kombination von übertragenem und nicht übertragenem Lichtbogen

Beim „übertragenen Lichtbogen“ wird an der Wolframelektrode die Kathode und am Werkstück die Anode angelegt. Das zu schneidende Material liegt also im Stromkreis und muss daher auch elektrisch leitend sein. Der Lichtbogen brennt dabei von der Wolframelektrode durch die Düse zum Werkstück.

Beim „nicht übertragenen Lichtbogen“ befindet sich das Werkstück nicht im Stromkreis des Systems. Hier wird wiederum an der Elektrode die Kathode angelegt, wobei nun die einschnürende Düse die Rolle der Anode übernimmt. Es können dadurch sowohl elektrisch leitende als auch nicht leitende Materialien wie Kunststoff geschnitten werden.

Eine Kombination dieser beiden Verfahren wird durch eine entsprechende elektrische Schaltung möglich.

Für das Plasmaschneiden kommt vor allem die Methode mit „übertragenem Lichtbogen“ zur Anwendung wie sie in Abbildung 2-3 dargestellt ist.

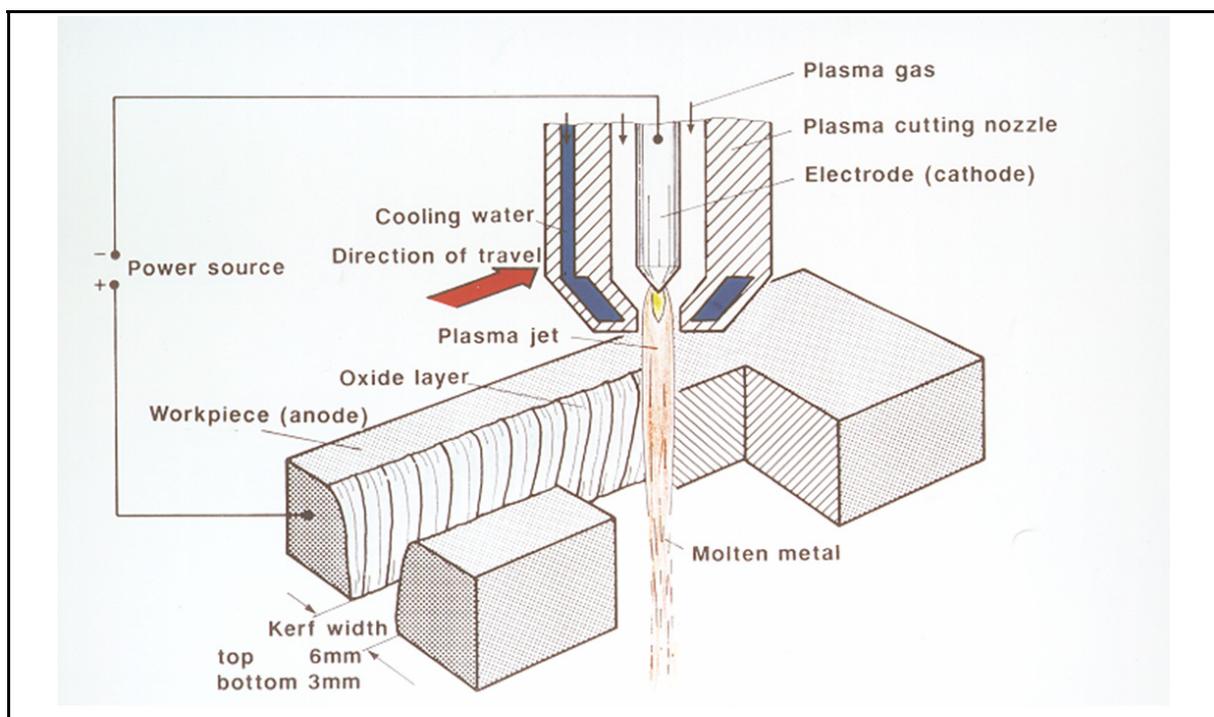


Abbildung 2-3 Plasmaschneidvorgang (schematisch)¹²

Um ein sicheres Zünden des Hauptlichtbogens zu gewährleisten und die thermische Belastung auf das Material zu verringern, wird mit einem sogenannten „Pilotlichtbogen“ gearbeitet. Dies ist ein energiearmer Hilfslichtbogen, welcher zwischen Elektrode und Düse

¹² Quelle: ESAB, Nübel/Carlsson – Unternehmenspräsentation; Vgl. auch Dilthey (2006), S. 238

gezündet wird. Dieser bewirkt, dass das durch die Düse strömende Plasmagas teilweise ionisiert wird und somit eine elektrische Verbindung zum Werkstück herstellt. Durch den zunehmenden Ionisierungsgrad des Plasmagases wird der elektrische Widerstand zwischen Elektrode und Werkstück irgendwann kleiner als jener zwischen Elektrode und Düse. Damit kommt es schließlich zu einem selbstständigen überspringen des Hauptlichtbogens welcher dann von der Elektrode durch die Düse zum Werkstück brennt. Das Plasmabildende Gas erreicht hierbei Temperaturen von 10.000 – 30.000 K. Geringer Gasverbrauch kann dabei durch schlanke Feinstrahlbrenner erreicht werden, mit denen auch hohe Schnittgeschwindigkeiten und hohe Qualitäten möglich sind.

Prinzipiell bestehen Plasmaschneidanlagen aus einer Stromquelle, der Steuerung, Brennern und diversen Einrichtungen zum Führen des Brenners. Die Stromquelle bildet hierbei das Kernstück der Anlage und ist in der Regel eine stufenlos einstellbare, transduktorgesteuerte Gleichstromquelle mit stark fallender statischer Kennlinie. Je nach Ausführung können solche Anlagen bis zu 100 kW Leistung haben und Stromstärken von bis zu 600 A und Spannungen bis über 100 V abgeben.¹³

2.1.2.1 Plasmabildende Medien¹⁴

Für den Betrieb einer Plasmaschneidanlage können nun verschiedene Medien zur Erzeugung der Plasmasäule eingesetzt werden. Die Wahl des richtigen Gases spielt dabei eine wesentliche Rolle, um qualitativ und wirtschaftlich gute Ergebnisse liefern zu können. Ausschlaggebende Kriterien bilden hierbei die chemischen Eigenschaften der Medien. Sie sollten eine hohe Wärmeleitfähigkeit, hohes Atomgewicht bzw. hohe Molekularmasse aufweisen, um möglichst viel kinetische Energie auf die Schmelze übertragen zu können.

Grundsätzlich werden folgende Medien eingesetzt:

- Pressluft
- Sauerstoff
- Stickstoff
- Argon – Wasserstoff
- Aber auch Wasser

¹³ Vgl. Dillthey (2006), S. 239

¹⁴ Vgl. Böhme/Hermann (1992), S. 119 ff

2.1.2.2 Verfahrenstechniken¹⁵

Das Plasmaschneiden kann in verschiedenen Varianten durchgeführt werden. Gemeinsam ist allen, dass der Plasmalichtbogen von einer nichtabschmelzenden Elektrode durch eine Düse zum Werkstück brennt. Die einschnürende Wirkung wird hierbei durch die Form der Düse erzielt. Unterschiede ergeben sich aber durch die Art der Elektrode bzw. des Plasmagases und die mögliche Anwendung von Wasser.

Argon–Wasserstoff–Stickstoff–Plasmaschneiden

Dieses Verfahren, auch „Spitzenelektrodentchnik“ genannt, arbeitet mit spitzen zylindrischen Wolframelektroden, deren Durchmesser je nach Brenner und Leistungsaufnahme zwischen 3 und 8 mm liegen. Durch die Form der Elektrodenspitze ergibt sich eine hohe Energiedichte bei relativ geringem spezifischen Stromverbrauch und hohen Schnittgeschwindigkeiten. Dadurch können Werkstücke mit vergleichsweise großen Blechstärken geschnitten werden. Verzüge halten sich hierbei durch die hohen Geschwindigkeiten und der dadurch geringen spezifischen Wärmeeinbringung in Grenzen.

Als Plasmagas wird hauptsächlich ein Gemisch aus Argon–Wasserstoff verwendet. Üblich sind jedoch auch Argon–Stickstoff und Argon–Wasserstoff–Stickstoff Gemische.

Mit diesem Verfahren können hochlegierte Chromnickelstähle, hochwarmfeste und plattierte Stähle sowie Gusseisen, Aluminium, Kupfer, Zink und deren Legierungen geschnitten werden.

Druckluft–Plasmaschneiden, Sauerstoff–Plasmaschneiden

Bei diesem Verfahren kommt das günstigste Plasmagas „Luft“ zur Anwendung. Jedoch kann durch die Anwesenheit von Sauerstoff nicht die übliche Wolframelektrode verwendet werden, sondern es kommen flache, gut gekühlte Kupfer- oder Wolframstifte mit eingearbeiteten Zirkoniumscheiben zum Einsatz. Die Leistungsaufnahme dieser Brenner ist jedoch auf 30 kW begrenzt, wodurch nur Materialien bis zu einer Stärke von 30 mm geschnitten werden können. Auch die Lärm- und Schadstoffbelastung ist durch solche Anlagen relativ hoch, wodurch leistungsstarke Absaug- und Filteranlagen einzusetzen sind. Dem gegenüber stehen jedoch hohe Schneidgeschwindigkeiten und Qualitäten. Vor allem durch die Feinstrahl–Plasmaschneidtechnologie können bei Baustählen geringer Stärke hervorragende Ergebnisse hinsichtlich Rechtwinkeligkeit, Neigung und Rauhtiefe der Schneidkanten erzielt werden.

Wasser–Injektion (WIPC), Unterwasserplasmaschneiden

Beim Wasser–Injektion–Plasmaschneiden wird zwischen Plasmastrahl und Düseninnenwand ein Wasserstrahl tangential eingespritzt. Verwendet werden für dieses Verfahren

¹⁵ Vgl. Böhme/Hermann (1992), S. 122 ff

üblicherweise Flächenelektroden, aufgrund der wesentlich höheren Standzeit bei starker thermischer Belastung. Als Plasmagas wird grundsätzlich Stickstoff verwendet. Durch die tangentielle Einspritzung wird der Plasmastrahl zusätzlich eingeschnürt und die Kupferdüse gekühlt, wodurch auch bei dieser die Standzeit erhöht wird. Jedoch steigen aufgrund der Kühlungswirkung des Wassers der Energiebedarf solcher Anlagen und dadurch auch die erforderliche Anschlussleistung der Stromquelle. Von dem eingespritzten Wasser werden etwa 10 % verdampft, dissoziiert und ionisiert. Die restlichen 90 % treten als konischer Wassermantel aus der Düse aus, welcher den Plasmastrahl umgibt (Abbildung 2-4a). Diese Wasserglocke verringert in gewissem Maße die Lärm-, Strahlungs- und Schadstoffabgabe des Plasmastrahles. Zusätzlich wird das Werkstück gekühlt und dessen Verzug verringert. Auch die Ausbildung von Oxiden in der Schnittfuge kann somit verringert werden. Eine Erweiterung stellt die Variante mit Wassermantel dar, wodurch die Emissionen weiter verringert werden können (Abbildung 2-4b).

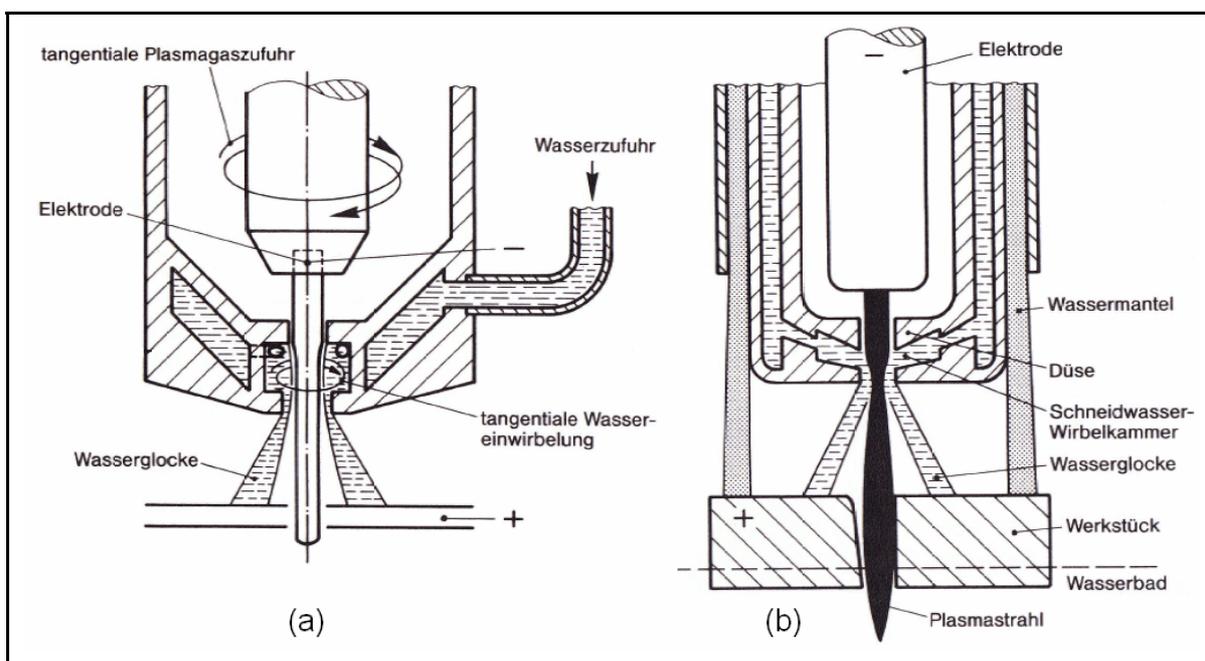


Abbildung 2-4 Wasser-Injektion-Plasmaschneiden¹⁶

Um die Stabilität des Plasmastrahles zusätzlich zu stärken, wird das Plasmagas ebenfalls tangential zugeführt. Dadurch kommt es jedoch zu einer Rotation des Strahles und zu unterschiedlicher Ausbildung der Schnittfugenflanken. Bei der Programmierung muss dies durch richtige Brennerführung berücksichtigt werden, um die senkrechte Gutseite wie sie in Abbildung 2-4b dargestellt ist, zu erhalten.

¹⁶ Quelle: Böhme/Hermann (1992), S. 126 f

Geschnitten wird beim Wasser–Injektion–Plasmaschneiden grundsätzlich auf Schneidti-schen, welche mit Wasser gefüllt sind. Hierbei gibt es auch verschiedene Anwendungs-möglichkeiten (Abbildung 2-5):

- Schneiden über Wasser (a + b)
- Schneiden auf Wasser (c)
- Schneiden unter Wasser (d)

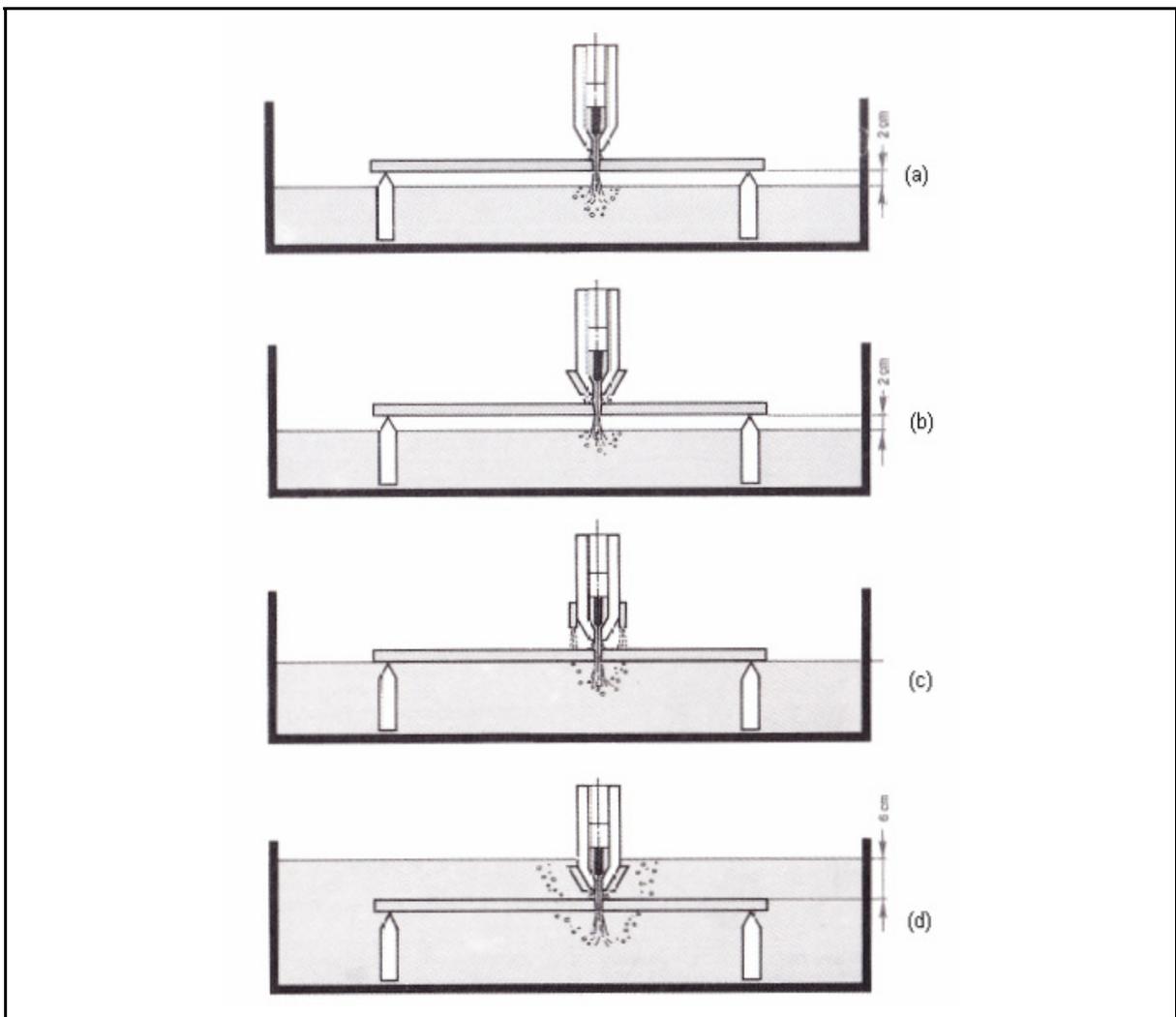


Abbildung 2-5 Einsatzmöglichkeiten von Wasser¹⁷

Auf diese Weise können Stäube und Gase abgebunden, sowie Lärm und UV-Belastung reduziert werden, bei gleichzeitiger Kühlung des Bauteiles. Da die Löslichkeit des Was-sers für Gase jedoch begrenzt ist, muss hier noch eine zusätzliche Absaugung mit ent-sprechenden Filteranlagen vorgesehen werden.

¹⁷ Quelle: Böhme/Hermann (1992), S. 125

2.1.2.3 Voraussetzungen für einen perfekten Plasmaschnitt¹⁸

Aufgrund der Entwicklungen und Innovationen der letzten Jahre auf dem Gebiet des Plasmaschneidens ist es heute möglich, schneller, besser und mit geringerem Kostenaufwand zu schneiden als je zuvor. Jedoch müssen hierfür einige Punkte berücksichtigt werden, um dies auch zu gewährleisten. Die Firma HYPERTHERM definiert hierfür acht maßgebliche Schritte, welche folgend kurz beschrieben werden sollen.

Schritt 1: Richtige Stromquelle

Die Plasma – Stromquelle ist der wichtigste Bestandteil einer jeden Plasmaschneidanlage. Sie bestimmt einerseits welche Plasma- bzw. Arbeitsgase verwendet werden können, wie die Durchflussmengen zu gestalten sind und andererseits mit welchen Stromstärken gearbeitet werden muss. Vor allem zu Beginn und am Ende jeder Schneidaufgabe sind diese Parameter für die Qualität des Schnittes sehr entscheidend. Auch in Hinblick auf die Lebensdauer der Verschleißteile, was sich wiederum direkt auf die Betriebskosten der Anlage auswirkt.

Schritt 2: Hochwertiger Brenner

Nur ein gut konstruierter Brenner kann ein optimales Ergebnis erzielen, indem die Kanäle für das Gas, das Kühlmittel und den Strom richtig dimensioniert und voneinander abgeschottet sind.

Schritt 3: Bedeutung der Verschleißteile

Dies betrifft hauptsächlich die Komponenten Wirbelring, Elektrode und Düse. Auch diese Teile müssen aufeinander abgestimmt sein, um ein optimales Ergebnis liefern zu können. Dies gilt vor allem in Bezug auf die verwendeten Gase, welche jeweils eine andere Konfiguration dieser Teile verlangen. Es ist ebenfalls darauf zu achten, dass die Verschleißteile bei Beschädigungen, die durch den Betrieb auftreten, rechtzeitig gewechselt werden. Geschieht dies nicht, ist als Folge mit einer erheblichen Beeinträchtigung der Schnittqualität zu rechnen.

Schritt 4: Lernen aus der Vergangenheit

Untersuchungen anzustellen, warum Verschleißteile ausfallen bzw. die Qualität des Schnittes abnimmt sind wichtig, um Fehlerquellen eliminieren zu können und einen wirtschaftlichen Betrieb zu gewährleisten.

Schritt 5: Teileprogrammierung

Schlechte Programmier Techniken kosten ebenfalls viel Geld. Vor allem ist darauf zu ach-

¹⁸ Vgl. HYPERTHERM (06/2010), S. 58 ff

ten, dass Ein- und Auslaufvorgänge je nach Material und Materialstärke richtig ausgelegt sind, um die Qualität des Schnittes und die Standzeit der Verschleißteile zu gewährleisten. Gleiches gilt für die Schneidparameter wie Geschwindigkeit, Gasdurchflussmenge und Stromstärke.

Schritt 6: Richtige Brennerhöhe

„Die Lochstechhöhe, Schneidhöhe und vom Lichtbogen gesteuerte Schneidhöhe sind drei getrennte Einstellungen, die verstanden und richtig eingestellt werden müssen, um optimale Schneidleistungen zu erreichen.“¹⁹ Zu hoch bzw. zu niedrig geführte Brenner können diesen nicht nur beschädigen, sondern führen auch zu unerwünschten Schneid-Ergebnissen.

Schritt 7: Schnittgeschwindigkeit

Die Schnittgeschwindigkeit muss dem Material sowie der Materialstärke angepasst werden. Wird sie zu schnell gewählt, so führt dies zur Bildung eines Hochgeschwindigkeitsbartes, welcher mittels Schleifmitteln entfernt werden muss. Bei zu niedriger Geschwindigkeit kommt es zur Bildung eines Niedergeschwindigkeitsbartes, welcher zwar nicht so anhaftend ist, jedoch auch entfernt werden muss.

Schritt 8: Richtige Gase verwenden

Zu den wichtigsten Komponenten beim Plasmaschneiden sind mitunter die verwendeten Plasma- und Arbeitsgase zu zählen. Sie spielen eine entscheidende Rolle, um qualitativ gute Ergebnisse erzielen zu können. Es können hierfür eine Reihe von Gasen verwendet werden. Die populärsten sind Druckluft, Sauerstoff, Stickstoff sowie eine Mischung aus Argon und Wasserstoff. Verschiedene Kombinationen dieser Gase können ebenfalls verwendet werden. Welches Gas jedoch konkret einzusetzen ist, hängt von der Art und Dicke des zu schneidenden Materials ab.

Druckluft wird am häufigsten verwendet, wobei das Material nicht dicker als 25 mm sein sollte. Nachteilig ist jedoch, dass es bei C-Stählen zu Nitrierungen an den Schnittkanten kommen kann und bei rostfreien Materialien zu oxidierten Schnittflächen.

Sauerstoff wird hauptsächlich im Dickenbereich von 1 – 50 mm bei C-Stählen verwendet. Dieser wird auch bei rostfreien Materialien angewandt, jedoch entstehen hier raue Schnittkanten.

Stickstoff wird überwiegend zum Schneiden von legierten Stählen bei einer Dicke von 50 – 75 mm eingesetzt. Auch beim Wasser-Injektion-Plasmaschneiden ist dies das am meisten eingesetzte Gas.

Bei rostfreien Stählen ist jedoch ein Gemisch aus Argon-Wasserstoff vorzuziehen. Es

¹⁹ HYPERTHERM (06/2010), S. 60

liefert die beste Qualität der Schnittkanten und ist bei Blechdicken über 75 mm ohnehin erforderlich.

2.1.3 LASERSTRAHLSCHNEIDEN

Durch die Laserstrahltechnologie wurde es ermöglicht auch dünne Bleche, welche mittels autogenem Brennschnitt bzw. Plasmaschnitt nicht zufrieden stellend zu trennen sind, gratfrei und maßhaltig bei hoher Schnittqualität zu schneiden. Ebenso kommt es aufgrund der geringen Wärmeeinbringung kaum zu Verzügen und eine Nacharbeit Laserstrahlgeschnittener Bauteile ist in der Regel aufgrund der hohen Schnittgüte kaum erforderlich.

Grundsätzlich kann man zwischen drei verschiedenen Arten von Lasern unterscheiden: Dies sind Festkörper-, Flüssigkeits- und Gaslaser. Gaslaser werden hauptsächlich aufgrund des hohen Wirkungsgrades und ihrer Leistung zum Schneiden von Metallen eingesetzt. Jedoch kommen Festkörperlaser aufgrund der Verbesserung von Fokussierbarkeit und Strahlqualität auch immer häufiger zur Anwendung. In weiterer Folge werden hier jedoch ausschließlich Gaslaser in Form von CO₂-Lasern behandelt.²⁰

Aufgrund hoher Laserstrahlleistungen von bis zu 6 kW können in der Regel Materialien bis zu einer Blechstärke von 20 – 25 mm geschnitten werden, wobei man sich hauptsächlich auf den Bereich bis 8 mm beschränkt. Bis zu dieser Grenze ist es noch möglich ein wirtschaftliches Ergebnis zu erzielen, da mit steigender Blechstärke die nötige Laserleistung steigt und die erzielbare Schnittgeschwindigkeit sinkt. Ebenso nimmt die Schnittqualität mit steigender Blechstärke zusehends ab.²¹

Nach DIN 2310 – Teil 6 können nun drei Verfahrensvarianten nach Art der Umwandlung des Werkstoffes unterschieden werden:

- Laserstrahl – Brennschneiden
- Laserstrahl – Schmelzschnneiden
- Laserstrahl – Sublimierschnneiden

Technische Grundlagen

Der Mechanismus des Lasereffekts ist äußerst komplex. Er soll in weiterer Folge nur in groben Grundzügen erklärt werden.

Beim CO₂-Laser erfolgt die Strahlerzeugung durch den Übergang des CO₂-Moleküls von einem höheren in ein niedrigeres Energieniveau. Dies erfolgt unter Aussendung von Photonen, welche in Strahlrichtung der optischen Achse des Resonators verstärkt werden.

²⁰ Vgl. Böhme/Hermann (1992), S. 164

²¹ Vgl. Klocke/König (2007), S. 251 f

Dieser Photonenstrahl bildet einen monochromatischen (gleiche Wellenlänge) und kohärenten (gleiche Phasenlage) Laserstrahl, welcher sich sehr gut im Brennpunkt fokussieren lässt. Das aktive Medium dieses Lasers besteht dabei aus einem Gemisch von Kohlendioxid ($\text{CO}_2 \approx 5\%$), Stickstoff ($\text{N}_2 \approx 20\%$) und Helium ($\text{He} \approx 75\%$). Mittels Gasentladung werden die N_2 -Moleküle angeregt und übertragen ihre Energie durch Stoß an die CO_2 -Moleküle. Aufgrund dieser indirekten Anregungsart durch Zugabe von Stickstoff zum Lasermedium werden erst die hohen Ausgangsleistungen bis in den Kilowatt-Bereich ermöglicht. Mittels Helium soll das niedrige Energieniveau der verbliebenen CO_2 -Moleküle entleert und das Lasergas zusätzlich gekühlt werden. Dadurch lässt sich die erzielte Ausgangsleistung weiter steigern.²²

Bevor auf die einzelnen Verfahrensvarianten konkret eingegangen wird, soll kurz das Prinzip des Laserstrahlschneidens beschrieben werden.

Der aus dem Erzeuger ausgekoppelte Laserstrahl wird zum Schneidkopf geführt und durch eine darin befindliche Fokussieroptik geleitet. Mithilfe einer Linse wird der Strahl auf das Werkstück gebündelt, sodass dieses lokal erwärmt, verflüssigt und teilweise verdampft wird. Durch eine Relativbewegung zwischen dem Werkstück und dem Schneidkopf kommt es zur Ausbildung einer Schnittfuge. Zusätzlich wird der Laserstrahl noch durch einen Prozessgasstrom unterstützt, welcher das flüssige bzw. verdampfte Material aus der Schnittfuge austreibt und die Laseroptik vor Spritzern schützt.²³

Für Schneidanlagen sind einige wichtige Komponenten erforderlich, die auch deren Effizienz und Genauigkeit bestimmen:²⁴

- Laserstrahlquelle
- Steuerung (CNC)
- Antriebs- und Messtechnik der Verfahrsachsen
- Programmierertechnik (CAD, CAM)

Laserstrahl-Brennschneiden²⁵

Dieses Verfahren stellt das am häufigsten eingesetzte Verfahren dar, wobei als Prozessgas Sauerstoff verwendet wird. Das Material wird durch den fokussierten Laserstrahl auf Zündtemperatur erhitzt und durch den Sauerstoffstrahl verbrannt. Durch diese Verbrennungsreaktion entsteht in der Schnittfuge eine dünnflüssige Schlacke, welche durch die

²² Vgl. Rzany (1995), S. 2

²³ Vgl. Rzany (1995), S. 17

²⁴ Vgl. Rzany (1995), S. 15

²⁵ Vgl. Rzany (1995), S. 21

kinetische Energie des Sauerstoffstrahles ausgeblasen wird. Abbildung 2-6 zeigt die schematische Darstellung eines solchen Vorganges.

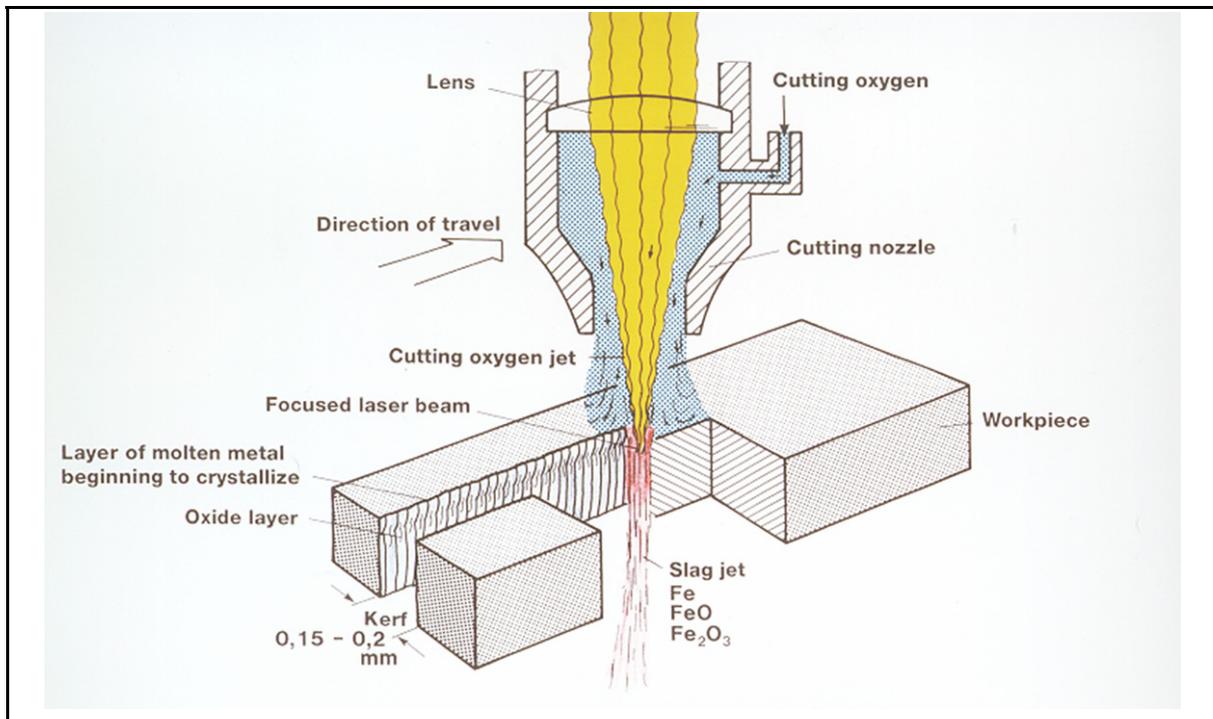


Abbildung 2-6 Laserstrahlschneidvorgang (schematisch)²⁶

Aufgrund der exothermen Reaktion des Sauerstoffes mit dem Werkstoff, wird ein Teil der benötigten Energie vom Material selbst geliefert, wodurch die Laserstrahlleistung nicht zu hoch ausfallen muss. Bei dieser Verfahrensvariante sind dadurch auch sehr hohe Schnittgeschwindigkeiten möglich. Erforderlich ist hierfür jedoch das exakte Zusammenspiel aller Verfahrensparameter. Stimmen im Arbeitsbereich nicht alle Einflussgrößen überein, so läuft der Vorgang unkontrolliert ab und es entsteht ein Bart an der Schnittkantenunterseite bzw. nimmt die Rauigkeit des Schnittes zu. Im Extremfall kann es sogar zu einer unvollständigen Trennung kommen. Daher ist beim Laserstrahlschneiden stets darauf zu achten, dass alle schneidrelevanten Parameter sorgfältig aufeinander abgestimmt sind.

Im Gegensatz zum autogenen Brennschneiden können beim Laserstrahl-Brennschneiden aufgrund der hohen Temperaturen und der dadurch entstehenden dünnflüssigen Schlacke auch nichtrostende Stähle geschnitten werden.

Laserstrahl-Schmelzschnneiden²⁷

Bei diesem Verfahren wird das zu schneidende Material nicht verbrannt, sondern durch den fokussierten Laserstrahl über die gesamte Blechdicke aufgeschmolzen und durch das

²⁶ Quelle: ESAB, Nübel/Carlsson – Unternehmenspräsentation; Vgl. auch Böhme/Hermann (1992), S. 165

²⁷ Vgl. Böhme/Hermann (1992), S. 165 f

Prozessgas ausgeblasen. Hierfür wird nun nicht Sauerstoff verwendet, sondern Stickstoff oder Inertgase wie Argon und Helium. Auch der Einsatz von Druckluft stellt eine mögliche Variante dar. Da die gesamte benötigte Energie zum Aufschmelzen des Materials extern aufgebracht werden muss und das Prozessgas den Schneidprozess nicht mehr fördert, steigt der Energiebedarf der Anlage drastisch an. Beim Laserstrahl–Schmelzschnneiden werden daher auch nicht annähernd die Geschwindigkeiten wie beim Laserstrahl–Brennschnneiden erreicht.

Ein entscheidender Vorteil dieses Verfahrens ist jedoch die hohe Güte des Schnittes, da es durch die inerten Prozessgase zu keinerlei Bart- bzw. Oxidschichtbildungen an den Schnittflanken kommt.

Laserstrahl–Sublimierschnneiden²⁸

Beim Laserstrahl–Sublimierschnneiden wird der Werkstoff durch die hohe Energiedichte des Laserstrahles verdampft und durch den Dampfdruck bzw. das Prozessgas aus der Schnittfuge ausgetrieben bevor er an der Schnittkante wieder kondensiert. Zum Einsatz kommen hier wiederum reaktionsträge Gase wie Stickstoff, Argon oder Helium. Das Gas schützt hier zusätzlich die Optik des Schneidkopfes vor Materialspritzern, gleich wie bei den Verfahren Brenn- und Schmelzschnneiden. Das Prozessgas reagiert aber nicht mit dem zu schneidenden Material, wodurch die gesamte Energie zum Verdampfen wiederum von außen elektrisch aufgebracht werden muss. Aufgrund dessen sind beim Sublimierschnneiden auch die höchsten Leistungen der Strahlenquellen erforderlich und damit auch die Betriebskosten am höchsten. Außerdem weist diese Variante von allen Laserschnieverfahren die niedrigsten Schnittgeschwindigkeiten auf. Einsatz findet das Sublimierschnneiden vor allem bei der Bearbeitung von Werkstoffen, die keinen ausgeprägten Schmelzflüssigen Phasenzustand besitzen. Dies sind hauptsächlich nichtmetallische Materialien wie Holz, Leder oder Textilien.

2.2 SPANENDE TRENNVERFAHREN

Das Wasserstrahl-Abrasivschneiden gehört nach dem Ordnungssystem der Fertigungsverfahren in DIN 8580 zu den spanenden Verfahren mit geometrisch unbestimmten Schnneiden. Genauer gesagt zu den Strahlspanverfahren welche in DIN 8200 genauer dargestellt werden.

Als Medium zum Trennstrahlen wird vor allem Wasser, welches unter hohem Druck steht, eingesetzt. Es wären auch andere Medien wie Öle, Emulsionen oder Alkohole möglich jedoch besticht Wasser aufgrund seiner geringen Kosten, der hohen Verfügbarkeit und der physiologischen Unbedenklichkeit.

²⁸ Vgl. Klocke/König (2007), S. 250 f

2.2.1 WASSERSTRAHL-ABRASIVSCHNEIDEN

Hochdruckwasserstrahlen wurden bereits Anfang des 20. Jahrhunderts in diversen Bereichen der Industrie verwendet. Einsatz fand dieses Verfahren vor allem zum Abtrag von Kies- und Tonablagerungen, wobei hauptsächlich noch die Spülwirkung des Wassers im Vordergrund stand. In den 1930er Jahren verwendete man den Wasserstrahl bereits zum Putzen von Gussteilen, wobei schon Drücke von bis zu 100 bar erreicht und die erosive Wirkung genutzt wurde. Doch erst mit der Erfindung des Hochdruck – Wasserstrahl – Schneidsystems in den 1960er Jahren begann der Siegeszug des Wasserstrahlschneidens in industriellen Anwendungen. Nun konnten bereits Drücke von bis zu 700 bar realisiert werden. Der Durchbruch gelang schließlich um 1980, als man dem Wasserstrahl Feststoffpartikel beimengte und dadurch die abrasive Wirkung deutlich steigerte. Auf diese Weise ließen sich schließlich sämtliche kompakte, harte und spröde Werkstoffe wie Metall, Glas, Keramik, Gestein, Faserverbundwerkstoffe und viele weitere Materialien trennen. Als Abrasiv wird dabei Granat- oder Olivinsand in diversen Körnungen eingesetzt, wobei die Prozessdrücke mittlerweile standardmäßig auf Größen von über 4.000 bar angestiegen sind. Einige Hersteller von Wasserstrahlschneidanlagen warben Ende 2010 bereits mit Systemdrücken von bis zu 7.000 bar. Die Vorteile dieses Abrasiv-Wasserstrahls gegenüber anderen Methoden, wie z.B: den thermischen Trennverfahren, liegen nun darin, dass neben der geringen Strahlabmessung vor allem die thermischen und mechanischen Belastungen auf das Bauteil sehr gering ausfallen.²⁹

Technische Grundlagen

Die Schneideigenschaften des Flüssigkeitsstrahles beruhen auf der Tatsache, dass seine kinetische Energie beim Aufprall auf die Werkstückoberfläche hauptsächlich in Druckenergie umgewandelt wird. Dadurch kommt es zu Spannungsspitzen sowie zu Scherkräften im Material durch querströmende Flüssigkeit, welche zu elastischen bzw. plastischen Verformungen führen und schließlich zum Versagen der Materialbindungen führen. Aufgrund dessen kommt es schließlich zum Ausbrechen einzelner oberflächennaher mikroskopisch kleiner Materialpartikel. Der Strahl arbeitet sich so immer tiefer in das Werkstück vor, wobei er das abgetragene Material vor sich her schiebt. Durch die hohen Reibungsverluste an den Schnittflächen verliert der Strahl mit zunehmender Tiefe jedoch zusehends an Energie, wodurch er auch immer mehr abgelenkt wird. Aus diesem Grund nimmt die Schnittgüte mit steigender Schnittdicke ab und es kommt zu einer ausgeprägten Riefenstruktur mit größer werdendem Rillennachlauf.³⁰

Die Ausbildung und Stärke der Riefenstruktur hängt demnach maßgeblich von der Leistung des Wasserstrahles ab. Beeinflusst wird dieser hauptsächlich vom Systemdruck und

²⁹ Vgl. Fritz/Schulze (2010), S. 386 f

³⁰ Vgl. Fritz/Schulze (2010), S. 387

dem Düsendurchmesser. Durch eine Steigerung dieser beiden Parameter kann das qualitative Ergebnis des Schnittes somit maßhaltig verbessert werden, weshalb der Trend auch immer stärker hin zu höheren Systemdrücken führt.

