

gefördert durch



Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Reduzierung umweltbelastender Stoffe bei der Herstellung eloxierter Aluminiumprodukte durch Einsatz des Mikrosatinierens

AZ 28955

Abschlussbericht



von Thomas Engel & Magnus Godbersen

**Firma: Kühl Eloxal GmbH
 Herner Straße 401
 44807 Bochum**

im September 2013

dieses Projekt wurde durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis von Abbildungen	2
Verzeichnis von Tabellen.....	3
Projektkennblatt.....	4
Zusammenfassung	6
1. Einleitung.....	7
2. Zielsetzung	12
3. Darstellung der Vorgehensweise.....	13
3.1. Konzeption einer Schleuderstrahlanlage (Anlagendesign).....	13
3.2. Ermittlung der Strahlparameter	15
3.3. Strahlen mit Standard- und Speziale Korngrößen	16
3.4. Nachbehandlung mit verschiedenen Beizparametern	16
3.5. Strahlen mit Druckluft.....	16
3.6. Strahlen in der Schleuderstrahlanlage	16
4. Diskussion der Ergebnisse	17
4.1. Druckluftstrahlen	18
4.1.1. <i>Strahlen mit Standardkorngrößen</i>	18
4.1.2. <i>Strahlen mit Speziale Korngrößen</i>	20
4.2. Schleuderstrahlen	22
4.2.1. <i>Rauheiten und Glanzgrade</i>	22
4.2.2. <i>Weitere Untersuchungen</i>	24
5. ökologische, technologische und ökonomische Bewertung.....	26
6. Publikation der Ergebnisse.....	27
7. Fazit.....	27
8. Literaturverzeichnis	28

Verzeichnis von Abbildungen

Abbildung 1 Schematische Darstellung der Schleuderstrahltechnik.....	13
Abbildung 2 Schleuderstrahlanlage	14
Abbildung 3 gestrahlte Aluminiumprofile nach dem Eloxieren.....	17
Abbildung 4 Diagramm mittlere Rauheit Ra in Abhängigkeit von Strahlmittel und Nachbeizbehandlung.....	18
Abbildung 5 Diagramm Rautiefe Rt in Abhängigkeit von Strahlmittel und Nachbeizbehandlung.....	19
Abbildung 6 Diagramm Glanzgrad 85° in Abhängigkeit von Strahlmittel und Nachbeizbehandlung.....	19
Abbildung 7 Diagramm mittlere Rauheit Ra in Abhängigkeit vom Strahlmittel und Stahldruck.....	20
Abbildung 8 Diagramm Rautiefe Rt in Abh. vom Strahlmittel und Stahldruck.....	21
Abbildung 9 Diagramm Glanzgrad 85° in Abhängigkeit vom Strahlmittel und Stahldruck.....	21
Abbildung 10 Diagramm mittlere Rauheit Ra in Abhängigkeit von Verfahrensgeschwindigkeit und Nachbeizdauer bzw. von Turbinenleistung.....	22
Abbildung 11 Diagramm Rautiefe Rt in Abhängigkeit von Verfahrensgeschwindigkeit und Nachbeizdauer bzw. von Turbinenleistung	23
Abbildung 12 Diagramm Glanzgrad 85° in Abhängigkeit von Verfahrensgeschwindigkeit und Nachbeizdauer bzw. von Turbinenleistung.....	23
Abbildung 13 Diagramm Mikrohärtigkeit in Abhängigkeit von der Verfahrensgeschwindigkeit bzw. von Turbinenleistung.....	24
Abbildung 14 Vergleich herkömmlich E6 gebeizte und gestrahlte Eloxaloberflächen in Normalansicht, im Mikroskop und REM.....	25

Verzeichnis von Tabellen

Tabelle 1 <i>Bezeichnungssystem für Vorbehandlung der Oberfläche (DIN17611)</i>	7
Tabelle 2 <i>Systematik der Abfälle</i>	10
Tabelle 3 <i>Strahlmittel der Fa. VULKAN INOX GmbH</i>	15
Tabelle 4 <i>Verbrauchstabelle</i>	26

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	28955	Referat	Fördersumme	112.500,00 Euro
Antragstitel		Reduzierung umweltbelastender Stoffe bei der Herstellung eloxierter Aluminiumprodukte durch Einsatz des Mikrosatinierens		
Stichworte		Eloxal, Beizen, Strahlen		
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)	
2 Jahre	01.03.2011	23.07.2013	1	
Zwischenberichte				
Bewilligungsempfänger		Kühl Eloxal GmbH Herner Straße 401 44807 Bochum	Tel	0 234 / 90393-21
			Fax	0 234 / 90393-26
			Projektleitung Thomas Engel	
			Bearbeiter Magnus Godbersen	
Kooperationspartner				
<i>Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens</i>				
<p>Ziel dieses Projektes war es ein der E6-kompatibles Finish gemäß DIN 17611 durch eine mechanische anstatt einer chemischen Vorbehandlung zu erreichen. Dies ist aus umweltrelevanter Sicht wünschenswert, da hierdurch der Eintrag von Natriumaluminat, Natriumhydroxid und Aluminiumhydroxid in die Abwässer stark vermindert werden kann, sowie signifikante Erhöhung der Energieeffizienz des Eloxierverfahrens erreicht wird.</p> <p>Des Weiteren sollten bisher nicht retuschierbare Oberflächendefekte wie Stegabzeichnungen, Schweißnähte und Fehlstellen entfernt werden können. Daraus ergibt sich eine verbesserte Bauteilqualität und somit ein verminderter Ausschuss.</p>				
<i>Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden</i>				
Um das Einsparpotential der neuen Vorbehandlungsvariante ausreichend darzustellen				
Das Vorhaben gliedert sich in folgende wissenschaftlich - technische Arbeitsabschnitte:				
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Festlegen eines verbindlichen Standards ▪ Erarbeitung eines Lastenhefts und eines Pflichtenhefts für die Anlage ▪ Anlagenbau ▪ Musterherstellung unter verschiedenen Parametern ▪ Umsetzung der optimalen Vorbehandlung in den Produktionsprozess 				
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • http://www.dbu.de				

Ergebnisse und Diskussion

Ausgangspunkt zur Realisierung der neuen Vorbehandlung war der Aufbau einer Schleuderstrahlanlage, die in ihrer Dimension Bauteile zum anschließenden Anodisieren in der bestehenden Prozesskette strahlen kann. Erste Versuche wurden jedoch zur Einsparung von Strahlmittel und aus zeitlichen Gründen mittels Druckluft hergestellt.

Von den eingesetzten Strahlmitteln, Edelstahlkugeln (Chronital®) und Graugusspartikeln (Grittal®) erwiesen sich Siebungen von unter 0,09 mm am geeignetsten.

Im praktischen Einsatz mit der Schleuderstrahlanlage stellte sich die Kombination aus Edelstahlkugeln (0,09 mm), Vorschub 40Hz und Schleuderturbine 30Hz, sowie eine anschließende um 2/3 verkürzte Nachbeizezeit als optimale Parameter zur Herstellung E6 kompatibler Oberflächen heraus. Die verkürzte Nachbeizezeit dient zur Reinigung von Feinstäuben sowie zur Entfernung feiner Grate. Jedoch können alle Parameter individuell auf Kundenbedürfnisse eingestellt werden, so z.B. wenn stark fehlerhaftes Ausgangsmaterial behandelt werden soll.

Von einem Gemisch aus Edelstahlkugeln und Graugusspartikel bestehende Strahlmittel wurde abgesehen, da der hierdurch entstehende Mehraufwand keine wesentlichen Verbesserungen der Oberflächeneigenschaften ergeben hätte.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die durch das neue kombinierte Verfahren aus Strahlen und stark verkürztem Beizen erreichbaren Ergebnisse wurden bereits ersten Kunden als Mikrosatinieren präsentiert und mit großem Interesse entgegengenommen.

Die neue Verfahrensweise wird des Weiteren in einem branchenbezogenen Journal (z.B. Galvanotechnik) und auf der ALUMINIUM 2014 in Düsseldorf präsentiert.

Fazit

Mittels der Mikrosatinieren genannten Verfahrenskombination aus Strahlen mit feiner Edelstahlkugeln und stark verkürzter Beizdauer können seidenmatt Eloxaloberflächen erreicht werden, welche mit herkömmlich E6 gebeizten Oberflächen mindestens vergleichbar sind. Ein wesentlicher Vorteil sind die erzielten homogenen Oberflächen, welche herstellungsbedingte Fehler wie Schweißnähte, Stegabzeichnungen und Ziehriefen, als auch mechanische Schäden wie Kratzer und Einkerbungen stark vermindern.

Durch die stark verkürzte Beizezeit ergeben sich umweltrelevante Einsparungen der Beize (ca. 50%) und der entstehenden Abwasserschlämme (ca. 66%).

Zusammenfassung

Gegenstand der Entwicklung ist die Reduzierung der chemischen Vorbehandlung von Aluminiumbauteilen durch Anwendung eines mechanischen Vorbehandlungsverfahrens zur Erzielung eines E6-kompatiblen Finishs gemäß DIN 17611. Hierzu wird das Strahlen mit feinen Edelstahlkugeln, kurz Mikrosatinieren, genutzt. Aus umweltrelevanter Sicht ist dieses Verfahren wünschenswert, da hierdurch der Eintrag von Natriumaluminat, Natriumhydroxid und Aluminiumhydroxid in die Abwässer stark vermindert werden kann.

