

Aspekte der Zerspanbarkeit von duktilen Aluminiumlegierungen¹

Dr.-Ing. Uwe Teicher

1 Einleitung

Aluminium ist eines der wichtigsten Industriemetalle und dadurch auch im Bereich der Zerspanung weit verbreitet. Den größten Anteil haben dabei nicht aushärtbare Legierungen der Gruppe 5xxx und aushärtbare aus den Gruppen 6xxx und 7xxx. Deren Zerspanbarkeit wird im Allgemeinen als gut angegeben.

Hochduktile Legierungen der 1xxx-Gruppe, die als Reinaluminium mit einem Al-Anteil von mindestens 99 Prozent geführt werden, finden vor allem in der Elektronik und der chemischen Industrie ihren Einsatz. Deren Zerspanbarkeit wird als schlecht eingeschätzt. Als Ursachen dafür können das Kleben und Schmieren, d.h. die Adhäsion, von Aluminiumpartikeln am Schneidwerkstoffsubstrat und die starke Aufbauschneidenbildung genannt werden.

Bei der Zerspanung ist daher eine ausgefeilte Auslegung von Technologie und Werkzeug notwendig, um ideale Arbeitsergebnisse zu erreichen. Im Zuge einer Untersuchung der Zerspanbarkeit der Legierung AlSi1 und einer Vergleichslegierung /GRF-17, KIR-17/ wurde der Fokus auf die Analyse der Spanbildung und die wirkenden Kräfte gelegt.

2 Versuchsbedingungen

Für die Durchführung von Zerspanversuchen wurde das Verfahren des Planfräsens im Umfangsschnitt gewählt. Legierungsseitig standen zwei Werkstoffe zur Verfügung, die vergleichbare chemisch-mechanische Eigenschaften aufwiesen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Chemisch-mechanische Eigenschaften der untersuchten Legierungen

	AlSi1	Al99,5 (EN AW-1050)
Aluminiumanteil / %	99	99,5
Härte HBW 2,5/15,625	24,4	21,9
Zugfestigkeit R _m / MPa	200	65-95

Die nach der metallografischen Aufbereitung in Abbildung 1 sichtbaren Unterschiede im Gefüge haben ihren Ursprung im Urformungsverfahren der plattenförmigen Halbzeuge.

¹ Das Projekt wird über die AiF im Rahmen der Fördermaßnahme Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des BMWi gefördert.

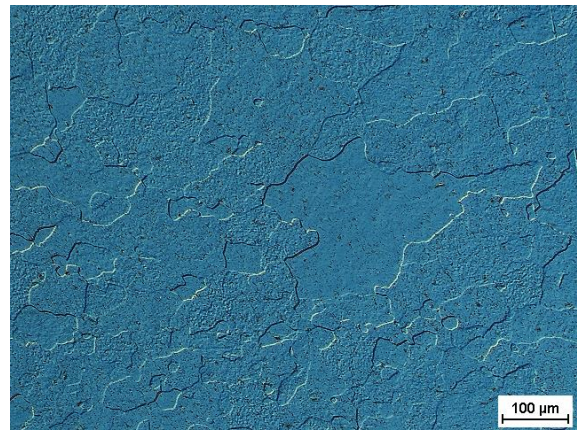
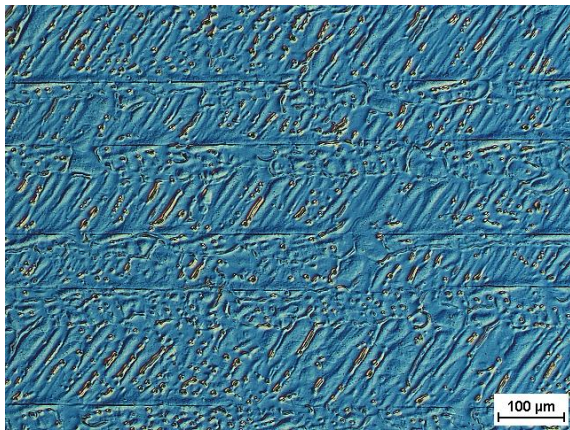


Abbildung 1: Metallografisch aufbereitete DIC-Gefügedarstellung von AlSi1 (links) und EN-AW-1050A (rechts)

Die Fräsversuche wurden auf einem Bearbeitungszentrum Hermle C600U durchgeführt (Abbildung 2 links). Neben der Spanakquise für nachfolgende Analysen wurden die Bearbeitungskräfte mit Hilfe eines Kistler-Dynamometers 9257A mit dazugehöriger Messkette in Form eines Ladungsverstärkers Kistler 5007, eines AD-Wandlers Goldammer USB BASIC und einem PC, der mit der Software NI DIAdem ausgestattet war, gemessen, aufgezeichnet und ausgewertet. Die plattenförmigen Werkstücke wurden dazu direkt an das Dynamometer durch Verschraubungen gekoppelt (Abbildung 2 rechts).

