

Schlussbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 18756 N

Thema

Methoden zur Vermeidung der Längspressnahtabzeichnung bei eloxierten Aluminiumstrangpressprofilen

Berichtszeitraum

01.01.2017 bis 30.06.2019

Forschungsvereinigung

Stifterverband Metalle e.V.

Forschungseinrichtung(en)

Institut für Umformtechnik und Leichtbau (IUL, TU Dortmund)
Baroperstr. 303, 44227 Dortmund

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Angewandte Materialien - Werkstoffkunde (IAM-WK)
Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe

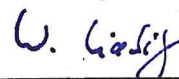
Dortmund 28.11.2019

Oliver Hering (IUL)



Karlsruhe 28.11.2019

Wilfried Liebig (IAM-WK)



Ort, Datum

Name und Unterschrift aller Projektleiterinnen und Projektleiter der
Forschungseinrichtung(en)

Gefördert durch:

Schlussbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 18756 N

Thema

Methoden zur Vermeidung der Längspressnahtabzeichnung bei eloxierten Aluminiumstrangpressprofilen

Berichtszeitraum

01.01.2017 bis 30.06.2019

Forschungsvereinigung

Stifterverband Metalle e.V.

Forschungseinrichtung(en)

Institut für Umformtechnik und Leichtbau (IUL, TU Dortmund)
Baroperstr. 303, 44227 Dortmund

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Angewandte Materialien - Werkstoffkunde (IAM-WK)
Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe

Dortmund 28.11.2019

Oliver Hering (IUL)

Karlsruhe 28.11.2019

Wilfried Liebig (IAM-WK)

Ort, Datum

Name und Unterschrift aller Projektleiterinnen und Projektleiter der
Forschungseinrichtung(en)

Gefördert durch:

Inhalt

1. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse im Berichtszeitraum	3
1.1. Einleitung	3
1.2. Arbeitspaket 1: Systematische Analyse der vorhandenen industriellen Daten- und Wissensbasis (IUL)	4
1.3. Arbeitspaket 2: Untersuchung von Nahtabzeichnungen mit industriellen Bestandswerkzeugen (IUL)	5
1.4. Arbeitspaket 3: Untersuchung mit messtechnisch erweitertem Werkzeug (IUL)	5
1.5. Versuchsaufbau	5
1.5.1. Presswerkzeug	5
1.5.2. Pressparameter	6
1.5.3. Gusschargen	9
1.6. Ergebnisse	10
1.6.1. Sichtprüfung (IUL)	10
1.6.2. Rauheits- und Intensitätsmessung	17
1.6.3. Mikrostruktur / EBSD	19
1.6.4. REM	20
1.7. Abweichung vom ursprünglichen Arbeitsplan	22
1.8. Zusammenfassung und Hinweise zur Vermeidung von Nahtabzeichnungen	24
2. Verwendung der Zuwendung	25
3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	25
4. Nutzen der erzielten Ergebnisse und Beitrag der KMU	25
5. Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft	25
5.1. Durchgeführte Transfermaßnahmen	25
5.2. Geplante Transfermaßnahmen	26
5.3. Einschätzung zur Realisierbarkeit des vorgeschlagenen und aktualisierten Transferkonzepts	26

1. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse im Berichtszeitraum

1.1. Einleitung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden die Auswirkungen der Prozessparameter auf das optische Erscheinungsbild eloxierter Aluminiumstrangpressprofile untersucht. Dabei wird die ganze Prozesskette Stranggießen – Auslagerung – Erwärmen – Strangpressen – Warmauslagern – Eloxieren betrachtet. Das Eloxieren stellt den letzten Schritt der Prozesskette dar und ist ein anodisches Verfahren zur optischen Nachbehandlung der Profiloberflächen.

Für viele Anwendungsbereiche werden stranggepresste Profile mit einem oder mehreren Hohlräumen benötigt, weswegen die Presswerkzeuge mit einem Dorn ausgestattet sind. Dieser Dorn wird über oft mehrere Tragarme gehalten, welche den Stofffluss im Werkzeug aufteilen. Hinter dem Tragarm verschweißt der Werkstoff wieder und es bildet sich eine kontinuierliche sogenannte Längspressnaht (**Bild 1**).

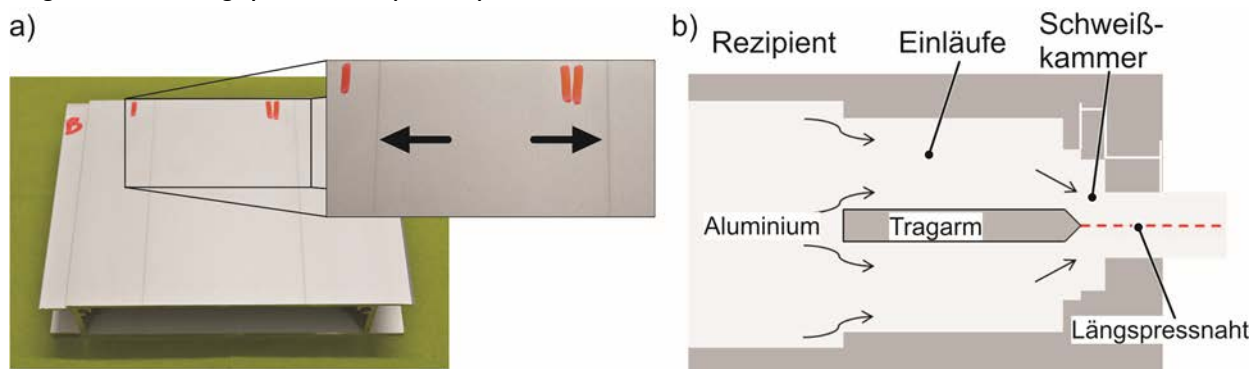


Bild 1: a) Nahtabzeichnungen auf Profiloberfläche (Bsp. von Fa. Gerhardt) b) Entstehung von Längspressnähten

Die Längspressnaht lässt sich unmittelbar nach dem Strangpressen nicht erkennen, sondern wird oft erst im letzten Schritt der Prozesskette dem Eloxieren sichtbar. Die so entstehenden Streifen an der Profiloberfläche, die sogenannten Längspressnahtabzeichnungen, sind ein optischer Mangel. Da derartige Profile oft als Sichtbauteile verwendet werden und zum Beispiel im Fassadenbau verwendet werden, sind Profile mit deutlicher Nahtabzeichnung Ausschuss und die komplette Prozesskette muss neu durchlaufen werden.

Bisher ist der Einfluss der unterschiedlichen Prozessschritte auf die Längspressnahtabzeichnung nicht bekannt. Bei Sichtbauteilen werden die Schweißnähte daher möglichst außerhalb des sichtbaren Bereiches platziert. Ist dies nicht möglich werden unterschiedliche, erfahrungsabhängige, oft nicht zielführende, Methoden zur Anpassung der Presswerkzeuge verfolgt.

Für die wissenschaftliche Untersuchung der Längspressnahtabzeichnungen werden daher zuerst die Erfahrungen der industriellen Teilnehmer gesammelt und zusammengefasst, um eine methodische und zielgerichtete Vorgehensweise zu ermöglichen. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen genutzt werden um zunächst Längspressnähte reproduzierbar zu erzeugen und anschließend Rückschlüsse auf die Prozesskette schließen zu können.

1.2. Arbeitspaket 1: Systematische Analyse der vorhandenen industriellen Daten- und Wissensbasis (IUL)

In dem ersten Arbeitspaket wurden die Erfahrungen der industriellen Projektteilnehmer gesammelt und ausgewertet, um Hinweise auf das Auftreten von Nahtabzeichnungen zu erhalten. Das ursprüngliche Ziel des Arbeitspaketes war die Auswahl von jeweils zwei Strangpresswerkzeugen aus jedem Strangpressunternehmen (Fa. Hueck und Gerhardt), welche für das weitere Forschungsvorhaben verwendet werden sollten. Im Rahmen der ersten Sitzung des projektbegleitenden Ausschusses wurden bereits erste Erfahrungen ausgetauscht. Hier wurde deutlich, dass bislang noch keine standortübergreifenden Untersuchungen oder Vergleiche durchgeführt wurden. Zwar besteht bei allen strangpressenden Unternehmen (Fa. Hueck, Gerhardt und HMT) das Problem der Nahtabzeichnungen, aber auch wenn gleiche Profile an verschiedenen Standort gepresst werden, können Unterschiede hinsichtlich der Längspressnahtabzeichnung auftreten. Bezüglich der Werkzeugkonstruktion gab es schon einige Hinweise der industriellen Teilnehmer, welche Konstruktionsmerkmale häufiger zu Abzeichnungen führen. Daher wurde einstimmig beschlossen, die Entstehung der Längspressnahtabzeichnungen an einem Werkzeug zu untersuchen. Dieses Werkzeug soll im Projektverlauf an den drei Standorten der Strangpressunternehmen Hueck, Gerhardt und HMT verwendet werden und so ausgelegt werden, dass Nahtabzeichnungen provoziert werden und möglichst reproduzierbar auftreten. Die Reproduzierbarkeit wurde als größte Herausforderung gesehen, da bislang keine eindeutige Ursache oder Abhilfe für Pressnahtabzeichnung vorliegt. Die Auswertung der Erfahrungen und Daten der beteiligten Unternehmen wurden in die Entwicklung und Konstruktion des neuen Werkzeuges gesteckt, welches durch Firma Wilke gefertigt wurde. Das Verwenden eines Werkzeuges an drei Standorten war Mehraufwand für Firma Wilke da, neben dem eigentlichen Werkzeug, neue Werkzeughalter für die anderen Unternehmen gefertigt werden mussten.

Die Erfahrungen beziehen sich sowohl auf die Herstellung und Auslagerung der Halbzeuge, die Werkzeugkonstruktion, die Pressparameter, als auch auf die Eloxal-Parameter. Jeder genannte Prozessschritt wird durch mindestens ein Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses abgedeckt. Hier wurden die Erfahrungen der Unternehmen Hueck (Strangguss, Strangpressen, Eloxal-Parameter), HMT (Strangguss, Strangpressen, Eloxal-Parameter), Gerhardt (Strangpressen) und Wilke (Werkzeugbau, Werkzeugnachbearbeitung) gesammelt. Die Unternehmen wurden persönlich besucht und der Austausch fand vor Ort mit beteiligten Personen aus allen relevanten Bereichen statt.

Die Zusammensetzung, Herstellung und Warmauslagerung der Gussblöcke ist ein industriell standardisierter Prozess welcher üblicherweise nicht variiert wird. Eine Auswirkung auf die Abzeichnung der Längspressnähte konnte daher nicht beschrieben werden. Für die Werkzeugkonstruktion konnten einige Einflussfaktoren benannt und quantifiziert werden. Wenn die Einläufe des Strangpresswerkzeuges relativ klein bzw. die Tragarme im Querschnitt relativ groß sind, traten erfahrungsgemäß häufiger Abzeichnungen auf. Auch die geometrische Anordnung der Tragarme führte zu unterschiedlichen Ergebnissen. Sind die Arme im rechten Winkel zur Profiloberfläche angeordnet konnten häufiger Abzeichnungen festgestellt werden als bei schräg stehenden Tragarmen. Da auch die Form der Arme Einfluss auf Abzeichnungen hat, soll dies auch für die Werkzeugkonstruktion berücksichtigt werden. Das verwendete Presswerkzeug wird im Kapitel 1.5 dargestellt.

1.3. Arbeitspaket 2: Untersuchung von Nahtabzeichnungen mit industriellen Bestandswerkzeugen (IUL)

Laut der beantragten Vorgehensweise sollten verschiedene Bestandswerkzeuge genutzt werden. Da die Auswertung der industriellen Daten und der Erfahrungsaustausch mit den Firmen kein eindeutiges Ergebnis geliefert haben und kritische Sichtprofile, welche zu Nahtabzeichnungen neigen, oft mit unterschiedlichen oder schrittweise bearbeiteten Werkzeugen produziert wurden, ist eine eindeutige Zuordnung von Beispielprofilen und Werkzeugen nicht immer möglich. Die größte Herausforderung war daher zunächst reproduzierbar Längspressnahtabzeichnungen zu erzeugen und die Ergebnisse standortübergreifend vergleichen zu können. Daher wurde auf die Untersuchung von Nahtabzeichnungen mit unterschiedlichen industriellen Bestandswerkzeugen verzichtet und es wurde ein neues Presswerkzeug entwickelt und konstruiert. Dieses Werkzeug wurde anhand der gewonnenen Kenntnisse aus dem Erfahrungsaustausch ausgelegt und enthält alle Merkmale die erfahrungsgemäß zu Pressnahtabzeichnungen führen. Die ersten Pressversuche wurde direkt an dem neu entwickelten Werkzeug durchgeführt.

1.4. Arbeitspaket 3: Untersuchung mit messtechnisch erweitertem Werkzeug (IUL)

Alle im Folgenden dargestellten Untersuchungen wurden an demselben Presswerkzeug durchgeführt. Dieses Werkzeug kann mit Sensorik zur Messung der Temperatur ausgestattet werden. Neben den Strangpressunternehmen Hueck und Gerhardt hat Firma HMT ebenfalls angeboten Versuche durchzuführen. Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben musste zusätzlich die Vergleichbarkeit der Pressqualität an unterschiedlichen Standorten untersucht werden. Daher sollten die Pressversuche mit denselben Parametern an unterschiedlichen Standorten durchgeführt werden. Während der Projektlaufzeit konnten durch jeden Pressversuch neue Erkenntnisse gewonnen werden, wodurch der Versuchsplan schrittweise angepasst oder erweitert wurde. Generell wurde dabei aber jedes Mal ein großer Teil der Parameter gleich gewählt um die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Standorte nachzuvollziehen. Die genauen Versuchsdaten werden im Folgenden erläutert.

1.5. Versuchsaufbau

1.5.1 Presswerkzeug

Das Presswerkzeug wurde durch Firma Wilke für die Pressen von Hueck, Gerhardt und HMT angefertigt. Dabei wurden die Erfahrungswerte der beteiligten Unternehmen berücksichtigt und durch die im folgenden beschriebenen Konstruktionsmerkmale umgesetzt.