Ein weiterer positiver Effekt des Mikrosatinierens ist, dass bisher nicht retuschierbare Oberflächendefekte wie Stegabzeichnungen, Schweißnähte und Fehlstellen entfernt werden können. Daraus ergibt sich eine verbesserte Bauteilqualität und somit ein verminderter Ausschuss.

Die erreichten Oberflächenqualitäten wurden gemäß der in DIN 17611 genannten Untersuchungsmethoden ausgiebig untersucht und sind mit den bislang erreichten Qualitäten kompatibel. Aufgrund der beseitigten Oberflächenfehler besitzen diese sogar verbesserte optische Eigenschaften. Die so hergestellten Bauteile sind somit mit den nach bisheriger Verfahrensweise produzierten ohne qualitative Einbußen verbaubar.

1. Einleitung

Die Verringerung der Umweltbelastung hat heutzutage in nahezu allen Industriezweigen erhöhte Priorität, sowohl aus umweltpolitischen als auch aus finanziellen Gründen. Beim Beizen von Aluminiumwerkstücken sind die wesentlichen umweltbelastenden Faktoren die Emission von Schadstoffen in Gewässer, die Erzeugung von Abfall sowie der Energieverbrauch. Weniger umweltrelevant ist die Emission von Schadstoffen in die Luft.¹

Aluminiumbauteile werden heute zum Erreichen eines verbesserten Korrosionsschutzes als auch aus Designgründen vermehrt eloxiert, d.h. es wird mittels Elektrolyse (Anodisierung) eine Oxidschicht initiiert (elektrolytisch oxidiertes Aluminium), welche auch vor einer abschließenden Verdichtung eingefärbt werden kann. Die durch das Eloxieren von Aluminium und Aluminiumlegierungen erzeugten Oxidschichten sind den natürlichen Oxidschichten hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften, der Korrosionsbeständigkeit und dem dekorativen Aussehen weit überlegen. Gute Korrosionsbeständigkeit gegenüber Industrie- und Seeatmosphäre werden bei Oxidschichten ab ca. 20µm erreicht. Die erzeugte Oxidschicht ist elektrisch nicht leitend.

Um homogene Oxidschichten gestalten zu können, gehen dem Eloxieren immer mechanische oder chemische Vorbehandlungsverfahren gemäß DIN 17611 voraus:

Tabelle 1 Bezeichnungssystem für Vorbehandlung der Oberfläche (DIN17611)

Symbol	Art der Vorbehandlung	Anmerkungen
E0	Entfetten und Desoxidieren	Oberflächenbehandlung vor dem Anodisieren, bei dem die Oberfläche ohne weitere Vorbehandlung entfettet und desoxidiert wird. Mechanische Oberflächenfehler, z. B. Eindrücke und Kratzer, bleiben sichtbar. Korrosionsstellen, die vor der Behandlung kaum wahrgenommen werden konnten, können nach der Behandlung sichtbar werden.
E1	Schleifen	Schleifen führt zu einem vergleichsweise einheitlichen, aber etwas stumpfmatten Aussehen. Alle vorhandenen Oberflächenfehler werden weitgehend beseitigt, aber in Abhängigkeit von der Schleifmittelkörnung können Schleifriefen sichtbar bleiben.
E2	Bürsten	Mechanisches Bürsten bewirkt eine einheitliche glänzende Oberfläche mit sichtbaren Bürstenstrichen. Oberflächenfehler werden nur teilweise entfernt.
E3	Polieren	Mechanisches Polieren führt zu einer glänzenden, blanken Oberfläche, während Oberflächenfehler nur teilweise beseitigt werden.
E4	Schleifen und Bürsten	Durch Schleifen und Bürsten wird eine einheitlich glänzende Oberfläche erreicht; mechanische Oberflächenfehler werden beseitigt. Korrosionsstellen, die bei den Behandlungen E0 oder E6 sichtbar werden können, werden beseitigt.
E5	Schleifen und Polieren	Durch Schleifen und Polieren wird ein glattes, glänzendes Erscheinungsbild erreicht; mechanische Oberflächenfehler werden beseitigt. Korrosionswirkungen, die bei den Behandlungen E0 oder E6 sichtbar werden können, werden beseitigt.
E6	Beizen	Nach dem Entfetten erhält die Oberfläche einen seidenmatten oder matten Glanz, indem sie in speziellen alkalischen Beizlösungen behandelt wird. Mechanische Oberflächenfehler werden ausgeglichen, jedoch nicht vollständig beseitigt. Korrosionseinwirkungen auf der Metalloberfläche können beim Beizen sichtbar werden. Eine mechanische Vorbehandlung vor dem Beizen kann diese Wirkungen beseitigen; es ist jedoch günstiger, das Metall so zu behandeln und zu lagern, dass Korrosion vermieden wird.
E7	Chemisches oder elektrochemisches Glänzen	Nach dem Entfetten der Oberfläche in einem Dampfenfettungsmittel oder in einem nicht ätzenden Reinigungsmittel wird die Oberfläche durch eine Behandlung in speziellen chemischen oder elektrochemischen Glänzbädern hochglänzend. Oberflächenfehler werden nur in begrenztem Umfang beseitigt, und Korrosionseinwirkungen können sichtbar werden.
E8	Polieren und chemisches oder elektrochemisches Glänzen	Schleifen und Polieren mit nachfolgendem chemischen oder elektrochemischem Glänzen. Diese Behandlung führt zu einem hochglänzenden Erscheinungsbild; mechanische Oberflächenfehler und beginnende Korrosion werden im Allgemeinen beseitigt.
ANMERKUNG Bei der Vorbehandlung E0 wird die natürliche Oxidschicht ohne wesentlichen Metallabtrag entfernt. Alle anderen Vorbehandlungen arbeiten mit erhöhtem Metallabtrag.		

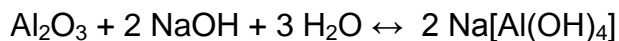
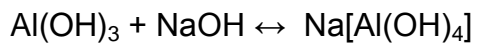
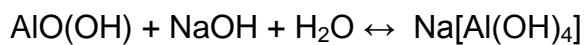
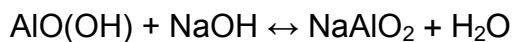
Die mechanischen, chemischen und/oder elektrochemischen Vorbehandlungen dienen dazu, die Oberfläche der Bauteile für die anodische Oxidation vorzubereiten. Hierdurch können bestimmte Oberflächeneffekte erzielt werden.² D.h. sie dienen zum Reinigen der Bauteiloberflächen, zum Entfernen von Oxidschichten (Passivschicht oder fehlerhaft eloxierter Oberflächen) und von Oberflächendefekten, auch technologisch bedingte Gefügeunregelmäßigkeiten, wie Stegabzeichnungen und Schweißnähte. Weiterhin werden bestimmte gewünschte als auch ungewünschte Strukturen geschaffen, wie Schleif- und Bürstspuren. Hierdurch wird ein gleichmäßiges Aussehen der Oberfläche erreicht und durch erhaltene blanke Aluminiumfläche ein reger Ionenaustausch während der Elektrolyse ermöglicht.

Im Allgemeinen werden Aluminiumoberflächen vor dem Anodisieren gebeizt (E6), wodurch gleichmäßig matte und dekorative Oberflächen geschaffen werden, das sogenannte E6- Finish. Aufgrund der amphoteren Eigenschaften kann durch Einsatz von Basen und Säuren die Bauteiloberfläche gebeizt werden. Hierdurch wird die natürlich vorhandene Oxidschicht (Passivschicht) auf der Aluminiumoberfläche entfernt und eventuelle Defekte aus dem Herstellungsprozess in der Oberfläche abgemildert.

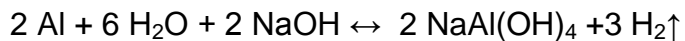
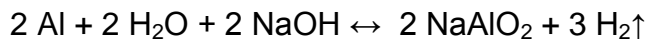
In den überwiegenden Fällen werden die Aluminiumteile in ein Tauchbad mit einer wässrigen Lösung aus Natriumhydroxid (NaOH) eingesetzt. Natriumhydroxid bewirkt einen sehr starken Angriff auf die Oxide, Oxidhydrate und das Grundmetall, der etwa 20mal größer als bei vergleichbaren Säurekonzentrationen ist.³ Aufgrund seiner chemischen Eigenschaften dient die Natronlauge sowohl zum Entfernen von Verunreinigungen wie Fetten und Ölen (E0) als auch zum Einebnen von Oberflächendefekten (E6). In den meisten Fällen laufen diese Prozesse getrennt voneinander ab, da zur Reinigung eine geringere NaOH - Konzentration ausreicht und somit weniger NaOH in das anschließende Spülbecken verschleppt wird. Abhängig vom Gehalt evtl. Legierungsbestandteile des Bauteils oder den zu erzielenden Effekt können aber auch weitere Natriumverbindungen wie Silikate, Karbonate oder Phosphate zum Einsatz kommen.

Für einen optimalen Reaktionsvorgang muss das Tauchbad in einem definierten Temperaturbereich gehalten werden. Dies ist abhängig von der zeitlichen Auslastung des Beizbades, das heißt das Beizbad bei geringer zeitlicher Aluminiumzufuhr erwärmt oder bei sehr hoher zeitlicher Aluminiumzufuhr aufgrund der erhöhten exothermen Reaktion auch gekühlt werden.