Die Wirkung dieses Wasserstrahles kann durch Zugabe von Feststoffpartikeln erheblich gesteigert werden. Die Beimengung von feinkörnigem Granat- oder Olivinsand (0,1 – 0,5 mm Durchmesser, ca. 150 – 250 g/min) führt zu einer zusätzlichen Mikrozerspannung des Materiales, was eine Anwendung zum Schneiden von Metallen erst ermöglicht. Die Schneidleistung nimmt hierbei mit zunehmender Härte und Scharfkantigkeit des Abrasivs immer mehr zu. Durch die hohe Strömungsgeschwindigkeit des Flüssigkeitsstrahles wird in der Mischkammer ein Unterdruck erzeugt, welcher das Abrasivmaterial von einem eigenen Behälter ansaugt. Das Wasser–Abrasive Gemisch wird nun in der Mischkammer erneut gebündelt und wie in Abbildung 2-7 auf das Werkstück geleitet.³¹

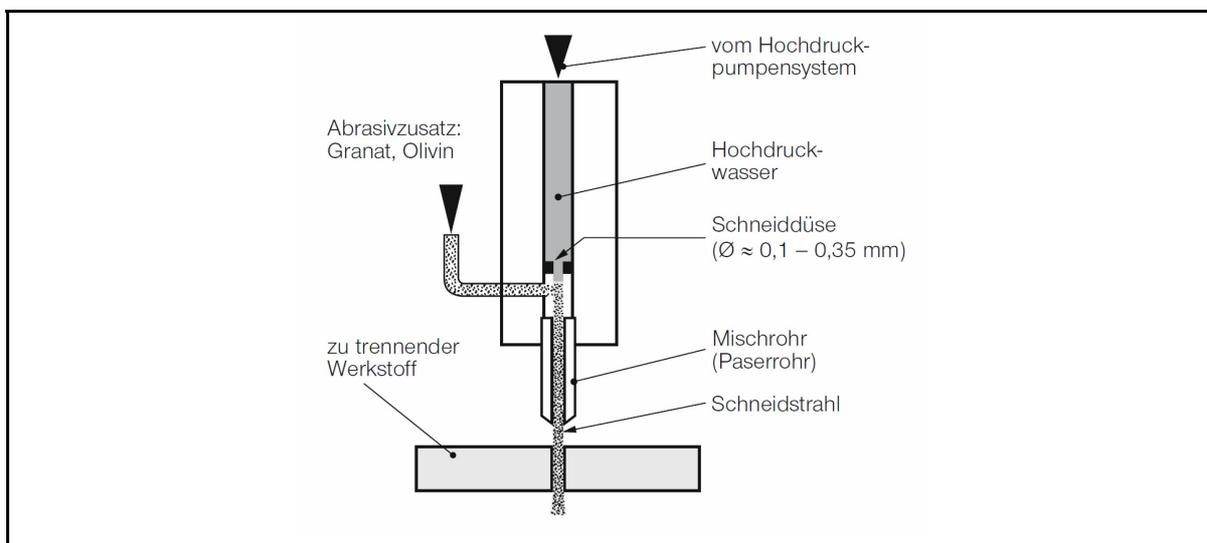


Abbildung 2-7 Prinzip des Wasserstrahl-Abrasive-Schneidens³²

Für das Wasserstrahlabrasivschneiden sind einige essentielle Anlagenkomponenten für den Betrieb erforderlich, welche sich grundsätzlich in drei Funktionsblöcke gliedern lassen (Abbildung 2-8):

- Wasseraufbereitung
- Hochdruckerzeugung
- Strahlerzeugung und Handhabung

³¹ Vgl. Fritz/Schulze (2010), S. 389

³² Quelle: Fritz/Schulze (2010), S. 388

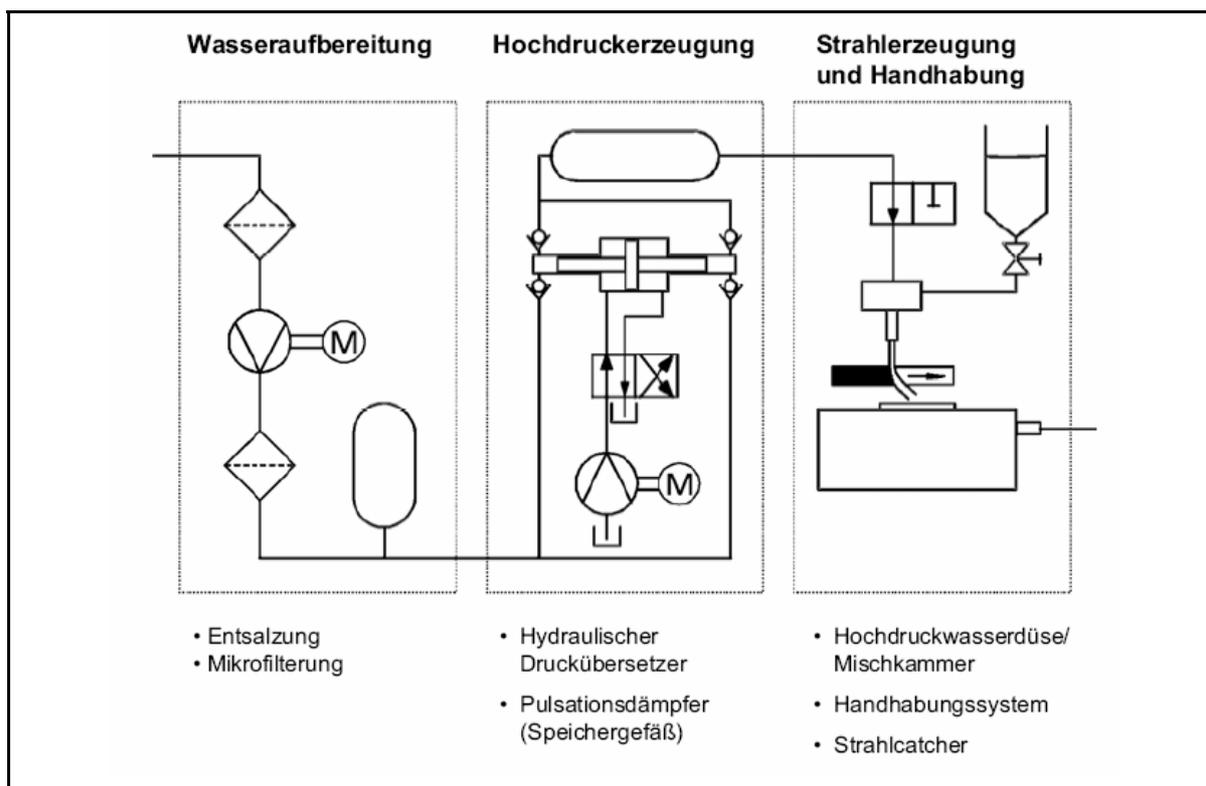


Abbildung 2-8 Prinzip Wasserstrahlabrasivschneidanlage³³

Im ersten Block, der Wasseraufbereitung, wird das Wasser entsalzt und sämtliche Verunreinigungen herausgefiltert. Dieser Schritt ist erforderlich, da die Wasserqualität maßgeblichen Einfluss auf die Schnittqualität und die Standzeit der druckbeaufschlagten Teile hat. Im nächsten Schritt wird das gereinigte Wasser auf den benötigten Betriebsdruck gebracht. Dafür werden hauptsächlich Kolbenpumpen eingesetzt, welche nach dem Prinzip des hydraulischen Druckübersetzers arbeiten. „In der Hochdruckpumpe treibt ein Elektromotor eine selbstregelnde Ölpumpe an und erzeugt im Hydrauliköl etwa 200 bar, mit dem die Primärseite des Druckübersetzers beaufschlagt wird. Entsprechend dem Flächenverhältnis (etwa 20:1) wird das Schneidwasser auf der kleineren Sekundärseite auf etwa 4.000 bar verdichtet, wobei der Druckübersetzer doppelt wirksam ist.“³⁴ Aufgrund der ungleichförmigen Kolbenbewegung und der dadurch entstehenden Druckschwankungen wird noch ein Speichergefäß, der sogenannte Pulsationsdämpfer, nachgeschaltet, um die Druckspitzen zu glätten. Im letzten Block wird schließlich der Hochdruckwasserstrahl mit dem Abrasiv vermischt und durch eine Düse auf das Werkstück geleitet. Außerdem befindet sich hier noch ein Handhabungssystem, um die Relativbewegung von Schneidkopf zu Werkstück gewährleisten zu können. Zusätzlich ist noch ein Schneidtisch zur Auflage des Materials und Aufnahme der Schneidrückstände vorgesehen.³⁵

³³ Quelle: Klocke/König (2007), S. 323

³⁴ Fritz/Schulze (2010), S. 387 f

³⁵ Vgl. Klocke/König (2007), S. 322 ff

Um mit dem Wasserstrahl-Abrasivschneiden optimale Ergebnisse erzielen zu können, sind die leistungsbestimmenden Stellgrößen richtig zu wählen. Dazu gehören einerseits die Stellgrößen der Anlage und andererseits die Wahl des richtigen Abrasives:³⁶

- Pumpendruck
- Düsenabstand
- Düsendurchmesser
- Vorschubgeschwindigkeit
- Feststoffart
- Körnung
- Feststoffmassenstrom
- Fokusbereich
- Fokusbereich

Je nachdem welche Anforderungen an die Güte des Schnittes gestellt werden, sind schließlich die Parameter zu wählen. Wobei beim Wasserstrahlabrasivschneiden grundsätzlich zwischen drei verschiedenen Güteklassen unterschieden wird:³⁷

Q1: Grob- bzw. Trennschnitt

- Keine Toleranzangaben

Q2: Normal- oder Mittelschnitt

- Maßtoleranz: $\pm 0,1$ mm an der Teileoberkante
- Oberflächenrauigkeit: $R_z = 20 - 50$ μm
- Winkelabweichung: $1^\circ - 3^\circ$

Q3: Qualitätsschnitt

- Maßtoleranz: $\pm 0,05$ mm an der Teileoberkante
- Oberflächenrauigkeit: $R_z = 10$ μm
- Winkelabweichung: $0,5^\circ - 1^\circ$

2.3 VERGLEICH DER TRENNVORFAHREN

Die in den vorigen Abschnitten beschriebenen thermischen und spanenden Trennverfahren sollen nun hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit bezüglich verschiedener Materialien und Materialstärken untersucht und verglichen werden. Ebenso in Hinblick auf die Erreichbaren Qualitäten und Ausprägungen der Schnittkanten bzw. Schnittfugen.

³⁶ Vgl. Klocke/König (2007), S. 326 f

³⁷ Vgl. Fritz/Schulze (2010), S. 391

2.3.1 ANWENDUNGSGRENZEN

Welches Trennverfahren für welche Zuschnittaufgabe zum Einsatz kommt, bestimmen hauptsächlich die Verfahrensgrenzen. Diese bestimmen auch welche Materialien und vor allem welche Materialstärken geschnitten werden können. Abbildung 2-9 zeigt einen Vergleich der Trennverfahren und ihrer jeweiligen Anwendungsgrenzen.

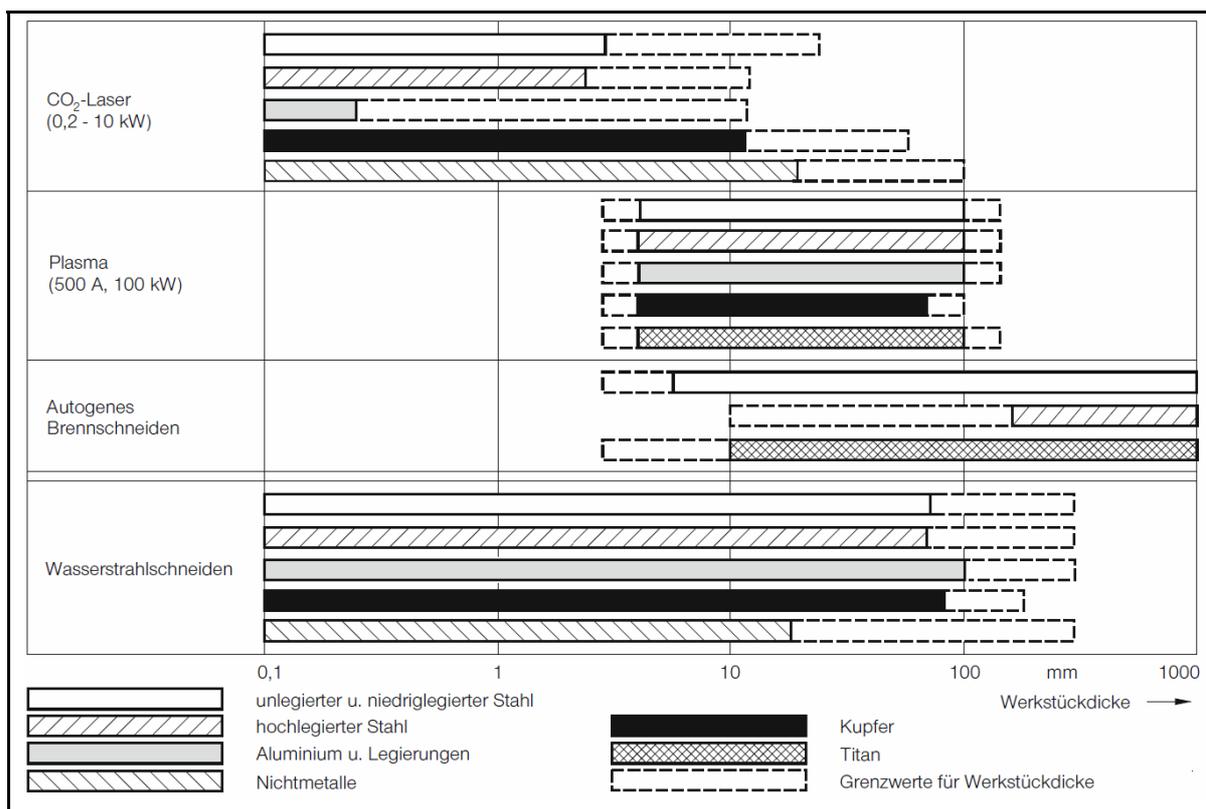


Abbildung 2-9 Anwendungsgrenzen der Trennverfahren³⁸

Erkennbar ist hierbei, dass beim Laserstrahlschneiden die Verfahrensgrenzen sehr schnell erreicht sind und somit ein Einsatz dieser Methode nur im Dünoblechbereich möglich ist. Beim Plasma- und Autogenschneiden beginnt hier jedoch erst der Einsatzbereich und reicht bis 100 mm beim Plasmaschneiden und bis über 1.000 mm beim Autogenschneiden. Das Wasserstrahlschneiden deckt jedoch den größten Einsatzbereich ab. Beschränkt ist dieses Verfahren nur durch die Härte des Abrasivs (Granatsand: 1.000 – 1.200 HV). Liegt die Härte des zu schneidenden Materiales unterhalb dieser Grenze, ist es zum Abrasivschneiden geeignet.

³⁸ Quelle: Fritz/Schulze (2010), S. 385 - (erweiterte Darstellung)

2.3.2 SCHNITTQUALITÄTEN

Ein weiteres maßgebliches Entscheidungskriterium für die Wahl des Trennverfahrens stellt die erzielbare Schnittqualität dar. In gewissen Bereichen kann es durchaus dazu kommen, dass für eine Schneidaufgabe mehrere Verfahren zum Einsatz kommen könnten. Dabei stellt sich die Frage, mit welchen qualitativ höherwertiger gefertigt werden kann. Aus diesem Grund sollen nun noch einige Qualitätsmerkmale gegenübergestellt werden.

2.3.2.1 Fugenform

Eines der auffälligsten Merkmale von Trennverfahren ist die Ausprägung der Schnittfugenform, welche von Verfahren zu Verfahren variiert. Abbildung 2-10 gibt einen Überblick über diese Formen.

Schnittfugengeometrien der Strahlschneidverfahren			
Blech-Dicke (mm)	Schneidverfahren		
	Autogenes Brenn- schneiden	Plasma- Schmelz- schneiden	Laserstrahl- schneiden
1			
2			
3			
5			
8			

Die Fugen beim Wasserstrahlschneiden sind ein wenig dicker als beim Laserstrahlschneiden, aber sonst durchaus vergleichbar.

Abbildung 2-10 Fugenformen der Schneidverfahren³⁹

Mittels Laser- und Wasserstrahlschneiden lassen sich geringste Schnittspalten erzielen, welche nahezu senkrecht sind. Dies führt einerseits zu wenig Verschnitt und andererseits bei entsprechend gewählter Schnittgeschwindigkeit zu einem optisch einwandfreien Schnittbild. Beim Autogenschneiden verläuft der Schnitt etwas Keilförmig nach unten und auch der Spalt selbst fällt breiter aus als beim Laser,- bzw. Wasserstrahlschneiden. Die

³⁹ Quelle: Kalweit/Paul/Peters (2006), S. 453

größten Fugenbreiten erhält man jedoch beim Plasmaschneiden. Charakteristisch ist hierbei eine größere Anmelzzone auf der Oberkante mit spitz zusammenlaufender Fugenform. Je nach verwendetem Schneidgas kann die Form jedoch von der hier dargestellten abweichen.

2.3.2.2 Maß- und Formtoleranz

Ein exakt senkrechter und glatter Schnitt wäre das gewünschte optimale Ergebnis einer Zuschnittaufgabe. Jedoch ist dies mit den beschriebenen Trennverfahren kaum realisierbar und daher sollen nun Abweichungen von diesem Ideal anhand einiger Parameter beschrieben werden. Nach EN ISO 9013 werden dafür bei thermischen Trennverfahren die Rechtwinkligkeits- bzw. die Neigungstoleranz u herangezogen. Zusammenfassend sind diese in nachfolgender Abbildung 2-11 dargestellt.

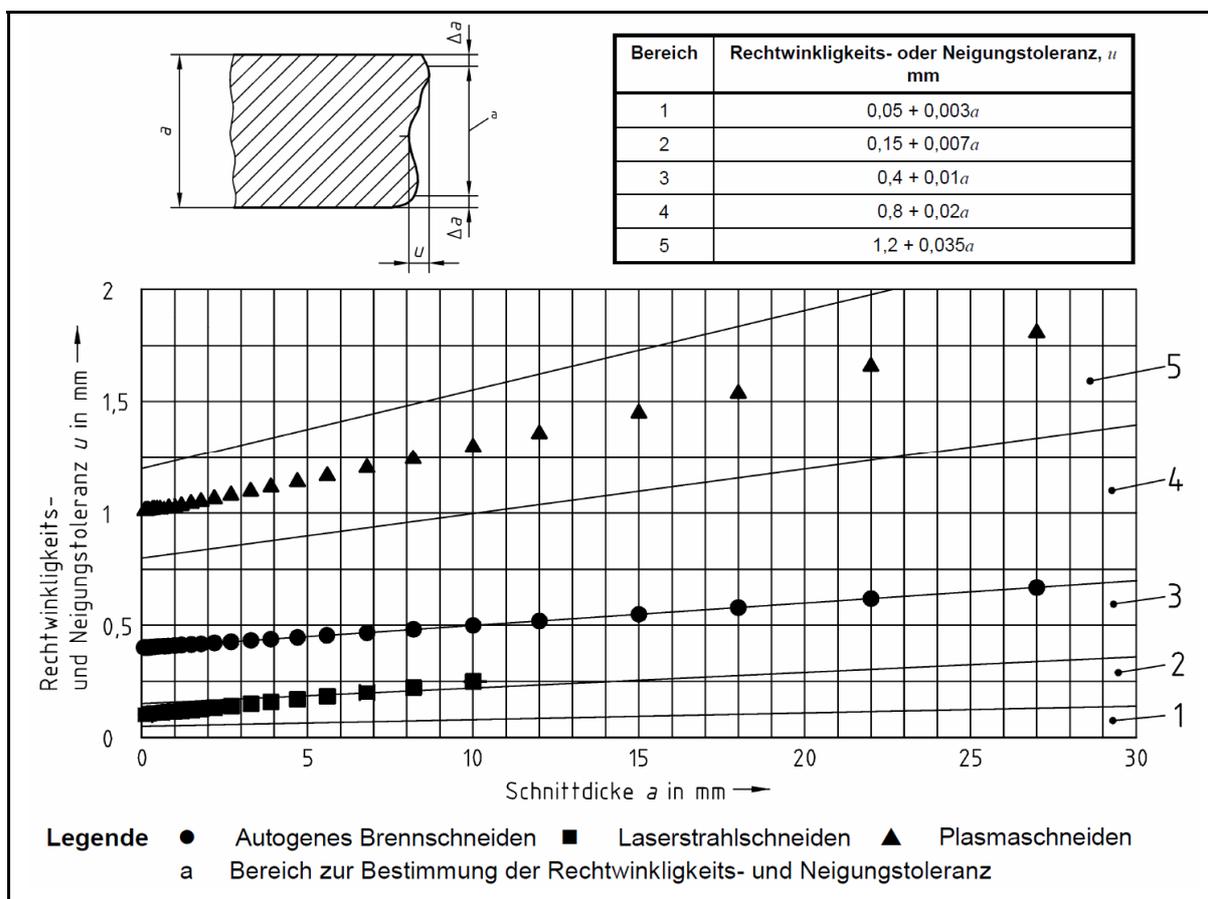


Abbildung 2-11 Vergleich der Toleranzen je Materialdicke⁴⁰

Bei der Ausprägung der Fugenform sind sich Laser- und Wasserstrahlschneidtechnologie ähnlich. Wobei letztere etwas größere Spaltgrößen erzielt. Selbiges gilt nun für die erreichbaren Toleranzen dieser Verfahren. Hier liegen die erreichbaren Toleranzklassen

⁴⁰ Quelle: EN ISO 9013 (2002), S. 23

ebenfalls nah beieinander, wobei der Laserstrahlschnitt geringfügig besser abschneidet. Zu beachten ist hierbei jedoch, dass dies nur für Qualitätsschnitte gilt. Wird ein Trennschnitt gewählt, so sind auch hier die Toleranzen höher anzusehen.

2.3.2.3 Rauigkeit der Schnittflächen

Ein weiteres Merkmal stellt die Struktur der Schnittflanken und deren Oberflächenrauigkeit, wie sie in Abbildung 2-12 gezeigt wird, dar. Auch diese werden für thermische Trennverfahren nach EN ISO 9013 qualifiziert.

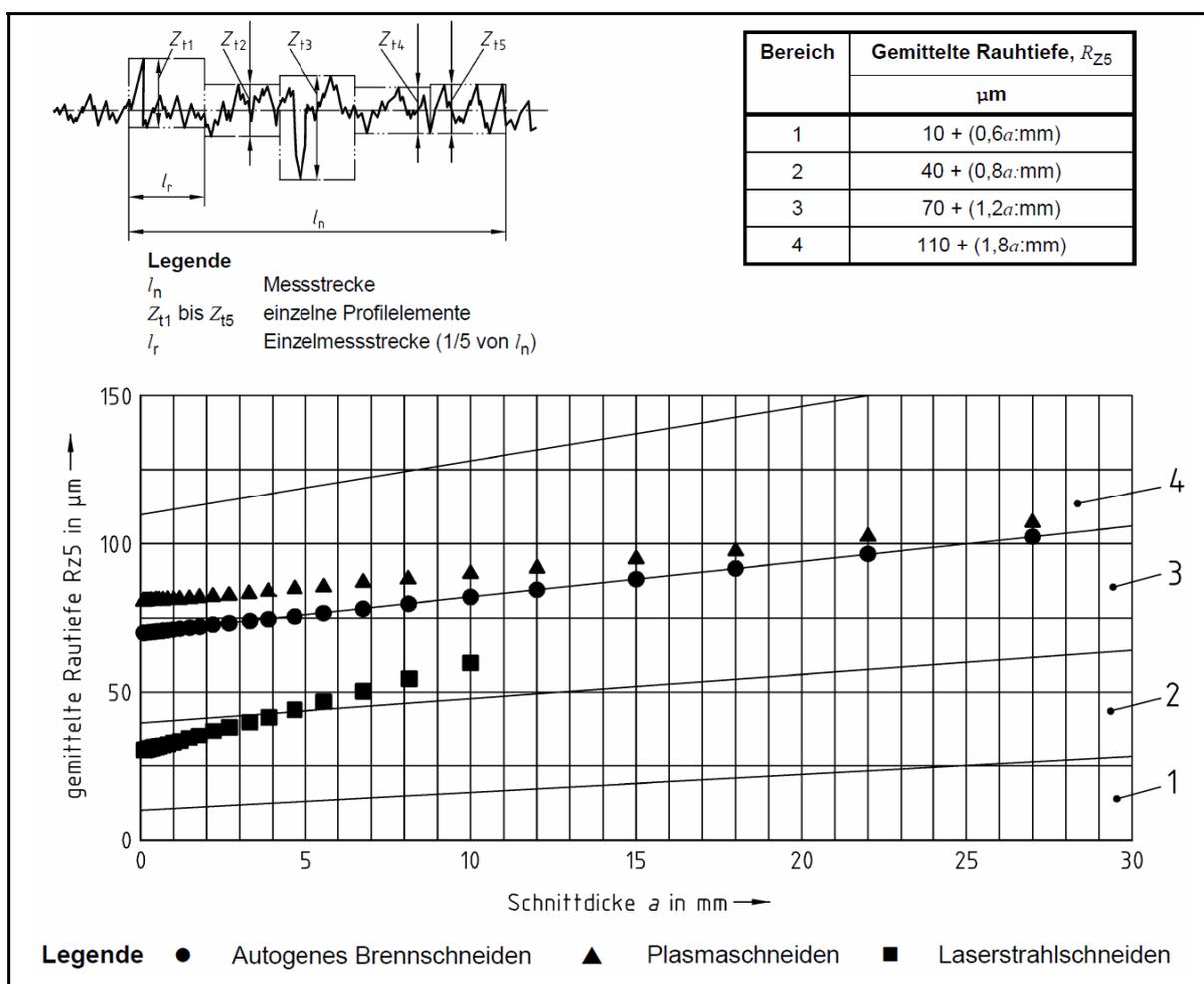


Abbildung 2-12 Vergleich der Rauhtiefe je Materialdicke⁴¹

Für das Wasserstrahl-Abrasivschneiden gestaltet sich eine Einteilung nach der Rautiefe als schwierig, da sich wiederum große Unterschiede hinsichtlich der gewählten Qualitätsstufen des Schnittes ergeben. Angaben über konkrete Rauheitswerte der jeweiligen Qualitätsstufen wurden jedoch bereits unter den Grundlagen des Wasserstrahlschneidens angeführt, sollen nun in weiterer Folge aber noch etwas genauer dargestellt werden. Die

⁴¹ Quelle: EN ISO 9013 (2002), S. 24

grundsätzliche Charakterisierung der Schnittgüte erfolgt wie bei den anderen Verfahren nach EN ISO 9013, wird jedoch zusätzlich in drei Qualitätsstufen aufgeteilt.

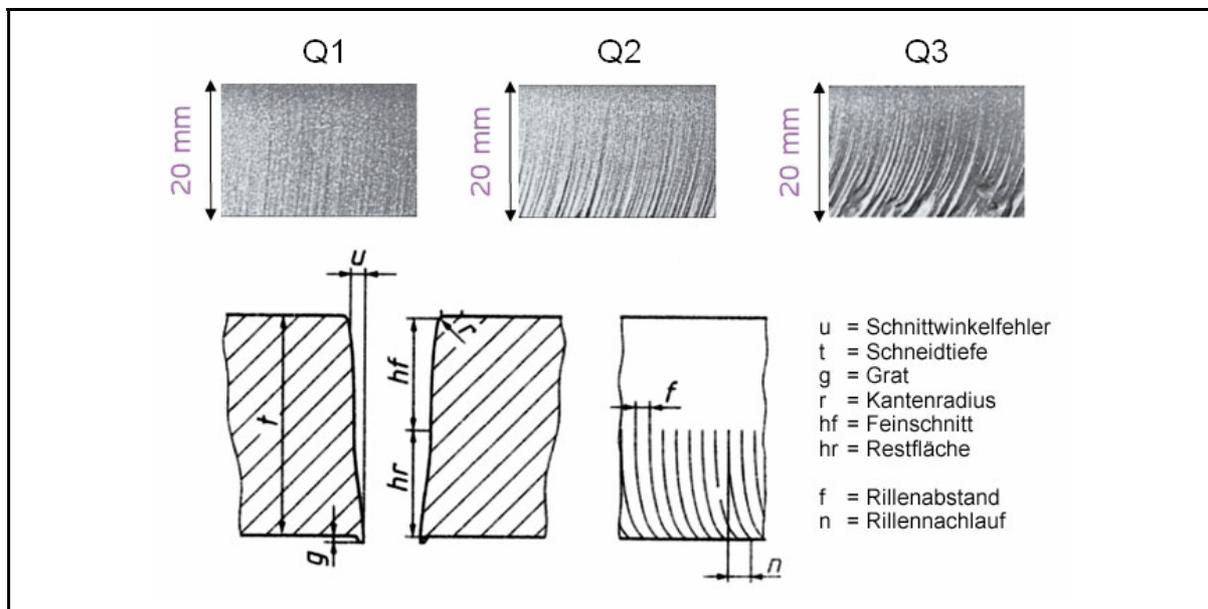


Abbildung 2-13 Vergleich wasserstrahlgeschnittener Teile⁴²

- Q1: Feinschnittanteil $hf > 80\%$ bei 100% Schnittgeschwindigkeit
- Q2: Feinschnittanteil $hf \approx 50\%$ bei 50% Schnittgeschwindigkeit
- Q3: Feinschnittanteil $hf < 20\%$ bei 25% Schnittgeschwindigkeit

Als Feinschnittanteil ist hierbei jene Zone definiert, bei der der Schnitt durch die eigentlichen Abtragmechanismen entsteht. Die Restfläche stellt dagegen eine wellige Riefenstruktur dar, die durch Deformation des Materials aufgrund der hohen kinetischen Energie des Strahles entsteht (dargestellt in Abbildung 2-13). Diese wird umso größer, je höher die Schnittgeschwindigkeit gewählt wurde und umso größer die Blechstärke wird.

2.3.3 VOR- BZW. NACHTEILE DER VERFAHREN

Bei der Analyse der Trennverfahren wurden bis jetzt alle quantifizierbaren Größen untersucht, gegenübergestellt und so weit als möglich miteinander verglichen. Jedoch gestaltet sich ein solcher Vergleich aufgrund der verfahrensspezifischen Gegebenheiten dieser Trennverfahren als sehr schwierig. Die Entscheidung, welches System gewählt werden sollte, hängt zudem von weiteren Parametern ab, welche nicht explizit dargestellt wurden. In Tabelle 2-2 sollen deshalb nochmals Vor- und Nachteile dargestellt werden, welche durchaus ein Entscheidungskriterium darstellen könnten.

⁴² Quelle: www.powerjet.ch (21.03.2011)

Tabelle 2-2 Vorteile/Nachteile der Verfahren⁴³

	Vorteile	Nachteile
Plasmaschneiden	<p>schneiden aller elektrisch leitender Materialien</p> <p>geringe Anforderungen an Materialbeschaffenheit</p> <p>geringe Anforderungen an Umfeld</p> <p>Höchste Geschwindigkeiten im mittleren - dicken Bereich</p> <p>Ein- und Mehrbrennerbetrieb möglich</p> <p>Werkstoffe nahezu nachbearbeitungsfrei schneidbar</p> <p>ohne Alternativen bei hochlegierten mittleren - dicken Stählen</p> <p>sehr gute Eignung im unteren - mittleren C-Stahlbereich (-30mm)</p> <p>schneiden hochfester Baustähle mit geringer Wärmeeinbringung</p> <p>sehr gut Automatisierbar</p> <p>Unterwasserplasma für geringste Wärmeverzüge</p>	<p>Begrenzte Blechdicke: 0,5 - 150 mm</p> <p>breite Schnittfuge</p>
Autogenschneiden	<p>mittlere bis große Blechdicken (- 300 mm)</p> <p>ökonomischer Mehrbrennerbetrieb</p> <p>geringe Investitions- und Verschleißteilkosten</p> <p>Fasenschneiden mit Dreibrenneraggregat</p>	<p>nur un- und niedriglegierte Stähle</p> <p>hoher Wärmeeintrag</p> <p>große Wärmebeeinflusste Zone</p> <p>Materialverzug bei dünnen Blechen</p> <p>schlechte Schnitte < 5 mm</p> <p>geringe Maßhaltigkeit bei Wiederholschnitten</p> <p>geringe Schneidgeschwindigkeit</p> <p>teilweise Bartbildung</p> <p>abschleifen von Oxidschichten als Schweißnahtvorbereitung</p>
Laserstrahlschneiden	<p>hohe Genauigkeit bei dünnen Blechen</p> <p>kleine Löcher, spitze Winkel, schmale Stege möglich</p> <p>rechtwinkelige Schnittkanten</p> <p>sehr gut Automatisierbar</p> <p>äußerst geringer Wärmeeintrag - kein Verzug</p> <p>sehr geringe Fugenbreite (0,2 - 0,4 mm)</p> <p>hohe Schnittgeschwindigkeiten bis 4 mm</p>	<p>hohe Investitions- und Betriebskosten</p> <p>Besondere Materialgüten erforderlich</p> <p>Begrenzter Materialdickenbereich</p> <p>unwirtschaftlich bei kleinen Losgrößen</p> <p>lange Einstechzeiten bei Dicken > 4 mm</p> <p>Bei mittleren Dicken keine glatten Schnittflächen</p> <p>hochgenaue Abstandsführung nötig</p> <p>Strahlstabilität nicht konstant bei höheren Si- und P-Gehalt</p> <p>geringe Prozessstabilität bei spiegelnden Materialien</p> <p>geringer Wirkungsgrad (CO₂-Laser max. 10%)</p>
Wasserstr.-schneiden	<p>feine Konturen schneidbar</p> <p>keine thermische Einwirkung</p> <p>keine Verzüge</p> <p>auch nichtleitende Materialien trennbar</p> <p>geringe Schnittfugenbreiten</p> <p>nahezu rechtwinkelige Schnitte</p> <p>kein Staub, Rauch oder Dämpfe</p>	<p>äußerst langsame Schnittgeschwindigkeiten</p> <p>Schnittqualität sinkt mit Tiefe des Schnittes</p> <p>direkter Wasserkontakt</p> <p>Wasser muss aufgearbeitet, gefiltert werden</p>

⁴³ Quelle: www.kjellberg.de (18.03.2011) – (eigene Darstellung)

3 WIRTSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN

Um nun einen ökonomischen Vergleich anstellen zu können, ist es erforderlich zuerst einige grundlegende Vorgehensweisen zu besprechen, welche für die Lösung dieser Problemstellung in Frage kommen. Grundsätzlich handelt es sich um Investitionskalkulationen, welche im Folgenden behandelt werden sollen.

3.1 EINFÜHRUNG IN DIE INVESTITIONSRECHNUNG

Investitions- bzw. De-Investitionsentscheidungen gehören mitunter zu den wichtigsten Entscheidungen, die es in der Wirtschaft zu treffen gibt. Die Qualität dieser Entscheidungen bestimmt das Wohle und den Erfolg des Unternehmens. Daher sollte bei der Vorbereitung und Durchführung solcher bedeutungsvoller Berechnungen größtes Augenmerk auf Sorgfalt gelegt werden. Jedoch werden auch heute noch Investitionsentscheidungen oft nach Gefühl, nach technischen Kriterien oder auf Basis von Faustregeln getroffen. Dem gestellten Problem kann auf diese Weise jedoch oft nur bedingt Rechnung getragen werden, weshalb nicht selten Fehlentscheidungen getroffen werden. Unternehmungen, welche daher auf lange Sicht wirtschaftlich erfolgreich sein möchten, sollten nicht auf eine umfangreiche Investitionsplanung und dementsprechend auch auf jeweils relevante Rechenmethoden verzichten.⁴⁴

Im weitesten Sinne versteht man unter dem Begriff „Investition“ jede betriebliche Verwendung von finanziellen Mitteln (Kapital). Der Begriff wird jedoch in der Regel etwas enger ausgelegt indem man darunter ausschließlich die Anschaffung von Anlagevermögen (unter Umständen inkl. Umlaufvermögen) versteht. Zu unterscheiden gilt es hierbei zwischen „produktionswirtschaftlichen“ und „finanzwirtschaftlichen“ Investitionen.⁴⁵

Produktionswirtschaftliche Investitionen:

- Ersatzinvestition
- Rationalisierungsinvestition
- Erweiterungsinvestition
- Errichtungsinvestition

Finanzwirtschaftliche Investitionen:

- Verbesserung der Marktstellung

⁴⁴ Vgl. Seicht (1986), S. 11

⁴⁵ Vgl. Seicht (1986), S. 15

- Erlangung von Steuervorteilen
- Anlage von Liquiditätsreserven
- Etc.

In weiterer Folge werden jedoch ausschließlich produktionswirtschaftliche Investitionen betrachtet, da diese für die vorliegende Problemstellung als relevant anzusehen sind.

3.2 AUFGABEN DER INVESTITIONSRECHNUNG⁴⁶

Jedes Unternehmen muss das ihr zur Verfügung stehende Investitionskapital optimal nutzen um am Markt bestehen zu können. Aufgrund dessen sind Instrumente welche in Hinblick auf Investitionen die Spreu vom Weizen trennen für Unternehmen sehr reizvoll. Nicht nur gewinnbringende, sondern auch unvorteilhafte Investitionen sollen so erkannt werden, um eine Strategie festlegen zu können. Aus Sicht des Investors muss demnach die Investitionsrechnung folgende Fragestellungen beantworten:

Einzelinvestition

Wird über ein einzelnes Investitionsobjekt entschieden, so ist ausschließlich zu klären ob dies Vorteile bringt oder nicht. Es soll also aufgrund der Analyse eine Ja/Nein Entscheidung gefällt werden können (= absolute Vorteilhaftigkeit).

Alternativenvergleich und Rangfolgeproblem

Stehen dem Investor mehrere konkurrierende Möglichkeiten zur Verfügung, so muss geprüft werden, welches der Objekte am wirtschaftlichsten ist (= relative Vorteilhaftigkeit). Es sollte sich also eine definitive Rangfolge ergeben, nach denen die Investitionsobjekte zu Reihen sind.

Nutzungsdauer- und Ersatzproblem

Schlussendlich muss noch die Frage geklärt werden wie lange Anlagen im Betrieb verbleiben sollen und wann der optimale Zeitpunkt für einen Ersatz gekommen ist (Ersatzproblem). Die in der Investitionsrechnung gewählte Nutzungsdauer sollte so festgelegt werden, dass dem Investor ein maximaler Vorteil zukommt.

Die Kernfragen lauten also:⁴⁷

- Bei Altanlagen: Sofort ersetzen oder noch ein Jahr weiter betreiben?
- Bei Neuanlagen: Wie lange voraussichtlich nutzen?

⁴⁶ Vgl. Däumler (2003), S. 15

⁴⁷ Däumler (2003), S. 15

3.3 SCHWACHSTELLEN IM INVESTITIONSBEREICH

Aufgrund laufender technischer, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Veränderungen treffen Unternehmen auf ständig veränderte Situationen und Bedingungen, an die sie sich anpassen müssen, um wirtschaftlich erfolgreich zu sein. Um nun diesen Anpassungsprozessen genügend Rechnung tragen zu können, kommt der Investitionsrechnung eine ganz entscheidende Rolle zu. Sie entscheidet schlussendlich über die Stellung des Unternehmens am Markt. Ist die Investition fehlgerichtet, fehlerhaft oder unterbleibt sie vollständig, kann das finanzielle Gleichgewicht des Unternehmens gestört werden und in einer Krise enden. Im Folgenden sollen nun einige Fälle besprochen werden, in denen Unternehmen durch Schwächen in der Investitionskalkulation in Schwierigkeiten geraten können.⁴⁸

Verspätete Anpassung⁴⁹

Durch Veränderung und auch Beschleunigung von Wirtschaftsprozessen sind Investitionen in neue Technologien bzw. Anpassungen des Betriebes auf die veränderte Situation unumgänglich. Wird in wirtschaftlich guten Zeiten die mittel- und langfristige Investitionsplanung vernachlässigt, kann es dazu kommen, dass dem Druck der Konkurrenz nicht mehr Stand gehalten werden kann und das Unternehmen zusehends in eine Krise schlittert. Wird die Markt- und Produktsituation jedoch rechtzeitig analysiert und ist eine hinreichende Weitsicht gegeben, kann durch entsprechende Investitionen der Druck vom Unternehmen genommen werden.

Rationalisierungsfälle⁵⁰

Bei Rationalisierungen, bei denen einzelne Bereiche der Unternehmung ausgegliedert und in anderen Bereichen hauptsächlich Rationalisierungsinvestitionen zur Kostenreduktion vorgenommen werden, können ebenfalls zu Problemen führen. Kurzfristig können auf diese Weise zwar Vorteile lukriert werden, da man am Markt günstig auftreten kann. Langfristig gesehen besteht jedoch die Gefahr einer zu einseitig ausgerichteten Strategie. Treten aufgrund der Fremdvergabe von Produkten bzw. Dienstleistungen Probleme auf, ist es kaum mehr möglich diese Bereiche wieder ins Unternehmen zurückzuholen, da meist das Know-How und die finanziellen Mittel fehlen. In der Investitionsstrategie sollten daher stets langfristige Konsequenzen berücksichtigt werden.

