

**BMUB-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM**

**Abschlussbericht**

**zum Vorhaben**

Innovative Schneidtechnologie für hochfeste Werkstoffe

**Zuwendungsempfänger/-in**

Kalenborn Kalprotect GmbH & Co. KG

**Umweltbereich**

Abfallvermeidung

**Laufzeit des Vorhabens**

22.10.2015 – 30.06.2016

**Autor/-en**

Markus Buscher

Markus Behning

**Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und  
Reaktorsicherheit**

**Datum der Erstellung**

31.08.2016

### Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA: NKa3-003070	Projekt-Nr.: 10089
Titel des Vorhabens: Innovative Schneidtechnologie für hochfeste Werkstoffe	
Autor/-en (Name, Vorname): Buscher, Markus Behning, Markus	Vorhabenbeginn: 22.10.2015 Vorhabenende (Abschlussdatum): 30.06.2016
Zuwendungsempfänger/-in (Name, Anschrift): Kalenborn Kalprotect GmbH & Co. KG Asbacher Straße 50 53560 Vettelschoß	Veröffentlichungsdatum: 31.10.2016 Seitenzahl: 31
Gefördert im BMUB-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.	
Kurzfassung (max. 1.500 Zeichen): Ziel des Projektes war das erstmalige Einsetzen einer neuartigen Technologie im Bereich des industriellen Wasserstrahlschneidens für hochfeste Werkstoffe. Unter Anwendung von abrasiven Zusatzstoffen im Wasserstrahl wird eine bis zu 5-fach höhere Schneidleistung im Vergleich zum normalen Wasserstrahlschneiden erzielt. Durch diese Leistungssteigerung werden erstmals Verschleißschutzmaterialien mit Hilfe des Wasserstrahlschneidens wirtschaftlich geschnitten. Des Weiteren ist eine Verbesserung des Arbeitsschutzes gegenüber den bisher verwendeten Diamantsägen erreicht worden. Im Vergleich zum Plasma-Schneiden und anderen thermischen Schneidverfahren wurde durch das Wasserstrahlschneiden der Materialschnittverlust auf ein Drittel der bisherigen Abfälle reduziert und liegt mit 1-2,5 t/a eingesparten Schnittspaltabfällen im Bereich der Projektziele. Damit einhergehend wird die Umweltbelastung durch Staub- und Gasabfälle eliminiert und somit der Gesundheitsschutz verbessert. Des Weiteren können die bisher Abrasivabfälle (bisher 2,2 t Korund- und Granatgemisch) als Füllmaterial für Rohre weiterverwendet werden, die Entsorgung entfällt somit. Als Korund wird nur recycelter Korund verwendet, der durch Altmaterial aufbereitet wird und nicht neu gebrochen werden muss. Hierdurch werden die Umweltbelastungen zusätzlich reduziert. Der Bedarf von Diamantsägeblättern ging um 20 Stück zurück, wodurch zusätzliche Umweltentlastungen (keine Herstellung und Entsorgung) zu Stande kamen. Nachteil des neuen Verfahrens ist ein höherer Stromverbrauch.	

Mit der Einführung der neuen Schneidtechnologie gingen eine Vermeidung von Nacharbeit, Erhöhung der Produktionsgeschwindigkeit und -flexibilität sowie die Einsparung von Schleifmitteln einher.

Schlagwörter:

Minimierung Schadstoffausstoß, Erhöhte Arbeitssicherheit, Wasserstrahlschneidanlage (WS) für hoch abrasive Materialien

Anzahl der gelieferten Berichte

Papierform: 7

Elektronischer Datenträger: 1

Sonstige Medien: --

Veröffentlichung im Internet

geplant auf der Webseite: in Klärung

### Report Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency: NKa3-003070	Project-No.: 10089
Report Title: Innovative cutting technology for high tensile materials	
Author/Authors (Family Name, First Name): Markus Buscher Behning Markus	Start of project: 22.10.2015 End of project: 30.06.2016
Performing Organisation (Name, Address): Kalenborn Kalprotect GmbH & Co. KG Asbacher Str. 50 53560 Vettelschoß	Publication Date: 31.10.2016 No. of Pages: 31
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety.	
<p>Summary (max. 1.500 characters):</p> <p>Project goal was the first implementation of a new technology within the range of industrial water jet cutting technology for high tensile materials. Using abrasive additives in the water jet a cutting performance 5times higher compared to normal water jet cutting is achieved. Based on this improved performance wear resistant materials can be economically cut with the help of the water jet cutting.</p> <p>Further to that an improvement of the working protection compared to the diamond cutting used to date could be achieved.</p> <p>Compared to the plasma cutting and other thermal cutting processes the material loss with the water jet cutting could be reduced to one-third of the previous losses. The portion of the reduced kerf waste is in the area of the project goals by 1-2,5 t/a. Thus the environmental pollution by dust and gas could be eliminated and the health protection improved. Further to that abrasive waste (up to date 2.2 tons corundum and garnet mix) could be used as filling material for pipes, thus no disposal needed. Only recycled corundum is used which was reprocessed through recyclables and was not newly fractionized. Hereby the environmental pollution was additionally reduced. The need of diamond cutting plates was reduced by 20 pieces whereby the environment was additionally relieved (no fabrication and disposal). Disadvantage of the new technique is an increased power consumption.</p> <p>By implementation of the new cutting technology avoidance of rework, increase of production speed and flexibility as well as reduction of grinding material was realized.</p>	

Keywords:

Minimization of pollutant emission, increased work safety, water jet cutting machine (WS) for high tensile materials

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>6</b>
1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens und ggf. der Projektpartner.....	6
1.2. Ausgangssituation .....	6
<b>2. Vorhabenumsetzung.....</b>	<b>6</b>
2.1. Ziel des Vorhabens.....	6
2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten) .....	7
2.3. Umsetzung des Vorhabens .....	10
2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen) .....	10
2.5. Konzeption und Durchführung des Messprogramms.....	10
<b>3. Ergebnisse .....</b>	<b>13</b>
3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung .....	13
3.2. Stoff- und Energiebilanz.....	14
3.3. Umweltbilanz .....	21
3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse .....	23
3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren .....	25
<b>4. Übertragbarkeit .....</b>	<b>27</b>
4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung .....	27
4.2. Modellcharakter/Übertragbarkeit (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/der Anlage/des Produkts).....	28
<b>5. Zusammenfassung/ Summary .....</b>	<b>28</b>
- Technische Umsetzung/ <i>Technical implementation</i> :.....	29
- Ergebnisse/ <i>Project results</i> .....	30
- Ausblick/ <i>Prospects</i> .....	30
<b>6. Literatur .....</b>	<b>31</b>
<b>7. Anhang .....</b>	<b>31</b>

## 1. Einleitung

### 1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens und ggf. der Projektpartner

Kalenborn ist der weltweit führende Experte für Verschleißschutz und Gleitförderung. Mit verschleißfesten Werkstoffen aus eigener Herstellung entwickelt und fertigt das Unternehmen passgenaue Verschleißschutzlösungen und installiert sie in Industrieanlagen. Kalenborn beschäftigt über 600 Mitarbeiter. 12 Tochterunternehmen und mehr als 20 Vertretungen auf 5 Kontinenten ermöglichen die schnelle und kundennahe Betreuung weltweit.

### 1.2. Ausgangssituation

Bisher war das Schneiden von hochverschleißfesten Keramiken kein Einsatzgebiet der Wasserstrahltechnologie. Die geringen Mengen der einzelnen Werkstoffqualitäten (verschiedene Keramiken, Mineralien, Chromkarbid bei auftragsgeschweißten Panzerblechen, Kunststoffe) mussten mit den typischen Technologien thermisch (Plasmaschneiden) oder spanend (Diamantblattsägen oder Hand- bzw. Bandsägen) geschnitten werden.

Als Nachteile dieser Schneidtechnologien sind insbesondere der höhere Materialverlust, die thermische Beeinflussung der Materialeigenschaften und der geringe Komplexitätsgrad der zu schneidenden Konturen zu nennen. Keines dieser Verfahren ist geeignet, alle Materialien oder gar Sandwichbauteile aus mehreren dieser verschiedenen Komponenten zu schneiden.

Weitere Nachteile des Plasmaschneidens sind die höheren Umweltbelastungen durch das Verdampfen des Materials einschließlich der enthaltenen Schwermetalle.

Beim Trennen durch Diamantsägen ist eine erhöhte Unfallgefahr gegenüber dem Wasserstrahlschneiden zu verzeichnen. Zusätzlich zu diesen Risiken entsteht eine Lärmbelastung für die Mitarbeiter, die im dreistelligen Dezibel Bereich liegt.

Die verbrauchten Diamantschneidblätter werden nicht wiederverwendet, da sie nach dem Einsatz bei hochfesten Werkstoffen starke Abnutzungen und zum Teil auch Verformungen, bis hin zu Zahnausbrüchen, aufweisen. Daher werden sie nach dem Einsatz entsorgt.

## 2. Vorhabenumsetzung

### 2.1. Ziel des Vorhabens

Ziele des Vorhabens sind die Vermeidung von Emissionen in der Luft, die Senkung des Materialverbrauchs aufgrund geringerer Verluste beim Schneiden mit dem Wasserstrahl sowie eine bessere Verwertbarkeit der Rückstände. Dieses wird durch das Vermeiden des Aufschmelzens des Materials, wie beim Plasmaschneiden, erreicht. Des Weiteren befinden sich keine Chrom-Verbindungen und Nickeloxide im Schneidabfall. Diese Eigenschaft des Schneidabfalls bewirkt, dass der Abfall in anderen Verschleißschutz-

lösungen Anwendung finden kann. Die angestrebte Einsparung des Schnittabfalls für die Firma Kalenborn beträgt gemäß Vorhaben 1.400 – 2.800 kg.