Zunächst wurden relativ große Arme mit flach zulaufendem Ende gewählt (**Bild 2**). Des Weiteren sind dünnwandige Profile erfahrungsgemäß anfälliger für Nahtabzeichnungen als dickwandige Profile. Hier liegen teils unterschiedliche Erfahrungswerte der Unternehmen vor. Das Werkzeug wurde dennoch so gefertigt, dass eine vergleichsweise geringe Wandstärke erzeugt wurde und lässt sich im Nachgang bearbeiten um größere Wandstärken zu erzeugen.

Das Presswerkzeug wurde mit Kanälen für Temperaturmessungen an fünf verschiedenen Stellen ausgestattet (Bild 2). Eine Temperaturmessung ist in der Industrie nicht üblich und nur begrenzt möglich, da die Zugänglichkeit sehr beschränkt ist. Da hier Pressversuche an verschiedenen Standorten durchgeführt werden sollen und sich der Aufbau der Pressen deutlich unterscheidet, wird die Messung zusätzlich erschwert. In Absprache mit dem Werkzeughersteller Wilke und den

Strangpressunternehmen wurde vereinbart die Kabellage durch das Pressenmaul in Pressrichtung abzuführen.

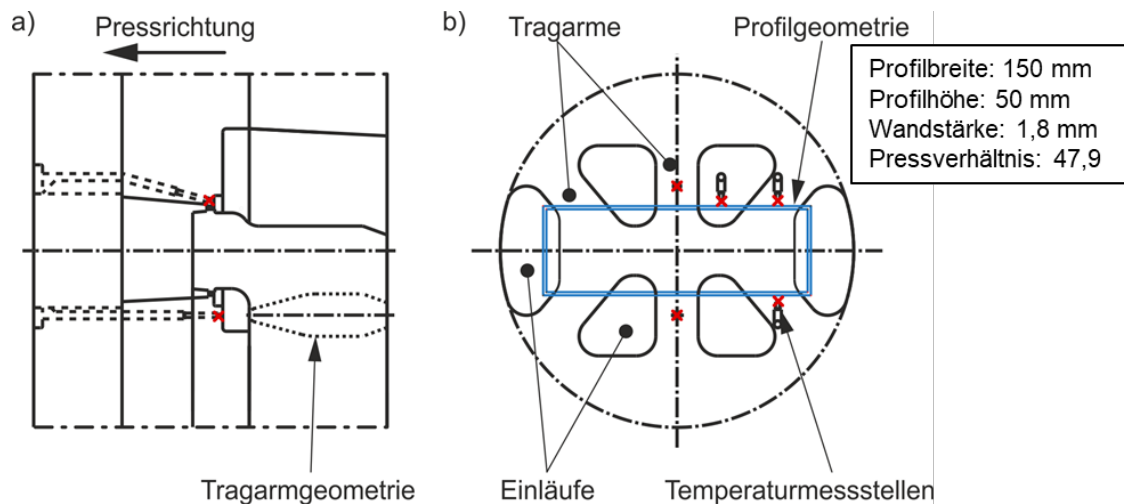


Bild 2: Schematische Darstellung des Presswerkzeugs zur Erzeugung von Längspressnahtabzeichnungen, a) Längsschnitt b) Querschnitt mit Tragarmanordnung

Während der Pressversuche hat sich gezeigt, dass die Temperaturmessung nicht möglich war. Dies liegt im Wesentlichen daran, dass die Pressen in den Strangpressunternehmen eine weitaus schlechtere Zugänglichkeit haben, als Strangpressen welche zu Forschungszwecken verwendet werden. Die industrielle Erwärmung, Zuführung und Platzierung der Presswerkzeuge erschwert die erfolgreiche Temperaturmessung zusätzlich. Des Weiteren wurde vorgesehen, das Werkzeug an verschiedenen Standorten zu nutzen, wodurch keine ideale Messmethode gefunden werden konnte, da jede Presse unterschiedliche Zugangsmöglichkeiten bietet. Beim Laden des Werkzeuges konnten die Thermoelemente nur manuell geführt werden und sollten durch die heiße Presse gelegt werden. Während des Ladens ist es allerdings an keinem Standort möglich, die Kabel ständig festzuhalten. Daher wurden einige Messelemente schon vor Beginn der Versuche gequetscht und somit beschädigt. Ein Abbruch der Versuche war ebenfalls nicht möglich, da die Pressblöcke bereits zum Abruf aufgewärmt wurden und nicht wiederverwertet werden können. Wie die Ergebnisse zeigen, hätten ein längeres Halten der Pressblöcke oder das erneute Aufwärmen zu unterschiedlichen Pressergebnissen geführt. Bei Firma Hueck wurden die Thermoelemente zwischen Druckring und Werkzeug gequetscht. Die bei Firma Gerhards genutzte Presse hat einen rotierenden Mechanismus, welcher das Werkzeug in die Presse lädt. Hier war es nicht möglich die Thermoelemente sicher zuführen. Die Messelemente wurden zwischen dem Rahmen der Presse und dem Werkzeughalter abgeschert. Da das Werkzeug hauptsächlich für die Pressen der Firmen Hueck und Gerhards ausgelegt war, musste bei HMT ein modifizierter Halter angefertigt werden. In Kombination mit dem vorhandenen Werkzeughalter war so kein Platz für die Durchführung der Signalkabel. Alternativ wurde die Temperatur des austretenden Profils mit einem taktilen Thermometer gemessen.

1.5.2 Pressparameter

Die wesentlichen Pressparameter sind die Blockeinsatztemperatur und die Pressgeschwindigkeit. Laut Forschungshypothese haben diese Parameter einen großen Einfluss auf die Längspressnahtabzeichnungen. Der Pressparameter Blockeinsatztemperatur wurden in einem industrieüblichen Bereich variiert. Die größte Variation der Pressparameter wurde bei der

Stempelgeschwindigkeit vorgenommen, da sich diese auch auf die Prozesstemperaturen auswirkt und sich vergleichsweise gut kontrollieren lässt. Die mittlere Stempelgeschwindigkeit von 7 mm/s entspricht dem industriellen Standard für ein derartiges Werkzeug bzw. Profil. Profilabschreckung und Auslagerung der Profile wurde unter konstanten Bedingungen nach industriellem Standard durchgeführt. Nach dem Austritt wurden die Profile aktiv mit Luft gekühlt und anschließend für sechs Stunden bei 185 °C (Wärmebehandlungszustand T66) warmausgelagert. Die anodische Nachbehandlung wird ebenfalls nach industriellem Standard in einer E6 Beize und Eloxalbad C0 EV1 mit einer Schichtdicke von 20 – 25 µm durchgeführt. Das Eloxieren geschieht an zwei Standorten. Ein Teil der Profile wurde im Versuchs-Eloxalwerk der Firma Hueck und der andere Teil später im industriellen Eloxalwerk der Firma HMT eloxiert. **Tabelle 1** zeigt die Parameter der ersten Versuche bei Firma Hueck.

Tabelle 1: Versuchsplan des ersten Pressversuchs (Hueck)

	Blocknr.	Block-temp. °C	Stempel-geschw. mm/s	Profil-temp. °C	Blocknr.	Block-temp. °C	Stempel-geschw. mm/s	Profil-temp. °C		
Charge 1 (homogenisiert)	1	450	4		11	480	4	555		
	2				12			560		
	3				13			580		
	4	450	4	560	14		7	580		
	5			560	15			565		
	6		7	575	16		9	580		
	7			575	17			590		
	8			580	18			590		
	9		9	580	Blocklänge: 750mm, Pressrest: 50mm					
	10			575						

Für die zweiten Pressversuche wurde der Versuchsplan um zusätzliche Werkstoffchargen erweitert, da die Profile der ersten Versuchsreihe keine deutlich sichtbaren Abzeichnungen haben. Die Ergebnisse werden in den späteren Kapiteln dargestellt. Eine Übersicht über die verwendeten Gusschargen folgt in diesem Kapitel. Die zweite Versuchsreihe wurde bei Firma Gerhardt durchgeführt (**Tabelle 2**).

Hier wurde das selbe Presswerkzeug verwendet. Bei den zusätzlichen Versuchen mit den Chargen 2 und 3 wurde ebenfalls die Blockeinsatztemperatur und die Pressgeschwindigkeit variiert. Allerdings wurde hier lediglich die mittlere (7 mm/s) und die hohe Stempelgeschwindigkeit (9 mm/s) verwendet.

Nach dem Eloxieren haben sich bei den Profilen, die aus nicht homogenisierten Gussblöcken gepresst wurden, deutliche Abzeichnungen gezeigt. Da somit gezeigt werden konnte, dass das Ausgangsmaterial einen sehr großen Einfluss auf die Nahtabzeichnungen hat, wurde für die Pressversuche bei Firma HMT eine weitere Charge verpresst. Diese Charge wurde durch HMT bereitgestellt und wich leicht von der zuvor verwendeten Zusammensetzung ab (**Bild 3, Tabelle 4**). Zusätzlich sollte Profilkühlung genutzt werden um die Mikrostruktur der Pressnaht einzufrieren und Rekristallisation zu verhindern. Der Versuchsplan ist in **Tabelle 3** dargestellt.

Tabelle 2: Versuchsplan der zweiten Pressversuche (Gerhardi)

	Blocknr.	Block-temp. °C	Stempel-geschw. mm/s	Profil-temp. °C		Blocknr.	Block-temp. °C	Stempel-geschw. mm/s	Profil-temp. °C
Charge 1 (homogenisiert)	1	450	4		Charge 2 - homogenisiert	1	450	7	
	2					450	7	570	
	3						570		
	4	450	4	560			570		
	5			560		570			
	6		7			575	575		
	7					575	575		
	8					580	580		
	9		9			580	585		
	10			575					
	11	Charge 2 - nicht homogenisiert		1	450	7			
	12		4	2	450	7	575		
	13					575			
	14			7		4	580		
	15				575				
	16		9		6	480	7	580	
	17				580				
	18				590		585		
						9		585	

Tabelle 3: Versuchsplan der dritten Pressversuche (HMT)

	Blocknr.	Block-temp. °C	Stempel-geschw. mm/s	Kühlung	
Charge 1 (homogenisiert)	1	450	3		
	2				
	3				
	4				
	5	450	7	Wasser	
	6				
	7				
	8	450	7		Luft
	9				
	10				
	11				
	12				
	13	480	7	Luft	
	14				
	15				
	16				
	17				
	18				
Charge 2 (homogenisiert)	1	450	3		
	2	450	3		Luft
	3				
	4				
	5	450	9		
	6				
	7				
	8	450	3		Wasser
	9				
Charge 3 (nicht homogenisiert)	1	450	3	Luft	
	2				
	3				
	4				
	5			450	9
	6				
	7				
	8				
	9	450	3	Wasser	
1					
2					
3					
4					
Charge 4 (homogenisiert)	1	450	3	Luft	
	2				
	3				
	4				
	5			450	9
	6				
	7				
	8				
	9	480	3	Wasser	
1					
2					
3					
4					

Pressparameter:
Verwendete Arten der Profilkühlung:
- Aktive Luftkühlung
- Wassernebel
Pressrest: 20 mm
Recken: 0,5 %
Warmauslagerung: T66, 6h bei 185°C
Blocklänge: 750 mm

Pressparameter:

Verwendete Arten der Profilkühlung:

- Aktive Luftkühlung
- Wassernebel

Pressrest: 20 mm

Recken: 0,5 %

Warmauslagerung: T66, 6h bei 185°C

Blocklänge: 750 mm

1.5.3 Gusschargen

Die Auswertung der Pressversuche zeigte, dass die Längspressnahtabzeichnung im Wesentlichen von der Qualität der Gussblöcke und nicht, wie zu Projektbeginn angenommen, von den Pressparametern abhängt. Um zunächst eindeutige Abzeichnungen zu erhalten, wurden die Erfahrungen der beteiligten Industrieunternehmen berücksichtigt, um ein Werkzeug zu fertigen, welches Längspressnahtabzeichnungen erzeugt. Des Weiteren wurden die Pressparameter Blockeinsatztemperatur und Pressgeschwindigkeit in einem weiten Bereich variiert. Sowohl mit dem eingesetzten Presswerkzeug, als auch mit den Pressparametern konnte für die bereitgestellte erste Charge keine deutlich sichtbare Längspressnaht erzeugt werden. Erst durch die Nutzung nicht homogenisierter Blöcke (Charge 3), konnten reproduzierbar deutliche Abzeichnungen erzeugt werden. Somit konnte die wesentliche Hypothese des Forschungsvorhabens, dass die Pressparameter direkten Einfluss auf die Längspressnahtabzeichnungen haben, widerlegt werden.

Um den Einfluss der Legierungszusammensetzung an unterschiedlichen Chargen genauer zu untersuchen und weiterhin die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Presswerke zu überprüfen wurde den dritten Pressversuchen (Tabelle 3) eine weitere Charge hinzugefügt.

Neben den bereits verwendeten Chargen 1-3 wurden durch Firma HMT zusätzliche Pressblöcke EN AW-6060 bereitgestellt. Diese Pressblöcke haben einen leicht erhöhten Anteil an Magnesium, Eisen, Kupfer und Mangan, liegen aber trotzdem innerhalb der Spezifikation für EN AW-6060. Bild 3 und Tabelle 4 zeigen die Ergebnisse einer Funkenspektrographie an mehreren Proben der unterschiedlichen Profile und Pressblöcke.