⁴⁸ Vgl. Horst (2009), S. 1 f

⁴⁹ Vgl. Horst (2009), S. 2 f

⁵⁰ Vgl. Horst (2009), S. 3

Spezialisierungsfalle

„Die Investitionsobjekte müssen den im Zeitpunkt der Entscheidung erwarteten Anforderungen entsprechen. Ihr Leistungsspektrum darf jedoch nicht so eng und starr sein, dass sie nicht auf veränderte Anforderungen des Marktes eingestellt werden können.“⁵¹

Organisationsmängel⁵²

Alle lang-, mittel- und kurzfristigen Ziele müssen zwischen den einzelnen Bereichen und Abteilungen des Unternehmens sorgfältig abgestimmt werden. Dahingehend natürlich auch sämtliche gegenwärtigen und zukünftigen Investitionsvorhaben. Nur eine sorgfältige Abstimmung und ausreichende Kommunikation zwischen strategischer und operativer Unternehmensführung bis hin zur Planung und den zukünftigen Nutzern der Investition gewährleistet einen reibungsfreien und ökonomischen Betrieb.

Alternativen übersehen⁵³

Um einen vernünftigen Investitionsentscheid treffen zu können, sollen stets alle möglichen Alternativen betrachtet und bewertet werden, um so zur bestmöglichen Entscheidung zu kommen. Auch wenn Alternativen im ersten Augenblick vielleicht abwegig erscheinen, sollen sie doch mit einbezogen werden, um die Gesamtheit der Situation zu erfassen. Unterlässt man dies, besteht die Gefahr, dass man sich von Beginn an einengt indem man sich Entscheidungsalternativen nimmt. Basiert die Entscheidungsgrundlage vor allem auf Berechnungen, so besteht ebenso die Gefahr, dass aufgrund nicht beachteter Möglichkeiten auch Fehlentscheidungen getroffen werden. Es sollte stets ein breiter Strom von Anregungen und Ideen generiert, in die richtigen Kanäle gelenkt und dort ernsthaft bewertet und beurteilt werden.

Fehlende bzw. ungeeignete Investitionsrechnung⁵⁴

Investitionsrechnungen sollen alle denkbaren Alternativen anhand geeigneter Rechenmethoden bestmöglich beschreiben. Anhand ihrer Ergebnisse sollen rationale Investitionsentscheidungen ermöglicht, jedoch nicht vorweg genommen werden. Die Qualität solcher Berechnungen bestimmt die Treffsicherheit der Entscheidungen und trägt maßgeblich zur Risikominimierung bei.

Eine Schwachstelle in Hinblick auf die Investitionsrechnung ist gegeben wenn:

- Die Investition ohne Berechnung erfolgt.
- Das Ergebnis der Berechnung verfälscht wird, sodass es den Vorstellungen des

⁵¹ Horst (2009), S. 4

⁵² Vgl. Horst (2009), S. 4

⁵³ Vgl. Blohm/Lüder (1991), S. 33 f

⁵⁴ Vgl. Blohm/Lüder (1991), S. 45 ff

Entscheidungsgremiums entspricht.

- Das Berechnungsverfahren ungeeignet ist.
- Die Berechnungen unvollständig sind.
- Die Berechnungen zwar korrekt sind, jedoch weitere wichtige Gesichtspunkte nicht berücksichtigt werden.

3.4 INVESTITIONSPLANUNG

Für eine gute Unternehmensführung spielt auch eine optimale Investitionsplanung eine entscheidende Rolle, da jede unternehmerische Tätigkeit aus einer Kette von Investitions- und De-Investitionsprozessen besteht.⁵⁵

Die Planung der Investition an sich stellt dabei einen Entscheidungsprozess dar, wobei die Handlungsalternativen zu bestimmen und in Hinblick auf die Erfüllung der Ziele zu beurteilen sind. Eine solche Vorgehensweise soll in nachfolgender Abbildung 3-1 beschrieben werden.⁵⁶

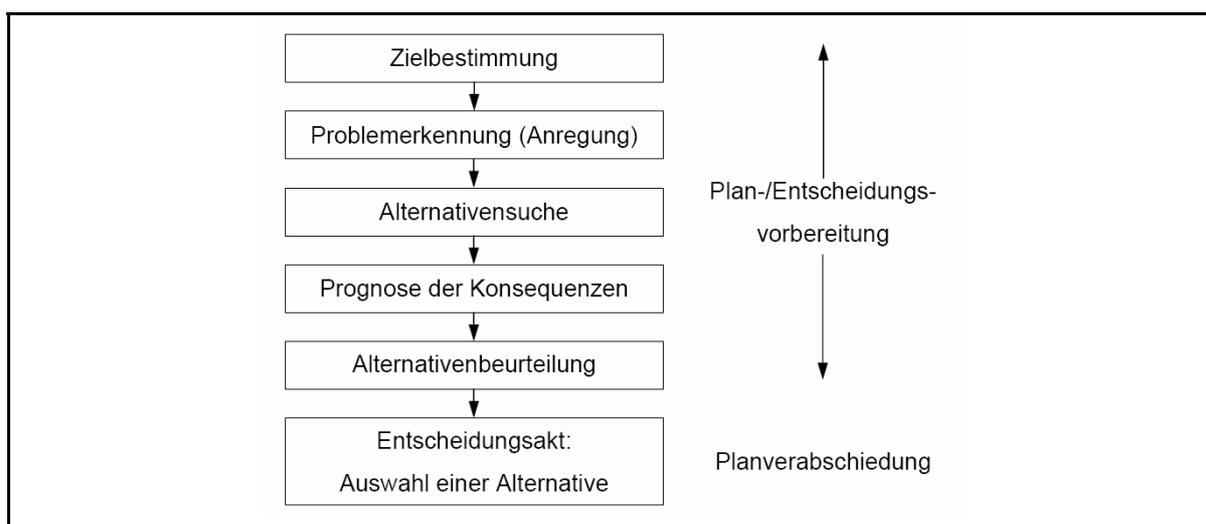


Abbildung 3-1 Phasen eines Entscheidungsprozesses⁵⁷

Zielbestimmungsphase⁵⁸

In dieser Phase sollen die Ziele definiert werden, welche durch eine Investition erreicht werden sollen. Das heißt es wird ein Sollzustand definiert, welcher als Basis zur Problemerkennung und Beurteilung dient. Neben dem Inhalt der Ziele sollen auch das angestrebte Maß der Zielerreichung und ihr zeitlicher Bezug definiert werden.

⁵⁵ Vgl. Seicht (1986), S. 17

⁵⁶ Vgl. Mensch (2002), S. 11

⁵⁷ Quelle: Mensch (2002), S.11

⁵⁸ Vgl. Mensch (2002), S. 11 f

Problemerkennungsphase⁵⁹

Die Erkennung und Klärung eines Problems bildet die Grundlage der Investitionsplanung. Das Problem wird dabei definiert als Abweichung vom festgesetzten SOLL-Zustand zum gegebenen IST-Zustand. Die gegenwärtige Situation entspricht also nicht zukünftigen Erwartungen. Dies können beispielsweise sein:

- Schlechter Zustand vorhandener Anlagen
- Produktionsengpässe
- Produktionsinnovation
- Aktivitäten der Konkurrenz
- Rationalisierungsmöglichkeiten
- Forderungen der Öffentlichkeit
- Staatliche Vorschriften

Äußerst wichtig ist hierbei, dass Probleme frühzeitig erkannt werden, um noch Handlungsspielraum zu haben, bevor sich negative Auswirkungen einstellen. Es sollte daher laufend eine Kontrolle der IST-Situation erfolgen um Problemstellen zu bestimmen und auch deren Ursachen festlegen zu können.

Suchphase⁶⁰

In dieser Phase sind alternative Möglichkeiten zu ermitteln, welche zur Lösung der Problemstellung dienen könnten. Es sollen diese jedoch nicht nur gefunden, sondern auch in Hinblick auf ihre Realisierbarkeit überprüft werden. Wichtig ist, dass keine alternative Möglichkeit ausgelassen wird und alle relevanten Alternativen vollständig erfasst werden, um eine Verfälschung der Ergebnisse zu vermeiden.

Prognosenphase⁶¹

Nach Ausarbeitung aller möglichen Alternativen sind in diesem Schritt nun sämtliche daraus entstehenden Konsequenzen zu ermitteln. Welche Kosten sind durch Anschaffung und Betrieb dieses Investitionsobjektes zu erwarten und wie hoch ist der daraus zu erwartende Nutzen. Auch sollte die Unsicherheit dieser Ergebnisse dargestellt werden.

Beurteilungsphase⁶²

Anhand der ermittelten Konsequenzen sollen die Alternativen schließlich in Hinblick auf die Erreichung der festgelegten Ziele beurteilt werden. Die Erreichung der Einzelziele,

⁵⁹ Vgl. Mensch (2002), S. 12 f

⁶⁰ Vgl. Mensch (2002), S. 13

⁶¹ Vgl. Mensch (2002), S. 13

⁶² Vgl. Mensch (2002), S. 13

sowie der gesamten Ziele in Form einer Zielerreichungsquote. Im besten Fall kristallisiert sich so eine Investitionsvariante als die am besten Geeignete heraus.

Entscheidungsphase⁶³

Schlussendlich werden alle Möglichkeiten miteinander verglichen und eine Handlungsalternative aufgrund der ermittelten Zielerreichungsquoten als die am besten geeignete Investition ausgewählt und realisiert.

3.5 INVESTITIONSRECHENVERFAHREN

Die Verfahren zur Investitionsrechnung sind wichtige Werkzeuge, die die Entscheidungsfindung erleichtern sollen. „Ihre Aufgabe ist es, die vielen Merkmale, in denen sich Investitionsalternativen unterscheiden mögen, jeweils zu einem einzigen Merkmal (zu einer vergleichbaren Kennzahl) zu verarbeiten (reduzieren), wobei diese Kennzahlen geeignet sein sollen, eine sinnvolle Aussage über den Zielerreichungsbeitrag (Beitrag zur Endwertmaximierung, Beitrag zur Entnahmemaximierung) der diversen Investitionsobjekte zu liefern.“⁶⁴

Investitionsrechnungen sollen folglich eine konkrete Aussage über die Zweckmäßigkeit von Investitionsobjekten und Kombinationen von solchen liefern.

Grundsätzlich kann man bei den Methoden der Investitionsrechnung zwischen „Methoden sicherer Erwartung“ und „Methoden unsicherer Erwartung“ unterscheiden. Erstere bildet dabei den Schwerpunkt der Investitionsrechnungen. Hierbei wird angenommen, dass die der Rechnung zugrunde gelegten Daten mit Sicherheit eintreffen werden. Es wird also eine gewisse „Einwertigkeit“ der Daten vorausgesetzt.⁶⁵

In weiterer Folge sollen die „Methoden sicherer Erwartung“, welche sich in statische und dynamische Verfahren aufschlüsseln, detaillierter beschrieben werden.

3.5.1 STATISCHE VERFAHREN

Verfahren der statischen Investitionsrechnung sind dadurch charakterisiert, dass hierbei der „Zeitablauf“ keine Rolle spielt. Die zeitlichen Änderungen der in die Rechnung eingehenden Größen wie z.B: Erträge, Aufwendungen, Leistungen und Kosten werden also nicht berücksichtigt. Die Rechengrößen werden jeweils auf ein Nutzungsjahr bezogen,

⁶³ Vgl. Mensch (2002), S. 13

⁶⁴ Seicht (1986), S. 21

⁶⁵ Vgl. Horst (2009), S. 33

weshalb sie auch als „statisch“ bezeichnet werden. Der Vorteil dieser Verfahren ist in ihrem einfachen Ansatz zu sehen, da keine unsicheren und komplizierten Zukunftsschätzungen vorzunehmen sind. Dadurch sind die nötigen Informationen in der Regel einfach zu beschaffen und stammen meist aus der Kosten- und Erfolgsrechnung.⁶⁶

Folgende statische Rechenmethoden gilt es zu unterscheiden:

- Kostenvergleichsrechnung
- Gewinnvergleichsrechnung
- Rentabilitätsrechnung
- Amortisationsrechnung
- MAPI-Verfahren

3.5.2 DYNAMISCHE VERFAHREN

Verfahren der dynamischen Investitionsrechnung werden auch finanz-mathematische Methoden der Investitionsrechnung genannt. Hierbei wird nun die Tatsache berücksichtigt, dass sich die in die Rechnung eingehenden Größen mit der Investitionsdauer ändern können. Diese Methoden gehen also von einer Zahlungsstromdarstellung aus und berücksichtigen ebenso die Verzinsung des Kapitaleinsatzes durch finanz-mathematische Berechnungsweisen. Der Vorteil dieser Methoden liegt darin, viel genauere Berechnungen anstellen zu können und auch spätere Abläufe in das Kalkül der Investitionsentscheidung mit einfließen lassen zu können.⁶⁷

Folgende dynamische Verfahren gilt es zu unterscheiden:

- Barwertmethoden
 - Kapitalwertmethode
 - Annuitätenmethode
 - Interne-Zinssatzmethode
- Endwertmethoden
 - Vermögensendwertmethode
 - Sollzinssatzmethode
- Dynamische Amortisationszeit

Angewandte Verfahren, sowie auch weitere Berechnungsmethoden, welche für einen Vergleich herangezogen wurden, werden an der jeweiligen Stelle des Wirtschaftlichkeitsvergleiches der Zuschnittanlagen näher beschrieben.

⁶⁶ Vgl. Korndörfer (2003), S. 284 f

⁶⁷ Vgl. Korndörfer (2003), S. 285

3.6 AUSWAHL INVESTITIONSRECHENVERFAHREN

Abschließend soll noch ein kurzer Ausblick gegeben werden, welches Verfahren für die Beurteilung der verschiedenen Investitionsvarianten gewählt wurde.

Ausgewählt wurde hierfür die statische Amortisationsrechnung. Einerseits aufgrund der Tatsache, dass diese Rechenmethode auch in ANDRITZ angewandt wird und somit die Ergebnisse der Investitionsrechnung innerhalb des Unternehmens vergleichbar bleiben. Andererseits kann die Vorteilhaftigkeit der Investitionsobjekte auf diese Weise rasch beurteilt werden, indem die Kürze der Rückflussdauer des investierten Kapitals ermittelt wird. Diese „Wiedergewinnungszeit“ lässt schließlich eine Aussage darüber zu, in welchem Zeitraum sich die Investition bezahlt machen würde. Dieser Wiedergewinnungszeitraum kann auch als ein Maß der Risikoeinschränkung gesehen werden.

Als kritische Amortisationsdauer wird dabei in ANDRITZ eine Dauer von vier Jahren festgelegt, in der sich die Investition amortisieren muss. Investitionsobjekte kommen nur dann in Frage, wenn sie diese Vier-Jahres Schranke unterschreiten.

4 DARSTELLUNG DER IST – SITUATION

Bevor ein Vergleich angestellt werden kann, ist es äußerst wichtig die derzeitige IST-Situation ausführlich zu analysieren und darzustellen. Aus diesem Grund werden im Folgenden alle technischen und betriebsrelevanten Informationen gesammelt dargestellt.

4.1 DIE ANLAGEN

Im Zuschnitt der Abteilung Stahlbau der ANDRITZ AG sind drei Anlagen der Firma ESAB in Betrieb, welche im folgenden Kapitel näher beschrieben werden sollen. In der nachstehenden Abbildung 4-1 sieht man die Halle S4-Nord des Stahlbaues, in welcher sich der Zuschnitt mit sämtlichen dafür erforderlichen Anlagen befindet. Dunkelgrün markierte Anlagen sind jene, die dem Zuschnitt vorgelagert sind, wie z.B. das Vorstrahlen für schwarze Bleche bzw. das Vorbohren. Dieses Verfahren kommt zum Einsatz, wenn die Durchstechvorrichtung auf den Anlagen nicht mehr ausreichend ist und separat vorgebohrt werden muss. Rosa markiert sind die Zuschnittanlagen selbst und in hellgrün die Anlagen welche für die nachgelagerten Arbeitsgänge benötigt werden. Dies betrifft die Schritte Entgraten bzw. Schweißkantenanarbeitung, wobei für das Entgraten keine Anlagen eingetragen sind, da dies mittels Handschleifgeräten durchgeführt wird. Des Weiteren sind in der Abbildung noch weiß markierte Anlagen zu sehen, welche für weiterführende Arbeiten nach dem Zuschnitt stehen, wie z.B. Abkantmaschinen, Einrollmaschinen usw.

Für eine ökonomische Betrachtung der Zuschnittanlagen selbst sind in diesem Fall jedoch nur die farblich markierten Anlagen von Bedeutung.

- I: ESAB SUPRAREX SXE-P3 6500 (Unterwasserplasmaschneidanlage)
- II: ESAB NUMOREX NXB-P7500 (Autogenschneidanlage)
- III: ESAB SUPRAREX SXE-P4000 (Trockenplasmaschneidanlage)
- VS: OETIKER Vorstrahlanlage für schwarze Bleche
- VB: Vorbohranlagen
- SKA: Schweißkantenschleifmaschinen

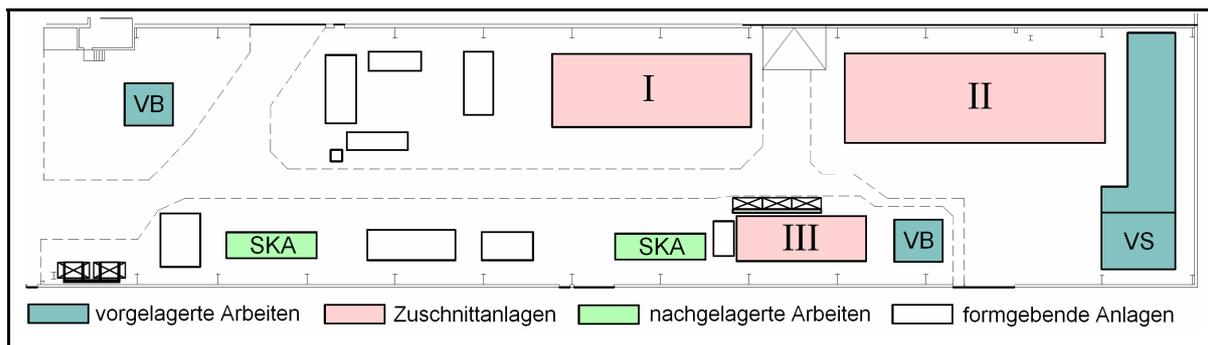


Abbildung 4-1 Layoutplan der Halle S4-Nord (Zuschnitt)

In den folgenden Schritten sollen nun die drei Zuschnittanlagen inklusive der Arbeitsabläufe genauer beschrieben werden.

4.1.1 I: ESAB SUPRAREX SXE-P3 6500 (BJ 2001)

Diese Anlage ist eine Unterwasser-Plasmaschneidanlage in Portalbauweise (UW-Pl. Anlage) mit einem Arbeitstisch, welcher in zwei Bereiche geteilt werden kann. Jeder der beiden kann separat geflutet werden, sodass auf einer Seite bereits geschnitten werden kann, während auf der zweiten Seite noch gerüstet wird. Für die Bearbeitung von sehr großen Formaten können jedoch auch beide Bereiche gemeinsam geflutet werden. Diese ist die jüngste der drei Anlagen und besitzt eine CNC-Bahnsteuerung mit drei steuerbaren Achsen.

Technische Daten:

Geschnittenes Material:rostfreier Stahl
 Max. Bauteilgröße: 12 x 4,3 m
 Max. Blechstärken: 45 mm
 Stromquellen: 2 x ESAB: ESP 600C
 Brenner: HYPERTHERM: PAC 500
 Brenneranzahl: 2
 Schneidgas: Stickstoff: N₂

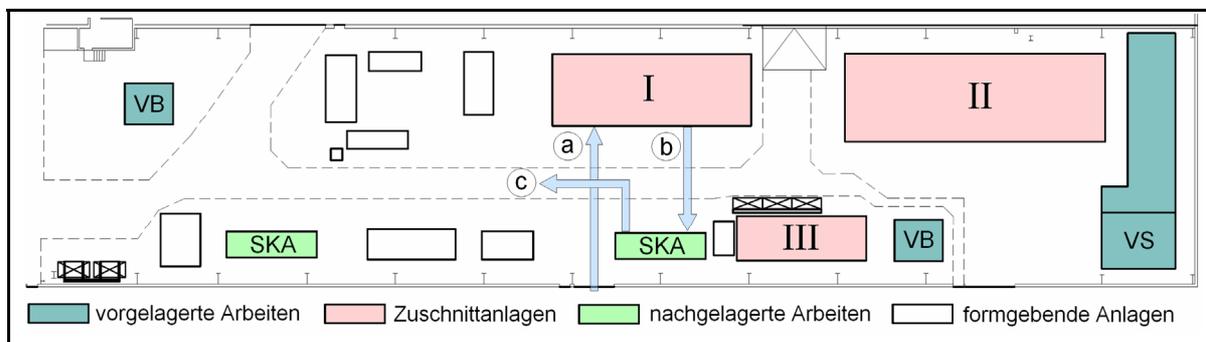


Abbildung 4-2 Arbeitsabfolge beim Zuschnitt auf der UW - Plasma Anlage

Die zu schneidenden Bleche werden mittels Stapler vom Lagerplatz in die Halle S4 gebracht (Abbildung 4-2a) und auf der Anlage eingerichtet. Der Zuschnitt selbst erfolgt CNC gesteuert laut vorliegender Schachtelplanung, welcher zuvor von der Planungsgruppe angefertigt wurde. Nach diesem Arbeitsschritt werden die Teile entgratet, und falls erforderlich eine Schweißkantenanarbeitung (Abbildung 4-2b) durchgeführt. Anschließend verlässt das Bauteil den Zuschnitt (Abbildung 4-2c) und durchläuft die darauf folgenden Arbeitsschritte. Ist laut Ausschreibung keine Anarbeitung nötig, gelangt es ohne weitere Bearbeitung zum nächsten Arbeitsschritt (Abbildung 4-2c). Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, dass aufgrund der Forderung nach einer qualitativ hochwertigen Schnittkante

eine mechanische Nachbearbeitung erforderlich ist. In diesem Fall erfolgt nur ein Entgraten der Kanten für ein sicheres Handling und alle weiteren Arbeitsschritte inklusive Schweißkantenanarbeitung erfolgen im Zuge der mechanischen Fertigung.

4.1.2 II: ESAB NUMOREX NXB-P7500 (BJ1982/1996)

Die Numorex ist eine Autogenschneidanlage für die Bearbeitung von schwarzen Stählen bis maximal 300 mm Stärke welche ebenfalls in Portalbauweise ausgeführt ist. Sie ist die älteste der Zuschnittanlagen, wurde jedoch im Jahre 1996 mit einer Feinstrahlplasmaanlage für den Schnitt von Blechen bis 10 mm Stärke aufgerüstet. Der Tisch dieser Maschine ist sehr groß dimensioniert, kann jedoch nicht eigens in einzelne Bereiche unterteilt werden. Aufgrund der Größe ist es aber möglich auf einer Seite bereits zu schneiden, während auf der anderen noch gerüstet wird. Sie ist ausgestattet mit jeweils zwei autogenen Brennern für senkrechte Schnitte und zwei Anlagen für Fasenschnitte, den sogenannten Dreibrenneraggregaten. In Summe sind sechs Brenner installiert, welche mittels CNC-Bahnsteuerung und zwei steuerbaren Achsen geführt werden.

Technische Daten:

Geschnittenes Material:Kohlenstoff - Stahl
 Max. Bauteilgröße: 21 x 5,6 m
 Max. Blechstärken: 300 mm
 Stromquellen: HYPER THERM: HD1070 / HD3070
 Brenner: HYPER THERM: PAC 186
 Brenneranzahl: 6
 Schneidgas: Propan: C_3H_6 , Sauerstoff: O_2 , Stickstoff: N_2

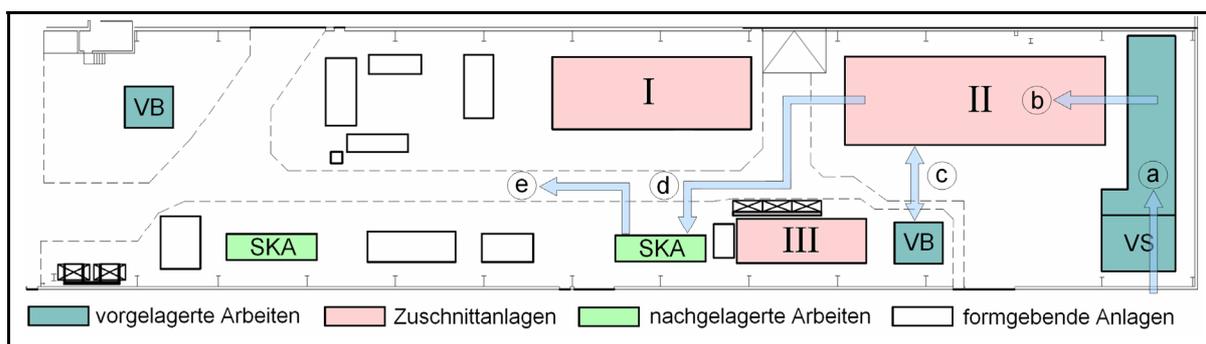


Abbildung 4-3 Arbeitsabfolge beim Zuschnitt auf der Autogen Anlage

Schwarze Bleche werden in ANDRITZ bereits vor dem Zuschnitt durch eine Vorstrahlanlage gereinigt, wodurch Zunder oder andere Verunreinigungen entfernt werden. Dies ist für den Zuschnitt nicht unbedingt erforderlich, jedoch für nachfolgende Bearbeitungen. Aufgrund der einfachen Handhabung wird dieser Arbeitsschritt vorgezogen und schon vor dem Schnitt gemacht. Daher erfolgt der Transport der Bleche nicht, wie beim rostfreien

Material mittels Stapler in die Halle, sondern durch die Vorstrahlanlage (Abbildung 4-3a). Hierfür werden die Bleche direkt vom Lagerplatz durch die Vorstrahlanlage unterirdisch in die Halle befördert. Nach erfolgter Reinigung werden sie auf der Autogenanlage eingerichtet (Abbildung 4-3b). Für Bleche bis 100 mm Stärke kann direkt auf der Maschine durchgestochen und geschnitten werden. Sind sie jedoch dicker, muss man vorbohren. Dafür werden mittels Autogenbrenner auf der Zuschnittanlage die Körnerpunkte gesetzt und anschließend auf der Bohrmaschine gebohrt (Abbildung 4-3c). Nun kann auch in diesem Fall der Zuschnitt erfolgen. Anschließend werden wieder die bekannten Phasen Entgraten und Schweißkantenanarbeitung (Abbildung 4-3d) durchlaufen mit anschließender Weitergabe an nachfolgende Arbeitsschritte (Abbildung 4-3e).

4.1.3 III: ESAB SUPRAREX SXE-P4000 (BJ 1993)

Bei dieser Anlage (Abbildung 4-4) handelt es sich um eine Trocken-Plasmaschneidanlage (Tr.-Pl.) mit einem Arbeitstisch der Größe 10 x 3 m in Portalbauweise. Aufgrund der Tischgröße ist es bei dieser Maschine nicht möglich zu schneiden und gleichzeitig zu rüsten. Die Anlage wird mit zwei Stromquellen betrieben, welche für die Bearbeitung von großen Blechstärken von bis zu 120 mm parallel geschaltet werden können. Es wird ausschließlich rostfreies Material geschnitten, wobei jedoch ausschließlich Bleche im Bereich von 45 – 120 mm geschnitten werden, da der untere Dickenbereich bereits von der UW - Pl. Anlage abgedeckt wird.

Technische Daten:

Geschnittenes Material:rostfreier Stahl
 Max. Bauteilgröße: 10 x 3 m
 Max. Blechstärken: 120 mm
 Stromquellen: 2 x KJELLBERG: PA-S75 CNC
 Brenner: KJELLBERG: PB-S75W-2 / PB-S150W-2
 Brenneranzahl: 2
 Schneidgas: Wasserstoff: Ar/H₂

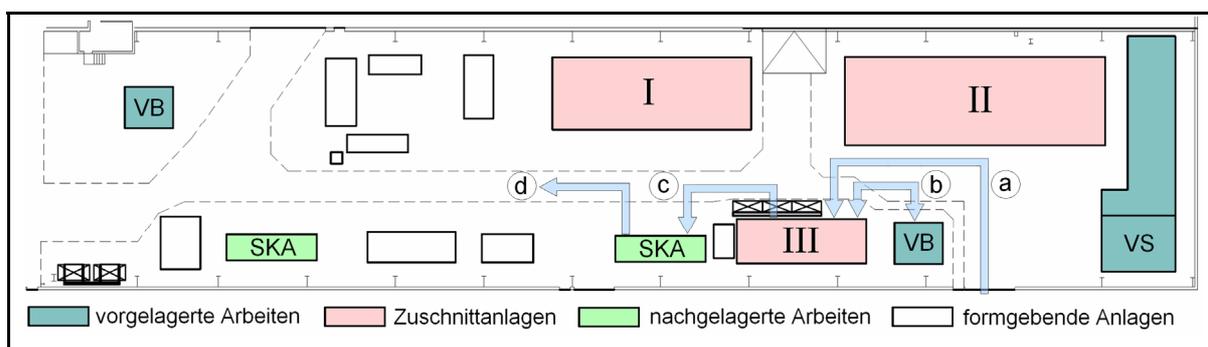


Abbildung 4-4 Arbeitsabfolge beim Zuschnitt auf der Tr.-Plasma Anlage

Auch bei dieser Anlage werden die Bleche mittels Stapler vom Lagerplatz auf die Anlage gebracht (Abbildung 4-4a) und eingerichtet. Bleche bis 55 mm Stärke können direkt geschnitten werden, da die Lochstecheinrichtung bis zu dieser Stärke ein Durchschießen ermöglicht. Liegt die Blechstärke jedoch darüber, müssen auch auf dieser Anlage Körnerpunkte zum Vorbohren gesetzt werden und anschließend die Bohrungen für den Anschnitt auf der Bohrmaschine gefertigt werden (Abbildung 4-4b). Danach muss das Blech wieder auf der Zuschnittanlage eingerichtet werden, wo es dann auch geschnitten wird. Letztlich werden wieder die Schritte Entgraten und Schweißkantenanarbeitung durchlaufen (Abbildung 4-4c). Sind auch diese Arbeitsschritte durchgeführt, können die Bauteile ihrer weiteren Bearbeitung zugeführt werden (Abbildung 4-4d). Natürlich besteht auch hier die Möglichkeit, dass eine mechanische Nachbearbeitung erforderlich ist. Die Schweißkantenanarbeitung wird dabei im Zuge der mechanischen Fertigung durchgeführt.

4.2 DIE SOFTWARE

Um Bauteile aus Blechen zu schneiden ist es erforderlich einen so genannten Schachtelplan zu erstellen, anhand dessen alle für den Zuschnitt erforderlichen Parameter festgelegt werden. Abbildung 4-5 zeigt nun den schematischen Ablauf einer Schachtelplanerstellung wie er derzeit durchgeführt wird.

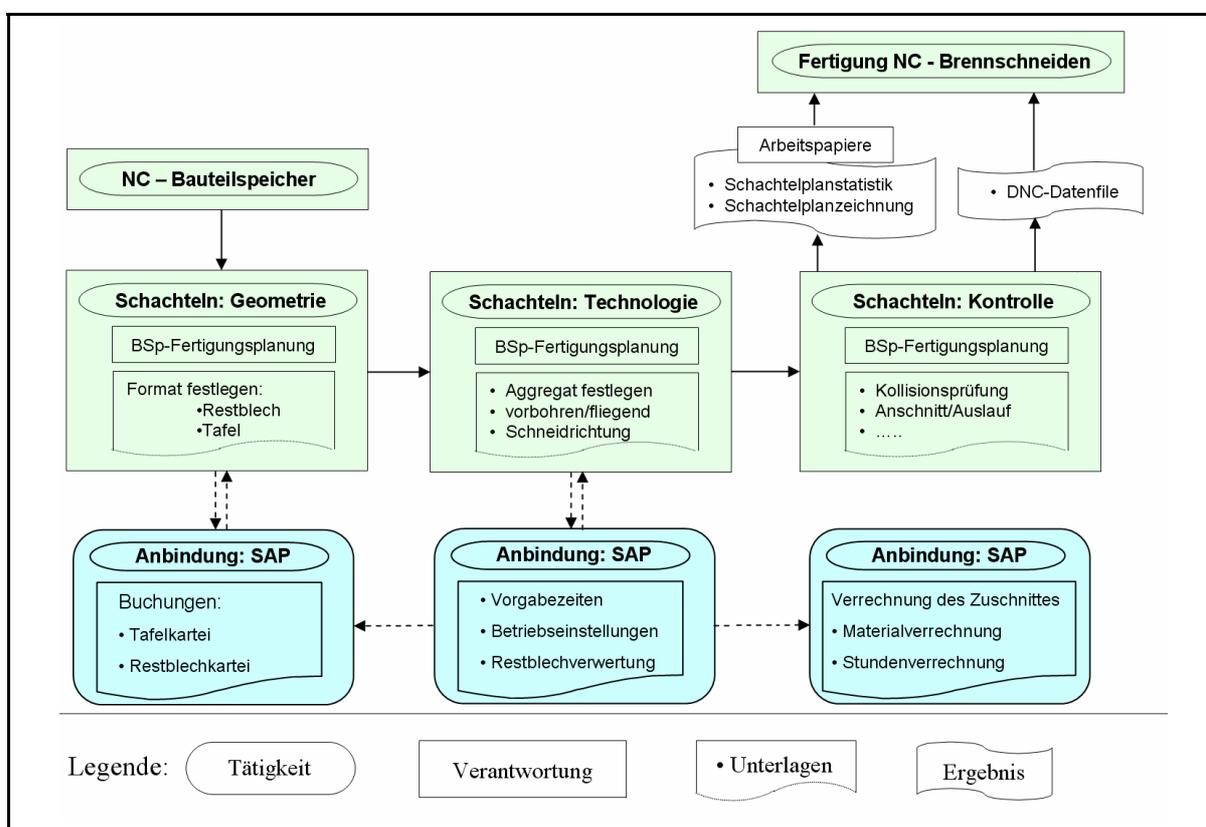


Abbildung 4-5 Schema der Schachtelplanung

Das derzeit in ANDRITZ verwendete System VANCS der Firma Z-CAM ist ein speziell auf die Bedürfnisse des Unternehmens zugeschnittenes Schachtel- und Zeitvorgabesystem mit integrierter Material und Restblechstatistik. Ebenso erfolgt eine automatische Pflege aller notwendigen Informationen wie Vorgabezeiten jeder Kostenstelle (Vorstrahlen, Vorbohren, Zuschnitt, SKA), Materialabbuchungen der Rohbleche und Verwaltung der Restbleche (Zu- und Abbuchungen) an ASAP.

Die Schachtelung der Bauteile auf dem Blechformat erfolgt dabei händisch. Vorgegeben sind Parameter wie Anschnitt, Auslauf, Schnittgeschwindigkeit und auch Brenneinstellungen, welche vom Bediener gegebenenfalls auf die Zuschnittaufgabe angepasst werden können.

4.3 DIE AUSLASTUNG

Um die Anlagen jetzt untereinander bzw. in weiterer Folge mit Alternativen vergleichen zu können, ist es notwendig die komplette IST-Situation auszuwerten. Dazu werden im ersten Schritt die Maschinenstunden der letzten Jahre ermittelt.

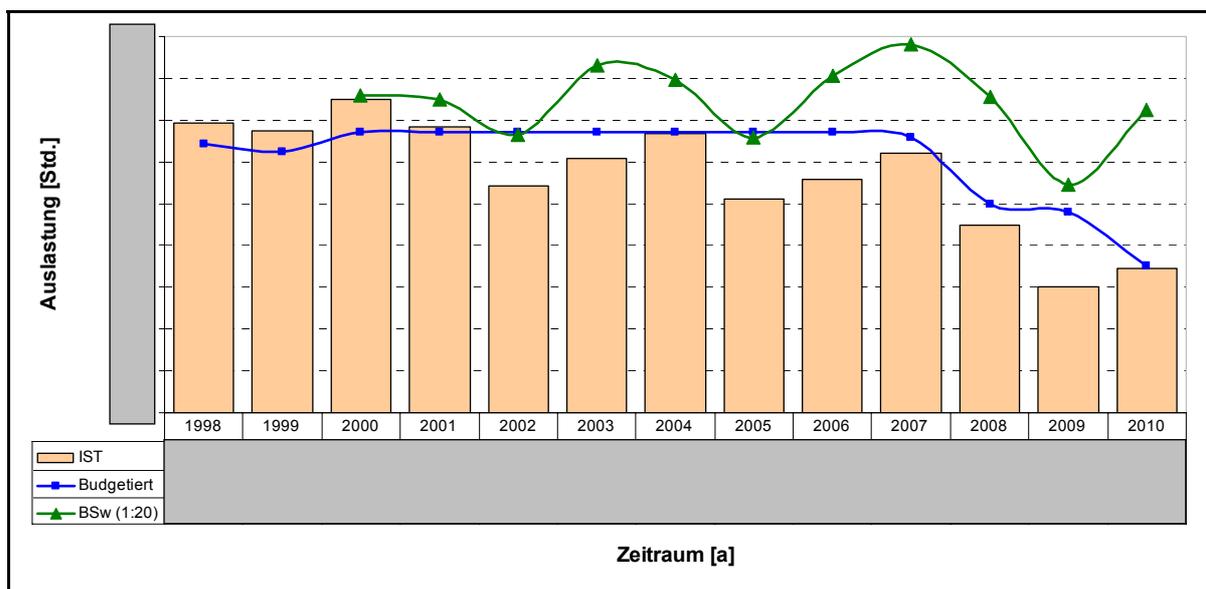


Abbildung 4-6 Maschinenstunden der Zuschnittanlagen im Vergleich zum gesamten Stahlbau

In Abbildung 4-6 ist zu sehen dass der Zuschnitt in ANDRITZ einer ständigen Schwankung unterliegt. Zurückzuführen ist dieses Phänomen auf das ständig wechselnde Produktportfolio, was sich sehr stark auf die Auslastung des Stahlbaues auswirkt. Ebenfalls sehr markant ist, dass speziell in den letzten drei Jahren ein erheblicher Rückgang an Zuschnitten zu verzeichnen ist. Vergleicht man diese Werte mit denen des gesamten Stahlbaues, so erkennt man, dass es vom Auslastungsverlauf keine gravierenden Unterschiede zu erkennen gibt. Die Werte des Stahlbaues (BSw) wurden dabei mit dem Faktor

1:20 in der Grafik berücksichtigt, um eine Vergleichbarkeit der Verläufe zu ermöglichen. Davon ausgehend kann man sagen, dass der Einbruch der letzten Jahre bzw. die Schwankungen nicht ausschließlich auf den Zuschnitt zurückzuführen sind, sondern sich dieser analog zur gesamten Abteilung Stahlbau verhält.

Im nächsten Schritt wurde untersucht, wie sich diese Stunden auf die jeweiligen Anlagen verteilen. Dazu wurde auf das VANCS Produktionsdaten-Verwaltungsprogramm der Schachtelplanung zurückgegriffen, welches die Daten jedes Schnittes aufzeichnet und in einer Statistik hinterlegt. Da das Statistikprogramm erst mit Ende 2006 in ANDRITZ eingeführt wurde und sämtliche Daten erst ab dem Jahr 2007 zur Verfügung standen, konnte die Stundenverteilung nur über diesen kurzen Zeitraum ermittelt werden. In Abbildung 4-7 ist die Verteilung der Fertigungsstunden der einzelnen Anlagen zu sehen. Hierbei ist zu erkennen, dass die UW - PI. Anlage den größten Anteil am Zuschnitt hält. Daraus lässt sich schließen, dass mit dieser Anlage auch am ehesten ein positives Ergebnis erzielt werden kann. Hingegen ist die Tr.-PI. Anlage sehr schwach ausgelastet, welche nur ein Viertel der Auslastung der UW-PI. Anlage aufweist.