Durch den Einsatz von Natronlauge werden die Oxide und Oxidhydrate folgendermaßen umgesetzt:



Außerdem greift die Lauge auch das Grundmetall an:



Das heißt, dass sich als Reaktionsprodukte Natriumaluminat (NaAl(OH)_4) und Wasserstoff (H_2) bilden. Durch Zusatz von Additiven wie z.B. Nitraten oder Nitriten in das Beizmedium kann die Wasserstoffentwicklung gehemmt und der Beizvorgang beschleunigt werden, wodurch das Grundmetall geringer angegriffen wird. Allerdings können durch diese Additive weitere kritische Abfallprodukte wie z.B. Ammoniak entstehen und das Abwasser belasten⁴.

Weiterhin kann es in der Wanne zur sogenannten Steinbildung, einer Ablagerung von Aluminiumhydroxid an den Wannenzwänden und den Heizelementen kommen, was das Arbeiten behindern und die Heizelemente zerstören kann. Dem kann durch Zugabe von Komplexbildnern wie Gluconaten oder Phosphonaten entgegengewirkt werden.

Der Angriff der NaOH- Beize auf die Aluminiumoberfläche bewirkt einen Materialabtrag von bis zu 100 g/m² oder ca. 40 µm. Der Angriff und Materialabtrag erfolgt nicht nur auf den Außenflächen mit dekorativem Anspruch, sondern auch auf den Innenflächen, die unsichtbar bleiben. In Summe beträgt der Materialabtrag damit bis zu 200 g/m² sichtbarer Werkstückoberfläche bzw. 80 µm des Gesamtprofils. Von der abgetragenen Menge ist auch der Beizmittelverbrauch linear abhängig. Dieser Verlust lässt sich relativ problemlos durch Nachdosieren mit Frischbeize kompensieren. Dabei wird ein Al- Gehalt von 20-60 g Al/l angestrebt, um den Beizvorgang besser regulieren zu können³. Jedoch steigt durch den sich bildenden Natriumaluminat- Komplex auch die Viskosität, wodurch der Beizprozess mit der Zeit weniger wirksam wird. Das Beizbad muss in diesem Fall erneuert werden. Weiterhin fällt bei der zunehmend steigenden Aluminiumkonzentration aus dem Beizmedium auch Aluminiumhydroxid aus, das sich als schlammartiger Bodensatz in der Beizwanne niederschlägt.

Kritischer Abfall

Durch den Beizprozess entstehen je nach vorhandener Prozesstechnik verschiedene Abfallarten, welche unterschiedlich entsorgt beziehungsweise behandelt werden müssen:

Tabelle 2 Systematik der Abfälle⁵

<i>Trennung/Behandlung</i>	<i>Abfallcharakteristik</i>
I Abwassertechnische Behandlung: alle Spülwässer, Regenerate, Konzentrate (Fällungsneutralisation mit Kalk und Druckfiltration zur Schlammmentwässerung)	Neutralisationsschlamm: Feststoffgehalt ca. 40 %; Wassergehalt ca. 60 %; Hauptbestandteile im Feststoff: Al, Ca, Sulfat, (Phosphat); Nebenbestandteile: Schwermetalle, Sulfide, adsorbierte organische Stoffe; Abfall zur Beseitigung (ggf. Bergversatz)
II Prozesstechnik ohne Abwasserableitung [19]: Verdampfer für alle Spülwässer (sauer) Verdampfer für alle Spülwässer (alkalisch) getrennte Ableitung der Prozesslösungen (sauer – alkalisch) in separate Stapeltanks; Wiedereinsatz des Destillates als Spülwasser	Flüssige Abfälle (Abgearbeitete Prozesslösungen, Verdampferkonzentrate) Verdampferkonzentrate (sauer) Prozesslösungen (sauer) Hauptbestandteile: Schwefelsäure; Al als Sulfat Prozesslösungen (alkalisch) Hauptbestandteile: Natronlauge; Al als Aluminat Nebenbestandteile: Schwermetalle als Hydroxide und Sulfide (Schwarzschlamm), adsorbierte Organika Abfälle zur Verwertung, Schwarzschlammabtrennung vorher erforderlich, Anwendung von Chrom- oder Oxalsäure schränkt die Verwertbarkeit ein
III Teilströme [17, 18] Prozesslösungen Beizen (E6) Aufkonzentrierte Spülwässer vom Glänzen (Verdampferkonzentrat) Aufkonzentrierte Regenerate von der Retardation beim Anodisieren (Verdampferkonzentrat)	Flüssiger Abfall zur Verwertung; Al als Aluminat: > 150 g/l, NaOH (frei): > 90 g/l, Beizzusatz: 25 g/l, Schwarzschlammabtrennung erforderlich (Abfall zur Beseitigung) Flüssiger Abfall zur Verwertung: Al: ca. 40 g/l, H ₂ SO ₄ : 420 g/l, H ₃ PO ₄ : 720 g/l Flüssiger Abfall zur Verwertung: Al: ca. 30 g/l, H ₂ SO ₄ : 185 g/l

Die verbrauchte Beize und der angefallene Schlamm werden als Abfall entsorgt, wobei Entsorgungskosten entstehen. In Einzelfällen können diese Abfälle direkt in das kommunale Abwassernetz entsorgt werden, da manche Kläranlagen die Abfallprodukte als Fällungsmittel einsetzen können (z.B. das als Phosphatfällungsmittel einsetzbare Natriumaluminatlösung). Wo dies nicht möglich ist haben sich Firmen darauf spezialisiert, die verbrauchte Beize gegen Entgelt bei den Eloxalbetriebe abzuholen und daraus Fällungsmittel für kommunale Kläranlagen herzustellen. Hierzu muss jedoch die Aluminiumkonzentration in der Regel noch erhöht und die Konzentration an Natronlauge abgesenkt werden. Auch lässt man die zunächst schwärzliche Flüssigkeit noch über einige Monate absitzen, um ein klares Produkt zu erhalten. Der aus der Beize ausgefallene Schlamm muss durch die Eloxalbetriebe ebenfalls entsorgt werden. Gewöhnlich wird er deponiert, was mit weiteren Entsorgungskosten verbunden ist. Zusammen stellt die Entsorgung einen erheblichen Kostenfaktor dar.⁶

Ist eine Regeneration oder eine Verwertung der Altbeize in Abwasseranlagen nicht möglich muss diese als gefährlicher Abfall unter den Abfallschlüssel 110105 (saure Beizlösungen) oder 1110106 (basische Beizlösung) entsorgt werden.

All diese Möglichkeiten verursachen hohe Kosten und Energieverbrauch.

2. Zielsetzung

Aufgrund der genannten umweltkritischen Aspekte und Nachteile des bisherigen E6-Beizverfahrens soll mittels eines mechanischen Vorbehandlungsverfahrens eine E6-kompatible Oberfläche erzeugt werden. Es sind schon viele Versuche unternommen worden, Aluminiumoberflächen dekorativ zu strahlen. Bisher waren jedoch dazu nur relativ grobe Strahlmittel als geeignet ermittelt worden und das hierdurch erreichte grobe Finish war jeweils stark abweichend von dem sogenannten E6-Finish, was sich durch chemisches Beizen als europäischer Standard durchgesetzt hat. Weiterhin konnte aufgrund der Aufsplittung des groben Strahlmittels keine dauerhaft gleichbleibende Qualität gewährleistet werden ohne dass das Strahlmittel permanent erneuert musste, was einen erheblichen Kostenanteil verursachte.

Durch ein Mikro-Strahlverfahren, dem *Mikrosatinieren*, und der Anwendung entsprechend kleiner metallischer Partikel soll ein reproduzierbares und E6-kompatibles Finish erzeugt werden können, schließlich müssen gegebenenfalls solche Bauteile gemeinsam mit z. B. E6-gebeizten großflächigen Blechen verarbeitet und gleichzeitig bisher nicht zu entfernende Unregelmäßigkeiten in der Bauteiloberfläche beseitigt werden.

Andere mechanische Oberflächenbehandlungen, wie z. B. Bürsten und Schleifen erzeugen Isotrope, also richtungsabhängige Oberflächenstrukturen und können nur schwer nachträglich in verschiedenen Winkel verbaut werden. Durch das *Mikrosatinieren* gefinishte Oberflächen sind jedoch anisotrop, d.h es ergibt sich ein ohne richtungsunabhängiges Oberflächenfinish.

3. Darstellung der Vorgehensweise

3.1. Konzeption einer Schleuderstrahlanlage (Anlagendesign)

Ein Ziel des Projektes stellt die Durchführbarkeit des Mikrosatinierens mittels einer Schleuderstrahlanlage dar. Bei dem Schleuderstrahlverfahren wird das Strahlmittel einem oder mehreren Schleuderrädern zugeführt, umgelenkt und unter Fliehkraft gleichmäßig auf das Bauteil geschleudert (Abbildung 1). Dieses Verfahren hat in Bezug auf das Druckluftstrahlen eine höhere Strahlleistung bei geringerem Energieverbrauch.