Die neue Schneidtechnologie kann branchenübergreifend zum Schneiden für hochfeste Werkstoffe eingeführt werden und somit auch in anderen Fertigungsbereichen zur Reduktion der Emission in der Luft und von giftigen Rückständen im Schneidabfall führen, da kein Aufschmelzen und Verdampfen stattfindet.

Ein weiterer Vorteil der neuen Schneidtechnologie ist die hohe Präzision der Schnitte. Durch die erhöhte Genauigkeit der Schnitte und damit der Verschleißschutzauskleidung, können Fugen und Übergänge minimiert werden. Da Fugen und Übergänge bei einem Verschleißschutzsystem am Stärksten vom Abrieb betroffen sind, führt die Erhöhung der Genauigkeit zu einer längeren Standzeit beim Kunden. Dadurch werden langfristig Kosten für den Kunden und Ressourcen der Umwelt gespart.

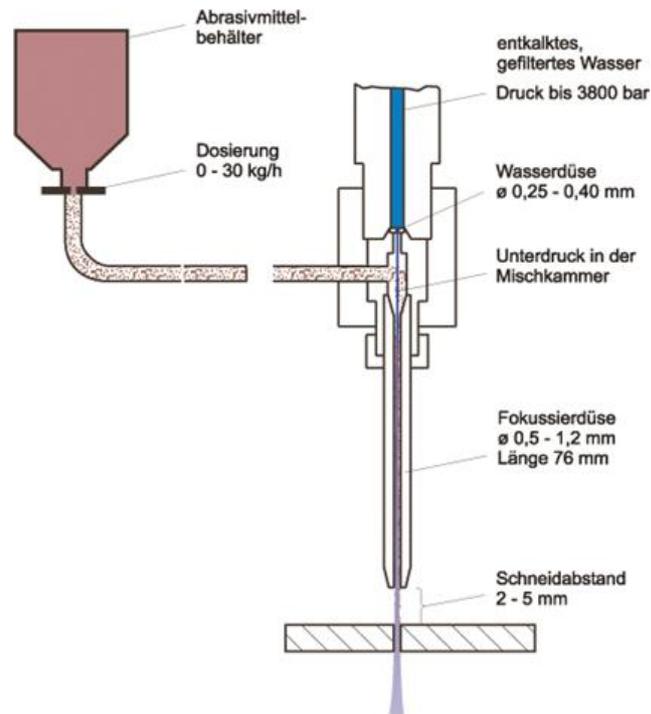
Ein weiteres Ziel des Vorhabens ist es, eine höhere Arbeitssicherheit beim Schneiden von hochfesten Werkstoffen zu erzielen. Im Vergleich zum Schneiden mit Diamantsägen hat der Mitarbeiter keinen direkten Kontakt mehr mit dem Werkzeug und Werkstück. Dadurch reduziert sich die Unfallgefahr auf ein Minimum.

Zur Zielsetzung gehört es auch, neue Geometrien und alle notwendigen Arbeitsschritte auf einer Maschine durchführen zu können.

Aus produktionstechnischer Sicht ergibt sich eine beschleunigte Wiederbeschaffungszeit der zu verwendenden Bauteile, da komplexe Formen, z.B. aus Keramik, nicht mehr gesintert werden müssen, sondern sofort im gesinterten Zustand geschnitten werden können.

## 2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

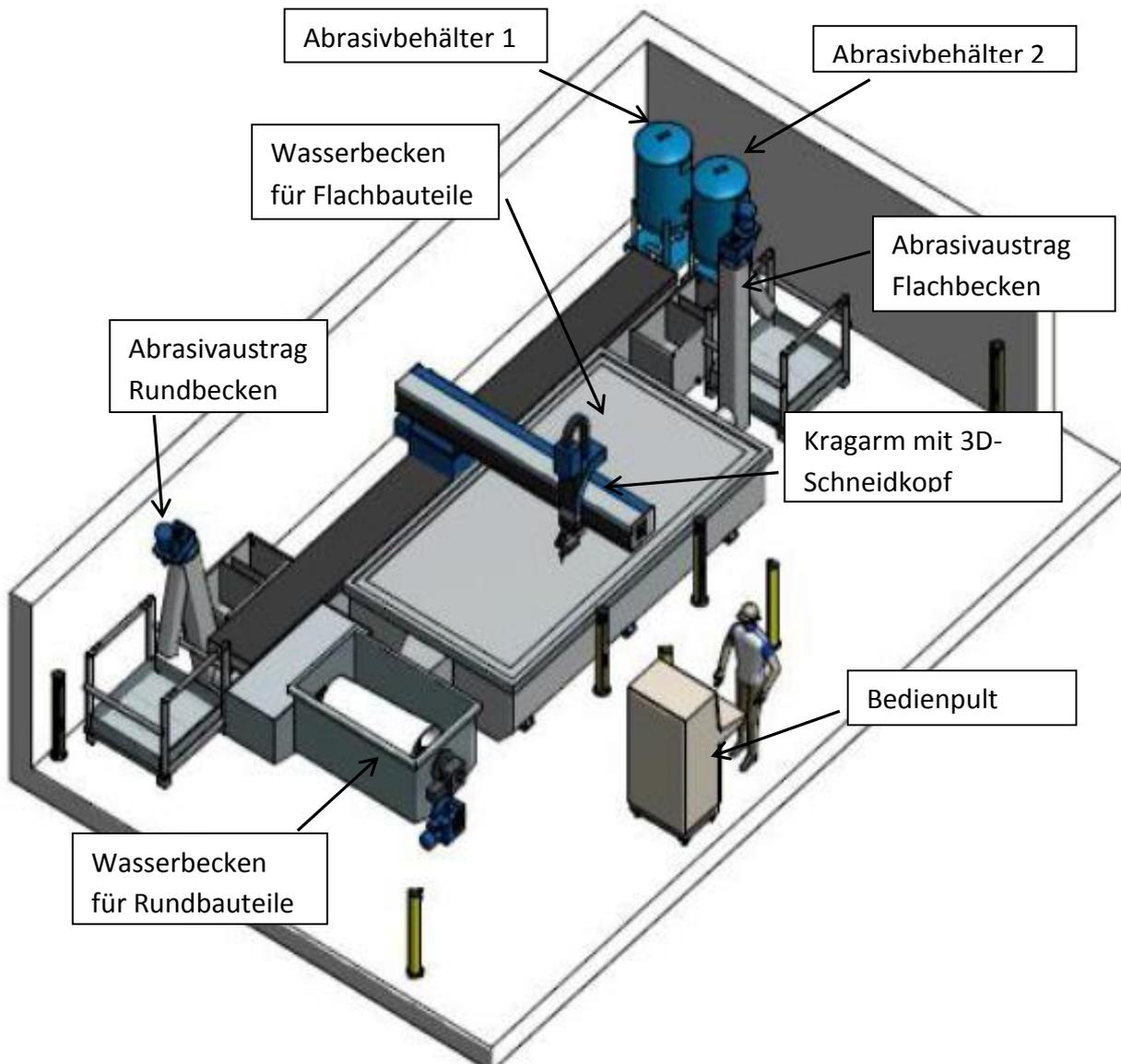
Für die Umsetzung des Projektes wurde eine neuartige WS-Anlage konzeptioniert. Diese neuartige Schneidanlage ist so konzeptioniert, dass gleichzeitig zwei verschiedene Abrasivmittel dem Wasserstrahl zugeführt werden können. Es besteht die Möglichkeit das Mischungsverhältnis den jeweiligen Materialien anzupassen und so besonders ressourcensparend zu schneiden. Im unteren Bild sehen sie den schematischen Aufbau eines Wasserstrahlschneidkopfes.



Um sämtliche Bauteile und Geometrien schneiden zu können, wurde die Anlage so gebaut, dass sie aus zwei unterschiedlichen Becken besteht. Ein Becken um Plattenware und flache Geometrien zu schneiden. Das zweite, kleinere Becken, um Rundbauteile verschiedenster Ausführung trennen zu können.

Die Maschine wurde in einer Kranarmversion mit 6-CNC-gesteuerten-Achsen gebaut, damit eine möglichst hohe Bedienerfreundlichkeit und bearbeitbare Produktvielfalt entsteht. Zur besseren Ausnutzung der Maschine wurden verschiedene Sicherheitszonen installiert. Damit ist gewährleistet, dass die Maschine in einem Bereich arbeiten und der Maschinenbediener in einem anderen neues Material auflegen kann.

Hier sehen sie ein schematisches Bild der Anlage:



#### Technische Daten:

- Abmessungen: ca. 9.500 mm x 5.100 mm x 3.500 mm
- Bearbeitungsfläche Platte: 3.100 mm x 2.100 mm x 200 mm
- Bearbeitungsfläche Rundbauteile: DN40 – DN60; Länge: 1.300mm
- Betriebsdruck der Hochdruckpumpe: 3.800 bar
- Abrasivbehälter: 2 Stück
- Wiederholgenauigkeit: +/- 0,03 mm
- Positioniergenauigkeit: +/- 0,06 mm
- Max. Vorschubgeschwindigkeit: 30 m/min

### 2.3. Umsetzung des Vorhabens

In der Planungsphase des Projektes wurden sämtliche Materialien der Kalenborn - Gruppe auf einer Wasserstrahlschneidmaschine der Firma Perndorfer geschnitten. Die in diesen Tests erzielten Parameter (z.B. Vorschübe, Abrasive usw.) dienen als Grundlage des Projektes. Auf dieser Basis und in Verbindung mit den neu eruierten Potentialen durch die Wasserstrahlschneidanlage, wurden die Wirtschaftlichkeitsrechnungen der einzelnen Materialien und die Amortisationsrechnung der gesamten Anlage durchgeführt.