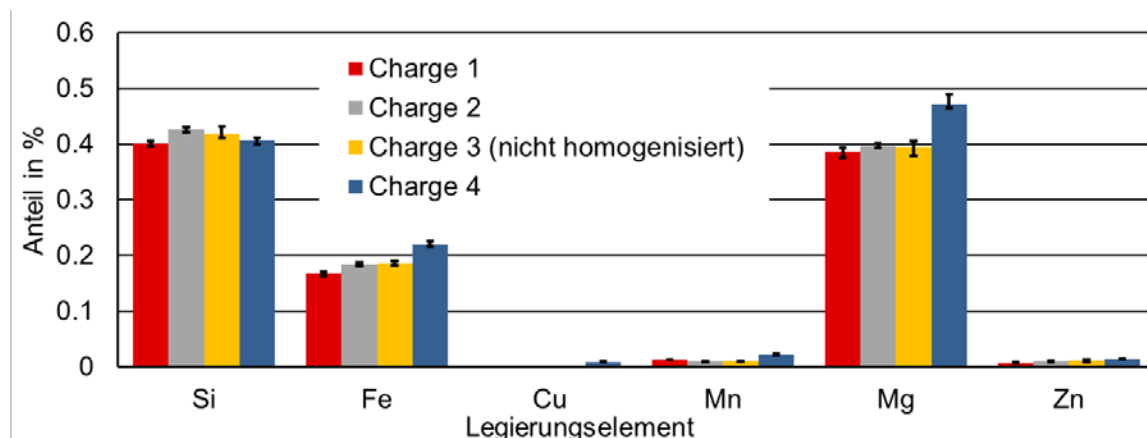


Bild 3: Zusammensetzung der verwendeten Gusschargen

Tabelle 4: Legierungszusammensetzung der Gusschargen

Charge	Legierungszusammensetzung in %											
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	B	Ca	Pb
1	0.401	0.168	< 0.0001	0.01268	0.3858	0.00079	0.0037	0.0075	0.0096	0.0008	0.0011	0.00107
2	0.426	0.184	< 0.0001	0.00925	0.3973	0.00092	0.0011	0.0098	0.0096	0.0007	0.0016	0.00098
3	0.419	0.185	< 0.0001	0.00963	0.3950	0.00098	0.0012	0.0107	0.0095	0.0028	0.0015	0.00092
4	0.407	0.220	0.0089	0.02233	0.4715	0.00378	0.0057	0.0144	0.0114	0.0010	0.0004	0.00238

Um die Mikrostruktur zu untersuchen wurden aus den gegossenen Blöcken Scheiben entnommen, welche in der Gießerei prozesstechnisch nur vor der Homogenisierung entnommen werden können. Die im Forschungsvorhaben verwendeten Gussblöcke wurde bei 585° C für vier

Stunden homogenisiert. Für die Mikrostrukturuntersuchung wurde ein Teil der Gussproben ebenfalls im Versuchslabor homogenisiert und anschließend präpariert, im Barker-Verfahren geätzt und unter polarisiertem Licht mikroskopisch untersucht. **Bild 4** zeigt die unterschiedlichen Mikrostrukturbilder in Pressrichtung für die homogenisierten und nicht homogenisierten Pressblöcke.

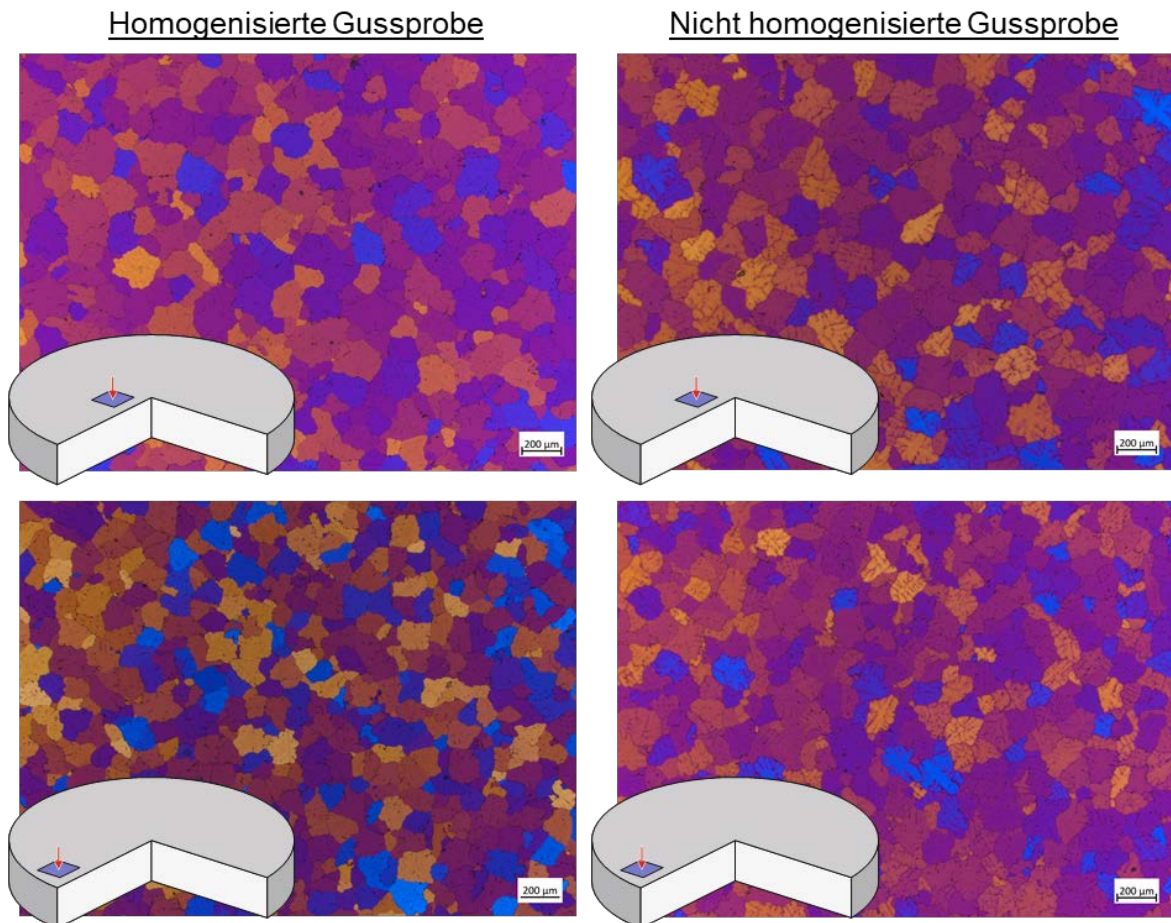


Bild 4: Vergleich des Werkstoffgefüges für homogenisierte und nicht homogenisierte Pressblöcke

Auf den linken Gefüge-Aufnahmen in Bild 4 ist die homogenisierte Gussprobe und auf den rechten Aufnahmen die nicht homogenisierte Gussprobe zu sehen. Es wurden Bilder aus dem Randbereich und der Mitte der Gussprobe entnommen (schematisch gekennzeichnet). In den Mikrostrukturaufnahmen der nicht homogenisierten Proben sind deutliche Ausscheidungen sichtbar, diese lösen sich größtenteils durch die Homogenisierung (links in Bild 4).

1.6. Ergebnisse

1.6.1. Sichtprüfung (IUL)

Untersuchung der Pressparameter (Pressversuche 1)

Aus jedem Profil wurde jeweils eine Probe aus Anfang, Mitte und Ende des Profils entnommen und unter den genannten industrieüblichen Parametern eloxiert. Die Beurteilung der Profile hinsichtlich der auftretenden Längspressnahtabzeichnungen erfolgt durch eine subjektive Sichtprüfung der Profile unter Tageslichtbedingungen. Sind die Schweißnähte aus einem Meter

Abstand sichtbar, so werden die Profile nach industriellem Standard nicht verwendet und gelten als Ausschuss. Nach diesem Verfahren können alle in der ersten Versuchsreihe gefertigten Profile als Gutteile eingeordnet werden und es ist mit keinem Parametersatz gelungen Profile zu erzeugen, bei denen die Schweißnaht entsprechend deutlich sichtbar ist.

Allerdings lassen sich leichte Abzeichnungen erkennen, welche aus industrieller Sicht zwar nicht kritisch sind, aber hier als Einstufung der Profilqualität dienen sollen. **Bild 5** zeigt die Oberfläche einer eloxierten Profilprobe. Hier wurde die selbe Stelle im rechtwinklig und schräg zur Oberfläche fotografiert. Dieses Profil wurde mit einer Blockeinsatztemperatur von 480°C und einer Stempelgeschwindigkeit von 9 mm/s gepresst. Der Nahtbereich ist mit roten Pfeilen markiert.

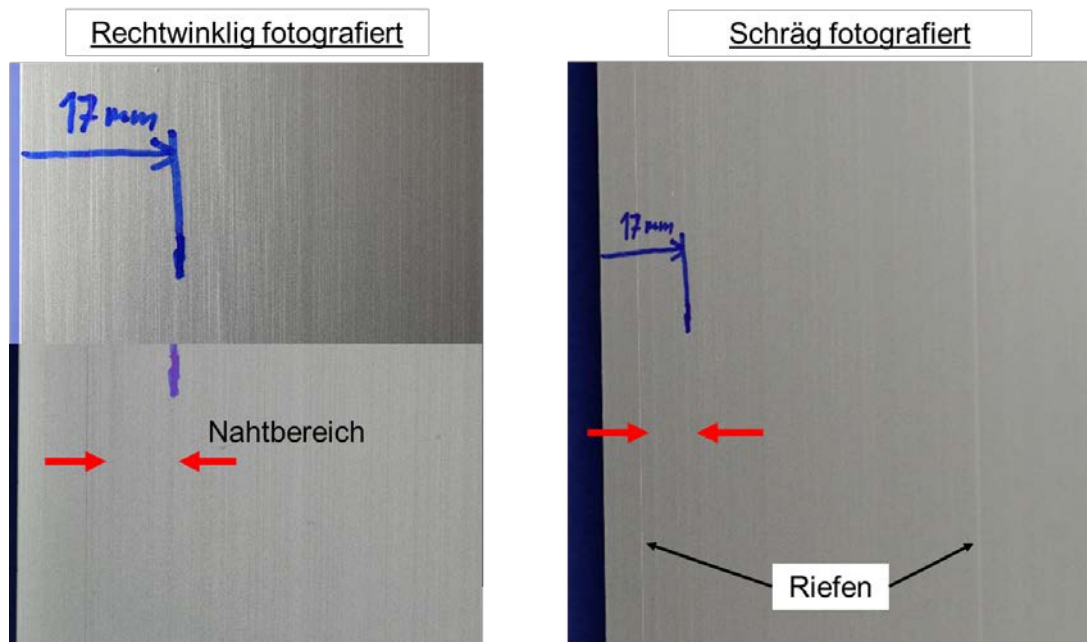


Bild 5: Oberfläche eines eloxierten Beispielsprofils (Versuchspressungen 1)

In diesem Fall kann die Längspressnaht erkannt werden, allerdings wird deutlich, dass eine objektive Bewertung kaum möglich ist. Einerseits ist das Fotografieren der Längspressnaht schwierig und zum anderen ist die Naht auf einem Bild nur schwer von anderen Fehlern, wie beispielsweise Riefen zu unterscheiden. Um die Qualität der Profiloberfläche einzuordnen wurden die Ergebnisse mit einem beispielhaften Schlecht-Teil, welches durch Firma Gerhards bereitgestellt wurde, verglichen. Der Vergleich eines industriellen Schlechtteils mit einem der hier erzeugten Profile zeigt **Bild 6**.

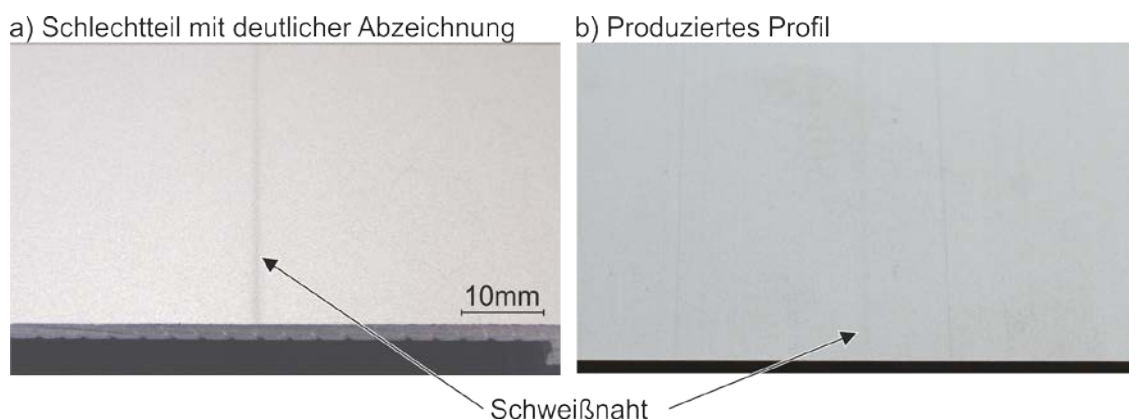


Bild 6: Vergleich eines a) industriellen Schlechtteiles (Bsp. Fa. Gerhards) mit einem b) hier produzierten Profil mit vergleichsweise deutlicher Nahtabzeichnung aus Versuchsreihe 1

Der direkte Vergleich (Bild 6) zeigt den deutlichen Unterschied in der Intensität der auftretenden Nahtabzeichnung. Bild 6 a) ist ein Beispielmuster für ein Schlechtteil, welches nicht im Rahmen des Forschungsvorhabens gepresst wurde, sondern von Fa. Gerhardt zur Verfügung gestellt wurden. Bild 6 b) zeigt eine Eloxalprobe der ersten Pressversuche des Forschungsvorhabens mit vergleichsweise deutlicher Ausprägung der Längspressnahtabzeichnung. Insgesamt konnte eine derartig deutliche Abzeichnung wie im Bildausschnitt a) nicht reproduziert werden.

Da bei den ersten Versuchspressungen dennoch eine Abzeichnung erkennbar ist, wurden die erzeugten Profile hinsichtlich der Intensität der Abzeichnung untereinander verglichen. Jedes Profil hat insgesamt sechs Schweißnähte, je drei an Ober- und Unterseite von denen jeweils eine Naht mit senkrecht stehendem Tragarm und je zwei mit schräg stehendem Tragarm erzeugt wurden (vgl. Bild 2). Des Weiteren werden die unterschiedlichen Pressparameter, Blockeinsatztemperatur und Pressgeschwindigkeit miteinander verglichen und für jede Nahtposition in den folgenden Diagrammen aufgetragen. **Bild 7** zeigt die Auswertungen der mittleren Längspressnähte in Abhängigkeit der Stempelgeschwindigkeit, Blockeinsatztemperatur, Position im Profil und Profilnummer (P1 – P12), wobei zwei Profile pro Einstellung gepresst wurden (Tabelle 1). Jeder dreiteilige Balken entspricht dabei einem Profil.