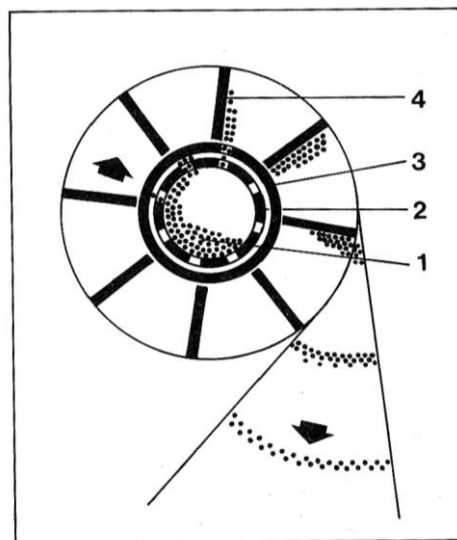


Abbildung 1 Schematische Darstellung der Schleuderstrahltechnik³

- 1 - Strahlmittel
- 2 - Verteiler
- 3 - Einlaufstück
- 4 - Wurfsegment

Die Konzeption, Planung und Realisierung der Schleuderstrahlanlage erfolgte in Zusammenarbeit mit der Fa. VULKAN INOX GmbH im Eloxalwerk der Fa. Kühl Eloxal in Bochum. Hierbei mussten sowohl die örtlichen Gegebenheiten als auch die Strahlbarkeit unterschiedlicher Profile berücksichtigt werden. Die unter Beachtung der erstellten Anforderungen realisierte Schleuderstrahlanlage (Abbildung 2) kann Bauteile mit einer Breite von 800mm, einer Höhe von 300mm und einer Länge 6500mm bearbeiten. Diese Abmessungen sind kompatibel zu den Wannengrößen zur anschließenden anodischen Behandlung.



Abbildung 2 Schleuderstrahlanlage

Zum Strahlen wurden kugelige Edelstahlgussstrahlmittel (CHRONITAL[®]) und kantige Chromgusslegierungen (GRITTAL[®]) der Fa. VULKAN INOX GmbH in verschiedenen Körnungen genutzt (Tabelle 3), da diese Strahlmittel eine erhöhte Bruchfestigkeit besitzen und keine Verunreinigung in die zu behandelte Oberfläche einbringen sollten. Ein Vorteil der kugeligen Edelstahlgussstrahlmittel ist, dass auf Grund der runden Oberflächen ein geringer Materialabtrag stattfindet. Stattdessen findet die Glättung der Oberfläche zu einem großen Teil durch kinetische Einebnung statt. Durch die kantigen Chromgusslegierungen sollten gröbere Unebenheiten und Fehler entfernt werden können. Durch den Impuls des Aufpralls des Schleudermittels können Verunreinigungen, Ablagerungen, Korrosion, Oxidschichten und Anstriche beseitigt werden. Die erzeugbaren Oberflächeneigenschaften (wie z.B. Rauheit, Glanzgrad etc.) hängen vor allen von der Vorschubgeschwindigkeit des zu bearbeitenden Teils sowie der Aufprallgeschwindigkeit, dem Material und der Größe des Strahlmittels ab.

Tabelle 3 Strahlmittel der Fa. VULKAN INOX GmbH

Strahlmittel	Korngröße in mm		
	min 90%	max 5%	
0	< 0,09		} Spezial
1	< 0,09	0,14	
10	< 0,09	0,2	
20	0,09	0,3	} Standard
30	0,14	0,5	
S	Chronital Edelstahlgussstrahlmittel, kugelig		
G	Grittal Chromgusslegierung kantig		

Die wesentlichen Vorteile des Mikrosatinierens liegen vor allem in der problemlosen Integrierung in den bisherigen Verfahrensablauf, da keine neuen Oberflächen geschaffen werden und den geringeren Kosten für Chemikalien und Energie.

3.2. Ermittlung der Strahlparameter

Für die Ermittlung der optimalen Strahlparameter von mikrosatinierten Aluminiumteilen wurden Analysemethoden gemäß DIN 17611 angewandt. Verglichen wurden hierbei herkömmlich gebeizte mit gestrahlten, bzw. „mikrosatinierten“ Aluminiumteilen. Diese Untersuchungen verdeutlichen nochmals die oftmals schon mit bloßem Auge sichtbaren optischen Mängel an Aluminiumprofilen, z.B. Ziehriefen und Stegabzeichnungen, als auch nicht sichtbare Eigenschaften wie Schichtdicke und Langzeitstabilität der erzeugten Oberflächen.

- Optische Beurteilung
 - Charakterisierung der Oberflächen und Querschliffe mittels REM und Mikroskop
- Rauheit
 - Mittlere Rauheit Ra zur haptischen Beurteilung
 - Rautiefe Rt zur Ermittlung der bestehenden Oberflächendefekte (Ziehriefen)
- Glanzgrad
 - Charakterisierung der optischen Erscheinung der erzielten Oberflächen
- Salzsprühtest
 - Untersuchung der Langzeitstabilität in aggressiver Umgebung

3.3. Strahlen mit Standard- und Spezialkorngrößen

Zur Evaluierung geeigneter Strahlparameter wurden die bereits in Tabelle 3 beschriebenen Strahlmittel Chronital und Grittal genutzt. Hierbei kamen sowohl das Standardstrahlmittel 10 mit einer Korngrößenverteilung von mind. 90% unter 0,09mm bis max. 5% 0,2 mm in unterschiedlichen Mischverhältnissen als auch Spezialkorngrößen (0 und 1) unter 0,09 mm, sowie Gemische mit größeren Korngrößen (bis 20) bis zu 5% 0,3 mm zum Einsatz. . Hierbei sollte auch ermittelt werden welches Strahlmittel, bzw –gemisch, Oberflächenfehler am effektivsten eliminieren kann und gleichzeitig die gewünschte samtig- matte Erscheinung erzeugt.

3.4. Nachbehandlung mit verschiedenen Beizparametern

Durch das Strahlverfahren können auf der Oberfläche winzigste Grate und geringe Verunreinigungen entstehen. Um diese entfernen zu können wurden die gestrahlten Werkstücke nachbeizt. Zum einen wurden ein E6 Beizmittel (ca. 60g/l NaOH) welches zur herkömmlichen Beizbehandlung von Eloxalteilen genutzt wird und zum anderen ein E0 Beizmittel, welches herkömmlich zur Vorreinigung von Eloxalteilen genutzt wird, verwendet. Die Unterschiede bestehen darin, dass das E6 Beizmittel auf Grund von zugesetzten Inhibitoren gleichmäßiger, aber auch langsamer wirkt. Da die natürlich vorhandene Passivschicht bereits durch das Strahlen entfernt wurde, konnte die Beizdauer stark verkürzt werden.

3.5. Strahlen mit Druckluft

Als Strahlverfahren zur Ermittlung des optimalen Strahlmittels für das Schleuderstrahlverfahren wurde aufgrund der geringen Probengröße und des somit geringeren Strahlmittelbedarfs das Druckluftstrahlverfahren mit 2 unterschiedlichen Strahldrücken angewandt.

3.6. Strahlen in der Schleuderstrahlanlage

Die vorangegangenen Erkenntnisse wurden zur endgültigen Parameterfindung in der fertig gestellten Schleuderstrahlanlage verwendet. Hieraus wurde eine Auflistung der erreichbaren mikrosatinierten Oberflächen erstellt. Diese Auflistung soll Kunden helfen Oberflächeneigenschaften nach eigenen Vorstellungen auswählen zu können.

4. Diskussion der Ergebnisse

Schon auf dem ersten Blick sind unter den gestrahlten Proben deutliche Unterschiede sowohl in der Optik, als auch in der Haptik auszumachen (Abbildung 3). D.h. es war erkennbar, dass das Strahlmittel S10 (Reihe 1 und 5) eine homogen matte, wenn auch rauere Oberfläche erzeugt. Ein geringerer Druck erzeugte glänzendere Oberflächen.

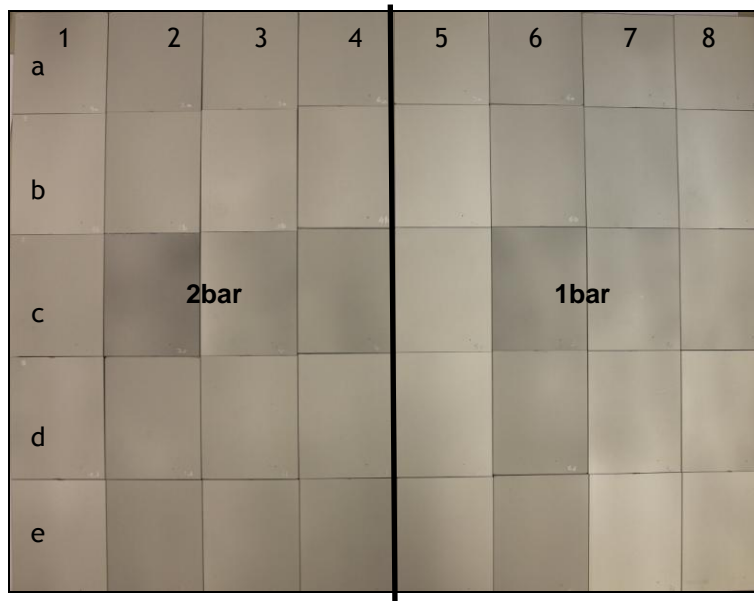


Abbildung 3 gestrahlte Aluminiumprofile nach dem Eloxieren

Um diese Eindrücke quantifizieren zu können, wurden diese in Rauheit und Glanzgrad dargestellt.