Nach der Förderung wurde die Bestellung an die Firma Perndorfer ausgelöst. Im Zuge der weiteren Projektierung der Anlage ergaben sich ständig neue Ansprüche an die Ausführung und die Gestaltung der Maschine und ihrer Peripherie-aggregate. In diesem Zuge wurde der endgültige Standort der Maschine in der Produktion definiert und die Ertüchtigung der Infrastruktur vorangetrieben. Insgesamt fanden 5 Projekttreffen statt, die der Weiterentwicklung der Maschine, der Fertigungs-überwachung und den Abnahmen dienten.

Ende April erfolgte bei Firma Perndorfer die erste Schulung der Mitarbeiter. In dieser Woche fand die Einführung in die Steuerung der Maschine und der Pumpentechnik statt. Im Zuge des Aufbaus der Wasserstrahlschneidanlage wurde die nächste Schulung der Mitarbeiter durchgeführt und der Umgang mit der Technik verfeinert. Um CNC-Dateien erzeugen und an die Maschine übermitteln zu können, wurden die Maschinenbediener im Rahmen einer weiteren Fortbildungsmaßnahme in Kalenborn durch die Firma Lantek geschult. In dieser Schulung wurde Fachwissen über 2D-Schnitte vermittelt. Nachdem die Mitarbeiter die Möglichkeit hatten, ihr neugewonnenes Wissen in der Praxis umzusetzen, gab es nach einigen Wochen noch eine Schulung für 3D-Schneidtechnik, die durch die Firma Perndorfer durchgeführt wurde.

### 2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Es mussten keine behördlichen Genehmigungen eingeholt werden.

### 2.5. Konzeption und Durchführung des Messprogramms

Im Rahmen des Projektes wurden verschiedenste Messungen und Aufzeichnungen durchgeführt. Hier die durchgeführten Messungen und Aufzeichnungen:

- a) Umgebungsluftmessung
- b) Lautstärkenmessung
- c) Messungen des elektrischen Bedarfs der Anlage (Pumpe und Anlage)
- d) Wasserverbrauch der Anlage
- e) Schnittdatenmessung inkl. Abrasiv Verbrauch

- f) Vergleichsmessung Plasma / Wasserstrahlschneidanlage
- g) Messung des Luftmengen durchsatzes der Anlage
- h) Messung der Schneiddauer Wasserstrahlschneidanlage pro Auftrag
- i) Abrasivmengenaufstellung
- j) Umweltbelastungen durch Abrasiv-Herstellung

Im Folgenden werden die einzelnen Punkte genauer beschrieben.

a) Umgebungsluftmessung:

In dieser Messung wurden in der Produktionshalle an der Anlage die in der Luft befindlichen Partikel gemessen. Diese Messung wurde einmalig im laufenden Betrieb durchgeführt. Sie diente dazu, die Belastungen, die durch die neue Anlage in der Luft entstehen, zu messen, zu dokumentieren, zu analysieren und ggf. Gegenmaßnahmen abzuleiten.

Das folgende Bild zeigt den Versuchsaufbau:



b) Lautstärkenmessung:

In dieser Messung wurde der Lärm gemessen, der durch die neue Anlage in der Produktionshalle entsteht. Diese Messung wurde einmalig im laufenden Betrieb durchgeführt. Sie diente dazu, die Lärmbelastungen die durch die neue Anlage entstehen zu messen, zu dokumentieren, zu analysieren und ggf. Gegenmaßnahmen abzuleiten und diese mit den konventionellen Sägen zu vergleichen.

c) Messungen des elektrischen Bedarfs Anlage (Pumpe und Anlage):

Der elektrische Bedarf der Anlage wurde kontinuierlich gemessen. Hierfür wurden Zähler installiert, die den elektrischen Bedarf der Anlage erfassten. Jeweils einen Zähler für die Anlage als solches und einen Zähler nur für die Hochdruckpumpe. Diese Werte wurden täglich abgelesen und dokumentiert. Aus diesen Werten wurden die realen Kosten ermittelt und mit unseren Annahmen aus der Planungsphase verglichen.

d) Wasserverbrauch der Anlage:

Der Wasserverbrauch der Anlage wurde ebenfalls kontinuierlich gemessen. Hierfür wurde ein Zähler installiert, die den Wasserverbrauch der Anlage erfasste. Diese Werte wurden täglich abgelesen und dokumentiert. Aus diesen Werten wurden die realen Kosten ermittelt und mit unseren Annahmen aus der Planungsphase verglichen.

e) Schnittdatenmessung inkl. Abrasiv-Verbrauch:

Bei dieser Messung wurde ein Referenzschnitt auf der Anlage durchgeführt. Bei diesem Schnitt wurden die Vorschubwerte, Qualität und Abrasiv-Verbrauch gemessen. Dieses wurde für alle Materialien durchgeführt. Hieraus ließ sich ableiten, welche Kosten und welcher Ressourcenverbrauch mit der neuen Schneidtechnologie real entstehen. Diese wurden mit den Daten aus der Planungsphase verglichen. Diese Messung fand einmalig statt und diente zur Festlegung von Standardparametern.

f) Vergleichsmessung Plasma / Wasserstrahlschneidanlage:

In dieser einmaligen Messung wurde ein Referenzmaterial auf der Plasmaschneidanlage in unserem Schwesterwerk in Polen und einmal auf unserer neuen Wasserstrahlschneidanlage geschnitten. Diese Messung sollte Aufschluss darüber geben, welche Emissionen bei welcher Schneidtechnologie entstehen. Des Weiteren konnte aus dieser Messung abgeleitet werden, wieviel Schneidabfall entsteht und welche Kosten anfallen. Es sollte zusätzlich bestimmt werden, welche Mengen an Filterstaub (insbesondere Ni, Cr und Cr-VI) entstehen. Ferner wurden noch die Mengen an Hilfsstoffen und an Energie erfasst.

g) Messung des Luftmengen durchsatzes der Anlage

Der Luftdurchsatz der Anlage wird kontinuierlich gemessen. Hierfür wurde ein Zähler installiert, der den Luftverbrauch der Anlage erfasste. Diese Werte wurden täglich abgelesen und dokumentiert. Aus diesen Werten wurden die realen Kosten ermittelt. Zusätzlich dient er als Überwachung für auftretende Leckagen.

h) Messung der Schneiddauer der Wasserstrahlschneidanlage pro Auftrag

Mit dieser Messung wurde der reale Zeitaufwand der Anlage pro Auftrag gemessen. Diese Messungen wurden laufend durchgeführt. Hieraus konnte abgeleitet werden, wie

hoch die realen Schneidkosten sind und wie sie sich zum herkömmlichen Schneiden verhalten. Sie diene als Entscheidungsgrundlage ob und welche Schnitte wirtschaftlich sind.

i) **Abrasivmengenaufstellung**

Hier wurde erfasst wieviel Abrasiv in verschiedenen Perioden verbraucht wurde. Diese Werte dienen als Anhaltspunkt, wie der Fokussierrohr – Verbrauch sich entwickelt, wieviel Abrasivgemisch wiederverwendet wurde und als Hilfe für das Supply Chain Management.

j) **Umweltbelastungen durch Abrasiv-Herstellung**

In diesem Punkt wird auf die Rohstoff- und Energieaufwände zur Herstellung von Granat und Korund eingegangen. Dieses geschah über eine Literaturrecherche.

### **3. Ergebnisse**

#### **3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung**

Dass es im Rahmen eines Projektes, in dem eine neue Technologie in ein Unternehmen implementiert wird, zu Schwierigkeiten kommt, ist normal. Auch dieses Projekt bildete hier keine Ausnahme. Einige von ihnen konnten sehr schnell, andere nicht so schnell gelöst werden. Allerdings war keins dabei, was das Projekt hätte existenziell gefährden können. Auf drei dieser Probleme wird nun etwas genauer eingegangen.

a) **Vordruck der Pumpe**

Bei der Inbetriebnahme der Anlage fiel auf, dass der Vordruck der Pumpe nicht dauerhaft gewährleistet werden konnten. Die Hochdruckpumpe braucht mindestens 3,5 bar Vordruck. Es wurde im Vorfeld mit dem Versorger über dieses Thema gesprochen. Es wurde zugesichert, dass der Druck immer über 4 bar liegt und keine Probleme zu erwarten seien. Durch den zu niedrigen Druck ging die Maschine ständig auf Störung und es war kein kontinuierlicher Schneidbetrieb möglich. Es wurde eine Druckerhöhungspumpe installiert und der Vordruck stieg auf 6 bar. Durch das Zuschalten der Pumpe im Schneidbetrieb kam es allerdings zu Druckstößen, die höher als die zugelassenen 6,5 bar Vordruck waren. Daraufhin versagte das Druckbegrenzungsventil der Pumpe nach kurzer Zeit, da es ständig auslöste. Es wurde ein Druckregler im Zulauf der Hochdruckpumpe installiert und das Problem trat nicht mehr auf.

b) **Datenübertragung**

Ein weiteres Problem war die Datenübertragung vom externen Programmier-PC an die Anlage. Hier entstanden teilweise falsche Vorschubwerte. Daraus resultierte, dass die

Materialien nicht durchgeschnitten wurden. Es wurden Software Anpassungen durchgeführt, die diesen Fehler eliminierten.

c) Spannvorrichtung für Rundbauteile

Als drittes Problem ist die Spannvorrichtung für Rundbauteile zu nennen. Hier gab es Probleme die die Winkeleinstellungen beim Schneiden beeinträchtigten. Es wurde ein Provisorium entwickelt, mit dem geschnitten werden konnte. Mit dem Maschinenhersteller wurde vereinbart, dass wir weitere Erfahrungen sammeln und dann die passende Lösung zusammen entwickeln. Dieses benötigt noch etwas Zeit und ist noch nicht abgeschlossen. Allerdings ist hierbei auch zu erwähnen, dass aufgrund Produktvielfalt die geschnitten wird, keine non-plus-ultra Lösung für alle Produkte zu erwarten ist.