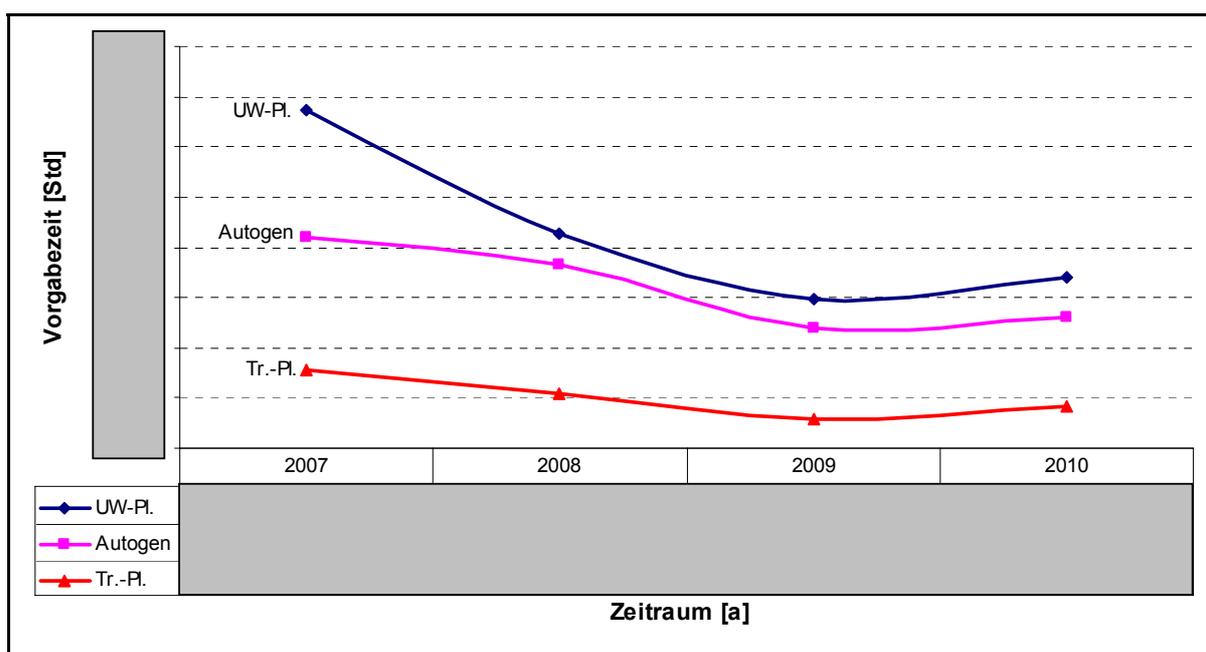


Abbildung 4-7 Maschinenstunden der jeweiligen Anlagen

Die Autogenanlage liegt von der Auslastung im Mittelfeld der drei Anlagen. Wobei bei dieser Anlage noch zwischen den einzelnen Brenneraggregaten zu unterscheiden ist. Hier sind nämlich neben der autogenen Senkrechtschneidanlage (EA) noch ein Dreibrenneraggregat (EA3) für Fasenschnitte und ein High Definition Plasmaaggregat (EAH) für schnelle saubere Schnitte im Dünnblechbereich installiert. Schlüsselt man die Daten dieser Anlage noch genauer auf, so ergeben sich folgende Erkenntnisse. Mit dem EA Aggregat werden ca. 80 – 85 % geschnitten und mit dem Brenner EAH ca. 10 – 15 %. Die

schlechte Auslastung des EAH ist jedoch nur darauf zurückzuführen, dass dem Dünnblechbereich bis 10 mm nur ein geringer Anteil zukommt und aufgrund dessen kaum ein besseres Ergebnis erzielt werden kann. Auf das Dreibrenneraggregat EA3 fällt nur mehr ein sehr geringer Anteil von 2 – 5 %. Diese geringe Auslastung verschlechterte sich zudem in den vergangenen Jahren. Recherchen haben ergeben, dass in den letzten Jahren die Produkte, welche mit dem EA3 Aggregat geschnitten wurden, zum Großteil weggefallen sind und es dadurch zum Einbruch in der Auslastung dieses Aggregates gekommen ist. Als Folge der geringen Nutzung fehlt nun auf diesem Gebiet das Know-how zur aufwendigen Programmierung bzw. werden die Fertigkeiten zur Programmierung der Aufgaben im umfangreichen Programm zusehends verlernt.

Um den Zuschnitt nun beurteilen zu können bzw. um diesen künftig optimal auslegen zu können, ist es erforderlich auch die Materialstatistik zu ermitteln. Welche Materialien wurden in den vergangenen Jahren in welcher Blechstärke geschnitten und wohin entwickelt sich der Trend. Auch diese Daten wurden aus der Statistik des Produktionsdaten-Verwaltungsprogrammes VANCS ermittelt.

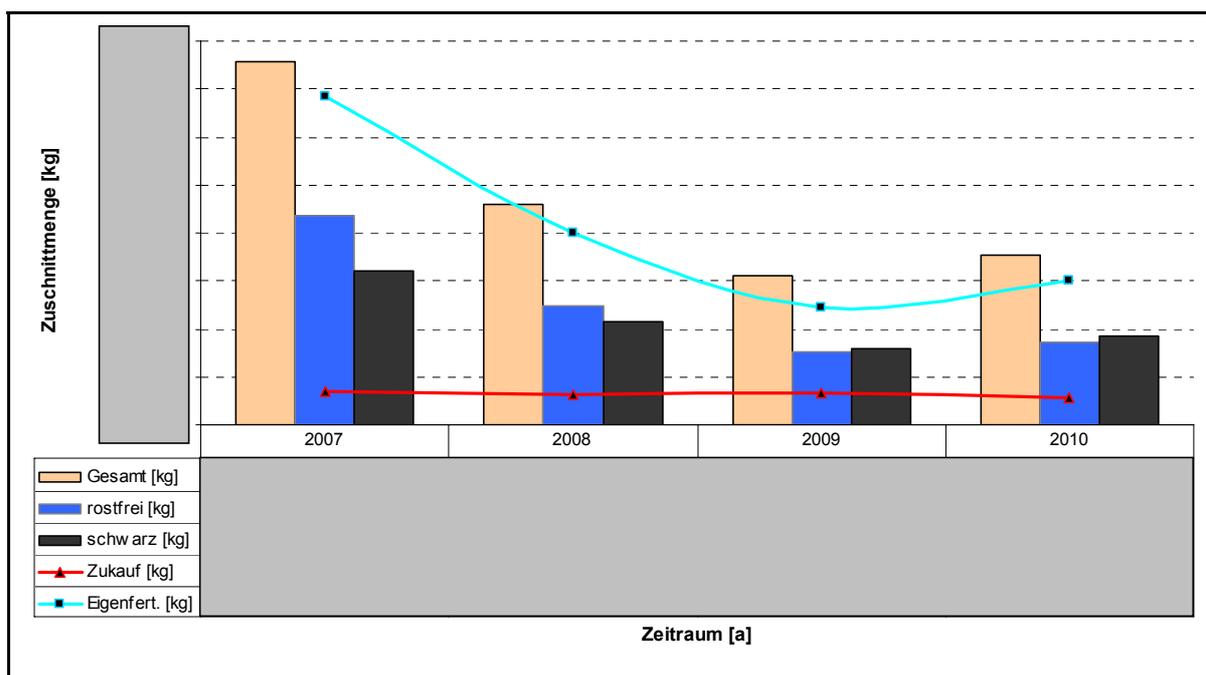


Abbildung 4-8 Materialstatistik der Ist – Zustandsanalyse

Abbildung 4-8 zeigt die Gesamtmengen an geschnittenem Material in Kilogramm über die letzten vier Jahre. Diese Werte wurden schließlich weiter aufgeschlüsselt in rostfreien bzw. schwarzen Zuschnitt. Weiters wurde untersucht, welcher Anteil davon im Haus auf den eigenen Anlagen und welcher auswärts von Lohnfertigern geschnitten wurde.

Man sieht sehr deutlich den analogen Verlauf der Materialstatistik zu der Auslastung der Anlagen. Der Einbruch an Fertigungsstunden der letzten Jahre sowie eine leichte Erho-

lung seit dem Jahr 2010 ist sehr deutlich zu erkennen. Außerdem fällt auf, dass das rostfreie Material sehr viel stärker eingebrochen ist als schwarzes Material, was eindeutig einen Trend zu C-Stahl vermuten lässt. Zusätzlich ist noch ein gegenläufiger Trend in Bezug auf Zukauf bzw. Eigenfertigung auszumachen. Trotz sinkender Fertigungsanteile wurde bis 2009 ein leicht steigender Anteil an Zukauf getätigt. Diesem Trend wurde erst mit 2010 entgegengewirkt um die Stellung des eigenen Zuschnittes zu verbessern.

Ausgehend von dieser Statistik wurde nun weiter ins Detail gegangen und ermittelt, welche Blechstärken der jeweiligen Materialien geschnitten wurden. Um einen besseren Überblick zu bekommen, welche Bereiche besonders relevant für weitere Betrachtungen sind, wurden die Blechstärken in Bereiche zusammengefasst und davon der Anteil am gesamten Schnitt errechnet. Die hier dargestellten Werte beziehen sich auf Durchschnittswerte der letzten vier Jahre und betreffen die Fläche der geschnittenen Materialien. Die Werte beziehen sich also auf Quadratmeter und nicht wie vorhin in der Gesamtstatistik auf Kilogramm. Diese Umrechnung ist erforderlich, da sich nur auf diese Weise ein direkter Bezug zu den Anteilen der jeweiligen Blechstärken herstellen lässt.

Tabelle 4-1 Materialstatistik rostfrei

Blechstärke [mm]	Anteil [%]	Kumuliert [%]
1 - 10	█	█
10 - 20	█	█
20 - 40	█	█
40 - 60	█	█
60 - 80	█	█
80 - 100	█	█
100 - 120	█	█

Tabelle 4-2 Materialstatistik schwarz

Blechstärke [mm]	Anteil [%]	Kumuliert [%]
1 - 10	█	█
10 - 20	█	█
20 - 40	█	█
40 - 60	█	█
60 - 100	█	█
100 - 160	█	█
160 - 220	█	█

In Tabelle 4-1 ist die Verteilung der rostfreien Materialien nach Blechstärken dargestellt. Hierbei ist gut erkennbar, dass im rostfreien Bereich der Fokus im Bereich bis 40 mm liegt und bei einer Materialstärke von 80 mm beinahe der gesamte Zuschnitt stattfindet.

In Tabelle 4-2 wird schließlich die Verteilung der schwarzen Materialien nach Blechstärken geführt. Die Verteilung in diesem Fall stellt sich durchaus gleichmäßiger dar. Der Fokus liegt eher im Bereich bis 60 mm Materialstärke und ist im Dünoblechbereich bis 10 mm nicht so sehr ausgeprägt. Man kann jedoch auch hier erkennen, dass man bereits bei relativ geringer Blechstärke von 100 mm fast die Gänze des Zuschnittes abdeckt.

Es ist nun zu erörtern, ob die Anlagen in der vorhandenen Größe, notwendig sind bzw. genutzt werden, oder ob man sich auf die ermittelten Kernblechstärken konzentrieren und den Zuschnitt dahingehend auslegen sollte.

4.4 DIE BELEGUNG

Als Erstes wurde die UW-PI. Anlage betrachtet, auf welcher ausschließlich rostfreie Bleche geschnitten werden. Die nachfolgende Grafik (Abbildung 4-9) spiegelt die Blechgrößen wieder, welche auf dieser Anlage geschnitten werden können. Dabei ist die Blechlänge über der Blechdicke aufgetragen und ergibt so den Einsatzbereich der Maschine.

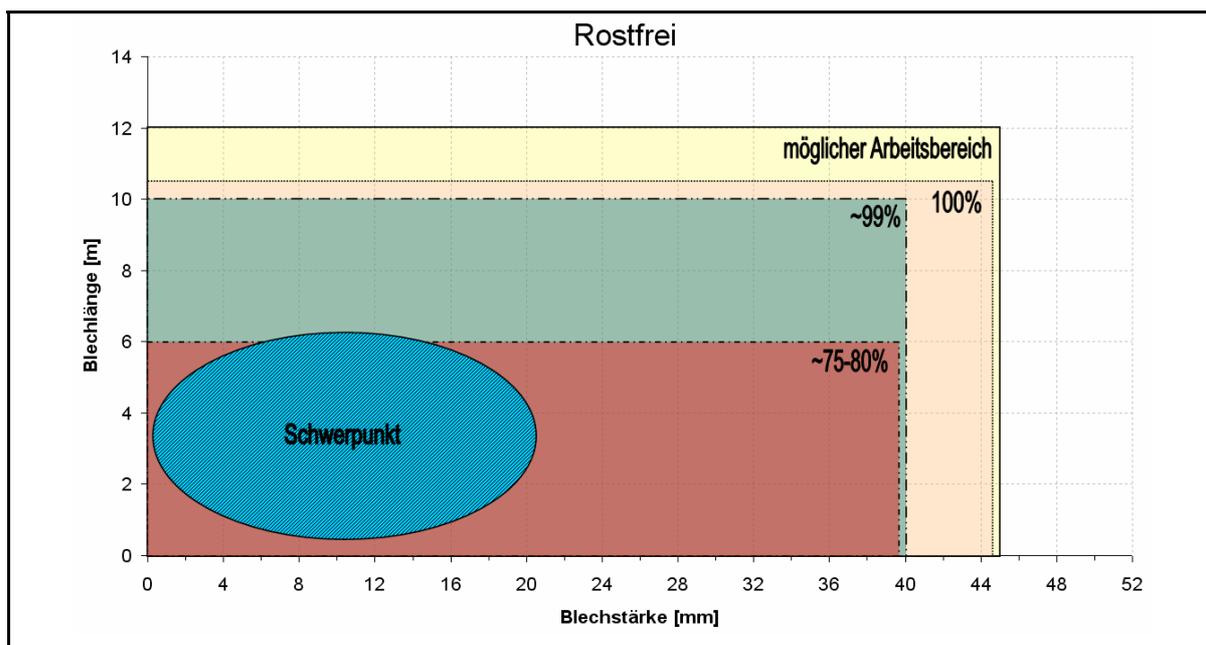


Abbildung 4-9 Maschinenbelegung der UW - PI. Anlage

Wie man in Abbildung 4-9 erkennen kann, ist der maximale Arbeitsbereich mit einer Länge von 12 m und einer Blechstärke von 45 mm begrenzt. Diese Grenzen werden auf dieser Anlage auch annähernd zur Gänze ausgeschöpft, wobei der Schwerpunkt der Bearbeitung bei einer Blechstärke von 1,5 - 20 mm und einer Länge von ca. 6 m liegt. Würde man die Tischlänge auf 6 m beschränken, könnten immerhin noch ~75 - 80 % der derzeitigen Schnitte auf dieser Anlage durchgeführt werden. Bei einer Länge von 10 m und Beschränkung auf 40 mm Blechstärke, wären immerhin noch ca. 99 % der momentanen Produkte auf dieser Anlage realisierbar.

Als nächstes wurde die Belegung der Autogenschneidanlage evaluiert, welche einen sehr großen Schneidtisch mit 21 m Länge und 7 m Breite hat. Die maximal schneidbare Blechstärke für schwarze Stähle ist dabei mit 300 mm begrenzt. Abbildung 4-10 zeigt, dass dieses Spektrum der Maschine jedoch nicht ausgenutzt wird. Von den statistisch erhobenen Produkten der letzten vier Jahre, befanden sich alle im Bereich von 15 m Länge und 220 mm Stärke. Mit derselben Länge und einer Blechstärke von 110 mm könnten noch immer ungefähr 98 % der Schnitte erledigt werden. Bei einer Länge von 6 m wären dies

immer noch ca. 60-70 %. Der Schwerpunkt der Anlage liegt bei Blechstärken bis 60 mm und Längen von knapp über 6 m.

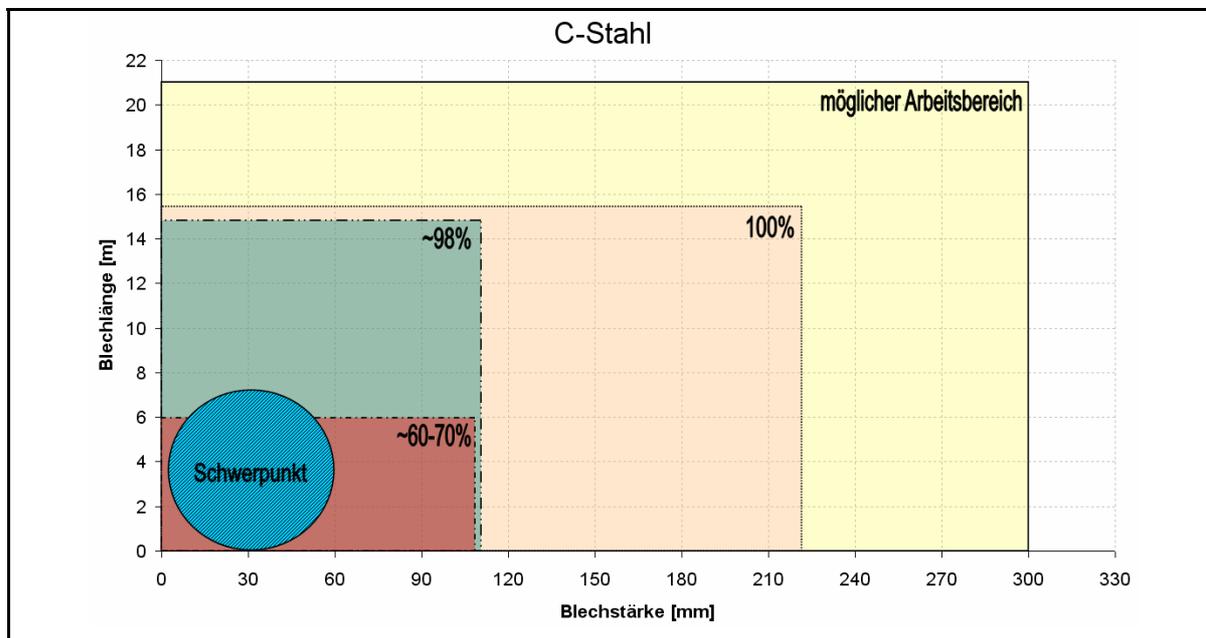


Abbildung 4-10 Maschinenbelegung der Autogenschneidanlage

Das Ergebnis dieser Untersuchung zeigt, dass diese Anlage einen viel größeren Einsatzbereich erlaubt, als eigentlich benötigt bzw. genutzt wird. Eine Verkleinerung der Anlage würde also bereits gewisses Einsparungspotential bieten. Durch die beschriebenen Einschränkungen müssten nur geringe Anteile durch Lohnfertigung bereitgestellt werden.

Zuletzt wurde schließlich die Tr.-Pl. Anlage betrachtet. Sie dient zum Schneiden von rostfreien Materialien, wobei ihr Einsatzbereich von 10 m langen über 3 m breiten bis hin zu 120 mm dicken Blechen reicht. Abbildung 4-11 zeigt jedoch, dass diese Anlage erst ab einer Blechstärke von 45 mm zum Einsatz kommt. Der untere Dickenbereich wird wie bereits erwähnt von der UW-Pl. Anlage abgedeckt. Die vorhergehende Auswertung der Materialstatistik hat jedoch gezeigt, dass dies im rostfreien Bereich bereits einen Anteil von ca. 95 % der gesamten Schnitte ausmacht. Würde sich der Zuschnitt bei dieser Anlage auf 7 m Länge und einer Blechstärke von 100 mm beschränken, so könnten rund 99 % der auf dieser Anlage geschnittenen Bleche bearbeitet werden. Bei einer weiteren Einschränkung auf 6 m Blechlänge könnte man immerhin noch bis zu 90 % der Schnitte fertigen. Der Schwerpunkt der Bleche liegt hier bei einer Stärke von 45 - 80 mm und einer Länge von 6 m.

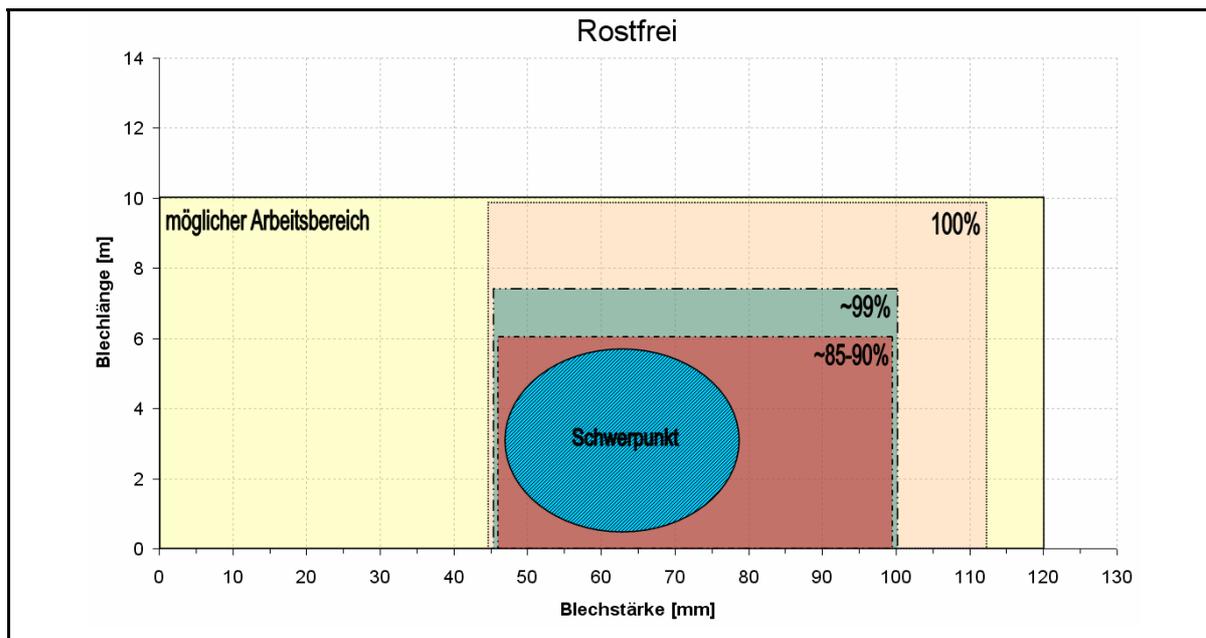


Abbildung 4-11 Maschinenbelegung der Tr. – PI. Anlage

Zusammenfassend kann man sagen, dass die schlechte Auslastung der Tr.–PI. Anlage auf das Fehlen von geeigneten Produkten zurückzuführen ist. Rund 95 % der rostfreien Schnitte werden auf der UW-PI. Anlage getätigt und nur 5 % fallen auf die Tr.-PI. Anlage. Aufgrund dieser Tatsache ist ein wirtschaftliches Ergebnis äußerst schwierig zu erzielen. Rein von der Anlagengröße wäre sie durchaus ausreichend, jedoch ist sie technologisch mit der UW-PI. nicht vergleichbar, weshalb eine Verteilung der Produkte auf beide Maschinen auch nicht in Frage kommt.

4.5 DIE KOSTENANALYSE

Nach Auswertung sämtlicher technisch relevanter Informationen bezüglich Art der geschnittenen Bleche, der Blechstärken und Anlagenbelegung, ist nun die derzeitige Kostensituation der Maschinen von Interesse. Hierzu wurden die Kostenberichte der letzten Jahre herangezogen und analysiert, um zu sehen, wie sich die Kosten auf die jeweiligen Anlagen verteilen.

Da diese jedoch zu einer Kostenstelle zusammengefasst sind und auch keine genaueren Aufzeichnungen darüber bestehen, wie diese Kosten den Maschinen zugerechnet werden, muss eine Aufschlüsselung erst vorgenommen werden. Dazu wurden Verteilungsschlüssel ermittelt mit denen die Verrechnung verursachungsgerecht vorgenommen werden kann. In Tabelle 4-3 sind die Verteilungen der Kostenarten zu sehen. Hauptverteilungsschlüssel ist hierbei die Aufteilung nach den ermittelten Vorgabezeiten der drei Maschinen. Personalkosten sowie die innerbetriebliche Leistungsverrechnung, Nacharbeit, Ausschuss und die Leistungen, welche auf Auftrag verrechnet wurden, können so zuge-

teilt werden. Um die Materialkosten zuweisen zu können, wurde eine Verbrauchsstatistik der eingesetzten Betriebsgase erstellt, welche für die einzelnen Verfahren benötigt werden. Die Betriebsgase wurden herangezogen, da diese einen überwiegenden Anteil der Materialkosten darstellen und somit eine repräsentative Verteilung vorgenommen werden kann. Anhand dieses Schlüssels wurden schließlich die gesamten Materialkosten den Maschinen zugewiesen. Aufgrund der Tatsache, dass den verbliebenen Kostenarten kein Schlüssel zugeordnet werden konnte, erfolgte eine gleichmäßige Verteilung dieser auf alle Anlagen.

Die Umlagen widersprechen dem Verursachungsprinzip, stellen jedoch einen großen Teil der Kosten dar. Für einen Wirtschaftlichkeitsvergleich ist es demnach zulässig diese aus der Kostenanalyse zu entfernen, oder zu gleichen Teilen zuzurechnen, wodurch sie quasi verursachungsgerecht werden. Die Aussagekraft des Kostenberichtes ist dennoch mit Vorsicht zu betrachten, da eben keine genaue Verteilung getroffen werden kann. Es ist jedoch ein Trend erkennbar, aufgrund dessen abgeschätzt werden kann, welche Anlagen einen positiven Einfluss auf das Betriebsergebnis ausüben.

Tabelle 4-3 Verteilungsschlüssel Kostenbericht

		Kostenbericht/Verteilung			
		UW-Pl.	Autogen	Tr.-Pl.	Gesamt
Personalkosten	[€/a]	Verteilung durch Vorgabezeiten			Gesamtkosten der KST Zuschnitt entnommen aus dem Kostenbericht
Materialkosten	[€/a]	Verteilung durch Verbrauchsstatistik			
Reparat., Instandh., GWG	[€/a]	1/3			
Werkzeuge	[€/a]	1/3			
Nacharbeit/Ausschuss	[€/a]	Verteilung durch Vorgabezeiten			
Steuern	[€/a]	1/3			
Gemeinkosten	[€/a]	1/3			
div. Umlagen	[€/a]	1/3			
Be-/Entlastung aus ILV	[€/a]	Verteilung durch Vorgabezeiten			
Gemeinkostenzuschläge	[€/a]	1/3			
Belastung	[€/a]	Summe: Kostenarten			
auf Auftrag verrechnet	[€/a]	Verteilung durch Vorgabezeiten			
Be-/Entlastung aus ILV	[€/a]	Verteilung durch Vorgabezeiten			
Entlastung	[€/a]	Summe: Kostenarten			
Über-/Unterdeckung	[€/a]	Summe: Be,- Entlastung			

In der Tabelle 4-4 sieht man eine Zusammenfassung der durchgeführten Kostenverteilung der letzten zehn Jahre. Hierbei wurde das derzeitige SAP-Kontierungsschema der ANDRITZ AG übernommen, wobei eine erzielte Überdeckung negativ und schwarz, eine Unterdeckung positiv und in rot dargestellt wird.

Wie vorhin erwähnt sind diese Werte aufgrund der nicht exakten Zurechenbarkeit ausschließlich als Trends anzusehen und nicht als Absolutwerte der jeweiligen Anlagen. Es ist jedoch sehr deutlich zu erkennen, dass in den letzten zehn Jahren der Zuschnitt aus-

schließlich zwei Mal ein positives Ergebnis erzielen konnte und ansonsten deutlich ein Defizit verbuchte. Summiert man diese Ergebnisse, so erkennt man, dass die Abteilung Zuschnitt in diesem Zeitraum ein Defizit von einer halben Million Euro erwirtschaftet hat.

Tabelle 4-4 Kostenverteilung lt. Kostenbericht

		Kostenverteilung			
		UW-Plasma	Autogen	Tr.-Plasma	Gesamt
2000	[€/a]	████████	████████	████████	████████
2001	[€/a]	████████	████████	████████	████████
2002	[€/a]	████████	████████	████████	████████
2003	[€/a]	████████	████████	████████	████████
2004	[€/a]	████████	████████	████████	████████
2005	[€/a]	████████	████████	████████	████████
2006	[€/a]	████████	████████	████████	████████
2007	[€/a]	████████	████████	████████	████████
2008	[€/a]	████████	████████	████████	████████
2009	[€/a]	████████	████████	████████	████████
2010	[€/a]	████████	████████	████████	████████
Summe	[€/a]	████████	████████	████████	████████

Aufgrund der Verteilung der Kosten auf die drei Anlagen lassen sich durchwegs Tendenzen erkennen. Wie bereits aufgrund der Maschinenstunden und der Materialstatistik zu vermuten war, lässt sich mit der Unterwasserplasmanlage das beste Ergebnis erzielen. Hier wurden in den letzten Jahren durchwegs positive Ergebnisse erzielt und ein Plus von knapp einer halben Million Euro erwirtschaftet. Hingegen konnte die Trockenplasmanlage aufgrund der äußerst schlechten Auslastung nur Verluste verbuchen. Hier steht ein Minus von einer Million Euro zu Buche, was wohl ausschlaggebend für die derzeit schlechte Lage des Zuschnittes sein dürfte. Die Autogenanlage weist ein einigermaßen neutrales Ergebnis auf, welches für diese Anlage ein durchaus tragbares Ergebnis darstellt.

5 ENTWICKLUNGSSZENARIEN DES ZUSCHNITTES

Bevor mit der Bewertung der bestehenden Anlagen bzw. mit der Suche nach Alternativen begonnen werden kann, ist es notwendig sich Gedanken über die Entwicklung des Zuschchnittes der nächsten Jahre zu machen. Aus diesem Grund werden nachfolgend drei Szenarien diskutiert, welche Entwicklungsvarianten widerspiegeln sollen. Wichtig ist eine solche Betrachtung vor allem in Hinblick auf eine mögliche Auslastung der Anlagen bzw. der Alternativen. Das heißt, mit welchen Schnittmengen wird in den kommenden Jahren zu rechnen sein und abgeleitet davon auch mit welcher Auslastung der Anlagen. Diese Werte sollen anschließend auch in der ökonomischen Betrachtung berücksichtigt werden, um eine möglichst realistische Aussage über die Sinnhaftigkeit der Investitionsvarianten tätigen zu können.

5.1 BEST CASE – SZENARIO

Im ersten Fall soll die optimistischste Variante besprochen werden. Ausgehend von den Werten von 2010 wurden hier folgende Annahmen getroffen: Eine annähernd konstante Entwicklung im Bereich der schwarzen Stähle, da für diese laut Betriebsdirektor Josef Krasser in Zukunft in ANDRITZ die Produkte fehlen werden und somit ein weiterer Anstieg in diesem Bereich als äußerst unwahrscheinlich zu bewerten ist. Positiv gewählt wurde hingegen die Entwicklung der rostfreien Zuschnitte mit einer leichten Steigerung der Schnittzahlen in den kommenden vier Jahren. Abbildung 5-1 stellt diesen Sachverhalt dar.

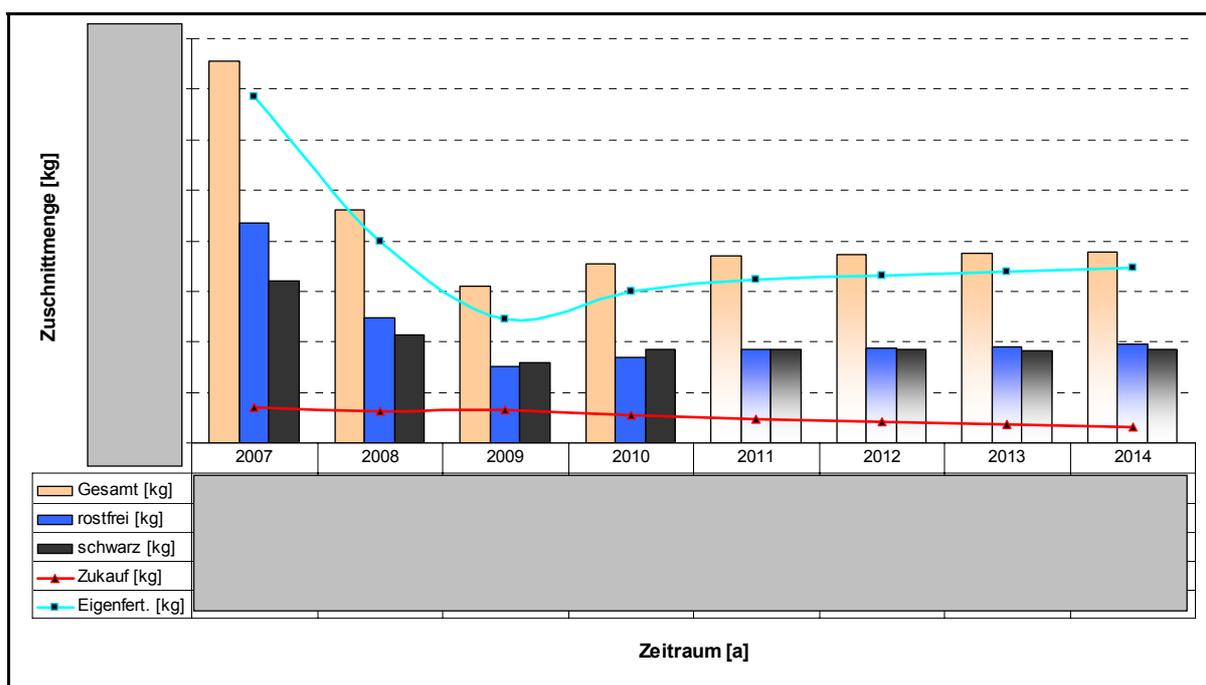


Abbildung 5-1 Materialstatistik für das best case Szenario

5.2 WORST CASE – SZENARIO

Bei der pessimistischen Variante ist davon auszugehen, dass sowohl der rostfreie als auch der schwarze Stahlbereich einen sehr starken Einbruch erleiden und somit in beiden Sektoren die Produkte für den Zuschnitt fehlen werden. Angenommen wird hierbei, dass beide auf eine Schnittleistung von 500 to pro Jahr abfallen. Das würde einer Vorgabezeit für rostfreie Bleche von etwa 1200 Stunden entsprechen und für schwarze Bleche etwa 950 Stunden. Geht man von dieser Situation aus, so wird ein eigener Zuschnitt mit drei Anlagen schwer tragbar sein. Auch für eventuelle Alternativen sollte die Überlegung berücksichtigt werden, ob sich in diesem Fall ein eigener Zuschnitt noch rechnet. Nachfolgend soll in Abbildung 5-2 dieses worst case Szenario dargestellt werden.

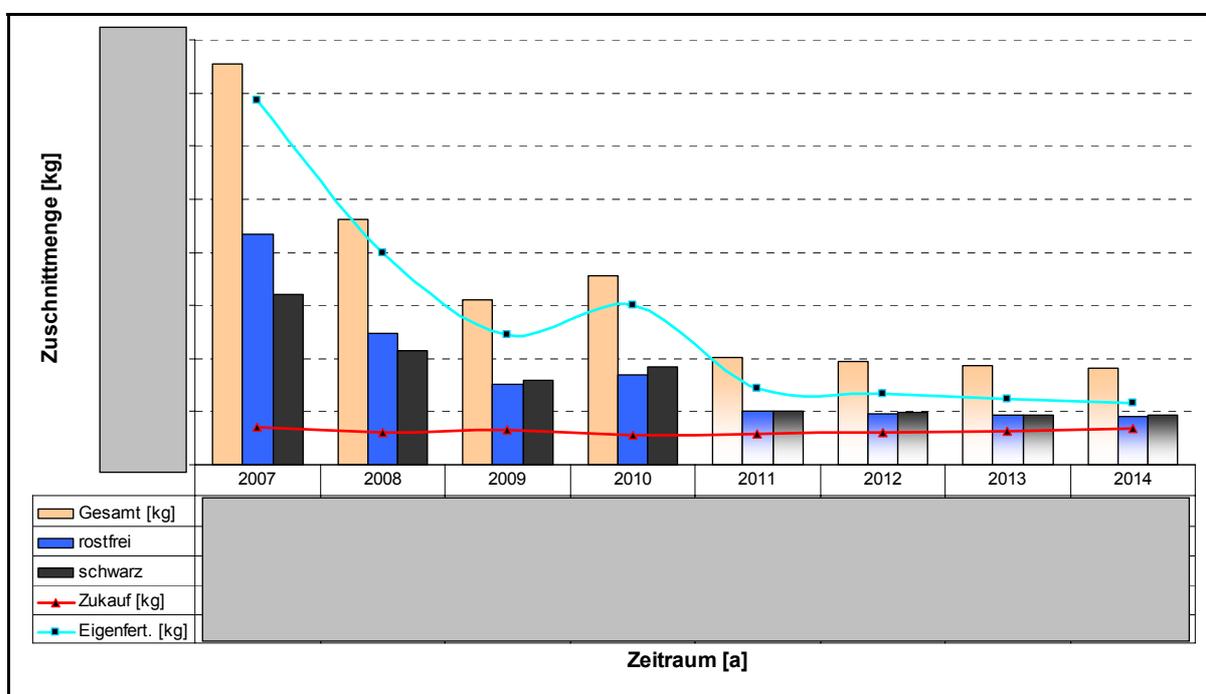


Abbildung 5-2 Materialstatistik für das worst case Szenario

5.3 REALISTISCHES SZENARIO

Bei diesem Szenario wurden die Annahmen ähnlich wie beim best case Szenario getroffen. Es wurde jedoch ein etwas stärkerer Einbruch der schwarzen Stähle auf einen Wert von etwa 800 to pro Jahr zu Grunde gelegt. Dieser sollte sich schließlich annähernd konstant über die nächsten vier Jahre halten. Bei rostfreiem Material ist davon auszugehen, dass die Werte des Jahres 2010 wieder erreicht werden können und diese auch über den Zeitraum der nächsten vier Jahre annähernd gehalten werden können. Dargestellt wird dieser Fall in Abbildung 5-3.

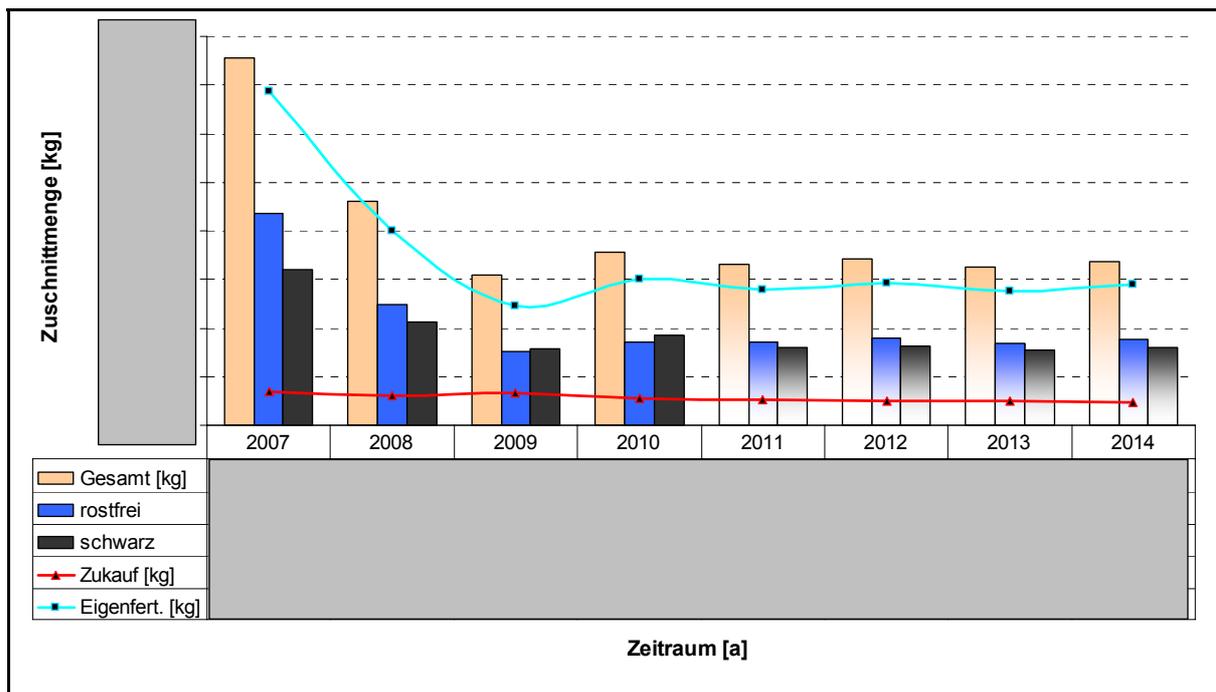


Abbildung 5-3 Materialstatistik eines realistischen Szenarios

6 DARSTELLUNG DER ALTERNATIVEN

6.1 ANGEBOTE

Nach erfolgter Analyse der IST-Situation und Darstellung der möglichen Entwicklungsvarianten des Zuschnitts der ANDRITZ AG, gilt es nun Alternativen zu finden, welche nicht nur aktueller Stand der Technik sind, sondern sich auch durch gewisse Vorteile von den bestehenden Anlagen abheben. Hierfür wurden ebenso alternative Methoden wie das Wasserstrahlschneiden bzw. das Laserstrahlschneiden angefragt sowie bereits eingesetzte Technologien. Weiters soll die Möglichkeit einer Generalüberholung und Modernisierung der bestehenden Anlagen in Erwägung gezogen werden und darum auch dahingehend Angebote eingeholt werden.

Nachfolgend sollen nun mögliche Alternativen näher dargestellt und beschrieben werden.

6.1.1 PLASMASCHNEIDEN

Als erstes sollen Plasmaschneidanlagen behandelt werden. Sowohl die Möglichkeit einer Generalüberholung und Modernisierung in Form eines Retrofits, als auch Neuanlagen sollen in Betracht gezogen werden.