4.1. Druckluftstrahlen

4.1.1. Strahlen mit Standardkorngrößen

Die mittlere Rauheit Ra ist ein gutes Instrument, die haptischen Eigenschaften der eloxierten Oberflächen zu bewerten. Wie in Abbildung 4 abgebildet, bewirkt ein niedriger Strahldruck bei 1 bar erwartungsgemäß eine geringere mittlere Rauheit. Die Zugabe von kantigen Strahlgut G10 erhöht trotz gleicher Körnung die Rauheit. Der Grund hierfür ist in dem erhöhten abrasiven Verhalten der Körner zu sehen.

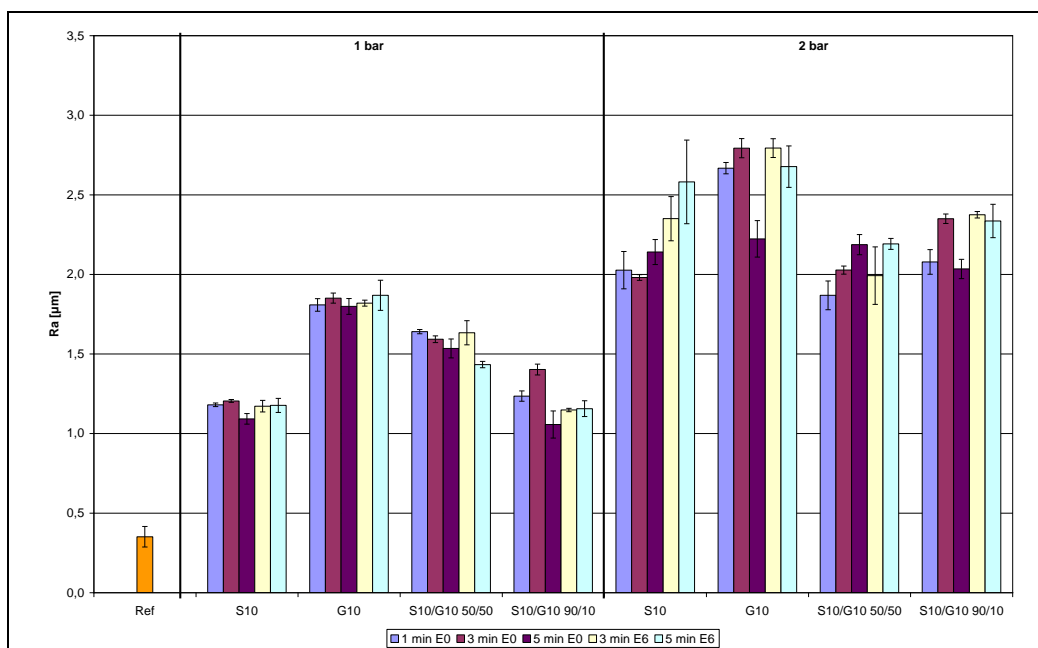


Abbildung 4 Diagramm mittlere Rauheit Ra in Abhängigkeit von Strahlmittel und Nachbeizbehandlung

Die ermittelten Rautiefen (Abbildung 5) beweisen, dass zumindest bei niedrigerem Strahldruck (1 bar), Oberflächenfehler wesentlich besser eliminiert werden können. Dies wird vor allem beim Strahlgut S10 sichtbar. Trotz des höheren abrasiven Verhaltens von G10 wurden jedoch bei gleicher Rauheit mit 10%-iger G10 Beimischung Unebenheiten schlechter entfernt.

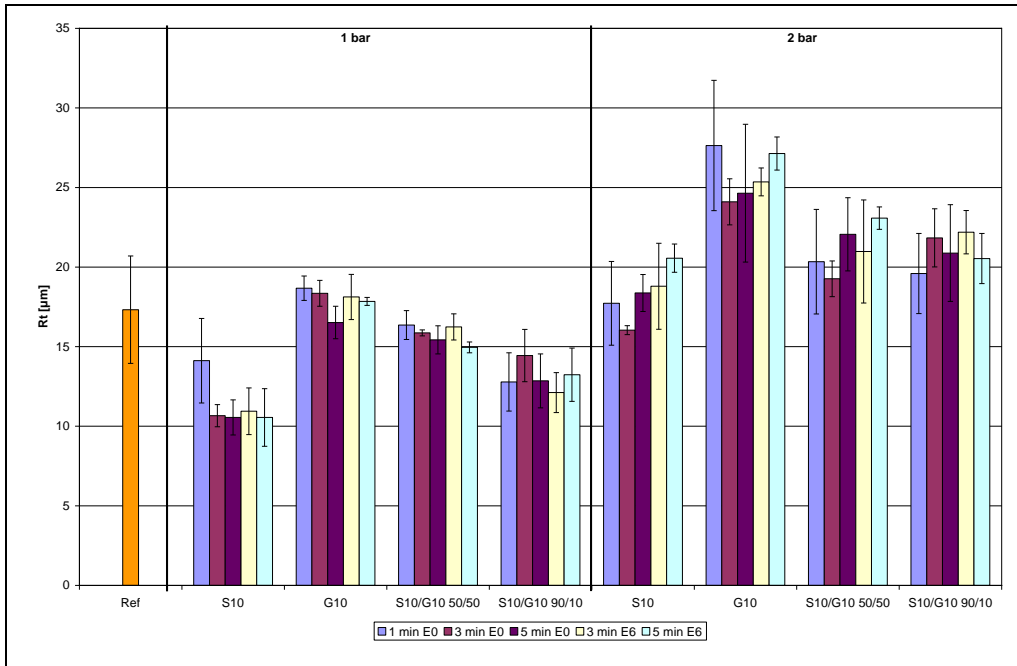


Abbildung 5 Diagramm Rautiefe Rt in Abhängigkeit von Strahlmittel und Nachbeizbehandlung

Der Einfluss des Nachbeizens wird durch Betrachtung des Glanzgrades (Abbildung 6) verdeutlicht. Im Allgemeinen kann gesagt werden, dass eine geringe Rauheit Ra mit einem erhöhten Glanzgrad einhergeht. Jedoch können sich selbst bei geringen Rauheitsunterschieden die Glanzwerte stark unterscheiden, z.B. (S10/G10 50/50 5min E0 und S10/G10 90/10 5min E6). Tendenziell ist jedoch erkennbar, dass mit steigender Nachbeizdauer der Glanzgrad steigt. Dies wurde im weiteren Vorgehen berücksichtigt.

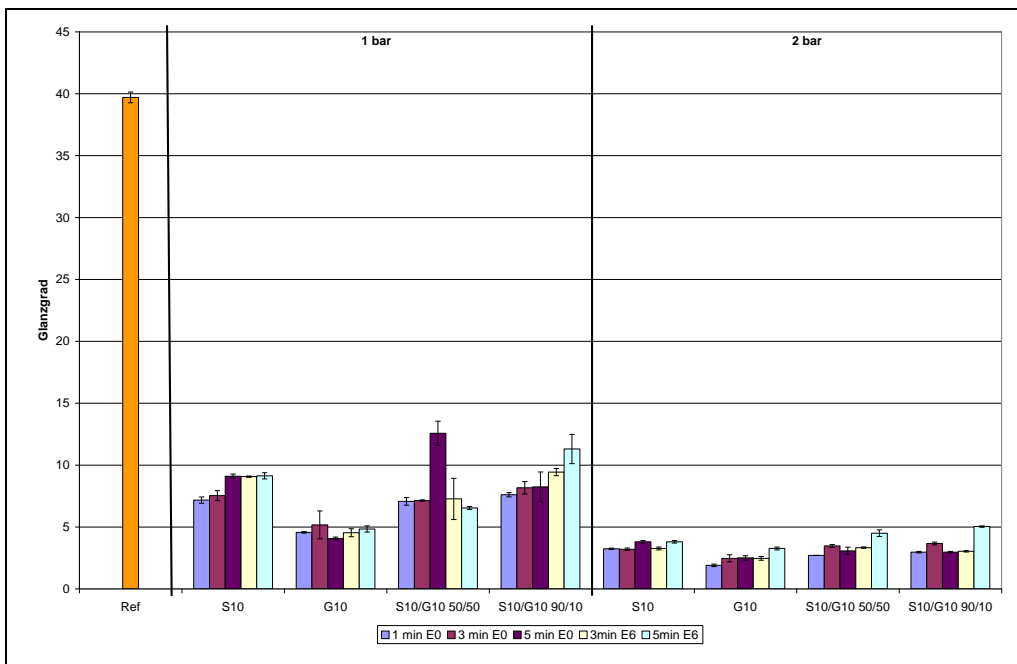


Abbildung 6 Diagramm Glanzgrad 85° in Abhängigkeit von Strahlmittel und Nachbeizbehandlung

4.1.2. Strahlen mit Spezialkorngrößen

Da die Standardstrahlmittel noch nicht die erhofften Oberflächen erzielten, wurden Spezialkorngrößen unter 0,09 mm, sowie Gemische mit gröberen Korngrößen bis zu 5% 0,3 mm (Tabelle 3) genutzt

Die aus den vorhergehenden Untersuchungen erlangten Erkenntnisse wurden für eine weitere Probenreihe verwendet. Somit wurden nur noch Nachbeizzeiten von 5 min genutzt.