Alles in Allem ist das Projekt bis jetzt relativ reibungslos abgelaufen. Aufgrund der Komplexität des Projektes waren Rückschläge zu erwarten. Diese konnten aufgrund der langen Vorlaufphase mit ausgiebigen Tests beim Maschinenhersteller relativ klein gehalten werden. Die Umsetzung ist als erfolgreich durchgeführt zu bewerten.

3.2. Stoff- und Energiebilanz

a) Umgebungsluftmessung

Mit dieser Messung wurden die einatembaren (E-Staub) und die alveolengängigen Stäube (A-Staub) gemessen. Es wurden Werte von 0,301 mg/m<sup>3</sup> für E-Staub und 0,161 mg/m<sup>3</sup> für A-Staub gemessen. Der komplette Bericht zu Umgebungsluftmessung befindet sich im Anhang.

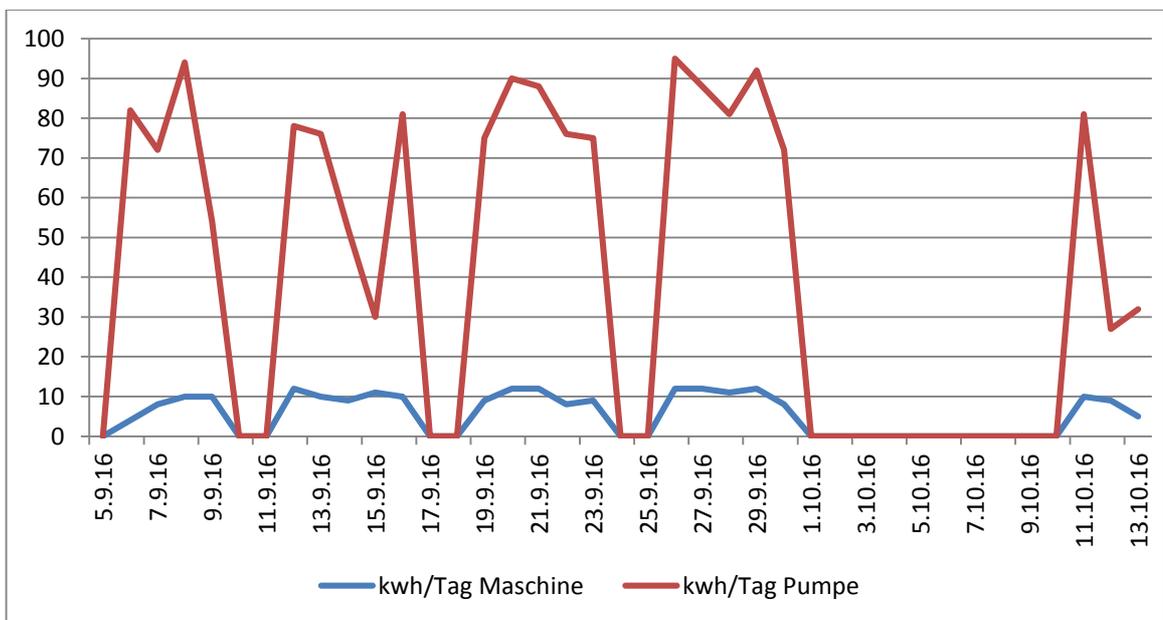
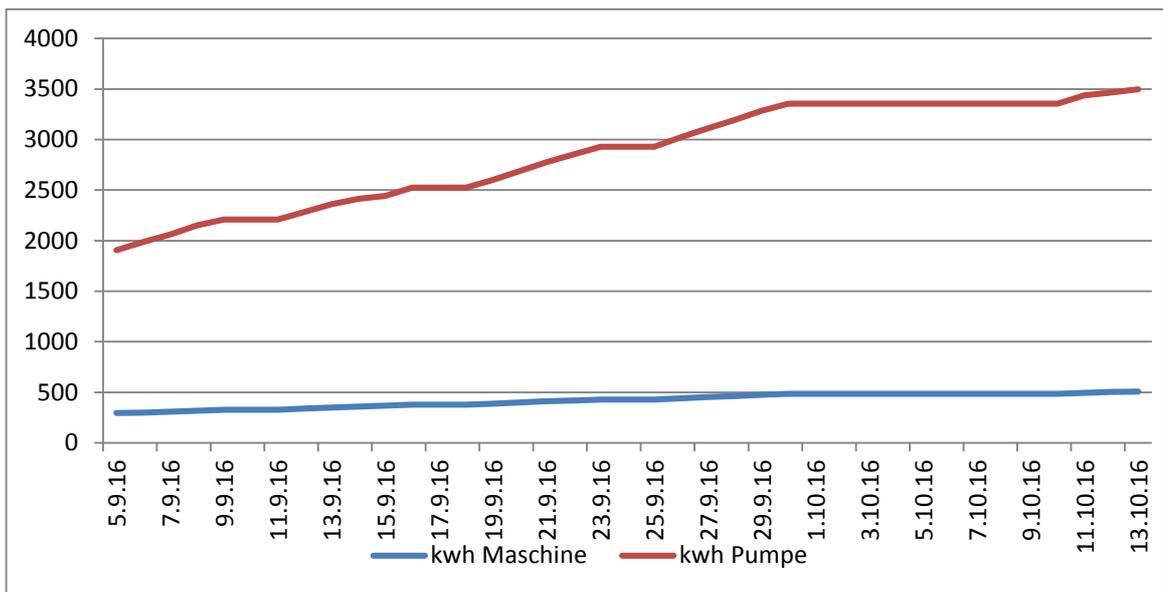
b) Lautstärkenmessung

In der Lautstärkenmessung wurden folgende Werte an der Wasserstrahlanlage und an den konventionellen Diamantsägen gemessen.

	Wasserstrahlanlage		Diamantsäge
	Anlage	Pumpe	Sägebereich
dB[a]	80,9	76,9	97,7
dB[c]	105,8	98,2	112,2

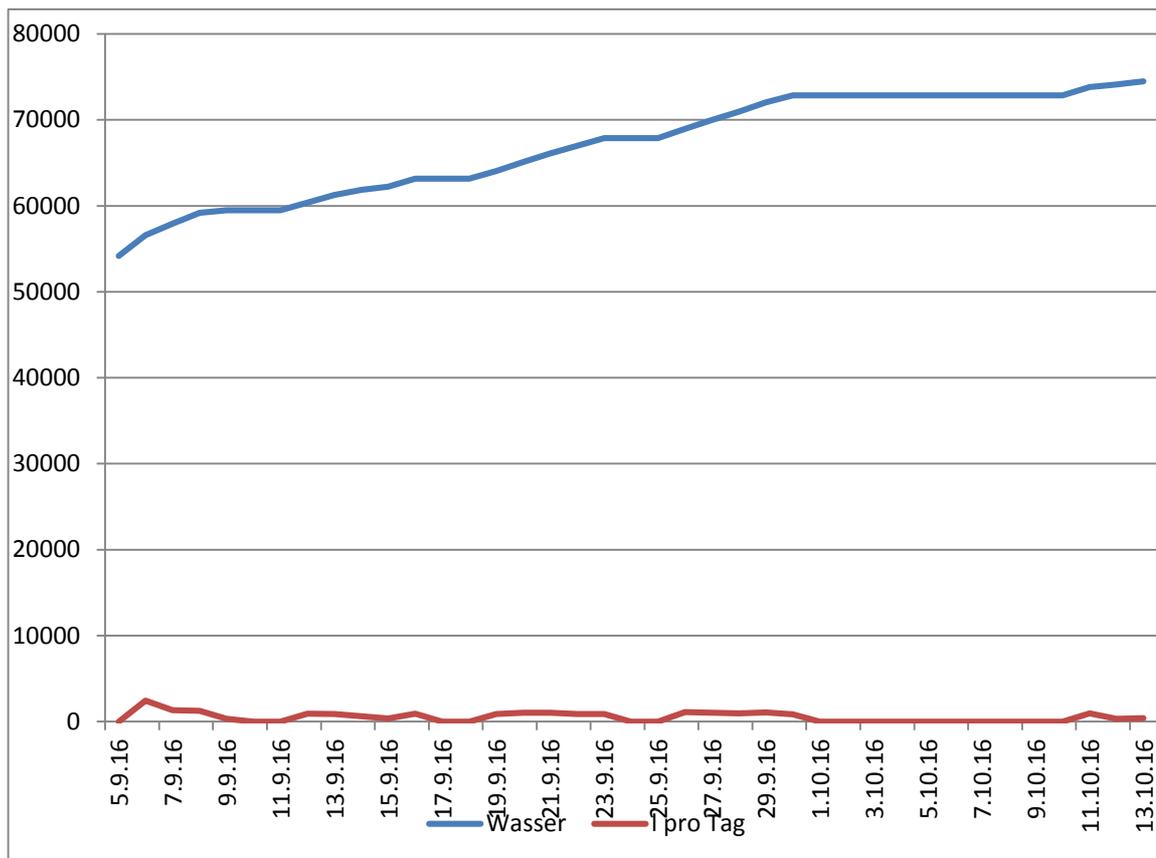
Der komplette Bericht zur Lautstärkenmessung befindet sich im Anhang.

c) Messung des elektrischen Bedarfs der Anlage (Pumpe und Anlage)



Den maximalen Wert für den elektrischen Bedarf der Wasserstrahlanlage (Anlage und Pumpe) lag im Messzeitraum bei zusammen 107 kWh/Tag. Dieser Wert setzte sich aus 95 kWh für die Pumpe und 12 kWh für die Restanlage zusammen. Das komplette Messprotokoll ist im Anhang zu finden.

d) Messung Wasserverbrauch der Anlage



Das obere Diagramm stellt den Wasserverbrauch der Anlage auf Tagesbasis dar. Es bleibt festzuhalten, dass der max. Wasserverbrauch während der Messperiode 605 l/Tag lag. Das komplette Messprotokoll mit Einzelwerten befindet sich im Anhang.

e) Schnittdatenmessung der Anlage

In der unteren Grafik werden die Ergebnisse der Referenzschnitte der verschiedenen Materialien dargestellt. Es wurden alle Materialien mit gleichen Abrasivmengen geschritten.