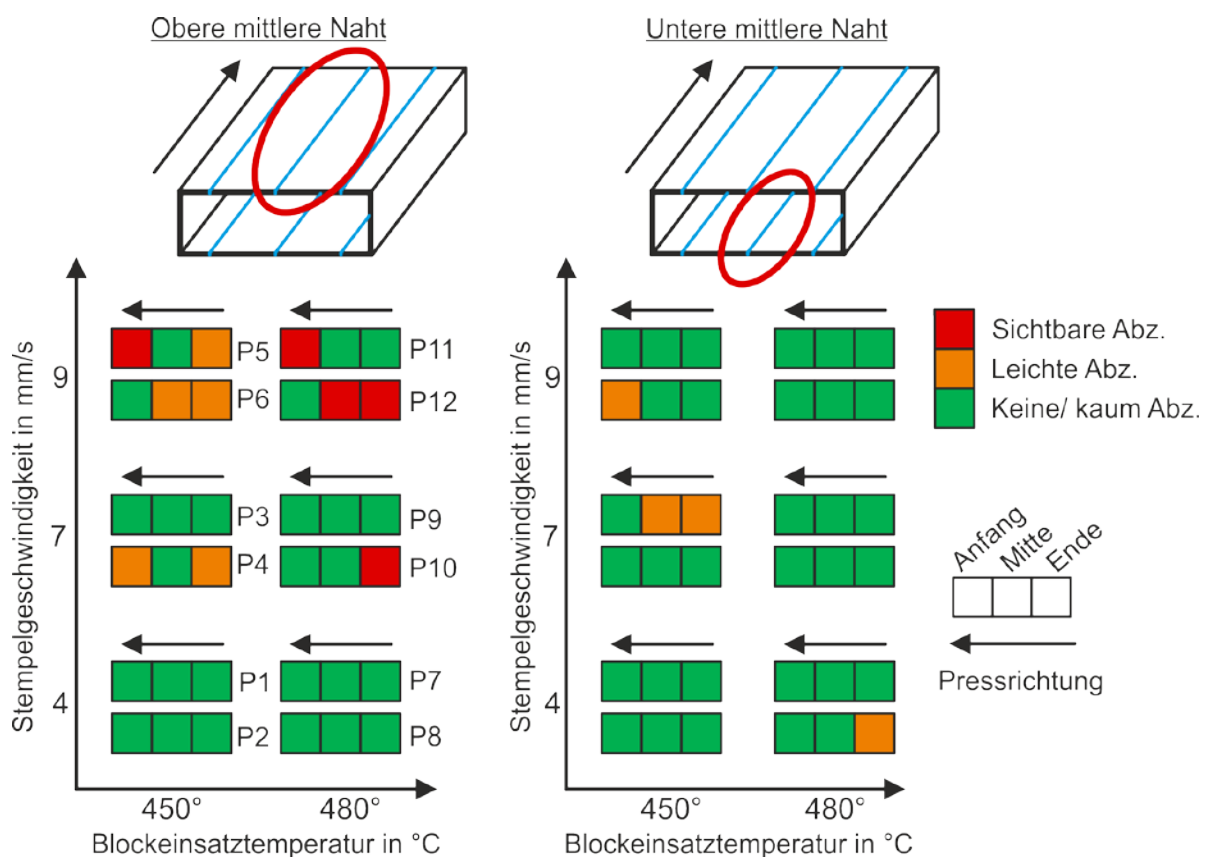


Bild 7: Einordnung der Intensität der Nahtabzeichnungen für die mittleren Schweißnähte an Ober- und Unterseite (Versuchsreihe 1)

Hier lässt sich eine Tendenz zur deutlicheren Ausprägung der Abzeichnung bei hohen Stempelgeschwindigkeiten erkennen. Des Weiteren sind die Abzeichnungen an der Unterseite des Profils deutlich geringer. Dies lässt sich auf einen Temperaturunterschied zwischen Ober-

und Unterseite des Werkzeuges zurückführen. Da das Werkzeug üblicherweise unten auf dem Pressenrahmen aufliegt, wird die Wärme hier besser abgeführt.

Neben den mittleren Nähten, werden auch die seitlichen Nähte mit schräg stehenden Tragarmen untersucht. Da die jeweils linke und rechte Naht symmetrisch angeordnet und die Tragarmgeometrien identisch sind, wird ein gleiches Ergebnis bezüglich des optischen Erscheinungsbildes erwartet und die linken und rechten Nähte werden in **Bild 8** zusammen aufgeführt. Generell lässt sich eine ähnliche Tendenz erkennen. Die Intensität der Pressnahtabzeichnung ist mit zunehmender Profilgeschwindigkeit und Blocktemperatur höher. Im Gegensatz zu den mittigen Schweißnähten, tritt die Nahtabzeichnung hier an Ober- und Unterseite beinahe gleichermaßen stark auf. Allerdings wird deutlich, dass das Erscheinungsbild der jeweils linken und rechten Naht unterschiedlich ausfällt, obwohl alle Zustandsgrößen identisch sind. Dies unterstreicht das generelle Problem der unzureichenden und nur subjektiven Auswertung durch die insgesamt sehr geringe Intensität der Nahtabzeichnung.

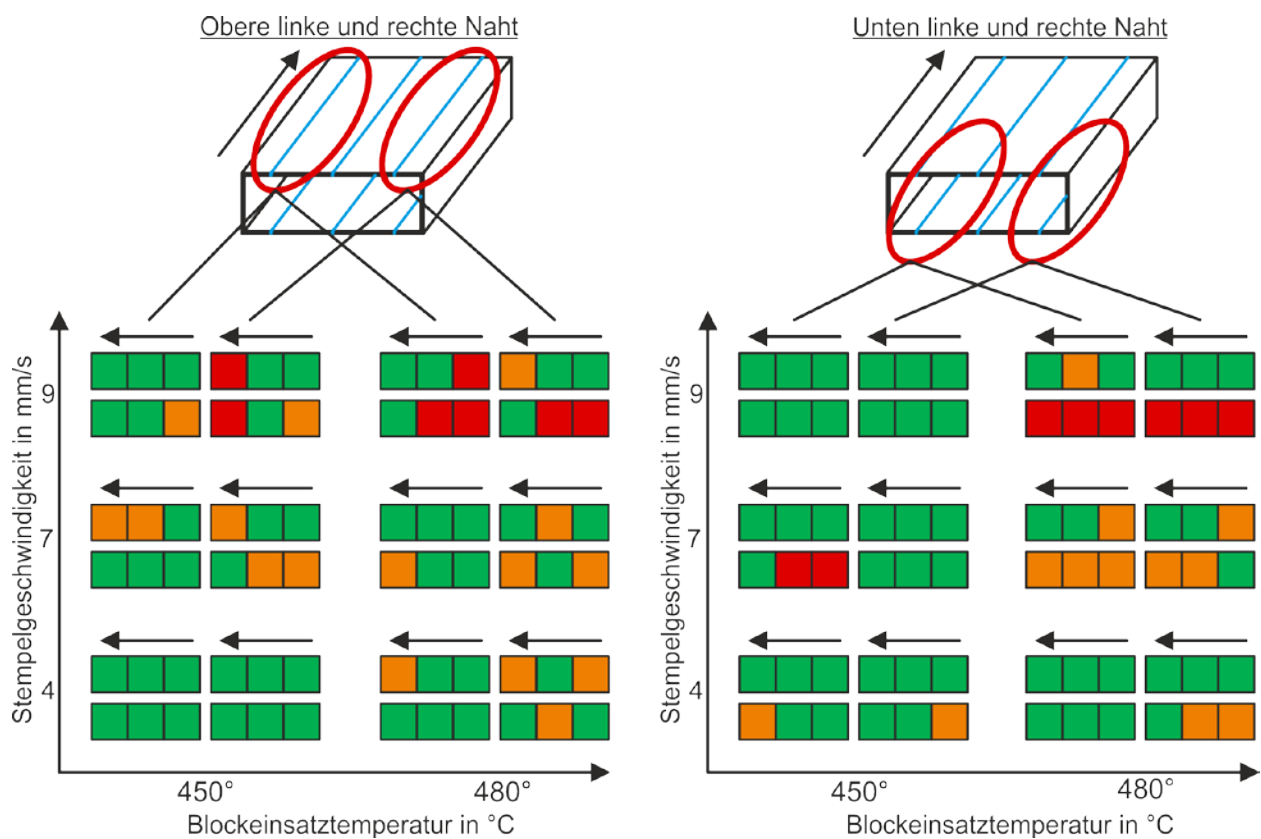


Bild 8: Einordnung der Intensität der Nahtabzeichnungen für die linken und rechten Schweißnähte an Ober- und Unterseite (Versuchsreihe 1)

Um hier eindeutige Ergebnisse zu erhalten wird im nächsten Schritt der Einfluss der Qualität der Halbzeuge und die Länge des Pressrestes auf die Nahtabzeichnungen mit einbezogen und untersucht.

Untersuchungen homogenisierter und nicht homogenisierte Pressblöcke (Pressversuche 2)

Da durch die bisherigen Untersuchungen kein eindeutiger Zusammenhang zwischen den Pressparametern und den Abzeichnungen festgestellt werden konnte, wurde im Folgenden die Qualität der Gussblöcke untersucht. Für die hier betrachteten Profile wird die Aluminiumlegierung

EN AW-6060 verwendet, wobei die Spezifikation der Gießerei HUECK hinsichtlich der Legierungszusammensetzung deutlich enger als die DIN EN 573-3 ist. Nach den Erkenntnissen der ersten Pressversuche wurde durch den projektbegleitenden Ausschuss daher beschlossen, zusätzlich Pressblöcke einer minderen Qualität zu verwenden. Durch die Gießerei ist es allerdings nicht, bzw. nur unter enorm hohem Aufwand möglich Blöcke zu liefern die außerhalb der Spezifikation liegen. Allerdings konnte durch Firma HUECK eine zusätzliche Charge EN AW-6060 mit homogenisierten (Charge 2) und nicht homogenisierten Blöcken (Charge 3) bereitgestellt werden. Zwar ist hier die Zusammensetzung der Legierung gleich, allerdings unterscheidet sich die Mikrostruktur der Pressblöcke ohne Homogenisierung deutlich von den Blöcken, welche homogenisiert wurden (Bild 4).

Für die Auswertung der strangpressten und eloxierten Profile existiert keine objektive Möglichkeit zur Bewertung. Die Längspressnahtabzeichnungen lassen sich zwar generell durch Sichtprüfung erkennen, allerdings ist der Unterschied im Glanzverhalten so gering, dass eine Auswertung mittels Fotografie und Bildbearbeitung oder automatischer Bildauswertung nicht eindeutig möglich ist. Dies liegt zum einen daran, dass die Längspressabzeichnungen mit unterschiedlich einfallendem Licht unterschiedlich stark sichtbar sind und sich außerdem nur geringfügig von anderen Prozessfehlern wie beispielsweise Riefen unterscheiden. Bei den Profilen die aus homogenisierten Pressblöcken erzeugt wurden, sind die Nahtabzeichnungen nur sehr leicht erkennbar und können aus industrieller Sicht als Gutteile bezeichnet werden. Diese Ergebnisse decken sich mit den Ergebnissen der ersten Versuchspressungen. **Bild 9** zeigt vergleichend die Abzeichnung für homogenisierte Pressblöcke mit geringer Geschwindigkeit und Blockeinsatztemperatur (Bild 9 a) und hoher Geschwindigkeit und Blocktemperatur (Bild 9 b).

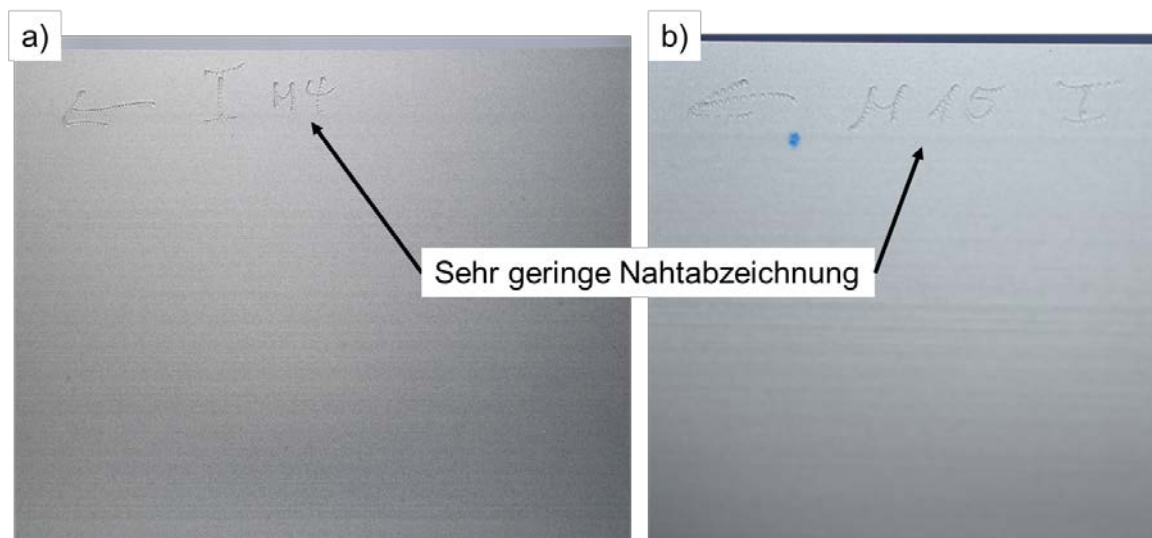


Bild 9: Profile aus homogenisierten Blöcken mit a) hoher und b) geringer Profilvertemperatur (Pressversuche 2)

Um den Einfluss der Profilqualität beurteilen zu können, wurden zusätzlich Profile aus nicht homogenisierten Gussblöcken verpresst. Entsprechen der in Bild 4 dargestellten Mikrostruktur weicht das Gefüge deutlich von dem sonst üblichen Gefüge ab. Alle Profile, die aus nicht homogenisierten Gussblöcken gepresst wurden, haben deutlich sichtbare Längspressnahtabzeichnungen. Neben den Abzeichnungen treten bei diesen Profilen deutlich sichtbare Riefen auf. Die Riefen sind bei hohen Profilaustrittstemperaturen besonders deutlich, treten aber bei allen Profilen, die aus nicht homogenisierten Blöcken gepresst wurden, stärker auf als bei den bisher verwendeten homogenisierten Blöcken (**Bild 10**).