Auch in dieser Versuchsreihe zeigt sich, dass mit Abnahme der Korngröße und des Strahldrucks die Rauheit Ra sinkt. Die Zugabe des kantigen Grittal erhöht ab einer Korngröße größer 0,09 mm aufgrund des abrasiven Charakters die Rauheit. Ein wesentlicher Unterschied zwischen E0 und E6 Beize ist nicht auszumachen.

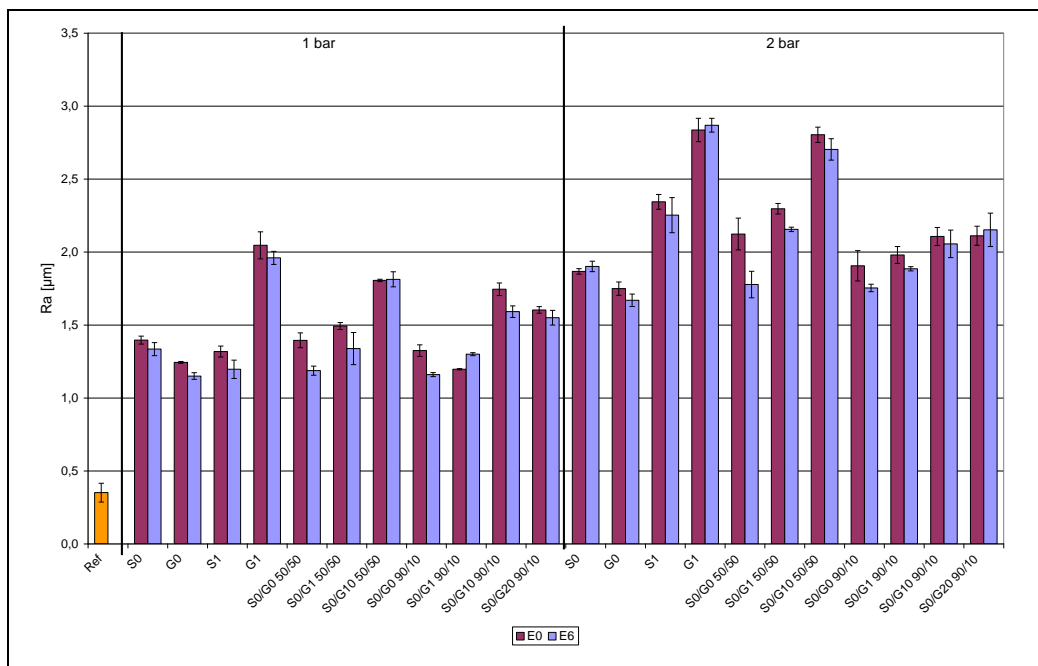


Abbildung 7 Diagramm mittlere Rauheit Ra in Abhängigkeit vom Strahlmittel und Stahl Druck

Jedoch zeigt sich auch bei Untersuchung der Rautiefen (Abbildung 8) und Glanzgrade (Abbildung 9) keine Verbesserung gegenüber den Standardstrahlmitteln.

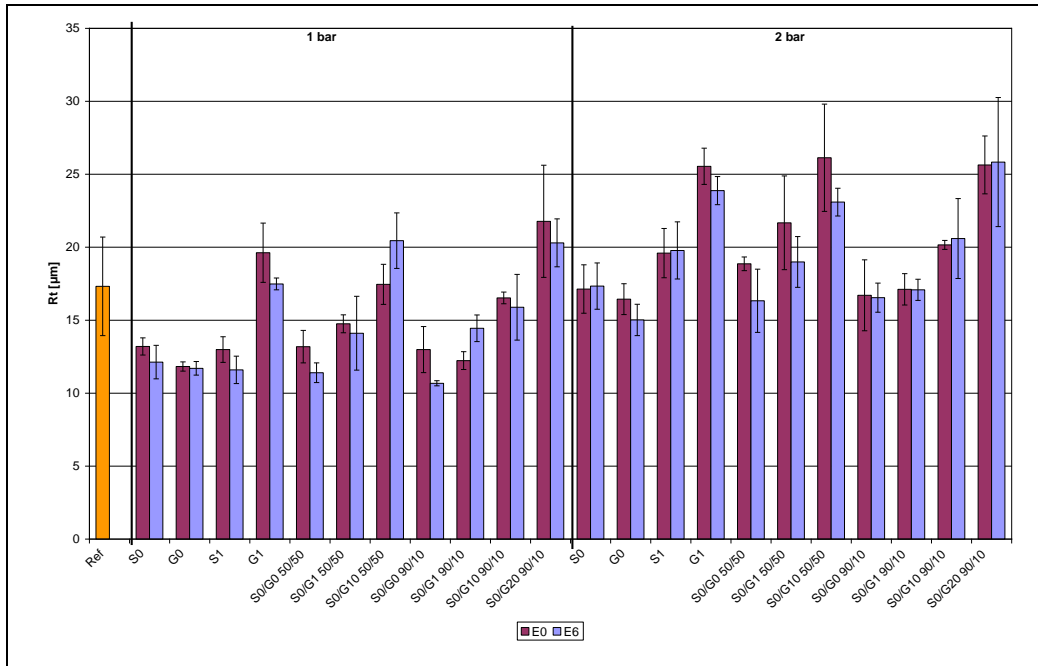


Abbildung 8 Diagramm Rautiefe R_t in Abhängigkeit vom Strahlmittel und Stahlruck

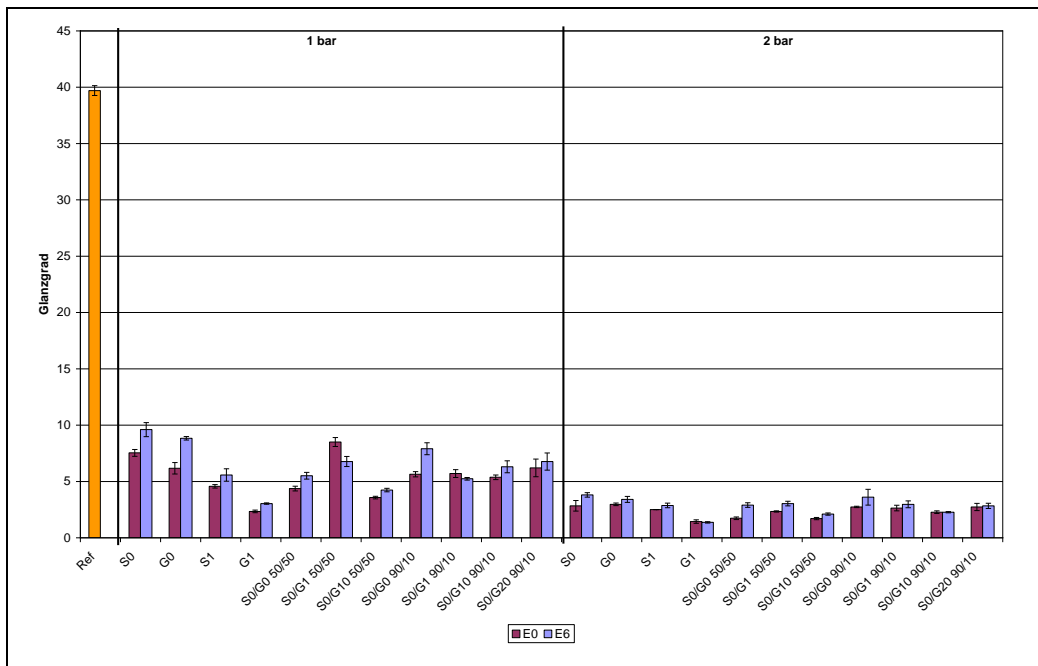


Abbildung 9 Diagramm Glanzgrad 85° in Abhängigkeit vom Strahlmittel und Stahlruck

4.2. Schleuderstrahlen

Da sich im Druckluftverfahren das Standardstrahlmittel S10 etabliert hat, wurde dies für die Schleuderstrahlanlage weiterverwendet. Zwar wurden mit 10%-iger Zudosierung von G10 geringfügig bessere Glanzgrade erzielt, jedoch wurde vorerst hierauf verzichtet, da die Einbringung eines weiteren Strahlmittels in den Strahlmittelkreislauf bei evtl. Uneignung einen sehr aufwendigen Reinigungsprozess der Strahlanlage nach sich zieht.

Zur Parameterfindung wurden die Einstellungen der Anlagen getestet und miteinander verglichen. Dies betraf die Vorschubgeschwindigkeit und die Turbinengeschwindigkeit des Schleuderrades. Vor dem abschließenden Anodisieren und Verdichten wurden die Proben 5-15 min mit herkömmliche E6 Beize behandelt.

4.2.1. Rauheiten und Glanzgrade

Die optische und haptische Voruntersuchung ergab, dass eine Mindestturbinenleistung von 20 Hz zum Erreichen annehmbarer Oberflächen benötigt wird. Dabei zeigt sich das bei allen Vorschubgeschwindigkeiten und Nachbeizzeiten die Rauheit geringer oder gleich der standardmäßig E6 gebeizten Probe ist (Abbildung 10), wobei eine 5-minütige Nachbeizzeit die geringsten Rauheiten erzielt. Eine Erhöhung der Strahlturbinenleistung bis 30 Hz bei der optimalen Vorschubgeschwindigkeit von 40 Hz zeigt eine weitere starke Verringerung der Rauheit gegenüber herkömmlich hergestellten Eloxalproben.