Kosten Wasserstrahlschneiden

Material	Dicke [mm]	Schneidlänge [mm]	Vorschub [mm/min]	Dauer [min]	Dauer [h]	Maschinen-	Maschinen-	Kosten WS-Schneiden/Meter	
						satz 1 [€/h]	satz 2 [€/h]	Kosten 1 [€/m]	Kosten 2 [€/m]
Kalocer	13	1000	120	8,33	0,14	58,35	79,85	<b>8,10</b>	<b>11,09</b>
Kalocer	17,5	1000	70	14,29	0,24	58,35	79,85	<b>13,89</b>	<b>19,01</b>
Kalocer	25	1000	37,5	26,67	0,44	58,35	79,85	<b>25,93</b>	<b>35,49</b>
ABRESIST	37/40	1000	200	5,00	0,08	58,35	79,85	<b>4,86</b>	<b>6,65</b>
KALCOR	30	1000	65	15,38	0,26	58,35	79,85	<b>14,96</b>	<b>20,47</b>
KALMETALL	10+8	1000	70	14,29	0,24	58,35	79,85	<b>13,89</b>	<b>19,01</b>

Bemerkung: Maschinensatz 1 bezieht sich darauf, dass der Mitarbeiter zu 0% an der Anlage  
 Maschinensatz 2 bezieht sich darauf, dass der Mitarbeiter zu 50% an der Anlage  
 Abrasiv: mit Standardeinstellung 10kg + 10kg (Korund + Granat)

f) Vergleichsmessung Plasma / Wasserstrahlschneidanlage:

Wie bereits im Antrag beschrieben entstanden im letzten Jahr 28.560 kg Plasmaschlacke und 12.000 kg entsorgter Filterkuchen durch Luftemissionen in unserem Schwesterwerk in Polen. Bezogen auf die Jahresschnittleistung von 110.000 m ergibt das folgende Durchschnittswerte:

Abfall Plasmaschlacke: 0,260 kg/m  
Abfall Filterkuchen: 0,109 kg/m

Mit der neuen Schneidtechnologie wurden bisher Produkte und Muster mit einer Gesamtschnittlänge von 152 m geschnitten. Bezogen auf die gleiche Schnittleistung mit dem Plasmaverfahren könne die Materialverluste beim Schneiden auch wie folgt berechnet werden:

Schnittlänge:	152	[m]
Schnittbreite:	0,0035	[m]
Schnitthöhe:	0,013	[m]
Masse:	8000	[kg/m <sup>3</sup> ]
<b><u>Schnittabfall:</u></b>	<b>55,328</b>	<b>[kg]</b>

Durch den Einsatz der neuen Schneidtechnologie und der damit verbundenen 100% Weiterverwendung des Schnittabfalls konnten somit ca. 55 kg Abfall im Vergleich zum üblichen Plasmaschneiden reduziert werden.

Des Weiteren bleibt festzuhalten, dass real, durch den schmaleren Wasserstrahl, nur ca. 19 kg Abfall angefallen sind.

Schnittlänge:	152	[m]
Schnittbreite:	0,0012	[m]
Schnitthöhe:	0,013	[m]
Masse:	8000	[kg/m <sup>3</sup> ]
<b><u>Schnittabfall:</u></b>	<b>18,9696</b>	<b>[kg]</b>

Hierdurch konnte eine höhere Ausnutzung der hart auftragsgeschweißten Bleche erzielt werden.

Wenn wir jetzt mit den oben genannten Durchschnittswerten pro m Schneidleistung weiter rechnen, ergeben sich für die bis jetzt geschnittenen 152 m folgende Werte:

Abfall Plasmaschlacke: 39,52 kg  
Abfall Filterkuchen: 16,57 kg

Anhand dieser Werte wird nun dargestellt welche Mengen im Projekt gegenüber dem herkömmlichen Plasmaschneiden eingespart wurden:

Schneidabfall Plasmaschlacke	[kg/152m]	39,52	zu entsorgende Plasmaschlacke
Emissionen in der Luft	[kg/152m]	16,57	zu entsorgender Filterkuchen
Anteil Chromverbindung im Schneidabfall Plasmaschlacke	[%] [kg]	5,2 2,06	siehe Analyse Plasmaschlacke ifG
hiervon Chromanteil	[%]	3,2	Quelle: LANUV
Anteil Chrom (VI)-Verbindungen	[kg]	0,07	
Anteil Chromverbindung im Schneidabfall Filterstaub	[%] [kg]	5,2 0,86	Analyse ifG für Feinanteile übernommen
hiervon Chromanteil	[%]	3,2	Quelle: LANUV
Anteil Chrom (VI)-Verbindungen	[kg]	0,03	

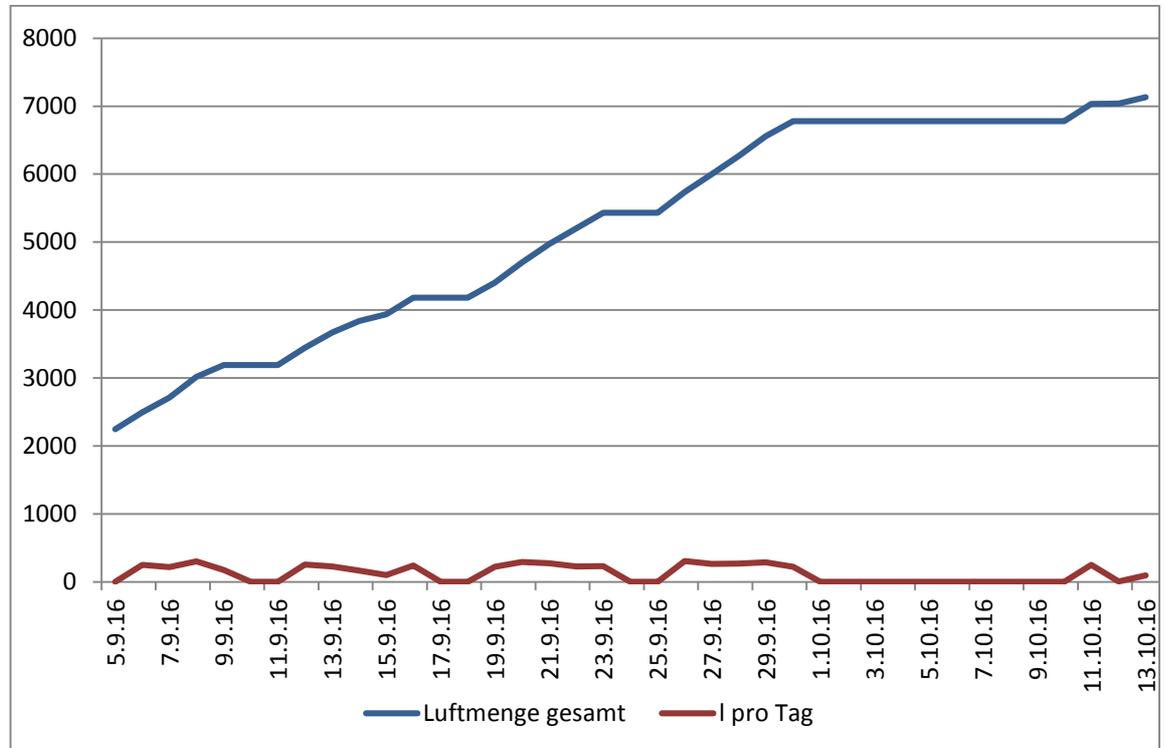
Des Weiteren bleibt festzuhalten, dass im Schwesterwerk in Polen zusätzlich noch ein Chromanteil von 0,0083 mg/m<sup>3</sup> im Gesamtstaub gemessen wurde. Dieser Wert liegt deutlich unter dem vorgeschriebenen Höchstwert, trotzdem zeigt er, dass Chrombelastungen vorhanden sind.

Mit Hilfe der Partikelmessung wurde nachgewiesen, dass sich kein Chromanteil in der Luft im Bereich der neuen Wasserstrahlschneidanlage befindet. Dieses ist damit zu erklären, dass kein Material aufgeschmolzen wird und somit auch keine gasförmigen Chromverbindungen entstehen können.

Der Energiebedarf beim Schneiden mit der Plasma-Schneidtechnik lag 144,8 kWh für die 152m Schneidleistung. Die Verbräuche beim Wasserstrahlschneiden lagen bei der elektrischen Energie bei 1339,4 kWh und beim Wasser bei 3583l. Es wurden zusätzlich jeweils ca. 362kg Granat und recycelter Korund verbraucht.

g) Messung des Luftmengen durchsatzes

Das oben gezeigte Diagramm zeigt den Luftverbrauch der kompletten Anlage (Anlage und Pumpe). Der höchste Wert, der sich hier im dokumentierten Bereich befindet, liegt bei 305 l/Tag. Die kompletten Werte befinden sich Messprotokoll im Anhang.



## h) Messung der Schneiddauer der Wasserstrahlschneidanlage pro Auftrag

Es wurden verschiedenste Aufträge im Rahmen des Projektes nachkalkuliert. Die untere Grafik zeigt exemplarisch eine Nachkalkulation eines Auftrages bestehend aus KALOCER-Segmenten. Dieser Auftrag war typisch für die neue Schneidtechnologie.