6.1.1.1 Retrofit UW-Plasma (ESAB Suprarex SXE-P3 6500)

Schneidbares Material:	Rostfrei
Max. Bauteilgröße:	12.000 x 4.300 mm
Max. Blechstärke:	100 mm

Umrüstung der Anlage auf Sauerstoff- und Argon Wasserstoff-Schneiden

Neue Brennerhöhenverstellung B4/200

Komponenten zur Überholung der Längs- und Querantriebe inkl. Führungen

Umschalteinrichtung: 2x600A / 1x750A / 1x1000A

Brenner: ESAB PT 15XL automatisch N₂ und O₂ senkrecht

Angebotspreis: € 105.856,-

6.1.1.2 Neue Tr.-Pl. Anlage (MESSER OmniMat L 5000)

Schneidbares Material:	Rostfrei
Max. Bauteilgröße:	12.000 x 3.000 mm
Max. Blechstärke:	100 mm

CNC – gesteuerte Portalschneidmaschine mit formschlüssigen doppelseitigen Längsantrieben und präzisen Führungsprofilen

Thermische Regelung des Schaltschranks

Laserdiode für hohe Positioniergenauigkeit

Brenneraufhängung OmniLift 200 SZ

CNC – Bohraggregat mit automatischem Werkzeugwechsel

Feinstrahl Plasmaschneidanlage: KJELLBERG HiFocus PLUS 440i

Maschinenschneidbrenner: Percut 450M

Angebotspreis: € 353.200,-

Kompletter Absaugtisch inkl. Feinstaubfilter € 75.100,-

Angebotspreis: € 428.300,-

6.1.2 AUTOGENSCHNEIDEN

Auch bei den Autogenschneidanlagen sollen einerseits Retrofits in verschiedenen Varianten, als auch Neuanlagen behandelt werden.

6.1.2.1 Retrofit Autogen – Anlage (ESAB Numorex NXB-P7500)

Schneidbares Material: C-Stahl

Max. Bauteilgröße: 12.600 x 5.200 mm

Max. Blechstärke: 300 mm

Komplett-Überholung der Maschine und Umrüstung der Anlage auf VISION 55 von ESAB und der Antriebe auf 18 m/min inkl. neuen Schaltschranks.

Überholung des Dreibrenneraggregates und Umrüstung auf ASI0B

Autogenausrüstung und Zündflammeinrichtung der Stationen komplett erneuern inkl. neuen Autogen-Brennern COOLJET BIE 320

Höhenabstandswandler erneuern

Führungsleisten quer erneuern

Brennerhöhenverstellung B4 für Plasma-Zyklus 8

Summe: € 235.545,-

Kompletter Absaugtisch inkl. Feinstaubfilter: € 149.570,-

Angebotspreis: € 385.115,-

6.1.2.2 Retrofit Autogen – Anlage inkl. Plasma Aggregat

Schneidbares Material: C-Stahl/Rostfrei

Max. Bauteilgröße: 12.600 x 5.200 mm

Max. Blechstärke: 300/120 mm

Komplett-Überholung der Maschine und Umrüstung der Anlage auf VISION 55 von ESAB und der Antriebe auf 18 m/min inkl. neuen Schaltschranks.

Überholung des Dreibrenneraggregates und Umrüstung auf ASI0B

Autogenausrüstung und Zündflammeinrichtung der Stationen komplett erneuern inkl. neuen Autogen-Brennern COOLJET BIE 320

Höhenabstandswandler erneuern

Führungsleisten quer erneuern

Brennerhöhenverstellung B4 für Plasma-Zyklus 8

Umrüstung auf KJELLBERG FineFocus 1600 inkl. Brenner PB-S80W und PB-S150W zum trockenplasmaschneiden von rostfreien Materialien

Summe:	€ 379.118,-
Tintenmarkiersystem IMAJE 9030 inkl. Wagen	€ 59.564,-
Automatische Plattenlageerkennung:	€ 5.033,-
Laser mit Kreuzoptik zur manuellen Plattenlageerkennung:	€ 6.032,-
<u>Kompletter Absaugtisch inkl. Feinstaubfilter:</u>	<u>€ 149.570,-</u>
Angebotspreis:	€ 599.317,-

6.1.2.3 Neue Autogen – Anlage (ESAB Suprarex SXE 4000)

Schneidbares Material:	C-Stahl
Max. Bauteilgröße:	12.000 x 3.000 mm
Max. Blechstärke:	150 mm

Ausgestattet mit ESAB CNC-Steuerung VISION 52

In Standardausführung: Portalbauweise, doppelseitiger Längsantrieb, Querantrieb mit motorischen Wagen über Präzisionsstange/Ritzel

Bedienpult mitfahrend, links

Autogenverteiler für max. vier Werkzeugstationen

Autogen-Brenner Station B2/200

Maschinenschneidbrenner MultiJet BIF 220

Summe:	€ 113.500,-
<u>Kompletter Absaugtisch inkl. Feinstaubfilter</u>	<u>€ 90.830,-</u>
Angebotspreis:	€ 204.330,-

6.1.2.4 Neue Autogen – Anlage (MESSER MultiTherm 4000)

Schneidbares Material:	C-Stahl
Max. Bauteilgröße:	12.000 x 3.000 mm
Max. Blechstärke:	150 mm

Ausgestattet mit MESSER CNC-Steuerung Global Control

In Standardausführung: Portalbauweise, doppelseitiger Längsantrieb mit präzisen Führungsprofilen. Antrieb über Ritzel/Zahnstange

Thermische Regelung des Schaltschranks

Laserdiode für hohe Positioniergenauigkeit

Brenneraufhängung OmniLift 200 N inkl. SensoMat ALFA

Maschinenschneidbrenner Alfa mit Innenzündung.....

Summe: € 105.100,-

Kompletter Absaugtisch inkl. Feinstaubfilter € 75.100,-

Angebotspreis: € 180.200,-

6.1.3 WASSERSTRAHLSCHNEIDEN

Bei den Wasserstrahlschneidanlagen wurden zwei neue Komplettanlagen laut nachstehenden Konfigurationen angefragt. Im Speziellen wurden die genannten Hersteller zur Angebotslegung ausgewählt, da sie bei einem Messebesuch Mitte Oktober 2010 in Hannover als am geeignetsten erachtet wurden.

6.1.3.1 Fa. STM (HB 12030 PREMIUM)

Schneidbares Material: C-Stahl/rostfrei

Max. Bauteilgröße: 12.000 x 3.000 mm

Max. Blechstärke: 100/100 mm

Komplettsystem bestehend aus:

Steuerung, Schneidkopf, CAD/CAM-Software, Sicherheitseinrichtungen, Hochdruckkomponenten, Abrasivzubehör, Abwasseraufbereitung (optional)

Schneidbereich: 3 x 12 m.....

Summe: € 271.856,-

Aufpreis für 3D-Schneidkopf inkl. Steuerung und Software € 74.070,-

Angebotspreis: € 345.926,-

6.1.3.2 Fa. INNOMAX (OMAX 120x63 Jet Machining Center)

Schneidbares Material: C-Stahl/rostfrei

Max. Bauteilgröße: 10.000 x 3.000 mm

Max. Blechstärke: 100/100 mm

Komplettsystem bestehend aus:

Schneidtisch, Schneidkopf, Pumpensystem, Steuerungskomponenten, Abrasivförder-

system, Entschlammungssystem

Schneidbereich: 3 x 10 m

Summe:	€ 250.000,-
Aufpreis für 3D-Schneidkopf	€ 80.000,-
Angebotspreis:	€ 330.000,-

6.1.4 LASERSTRAHLSCHNEIDEN

Um keine Alternative ungeachtet zu lassen, wurde auch eine Laserstrahlschneidanlage in die Berechnungen miteinbezogen, um den Vergleich zu vervollständigen. Dies trotz der Tatsache, dass diese Technologie aufgrund der bereits ermittelten Verfahrensgrenzen als eher ungeeignet anzusehen ist.

6.1.4.1 Fa. PRIMA (ZAPHIRO MIT CV5000)

Schneidbares Material:	C-Stahl/Rostfrei
Max. Bauteilgröße:	3.000 x 1.600 mm
Max. Blechstärke:	25/20 mm

Komplettsystem bestehend aus:

Standartschneidkopf inkl. Halterung, Schutzeinrichtungen und kapazitiven Sensor

Sicherheitskabine, Arbeitstisch mit Palette und „Fakierbett“

Laser CV5000 mit Rotlichtlaser und Kühler

MAESTRO Softwarepaket

Steuerung PRIMARCH 30-L

Summe:	€ 535.000,-
Automatische Abschalteinrichtung	€ 2.000,-
Absaugung inkl. externer Absaugung	€ 10.600,-
Schulung	€ 4.000,-
Transport und Installation	€ 16.500,-
Angebotspreis:	€ 568.100,-

6.2 INVESTITIONSVARIANTEN

Aus den im letzten Abschnitt angeführten Angeboten lassen sich nun verschiedene Varianten einer Ersatzinvestition bzw. einer Erweiterung des Maschinenparks im Zuschnitt erarbeiten. Ausschlaggebend bei der Bildung dieser Varianten ist die Annahme, dass aufgrund der gebildeten Szenarien der Bedarf an Zuschnitten bezogen auf die Schnittmenge zu jeder Zeit gedeckt werden kann. Einschränkungen wurden nur dahingehend getätigt, dass man sich ausgehend von der Materialstatistik auf die gängigsten Blechstärken kon-

zentriert. Das heißt, die Größe der Anlagen wird dahingehend ausgelegt, dass man die Kernaufgaben erledigen kann, welche bei der Auswertung der Materialstatistik als relevant ermittelt wurden. Etwaige Sondergrößen, welche mit diesen Anlagen also nicht abgedeckt werden können, müssen durch Lohnfertigung bereitgestellt werden.

Variante I:	Retrofit der UW-Plasma	€ 105.856,-
	<u>Ausscheiden der Tr.-Pl. Anlage</u>	€ -20.000,-
	Investitionssumme	€ 85.856,-
Variante II:	Retrofit der UW-Plasma	€ 105.856,-
	Retrofit der Autogen-Anlage	€ 385.115,-
	<u>Ausscheiden der Tr.-Pl. Anlage</u>	€ -20.000,-
	Investitionssumme	€ 470.971,-
Variante III:	Retrofit der Autogen-Anlage inkl. Plasma Aggregat	€ 599.317,-
	Belassen der UW-Plasma	€ -,-
	<u>Ausscheiden der Tr.-Pl. Anlage</u>	€ -20.000,-
	Investitionssumme	€ 579.317,-
Variante IV:	Retrofit der UW-Plasma	€ 105.856,-
	Neue Autogen-Anlage der Firma ESAB	€ 211.330,-
	Ausscheiden der Autogenanlage	€ -10.000,-
	<u>Ausscheiden der Tr.-Pl. Anlage</u>	€ -20.000,-
	Investitionssumme	€ 287.186,-
Variante V:	Neue Tr.-Pl. Anlage der Firma MESSER	€ 428.300,-
	Neue Autogen-Anlage der Firma MESSER	€ 180.200,-
	<u>Ausscheiden aller bestehenden Anlagen</u>	€ -50.000,-
	Investitionssumme	€ 558.500,-
Variante VI:	Neuanschaffung von Wasserstrahlschneidanlagen, 2 Stk. á	€ 345.926,-
	<u>Ausscheiden beider Plasma Anlagen</u>	€ -40.000,-
	Investitionssumme	€ 651.852,-
Variante VII:	<u>Neuanschaffung einer Laserstrahlschneidanlage</u>	€ 568.100,-
	Investitionssumme	€ 568.100,-

7 VERGLEICH DER MÖGLICHEN VARIANTEN

In diesem Kapitel sollen die Varianten auf ihre Wirtschaftlichkeit überprüft werden. Dafür wurde im ersten Schritt ein Vergleich der Schnittgeschwindigkeiten vorgenommen, welche einen maßgeblichen Einfluss auf die Betriebskosten der Verfahren haben. Anschließend wurden die gelisteten Angebote mittels Schnittmeterkostenanalyse gegenübergestellt und ermittelt, welche Auslastung für einen gewinnbringenden Betrieb erforderlich ist. Schlussendlich wurde noch eine Risikoabschätzung mittels statischer Amortisationsrechnung vorgenommen. Im letzten Schritt wurde dann anhand eines konkreten Beispiels die Eigenfertigung mit einem möglichen Lohnschnitt verglichen.

7.1 SCHNITTGESCHWINDIGKEITSVERGLEICH

Im ersten Schritt der ökonomischen Betrachtung sollen die Schnittgeschwindigkeiten der einzelnen Verfahren und Varianten untereinander verglichen werden. Es muss erwähnt werden, dass dies theoretische Schnittgeschwindigkeiten sind, welche von den Herstellern angegeben wurden und daher durchaus von den tatsächlichen Geschwindigkeiten abweichen können. Ebenso wurden hier ausschließlich gerade Schnitte mit konstanten Schnitteinstellungen berücksichtigt. Für Konturschnitte bzw. Anschnitte und Ausläufe ergeben sich aufgrund der technischen Verfahren Unterschiede zum Geradschnitt, welche hier nicht berücksichtigt werden. Ebenso die Dauer des Lochstiches wird in diesem Kapitel nicht behandelt. Dies sind zwar alle Faktoren, welche die Dauer eines Zuschnittes erheblich beeinflussen und sich dadurch auch auf die Kosten auswirken, jedoch lassen sie sich aufgrund der verfahrenstechnisch erheblichen Unterschiede der einzelnen Verfahren so gut wie unmöglich untereinander vergleichen. Auch ist die Veränderlichkeit dieser Daten sehr stark von Material und Materialstärke abhängig und daher für den betrachteten Bereich äußerst schwierig darzustellen.

Der Bereich den die nachfolgenden Diagramme zeigen, wurde ausschließlich aufgrund der in ANDRITZ gängigen und häufig geschnittenen Blechstärken gewählt und stellt nicht die Verfahrensgrenzen der jeweiligen Verfahren dar.

Weiters ist zu erwähnen, dass aufgrund der erheblichen Unterschiede in der Schnittgeschwindigkeit ein logarithmischer Maßstab gewählt wurde, um die Verläufe ausreichend darstellen und vergleichen zu können.

7.1.1 ROSTFREIER STAHL

In Abbildung 7-1 sind die Schnittgeschwindigkeiten der jeweiligen Verfahren für rostfreie Stähle in mm/min über der entsprechenden Blechstärke aufgetragen. Markant ist hierbei,

dass die Plasmaschneidverfahren die schnellsten aller untersuchten Verfahren sind. Heraus sticht vor allem der Brenner PT 15XL der Firma ESAB, welcher vor allem im Bereich bis 30 mm alle anderen überbietet. Ebenso interessant ist zu sehen, dass auch der Laserschnitt im rostfreien Bereich den Plasmaschnitt in Punkto Geschwindigkeit nicht erreichen kann. Dieser hätte nur im unteren Bereich bis etwa 2 mm Blechstärke Vorteile gegenüber allen anderen Verfahren. Auch stößt dieses Verfahren bei diesen Materialien sehr schnell an seine Verfahrensgrenzen. Weit abgeschlagen ist jedoch der Wasserstrahlschnitt. Sowohl als reiner Trennschnitt als auch als Qualitätsschnitt können die Werte der anderen Verfahren bei weitem nicht erreicht werden. Ist der Trennschnitt im Dünnblechbereich noch um etwa den Faktor fünf langsamer als der Plasmaschnitt, so steigt dieser Wert bis zur Blechstärke von 100 mm noch auf den Faktor zehn an. Wird ein Qualitätsschnitt hoher Güte verlangt, so muss man mit weiteren Einbußen von etwa 60 % gegenüber dem Trennschnitt bei der Wasserstrahltechnologie rechnen.

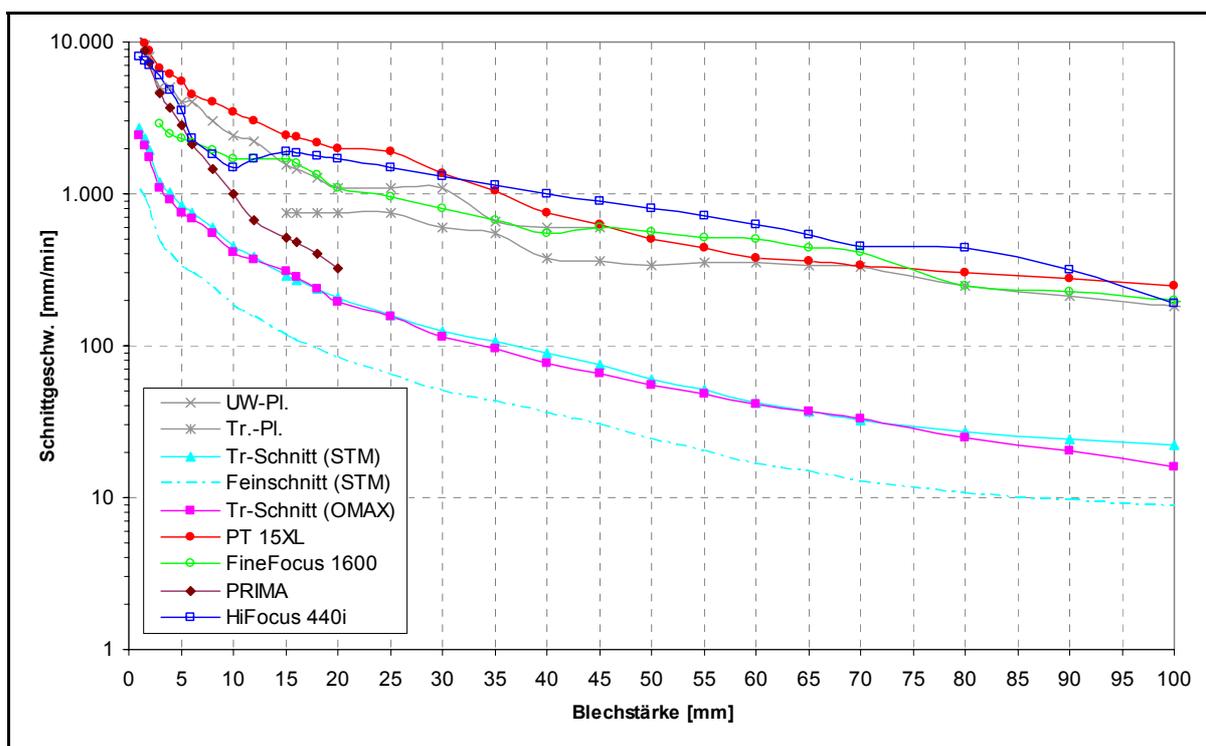


Abbildung 7-1 Schnittgeschwindigkeiten bei rostfreien Materialien

7.1.2 C-STAHL

Bei schwarzen Blechen sieht die Situation ähnlich aus wie bei rostfreiem Material. Die Geschwindigkeit beim Wasserstrahlschnitt nimmt mit zunehmender Blechstärke sehr stark ab. Wobei auch hier wieder zwischen einem Trennschnitt und einem hochwertigen Qualitätsschnitt zu unterscheiden ist. Jedoch sind hier die Einbußen gegenüber der gängigen Variante mit Autogenschnitt nicht so gravierend wie beim Plasmaschneiden. Werden im

Dünnblechbereich noch die Werte des Autogenschnittes erreicht, so muss man bei großen Blechdicken wieder mit einem Faktor von bis zu zehn rechnen, welcher der Wasserstrahlschnitt langsamer ist. Vorteile hingegen kann beim C-Stahl das Laserstrahlschneidverfahren verbuchen. Es kann mit sehr hohen Geschwindigkeiten überzeugen, jedoch sind auch hier die Verfahrensgrenzen mit 25 mm Blechstärke sehr bald erreicht. Vergleicht man nun die einzelnen Autogenschneidanlagen miteinander, so sieht man, dass diese einen recht ähnlichen Verlauf haben und sich nur sehr geringfügig unterscheiden. Bei der bestehenden Maschine gibt es nur bei Dünnblechen bis 10 mm Unterschiede, da hier das Feinstrahlplasma eingesetzt wird und sich dadurch Vorteile erzielen lassen.

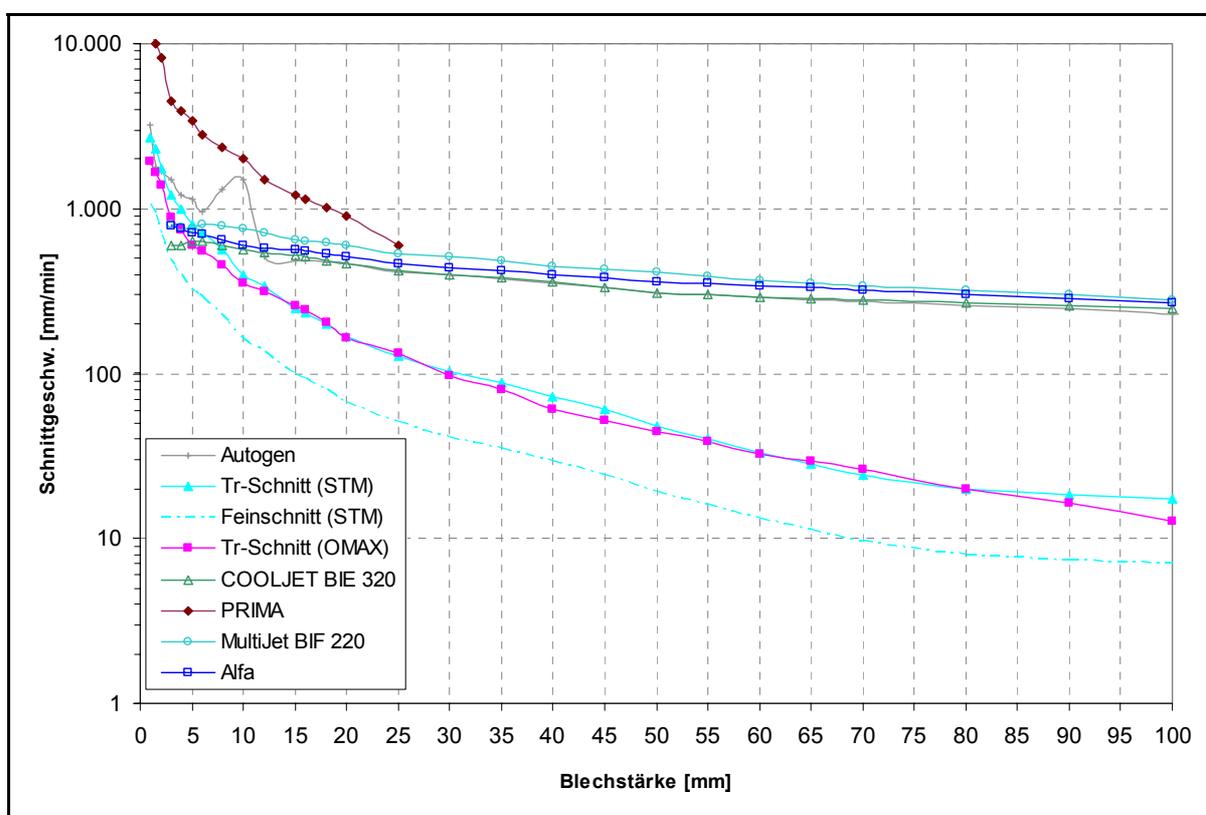


Abbildung 7-2 Schnittgeschwindigkeiten bei schwarzen Materialien

Abschließend kann zur Analyse der Schnittgeschwindigkeiten gesagt werden, dass die gängigen thermischen Verfahren Plasma- und Autogenschneiden in ihren Bereichen bezüglich der Geschwindigkeit noch immer entscheidende Vorteile aufweisen. Für den Wasserstrahlschnitt sind diese Werte zwar nicht erreichbar, jedoch bietet dieses Verfahren erhebliche Vorteile, wenn qualitativ hochwertige Schnitte ohne jegliche wärmetechnische Beeinflussung der Bauteile anzufertigen sind. Die Laserstrahltechnologie verbindet zwar eine hohe Leistungsfähigkeit mit einer äußerst guten Qualität des Schnittes, jedoch ist sie auf geringste Blechstärken beschränkt.

Fasst man alle Daten der verschiedenen Anlagen zusammen, so können für die einzelnen Verfahren generelle Bereiche gebildet werden, welche für diese die Verfahrensgrenzen darstellen. Auf diese Weise kann man im Allgemeinen eine Aussage über die Leistungsfähigkeit der jeweiligen Verfahren treffen, ohne sich auf einen speziellen Brenner oder Hersteller zu beziehen. Abbildung 7-3 soll einen solchen Vergleich zeigen. Wie bereits erwähnt erkennt man auch hier sehr gut die Vorteile der Plasma- und Autogentechnologie im oberen Blechdickenbereich.

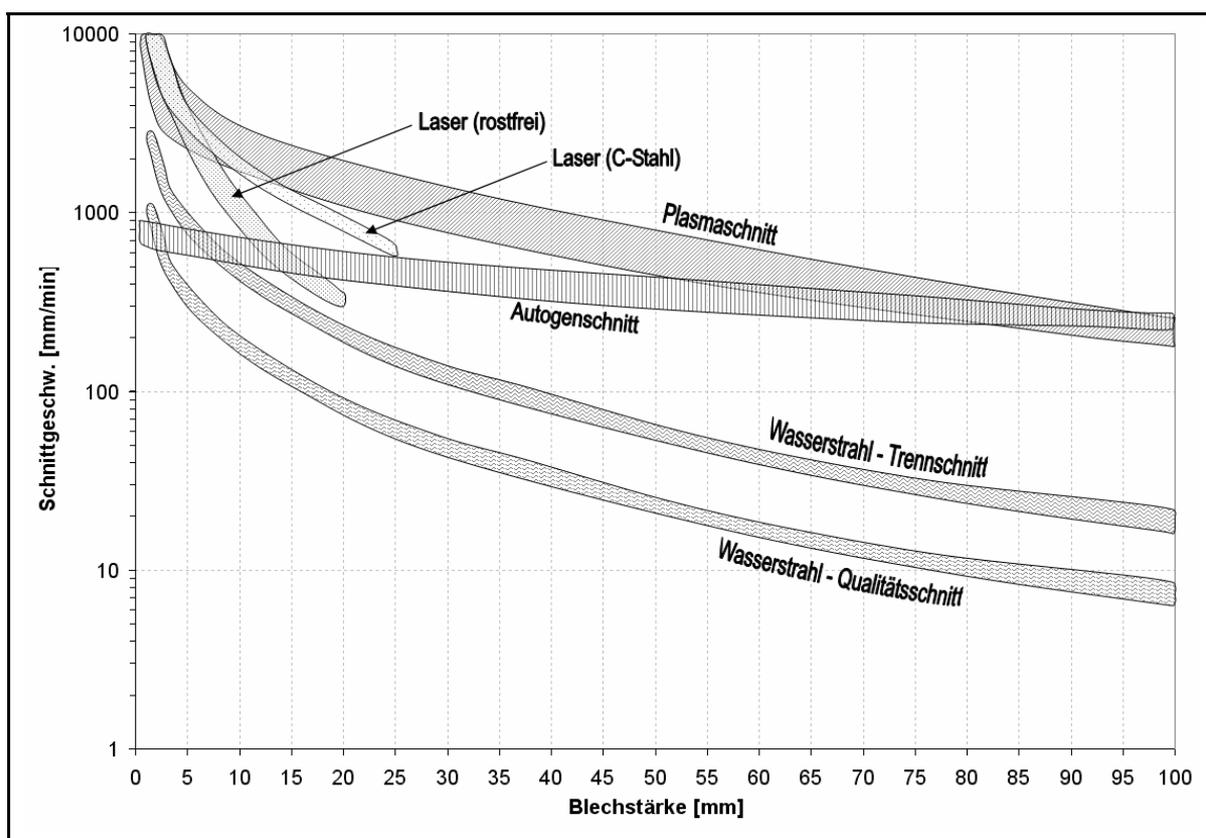


Abbildung 7-3 Schnittgeschwindigkeiten - Zusammenfassung

7.2 KOSTENVERGLEICH

Als Entscheidungskriterium der Wirtschaftlichkeit der Anlagen und Technologien wurde das Verfahren der Schnittmeterkostenanalyse gewählt. Dies geschah deshalb, da die jeweiligen Trennverfahren äußerst schwierig miteinander vergleichbar sind und die Betrachtung der Schnittmeterkosten trotzdem eine gute Möglichkeit bietet einen Vergleich anzustellen. Es sei jedoch erwähnt, dass eine solche Kostenanalyse nicht das einzige Entscheidungskriterium für eine Investition darstellen sollte.

Weitere wichtige Faktoren diesbezüglich wären noch:⁶⁸

- Blechdicke
- Werkstoffart
- Schnittqualität
- Wärmeverzug
- Maßtoleranz
- Rechtwinkeligkeitstoleranz
- Schnittfugenform, Schnittfugenbreite
- Flexibilität des Systems
- Umrüstkosten
- Art des Bauteiles bzw. deren Weiterverarbeitung

Die Aufstellung dieser Entscheidungskriterien zeigt, dass die Wahl des Schneidverfahrens nicht ausschließlich auf rein wirtschaftliche Aspekte festzumachen ist, sondern auch sehr stark von den Anforderungen an den Schnitt selbst abhängig ist.

Es ist daher dringend zu empfehlen, dass ein Investitionsentscheid ausschließlich unter Berücksichtigung dieser Faktoren erfolgt und sich nicht nur auf wirtschaftliche Aspekte gründet. Nur eine optimale Auslegung dahingehend wird einen optimalen Betrieb der Anlagen ermöglichen und ein zufrieden stellendes Ergebnis liefern.

7.2.1 SCHNITTMETERKOSTEN

Anhand einer Schnittmeterkostenanalyse sollen sämtliche Varianten untersucht und beurteilt werden. Dazu wurden bestehende Anlagen ebenso wie Retrofits oder etwaige alternative neue Varianten in die Analyse miteinbezogen. Bevor jedoch mit der Berechnung begonnen werden kann, gilt es noch einige Festlegungen zu treffen und das Berechnungsschema genauer zu beschreiben.

7.2.1.1 Generelle Annahmen bzw. Festlegungen

Da in ANDRITZ ein sehr großer Blechdickenbereich von 1 – 220 mm geschnitten wird, muss auch für die Schnittmeterkostenanalyse ein großer Dickenbereich betrachtet werden. Dieser wird jedoch aufgrund der Auswertung der Materialstatistik auf 100 mm begrenzt, da dies den Schwerpunkt der Schnitte darstellt. Sinnvoll ist diese Maßnahme auch, da bei großen Blechstärken aufgrund der verfahrenstechnischen Unterschiede, qualitativ durchaus große Differenzen zwischen den einzelnen Verfahren bestehen können und dadurch eine aussagekräftige Vergleichbarkeit nicht mehr gegeben ist.

⁶⁸ Vgl. Böhme/Hermann (1992), S.200

Bei der Tischgröße der Anlagen wurde hingegen keine einheitliche Größe festgelegt. Die vorhandenen Maschinen wurden mit der bereits bestehenden Anlagendimension betrachtet. Hingegen wurden alternative Neuanlagen bzw. neue Tische für Retrofits so ausgelegt, dass sie dem derzeitigen Produktespektrum lt. Materialstatistik entsprechen. Dies würde in etwa einer Größe von 12 x 3 m maximaler Bauteilgröße entsprechen. Für die betrachtete Laserschneidanlage liegt jedoch ausschließlich ein Angebot mit einer Anlagengröße von 3 x 1,6 m vor, was für dieses Verfahren einer durchaus üblichen Größe entspricht. Eine entsprechend größere Anlage müsste sondergefertigt werden, was sich natürlich auch im Anschaffungspreis widerspiegeln würde. Aufgrund dessen wurde in diesem Fall die Standardvariante herangezogen.

Des Weiteren wurden die Schnittkosten aller Anlagen für den Betrieb mit einem Brenner ausgelegt, um so die Vergleichbarkeit zu wahren. Im tatsächlichen Betrieb kann jedoch durchaus mit mehr als einem Brenner geschnitten werden, wodurch sich die Kosten drastisch senken lassen. Diese Vorgehensweise ist auch durchwegs üblich. Vor allem beim Autogenschneiden können je nach Anlagengröße und entsprechendem Schachtelplan so bis zu sechs Brenner gleichzeitig eingesetzt werden. Aufgrund des in ANDRITZ üblichen Produktespektrums ist dies jedoch sehr unwahrscheinlich.

In weiterer Folge sind nun noch weitere Punkte aufgelistet, welche für die Berechnung eine entscheidende Rolle spielen und einer genaueren Betrachtung bedürfen.

Kalkulatorische Nutzungsdauer

Die kalkulatorische Nutzungsdauer der Anlagen wurde je nach Art der Investition festgelegt. Für Neuanschaffungen wurde sie mit zehn Jahren und für die Retrofits mit sieben Jahren in den Berechnungen berücksichtigt. Die Dauer der Abschreibungen wurde mit dem Controlling der ANDRITZ AG, insbesondere mit Herrn. DI Markus Maier, festgelegt und entspricht unternehmenstypischen Werten.

Kalkulatorische Zinsen

Kalkulatorische Zinsen wurden nicht berücksichtigt und daher auch nicht in die Schnittmeterkostenrechnung aufgenommen.

Versicherung

Die Werte der Versicherungssummen wurden ebenfalls wieder aus dem Kostenbericht des Jahres 2010 entnommen und als Standardwerte für alle Anlagen festgelegt. Sowohl für bestehende, als auch für die Alternativen bzw. die Retrofits.

Jährliche Nutzungsdauer

Für Investitionsrechnungen wird die Nutzungsdauer der betrachteten Anlage üblicherweise auf einen Schichtbetrieb ausgelegt (1,- 2,- oder 3-Schichtbetrieb). Das heißt, aufgrund des gewählten Schichtbetriebes ergibt sich abzüglich der geplanten und ungeplanten Stillstandszeiten die effektive Nutzungsdauer der Anlagen pro Jahr.

In diesem Fall wurden die Nutzungszeiten sowohl der bestehenden Anlagen als auch der Alternativen auf eine etwas andere Weise gewählt. Um eine konkrete Aussage darüber treffen zu können, wie hoch für die bestehenden Anlagen die Schnittkosten tatsächlich ausfallen, wurde mit den real verrechneten Stunden des Jahres 2010 gerechnet. Auch für die Betrachtung der Alternativen wurden diese Zeiten herangezogen. Ausschließlich die Differenzen der Schnittgeschwindigkeit und des schneidbaren Materialbereiches wurden dabei berücksichtigt und mit eingerechnet. Eine Grenze stellen hierbei nur die maximal pro Jahr erzielbaren Stunden dar. Wie bereits bei der Schnittgeschwindigkeitsanalyse erwähnt, hat die Technologie des Wasserstrahlschneidens bei der Geschwindigkeit erhebliche Nachteile, was sich natürlich auch in der Nutzungsdauer niederschlägt. Daher wurde in diesem Fall mit einer vollen Nutzung (3-Schichtbetrieb inkl. Wochenenden) von 365 Tagen pro Jahr und einer durchschnittlichen Verfügbarkeit der Anlagen von 80 % gerechnet, was einer Nutzungsdauer von etwa 7.000 Stunden pro Jahr entspricht.

Maschinennutzungsgrad

Von der Nutzungsdauer ist der Nutzungsgrad der Anlagen zu unterscheiden. Hierbei wird die gesamte Nutzungsdauer noch unterteilt in Haupt,- Neben- und Rüstzeiten, welche sowohl von den Verfahren als auch von den jeweiligen Maschinentypen abhängig sind. Diese Unterscheidung muss bei der Berechnung der Schnittmeterkosten getroffen werden, um aufgrund der reinen Schneidzeit und der damit verbundenen Kosten auf die reinen Schnittmeterkosten schließen zu können. Es werden also sämtliche Rüst- und Nebenkosten ausgegliedert, welche dann anschließend noch gesondert ausgewiesen werden müssen. In diesem Fall sind dies nur mehr die entsprechenden Lohn- bzw. Lohnnebenkosten des Bedienungspersonals.

Sehr stark abhängig ist der Nutzungsgrad von der Art des Arbeitstisches. Ist dieser in zwei Bereiche unterteilt, kann auf einer Seite bereits geschnitten werden, während auf der zweiten Seite abgeräumt bzw. wieder gerüstet wird. Auch die Schnittgeschwindigkeit hat erheblichen Einfluss auf den Nutzungsgrad. Bei langsamen Schnitten entfällt naturgemäß nur ein geringer Teil auf die Neben- und Rüstzeiten. Hingegen ist bei schnellen Schnitten dieser Anteil doch erheblich höher.

Abschließend sei noch erwähnt, dass die Geometrie und die Größe der zu schneidenden Bauteile ebenso einen großen Einfluss auf den effektiven Nutzungsgrad der Anlagen haben. Diese Faktoren sind jedoch nicht konkret erfassbar und dadurch auch äußerst schwer abzuschätzen. Die Größenordnung ihrer Beeinflussung beruht oft auf Erfahrungs-

werten und kann nicht dezidiert festgemacht werden. Im Fall ANDRITZ ist eine Abschätzung dieser Faktoren äußerst schwierig, da die Vielfalt der Produkte eine große Spanne einschließt und daher schwierig zu bewerten ist.

Daher wurden im Folgenden die Nutzungsgrade der betrachteten Verfahren aus der Literatur entnommen.

Maschinennutzungsgrade:⁶⁹

Plasmaanlage (1 Arbeitsbereich).....	65 %
Plasmaanlage (2 Arbeitsbereiche).....	70 %
Autogenanlage (1 Arbeitsbereich)	75 %
Autogenanlage (2 Arbeitsbereiche)	80 %
Wasserstrahlanlage	90 %
Laserstrahlanlage	85 %

Raumkosten

Für die Raumkosten wurde ein Wert von €/m² [REDACTED] angesetzt, was einem mittleren Wert der letzten drei Jahre für den Stahlbau entspricht. Als Flächenbedarf der Anlagen wurde die Aufstellungsgröße herangezogen. Dies entspricht zwar nicht dem tatsächlich benötigten Platzbedarf, da der Raum für Stromquellen, Absaugung, Filteranlagen und diversen anderen Geräten nicht berücksichtigt wird, aber im Verhältnis zueinander sollte dies doch aussagkräftig genug sein, um einen Vergleich anstellen zu können.

Diverse Umlagen

Die Umlagen wurden dem Kostenbericht entnommen und laut Verteilungsschlüssel auf die einzelnen Zuschnittanlagen verteilt. Sie enthalten sämtliche Overheadkosten als auch Kosten der Arbeitsvorbereitung und noch weitere diverse Umlagen. Für die Bewertung der bestehenden Anlagen konnten sie so direkt herangezogen werden. Für alternative Anlagen wurden sie je nach Neukonstellation des Zuschnittes den jeweiligen Anlagen zugerechnet.

Innerbetriebliche Leistungsverrechnung

Die innerbetriebliche Leistungsverrechnung wurde ebenfalls aus dem Kostenbericht entnommen und den Anlagen anteilmäßig lt. Verteilungsschlüssel zugewiesen.

Schnittgeschwindigkeit

Wie bereits eingangs des Kapitels erwähnt wurden die Schnittgeschwindigkeiten den Datenblättern der Hersteller entnommen und stellen theoretische Werte dar, welche durch-

⁶⁹ Vgl. Böhme/Hermann (1992), S.103, S.160

aus von den tatsächlichen Geschwindigkeiten abweichen können. Die Schnittgeschwindigkeit wird in diesem Verfahren zur Umrechnung der Stundensätze in Schnittmeterkosten herangezogen.

Stromkosten

Die Stromkosten der Anlagen wurden über die Leistungen der benötigten elektrischen Einrichtungen errechnet. Dies betrifft Führungssystem, Plasmaaggregate, Absaugung, Kühlung und Pumpen. Da in die Rechnung ausschließlich die reine Schneidzeit einfließt, konnte hier mit einer Einschaltdauer von 100 % gerechnet werden. Als Verrechnungssatz wurde der Wert der letzten Jahre von €/kWh [REDACTED] herangezogen, welcher der ANDRITZ AG in Rechnung gestellt wird.

Gaskosten

Aufgrund der hohen Absatzmengen der ANDRITZ AG werden mit der Firma AIR LIQUIDE Austria GmbH Rahmenverträge über die Einkaufspreise der benötigten Betriebsgase vereinbart. Diese werden nicht nur für den Zuschnitt, sondern auch für Schweißprozesse und sonstige Anwendungen benötigt. Für die Berechnung der Schnittkosten wurden die Sätze des Jahres 2010 herangezogen.

Preise lt. Rahmenvertrag 2010:

Stickstoff (N ₂)	[REDACTED]	€/1000 m ³
Sauerstoff (O ₂)	[REDACTED]	€/1000 m ³
Wasserstoff (H ₂)	[REDACTED]	€/Flasche
Kohlendioxid (CO ₂)	[REDACTED]	€/1000 m ³
Propan (C ₃ H ₆)	[REDACTED]	€/1000 m ³
Argon (Ar)	[REDACTED]	€/1000 m ³

Wasserkosten

Auch die Trinkwasserkosten wurden aus dem Jahre 2010 übernommen. Diese beliefen sich inkl. Leitungs- und Entsorgungskosten auf € [REDACTED] je m³. Diese Kosten spielen vor allem bei der Unterwasserplasmaanlage und den Wasserstrahlanlagen eine bedeutende Rolle.

Verschleißteilkosten

Die Verschleißteilkosten wurden über die Standzeiten der Teile selbst ermittelt und mit den zugehörigen Einkaufspreisen verrechnet. Über die Standzeiten selbst sind zwar keine Aufzeichnungen geführt worden, jedoch standen die Jahresstatistiken der letzten zehn Jahre der zugekauften Teile zur Verfügung. Aufgrund dieser Aufzeichnungen wurde ein Mittelwert der verbrauchten Verschleißteile gebildet und mit den geleisteten Betriebsstun-

den gegen gerechnet. Aufgrund dessen konnte dann für die jeweilige Anlage die Standzeit der einzelnen Teile ermittelt werden. Dies sind jedoch ausschließlich Richtwerte und keine exakten Angaben über den Verschleiß.