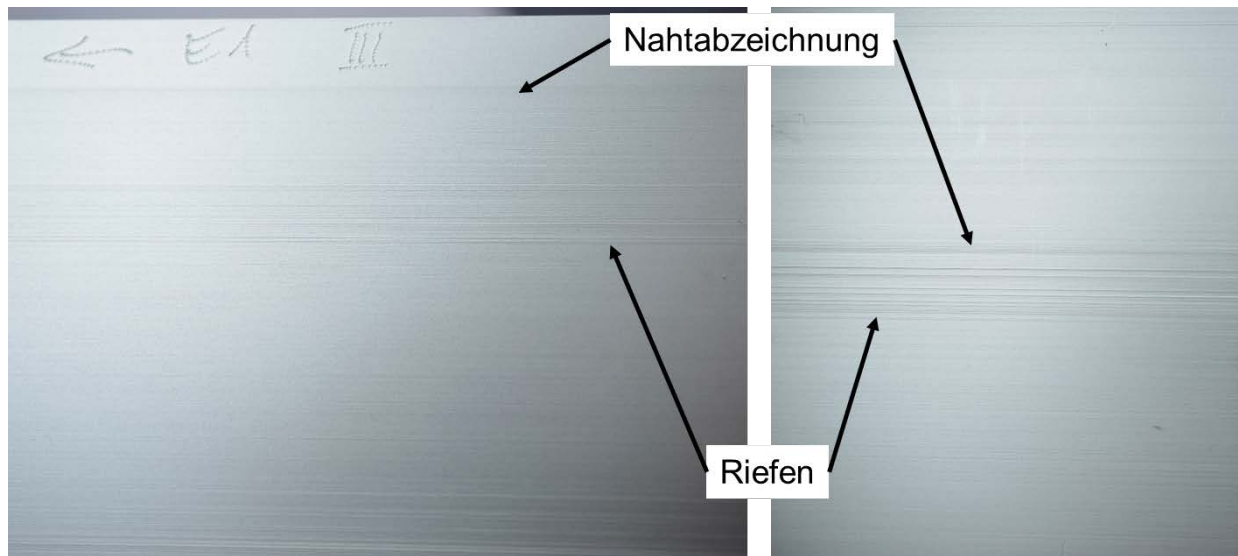


Bild 10: Abzeichnungen und Riefen auf eloxierten Profilen aus nicht homogenisierten Blöcken

Die Riefen treten dabei vermehrt an der Außenseite des Profils auf. Bild 10 verdeutlicht zudem die schwierige Bewertung der Abzeichnung, da sich die Riefen über einen weiten Bereich des Profils erstrecken und schwer von Abzeichnungen unterscheiden lassen. **Bild 11** zeigt die Innenseite eines Profils, auf dem die Abzeichnungen deutlich besser erkennbar sind.

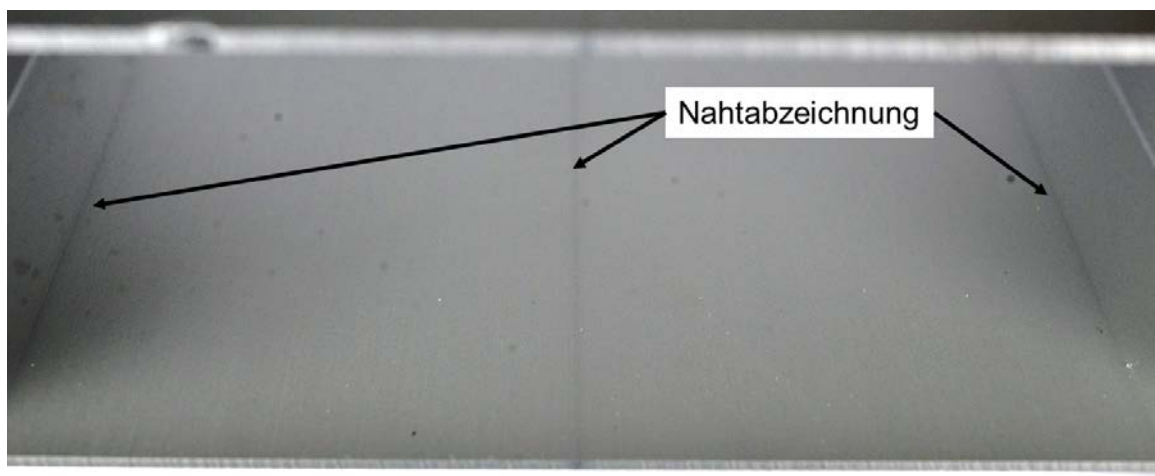


Bild 11: Abzeichnungen an der Innenseite des Profils.

Untersuchungen zusätzlicher Gusscharge (Pressversuche 3)

Die Versuche konnten wie in Tabelle 3 aufgeführt durchgeführt werden. Anschließend wurden die Profile eloxiert und hinsichtlich der auftretenden Längspressnahtabzeichnungen untersucht. Hier hat die Legierungszusammensetzung bzw. die Gusscharge den größten Einfluss auf die Längspressnahtabzeichnung. **Bild 12** zeigt den direkten Vergleich der Profiloberflächen für unterschiedliche Chargen. Durch den direkten Vergleich wird auch deutlich, dass die Geometrie des Tragarms keinen großen Einfluss auf die Sichtbarkeit der Längspressnaht hat. Die mittlere und die äußeren Schweißnähte sind ähnlich stark sichtbar.

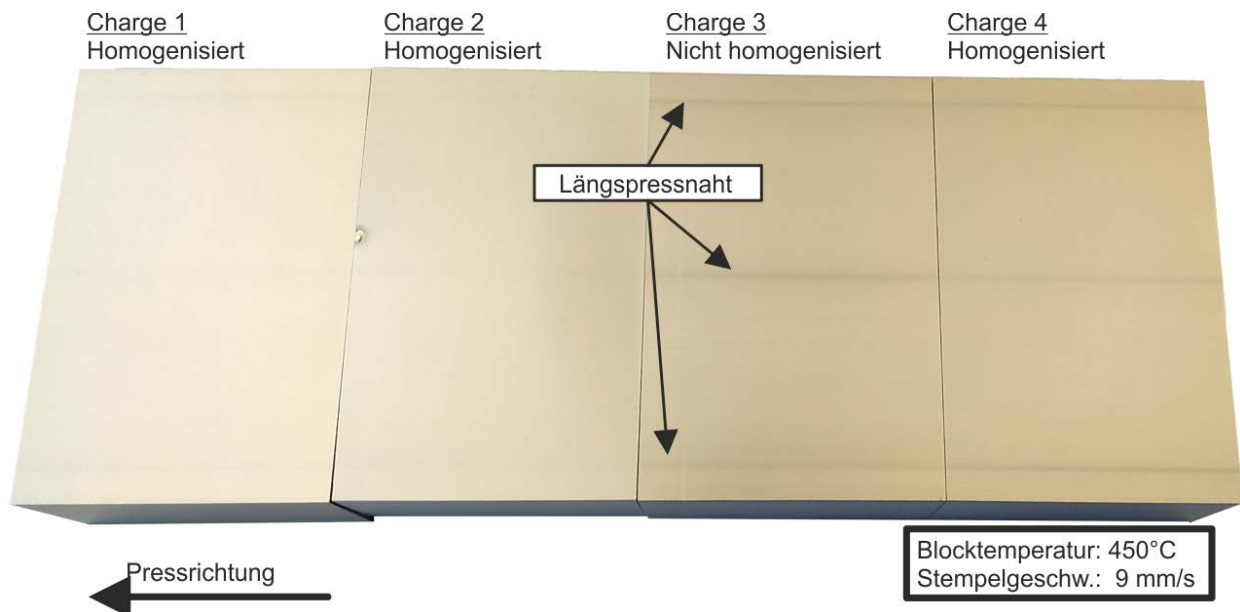


Bild 12: Direkter Vergleich der Profiloberflächen für die unterschiedlichen Chargen.

Bild 13 zeigt die Sichtbarkeit der mittleren oberen Längspressnaht für den Versuchsplan. Hier ist deutlich, dass die Chargen 3 (nicht homogenisiert) und 4 (höherer Anteil an Nebenelementen) zu deutlich stärkeren Abzeichnungen führen.

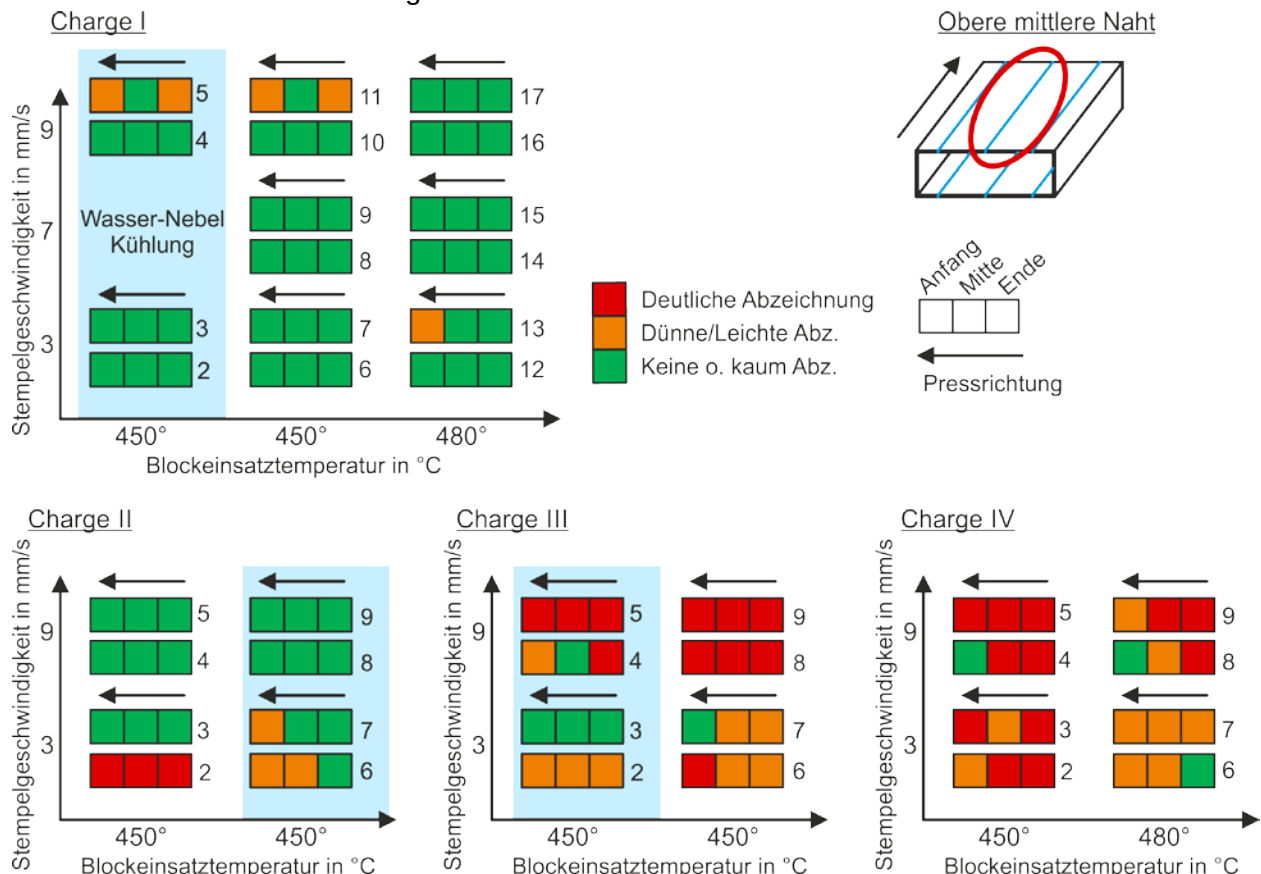


Bild 13: Einfluss der Pressparameter und Gusschargen auf die Abzeichnung der mittleren Längspressnaht (Pressversuch 3)

Die zuvor erzielten Ergebnisse konnten reproduziert werden und folgenden Aussagen treffen auch für diese Versuchsreihe zu.

Die Geometrie des Tragarms hat nur geringen Einfluss auf die Sichtbarkeit der Längspressnahtabzeichnungen, da die mittigen und seitlichen Nähte ähnlich stark sichtbar sind. Die Profile welche aus den Blöcken der Chargen 1 und 2 gepresst wurden, zeigen kaum oder nur sehr schwache Abzeichnungen und sind im Allgemeinen als Gut-Teile einzustufen.

Die Pressparameter haben nur einen sehr geringen Einfluss auf die Nahtabzeichnungen.

Bei den Profilen, welche aus nicht homogenisierten Gussblöcken gepresst wurden, treten deutlich stärkere Abzeichnungen, unabhängig von den Pressparametern auf.

Die Wasser-Nebel Kühlung sollte ein Rekristallisieren des Gefüges unmittelbar nach dem Profilaustritt verhindern und zu einer sichtbaren Schweißnaht führen. Dies konnte nicht erreicht werden. Die Kühlung war hier hinreichend stark, dass die Profile in wenigen Sekunden auf unter 100° C abgekühlt wurden. Trotzdem ist die Längspressnaht, im Vergleich zu den luftgekühlten Profilen nicht stärker sichtbar.