Beschreibung: KALOCER Segment  
 Stückzahl/Auftrag: 1 Stück bestehend aus 12 Segmenten

Materialkosten pro Segment:

Platte	Material	Stück	Preis/Stück	Summe	Anz. Segmente	Kosten Auftrag
150 x 100 x 12,5	KALOCER	21	0,92 €	19,24 €	12	230,83 €
100 x 100 x 12,5	KALOCER	3	0,64 €	1,92 €	12	23,08 €
<b>Gesamt:</b>						<b><u>253,91 €</u></b>

Kosten Wasserstrahlschneiden

Schneidlänge [mm]	Vorschub [mm/min]	Dauer [min]	Dauer [h]	Stückzahl [St]	Gesamtdauer [h]	Maschinensatz [€/h]	Kosten WS-Schneiden [€]
2174,5	120	18,12	0,30	12	3,62	58,35	<b><u>211,47</u></b>

Sonstige Kosten Wasserstrahlschneiden

Einrichten Maschine [Auftrag]	Dauer [min]	Dauer [h]	Maschinensatz [€/h]	Kosten WS-Schneiden [€]
	20,00	0,33	101,35	33,78
Wechselzeit/Segment [Auftrag]	Dauer [min]	Dauer [h]	Maschinensatz [€/h]	Kosten WS-Schneiden [€]
	60,00	1,00	101,35	101,35
Programmierzeit [Auftrag]	Dauer [min]	Dauer [h]	Maschinensatz [€/h]	Kosten WS-Schneiden [€]
	20,00	0,33	101,35	33,78
Sonderzeiten [Auftrag]	Dauer [min]	Dauer [h]	Maschinensatz [€/h]	Kosten WS-Schneiden [€]
	20,00	0,33	101,35	33,78
<b>Gesamt</b>				<b><u>202,70 €</u></b>

Gesamtkosten Auftrag

Materialkosten pro Segment:	253,91 €
Kosten Wasserstrahlschneiden	211,47 €
Sonstige Kosten Wasserstrahlschneiden	202,70 €
<b><u>Gesamtkosten Auftrag</u></b>	<b><u>668,08 €</u></b>

### i) Abrasivmengenaufstellung

Die folgende Tabelle zeigt die Daten, zu welchem Zeitpunkt Abrasivmengen dazugekommen sind und wann Abgänge erfolgt sind. Die Abgänge werden als Füllmaterial in Rohren weiterverwendet.

Datum	Zugänge [kg]		Abgang / Weiterverarbeitung [kg]
	Korund	Granat	
01.06.2016	1000	1000	
05.09.2016	1000	1000	
08.09.2016			754
29.09.2016			780
05.10.2016	1000	1000	
12.10.2016			862
19.10.2016	1000	1000	

Die Weiterverarbeitungswerte sind allerdings ca. Werte, da sich noch Restfeuchtigkeit im Abrasivgemisch im Big-Bag befindet. Es ist festzuhalten, dass sich ca. 200kg Abrasiv als „Füllmaterial“ im Bett der Austragsschnecken angesammelt hatten, bis eine Förderung in die Big-Bags begann.

### j) Umweltbelastungen durch Abrasiv-Herstellung

Bei der Herstellung von Korund und Granat kann jeweils von folgenden Werten ausgegangen werden:

- KEA (kumulierter Energieaufwand): 433 MJ/t
- KRA (kumulierter Rohstoffaufwand): 1,081 t/t
- Luftemissionen:
  - Gesamtstaub: 198 g/t
  - PM10: 66 g/t
- Treibhauseffekt: 29,35 kg CO<sub>2</sub>-Äq./t

### 3.3. Umweltbilanz

Aus den Schnittwertangaben aus 3.2 f ergibt sich für das Plasmaschneiden ein Schnittfugenverlust von ca. 365 g/m. Beim Schneiden von Keramik mit der Diamantsäge liegt der Wert in gleicher Höhe (Schnittspalt 3,5 mm). Bei der Wasserstrahltechnologie liegt der Schnittverlust nur bei 124 g/m und beträgt somit nur ein Drittel des Wertes vom konventionellen Schneiden. Somit werden beim Wasserstrahlschneiden 241 g/m weniger Werkstoff aufgelöst. Bei den bisher in den Versuchen geschnittenen 152 m entspricht dies schon 36,63 kg Werkstoff. Wenn man bei Kalenborn zunächst von der einschichtigen Auslastung der Anlage ausgeht, ergibt sich bei 40% effektiver Schnittzeit eine reduzierte Materialverschwendung durch das Schneiden in Höhe von ca. 1 Tonne/Jahr reinem Material:

(90 mm/Min. x 0,4 x 480 Min. = 17.280 cm/d;

17,28 m x 20d x 12 Monate = 4.147 m

4.147 m/Jahr x 0,241 kg = 999 kg/Jahr)

Darüber hinaus hofft Kalenborn die Anlage im Gesamtkontext der Möglichkeiten zukünftig zweischichtig nutzen zu können. Mit einer höheren Auslastung der Maschine ist auch eine noch effektivere Handhabung mit einer Hauptzeit von 50% realistisch. In diesem Betriebszustand wird dann unter bestätigten Betriebsbedingungen eine Einsparung von 2,5 t/a Materialabfall realisiert. Insgesamt kommt man bei einer einschichtigen Auslastung den angestrebten Zielen schon sehr nah und liegt bei zweischichtiger Beschäftigung gut in der Erwartung.

Zusätzlich ist hierbei wieder zu berücksichtigen, dass bei der neuartigen Schneidtechnologie keine Belastungen für den Mitarbeiter durch Emissionen in der Luft entstehen (wurde durch die Umgebungsluftmessung nachgewiesen). Dies gilt für alle Werkstoffe.

Somit ist neben der absoluten Vermeidung von Schnittabfall zusätzlich die Qualität des Abfalls zu berücksichtigen. Wie vorher ausgeführt, geht ein Drittel des Schneidabfalls beim Plasmaschneiden zunächst in die Luft. Auch wenn das meiste Material ordentlich gefiltert und entsprechend entsorgt wird, kann ein Restwert des Materials in der Luft als Belastung festgestellt werden (vergleiche auch 3.2f). Für manche üblichen Trockenschnitt - Verfahren bei Keramiken gilt sinngemäß das Gleiche. Dieser Entfall von Belastungen in der Luft ist ein besonders wertvoller Beitrag für die Entlastung der Umwelt und der Gesundheit der Mitarbeiter, auch wenn die anderen Verfahren durchaus die zulässigen Grenzwerte einhalten können. Beim Trennen von Hartauftragsgeschweißten Platten ist ein zusätzlicher Nutzen das Entfallen der Nacharbeit an den Schnittkanten beim Wasserstrahlschneiden. Insgesamt kann die positive Materialbilanz mit der neuen Schneidtechnologie als konservativ bezeichnet werden. Durch einen entsprechenden Markterfolg kann sich der positive Effekt alleine bei Kalenborn Kalprotect vervielfachen. Durch das Wasserstrahlschneiden wurde zusätzlich die Lärmbelastung für den Mitarbeiter und die Umgebung um ein vielfaches reduziert. Dieser Rückgang macht sich spürbar in den Hallen bemerkbar und sorgt für ein angenehmeres Arbeitsklima und Arbeitssicherheit.

Nachteilig ist die Energiebilanz der Wasserstrahlanlage zu bewerten. Durch den hohen Arbeitsdruck benötigt die Anlage eine Energiemenge von 8 kWh/m während eine Plasmaanlage für die gleiche Schnittleistung nur 1 kWh/m benötigt.

Der Bedarf an elektrischer Energie setzt sich aus der Hochdruckpumpe und der eigentlichen Wasserstrahlanlage zusammen, wobei die Pumpe mit ihrer Anschlussleistung von 37 kW natürlich der Treiber ist. Versuche zur Druckreduzierung bei geringen Materialstärken haben bis zum Projektende zu keiner signifikanten Minderung des Stromverbrauchs der Pumpe gezeigt.

Der Wasserbrauch der Anlage ist zum Großteil auf den Düsendurchmesser zurückzuführen. Als Standarddüse wurde bisher eine 0,3mm Düse verwendet. Weitere

Tests sollen zeigen, ob mit einer kleineren Düse die gleichen Schnittparameter erreicht werden können und damit der Wasserverbrauch gesenkt werden kann.

Die angestrebten Kostenvorteile wurden bei verschiedenen Aufträgen nachgewiesen und haben damit gezeigt, dass die neue Schneidtechnologie wirtschaftlich ist.

Sämtliche Abrasivmengen, die mit Hilfe der Austragsschnecken aus den verschiedenen Becken herausbefördert wurden, konnten als Füllmaterial in Rohren weiterverwendet werden. Dieses war vollkommen unabhängig davon, ob metallische oder keramische Werkstoffe geschnitten wurden.

Insgesamt konnten die Ziele des Projektes somit voll gemäß den Annahmen aus der Beantragung realisiert werden. Kalenborn ist ferner davon überzeugt, dass sich die positiven Auswirkungen durch einen erhöhten Geschäftserfolg weiter steigern lassen. Auch wenn die manchmal deutlichen Vorteile bei der Durchlaufzeit (Wochen zu Tage) und der Machbarkeit von genaueren Bauteilen und der Materialnutzung nicht im Projekt eingerechnet wurden, konnten sie doch in Einzelfällen schon realisiert werden. So konnten Bauteile im Bereich der Übergänge von Geometrien absolut passgenau zugeschnitten und eingebaut werden. Da typischerweise genau in solchen Übergängen in der Kundenanwendung erhöhter Verschleiß stattfindet, tragen kleinere Fugen nachgewiesener Maßen zu einer längeren Standzeit der ausgekleideten Bauteile bei.

#### 3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse

Im Probe- und im angelaufenen Produktionsbetrieb haben sich die angenommenen Schnittwerte bestätigt bzw. konnten leicht verbessert werden und es gab keine signifikanten Abweichungen zu den Annahmen.