Zusätzlich wurde noch der Einfluss der Blechstärken auf die Standzeiten der Verschleißteile berücksichtigt. Dies ist nötig, da aufgrund der unterschiedlichen Leistungen bzw. Belastungen aufgrund des Lochstechens die Standzeit erheblich beeinflusst wird.

Bei einigen Alternativen wurden hingegen von den Herstellern konkrete Standzeiten angegeben, welche auch so in die Berechnungen eingeflossen sind. Jedoch ist hierbei zu berücksichtigen, dass dies aus verkaufstechnischer Sicht der Hersteller sicherlich optimistisch gewählte Werte sind.

Bei den Retrofits wurde hingegen von den Anbietern jeweils ein Richtwert der Standzeitsteigerung von ca. 15 - 20 % angegeben. Für die Berechnungen wurde daraus ein pessimistischer Wert von 15 % festgesetzt.

Instandhaltungskosten

Die Instandhaltungskosten wurden für die bestehenden Anlagen wiederum aus dem Kostenbericht entnommen und setzen sich aus Wartung, Instandhaltung, GWG und den benötigten Werkzeugen zusammen. Für Neuinvestitionen bzw. Retrofits wurden sie mit einem Wert von 5 % des Wiederbeschaffungswertes festgelegt.

Entsorgungskosten

Die Entsorgungskosten der Schneidrückstände bzw. des Abrasives beim Wasserstrahlschneiden wurden in dieser Berechnung nicht berücksichtigt. Bei den derzeitigen Anlagen wird der Schneidschlamm bzw. die Schlacke in Intervallen von 4-6 Monaten von der Fa. Schrott-Waltnr entsorgt. Für die Entsorgung fallen hierbei keine Kosten an, da rostfreie und schwarze Materialien auf getrennten Anlagen geschnitten werden und somit hochwertige und reine Rückstände entstehen, welche dem Entsorgungsunternehmen verkauft werden können. Bei der Technologie des Wasserstrahlschneidens sollten diesbezüglich auch kaum Kosten anfallen, da lt. Auskunft der Anlagenhersteller der Abrasivschlamm vom Lieferanten zurückgekauft und dem Recycling zugeführt wird. Denn auch hier befindet sich hochwertiges Schrottmaterial des Zuschnittes im Schlamm, welches durch geeignete Trennverfahren wieder gewonnen werden kann. Ebenso wird ein Teil des recycelten Abrasivs rückgewonnen und wieder für den Schneidprozess verwendet. Somit könnten auch die Kosten für das Abrasiv, welches doch in geraumen Mengen nötig wäre, niedrig gehalten werden.

Vorgelagerte Arbeitsgänge

Aufgrund der unterschiedlichen Technologien der einzelnen Verfahren war es notwendig für eine ganzheitliche Beurteilung der Schnittmeterkosten auch die dem Schnitt vorgela-

gerten Arbeiten wie Vorstrahlen und Vorbohren in die Rechnung mit einzubeziehen. Vor allem aufgrund der Tatsache, dass das Durchstechen der Verfahren in der Blechstärke variiert und beim Wasserstrahlschneiden komplett entfällt, da hier sämtliche Stärken durchgestochen werden können. Daher wurden diese Kosten bereits in die Stundensätze mit eingerechnet und fließen somit direkt in die Schnittmeterkosten ein.

Nachgelagerte Arbeitsgänge

Die dem Schnitt nachgelagerten Arbeitsgänge wie Entgraten und Schweißkantenanarbeitung wurden gesondert ausgewiesen und anschließend ebenfalls den Schnittmeterkosten zugerechnet, um so die Vergleichbarkeit einer möglichen Komplettbearbeitung auf den Maschinen zu gewährleisten. Eine solche Komplettbearbeitung wäre mit sogenannten Fasenaggregaten bzw. 3D-Schneidköpfen möglich, was somit eine nachträgliche Bearbeitung überflüssig machen würde.

Um diese nachgelagerten Arbeitsgänge nun für unterschiedliche Materialien und Blechstärken bewerten zu können, wurde auf das Berechnungsschema der Zeitermittlung lt. ASAP Implementierung zurückgegriffen. Für das Entgraten ließen sich so konkrete Leistungsdaten in m/h und vorliegender Blechstärken ermitteln und für die Rechnung übernehmen. Für die Schweißkantenanarbeitung können je nach Anforderung zwei verschiedene Nahtformen gewählt werden. Dies sind einerseits V-Nähte für gerade und gebogene Kanten und X-Nähte, ebenfalls für gerade oder gebogene Kanten. Also ergeben sich vier verschiedene Anwendungsmöglichkeiten, welche sich durch erhebliche Differenzen in den Bearbeitungszeiten unterscheiden. Für die folgende Kostenanalyse wurde daher ein Mittelwert der vorliegenden Fälle gebildet und so durchschnittliche Bearbeitungszeiten je Blechstärke und Material gebildet.

Nicht unter dem Punkt „Nachgelagerte Arbeiten“ fällt eine unter Umständen erforderliche mechanische Nachbearbeitung. Ein solcher Schritt wird in dieser Schnittmeterkostenermittlung nicht berücksichtigt, wird jedoch in weiterer Folge unter dem Punkt Komplettbearbeitung analysiert und bewertet.

Ebenso nicht berücksichtigt wurden etwaige Richtkosten nach dem Zuschnitt. Aufgrund der Wärmebeeinflussung beim Schneiden bzw. aufgrund der Eigenspannungen im Material kann es durchaus zu Verzügen kommen, welche beseitigt werden müssen. Jedoch ist es äußerst schwierig hierfür konkrete Zahlen auszumachen, da Verzüge sehr stark von Blechstärke, Geometrie des Bauteiles, der Schneidfolge und vor allem vom Material abhängig sind.

7.2.1.2 Das Berechnungsschema

Nachdem alle Kosten beeinflussenden Faktoren nun bestimmt und in ihrer Größe erfasst bzw. festgelegt wurden, soll die Wirtschaftlichkeit der Anlagen anhand der Schnittmeter-

kostenanalyse durchgeführt werden. Es sei jedoch nochmals erwähnt, dass aufgrund der verfahrenstechnischen Voraussetzungen diese Kostenanalyse nur als Beispiel betrachtet werden kann, da ein konkreter Kostenvergleich untereinander nicht zulässig ist. Dies ist vor allem auf die unterschiedlichen Verfahrensgrenzen und Schnittqualitäten zurückzuführen. In Abbildung 7-4 soll nun ein solches Berechnungsschema näher dargestellt werden. Hierfür wurden zuerst die Fixkosten der Anlagen ermittelt. Anschließend die variablen Kosten bestehend aus Betriebskosten und vorgelagerten Arbeiten. In Summe ergeben diese fixen und variablen Kosten schließlich die Kosten je Schneidstunde. Dieser Wert bezieht sich, wie bereits erwähnt, ausschließlich auf die reine Schneidzeit, um so mittels der jeweiligen Schnittgeschwindigkeiten auf die Schnittmeterkosten der Anlagen schließen zu können. Auf diese Weise kann auch der Einfluss des Nutzungsgrades der Maschinen beseitigt werden und so die variablen Kosten verursachungsgerecht und fehlerfrei zugerechnet werden.

	Energiekosten
	+ Gas- bzw. Abrasivkosten
	+ Wasserkosten
Kalkulatorische Abschreibung	+ Verschleißteilkosten
+ Kalkulatorische Zinsen	+ Instandhaltungskosten
+ Versicherung	+ Personalkosten
+ Raumkosten	+ Vorgelagerte Arbeiten
+ Diverse Umlagen	+ Belastung aus ILV
= Fixkosten [€/h]	= Variable Kosten [€/h]
Fixkosten	
+ Variable Kosten	
= Kosten je Schneidstunde [€/h]	
: Schnittgeschwindigkeit	
= Kosten je Schnittmeter [€/m]	
+ Nachgelagerte Arbeiten (Entgraten, SKA)	
= Kosten je Meter Schweißkante [€/m]	

Abbildung 7-4 Berechnungsschema der Schnittmeterkosten

Addiert man schlussendlich zu den erhaltenen Kosten je Schnittmeter noch jene der nachgelagerten Arbeitsgänge, so erhält man die Gesamtkosten welche für eine fertige Kontur inkl. Schweißkantenanarbeitung nötig sind. Diese Kosten wurden deshalb gesondert ausgewiesen, da sie nicht bei jedem Schnitt erforderlich sind und auch noch die Möglichkeit einer mechanischen Nachbearbeitung besteht. Eine solche mechanische Bearbeitung ist jedoch gesondert zu berechnen.

7.2.1.3 Auswertung der Berechnungen

Im folgenden Abschnitt sollen nun die Ergebnisse dieser Berechnung dargestellt werden. In Tabelle 7-1 bzw. 7-2 sind diese zahlenmäßig für rostfreie und schwarze Stähle in Tabellenform zusammengefasst, getrennt nach reinem Schnitt und Schnitt mit Schweißkantenanarbeitung. Um die Ergebnisse auch anschaulicher zu machen, wurden die Werte für reinen Schnitt anschließend in Diagramme übertragen, welche in Abbildung 7-5 und 7-6 zu sehen sind.

Tabelle 7-1 Schnittmeterkosten für rostfreie Stähle

Blechdicke [mm]	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Kosten/Schnittmeter [€/m]																				
UW-Plasma	0,54	0,91	1,43	2,05	2,14	2,14	3,63	3,95												
Tr.-Plasma									14,80	15,70	16,25	16,33	16,87	17,42	20,27	23,12	25,44	27,76	30,08	32,41
Retrofit_UW-PI.	0,48	0,77	1,10	1,35	1,71	2,06	2,89	3,72	4,75	5,78	7,19	8,59	9,25	9,91	10,57	11,23	11,86	12,49	13,12	13,75
Retrofit_Autogen_Pi.	1,60	2,17	2,18	3,38	4,02	4,66	5,73	6,81	7,22	7,63	8,08	8,53	10,71	12,90	15,08	17,26	18,40	19,54	20,69	21,83
Tr.-PI_neu_MESSER	0,88	2,08	1,67	1,88	2,18	2,48	2,86	3,24	3,66	4,08	4,63	5,19	5,76	6,32	6,89	7,46	9,92	12,39	14,85	17,32
STM - Trennschnitt	1,28	2,32	3,63	5,07	6,75	8,43	10,08	11,73	14,77	17,82	21,76	25,71	29,59	33,48	37,37	41,26	43,84	46,43	49,02	51,61
OMAX - Trennschnitt	1,54	2,80	3,84	6,07	8,21	10,36	13,07	15,79	18,88	21,98	25,84	29,70	34,54	39,38	44,22	49,07	56,11	63,15	70,20	77,24
PRIMA	0,85	2,43	4,71	7,46																
Kosten/m Schweißkante [€/m]																				
UW-Plasma	11,31	14,95	17,75	18,37	21,58	21,58	24,96	25,27												
Tr.-Plasma									37,96	38,86	41,24	41,32	42,78	44,24	48,01	51,77	55,01	58,25	61,50	64,74
Retrofit_UW-PI.	11,25	14,82	16,23	17,67	19,59	21,50	23,27	25,05	26,99	28,94	31,26	33,58	35,16	36,73	38,31	39,88	41,43	42,98	44,53	46,08
Retrofit_Autogen_Pi.	12,37	16,21	18,50	19,70	21,90	24,10	26,12	28,14	29,46	30,79	32,16	33,52	36,62	39,72	42,82	45,92	47,98	50,03	52,09	54,15
Tr.-PI_neu_MESSER	11,65	16,12	16,80	18,20	20,06	21,92	23,24	24,56	25,90	27,24	28,71	30,19	31,67	33,15	34,63	36,11	39,49	42,88	46,26	49,64
STM - Trennschnitt	4,54	8,28	12,97	18,09	24,10	30,10	35,96	41,83	52,39	62,95	76,57	90,19	103,03	115,88	128,72	141,56	149,85	158,14	166,43	174,71
OMAX - Trennschnitt	5,16	9,29	12,69	19,95	26,93	33,91	42,67	51,42	61,32	71,22	83,49	95,75	111,17	126,58	141,99	157,40	179,68	201,96	224,23	246,51
PRIMA	11,62	16,47	20,22	23,79																

Bei den rostfreien Stählen erkennt man, dass das Plasmaschneiden durchwegs die Kostengünstigste Variante darstellt, unabhängig davon welches Aggregat eingesetzt wird. Jedoch sind auch innerhalb dieser Technologie erhebliche Unterschiede auszumachen. Vor allem weist das bestehende Trockenplasmaaggregat für große Blechstärken die höchsten Kosten auf, welche durch eine entsprechende Aufrüstung bzw. Modernisierung einer anderen Anlage erheblich gesenkt werden könnten. Die beste Lösung hierfür scheint laut Kostenanalyse ein Retrofit der UW-PI. Anlage zu sein, welche durch erheblich niedrigere Kosten besticht. Die Wasserstrahlschneidanlagen weisen die höchsten Kosten auf. Dies ist jedoch nicht sehr verwunderlich, da bei der Schnittgeschwindigkeitsanalyse bereits ersichtlich war, dass diese Anlagen hier erhebliche Einbußen gegenüber anderen Anlagen haben und die Geschwindigkeiten doch einen wesentlichen Einfluss auf die Kosten haben. Zu Berücksichtigen ist hierbei auch noch, dass es sich um reine Trennschnitte handelt, welche mit höherer Geschwindigkeit geschnitten werden. Für einen hochwertigen Qualitätsschnitt muss man mit weiter stark verminderter Geschwindigkeit und damit auch erhöhten Kosten rechnen. Beim Laserstrahlschneiden kann man ausschließlich im unters-

ten Dickenbereich Vorteile gegenüber der Plasmatechnologie erzielen. Mit steigender Blechstärke nehmen hier jedoch die Kosten sehr stark zu und auch die Verfahrensgrenzen sind mit 20 mm sehr schnell erreicht.

Berücksichtigt man jedoch noch das Entgraten und die Schweißkantenanarbeitung, so steigen die Kosten bei den Anlagen im gleichen Maße, bei denen diese Schritte auf konventionellen Schleifmaschinen notwendig sind. Hier kann das Wasserstrahlschneiden zumindest bis zu einer Blechstärke von 20 mm mit den niedrigsten Kosten Punkten. Auf diesen Anlagen kann nämlich eine Komplettbearbeitung erfolgen, wodurch weitere Arbeitsschritte unnötig werden. Jedoch rentiert sich dies aufgrund der Geschwindigkeitssituation nur bis zu diesen Blechstärken.

Um den Sachverhalt anschaulicher darstellen zu können, wurden die Daten des reinen Schnittes nun in ein Diagramm übertragen. Die Skalierung der Kosten musste hierbei im logarithmischen Maßstab erfolgen, da mit linearer Darstellung vor allem im Dünoblechbereich die Unterschiede kaum auszumachen waren.

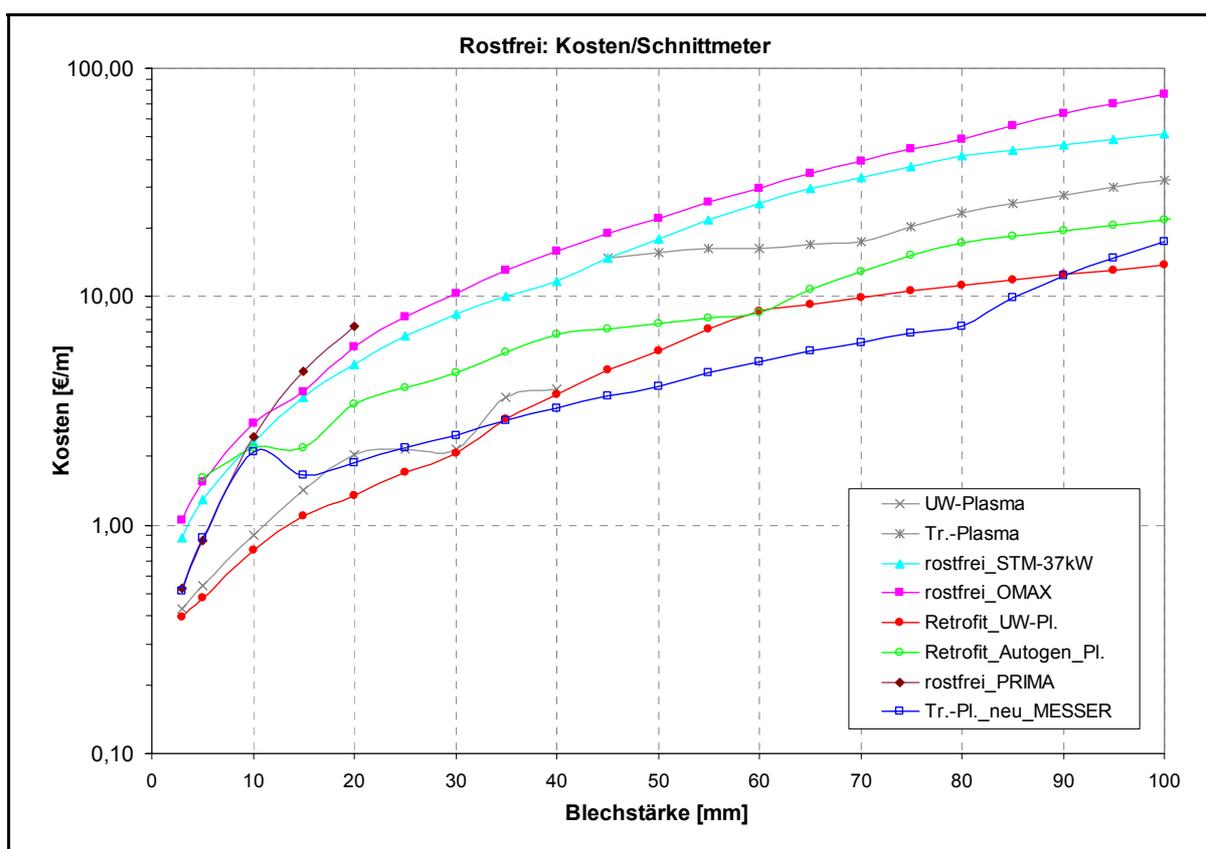


Abbildung 7-5 Kosten je Schnittmeter für rostfreie Stähle

Dieselbe Auswertung erfolgte nun auch für C-Stähle. Die betrachteten Verfahren waren hierbei das Autogenschneiden, Wasserstrahlschneiden und die Laserstrahltechnologie. Kostenvorteile konnten hier bei der Autogentechnologie ausgemacht werden. Wobei in

diesem Fall die Unterschiede zwischen den jeweiligen Brennern nicht so gravierend ausfielen wie es beim Plasmaschneiden der Fall war. Dies ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass es bei dieser Technologie keine gravierenden Unterschiede bzw. Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der Schnittgeschwindigkeiten gibt. Aktuelle Anlagen können zwar einen Geschwindigkeitsvorteil erzielen, jedoch ist dieser sehr gering. Die ermittelten Kostendifferenzen sind hauptsächlich auf die Investitionskosten der unterschiedlichen Konfigurationen bzw. deren Abschreibungsdauer zurückzuführen. Diese wurden für Neuanschaffungen und Retrofits unterschiedlich gewählt.

Das Wasserstrahlschneiden kann auch bei schwarzen Stählen, außer im Dünnblechbereich, über die gesamte Breite keine Kostenvorteile erzielen. Auch hier gilt jedoch, dass es sich ausschließlich um Trennschnitte handelt. Für Qualitätsschnitte ist jedoch mit erheblichen Kostensteigerungen zu rechnen.

Das Laserstrahlschneiden kann hingegen Vorteile bei schwarzen Stählen für sich verbuchen. Für diese Materialien sind die Schnittgeschwindigkeiten hoch genug, sodass bis zur Verfahrensgrenze von 25 mm am günstigsten geschnitten werden könnte.

Tabelle 7-2 Schnittmeterkosten für schwarze Stähle

Blechedicke	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Kosten/Schnittmeter [€/m]																				
Autogen	2,34	1,80	5,26	5,48	5,94	6,40	6,76	7,12	7,58	8,03	8,31	8,59	8,82	9,04	9,35	9,65	9,96	10,27	10,57	10,88
Retrofit_Autogen	3,58	2,74	7,63	8,59	9,21	9,83	10,35	10,86	11,71	12,56	12,99	13,43	13,65	13,88	14,16	14,44	14,72	15,00	15,28	15,56
Retrofit_Autogen_C	3,51	2,69	7,48	8,42	9,03	9,64	10,15	10,65	11,48	12,31	12,74	13,17	13,39	13,61	13,89	14,16	14,44	14,71	14,98	15,26
Autogen_neu_ESAB	4,37	4,53	4,92	5,29	5,74	6,19	6,57	6,96	7,23	7,51	7,98	8,44	8,79	9,13	9,46	9,80	10,13	10,46	10,79	11,12
Autogen_neu_MESSER	4,49	5,36	5,62	6,13	6,60	7,07	7,39	7,72	8,12	8,52	8,77	9,02	9,28	9,54	9,84	10,14	10,45	10,75	11,05	11,35
STM - Trennschnitt	1,75	3,39	4,96	7,21	9,46	11,71	13,89	16,06	20,14	24,21	29,60	34,98	40,86	46,74	52,62	58,49	59,84	61,19	62,54	63,89
OMAX - Trennschnitt	2,33	4,15	6,16	8,12	10,87	13,62	17,64	21,65	25,62	29,59	34,50	39,40	45,58	51,77	57,95	64,13	73,15	82,17	91,18	100,20
PRIMA	0,91	1,39	2,33	3,08	4,59															
Kosten/m Schweißkante [€/m]																				
Autogen	12,42	15,15	20,92	21,15	23,16	25,18	26,48	27,79	29,16	30,53	31,73	32,92	34,07	35,21	36,43	37,65	38,87	40,10	41,32	42,54
Retrofit-Autogen	13,65	16,10	23,29	24,25	26,43	28,61	30,07	31,53	33,29	35,06	36,41	37,76	38,90	40,05	41,24	42,44	43,64	44,83	46,03	47,23
Retrofit_Autogen_C	13,59	16,05	23,14	24,09	26,25	28,42	29,87	31,32	33,07	34,81	36,16	37,50	38,64	39,78	40,97	42,16	43,35	44,54	45,73	46,92
Autogen_neu_ESAB	14,45	17,88	20,58	20,96	22,96	24,96	26,30	27,63	28,82	30,00	31,39	32,78	34,04	35,30	36,55	37,79	39,04	40,29	41,54	42,79
Autogen_neu_MESSER	14,57	18,72	21,28	21,79	23,82	25,85	27,11	28,38	29,70	31,01	32,19	33,36	34,53	35,70	36,92	38,14	39,36	40,58	41,80	43,02
STM - Trennschnitt	5,13	10,16	15,79	23,23	30,75	38,26	45,71	53,17	66,90	80,64	98,84	117,05	136,27	155,48	174,70	193,91	198,01	202,10	206,20	210,29
OMAX - Trennschnitt	6,58	11,79	18,41	24,46	32,89	41,33	53,76	66,20	78,67	91,14	106,56	121,97	141,37	160,76	180,16	199,55	227,61	255,67	283,73	311,79
PRIMA	11,67	15,43	17,84	19,41	20,91															

Für nachgelagerte Arbeitsgänge sieht die Situation wieder ähnlich wie bei den rostfreien Stählen aus. Werden eigene Schleifmaschinen benötigt, steigen die Kosten für alle im gleichen Maße. Beim Wasserstrahlschnitt ist jedoch wieder eine Komplettbearbeitung möglich, was die Kosten bis zu einer gewissen Blechstärke weniger stark steigen lässt. Für eine anschaulichere Darstellung der reinen Schnittkosten wurden auch hier die Werte wieder in einem Diagramm dargestellt (Abbildung 7-6).

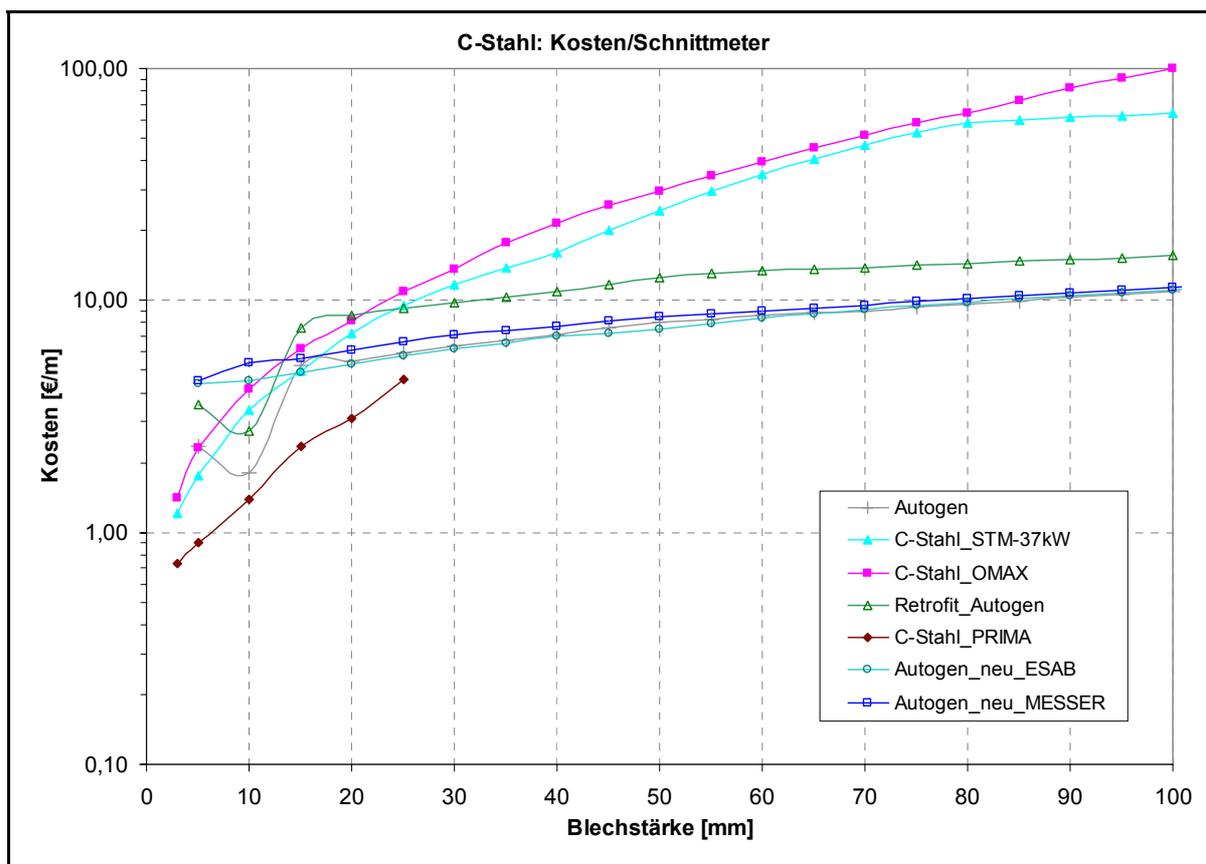


Abbildung 7-6 Kosten je Schnittmeter für schwarze Stähle

7.2.2 SCHNITTMETERKOSTEN (KONKRETES BEISPIEL)

Die betrachteten Verfahren und Anlagen sollen nun noch einer weiteren Beurteilungsmöglichkeit der Schnittmeterkosten unterzogen werden. Hierfür wird ein konkretes Beispiel herangezogen, von welchem sämtliche für den Zuschnitt erforderlichen Daten zur Verfügung stehen. Alle Schnittlängen und vor allem auch die Art des Schnittes, ob gerader oder gebogener Schnitt sind bekannt. Ebenso wichtig sind die Art des Anstiches und die Länge der Kanten, an denen eine Nahtvorbereitung zu erfolgen hat. An einem solchen Bauteil können die einzelnen Zeiten für vor- und nachgelagerte Arbeiten exakt ermittelt werden. Auch für den Zuschnitt selbst ergeben sich genauere Werte, da hier nun der Einfluss des Anschnittes und des Auslaufes beim Schneiden berücksichtigt werden kann. Aufgrund dessen ist die Durchlaufzeit der Zuschnittaufgabe exakt ermittelbar. Dies war im vorigen Modell nicht möglich, da diese Zeiten sehr stark von der Bauteilgeometrie und der Blechstärke abhängig sind.

7.2.2.1 Generelle Annahmen bzw. Festlegungen

Zunächst sind auch hier einige generelle Annahmen festzulegen. Die Kosten aller Anlagen wurden für den Betrieb ausschließlich mit einem Brenner ermittelt und für die Schweißkantenanarbeitung wurde ein Mittelwert der Bearbeitungszeiten von V- und X-

Nähten gebildet. Dies war notwendig, da die Art der Anarbeitung von der Blechstärke des Bauteiles abhängig ist. Um die Vergleichbarkeit zu wahren wurde eben dieser Mittelwert für die Berechnungen der Nahtvorbereitung herangezogen.

7.2.2.2 Das Berechnungsschema

Die Vorgehensweise bei der Ermittlung der Kosten unterscheidet sich grundlegend von der generellen Schnittmeterkostenanalyse. Wie das Berechnungsschema (Abbildung 7-7) zeigt, wird zuerst die Durchlaufzeit eines jeden Arbeitsschrittes ermittelt und anschließend mit dem Stundensatz der jeweiligen Kostenstelle verrechnet. So erhält man die konkreten Bearbeitungskosten, welche für dieses Bauteil anfallen und auf den Auftrag verrechnet werden. Hierfür sind nun aber die Verrechnungssätze der benötigten Anlagen bzw. Arbeitsschritte erforderlich, welche wie folgt gewählt wurden:

Stundensätze der benötigten Arbeitsgänge:

Vorstrahlen	■	€/h
Vorbohren	■	€/h
Zuschnitt	■	€/h
Entgraten	■	€/h
Schweißkantenanarbeitung	■	€/h
Helfer, Manipulation	■	€/h

Diese Werte entsprechen den derzeitigen Stundensätzen der Anlagen bzw. Kostenstellen in der ANDRITZ AG. Sie wurden auch für alternative Anlagen und Verfahren in dieser Höhe angesetzt und verrechnet, um eine konkrete Vergleichbarkeit zu ermöglichen. Vor allem beim Wasserstrahlschneiden ist der Wert des Zuschnittes jedoch als zu hoch zu betrachten, da hier die tatsächlichen Kosten pro Stunde sehr viel niedriger sind. Da man jedoch für dieselbe Schnittlänge erheblich länger braucht, hat dies zur Folge das auch die Kosten drastisch höher sind als bei anderen Verfahren, wenn man mit einem Stundensatz von €/h ■,- rechnet. Auch für andere alternative Anlagen entspricht dieser Wert nicht der Realität. Jedoch ist die Schwankung hier nicht so drastisch wie beim Wasserstrahlschneiden. Auch hier müssten die Stundensätze einzeln berechnet und für die Anlagen speziell ausgelegt werden.

Abgesehen davon kann man sich über die erforderlichen Schnittmeter nun die Kosten für je einen Meter Schnitt ermitteln. Wieder gesondert für den reinen Schnitt ohne weitere Bearbeitung, jedoch auch für etwaige nachfolgende Schweißkantenanarbeitung. Die Gesamtkosten des zugeschnittenen Bauteiles ergeben sich dabei aus den berechneten Bearbeitungskosten und dem Materialpreis.

sichtigen zu können. Die Fugenform wurde in der Zeichnung nicht eigens eingetragen. Die Längs- und die Breitseite des Werkstückes werden jedoch zur Fugenvorbereitung vorgesehen.

7.2.2.3 Auswertung der Berechnungen

Auch bei dieser Berechnungsmethode wurden die Resultate wiederum in Tabellen und Diagrammen wie folgt zusammengefasst um sie anschaulicher darstellen zu können.

Es wurde wieder nach Materialien getrennt und zwei separate Ergebnisse für rostfreie und schwarze Bleche erstellt. Die anschließende Tabelle 7-3 zeigt die Ergebnisse der rostfreien Variante

Tabelle 7-3 Schnittmeterkosten – rostfrei (Deckel)

Blechedicke [mm]	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Kosten/Schnittmeter [€/m]																				
UW-Plasma	3,19	4,46	6,18	8,28	8,67	9,18	12,49	13,19												
Tr.-Plasma									19,02	20,07	26,58	28,26	29,45	30,64	31,51	32,38	33,29	34,21	35,43	36,65
Retrofit_UW-PI	2,38	3,10	3,96	4,56	6,02	7,48	9,02	10,55	12,10	13,65	20,10	26,54	26,95	27,35	27,76	28,16	28,26	28,35	28,44	28,53
Retrofit_Autogen_PI.	5,49	6,30	7,77	9,11	10,87	12,62	13,50	14,39	15,30	12,04	16,89	21,73	24,39	27,05	29,72	32,38	32,73	33,07	33,41	33,75
Tr.-PI_neu_MESSER	2,66	7,14	5,11	5,63	7,08	8,54	8,82	9,10	9,99	10,87	11,97	13,06	13,71	14,36	15,01	15,66	19,02	22,37	25,72	29,07
STM - Trennschnitt	15,30	23,56	33,20	43,81	56,67	69,54	84,69	99,84	114,74	129,64	155,63	181,62	194,83	208,05	221,27	234,49	238,33	242,17	246,01	249,85
OMAX - Trennschnitt	16,99	26,11	36,79	46,73	61,16	75,58	96,91	118,23	129,83	141,42	163,74	186,05	202,85	219,65	236,45	253,25	275,82	298,39	320,97	343,54
PRIMA	4,42	10,68	18,77	28,04																
Kosten/m Schweißkante [€/m]																				
UW-Plasma	12,70	16,74	20,48	22,73	25,69	26,24	31,33	32,08												
Tr.-Plasma									40,15	41,28	50,25	52,11	54,15	56,20	57,88	59,57	61,29	63,02	65,11	67,19
Retrofit_UW-PI	11,83	15,29	17,20	18,74	21,57	24,41	26,83	29,25	31,66	34,07	42,00	49,94	51,13	52,33	53,52	54,71	55,57	56,44	57,30	58,16
Retrofit_Autogen_PI.	15,17	18,71	21,28	23,62	26,77	29,93	31,64	33,36	35,20	32,35	38,56	44,77	48,39	52,01	55,62	59,24	60,37	61,50	62,63	63,76
Tr.-PI_neu_MESSER	12,13	19,61	18,43	19,89	22,72	25,55	26,62	27,69	29,39	31,09	33,02	34,94	36,38	37,83	39,27	40,72	45,06	49,40	53,75	58,09
STM - Trennschnitt	29,73	45,78	64,49	85,12	108,93	132,74	161,66	190,58	219,02	247,47	297,08	346,69	371,92	397,15	422,38	447,61	454,94	462,27	469,61	476,94
OMAX - Trennschnitt	33,01	50,72	71,48	90,79	117,54	144,28	184,98	225,68	247,82	269,96	312,55	355,14	387,21	419,28	451,35	483,42	526,51	569,60	612,70	655,79
PRIMA	14,02	23,41	33,08	43,92																

Die Werte für den reinen Zuschnitt sind in Abbildung 7-9 gezeigt. Wie bei der allgemeinen Schnittmeterkostenbetrachtung wurden auch hier die Verläufe der Gesamtbearbeitung nicht dargestellt, da sich am Verlauf der Kosten kaum Änderungen ergeben. Es ergibt sich ausschließlich eine betragsmäßige Veränderung der Verläufe, wodurch keine neuen Erkenntnisse gewonnen werden können.

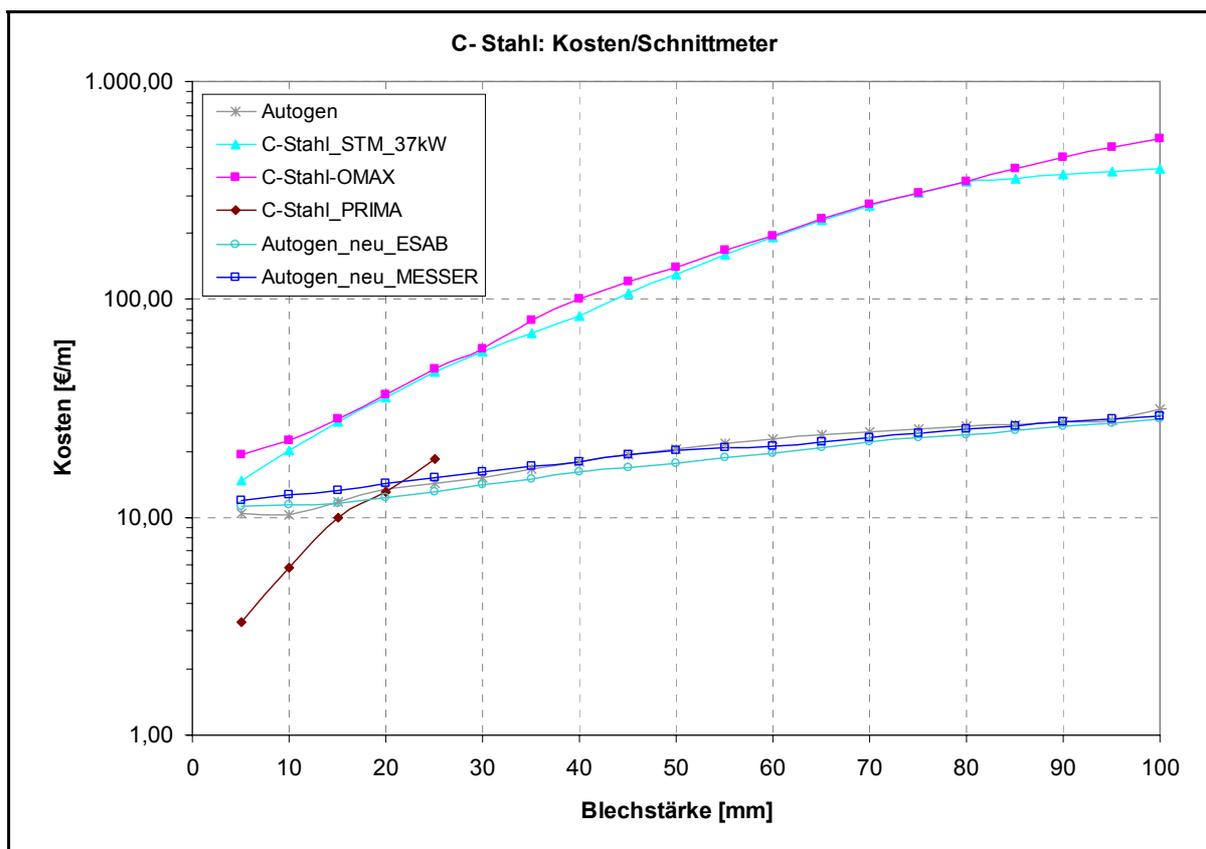


Abbildung 7-10 Kosten je Schnittmeter – C-Stahl (Deckel)

Die dargestellten Kostenverläufe für dieses konkrete Beispiel zeigen, dass kaum gravierende Unterschiede zur allgemeinen Analyse bestehen. Die Verläufe der beiden Berechnungsverfahren an sich decken sich im Allgemeinen. Unterschiede in der Größenordnung sind lediglich darauf zurückzuführen, dass mit einem konstanten Stundensatz von €/h \blacksquare , - für den Zuschnitt gerechnet wurde. Dieser wäre in weiterer Folge für jedes Aggregat separat auszulegen und anschließend die Kostenanalyse erneut durchzuführen. Da jedoch ersichtlich ist, dass durch diese Analyse keine neuen Erkenntnisse gewonnen werden können, wurde dieser Schritt nicht weiter verfolgt. Es besteht im Verhältnis nur eine betragsmäßige Abweichung der beiden Analyseverfahren bei annähernd identischen Verläufen. Durch Anpassung der Stundensätze wird ausschließlich diese Abweichung korrigiert und die Verläufe damit der allgemeinen Schnittmeterkostenbetrachtung angeglichen.

7.2.3 KOMPLETTBEARBEITUNG (ZUSCHNITT + MECHANISCHE BEARBEITUNG)

Aufgrund verfahrenstechnischer Beschränkungen der einzelnen Verfahren kann es vorkommen, dass die erzielte Schnittqualität nicht ausreichend ist. In einem solchen Fall kann eine mechanische Nachbearbeitung erforderlich sein, um die geforderten Toleranzen und Qualitäten zu gewährleisten.

Es soll nun überprüft werden, ob Technologien, welche eine solche Nachbearbeitung ü-

berflüssig machen würden, Kostenvorteile lukrieren könnten. Als mögliche Verfahren kommen Laserstrahl- und Wasserstrahlschneiden in Frage. Letztere birgt das größte Potential, da hier neben qualitativ hochwertigen Schnitten bis hin zu großen Blechstärken auch die Schweißkantenvorbereitung durchgeführt werden kann. Hingegen ist beim Laserstrahlschneiden ausschließlich bei sehr geringen Dicken mit qualitativen Vorteilen zu rechnen. Daher wurde für die Komplettbearbeitung hauptsächlich das Wasserstrahlschneiden zur Beurteilung herangezogen.