Zusammenfassung der Sichtprüfung:

- Die Längspressnahtabzeichnungen können nicht objektiv bewertet werden
- Die Anordnung der Tragarme hat kaum Einfluss auf die Längspressnahtabzeichnungen
- Die wesentlichen Pressparameter Blockeinsatztemperatur, Pressgeschwindigkeit und Profilkühlung haben kaum Einfluss auf die Nahtabzeichnung
- Eine fehlende Homogenisierung führt zu starken Abzeichnungen
- Ein erhöhter Anteil an Verunreinigungen in der Legierungszusammensetzung führt ebenfalls zu starken Abzeichnungen
- Auch bei gleichen Eloxal-Parametern führt das Eloxieren an unterschiedlichen Standorten zu leicht unterschiedlichen Ergebnissen

1.6.2. Rauheits- und Intensitätsmessung

Um festzustellen, ob sich im Bereich der Längspressnaht Artefakte ausbilden, wurde die Oberflächenrauheit mit einem konfokalen Weißlichtmikroskop im Bereich der Längspressnaht der Profile analysiert. Es wurden sowohl die Chargen gegeneinander als auch Parameter der homogenisierten Hueck Charge (Charge 1) untereinander entlang und quer zur Pressrichtung vermessen. Dabei konnte jedoch kein signifikanter Einfluss der Prozessparameter auf die Rauheit festgestellt werden. Die Rauheit der Profile mit einer deutlich sichtbaren Längspressnaht (Gerhardi, HMT) lag unterhalb derer mit keiner optisch ausgeprägten Längspressnaht (Hueck). Auch bei unterschiedlichen Pressparametern konnte keine gesteigerte Rauheit beobachtet werden, wie in **Bild 14** an vier Profilen mit unterschiedlichen Prozessparametern (Charge 2, homogenisiert) dargestellt ist.

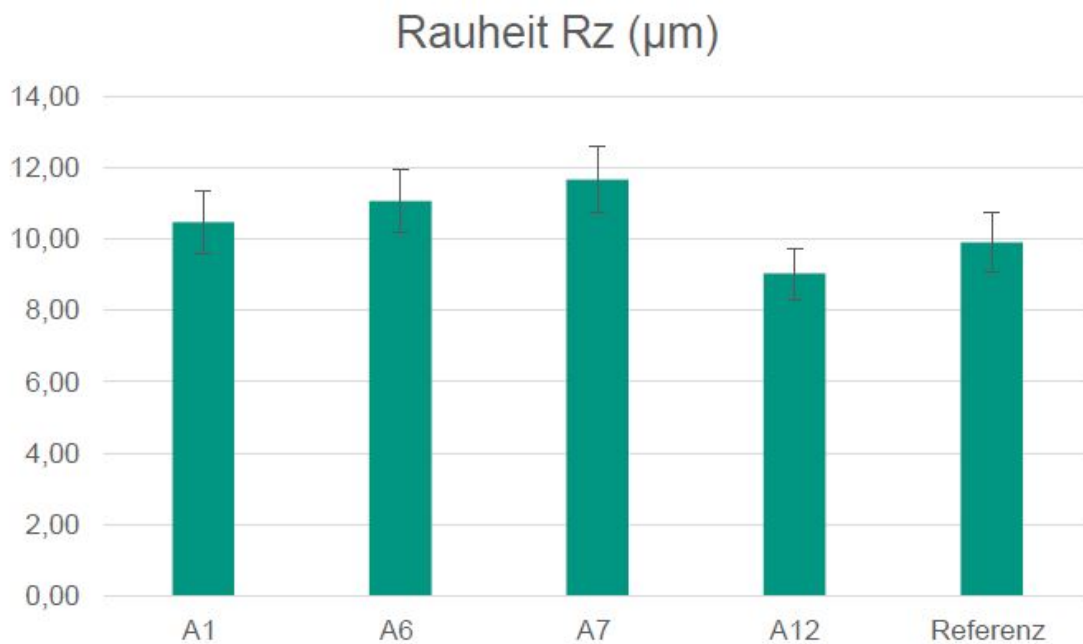


Bild 14: Rauheit quer zur Pressrichtung im Bereich der Längspressnaht von vier verschiedenen Prozessparametern im Vergleich zur Referenz (ohne Längspressnaht)

Das Konfokal-Weißlichtmikroskop kann neben der Rauheit auch die Helligkeitsintensität aufzeichnen. Durch diesen Aufnahmemodus konnten die Längspressnähte (sofern vorhanden) lokalisiert werden, wie in **Bild 15** an der Charge 4 (HMT) zu erkennen ist. Dabei kennzeichnet eine deutliche Abnahme der Intensität die Längspressnaht. Die Abnahme der Intensität an den Randbereichen ist gerätespezifisch und zu vernachlässigen. Eine gleiche Charakteristik konnte ebenfalls bei der sichtbaren Längspressnaht des Beispielpfils der Firma Gerhardt (Bild 1) beobachtet werden, während die Profile ohne sichtbare Längspressnaht keine Signifikanz aufwiesen.

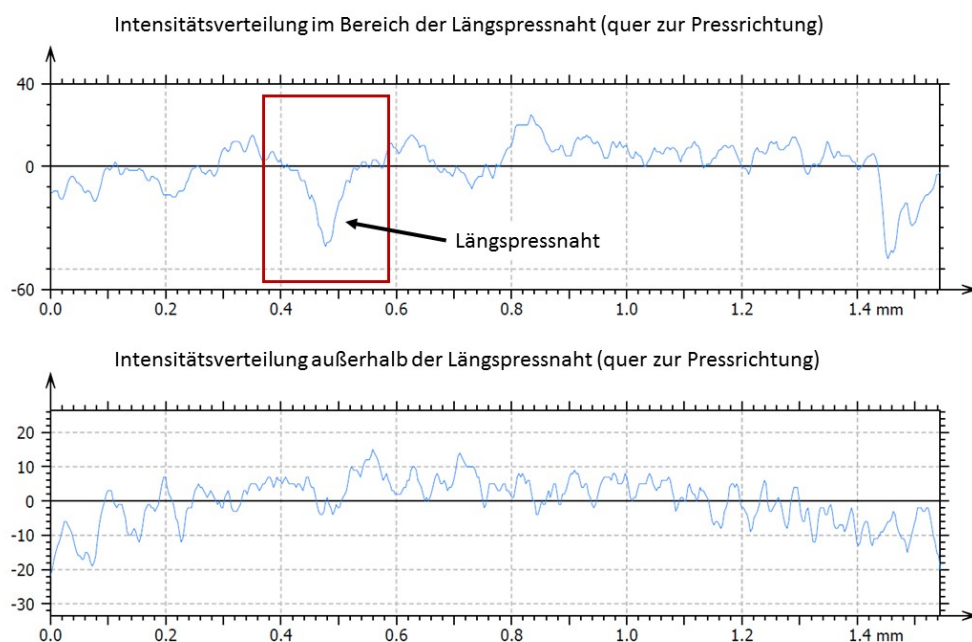


Bild 15: Intensitätsverteilung im Bereich der Längspressnaht (oben) und außerhalb der Längspressnaht (unten)

1.6.3. Mikrostruktur / EBSD

Die ersten Untersuchungen der Mikrostruktur erfolgten an Beispielprofilen welche durch Firma Gerhardt zur Verfügung gestellt wurden, da die bisherigen gefertigten Profile allesamt als Gutteile eingestuft wurden. In der Literatur wird die mikrostrukturelle Ausprägung der Längspressnaht mit drei verschiedenen Mechanismen beschrieben werden, wobei oftmals eine Kombination dieser Mechanismen auftritt. Zu diesen Mechanismen gehören Beizmulden, Beizgräben und Korngrenzenstufen, die allesamt auf einer lokalen Inhomogenität der Oberfläche beruhen. In **Bild 16** ist der lokale Unterschied der Oberfläche an der Stelle der Längspressnaht (Bild 16 a)) und einer Referenzstelle (Bild 16 b)) zu sehen. Deutlich zu erkennen sind in beiden Fällen Beizgräben entlang den Korngrenzen. Somit kann der Einfluss der Beizgräben in diesem Fall vernachlässigt werden. Korngrenzenstufen dagegen sind bei beiden Aufnahmen nicht vorhanden. Der Unterschied in der Mikrostruktur der Oberfläche macht die Dichte der Beizmulden, die im Fall der Längspressnaht deutlich höher liegt, aus.

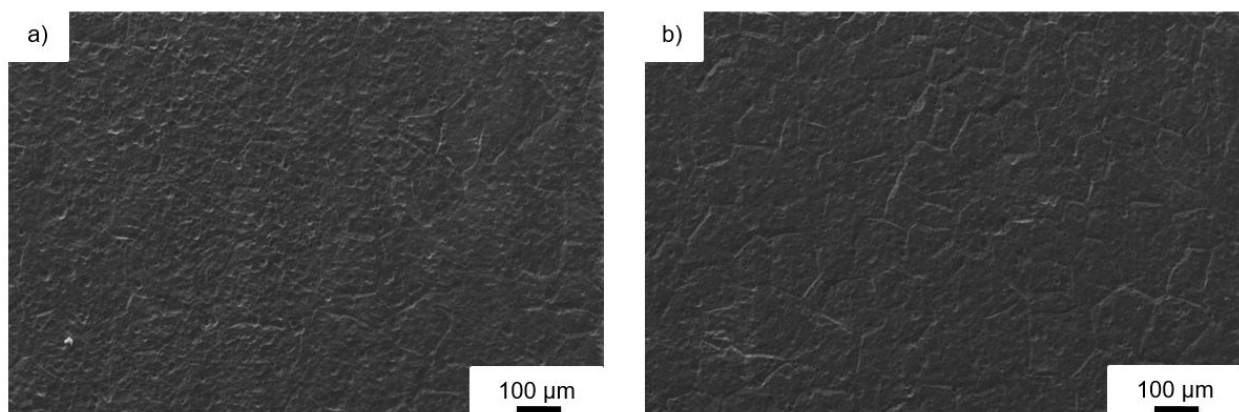


Bild 16: Mikrostruktur der Oberfläche. a) im Bereich der Längspressnaht, b) im Bereich ohne Längspressnaht (beispielhaftes Schlechtteil)

Diese Charakteristik wurde ebenfalls bei der vierten Charge (HMT) beobachtet. Hierbei handelt es sich um homogenisierte Gussblöcke, welche innerhalb der Spezifikation für EN AW-6060 liegen, aber im Gegensatz zu den Chargen von Hueck einen leicht erhöhten Anteil an Magnesium, Eisen, Kupfer und Mangan haben. **Bild 17** zeigt das eloxierte Profilstück und die REM-Aufnahme der Längspressnaht.

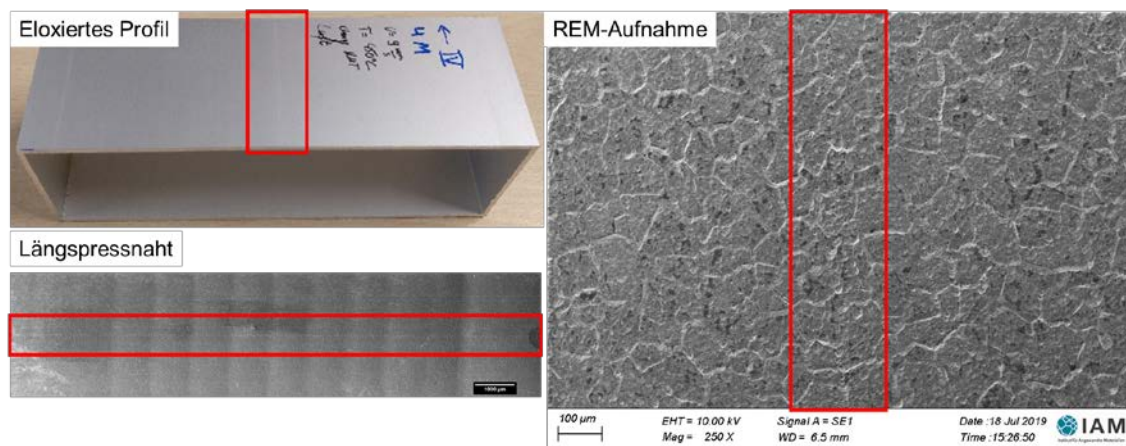


Bild 17: REM Aufnahme der Längspressnaht (LPN) der Profilprobe der vierten Gusscharge

Aus den Aufnahmen wird deutlich, dass die Anzahl der Beizmulden im Nahtbereich deutlich höher ist als außerhalb des Nahtbereichs. Die Korngröße ist hingegen gleich.

Bei der dritten Charge (Hueck, nicht homogenisiert) konnte keine in einer ersten Studie keine Längspressnaht im Mikroskop ausgemacht werden. Erst die Behandlung der Oberfläche für 300 s mit Natriumhydroxid (NaOH) zeigte eine leichte Erhöhung der Anzahl der Beizmulden im Nahtbereich. **Bild 18** zeigt den Vergleich der Oberfläche innerhalb und außerhalb des Nahtbereiches. Innerhalb der Längspressnaht ist die Anzahl der Beizmulden höher.

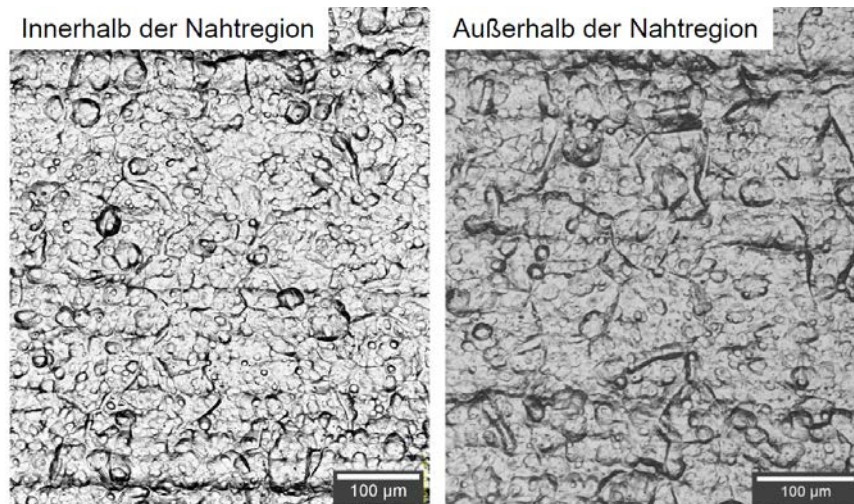


Bild 18: Untersuchung der Profiloberfläche mit Oberflächenätzung

Die Untersuchungen zeigen, dass die Mikrostruktur der Oberfläche einen großen Einfluss auf die optischen Eigenschaften der Längspressnähte hat und die Pressparameter nur einen sehr kleinen Einfluss haben.