In der folgenden Tabelle werden die wichtigsten Schneidparameter für das neue Schneidverfahren dargestellt:

	ABRESIST	KALCOR	KALOCER	KALOCER	KALMETALL W
Materialdicke [mm]	40	30	13	50	10+8
Vorschub [mm/min]	200	70	120	4	75

Es wurden im Vorfeld Schneidmengen bzw. Schneiddauer von verschiedenen Materialien in der laufenden Produktion erfasst. Durch die erzielten Vorschubwerte konnte die Wirtschaftlichkeit der neuen Schneidmethode nachgewiesen werden. Dieses wird beispielhaft am Beispiel vom KALOCER mit der Dicke von 13mm dargestellt.

	13mm	
	konventionell	Wasserstrahl
Pers.-Kosten pro m lt. KKHB [€/m]		
Werkzeugkosten pro m [€/m]	16,96	79,85
Werker-Kosten pro Stunde [€/h]	8,85	
Stunden/Jahr [h]	43	
Vorschub [mm/min]	211,2	74,37
Länge pro Stunde [m/h]		120,00
Gesamtlänge pro Jahr [m]	2,54	7,20
Lohnkosten gesamt [€]	535,47	535,47
Werkzeugkosten gesamt[€]	9081,60	
Gesamtkosten pro Jahr [€/a]	4738,92	
Unterschied	13820,52	5938,53
Ersparnis neue Schneidtechnologie	7881,99	

Dieses wurde für sämtliche Materialien und Anwendungsfälle in den verschiedenen Produktionshallen erstellt und es kam zu folgenden Gruppen die zur Wirtschaftlichkeit der neuen Schneidtechnologie beitragen. Diese sind:

- Ersparnis durch schnellere Schnittleistung des neuen Verfahrens
- Ersparnis durch günstigeres Material
- Ersparnis durch Eigenfertigung bei Stahlsonderteilen
- Ersparnis durch geringere Schneidkosten der Auskleidung bei Stahlsonderteilen

Im Folgenden werden die Ersparnisse noch einmal kurz erläutert:

- Ersparnis durch schnellere Schnittleistung des neuen Verfahrens  
Durch die neue Schneidtechnologie konnten Kosteneinsparungen beim Schneiden von verschiedenen Materialien erzielt werden. Diese Materialien sind hauptsächlich KALOCER und KALCOR in Dicken von 10 – 30mm). Bei weicheren Materialien wurde allerdings deutlich, dass aus rein wirtschaftlicher Sicht das Schneiden mit den konventionellen Schneidverfahren sinnvoller ist.
- Ersparnis durch günstigeres Material  
Diese Ersparnis wurde wirksam, weil durch Wasserstrahlschneiden mit Lagermaterial aus China Kostenvorteile gegenüber bisher gekaufter europäischer Keramik erzielt werden konnten. Dieses war bisher nicht möglich, da keine Bearbeitung bei gesinterter Keramik möglich war.
- Ersparnis durch Eigenfertigung bei Stahlsonderteilen  
Durch die neue Maschine konnten die reinen Stahlsonderbauteile selbst hergestellt werden.  
werden, die bisher teuer zugekauft werden mussten.
- Ersparnis durch geringere Schneidkosten der Auskleidung bei Stahlsonderteilen  
Bei den Stahlsonderbauteilen kommt es zusätzlich zu Ersparnissen im Schneidvorgang der Auskleidung welche hier erfasst wurden.

Im Folgenden wird die Amortisationsrechnung dargestellt:

<b>Gesamtersparnis:</b>	Schnellere Schnittleistung:	42.892 €
	Material Ersparnis:	17.230 €
	Eigenfertigung Stahlsonderbauteile:	14.890 €
	Geringere Schneidkosten Auskleidung Stahlsonderbauteile	1.539 €
	<b>Summe der Einsparungen:</b>	<b>76.551 €</b>
<b>Amortisationsrechnung:</b>	Investitionssumme [€]:	252.000,00 €
	Summe der Einsparungen [€/a]	76.550,70 €
	<b>Amortisationszeit [a]</b>	<b>3,29</b>

Da das zu erwartende Mengengerüst der verschiedenen Einsparpotentiale in den vergangenen Jahren sehr konstant war und in diesem keine signifikante Änderung zu erwarten ist, kann an der konservativen Amortisationsrechnung festgehalten werden.

Da die Möglichkeiten durch die innovative Schneidtechnologie momentan erst in den Markt gebracht werden, ist von dieser Seite noch keine Verkürzung der Amortisationszeit zu erwarten.

Weitere weiche Faktoren, die schwer messbar sind, sind die erhöhte Qualität von Passauskleidungen und der geringeren Lieferzeit. Vereinzelt sind Aufträge bekannt, in denen die sehr kurze Lieferzeit, die durch die Wasserstrahlschneidtechnik realisiert werden konnten, den Ausschlag zu Gunsten von Firma Kalenborn gegeben haben. Diese sind genauso schwer, wie der Faktor Qualität, auf Jahressummen zu beziffern. Deshalb wurden sie nicht in der Amortisationsrechnung berücksichtigt und gelten als Add-On.

Zur Verlängerung der Amortisationszeit kann eine nicht praktikable Lösung des Spannsystems der Rundbauteile (siehe auch Kapitel 3.1) führen. Diese Wahrscheinlichkeit wird allerdings als gering eingestuft.

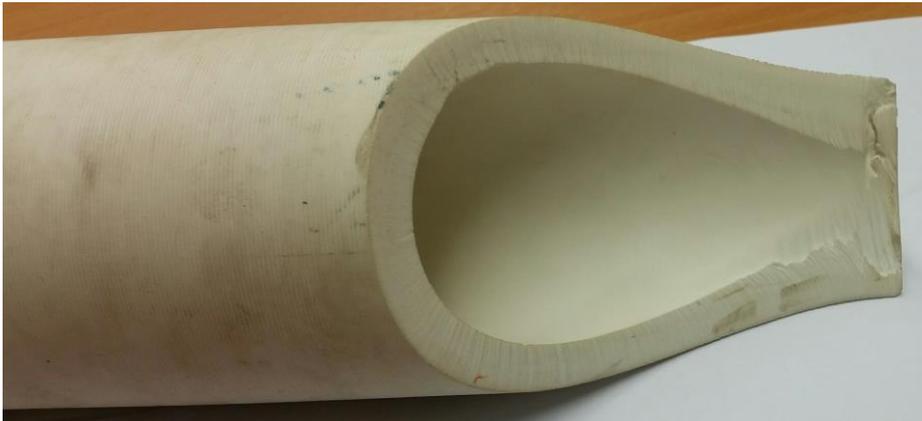
### 3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Mit der eingeführten Technologie ergeben sich verschiedenste technische Vorteile gegenüber dem herkömmlichen Schneiden von verschleißfesten Materialien.

Durch die Einführung der Wasserstrahltechnologie konnten im Einzelfall Vorschub erhöhungen von bis zu 500% gegenüber dem Schneiden mit Diamantsägeblättern erzielt werden. Für das absolute Standardmaterial für Plattenkeramik (13mm) ist eine Erhöhung der Vorschubwerte von 35 mm/Min. bei der Diamantsäge, auf 90 mm/Min. bei der Wasserstrahltechnologie erzielt worden.

Des Weiteren können jetzt Konturen geschnitten werden, die vorher nicht möglich waren und die jetzt in den Markt gebracht werden. Hierzu zählen zum Beispiel elliptische Schnitte und Übergangsstücke in Rundbauteilen.

Das folgende Bild zeigt ein sogenanntes Mundstück, welches bisher nicht im gesinterten passgenau geschnitten werden konnte:



Hier noch ein paar Beispiele für Passgenauigkeiten und Konturen:



Kalenborn –Schriftzug aus Schmelzbasalt (Dicke 30mm)



Kalenborn-Label bestehend aus KALOCER und KALEN (Dicke 10-12mm)

Vorher nicht schneidbare Materialkombinationen (z.B. Sandwichprodukt aus Stahl, Gummi und Keramik) sind jetzt schneidbar und verändern dementsprechend auch deren Fertigungsablauf grundlegend.

Durch die neue Technologie ist das Schneiden der Materialien sehr viel sicherer geworden worden. Der Mitarbeiter kommt nicht mehr direkt mit dem zu schneidenden Material in Berührung und kann nicht durch den eigentlichen Schnitvorgang verletzt

werden.

Durch die Einführung des Schneidens mit verschiedenen Abrasiven kann für jedes Produkt die optimalen Schneidbedingungen eingestellt und erreicht werden, welches in dieser Form bisher noch nicht möglich war.

#### 4. Übertragbarkeit

##### 4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Im Rahmen der Praxiseinführung wurden Schulungen beim Maschinenhersteller (vor Aufbau und Inbetriebnahme), beim Aufbau (in Kalenborn (KK)) und im laufenden Betrieb zum Thema Handling der Maschine durchgeführt. Des Weiteren mussten Schulungen zum Erlernen der CNC-Programmiersoftware durchgeführt werden. Aufgrund der Komplexität der Maschine inkl. Steuerung war der Zeitaufwand relativ hoch. Da es sich bei der WS-Schneidanlage um die erste CNC-Werkzeugmaschine bei Fa. KK handelt, konnte auf kein vorhandenes Fachwissen zurückgegriffen werden. Dieses vereinfachte die Implementierung der Anlage in den Fertigungsprozess nicht, führte jedoch zu einer starken Identifizierung der Mitarbeiter mit der neuen Anlage.

Aufgrund der intensiven Schulung im Vorfeld der Inbetriebnahme (ca. eine Woche beim Maschinenhersteller) konnten die ersten Testschnitte in schnell durchgeführt werden. Eine vollständige Inbetriebnahme des Flachbettes der Maschine wurde im Rahmen der Inbetriebnahme erzielt. Dadurch konnten schnell die ersten Erfolge für laufende Aufträge erlangt werden.

Aufgrund der hohen Komplexität der Anlage mit ihren 6-steuerbaren Achsen und der immensen Produktvielfalt im Hause KK, wird eine vollständige Beherrschung der WS-Anlage noch einige Zeit in Anspruch nehmen. Nach heutigem Stand gehen wir davon aus, dass ein reibungsloser Produktionsablauf bis Ende des Jahres 2016 realisiert werden kann.