Anhand des im letzten Abschnitt behandelten Musterbeispiels – Deckel (siehe Abbildung 7-8) soll nun diese Untersuchung durchgeführt werden. Für die Beurteilung wurde rostfreier Stahl (1.4404) in ausgewählten Blechdicken herangezogen.

Im ersten Schritt wurden die Kosten des Plasmaschnittes für diverse Blechstärken ermittelt. Hierfür wurde die UW-PI. Anlage herangezogen. Zunächst in bestehender Ausführung und im Weiteren laut Konfiguration des Retrofits. Die Durchlaufzeitermittlung erfolgte auf dieselbe Weise wie bei der Schnittmeterkostenanalyse nach Musterstück (siehe Abbildung 7-7).

Hinzu kommen nun die Kosten der mechanischen Nachbearbeitung. Hierfür wurden die entsprechenden Bearbeitungszeiten in der Fertigungsplanung der ANDRITZ AG von Herrn Günther Slansek ermittelt. Als mögliches Bearbeitungszentrum wurde die CNC-Fahrständerdrehmaschine Kekeisen1 (KEK1) gewählt, welche mit einem Stundensatz von €/h ■■■,- zu verrechnen ist. Die Fertigung an sich kann in zwei Aufspannungen erfolgen und beinhaltet Rüst,- Neben- und Bearbeitungszeiten.

Im Vergleich dazu steht eine Komplettbearbeitung durch eine Wasserstrahlschneidanlage. Hierfür wurde die Anlage der Firma STM gewählt. Für die Durchlaufzeitermittlung wurde ein absoluter Qualitätsschnitt der Klasse Q3 gewählt, was bei dieser Technologie der höchsten und feinsten Stufe entspricht. Um jedoch einen realistischen Wert der Bearbeitungskosten zu erhalten, wurde für diesen Fall eine Stundensatzanpassung vorgenommen und der Satz von €/h ■■■,- herabgesetzt. Im Zuge der allgemeinen Schnittmeterkostenanalyse ergab sich ein minimal erforderlicher Fertigungskostensatz für das Wasserstrahlschneiden von etwa €/h ■■■■,-. Aus diesem Grunde wurde der Stundensatz mit €/h ■■■,- festgelegt und in die Berechnung miteinbezogen.

Wie das Ergebnis in Tabelle 7-5 zeigt, unterscheiden sich die Schnittkosten der Plasmaschnitte nur geringfügig. Vergleicht man sie mit denen des Wasserstrahlschnittes, so weisen sie nur einen Bruchteil der Kosten auf, jedoch bei schlechterer Schnittqualität. Aufgrund der nun aufwendigen mechanischen Nacharbeit kommen beim plasmageschnittenen Bauteil noch erhebliche Kosten hinzu, um die geforderte Qualität erreichen zu können. Ab einer Blechstärke von 20 mm ist jedoch schon erkennbar, dass die Kosten der Wasserstrahlbearbeitung doch erheblich stärker steigen als jene beim Plasmaschnitt inkl.

mechanischer Bearbeitung, welche ab 40 mm Materialstärke schon markant günstiger sind. Zurückzuführen ist dies wiederum auf die deutlich langsameren Schnittgeschwindigkeiten des Wasserstrahlschnittes bei größeren Blechdicken.

Tabelle 7-5 Ergebnis Komplettbearbeitung (Musterbeispiel – Deckel)

Blechdicke	[mm]	10	20	40	60	80
Plasma - Schnitt best. Anlagen	[€/Stk.]	7,58	14,08	22,43	48,05	55,05
mech. Nacharbeit						
1. Aufspannung	[€/Stk.]	73,33	88,00	117,33	146,67	190,67
2. Aufspannung	[€/Stk.]	36,67	44,00	58,67	88,00	117,33
Gesamt	[€/Stk.]	117,58	146,08	198,43	282,72	363,05
Retrofit Plasma - Schnitt	[€/Stk.]	5,56	8,16	18,91	46,96	49,81
mech. Nacharbeit						
1. Aufspannung	[€/Stk.]	73,33	88,00	117,33	146,67	190,67
2. Aufspannung	[€/Stk.]	36,67	44,00	58,67	88,00	117,33
Gesamt	[€/Stk.]	115,56	140,16	194,91	281,63	357,81
STM - Qualitätsschnitt (Q3)	[€/Stk.]	61,63	114,58	261,11	475,00	613,27

Bei einer solchen Komplettbearbeitung sind jedoch nicht ausschließlich die Kosten der Bearbeitung ausschlaggebend. Ein weiteres Kriterium stellt die Gesamtdurchlaufzeit vom rohen Blech bis zum fertig bearbeiteten Bauteil dar. Ist beim Wasserstrahlschnitt ausschließlich der Schnitt von Nöten, so sind beim Plasmaschnitt weitere Arbeitsgänge erforderlich, welche sich natürlich auch zeitlich niederschlagen. In diesem Fall kann mit folgenden Zeiten gerechnet werden.

Plasmaschnitt + mech. Bearbeitung2 Wochen
 Wasserstrahlschnitt 1 Wochen

Diese Durchlaufzeiten sind als Richtwerte für dieses konkrete Beispiel anzusehen und können aufgrund der Maschinenbelegung bzw. Auslastung der Anlagen durchaus von diesen Werten abweichen. Sie beruhen hauptsächlich auf Erfahrungswerten der Fertigungsplanung. Grob kann gesagt werden, dass je Fertigungsschritt mit einem Zeitbedarf von etwa einer Woche gerechnet werden kann. Es müssen die Fertigungspläne erstellt und Laufkarten angelegt werden. Außerdem spielt die Belegung der benötigten Maschine eine Rolle. In diesem Falle betrifft dies nur eine einfache mechanische Bearbeitung, was sich nicht all zu sehr auf die Durchlaufzeit auswirkt.

Jedoch muss gesagt werden, dass dies von Fall zu Fall unterschiedlich ist und durchaus sehr stark schwanken kann. Eine nachträgliche mechanische Bearbeitung kann auch we-

sentlich länger dauern, da diese sehr stark von der Bauteilgeometrie, deren Größe, dem Material sowie der Komplexität der Bearbeitung abhängig ist. Im ungünstigsten Fall kann es so zu einer Durchlaufzeit von bis zu fünf Wochen kommen, wenn auch noch ein stark ausgelastetes Bearbeitungszentrum als einziges für die Bearbeitung in Frage kommt.

Ein Wasserstrahlschnitt könnte in einem solchen Fall die Durchlaufzeit drastisch reduzieren. Jedoch ist es kaum möglich zu ermitteln wie häufig solche Fälle in ANDRITZ auftreten, ebenso schwierig gestaltet sich dann deren konkrete Beurteilung. Es kann jedoch angefügt werden, dass die Komplettbearbeitung von Bauteilen mit hoher Güte der größte Vorteil der Wasserstrahlschneidtechnologie ist.

7.2.4 EINFLUSS DER ENTWICKLUNGSSZENARIOEN AUF DIE KOSTEN

Alle Kosten die bis jetzt ermittelt wurden beziehen sich ausschließlich auf die derzeitige Auslastungssituation. Dies entspricht im Großen und Ganzen dem neutralen Szenario und wurde herangezogen, um die momentane Lage des Zuschnittes am besten beurteilen zu können. Nun stellt sich die Frage, welche Entwicklung man von den Kosten zu erwarten hat, wenn ein Fall der gewählten Szenarien eintreten sollte. Der Einfluss auf die Entscheidung einer dahingehenden Investition ist doch sehr erheblich. Aus diesem Grund sollen die beiden Varianten nun verglichen werden. Repräsentativ wurden hierfür die Schnittmeterkosten der allgemeinen Betrachtung herangezogen, da diese aufgrund der exakten Aufschlüsselung der einzelnen Kostenarten des Zuschnittes am besten analysiert werden können.

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass die Schwankungen der Kosten ausschließlich auf die veränderte Auslastungssituation zurückzuführen ist. Damit einhergehend natürlich auch die Verteilung der Fixkosten.

Eine solche Auswertung kann im Allgemeinen auch als Sensitivitätsanalyse der Fertigungsstunden im Zuschnitt betrachtet werden. Dadurch sollte erkennbar sein, welche Anlagen am sensibelsten auf eine diesbezügliche Auslastungsschwankung reagieren.

Tabelle 7-6 Schwankung der Schnittmeterkosten

Abweichung vom IST -Zustand			
		Best case	Worst case
		bestehend	UW-Plasma
Autogen	-2%		46%
Tr.-Plasma	-17%		102%
Retrofit	Retrofit_UW-PI.	-2%	74%
	Retrofit_Autogen	-1%	61%
	Retrofit_Autogen_C+PI	-6%	71%
Neuanlagen	Autogen_neu_ESAB	-2%	58%
	Autogen_neu_MESSER	-2%	57%
	Tr.-PI._neu_MESSER	-9%	67%
	Wasserstrahltechnologie	0%	0%
	PRIMA_rostoffrei	-7%	74%
	PRIMA_C-Stahl	-6%	62%

In Tabelle 7-6 sind die Schwankungen der Schnittmeterkosten im Vergleich zur Ausgangssituation von 2010 aufgelistet. Es ist deutlich erkennbar, dass im optimalen Fall die Kosten nur geringfügig gesenkt werden können. Dies ist auf den nur geringfügig besser gewählten Trend zurückzuführen. Eindeutig fällt hingegen das Ergebnis beim „worst case“ Fall aus. Es sind nicht nur markante Unterschiede zur IST-Situation auszumachen, sondern auch gravierende Schwankungen zwischen den einzelnen Anlagen. Je höher die Kostenschwankungen einer Anlage, desto höher ist der Einflussgrad des Beschäftigungsgrades auf diese.

Ziel wäre es, eine Investitionsvariante zu finden, welche äußerst unempfindlich gegen Auslastungsunterschiede ist. Jedoch ist dies aufgrund der pessimistischen Annahme des „worst case“ Falles kaum möglich. Ersichtlich ist nur, dass bei der bestehenden Tr.-PI. Anlage die Schwankungen deutlicher ausfallen als bei vergleichbaren Varianten. Diese Tatsache bestätigt abermals die schlechte Position dieser Anlage im Vergleich zum restlichen Maschinenpark.

Bei der Wasserstrahltechnologie sind hingegen keine Schwankungen auszumachen. Wie bereits erwähnt sind für die Deckung der rostfreien Zuschnittaufgaben aufgrund der deutlich höheren Prozesszeit mindestens zwei Anlagen nötig. Für die Beurteilung wurde hingegen nur eine Anlage herangezogen. Selbst im schlechtesten Auslastungsfall wäre diese Anlage noch voll belegt, wodurch es zu keinen Kostendifferenzen kommt.

7.3 NÖTIGE AUSLASTUNG FÜR BREAK EVEN

Nach Auswertung der Kostensituation der einzelnen Investitionsvarianten ist nun von Interesse, welche minimale Auslastung der Anlagen von Nöten ist, um kostendeckend arbeiten zu können. Um dies zu ermitteln wurde die Break-Even-Analyse (BE-Analyse) auf jede der betrachteten Anlagen angewendet.

Abbildung 7-11 zeigt, dass der Break-Even-Punkt im Schnittpunkt von Gesamtkostenverlauf $K(x)$ und Nettoerlös $x \cdot p$ erreicht wird. In diesem Punkt werden weder Gewinne noch Verluste erzielt und somit stellt dies die Grenze einer minimal nötigen Auslastung der Zuzchnittanlagen dar. Bei steigender Beschäftigung werden Gewinne, bei fallender Beschäftigung, Verluste erzielt. Gleichbedeutend mit der Unter- bzw. Überdeckung der Anlagen lt. Kostenbericht.

Sinkt die Auslastung der Anlagen sehr stark ab, so dass der Liquiditätspunkt unterschritten wird, kommt es zum Abfließen von liquiden Mitteln aus dem Unternehmen. Dies geschieht, da die ausgabewirksamen Kosten nicht mehr durch die Nettoerlöse gedeckt werden können.

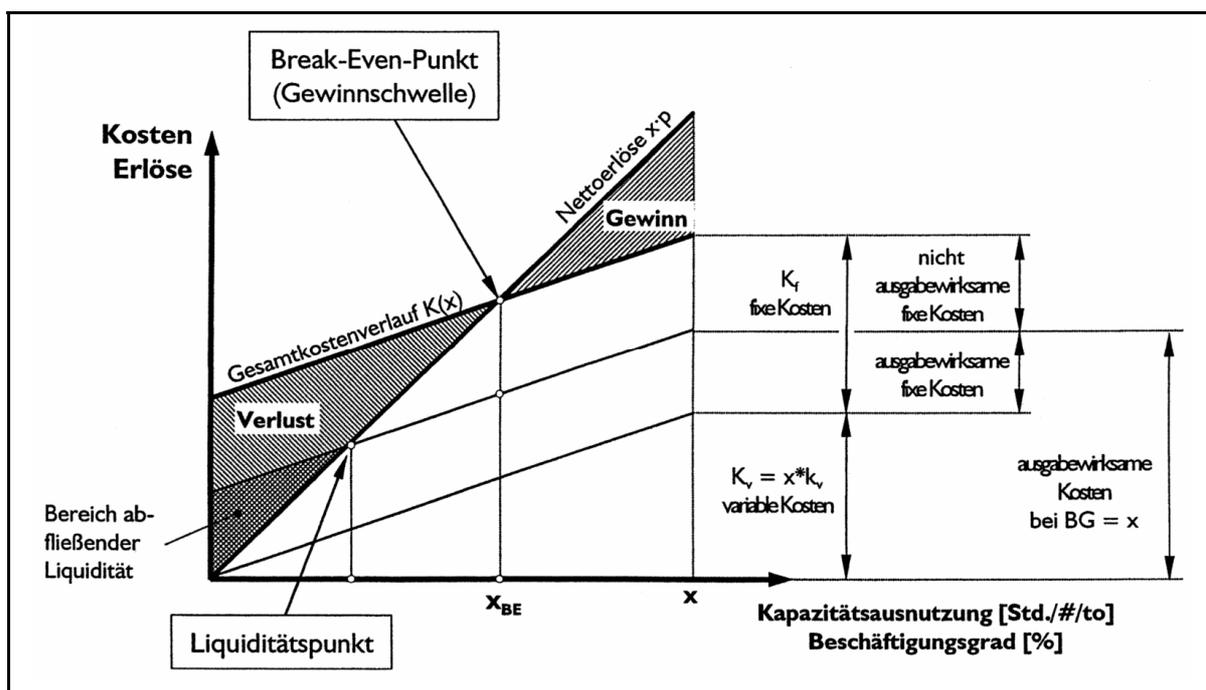


Abbildung 7-11 Break-Even-Diagramm⁷⁰

$$x_{BE} \cdot p = K_f + x_{BE} \cdot k_v$$

$$x_{BE} = \frac{K_f}{p - k_v}$$

pStundensatz

k_vvariable Kosten je Stunde

K_f Fixkosten

x_{BE}Beschäftigungsgrad im BE - Punkt

⁷⁰ Quelle: Bauer, Kosten- u. Erfolgsrechnung (2005), S. 4-8

Im Folgenden werden nun die Ergebnisse der BE–Analyse beschrieben und in Tabelle 7-7 genauer dargestellt.

Als IST-Beschäftigungsgrad wurde hier ebenfalls die momentane Auslastungssituation der Anlagen zur Bewertung herangezogen. Diese Werte dienen ebenso als Ausgangssituation für die Retrofits und Neuanlagen. Dabei wurden die nötigen Schnittstunden auf die neue Situation angepasst und entsprechend verteilt. Mit Hilfe der Schnittgeschwindigkeiten wurde schließlich noch der verfahrensbedingte Einfluss berücksichtigt und die benötigten Stunden den Anlagen angepasst.

Tabelle 7-7 Ergebnis der Break Even Analyse

		BG _{ist} [h/a]	x _{BE} [h/a]	x _{LP} [h/a]
bestehend	UW - Plasma	1.710	773	-
	Autogen	1.308	895	-
	Tr - Plasma	418	1.335	-
Retrofit	UW - Plasma	2.022	1.354	1.121
	Autogen	1.308	2.048	1.170
	Autogen C + PI	1.725	2.644	1.220
Neuanlagen	Autogen_neu_ESAB	1.308	1.317	1.017
	Autogen_neu_MESSER	1.308	1.278	1.020
	Tr.-PI._neu_MESSER	2.022	2.232	1.394
	STM	7.000	1.409	1.031
	OMAX	7.000	1.518	1.125
	PRIMA	2.000	1.808	940

Bei den drei bestehenden Anlagen spiegelt die BE–Analyse die Ergebnisse des Kostenberichts wieder. Die UW–PI. Anlage und die Autogenschneidanlage konnten im Jahr 2010 eine deutliche Überdeckung erzielen, was aufgrund der minimal nötigen Auslastung erkennbar ist. Schlecht hingegen ist das Ergebnis der Tr.–PI. Anlage. Hier wäre eine minimale Fertigungsstundenzahl von 1.335 Stunden notwendig gewesen, um kostendeckend wirtschaften zu können. Tatsächlich wurden nur ■ Stunden verrechnet. Dies spiegelt sich auch im wirtschaftlichen Ergebnis der Anlage dementsprechend wieder.

Bei den Retrofits sieht die Situation folgendermaßen aus: Aufgrund niedriger Investitionskosten und Erhöhung der Fertigungsstunden durch Übernahme der Kapazitäten von der Tr.–PI. Anlage kann die UW–PI. Anlage die minimal erforderlichen Stunden erbringen. Es scheint sogar realistisch zu sein, eine deutliche Überdeckung erzielen zu können. Gegenteiliges ist bei der Autogenanlage der Fall. Hier fallen die Investitionskosten sehr hoch aus, jedoch kann durch die Modernisierung kein entscheidender Vorteil erzielt werden. Erneuert man ausschließlich die Autogenanlage können keine zusätzlichen Kapazi-

täten gewonnen werden. Wird zusätzlich noch ein Plasmaaggregat angekauft, so werden zwar auch hier die Kapazitäten der Tr.-Pl. Anlage genutzt, jedoch stehen diese nicht in Relation zu den nötigen Investitionskosten. Also ist zu erwarten, dass man durch eine solche Investition eher defizitär wirtschaften würde, da lt. Analyse der erforderliche Break-Even Punkt nicht annähernd erreicht wird.

Bei den betrachteten Neuanlagen sieht es so aus als könnten fast alle die erforderlichen Stunden für einen gewinnbringenden Betrieb erbringen. Einzig die Tr.-Pl. Anlage der Firma MESSER scheint dies nicht erreichen zu können. Die Autogenanlage der Firma ESAB liegt etwa im Bereich des Break-Even Punktes von 1.317 Stunden. Dies würde in etwa der Schneidleistung für 2010 entsprechen. Ähnlich sieht die Situation bei der Autogenanlage der Firma MESSER aus. Die minimal nötige Auslastung ist aufgrund der etwas niedrigeren Investitionskosten geringfügig kleiner. Auch die Laserschneidanlage würde lt. den geplanten Fertigungsstunden den Break-Even Punkt übertreffen. Angenommen wurden hierfür rostfreie und schwarze Schnitte, welche mit dieser Anlage möglich wären. Bei gleich bleibender Auslastung wären dies in etwa 2.000 Fertigungsstunden.

Bei den Wasserstrahlschneidanlagen der Unternehmen STM und INNOMAX gibt es nun noch einiges zu berücksichtigen. Laut Analyse würden diese Anlagen den BE-Punkt bei derzeitiger Auslastung sehr deutlich übertreffen. Die Erlöse wurden wiederum mit dem derzeitigen Stundensatz von €/h ■■■,- errechnet. Um den momentanen Bedarf an Zuschnitten jedoch decken zu können, wären mindestens zwei Anlagen mit je einer vollen Auslastung von 7.000 Stunden pro Jahr nötig. Da die Schnittdauer bei diesen Anlagen vergleichsweise viel höher ist als bei anderen Verfahren, die Betriebskosten jedoch erheblich niedriger, müsste dieser Stundensatz wiederum angepasst werden.

Führt man nun eine Anpassung auf einen Stundensatz von $p = 80,-$ €/h (ermittelt unter 7.2.3) für Wasserstrahlschneidanlagen durch, so erhöhen sich entsprechend die BE-Grenzen. Für die Anlage der Fa. STM würde sich dadurch ein Wert von $x_{BE} = 3.108$ Stunden ergeben und für INNOMAX $x_{BE} = 3.761$ Stunden. Auch diese Werte könnten erreicht werden, da eine Auslastung von 7.000 Stunden je Anlage notwendig wäre, um den erforderlichen Bedarf an rostfreien Zuschnitten decken zu können.

Schlussendlich wurde noch für alle Investitionsmöglichkeiten der Liquidationspunkt x_{LP} ermittelt, um zu überprüfen ob der festgelegte Beschäftigungsgrad der Anlagen ausreichen würde, um ein Abfließen von liquiden Mitteln zu verhindern. Wie Tabelle 7-7 zeigt, wird diese Grenze von jeder betrachteten Anlage deutlich überschritten.

7.3.1 EINFLUSS DER ENTWICKLUNGSSZENARIOEN AUF DEN BE-PUNKT

Unter den in Kapitel fünf gebildeten Szenarien soll nun untersucht werden, ob die Investitionen auch unter diesen Bedingungen die nötige Auslastung erreichen könnten und somit eine Investition rechtfertigen würden.

Tabelle 7-8 zeigt einen solchen Vergleich der BE-Punkte zwischen „best- und worst case“ Fällen.

Tabelle 7-8 Ergebnis der Break Even Analyse (best case – worst case)

		best - case			worst - case		
		BG _{ist} [h/a]	x _{BE} [h/a]	x _{LP} [h/a]	BG _{ist} [h/a]	x _{BE} [h/a]	x _{LP} [h/a]
bestehend	UW - Plasma	1.915	715	-	831	1.189	-
	Autogen	1.283	734	-	745	1.122	-
	Tr - Plasma	539	1.056	-	156	36.363	-
Retrofit	UW - Plasma	2.331	1.485	1.064	987	2.759	1.998
	Autogen	1.283	1.935	1.089	745	4.409	2.519
	Autogen C + PI	1.822	2.457	1.112	901	7.326	3.380
Neuanlagen	Autogen_neu_ESAB	1.283	1.237	947	745	2.214	1.710
	Autogen_neu_MESSER	1.283	1.198	949	745	2.116	1.689
	Tr.-Pl._neu_MESSER	2.331	2.048	1.279	987	6.074	3.793
	STM	7.000	1.411	1.033	7.000	1.411	1.033
	OMAX	7.000	1.521	1.127	7.000	1.521	1.127
	PRIMA	2.142	1.682	859	1.033	3.977	2.067

Da der optimal gewählte Fall nicht all zu gravierend von der derzeitigen Auslastungssituation abweicht, sind auch bei der *Break-Even Analyse* keine entscheidenden Unterschiede auszumachen. Einzig bei den Neuinvestitionen erreichen alle Anlagen die geforderte Gewinnschwelle.

Beim „worst case“ Szenario unterscheidet sich die Situation wesentlich aufgrund der äußerst pessimistisch gewählten Entwicklung des Zuschnittes. Bei Eintreffen eines solchen Falles könnte außer den Wasserstrahlanlagen keine Variante ein positives Ergebnis erzielen. Dies aber auch nur deshalb, da die Geschwindigkeiten so niedrig sind, dass immer noch mindestens eine Wasserstrahlanlage mit 7.000 Stunden pro Jahr voll ausgelastet wäre. Bei derart niedriger Auslastung wären auch die derzeit in Betrieb befindlichen Anlagen schwer defizitär. Drastisch spiegelt sich dies bei der Tr.-Pl. Anlage wieder. Hier würde die erforderliche Nutzschwelle in weite Ferne rücken.

Aufgrund dieser Tatsachen stellt sich nun die Frage, ob sich in einem solchen Fall ein eigener Zuschnitt noch rechnen würde, oder ob es sinnvoller wäre eine komplette Fertigungsverlagerung in Betracht zu ziehen.

7.4 RISIKOABSCHÄTZUNG MITTELS STATISCHER AMORTISATION

Die Beurteilung der Investitionsvarianten ausschließlich auf die Schnittkosten der Anlagen zurückzuführen wäre etwas wagemutig. Auch die Erreichbarkeit der Gewinnschwellen lässt noch keine Aussage zu, welche Investitionsvariante nun zu bevorzugen ist. Dies wäre aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen und technischen Spezifikationen der Verfahren auch kaum möglich.

Aufgrund dessen soll nun eine statische Investitionsrechnung durchgeführt werden, um das Risiko der Investitionsvarianten besser abwägen zu können. Hierzu wurde die statische Amortisationsrechnung (pay-back-Methode, pay-off-Methode, pay-out-Methode) gewählt. Dies auch deshalb, da dieses Verfahren das in ANDRITZ übliche Werkzeug zur Beurteilung von Investitionsentscheidungen darstellt. Konkret wurde hierfür die Amortisations-Durchschnittsrechnung angewendet.

Zwar ist dieses Verfahren völlig ungeeignet, um über die erfolgsmäßige Zweckmäßigkeit von Investitionsobjekten eine zuverlässige Aussage treffen zu können, jedoch gibt sie die Kürze der Rückflussdauer des investierten Kapitals wider, was wiederum eine Risikoabschätzung möglich macht.⁷¹

„Positiv ist an der Amortisationsrechnung zu beurteilen, dass sie die Einperiodigkeit der übrigen statischen Rechenmethoden überwindet und dass sie an Stelle von Einträgen und Kosten mit periodisierten Einnahmen und unperiodisierten Ausgaben (Zahlungsströmen, Cash Flow) arbeitet.“⁷²

$$\text{Amortisationsdauer } T_A \text{ [Jahre]} = \frac{\text{Total Cost (TC)}}{\text{Cash Flow (CF)}}$$

$$\text{TC [€]} = \text{Investitionskosten} - \text{Erlös aus Verkauf alter Anlagen}$$

$$\text{CF [€/a]} = \text{Einsparungen durch Investment} + \text{jährl. Abschreibung}$$

Die Investitionskosten wurden den Angeboten der jeweiligen Unternehmen entnommen. Für den Verkaufserlös der bestehenden Anlagen konnten keine exakten Werte ermittelt werden. Vielmehr wurde hierzu bei Anbietern von gebrauchten Zuschnittanlagen recherchiert und nach Angeboten von vergleichbaren Anlagen gesucht. Aus den dadurch erhaltenen Angeboten wurde schließlich ein pessimistischer Verkaufserlös gewählt, da zwi-

⁷¹ Vgl. Seicht (1986), S.35

⁷² Vgl. Seicht (1986), S.36

schen den einzelnen Anlagen doch erhebliche Schwankungen der Angebotspreise bestanden. Diese Preisschwankungen hängen natürlich sehr stark vom Alter der Maschine und ihrem technischen Zustand ab. Da die in der ANDRITZ AG verwendeten Anlagen bereits einer älteren Generation angehören, wurde eine mögliche Veräußerung mit niedrigen Verkaufserlösen angesetzt. Dadurch kann das Ergebnis dieser Rechnung als konservativ betrachtet werden.

Gewählte Verkaufserlöse:

UW – Pl. Anlage	20.000,- €
Tr. – Pl. Anlage	20.000,- €
Autogen Anlage	10.000,- €

Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass diese Werte äußerst niedrig angesetzt wurden und sich ausschließlich auf Angebote von vergleichbaren Anlagen beziehen. Um konkrete Erlöse zu ermitteln, müssten die Anlagen auf dem Markt angeboten werden.

Die Einsparungen welche durch das Investment erzielt werden könnten, sind aus der Schnittmeterkostenanalyse ersichtlich, da hier die Kosten sehr detailliert aufgeführt sind (siehe Kapitel 7.2.1.3). Die Abschreibungsdauer wurde für Retrofits mit sieben Jahren und für Neuinvestitionen mit zehn Jahren angesetzt (siehe Kapitel 7.2.1.1).

Es soll an dieser Stelle hingewiesen werden, dass in der ANDRITZ AG die Schwelle für einen positiven Investitionsentscheid bei einer Amortisationsdauer von vier Jahren liegt. Wird dieser Zeitraum überschritten, so wird diese Variante als zu risikoreich beurteilt und nicht in Betracht gezogen.

Tabelle 7-9 zeigt das Ergebnis der Amortisationsrechnung für alle angeführten Retrofits und Neuanlagen im Einzelnen. Darüber hinaus sind noch mögliche Investitionsvarianten wie sie in Kapitel 6.2 gebildet wurden, angeführt.

Tabelle 7-9 Ergebnis der statischen Amortisation

		TC [€]	CF [€/a]	T _A [Jahre]
Retrofit	UW - Plasma	85.856	85.300	1,0
	Autogen	385.000	58.000	6,6
	Autogen C + PI	579.317	101.000	5,7
Neuanlagen - einzeln	Autogen_neu_ESAB	191.000	40.000	4,8
	Autogen_neu_MESSER	170.200	29.000	5,9
	Tr.-PI._neu_MESSER	388.300	85.000	4,6
	STM	651.852	-974.000	-0,7
	OMAX	620.000	-979.000	-0,6
	PRIMA	568.100	104.000	5,5
Investitionsvarianten	Variante I	85.856	85.300	1,0
	Variante II	470.971	143.500	3,3
	Variante III	579.317	101.000	5,7
	Variante IV	287.186	134.500	2,1
	Variante V	558.500	114.000	4,9
	Variante VI	651.852	-974.000	-0,7
	Variante VII	568.100	104.000	5,5

7.4.1 RETROFIT

Hierbei ist deutlich zu erkennen, dass eine Investition nur für die UW-PI. Anlage in Frage kommen würde. Die Kosten wären aufgrund der relativ einfach gehaltenen Generalsanierung und Modernisierung gering, aber durch den erzielten Geschwindigkeitsvorteil ist der wirtschaftliche Nutzen relativ hoch. Es könnten die bereits bestehenden Stromquellen weiterverwendet und durch ein Erweiterungspaket für Hochstromschneiden aufgerüstet werden. Eine kostenintensive Neuanschaffung dieser bliebe aus und dennoch könnte man die Tr.-PI. Anlage ersetzen und dadurch Einsparungen erzielen. Bei der Autogenanlage wäre die Dauer der Amortisation, unabhängig von der Art der Sanierung, deutlich über der geforderten Grenze. Zurückzuführen ist dies hauptsächlich auf die hohen Investitionskosten und den geringen technischen Vorteil der neuen Aggregate. Vor allem die Anschaffung eines Schneidtisches mit nötiger Absaugung schlägt sich sehr stark zu Buche.

7.4.2 NEUANLAGEN – EINZELN BETRACHTET

Betrachtet man nun die angebotenen Neuanlagen jede für sich, so kommt man zu dem Ergebnis, dass alle Anlagen aufgrund zu hoher Amortisationsdauern nicht tragbar wären. Autogenanlagen können keine entscheidenden Vorteile gegenüber den bestehenden Anlagen aufweisen. Die Tr.-PI. Anlage der Firma MESSER kann zwar Einsparungen gegen-

über den derzeitigen Anlagen verbuchen, jedoch sind die Investitionskosten zu hoch für einen risikoarmen Entscheid. Vor allem die Stromquellen und der Brenntisch inkl. Absaugung sind bei Anschaffung einer Plasmaanlage kosten-treibende Faktoren. Bei den Wasserstrahlschneidanlagen kommt es aufgrund der niedrigen Schnittgeschwindigkeit zu einem deutlich erhöhten Zeitbedarf und daraus zu einem erheblichen Mehraufwand, welcher der Investition nicht entgegensteht. Hinzu kommt, dass mindestens zwei Anlagen von Nöten wären, um den derzeitigen Bedarf an rostfreien Zuschnitten decken zu können. Dies wiederum würde die Investitionskosten stark in die Höhe treiben. Es würde sich sogar eine negative Amortisationsdauer ergeben und damit würde sich eine solche Investition niemals bezahlt machen.

Auch bei der Laserstrahlschneidanlage sind die Investitionskosten gegenüber dem lukrierten Vorteil viel zu hoch, um einen Kauf rechtfertigen zu können. Das Einsparungspotential stünde der Anschaffung nicht entgegen, da eine solche Anlage nicht als Ersatz, sondern ausschließlich als Erweiterung des Maschinenparks anzusehen wäre. Die Verfahrensgrenzen würden eine zu starke Einschränkung der Zuschnittmöglichkeiten bedeuten.

7.4.3 INVESTITIONSVARIANTEN

Die Varianten I und III in Tabelle 7-9 entsprechen reinen Retrofits und ergeben daher keine neuen Amortisationsdauern. Bei den Varianten VI und VII handelt es sich jeweils um reine Neuanschaffungen. Erstere beinhaltet zwei Wasserstrahlschneidanlagen, bei der zweiten handelt es sich um eine Laserstrahlschneidanlage. Dadurch ergeben sich auch hier keine neuen Erkenntnisse.

Interessant wäre, ob sich eine Kombination von Anlagen rentiert. Daher sind nun die Varianten dargestellt, die eine sinnvolle Möglichkeit zur Neuausrichtung des Zuschnittes bieten könnten.

Variante II: Retrofit UW-Plasma + Retrofit Autogen

Durch Kombination dieser Investitionsvarianten könnte die Amortisationsdauer unter vier Jahren gehalten und somit auch das Risiko eingeschränkt werden. Ausschlaggebend dafür ist hauptsächlich die UW-PI. Anlage, welche durch ihre niedrigen Investitionskosten und starken Einsparungspotentiale das Risiko dieser großen Anschaffung minimiert.

Variante IV: Retrofit UW-Plasma + neue ESAB Autogenanlage

Auch hier gilt selbiges wie bei der oben angeführten Kombination. Die Schwelle von vier Jahren wird auch hier deutlich unterschritten. Eine neue Autogenanlage in kleinerer Ausführung wäre lt. Angebot deutlich günstiger

als ein umfangreiches Retrofit der bestehenden Anlage mit all seinen Aggregaten. Dadurch könnte der Wert von 2,1 Jahren Amortisationsdauer erreicht werden.

Variante V: Tr.-Pl. + Autogenanlage der Fa. MESSER

Dies stellt nun eine Möglichkeit dar, den gesamten Zuschnitt durch zwei neue Anlagen zu ersetzen. Gewählt wurden hierfür die Angebote der Firma MESSER. Jedoch ist schon bei der Betrachtung der einzelnen Anlagen ersichtlich, dass sich auch eine Kombination dieser nicht amortisieren kann. Mit einer Dauer von 4,9 Jahren wird auch hier das Ziel von vier Jahren doch recht deutlich verfehlt.

7.5 LOHNSCHNITT IM VERGLEICH MIT EIGENFERTIGUNG

Abschließend soll nun betrachtet werden, welchen Einfluss eine mögliche Lohnfertigung haben könnte. Die Tragfähigkeit eines eigenen Zuschnittes wäre im Falle eines Auftragseinbruches, wie es im „worst case“ Szenario dargestellt wird, kaum mehr gegeben. Daher soll nun untersucht werden, welche Möglichkeiten einer Fremdvergabe von Zuschnittaufgaben bestehen und wie sich diese im Vergleich zur Eigenfertigung präsentieren.

7.5.1 LOHNFERTIGUNGSBETRIEBE

Im Portfolio der ANDRITZ AG befindet sich eine Reihe von Zuschnittbetrieben, welche als Lohnfertiger nicht nur in Frage kommen, sondern auch genutzt werden. Angeboten wird hierbei die komplette Bandbreite möglicher Zuschnittverfahren von Autogen-, Plasma-, Laserstrahl- bis hin zur Wasserstrahlschneidtechnologie. Es sind also für jegliche Anforderungen an Zuschnittaufgaben mögliche Fertigungsbetriebe vorhanden, die diese Aufgaben bewältigen können. Nicht nur was die Qualität des Schnittes anbelangt, sondern auch die Größe der Bauteile und deren geforderte Materialstärke.

Bei der Lohnfertigung spielt natürlich der Faktor Zeit eine ganz bedeutende Rolle. Die Fertigung soll nicht nur kostengünstig sein, sondern auch in möglichst kurzer Zeit erfolgen, um bei immer kritischeren Fertigstellungsterminen Spielraum für die weiteren Fertigungsgänge zu schaffen. Aus diesem Grund soll versucht werden eine Lohnfertigung im Gegensatz zur Eigenfertigung zu beurteilen. In Abbildung 7-12 sind alle erfassten Zuschnittbetriebe der ANDRITZ AG aufgelistet und nach ihrer Lage in Europa eingetragen.

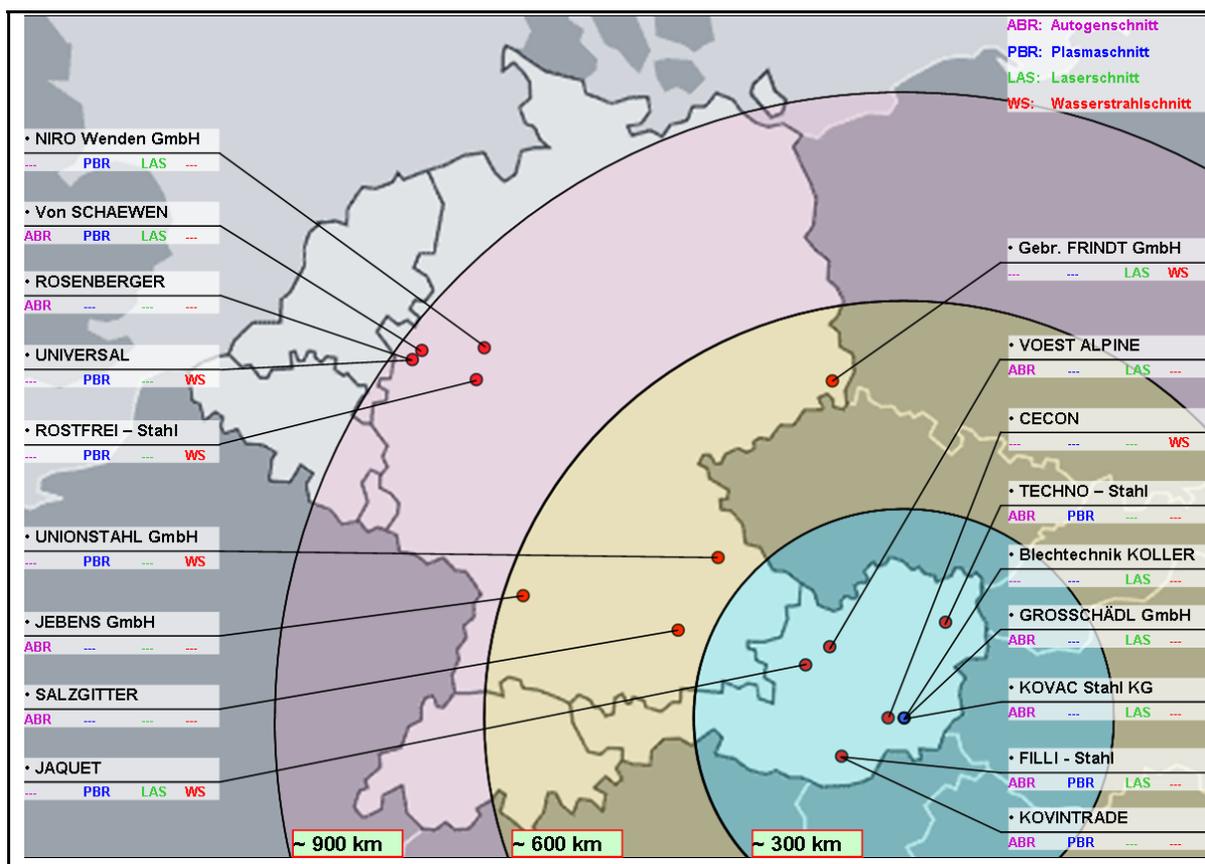


Abbildung 7-12 Lohnfertiger der ANDRITZ AG

Lage der Betriebe zur ANDRITZ AG – Graz:

Umkreis < 900 km.....	18 Betriebe
Umkreis < 600 km.....	13 Betriebe
Umkreis < 300 km.....	9 Betriebe

Im Nahbereich des Unternehmens (Umkreis von 300 km) befinden sich neun Betriebe und damit 50% der erfassten Unternehmen. Auffallend ist, dass ausschließlich Betriebe aus dem deutschsprachigen Raum im Portfolio aufscheinen.

Für kurze Lieferzeiten ist nicht nur die geographische Lage der Unternehmen zueinander ausschlaggebend, sondern auch die Form und Größe der benötigten Bauteile. Eine konkrete Aussage über Lieferzeiten zu tätigen ist daher äußerst schwierig. In ANDRITZ bestehen kaum homogene Zuschnittaufgaben mit stets wiederkehrender Charakteristik wie dies bei Serienfertigern der Fall ist. Als Prototypenfertiger unterscheiden sich Zuschnittaufgaben von Auftrag zu Auftrag doch erheblich. Aufgrund der langjährigen Erfahrung von Zukauf von Zuschnittteilen kann jedoch eine Schätzung der Lieferzeiten getroffen werden:

Lieferzeiten in Abhängigkeit von der Blechstärke (s):

$s \leq 60 \text{ mm}$	~ 3 Wochen
$s \leq 100 \text{ mm}$	< 9 Wochen

s ≥ 100 mm> 9 Wochen

Diese Werte sind sehr stark von der Auslastung des jeweiligen Unternehmens und von der benötigten Stückzahl des Bauteiles abhängig. Es kann durchaus dazu kommen, dass eine spezielle Zuschnittaufgabe zu Lieferzeiten von bis zu 15 Wochen führt. Um einen Überblick über diesen Sachverhalt zu geben, soll eine solche Zuschnittaufgabe anhand eines konkreten Beispielles behandelt werden.