1.6.4. REM

Neben den mikrostrukturellen Unterschieden der Oberfläche wurden auch Schliffbilder aufgenommen, wie im **Bild 19** dargestellt ist.

Es konnte aber kein Unterschied im Gefüge zwischen den verschiedenen Chargen festgestellt werden. Auch eine EDX-Analyse zur Bestimmung von Ausscheidungen im Bereich der Längspressnaht konnte keine Auffälligkeiten aufzeigen, die auf die Ausbildung einer Längspressnaht hinweisen. Aufgrund der schwachen Ausprägung der Längspressnaht bei den im Projekt hergestellten Profilen, wurde für die Mikrostrukturuntersuchung auf frühere industrielle Schlechteile der Fa. Gerhards (vgl. Bild 1 a) und Bild 6 a) zurückgegriffen. Dabei handelte es sich ebenfalls um die Legierung EN AW-6060 nach der Norm DIN EN 573-3. Durch Elektronenrückstrahlbeugung (EBSB) ist es möglich, mit einer hohen lokalen Auflösung im Bereich von zehn Nanometern die Kristallstruktur sowie die Kristallorientierung zu bestimmen. Dadurch können nicht nur einzelne Körner des Gefüges, sondern auch deren Beziehung zueinander detektiert werden.

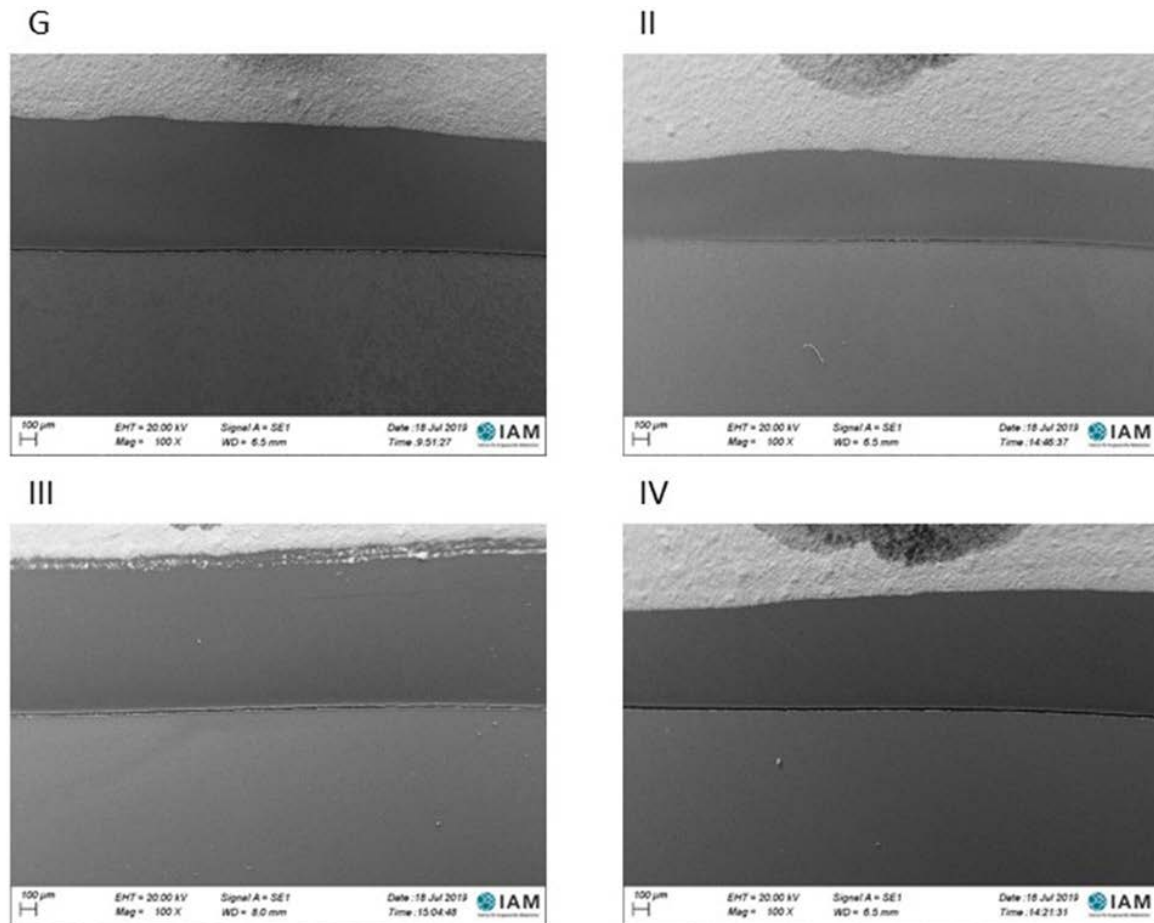


Bild 19: Schliffbilder der vier Charges bei gleichen Prozessparametern

In **Bild 20** ist ein Ausschnitt des Gefüges im Bereich der Nahtregion dargestellt. Dabei ist die Oberfläche des Nahtbereiches gekennzeichnet. Im Gegensatz zu vielen anderen Gefügen zeichnet sich hier die Längspressnaht nicht durch eine veränderte Korngröße ab.

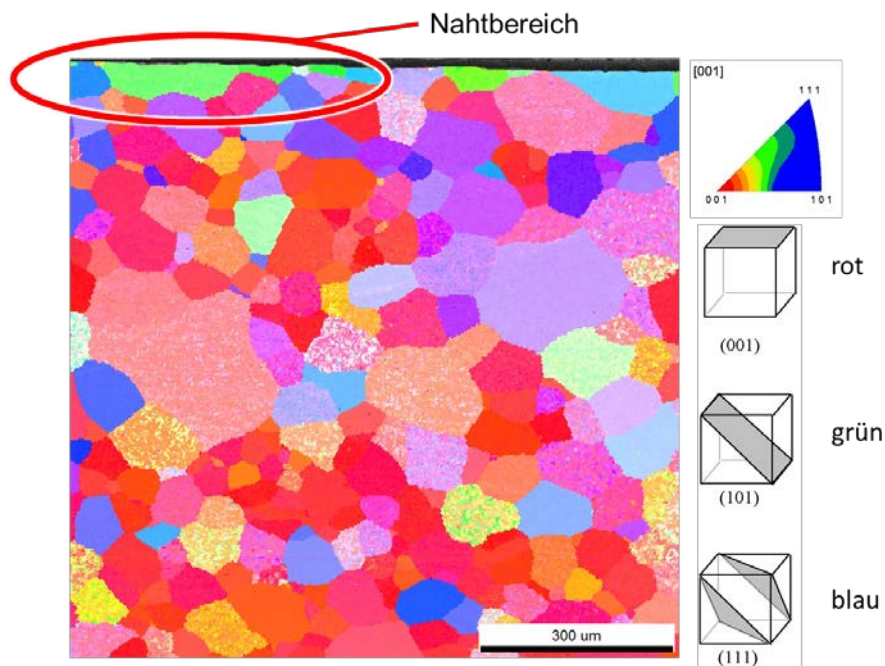


Bild 20: EBSD-Messung der Gefügeausrichtung im Nahtbereich

Die Kornorientierung weist eine für einen Extrusionsprozess typische Ausprägung ($\{100\}$, in Rot dargestellt) auf. Der Anteil dieser Orientierung ist qualitativ rechts oben in Bild 19 in einer Heatmap dargestellt. Ausfällig ist jedoch, dass das Korn an der Oberfläche im Nahtbereich eine andere kristallografische Orientierung aufweist als sonst an der Oberfläche. Diese unterschiedliche Orientierung kann zu unterschiedlichen Abtragsraten beim Beizen führen und damit in letzter Konsequenz zur optischen Ausprägung von Längspressnähten an der Oberfläche. Um den Einfluss der Gefügeorientierung genauer zu untersuchen, wurde ein größerer Bereich des stranggepressten und eloxierten Profils mittels EBSD betrachtet. Dabei wurde die Probe von oben, also rechtwinklig zur Profiloberfläche betrachtet. Da das Gefüge des Aluminiums untersucht werden soll, muss die Oxidschicht durch Schleifen und Polieren abgetragen werden, ohne das darunter befindliche Gefüge zu stark anzugreifen. **Bild 21** zeigt das Ergebnis der EBSD-Untersuchung. Die Längspressnaht ist durch den roten Bereich markiert.

Durch die großflächige Aufnahme konnte der zuvor aufgestellte Verdacht einer eindeutigen Textur im Nahtbereich widerlegt werden. Durch die umfangreicheren EBSD-Messungen konnte kein Unterschied der Textur im Bereich der Längspressnaht und außerhalb der Längspressnaht nachgewiesen werden. Allerdings ist eine leichte Erhöhung der Anzahl an Defekten im Bereich der Längspressnaht auffällig. Durch die erhöhte Defektdichte ist auch ein gesteigerter Materialabtrag und damit verbunden eine höhere Anzahl an Beizmulden möglich.

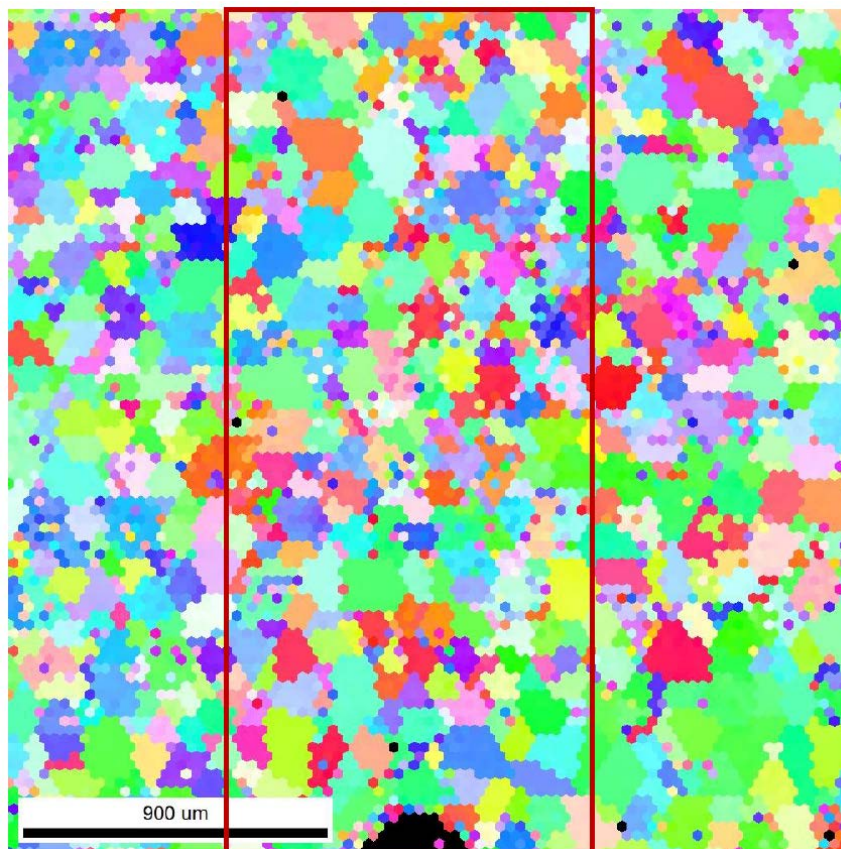


Bild 21: EBSD-Untersuchung der Profiloberfläche

1.7. Abweichung vom ursprünglichen Arbeitsplan

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden von dem ursprünglich beantragten Arbeitsprogramm abgewichen. Dies umfasst im Wesentlichen die Arbeitspakete AP 2

(Untersuchung von Nahtabzeichnungen mit industriellen Bestandswerkzeugen), AP 3 (Untersuchung mit messtechnisch erweitertem Werkzeug) und AP 4 (Vermeidung von Nahtabzeichnungen mit designoptimierten Werkzeugen).

Durch das Forschungsvorhaben sollte der Einfluss der Werkzeugdaten und der Pressparameter auf die Längspressnahtabzeichnung identifiziert werden. Hierfür sollte ein klarer Zusammenhang zwischen den Pressparametern (Blockeinsatztemperatur und Pressgeschwindigkeit) und den auftretenden Nahtabzeichnungen identifiziert werden. Dafür sollten Werkzeuge genutzt werden, welche Abzeichnungen produzieren. Im Rahmen der ersten Sitzung des projektbegleitenden Ausschusses ist deutlich geworden, dass dies nicht möglich ist und bislang nicht eindeutig klar ist, welche Parameter Einfluss auf Pressnahtabzeichnungen haben. Die Nutzung von ausgewählten Presswerkzeugen wäre daher nicht zielführend und würde außerdem zu keinen vergleichbaren Ergebnissen führen. Daher wurde, wie zuvor beschrieben, ein neues Presswerkzeug hergestellt, welches zu Abzeichnungen führen sollte. Hier wurden die Erfahrungswerte der Projektpartner berücksichtigt und in die Konstruktion aufgenommen. Da es nicht möglich war, mit diesem Presswerkzeug deutliche Längspressnahtabzeichnungen zu erzeugen, wurde der Einfluss des Ausgangsmaterials untersucht.

Da für das Forschungsvorhaben ein eigenes Presswerkzeug angefertigt und verwendet wurde, konnte auf die Vermessung und Digitalisierung eines bestehenden Werkzeuges verzichtet werden. Dies sollte ursprünglich durch die Leistung eines dritten Unternehmens erfolgen.

Durch die unerwarteten Ergebnisse mit dem eigens angefertigten Presswerkzeug, konnte auch das Arbeitspaket AP 4 (Vermeidung der Nahtabzeichnungen mit designoptimierten Werkzeugen) nicht umgesetzt werden. Anstelle dessen wurde die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Standorte und die Auswirkung der Chargenschwankungen untersucht.

Eine weitere Änderung zu dem geplanten Arbeitsprogramm war die Durchführung von Pressversuchen bei Firma HMT. Entsprechend des Antrags, sollten die Pressversuche lediglich bei Hueck und Gerhardi durchgeführt werden. Da für die Untersuchung der Nahtabzeichnungen eine große Menge an Versuchsdaten notwendig war, war die Beteiligung von HMT durch weitere Pressversuche vorteilhaft für das Projekt.