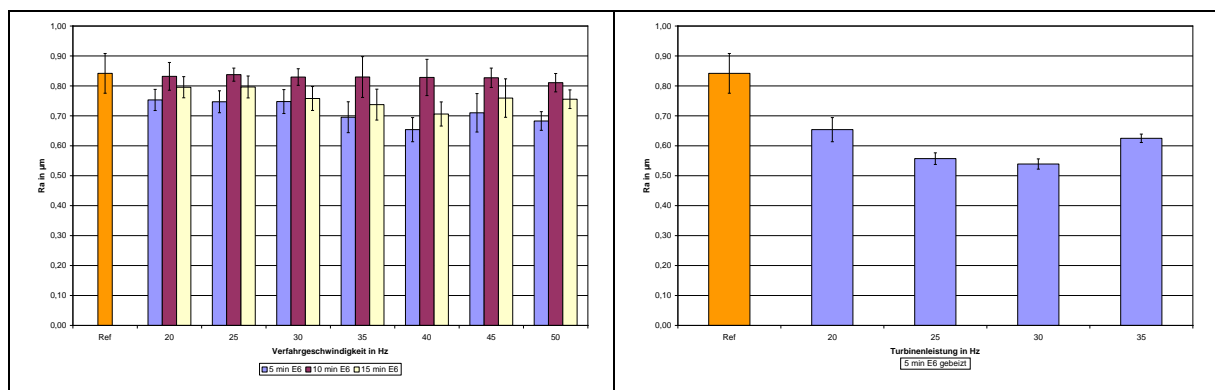


Abbildung 10 Diagramm mittlere Rauheit R_a in Abhängigkeit von Verfahrensgeschwindigkeit und Nachbeizdauer (links) bzw. von Turbinenleistung (rechts)

Oberflächenfehler wurden bei einer Verfahrgeschwindigkeit zwischen 35 und 45 Hz und Nachbeizzeiten von 5 Minuten am besten entfernt (Abbildung 11). Eine Erhöhung der Turbinenleistung auf 25 Hz zeigt bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 40 Hz wesentlich verbesserte Rautiefen.

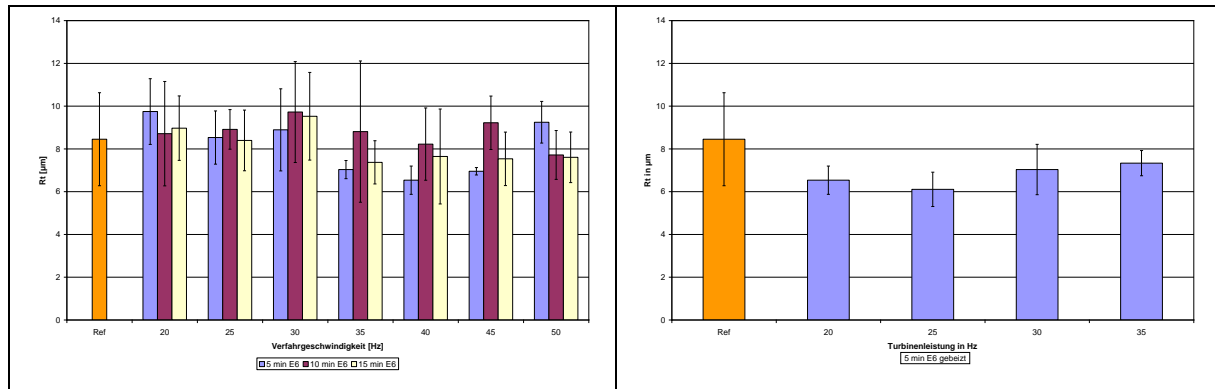


Abbildung 11 Diagramm Rautiefe R_t in Abhängigkeit von Verfahrgeschwindigkeit und Nachbeizdauer (links) bzw. von Turbinenleistung (rechts)

Die Darstellung der erzielten Glanzgrade (Abbildung 12) zeigt, dass mit einer Verfahrgeschwindigkeit ab 40 Hz und 5 min Nachbeizzeit die Bauteile mit herkömmlich produzierten Eloxalbauteilen konkurrieren können. Verbesserte Glanzgrade werden mit einer Turbinenleistung von 25 Hz erreicht, eine weitere Erhöhung führt wiederum zu einem leichten Abfall.

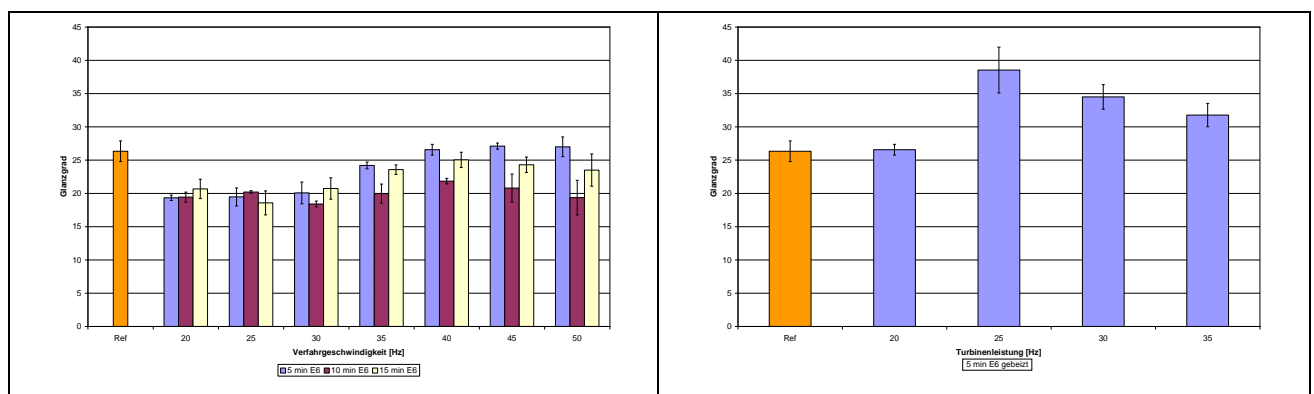


Abbildung 12 Diagramm Glanzgrad 85° in Abhängigkeit von Verfahrgeschwindigkeit und Nachbeizdauer (links) bzw. von Turbinenleistung (rechts)

4.2.2. Weitere Untersuchungen

Neben den haptischen und optischen Eigenschaften wurden auch Untersuchungen zu den nicht auf den ersten Blick erkennbaren Eigenschaften durchgeführt. Hierzu zählen die mikroskopische Oberflächeneigenschaften und Beanspruchungsverhalten.

Hierbei wurde nachgewiesen, dass eine Änderung der Verfah- bzw. Turbinengeschwindigkeit einen eher geringen Einfluss auf die erzielbare Mikrohärtigkeit hat. Die erreichten Härten liegen zwar unter denen herkömmlich E6 gebeizter Oberflächen, sind jedoch mit ca. 400 HV noch immer hervorragend (Abbildung 13).

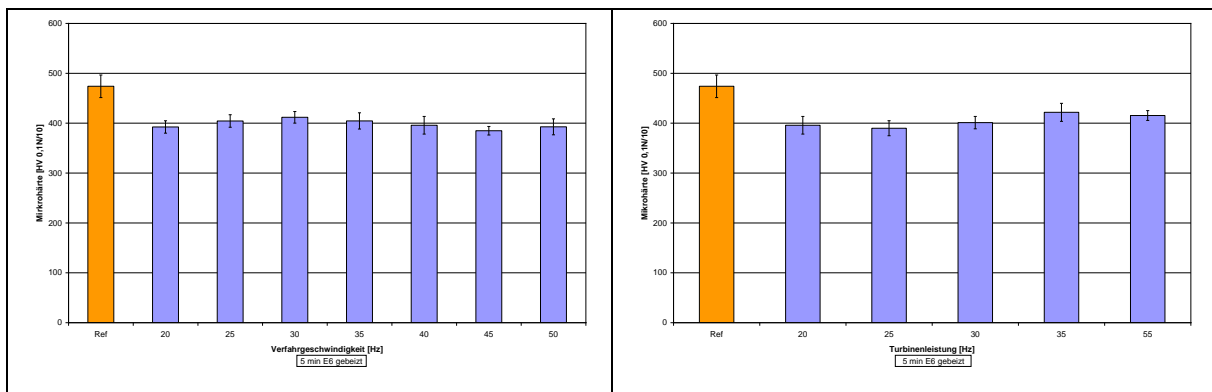


Abbildung 13 Diagramm Mikrohärtigkeit in Abhängigkeit von der Verfahrgeschwindigkeit (links) bzw. von Turbinenleistung (rechts)

Beim mikroskopischen Betrachten der Oberflächen werden eindeutige Unterschiede sichtbar. So sieht man mittels REM Aufnahmen (Abbildung 4), dass herkömmlich E6 gebeizte Bauteile noch deutlich Isotropien zeigen, welche auf den Herstellungsprozess der Profile zurückzuführen sind. Währenddessen erhält man durch kinetisches Satinieren zwar scheinbar rauere, dafür aber homogenere Oberflächen. Auch mittels Lichtmikroskopie erkennt man, dass herstellungsbedingte Fehler (Ziehriefen) durch das Satinieren eliminiert werden konnten.