7.5.2 VERGLEICH ANHAND EINES KONKRETEN BEISPIELES

Abbildung 7-13 zeigt die Seitenwand eines aus rostfreiem Material (1.4404) bestehendem Saugkastens, welche zuzuschneiden ist. Gefordert wird hierbei ein qualitativ hochwertiger Schnitt bzw. eine saubere winkelgenaue Kante, da dieses Bauteil im äußeren Sichtbereich einer Anlage liegt und somit dem Kunden ins Auge springen könnte.

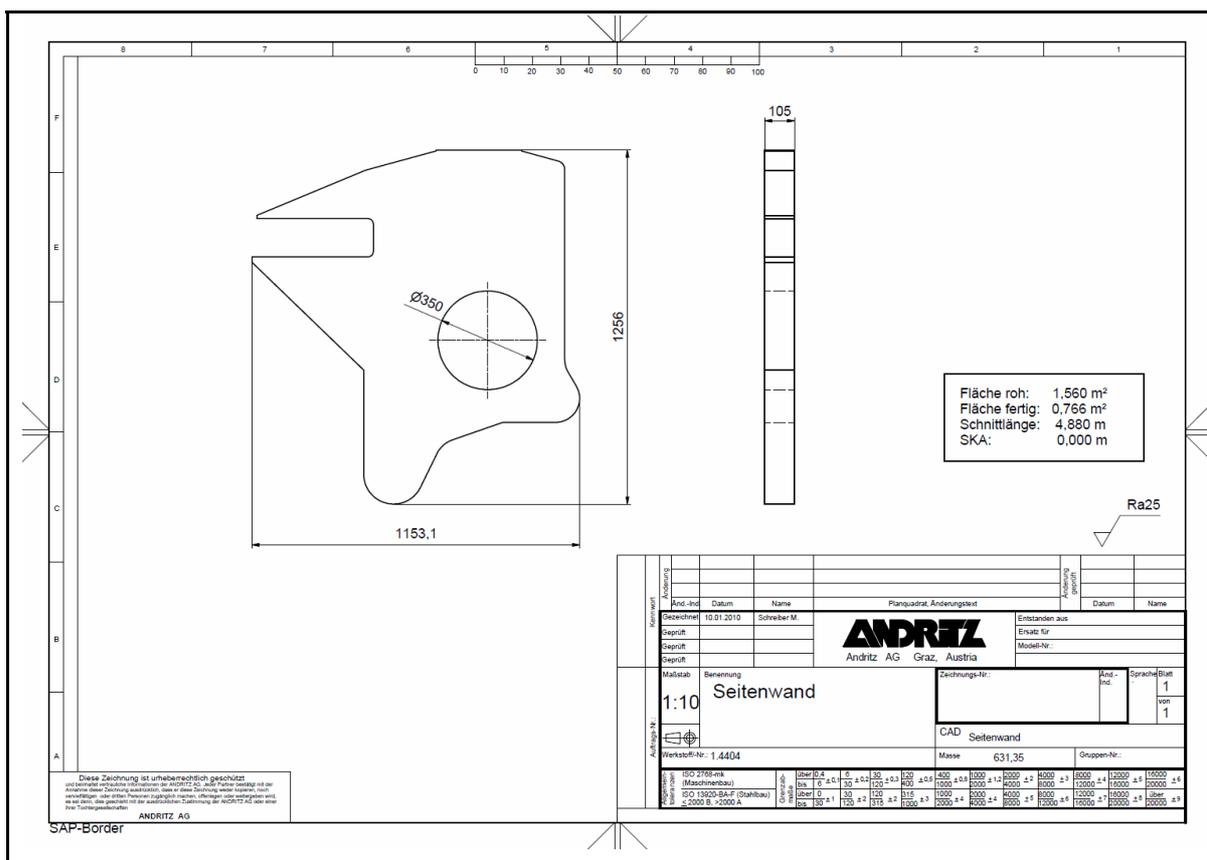


Abbildung 7-13 Musterstück für Schnittmeterkosten (Seitenwand)

Zur Bearbeitung dieser Aufgabe stehen mehrere Möglichkeiten zur Auswahl. Einerseits kann ein hochwertiger Wasserstrahlschnitt diesen Anforderungen gerecht werden, andererseits besteht die Möglichkeit eines Plasmaschnittes mit anschließender mechanischer Bearbeitung.

Die Untersuchung soll aufzeigen, welche dieser Varianten am günstigsten ist bzw. welche die geringste Beschaffungszeit aufweist.

Hierfür wurden von diversen Zulieferern verbindliche Angebote eingeholt und mit einer Fertigung im Hause ANDRITZ AG verglichen. Der hausinterne Schnitt wurde für die bestehende Tr.-Pl. Anlage mit anschließender mechanischer Bearbeitung errechnet. Die Kosten hierfür wurden von Herrn Günther Slansek in der mechanischen Fertigungsplanung ermittelt. Ebenso wurde ein Wasserstrahlschnitt einer möglichen Investitionsvariante für diese Betrachtung zum Vergleich herangezogen.

Tabelle 7-10 Vergleich: Zukauf - Eigenfertigung

		Verfahren	Material	Stärke [mm]	Angebot [€/Stk.]	Lieferzeit [Wochen]
Lohnschnitt	JAQUET	Wasserstrahlschnitt	1.4404	105	5.805,-	12 - 15
	UNIVERSAL	Wasserstrahlschnitt	1.4404	105	7.890,-	14 - 15
	ROSTFREI	Plasma + mech. Bearb.	1.4404	100	7.085,-	~ 2
				125	10.353,-	~ 4
NIRO-WENDEN	Plasma + mech. Bearb.	1.4404	105	11.105,-	14 - 15	
Eigenfertigung	ANDRITZ AG	Plasma + mech. Bearb.	1.4404	105	5.476,-	Material: ~ 8 Schnitt: ~ 1 Bearb.: ~ 1
	ANDRITZ AG (Variante)	Wasserstrahlschnitt	1.4404	105	5.786,-	Material: ~ 8 Schnitt: ~ 1 Bearb.: ~ 0

In Tabelle 7-10 sind die Ergebnisse dieses Vergleiches angeführt. Die Ermittlung der Kosten der in ANDRITZ verwendeten Verfahren wurde mit der Methode in Abbildung 7-7 ermittelt. Für den Materialpreis wurde hierfür ein Wert von €/kg ■■■ (Stand November 2010) angesetzt. Bei der Annahme eines hauseigenen Wasserstrahlschnittes wurde mit dem bereits ermittelten Stundensatz von €/h 80,- gerechnet, um einen realistischen Wert zu erhalten. Evident ist, dass es beträchtliche Kostenschwankungen zwischen den einzelnen Fertigungsbetrieben sowie den verwendeten Verfahren gibt. Aus den Angeboten ist jedoch nicht zu erkennen, mit welchem Materialpreis gerechnet wurde und wie hoch die Gewinnspanne der Lieferanten ist. Am kostengünstigsten scheint eine Eigenfertigung zu sein. Sowohl ein Plasmaschnitt mit anschließender mechanischer Bearbeitung, als auch der Wasserstrahlschnitt fallen günstiger aus als ein Zukauf. Wobei der Hauptanteil der Kosten dem Material zuzurechnen ist. Dieses schlägt sich bei diesem Bauteil mit € 5.050,- inkl. Verschnittanteile zu Buche.

Um nun einen aussagekräftigen Vergleich anstellen zu können, wären auch die Materialpreise der Zulieferer von Nöten. Damit wäre ersichtlich welcher Kostenanteil tatsächlich auf die Bearbeitung entfallen würde.

Hingegen kann die Lieferzeit sehr wohl beurteilt werden. Die Lieferzeiten aller Lieferanten liegen im Bereich von bis zu 15 Wochen. Nur die Firma ROSTFREI hat kürzere Lieferzeiten, welche alternativ lagernde Blechstärken angeboten hat. Dies ist höchstwahrscheinlich auf die Beschaffungszeit des doch nicht so üblichen 105-er Bleches zurückzuführen. Liegt diese doch auch bei interner Fertigung bereits bei acht Wochen. Sind diese Teile schließlich im Hause ANDRITZ angelangt, müssen sie noch vom Qualitätsmanagement abgenommen und gekennzeichnet werden, wodurch es zu einer weiteren Verzögerung des Fertigungsablaufes kommt.

Zur Eigenfertigung bleibt anzumerken, dass ein Wasserstrahlschnitt Vorteile in der Durchlaufzeit gegenüber der Plasmatechnologie mit mechanischer Bearbeitung bringen würde. Dies wäre jedoch mit deutlich höheren Fertigungskosten verbunden.

8 BEWERTUNG DER INVESTITIONSARIANTEN

Variante I: Retrofit UW–Plasma

Aufgrund der durchgeführten technischen und wirtschaftlichen Analysen scheint diese Investitionsvariante am günstigsten zu sein. Die Investitionskosten fallen von allen betrachteten Varianten am geringsten aus, wobei die möglichen Vorteile doch beträchtlich sind. Durch den Plasmabrenner PT 15XL der Marke ESAB können erhebliche Geschwindigkeitsvorteile vor allem im Dickenbereich bis 30 mm gegenüber anderen Herstellern erzielt werden. Aufgrund dessen würden sich schließlich auch die Schnittmeterkosten erheblich senken lassen. Auch wäre diese Anlage laut BE-Analyse am ehesten im Stande Gewinne für die Abteilung Zuschnitt zu lukrieren. Des Weiteren wäre es möglich die Kapazitäten der derzeitigen Tr.–Pl. Anlage zu übernehmen und diese dann aus dem Betrieb zu nehmen, wodurch zusätzlich Kosten gesenkt und Räume gewonnen werden könnten. Durch die Umrüstung auf Sauerstoff- bzw. Argon-Wasserstoff-Schneiden könnte auch die Qualität der Schnitte gegenüber dem Stickstoffschneiden verbessert werden. Wie die statische Amortisationsrechnung gezeigt hat, wäre diese Investition von allen betrachteten Varianten auch die Risikoärmste. Einzig das vorhandene Unterwasserbecken müsste aufgrund der höheren Belastung durch dickere Bleche einer statischen Tragfähigkeitsberechnung unterzogen werden, um zu gewährleisten, dass dieser den neuen Anforderungen auch Stand halten könnte.

Variante II: Retrofit UW–Plasma + Retrofit Autogen

Dies stellt bereits eine Möglichkeit dar den gesamten Zuschnitt neu auszurichten. Einerseits könnten alle Vorteile für Plasmaschnitte, wie sie bereits bei Variante I beschrieben wurden, erzielt werden, andererseits würde auch die Autogenanlage komplett überarbeitet werden. Wobei sich das wirtschaftliche Risiko mit einer Amortisationsdauer von 3,3 Jahren noch in Grenzen hält. Weiters könnte diese Maschine durch Überholung der kompletten Anlage inklusive Anschaffung eines neuen kleineren Brenntisches mit Absaugung auf den neuesten Stand der Technik gebracht werden. Zusätzlich könnte so weiterer Platz in der Halle S4 gewonnen werden.

Nachteilig sind hierbei jedoch die hohen Investitionskosten. Sowohl die Überholung der Anlage und ihrer Brenneraggregate als auch der neue Brenntisch inklusive Absaugung und Filteranlagen erweisen sich als kostenintensiv (siehe Kapitel 6.1.2.1). Das Einsparungspotential an Betriebskosten und Bearbeitungszeiten fällt hingegen sehr gering aus. Aufgrund der hohen Investitionskosten und der kaum höheren Schnittgeschwindigkeit wären die Schnittmeterkosten sogar höher anzusetzen als im ursprünglichen Zustand. Somit könnte auch die Gewinnschwelle von der Autogenanlage nicht erreicht werden.

Die Frage stellt sich nun, ob sich eine solche Generalsanierung als sinnvoll erweist, vor

allem in Hinblick einer schlechteren Auslastung des Zuschnittes. In dieser Investitionsvariante mit inbegriffen ist auch eine Sanierung des Drei-Brenneraggregates, was jedoch aufgrund der immer geringeren Nutzung dieses Brenners zu überdenken ist.

Variante III: Retrofit Autogen Anlage inkl. Plasmaaggregat

Hierbei handelt es sich um eine Generalüberholung der Autogenanlage mit einer zusätzlichen Aufrüstung von Plasmabrennern zum Schneiden von rostfreien Materialien. Es würde auf Stromquellen der Firma KJELLBERG umgerüstet werden (FineFocus 1600). Die UW-PI. Anlage bliebe unberührt und die Tr.-PI. Anlage könnte ausgeschieden werden. Nachteil einer solchen Konstellation ist jedoch, dass sich die beiden Plasmaanlagen gegenseitig Kapazitäten rauben würden, was wiederum eine Investition nicht rechtfertigen würde. Ein Ausscheiden der UW-PI. Anlage kommt auch nicht in Frage, da es ansonsten aufgrund der zu hohen Belegung der Autogenanlage zu Engpässen kommen könnte und die Flexibilität der Fertigung nicht mehr gegeben wäre.

Die Vorteile, welche durch eine solche Investition erzielt werden könnten, fallen ebenfalls sehr gering aus. Es können zwar geringfügig höhere Geschwindigkeiten gefahren und qualitativ etwas besser geschnitten werden, jedoch steht dies nicht in Korrelation zu den aufzubringenden Kosten. Laut statischer Amortisation ($T_A = 5,7$ Jahre, siehe Tabelle 7-9) wäre das Risiko auch sehr hoch und das Erreichen der Gewinnschwelle trotz Kapazitätssteigerung der Anlage sehr unwahrscheinlich.

Ein weiteres Problem stellt die Vermischung der Schneidschlacke dar. Könnte aufgrund der reinen Stäube von rostfreien und schwarzen Stählen immer ein Gewinn bei der Entsorgung erzielt werden, so wäre dies nun nicht mehr der Fall bzw. wäre mit einer Schmälerung zu rechnen.

Variante IV: Retrofit UW-Plasma + neue ESAB Autogenanlage

Die UW-PI. Anlage würde in selber Konfiguration wie in Variante I nachgerüstet werden und erzielt daher auch dieselben Vorteile. Zusätzlich würde die alte Autogenanlage durch eine neue kleinere Anlage der Firma ESAB ersetzt werden. Dadurch käme es einerseits auch durch das Ausscheiden der Tr.-PI. Anlage zu beträchtlichen Platzeinsparungen. Andererseits wäre der Zuschnitt somit aufgrund der Anlagengrößen optimal auf die bestehenden Anforderungen der erfassten Zuschnittaufgaben ausgelegt. Höhere Schnittgeschwindigkeiten, geringere Schnittmeterkosten und qualitativ bessere Schnitte würden auch die Investitionskosten von ca. € 290.000,- rechtfertigen. Dies bestätigt auch die statische Amortisation mit $T_A = 2,1$ Jahren (Tabelle 7-9). Auch der BE-Punkt könnte bei derzeitiger Auslastung von beiden Anlagen erreicht werden (Vgl. Tabelle 7-7).

Variante V: Tr.-Pl. + Autogenanlage der Firma MESSER

Den kompletten Zuschnitt durch neue Anlagen der Firma MESSER zu ersetzen wurde nun in dieser Variante angenommen. Die erforderlichen Investitionskosten von ca. € 560.000,- wären trotz der Verkaufserlöse der vorhandenen drei Anlagen sehr hoch. Dem gegenüber stehen Einsparungen, wie der verringerte Platzbedarf der Anlagen. Durch die Reduktion von drei auf zwei kleinere Maschinen, könnte doch eine beträchtliche Fläche gewonnen werden.

Mit der Tr.-Pl. Anlage der Firma MESSER wären auch höhere Schnittgeschwindigkeiten möglich. Vor allem im Blechstärkenbereich über 30 mm könnten so Vorteile erzielt werden. Dies würde sich wiederum sehr günstig auf die Schnittmeterkosten auswirken. Eine Besonderheit dieser Anlage wäre noch, dass sie über ein integriertes Bohraggregat verfügt, mit welchem man direkt auf der Anlage vorbohren und man dadurch sehr viel Rüst- und Nebenzeiten einsparen könnte. Negativ ist jedoch zu beurteilen, dass die Gewinnschwelle durch die Plasmaanlage nicht erreicht wird (siehe Tabelle 7-7).

Mit der neuen Autogenanlage wäre diese Grenze jedoch zu schaffen, da sie die geringeren Anschaffungs- und Betriebskosten dieser Kombination aufweist.

Eine Gesamtinvestition ist jedoch sehr kritisch zu betrachten, da die erzielbaren Einsparungen nicht mit erforderlichen Ausgaben aufgewogen werden können. Eine Amortisationsdauer von $T_A = 4,9$ Jahren (Tabelle 7-9) bestätigt dies auch.

Variante VI: Zwei Wasserstrahlanlagen der Fa. STM

Dies stellt nun die erste Variante dar, bei der eine alternative Technologie im Vergleich mit den bisherigen zum Einsatz kommen würde. Angenommen wurde hierbei, dass der komplette Zuschnitt rostfreier Materialien von Wasserstrahlanlagen erfolgen soll. Bei der Analyse der Schnittgeschwindigkeit war jedoch sehr bald ersichtlich, dass dies zu einem Problem führen würde. Betrachtet man einen reinen Trennschnitt, so steigt der Zeitbedarf abhängig von der Blechstärke im Durchschnitt auf das fünf- bis zehnfache an. Um den derzeitigen Bedarf überhaupt decken zu können wären also mindestens zwei Anlagen von Nöten, welche somit aber auch mit 7.000 Stunden pro Jahr voll ausgelastet wären. Gerechnet wurde ein 24 Stundenbetrieb mit einer Verfügbarkeit von 80 %. Sind hochwertige Schnitte erforderlich, so ist mit noch höheren Prozesszeiten zu rechnen. Die Flexibilität des Zuschnittes würde durch diese Umstände erheblich eingeschränkt und bei steigenden Auftragseingängen wären diese auch mit zwei Anlagen nicht mehr zu schaffen.

Vorstellbar wäre somit nur eine Erweiterung des Maschinenparks mit einer Wasserstrahlschneidanlage zur Fertigung von qualitativ hochwertigen Schnitten.

Abgesehen davon soll dieses Verfahren nach den weiteren wirtschaftlichen Faktoren bewertet werden. Allein von der Anschaffung wäre eine Wasserstrahlschneidanlage inklusive 3D-Schneidkopf zwar günstiger als eine Plasmaschneidanlage, jedoch kommt es auf-

grund der bereits erwähnten langen Prozesszeiten zu sehr hohen Schnittmeterkosten. Auch der Vorteil, Fasenschnitte auf der Anlage durchführen zu können, trifft nur auf geringe Blechstärken zu, da ansonsten der benötigte Zeitaufwand zu hoch werden würde. Laut BE-Analyse könnte selbst bei einer Stundensatzanpassung die Gewinnschwelle erreicht werden, jedoch ebenfalls nur aufgrund der Schnittgeschwindigkeit. Das Ergebnis der statischen Amortisation zeigt schließlich, dass die Vorteile dieses Verfahrens, bezogen auf die Anwendungsfälle der ANDRITZ AG, den Kosten nicht gegenüberstehen (Vgl. Tabelle 7-9). Rentabel könnte eine solche Anlage nur für qualitativ hochwertige Schnitte im Dünnblechbereich betrieben werden.

Nicht zu vernachlässigen sind jedoch die großen Vorteile dieses Verfahrens. Es können sämtliche Materialien geschnitten werden ohne Umrüstungen an der Maschine vornehmen zu müssen. Schnitte können nicht nur qualitativ hochwertig erfolgen, sondern auch geringste Maßtoleranzen ließen sich einhalten. Es kommt in weiterer Folge zu keinerlei Wärmeeinbringung in das Bauteil, wodurch es auch zu keinen Verzügen kommen kann.

Variante VII: Laserschneidanlage der Fa. PRIMA

Auch bei diesem Verfahren ist nicht von einem Ersatz, sondern von einer Erweiterung des Maschinenparks zu sprechen, da die Verfahrensgrenzen mit 20–25 mm doch recht schnell erreicht sind. Auch die Anlagengröße an sich ist bei der betrachteten Variante eher klein, obwohl sie für eine Laserstrahlschneidanlage schon im obersten Größenbereich anzusiedeln ist. Das benötigte Spektrum in ANDRITZ geht jedoch bekanntlich weit über diese Grenzen hinaus. Das Problem einer solchen Erweiterung wäre, dass den bestehenden Anlagen weitere Kapazitäten entzogen werden und dadurch das Gesamtergebnis des Zuschnittes noch schlechter ausfallen würde.

Die aufzubringenden Investitionskosten von ca. € 568.000,- wären für eine Erweiterung ohne Sanierung der bestehenden Anlagen auch nicht tragbar. Zumal im rostfreiem Bereich kaum Vorteile lukriert werden können. Geschwindigkeitsvorteile könnten ausschließlich bei C-Stählen erzielt werden, was sich auch in den Schnittmeterkosten widerspiegelt. Gesamt gesehen wäre eine Amortisationsdauer von $T_A = 5,5$ Jahren (Tabelle 7-9) auch viel zu hoch.

Eine genauere Betrachtung dieses Verfahrens hat gezeigt, dass Vorteile vor allem bei Serienfertigern bestehen welche Zuschnitte im Dickenbereich von 1–5 mm benötigen. Einerseits können kleine komplexe Teile äußerst schnell und präzise geschnitten werden, da mit sehr hohen Beschleunigungen und Geschwindigkeiten gearbeitet wird. Andererseits ist eine solche Anlage auch sehr gut automatisierbar, wodurch der Durchsatz erheblich gesteigert werden könnte. Außerdem kommt es kaum zu Verzügen, da nur wenig Wärme in das Werkstück eingebracht wird und somit auch die Maßhaltigkeit gegeben ist.

9 ERGEBNIS DER STUDIE

Nach umfangreicher Analyse sämtlicher Schneidverfahren und Beurteilung der einzelnen Anlagen stellt sich nun die Frage, was die sinnvollste Lösung ist. Anders ausgedrückt, welche Maßnahmen sind von der ANDRITZ AG nun zu treffen, um den Zuschnitt optimal auslegen und Gewinne erwirtschaften zu können.

9.1 RAHMENBEDINGUNGEN

Die „worst case“ Analyse hat gezeigt, dass ein Weiterführen des Zuschnittes bei starkem Auftragsrückgang kaum möglich ist. Daher ist es empfehlenswert eine Marktanalyse vorzunehmen, um die Lage der nächsten Jahre besser einschätzen zu können. Ist ein Fortbestand des Bereiches Zuschnitt gesichert und kann eine Investition erfolgen, oder kommt es tatsächlich zu einem Einbruch, sodass eine Fertigungsverlagerung für sinnvoller anzusehen ist? Unabhängig davon sollen die betrachteten Möglichkeiten, ausgehend von der aktuellen Auftragslage, beurteilt und eine Empfehlung abgegeben werden.

9.2 WENIGER EMPFEHLENSWERTE VARIANTEN

Die vorgenommenen Bewertungsmethoden haben gezeigt, dass einige Varianten den Zuschnitt neu auszulegen unvorteilhaft sind.

9.2.1 LASERSTRAHLSCHNEIDEN

Das Laserstrahlschneiden kann aufgrund der erforderlichen Bandbreite an Materialstärken und Blechformaten, welche es in ANDRITZ abzudecken gilt, ausgeschlossen werden. Auch die erfolgte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bestätigt aufgrund der Kosten dieses Ergebnis. Das Verfahren eignet sich vielmehr für Serienfertiger, welche nur im Dünublechbereich komplexe Kleinteile fertigen. In diesem Bereich ist dieses Verfahren noch unübertroffen, da feinste Konturen äußerst schnell und präzise geschnitten werden können.

9.2.2 WASSERSTRAHLSCHNEIDEN

Auch das Wasserstrahl-Abrasivschneiden ist auszuschließen. Es stellt zwar von den betrachteten Verfahren das einzige dar, welches auch bei großen Blechstärken noch qualitativ hochwertige Schnitte liefern kann, jedoch nur durch hohen Zeit- bzw. Kostenaufwand. Selbiges gilt für etwaige Fasenschnitte. Es ist hier zwar eine Komplettbearbeitung auf der Anlage möglich, jedoch kann im Vergleich dazu schon ab 20 mm Stärke ein durch me-

chanische Nachbearbeitung gefertigter Plasmaschnitt kostengünstiger produziert werden. Des Weiteren könnte eine Anschaffung aufgrund der langen Prozesszeiten nicht als Ersatzinvestition gesehen werden, sondern ausschließlich als Erweiterung des Maschinenparks. Dies ist jedoch bei der momentanen wirtschaftlichen Lage nicht zu empfehlen.

9.3 EMPFEHLUNG

Schlussendlich verbleiben noch die bereits eingesetzten Verfahren Plasma- bzw. Auto-genschneiden. Es stellt sich die Frage ob in neue Anlagen investiert werden sollte, oder ob die bestehenden Anlagen durch entsprechende Sanierungen auf den neuesten Stand der Technik gebracht und speziell den derzeitigen Anforderungen angepasst werden sollen. Klar ist jedoch, dass Veränderungen vorgenommen werden sollten, denn diese Untersuchungen haben eindeutig gezeigt, dass die Abteilung Zuschnitt in den vergangenen Jahren regelmäßig Verluste zu verbuchen hatte.

9.3.1 PLASMAANLAGEN

Aufgrund der Analysenergebnisse von Schnittmeterkosten, BE-Analyse, Berechnung der statischen Amortisationsdauer und Betrachtung von konkreten Beispielen, dominiert vor allem eine Variante. Ein Retrofit der UW-PI. Anlage.

Diese Investitionsvariante stellt nicht nur mit Abstand die Kostengünstigste dar, sondern auch die Variante mit dem größten Nutzen für den Zuschnitt. Einer der größten Vorteile ist, dass die Kapazitäten der derzeitigen Tr.-PI. Anlage mit nur unwesentlichen Einschränkungen übernommen werden könnten und diese dadurch überflüssig wäre. Durch eine Parallelschalteneinrichtung der beiden 600 A Stromquellen und hochwertige neue Brenner wäre dies realisierbar. Eine kostenintensive Neuanschaffung von Stromquellen würde somit ausbleiben, wodurch sich der niedrige Preis des Retrofits erklären lässt. Es wäre jedoch eine Umrüstung der Schneidgase von Stickstoff auf Sauerstoff bzw. Argon-Wasserstoff notwendig, doch könnte dadurch nicht nur der schneidbare Dickenbereich vergrößert, sondern auch die Qualität gesteigert werden. Somit wäre das verlustbringende Problem des Zuschnittes gelöst und eine einheitliche Lösung für den Zuschnitt von rostfreien Stählen gefunden. Weiters wäre mit dieser Investition ein beträchtlicher Raumgewinn in der Halle S4 verbunden, welcher beispielsweise für ein Lagersystem der Restbleche genutzt werden kann.

Der Vorteil liegt aber nicht nur im Ausscheiden einer Anlage, sondern auch darin, günstiger zu produzieren. Aufgrund höherer Schnittgeschwindigkeiten könnten die Kosten je Schnittmeter deutlich gesenkt werden, vor allem im Bereich ab 40 mm Blechstärke.

Neuinvestitionen von Plasmaschneidanlagen würden ähnliche Vorteile mit sich bringen. Ein großer Nachteil sind hierbei jedoch die hohen Investitionskosten, welche hauptsächlich für Stromquellen, Brenntisch und Portal mit Führungseinrichtungen anfallen würden. Jedoch stellt sich für eine solche Investition die momentane Auslastungssituation des Querschnittes als zu schlecht dar.

9.3.2 AUTOGENANLAGEN

Eine Investition in die Autogenanlage ist im Vergleich zu den Plasmaanlagen schwieriger zu beurteilen. Grundsätzlich stellt wiederum ein Retrofit und damit die Generalsanierung der Anlage mitsamt seinen Komponenten eine Möglichkeit dar. Auch der Ersatz des alten Brenntisches durch einen neuen kleineren Tisches inklusive Absaugung und Filteranlagen wären in diesem Retrofit mit inbegriffen. Dadurch könnte wiederum Platz gewonnen werden. Vor allem aber würde durch ein Retrofit die Emission von entstehenden Rauchgasen minimiert werden und somit die Belastung von Mensch und Umwelt stark reduziert werden. Sollte es zu einer Generalsanierung kommen, so ist dieser Schritt auch dringend zu empfehlen.

Eine Sanierung des Drei-Brenneraggregat auf der Autogenanlage ist kritisch zu betrachten. Wie die IST-Zustandsanalyse gezeigt hat (Kapitel 4.3), wurde dieses in den vergangenen Jahren immer weniger genutzt und ist daher kaum noch in Verwendung. Eine Überholung wäre jedoch sehr kostenintensiv und stünde dem Nutzungsgrad nicht gegenüber. Auch die Installation einer zusätzlichen FineFocus 1600 Plasmaanlage erscheint nicht sinnvoll. Einerseits sind die Investitionskosten sehr hoch und andererseits wäre das Aggregat gleich schlecht ausgelastet wie die Tr.-Pl. Anlage, da rostfrei hauptsächlich auf der UW-Pl. Anlage geschnitten wird.

Eine weitere Möglichkeit besteht nun darin die komplette Autogenanlage durch eine neue kleinere Anlage zu ersetzen. Vorteil hierbei wäre, dass man eine Komplettanlage aus einer Hand samt Brenntisch und Absaugsystem erhalten würde. Kalkuliert wurde ohne Fasenaggregate, sondern nur mit zwei Brennern für senkrechte Schnitte, was die niedrigen Investitionskosten erklärt.

Da es auf dem Sektor des autogenen Brennscheidens wenig entscheidende Entwicklungen gab, können keine wesentlichen kosten-senkenden Maßnahmen getroffen werden. Daher rentiert sich eine Investition nur, wenn sich deren Anschaffungskosten in Grenzen halten. Qualitativ könnte man sowohl mit einer Sanierung als auch mit einer etwaigen neuen Anlage gute Ergebnisse erzielen.

9.4 ZUSAMMENFASSUNG

Zum Abschluss sollen nun alle Alternativen noch einer Bewertung unterzogen werden, um so zu einer konkreten Reihung und damit einer Beurteilung der vorteilhaftesten Investitionsobjekte zu gelangen.

Tabelle 9-1 Bewertung der Ergebnisse

	Var. I	Var. II	Var. III	Var. IV	Var. V	Var. VI	Var. VII	Legende: 1 Sehr Gut 2 Gut 3 Befriedigend 4 Genügend 5 Nicht Genügend
Investitionskosten	1,0	4,0	4,0	2,0	4,0	5,0	4,0	
Schnittmeterkosten	1,0	3,0	3,0	2,0	2,0	5,0	4,0	
Break-Even-Analyse	1,0	3,0	3,0	2,0	3,0	1,0	2,0	
stat. Amortisationsdauer	1,0	3,0	5,0	2,0	5,0	5,0	5,0	
Einsparungspotential	1,0	2,0	3,0	2,0	3,0	5,0	5,0	
Qualitätssteigerung	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0	1,0	1,0	
mögliche Blechstärken	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	5,0	
Geschwindigkeit	1,0	2,0	3,0	2,0	2,0	5,0	4,0	
Gesamtbewertung	1,3	2,6	3,3	2,1	3,0	3,5	3,8	
Reihung	1	3	5	2	4	6	7	

Abschließende Bemerkung

Abschließend soll noch erwähnt werden, dass sich sämtliche Informationen über Schneidbereiche und Qualitäten auf Angaben der Hersteller beziehen. Sollte es zu einer Entscheidung für eine Investition kommen, so ist dringend zu empfehlen, sich eine bereits in Betrieb befindliche Anlage mit denselben Konfigurationen anzusehen, um die Qualität der Schnitte definitiv festmachen zu können.

LITERATURVERZEICHNIS

- BAUER, U.: Kosten- und Erfolgsrechnung – Lehrveranstaltungsskriptum, Studienjahr 2005/06
- BLOHM, H.; LÜDER, K.: Investition – Schwachstellen im Investitionsbereich des Industriebetriebes und Wege zu ihrer Beseitigung, 7. überarbeitete und erweiterte Auflage, Vahlen 1991
- BÖGE, A.: Handbuch Maschinenbau – Grundlagen und Anwendung der Maschinenbautechnik, 20. Auflage, Wiesbaden 2011
- BÖHME, D.; HERMANN F.-D.: Handbuch der Schweißverfahren, Band 76 - Teil II, Düsseldorf 1992
- DÄUMLER, K.D.: Grundlagen der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung, 11. neu bearbeitete Auflage, Herne/Berlin 2003
- DILTHEY, U.: Schweißtechnische Fertigungsverfahren 1, 3. bearbeitete Auflage, Heidelberg 2006
- FRITZ, H.; SCHULZE, G.: Fertigungstechnik, 9. neu bearbeitete Auflage, Heidelberg 2010
- HORST, K.: Investition, 2. aktualisierte Auflage, Stuttgart 2009
- HYPERTHERM: 8 – Schritte zum perfekten Plasmaschnitt, in: BLECH, das Fachmagazin zur Blechbearbeitung, 19. Jg., 06/2010, S. 58ff
- KALWEIT, A.; PAUL Ch.; PETERS S.: Handbuch für technisches Produktdesign, Heidelberg 2006
- KLOCKE, F.; KÖNIG W.: Fertigungsverfahren – Abtragen, Generieren und Lasermaterialbearbeitung, 4. neu bearbeitete Auflage, Heidelberg 2007
- KORNDÖRFER, W.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre – Aufbau-Ablauf-Führung-Leitung, 13. überarbeitete Auflage, Wiesbaden 2003
- MENSCH, G.: Investition – Managementwissen für Studium und Praxis, 1. Auflage, Oldenbourg 2002
- RZANY, B.: Die schweißtechnische Praxis – Laserstrahlschneiden, Band 27, Düsseldorf 1995
- SEICHT, G.: Investitionsentscheidungen richtig treffen, 5. durchgesehene Auflage, Wien 1986
- Vgl. www.powerjet.ch/wasserstrahlschneiden_schnittqualitaeten.php, Power Jet AG, Abfrage vom: 21.03.2011
- Vgl. www.kjellberg.de/Plasmatechnik/Verfahren/Plasmaschneiden/Andere-Verfahren/Laserschneiden.pdf, Abfrage vom: 18.03.2011
- Vgl. www.andritz.com, Abfrage vom: 03.03.2011

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1	Einordnung der Verfahren zum thermischen Schneiden.....	6
Abbildung 2-2	Autogener Brennschneidvorgang (schematisch)	7
Abbildung 2-3	Plasmaschneidvorgang (schematisch).....	10
Abbildung 2-4	Wasser–Injektion–Plasmaschneiden	13
Abbildung 2-5	Einsatzmöglichkeiten von Wasser.....	14
Abbildung 2-6	Laserstrahlschneidvorgang (schematisch).....	19
Abbildung 2-7	Prinzip des Wasserstrahl-Abrasiv-Schneidens	22
Abbildung 2-8	Prinzip Wasserstrahlabrasivschneidanlage.....	23
Abbildung 2-9	Anwendungsgrenzen der Trennverfahren	25
Abbildung 2-10	Fugenformen der Schneidverfahren.....	26
Abbildung 2-11	Vergleich der Toleranzen je Materialdicke	27
Abbildung 2-12	Vergleich der Rauhtiefe je Materialdicke.....	28
Abbildung 2-13	Vergleich wasserstrahlgeschnittener Teile	29
Abbildung 3-1	Phasen eines Entscheidungsprozesses.....	35
Abbildung 4-1	Layoutplan der Halle S4-Nord (Zuschnitt).....	40
Abbildung 4-2	Arbeitsabfolge beim Zuschnitt auf der UW - Plasma Anlage	41
Abbildung 4-3	Arbeitsabfolge beim Zuschnitt auf der Autogen Anlage	42
Abbildung 4-4	Arbeitsabfolge beim Zuschnitt auf der Tr.-Plasma Anlage	43
Abbildung 4-5	Schema der Schachtelplanung	44
Abbildung 4-6	Maschinenstunden der Zuschnittanlagen im Vergleich zum gesamten Stahlbau	45
Abbildung 4-7	Maschinenstunden der jeweiligen Anlagen	46
Abbildung 4-8	Materialstatistik der Ist – Zustandsanalyse	47
Abbildung 4-9	Maschinenbelegung der UW - Pl. Anlage	49
Abbildung 4-10	Maschinenbelegung der Autogenschneidanlage	50
Abbildung 4-11	Maschinenbelegung der Tr. – Pl. Anlage	51
Abbildung 5-1	Materialstatistik für das best case Szenario	54
Abbildung 5-2	Materialstatistik für das worst case Szenario	55
Abbildung 5-3	Materialstatistik eines realistischen Szenarios	56
Abbildung 7-1	Schnittgeschwindigkeiten bei rostfreien Materialien.....	64
Abbildung 7-2	Schnittgeschwindigkeiten bei schwarzen Materialien	65
Abbildung 7-3	Schnittgeschwindigkeiten - Zusammenfassung	66
Abbildung 7-4	Berechnungsschema der Schnittmeterkosten.....	74
Abbildung 7-5	Kosten je Schnittmeter für rostfreie Stähle	76
Abbildung 7-6	Kosten je Schnittmeter für schwarze Stähle.....	78
Abbildung 7-7	Berechnungsschema der Schnittmeterkosten.....	80

Abbildung 7-8	Musterstück - Deckel für Schnittmeterkostenberechnung.....	80
Abbildung 7-9	Kosten je Schnittmeter – rostfrei (Deckel).....	82
Abbildung 7-10	Kosten je Schnittmeter – C-Stahl (Deckel).....	83
Abbildung 7-11	Break–Even–Diagramm	88
Abbildung 7-12	Lohnfertiger der ANDRITZ AG	97
Abbildung 7-13	Musterstück für Schnittmeterkosten (Seitenwand).....	98

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2-1	Brennschneideignung von Stahl in Abhängigkeit von den Legierungselementen.....	8	
Tabelle 2-2	Vorteile/Nachteile der Verfahren	30	
Tabelle 4-1	Materialstatistik rostfrei	Tabelle 4-2 Materialstatistik schwarz.....	48
Tabelle 4-3	Verteilungsschlüssel Kostenbericht.....	52	
Tabelle 4-4	Kostenverteilung lt. Kostenbericht.....	53	
Tabelle 7-1	Schnittmeterkosten für rostfreie Stähle	75	
Tabelle 7-2	Schnittmeterkosten für schwarze Stähle	77	
Tabelle 7-3	Schnittmeterkosten – rostfrei (Deckel)	81	
Tabelle 7-4	Schnittmeterkosten – C-Stahl (Deckel)	82	
Tabelle 7-5	Ergebnis Komplettbearbeitung (Musterbeispiel – Deckel)	85	
Tabelle 7-6	Schwankung der Schnittmeterkosten.....	87	
Tabelle 7-7	Ergebnis der Break Even Analyse.....	89	
Tabelle 7-8	Ergebnis der Break Even Analyse (best case – worst case).....	91	
Tabelle 7-9	Ergebnis der statischen Amortisation	94	
Tabelle 7-10	Vergleich: Zukauf - Eigenfertigung	99	
Tabelle 9-1	Bewertung der Ergebnisse	108	

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

UW–Pl.	Unterwasserplasmaschneidanlage
Tr.–Pl.	Trockenplasmaschneidanlage
WIPC	Wasserinjektionsplasmaschneiden
CNC	Computerized Numerical Control
CAD	Computer Aided Design
CAM.....	Computer Aided Manufacturing
DIN.....	Deutsches Institut für Normung
EN.....	Europäische Norm
ISO.....	International Standardization Organization
AG.....	Aktiengesellschaft
ASAP	ANDRITZ SAP (in ANDRITZ verwendetes ERP System)
ERP	Enterprise Resource Planning
GWG.....	Geringwertige Wirtschaftsgüter
SKA.....	Schweißkantenanarbeitung
VB.....	Vorbohren
VS.....	Vorstrahlen
EA.....	ESAB Autogenschneidanlage
EA3.....	ESAB Drei-Brenneraggregat
EAH	ESAB High-Definition-Plasmaschneidanlage
Ar	Argon
C	Kohlenstoff
Cr	Chrom
CO ₂	Kohlendioxid
C ₃ H ₆	Propan
Fe.....	Eisen
FeO.....	Eisen(II)-oxid
Fe ₂ O ₃	Eisen(III)-oxid
He	Helium
H ₂	Wasserstoff
Ni	Nickel
N ₂	Stickstoff
O ₂	Sauerstoff
W	Wolfram

S	Seite
f.....	und folgende Seite
ff.....	und folgende Seiten
Vgl.....	vergleiche
inkl.	Inklusive
lt.....	laut
bzw.	beziehungsweise
m.....	Meter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
kW.....	Kilowatt
kg	Kilogramm
to.....	Tonne
X _{BE}	Gewinnschwelle
BE-Punkt.....	Break-Even-Punkt