Durch die genannten Änderungen bei der Durchführung des Forschungsvorhabens, konnte die Qualität der Ergebnisse deutlich verbessert werden. Da gezeigt werden konnte, dass die Pressparameter einen vergleichsweise kleinen Einfluss auf die Nahtabzeichnungen haben und sich durch die Versuche keine eindeutigen werkzeugseitigen Konstruktionsmerkmale zur Vermeidung der Abzeichnungen finden lassen, hätte eine sogenannte Optimierung des Werkzeuges nur auf Verdacht und nicht wissenschaftlich oder zielgerichtet erfolgt. Die Variation des Gussgefüges hat jedoch gezeigt, dass hier der größte Einfluss auf Nahtabzeichnungen liegt. Weiterhin haben die zusätzlichen Versuche an einem weiteren Standort gezeigt, dass die Intensität der Pressnähte an unterschiedlichen Standorten generell vergleichbar ist. Allerdings treten leichte Schwankungen auf, welche sich auf Faktoren wie beispielsweise unterschiedliche Blockaufheizung zurückführen lassen können. Ein weiteres Problem bei der Identifikation von Längspressnahtabzeichnungen ist die Identifizierung, welche bislang nur subjektiv durch Betrachten möglich ist.

Mit den durchgeführten Arbeiten und den daraus neu gewonnenen Erkenntnissen konnten somit die wesentlichen Einflussfaktoren auf identifiziert werden.

1.8. Zusammenfassung und Hinweise zur Vermeidung von Nahtabzeichnungen

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die Längspressnahtabzeichnungen nicht nur von den Werkzeugdaten oder den Pressparametern

abhängig sind. Zu Beginn des Projektes war nicht bekannt, welche Kriterien eindeutig zu Abzeichnungen führen. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Pressparameter nur einen sehr geringen Einfluss haben.

Die Ergebnisse der durchgeführten Pressversuche zeigen, dass die Ausbildung der Längspressnahtabzeichnung deutlich von dem verwendeten Gussmaterial abhängt. Die Chargen von Hueck, die einen geringeren Anteil an Fremdatomen aufweisen, bilden kaum sichtbare Nahtabzeichnungen aus. Durch eine sorgfältige Homogenisierung kann das Nahtbild noch einmal verbessert werden. Im Gegensatz zu in der Literatur beschriebenen Gründe für eine Längspressnahtabzeichnung konnte in diesen Untersuchungen ausschließlich eine Erhöhung der Beizmuldenanzahl im Pressnahtbereich festgestellt werden. Die dadurch erhöhte „Mikrorauheit“ verändert die optischen Eigenschaften der Oberfläche und führt dadurch zu einer Abzeichnung auf der Strangpressprofiloberfläche.

Der Ursprung der höheren Beizmuldenanzahl ist dabei noch nicht abschließend beschreibbar. Die EBSD-Untersuchungen der Profiloberfläche legen den Schluss nahe, dass eine erhöhte Fehlstruktur und/oder Versetzungsdichte in der Längspressnaht einen lokal erhöhten Materialabtrag durch das Beizen zu Folge hat. Dabei bleibt die Fehlstruktur der Pressnaht trotz einer Rekristallisation des Gefüges erhalten. Diese Fehlstruktur kann durch Legierungsatome beeinflusst werden.

Um zukünftig Pressnahtabzeichnung zu vermeiden, muss die Qualität der Pressblöcke untersucht werden. Dies betrifft insbesondere die Zusammensetzung der Legierung und die Homogenisierung der Pressblöcke. Bei der Legierungszusammensetzung führen schon kleine Änderungen, welche innerhalb der Toleranz für EN AW-6060 liegen, zu einem deutlichen Unterschied im optischen Erscheinungsbild der Pressnähte. Ebenso konnte gezeigt werden, dass die Homogenisierung der Pressblöcke ein wichtiger Einflussfaktor ist. Durch das Pressen von nicht homogenisierten Blöcken konnten reproduzierbar deutlich sichtbare Längspressnahtabzeichnungen erzeugt werden. Zwar werden üblicherweise nur homogenisierten Blöcke genutzt, allerdings könnte die Verweildauer der Pressblöcke im Ofen die Gefügestruktur verändern und Ausscheidungen im Gefüge hervorrufen die zu Abzeichnungen führen.

Um genauere Aussagen zu treffen, ist die Untersuchung einer größeren Menge an Profilen und dem zugehörigen Ausgangswerkstoff notwendig. Bei auftretenden Längspressnahtabzeichnungen sollte daher das ursprüngliche Gefüge des Pressblockes untersucht werden. Durch eine chemische Analyse des Profils kann im Nachhinein nur die Legierungszusammensetzung untersucht werden. Eine Sammlung dieser Daten könnte die hier aufgestellten Ergebnisse untermauern und das Aufstellen eines Prozessfensters ermöglichen.

Um die Mechanismen der Entstehung von Längspressnahtabzeichnung genauer zu untersuchen müssen tiefgehende Untersuchungen beispielsweise mittels Transmissions-elektronenmikroskopie (TEM) durchgeführt werden. Dies setzt allerdings voraus, dass reproduzierbar Längspressnahtabzeichnungen erzeugt werden können. Durch die Untersuchungen ist ebenfalls deutlich geworden, dass die Pressparameter nur einen kleinen Einfluss haben. Für genauere Untersuchungen ist es daher nicht notwendig eine große Menge Aluminium zu verpressen, um möglichst industriennahe Pressbedingungen wie beispielsweise eine gleichmäßige Profilaustrittstemperatur zu schaffen. Daher könnten für weitere Untersuchungen auch Laborversuche in kleinerem Maßstab genutzt werden. Hier können die Parameter Blockeinsatztemperatur, Haltezeit, Gefügeentwicklung und genaue Temperaturmessung genauer vorgegeben bzw. bestimmt werden.

2. Verwendung der Zuwendung

- wissenschaftlich-technisches Personal (Einzelansatz A.1 des Finanzierungsplans)
 - Wissenschaftlicher Mitarbeiter (IUL): 24 Personenmonate
 - Wissenschaftlicher Mitarbeiter (IAM-WK): 12 Personenmonate
- Geräte (Einzelansatz B des Finanzierungsplans) - keine
- Leistungen Dritter (Einzelansatz C des Finanzierungsplans) - keine

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Während des ersten Erfahrungsaustausches wurde die Arbeitsplanung geändert um reproduzierbare und übertragbare Untersuchungen durchführen zu können. Aus den oben genannten Gründen wurde auf die Auswahl von Bestandswerkzeugen verzichtet und es wurde ein neues Werkzeug entwickelt und gefertigt. Dies hat die Anzahl der voraussichtlich benötigten Presstage reduziert. Des Weiteren hat Firma HMT angeboten zusätzlich Versuche durchzuführen, was durch den projektbegleitenden Ausschuss angenommen wurde. Die Auslegung des Presswerkzeuges auf die drei Standorte war hier ein leichter Mehraufwand, welcher für eine wissenschaftliche Bearbeitung notwendig war. Durch diesen Schritt konnte auf Leistungen Dritter (Digitalisierung eines Bestandswerkzeuges) verzichtet werden. Alle Versuche und Analysen erfolgten ergebnisorientiert in notwendigem Umfang durch das notwendige wissenschaftliche sowie technische Personal.

4. Nutzen der erzielten Ergebnisse und Beitrag der KMU

Die Forschungsergebnisse können insbesondere in den Bereich Strangpressen, Aluminiumguss und Oberflächenbehandlung genutzt werden. Eloxierte und stranggepresste Aluminiumprofile werden in unterschiedlichen Anwendungsbereichen verwendet. Die hier erzielten Ergebnisse sind besonders für den Anwendungsfall Sichtprofile nützlich. Der Prozessfehler Schweißnahtabzeichnung kann erst nach dem letzten Schritt der Prozesskette, dem Eloxieren, festgestellt werden, hängt aber auch vom ersten Schritt, dem Gießen, ab. Im Rahmen des Forschungsvorhabens konnte gezeigt werden, dass die gesamte Prozesskette, insbesondere aber der Gussprozess zur Herstellung der Pressblöcke berücksichtigt werden muss, um qualitativ hochwertige Aluminiumprofile herzustellen. Durch die Forschungsergebnisse konnte ebenfalls gezeigt werden, dass die bisher als kritisch angenommenen Parameter Werkzeuggeometrie, Strangpressparameter und Profilkühlung nur einen vergleichsweise geringen Einfluss haben. Dies nutzt den KMU, da Längspressnahtabzeichnungen durch die Verwendung von qualitativ hochwertigen Legierungen vermieden werden können und somit der Ausschuss reduziert und entsprechender Mehraufwand durch wiederholtes Pressen, Warmauslagern und eloxieren vermieden werden kann.

5. Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

5.1 Durchgeführte Transfermaßnahmen

Maßnahme	Ziel	Zielgruppe	Zeitpunkt, Ort
Projektsitzung („Kick Off“ Meeting)	Feinabstimmung des weiteren Vorgehens	Unternehmen des PbA	20.04.2017, Dortmund
DGM-Fachausschuss Strangpressen	Statusbericht und Ergebnisdarstellung	Unternehmen der Strangpressindustrie	22.09.2017, Arnstein

Sitzungen des projektbegleitenden Ausschusses	Präsentation und Diskussion aktueller Zwischenergebnisse, Abstimmung des weiteren Vorgehens	Unternehmen des PbA	25.01.2018, Dortmund
Publikation im Tätigkeitsbericht des IUL	Aussendarstellung der Forschungstätigkeiten	Unternehmen der Wirtschaft, Forschungsstätten	07.03.2018, Dortmund
Vortrag auf Konferenz: Aluminium-21/Extrusion	Ergebnistransfer in die Wissenschaft und Wirtschaft	Unternehmen der Strangpressindustrie	5.-7.06.2018, Moskau
Sitzungen des projektbegleitenden Ausschusses	Präsentation und Diskussion aktueller Zwischenergebnisse, Abstimmung des weiteren Vorgehens	Unternehmen des PbA	10.07.2018, Dortmund
Publikation im Tätigkeitsbericht des IUL	Aussendarstellung der Forschungstätigkeiten	Unternehmen der Wirtschaft, Forschungsstätten	13.03.2019, Dortmund
Sitzungen des projektbegleitenden Ausschusses	Präsentation und Diskussion aktueller Zwischenergebnisse, Abstimmung des weiteren Vorgehens	Unternehmen des PbA	04.06.2019, Dortmund
DGM-Fachausschuss Strangpressen	Statusbericht und Ergebnisdarstellung	Unternehmen der Strangpressindustrie	26.09.2019, Mönchengladbach
Akademische Lehre	Ausbildung von Studenten	Hilfstätigkeiten, Projekt- und Abschlussarbeiten	kontinuierlich

5.3 Geplante Transfermaßnahmen

Maßnahme	Ziel	Zielgruppe	Zeitpunkt/Anzahl/Ort
Bereitstellung des Abschlussberichtes auf ELDORADO Plattform	Ergebnistransfer in die Wissenschaft und Wirtschaft	Wissenschaft und Unternehmen	Januar 2020
Vortrag auf Konferenz und Publikation: International Aluminum Extrusion Technology Seminar	Ergebnistransfer in die Wissenschaft und Wirtschaft	Wissenschaft und Unternehmen der Strangpressindustrie	19.-21.05.2020
Akademische Lehre	Ausbildung von Studenten	Hilfstätigkeiten, Projekt- und Abschlussarbeiten	kontinuierlich

5.4 Einschätzung zur Realisierbarkeit des vorgeschlagenen und aktualisierten Transferkonzepts

Im Rahmen des Forschungsvorhabens konnte die ursprünglich Hypothese, dass die Pressparameter Blockeinsatztemperatur und Pressgeschwindigkeit den größten Einfluss auf die Längspressnahtabzeichnungen haben, widerlegt werden. Dies führte dazu, dass aussagekräftige Ergebnisse erst zum Ende der Projektlaufzeit vorlagen. Während der Projektlaufzeit wurden die Ergebnisse im Rahmen der genannten Maßnahmen transferiert. Hier

sind insbesondere die Sitzungen des DGM Fachausschusses Strangpressen für die KMU interessant und führten zu bilateralem Austausch. Zum Ende der Projektlaufzeit wurde der Zusammenhang zwischen der Homogenisierung und Zusammensetzung der Pressblöcke und den Längspressnahtabzeichnungen als wichtigster Einflussfaktor identifiziert. Dies wurde ebenfalls an die strangpressenden Industriebetriebe, durch die Beiträge bei den Sitzungen des Fachausschusses Strangpressen transferiert. Um die Reichweite des Ergebnistransfers zu erhöhen, werden die Forschungsergebnisse 2020 bei dem „International Aluminum Extrusion Technology“ Seminar vorgestellt. Dies ist eine der größten internationalen Fachkonferenzen im Bereich Aluminium Strangpressen. Durch die Veröffentlichung der Ergebnisse im Rahmen der Präsentation und des Konferenzpapiers werden die Ergebnisse zugänglich gemacht.

Die Ergebnisse des Forschungsprojektes zeigen, dass die Legierungszusammensetzung genauer betrachtet werden muss, wenn Profile ohne sichtbare Längspressnähte erzeugt werden sollen. Die Schwankungen der Legierungsbestandteile, welche durch die Spezifikation EN AW-6060 zulässig sind, können die Sichtbarkeit der Längspressnähte nach dem Eloxieren stark beeinflussen. Die Legierungszusammensetzung für Profile mit schwachen und starken Längspressnahtabzeichnungen und der Homogenisierungszustand ist in Kapitel 1.5 bzw. Kapitel 1.6 beschrieben. Treten Längspressnahtabzeichnungen auf, kann die Zusammensetzung der Legierung durch Funkenspektrografie untersucht werden. Ist ein erhöhter Anteil an Eisen, Kupfer oder Magnesium enthalten, kann dies die Ursache für Längspressnahtabzeichnungen sein. Um hier genauere Aussagen treffen zu können, muss der Einfluss der Legierungszusammensetzung jedoch genauer und unter Laborbedingungen untersucht werden.