Im makroskopischen Bereich macht sich dies vor allem durch die optische Reduzierung sogenannten Schweißnähte, aber auch der gleichmäßigeren Reflexion von einfallendem Licht und somit einer verbesserten seiden-matten Erscheinung bemerkbar.

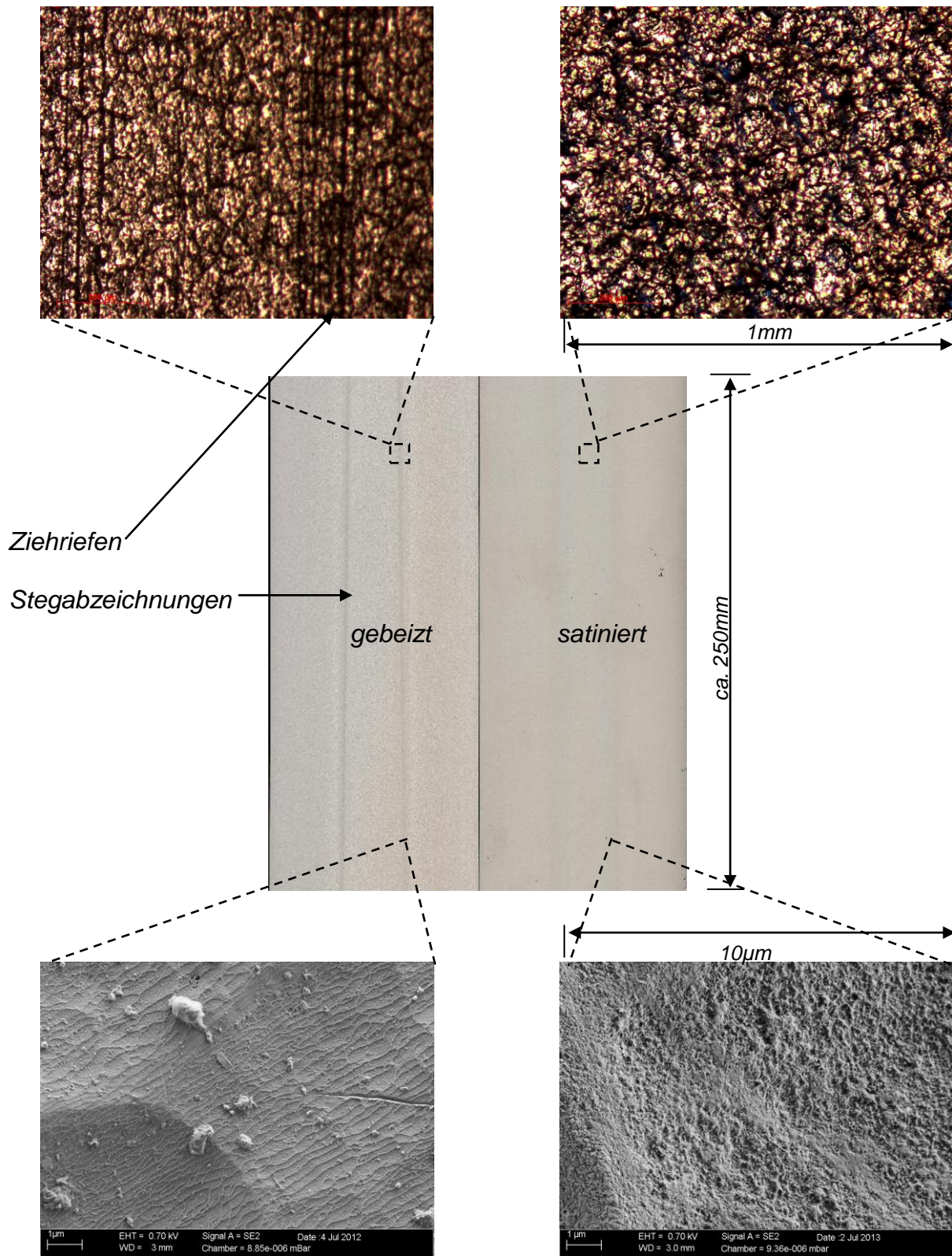


Abbildung 14 Vergleich herkömmlich E6 gebeizte und gestrahlte Eloxaloberflächen in Normalansicht, im Mikroskop und REM

Zur Prüfung des Beanspruchungsverhaltens wurden alle Proben einem 1000-stündigen Salzsprühnebeltest unterzogen. Hierbei stellten sich keine Unterschiede zu herkömmlich vorbehandelten Eloxalproben heraus. Dies spricht v.a. für die Qualität des Anodisiervorgangs und stellt sicher, dass durch die kombinierte Strahl-Beiz-Vorbehandlung eine ausreichende Vorarbeit geleistet wurde.

5. ökologische, technologische und ökonomische Bewertung

Eine Gegenüberstellung (Tabelle 4) der bisher bei der Fa. Kühl Eloxal erreichten Verbräuche mit den durch kinetisches Satinieren erreichbaren, zeigt deutlich das ökologische und ökonomische Potential des kombinierten Verfahrens aus Strahlen und verkürzter Nachbeizen.

Tabelle 4 Verbrauchstabelle

	Entfettung g/m²	NaOH g/m²	Inhibitor g/m²	Wasser l/m²	Aluminium g/m²
gebeizt	6,8	118	4,6	22,4	100
kin. satiniert	0	50	2	10	35

Es lassen sich über 50% der Chemikalien und Wasser einsparen, wobei aufgrund der Geometrien der zu behandelten Teile ein Anteil des Verbrauchs (ca. 10%) der Verschleppung zuzuschreiben ist.

Der Abtrag von Aluminium beim kinetischen Satinieren bezieht sich nur auf die behandelten Oberflächen. D.h. Hohlräume von Profilen und Nichtsichtflächen werden nicht gestrahlt, was eine weitere Verringerung an Abfällen bedeutet. Dies muss auch kundenseitig bei der Bemessung von zu strahlenden Bauteilen mit engen Toleranzen berücksichtigt werden.

6. Publikation der Ergebnisse

Eine Veröffentlichung in einem ein breites Anwenderspektrum erreichenden Journal (z.B. Galvanotechnik) und die Präsentation auf relevanten Messen (z.B. ALUMINIUM) ist geplant, womit das öffentliche Interesse für dieses neuartigen Produkt vor allem auch in Hinblick auf die Kombination aus Strahlen und Beizen gesteigert werden soll. Erste Gespräche mit Kunden fanden bereits statt. Vor allem für bisher schwer oder aufwendig zu behandelten Oberflächen mit vielen und stark sichtbaren Oberflächenfehlern ist das Produkt für potentielle Kunden denkbar, da hierdurch der bisherige Ausschuss stark minimiert werden kann.

7. Fazit

Mit dem Projekt konnte nachgewiesen werden, dass mit einer Kombination aus Strahlen mit feinen Edelstahlkugeln (mind. 90% < 0,09 mm) und einer 5-minütigen E6 Beize Oberflächen erzielt werden können, die mit herkömmlich E6 gebeizten Oberflächen konkurrieren können und in einigen Eigenschaften auch überlegen sind. So sind je nach Verfah- und Turbinengeschwindigkeit Rauheiten von unter 0,6 µm und Glanzgrade von über 35 GE machbar. Als optimale Parameter haben sich hierbei Verfahrgeschwindigkeiten von 40 Hz und Turbinenleistung von 25 Hz ergeben. Dies kann je nach Ausgangsmaterial und gewünschter Oberfläche kundenspezifisch variiert werden. Stark fehlerhafte Oberflächen, z.B. tiefe Kerben oder schadhafte Eloxalschichten, müssen dementsprechend langsamer gestrahlt werden. Hervorragendes Ausgangsmaterial kann aber auch schneller gestrahlt werden. Die kundenseitig gewünschte matte Erscheinung kann unkompliziert mittels der variablen Geschwindigkeiten und der durch das Projekt ermittelten Parameter eingestellt werden.

Durch die mit diesem Prinzip um 10 Minuten verkürzte Beizdauer ergeben sich sowohl aus umweltpolitischer als auch aus finanzieller Sicht weitere Vorteile. Die Standzeit der Beize erhöht sich um mehr als 50% und die Entsorgung der anfallenden Abwasserschlämme verringert sich um 2/3. Die durch das Strahlen anfallenden Aluminium-Stahl-Stäube können als Rohstoff in der Metallurgie, vor allem als Desoxidationsmittel in der Stahlherstellung, verwendet werden.

8. Literaturverzeichnis

¹ Dr. Schubert et al: BREF Entwurf „Behandlung metallischer und nichtmetallischer Oberflächen mit chemischen und elektrochemischen Verfahren“, Umweltbundesamt, 2010

² DIN 17611:2007-11

³ Dr. Raphael Rituper: Beizen von Metallen, Eugen G. Leuze Verlag, Bad Saulgau, 1993

⁴ Brodalla, Dieter et al.: Verfahren und Vorrichtung zum Regenerieren von alkalihaltigen Aluminiumbeizlösungen, WIPO Patent Application WO/1991/014019

⁵ Dr. Matthias Süß: Galvanotechnik 7, Eugen G. Leuze Verlag, Bad Saulgau , 2003

⁶ Heiko Weber: Verfahren zum Betrieb eines Aluminium-Beizbades, WIPO Patent Application WO/2002/097163, 2002