Dies bedeutet nicht, dass die Anlage nicht genutzt wird, sondern dass ein fundiertes Fachwissen (gerade in Bezug auf technische Probleme mit der Maschine) erlernt werden muss, was in so einem Projekt vollkommen normal ist. Aufgrund der Erfolge in den ersten Wochen der Nutzung der Anlage, der hohen Motivation der Mitarbeiter und der Realisierung von neuen Möglichkeiten sehen wir uns auf einem sehr guten Weg.

Bei der neuen WS-Anlage mussten viele Randbedingungen (z.B. Zugänglichkeit der Anlage per Kran, Wasserqualität usw.) bedacht werden. Im Laufe des Projektes kamen Probleme auf, die nicht im Vorfeld erkannt wurden (siehe 3.1). Auch diese Probleme sind „normal“ und wurden zügig gelöst.

Diese typischen Probleme bei der Einführung einer neuen Fertigungstechnologie konnten aufgrund der extrem langen Testphase im Vorfeld des Projektes gering gehalten werden.

Im Anbetracht des Umfangs des Projektes und der Ausgangssituation (erste Anlage am Standort, keine geschulten Mitarbeiter usw.) hat der Aufbau, die Inbetriebnahme und der Produktionsanlauf gut funktioniert und wird in den nächsten Monaten weiter vorangetrieben werden.

Bisher kann festgestellt werden, dass die Leistungsdaten aus der Projektphase nachgewiesen / erreicht werden konnten.

#### 4.2. Modellcharakter/Übertragbarkeit (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/der Anlage/des Produkts)

Grundsätzlich kann das Wasserstrahlschneiden mit alternativen Abrasiven bei allen Anlagen zur Anwendung kommen. Sollte bisher kein Abrasiv zum Einsatz gekommen sein, so muss eine Umrüstung des Schneidkopfes und eine Erweiterung der Anlage mit Vorratsbehältern für die Abrasive erfolgen.

Werden Abrasive dem Wasserstrahl zugeführt, so verkürzen sich die Standzeiten der Fokussierrohre und damit erhöhen sich die Betriebskosten der Anlage. Aber aufgrund der mehrfach erhöhten Schnittleistung und der damit erhöhten Produktivität der Anlage, übertreffen die Einsparungen die Mehrkosten. Hierfür muss allerdings das Mischungsverhältnis je nach Härte des Materials angepasst werden. Insbesondere gilt es zu prüfen, inwieweit die jeweilige Anlagentechnologie geeignet ist das Abrasiv in den Wasserstrahl einzubringen, damit die erhöhte Schneidleistung die höheren Schneidkosten überkompensiert und diese Technologie für den jeweiligen Hartstoff wirtschaftlich macht.

Die Technologie ist branchenübergreifend einsetzbar, da sie sämtliche Geometrien und Konturen in bereits gesinterte Standard Rohlinge schneiden kann. Hierbei sind besonders die Bereiche Messtechnik, Maschinenbau und Stahlerzeugung zu nennen

## 5. Zusammenfassung/ Summary

### - Einleitung/Introduction

Die Firma Kalenborn ist ein weltweit führender Experte von Lösungen im Bereich Verschleißschutz und Gleitförderung. Als Hersteller entwickelt, produziert und montiert das Unternehmen mit über 600 Mitarbeitern Verschleißschutzlösungen in industrielle Anlagen. Als Materialien für den industriellen Verschleißschutz werden Schmelzbasalt, Zirkonkorund, Aluminiumoxid- und Siliziumkarbidkeramik verwendet. Zusätzlich zu diesen Materialien kommen noch hartauftragsgeschweißte Bleche und Hartguss zum Einsatz.

Bisher fand die Wasserstrahlschneidtechnologie keine Anwendung im Verschleißschutz. Es war nicht möglich die Materialien wirtschaftlich mit dieser Technik zu schneiden. Bisher wurden die Keramiken in diesem Bereich mit Diamantsägen geschnitten. Dieses war/ist sehr

zeitaufwendig, es sind keine komplexen Geometrien möglich und außerdem nicht ganz ungefährlich für den Mitarbeiter. Bei hart auftragsgeschweißten Blechen kommt das Plasmaschneiden zum Einsatz. Negative Eigenschaften dieses Verfahrens sind die thermische Beeinflussung des Schnittbereichs und der erhöhte Materialverlust auch in Form von Staub und Gas.

Durch das Projekt konnten die bisher verwendeten Trennverfahren in dem beschriebenen Umfang durch das Wasserstrahlschneiden abgelöst werden. Hieraus ergeben sich deutliche Vorteile für Emissionen (Fest, Gas, Staub und Lärm). Dadurch ergeben sich u.a. Vorteile für die Arbeitsplatzbelastung und –sicherheit. Der Anteil der eingesparten Schnittspaltabfälle liegt mit 1-2,5 t/a im Bereich der Projektziele. Verkürzte Durchlaufzeiten und neue Produktmöglichkeiten runden die Vorteile des neuen Verfahrens ab. Nachteil des neuen Verfahrens ist ein höherer Stromverbrauch.

*Kalenborn is a world's leading expert on wear protection and slide promotion. As producer the company with over 600 employees develops, manufactures and installs wear protection solutions in industrial plants.*

*Fused cast basalt, Zirconium corundum, Aluminium oxide- and Silicium carbide ceramic are used as materials for the industrial wear protection. Additionally to these materials hard overlay welded plates as well as hard castings are applied.*

*Up to now the water jet cutting technology was not used for wear protection. It was not possible to cut materials economically using this technology. Ceramics in this area were cut by diamond saw up to date. This was/is very time intensive, no complex geometries were/are possible and further it was/is not non dangerous for employees. For hard welded plates plasma cutting was used. Negative characteristics of this method are thermal influence of the cutting area and high material loss also in the form of dust and gas.*

*The cutting processes used to date were replaced by the water jet cutting as described. Significant advantages for emissions (hard, gas, dust and noise) are one result. Thereby advantages for workplace exposures as well as work safety could be achieved for example. The portion of the reduced kerf waste is in the area of the project goals by 1-2,5 t/a. The advantages of this new technique are rounded by reduced lead times and new product possibilities. Disadvantage of the new technique is an increased power consumption.*

- Technische Umsetzung/Technical implementation:

Im Vorfeld des Projektes wurde versucht, sämtliche Materialien mit der konventionellen Wasserstrahltechnologie zu schneiden und diese Werte wurden als Projektgrundlage genutzt. Daraus wurde eine Wirtschaftlichkeitsrechnung erstellt und Potentiale für die neue Schneidtechnologie eruiert. Zusammen mit der Fa. Perndorfer wurde ein neues Schneidverfahren entwickelt, das zwei Abrasive dem Wasserstrahl zuführt. Dadurch wurde eine bis zu 5-fach höhere Schneidleistung im Vergleich zum herkömmlichen Schneiden

erzielt und damit wurde das Wasserstrahlschneidverfahren für den Verschleißschutz wirtschaftlich. Es wurde eine Maschine entwickelt, die sowohl Rundbauteile als auch Plattenware schneiden kann. Durch die 6-CNC-gesteuerten Achsen sind sämtliche Konturen und Geometrien möglich.

*Previous to the project it was tested to cut all materials with conventional water jet cutting technology and these data's were used as basis for the project. Based on this an economic efficiency calculation was established and potentials for a new cutting technology were investigated. Together with company Perndorfer a new cutting procedure was developed which adds 2 abrasives to the water jet. Thus a 5 times higher cutting performance compared to conventional cutting was achieved and due to that the water jet cutting procedure became economical for wear protection. A machine which is able to cut round tiles as well as plates was developed. Using 6-CNC lead axes all contours and geometries are possible.*

- Ergebnisse/Project results

Grundsätzlich sind sämtliche wirtschaftlichen Parameter aus den Vortests bestätigt worden. Durch die neue Schneidtechnologie entstehen bei dem Schneiden von metallischen Verbindungen keine Chrom-Stäube und kein entsorgungspflichtiger Abfall. Sämtliche genutzten Abrasive werden wie geplant nach dem Schneiden weiterverwendet. Die geplante Vermeidung von Abfall konnte bestätigt werden. Nachteilig ist ein erhöhter Strombedarf. Somit kann das Projekt als positiv bewertet werden.

*Basically all economical parameters of the previous test were confirmed. The new cutting technology does not produce any chromium dusts and no waste which must be properly disposed of in accordance with local regulations. As planned all abrasives are reused after cutting. The planned avoidance of waste can be confirmed. The increased power consumption is disadvantageous. Thus the project can be evaluated positively.*

- Ausblick/Prospects

Grundsätzlich ist die neu entwickelte Technologie auf allen Anlagen anwendbar. Da die erhöhte Schnittleistung des neuen Verfahrens die Mehrkosten durch den erhöhten Verschleiß allerdings nur bei harten Werkstoffen aufwiegt, wird der Einsatzschwerpunkt der neuen Technologie im Bereich der schwer zu schneidenden Materialien liegen. Die neue Schneidtechnologie ist branchenübergreifend einsetzbar.

*Basically the newly developed technology is applicable on all constructions. Due to the fact that the increased cutting performance of the new technique counterbalances the extra expenses caused by higher wear only with regard to hard materials the primary use of the new technology will be in the area of hard cutting materials. The new cutting technology is applicable intersectorally.*

## **6. Literatur**

- Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente  
*<http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>*
- Indikatoren / Kennzahlen für den Rohstoffverbrauch im Rahmen der Nachhaltigkeitsdiskussion  
*<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4237.pdf>*

## **7. Anhang**

Bericht zu Umgebungsluftmessung

Bericht zur Lautstärkenmessung

Messprotokoll zum elektrischen Bedarf

Messprotokoll Wasserverbrauch

Messprotokoll Luftmengenumsatz