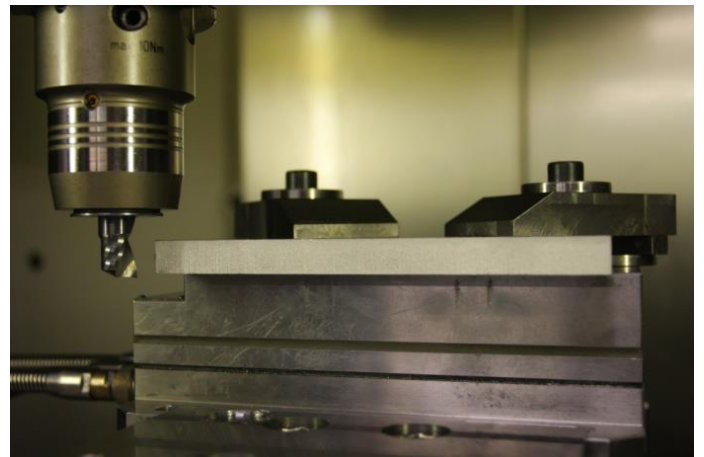


Abbildung 2: Bearbeitungszentrum Hermle C600U (links) und Experimentalaufbau zur spanenden Bearbeitung von AlSi1 und EN-AW-1050 für Zerspanversuche (rechts)

Als Werkzeug kam ein einschneidiger Hartmetallfräser zum Einsatz. Variiert wurden für beide Aluminiumlegierungen bei der Bearbeitung die Schnittgeschwindigkeit im Bereich zwischen 15 bis 250 m/min, der Zahnvorschub im Bereich von 0,1 bis 0,4 mm und der Arbeitseingriff zwischen 0,1 und 0,6 mm. Damit ergab sich bei vollfaktoriellem Versuchsplan eine Gesamtheit von 45 Versuchen pro Werkstoff.

3 Ergebnisse

Die bei den Bearbeitungsversuchen entstandenen Späne (Abbildung 3) sind einerseits auf der werkzeugabgewandten Seite durch eine deutliche Spanstauchung und auf der werkzeugzugewandten Seite durch eine sehr geringe Rauheit gekennzeichnet.

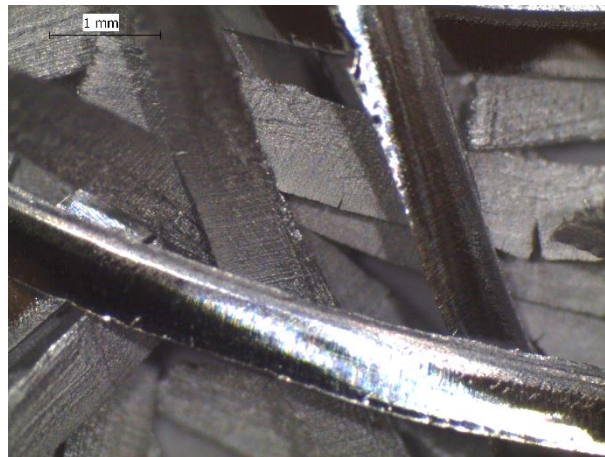


Abbildung 3: Gefertigte Späne beim Umfangsfräsen (Werkstoff: AlSi1; Schnittgeschwindigkeit 250 m/min; Arbeitseingriff 0,6 mm; Zahnvorschub 0,1 mm)

Die glänzenden Oberflächen stellen die werkzeugzugewandte Seite des Spanes dar, die bedingt durch die hohe Duktilität beider Werkstoffe, die Schliffgeometrie des Werkzeuges abbilden. Einseitig glänzende, glatte Oberflächen sind vor allem bei hohen Schnittgeschwindigkeiten sehr stark ausgeprägt.

Mit fallender Schnittgeschwindigkeit konnte ein abnehmender Glanz sowie eine zunehmend hohe Oberflächenrauheit beobachtet werden. Auf der werkzeugabgewandten Seite zeichnete sich in der Regel eine lamellare Struktur mit deutlich größerer Rauheit ab, die durch die Stauchung des Materials hervorgerufen wird (Tabelle 2).

Tabelle 2: Gefertigte Späne beim Umfangsfräsen der Legierungen AlSi1 und EN-AW-1050 bei unterschiedlichen technologischen Einstellparametern

	AlSi1	Al99,5 (EN AW-1050)
$v_c = 250 \text{ m/min}$ $f_z = 0,1 \text{ mm}$ $a_e = 0,1 \text{ mm}$		
$v_c = 15 \text{ m/min}$ $f_z = 0,4 \text{ mm}$ $a_e = 0,6 \text{ mm}$		

Ebenso waren auch bei erhöhten Zahnvorschüben eine gesteigerte Oberflächenrauheit sowie partiell Ausrisse und Querrisse der Späne ersichtlich. Der Grund hierfür ist ebenfalls eine erhöhte Spanstauchung infolge eines größeren Zahnvorschubes.

Hinsichtlich der Zerspankraftkomponenten ist festzustellen, dass in dem untersuchten Prozessfeld bezüglich der Schnittgeschwindigkeit, des Zahnvorschubs und des Arbeitseingriffes die Vorschubkraft betragsseitig am höchsten ist. Bei der Analyse der Versuche für beide Aluminiumlegierungen mit der Gesamtheit von identisch eingestellten Parametersätzen liegt die mittlere Vorschubkraft beim Fräsen von AlSi1 11 Prozent höher als bei der Legierung EN-AW-1050.

Zumindest zeigt sich in diesem Aspekt eine Korrelation zwischen der Vorschubkraft und den in Tabelle 1 dargestellten Werten für die Härte und die Zugfestigkeit.

Bezüglich technologischer Zusammenhänge auf die Vorschubkraft kann gezeigt werden, dass mit steigender Schnittgeschwindigkeit, mit steigendem Zahnvorschub und mit ansteigendem Arbeitseingriff die Vorschubkraft sinkt (Abbildung 4). Die Reduktion beträgt dabei teilweise bis zu 40%.

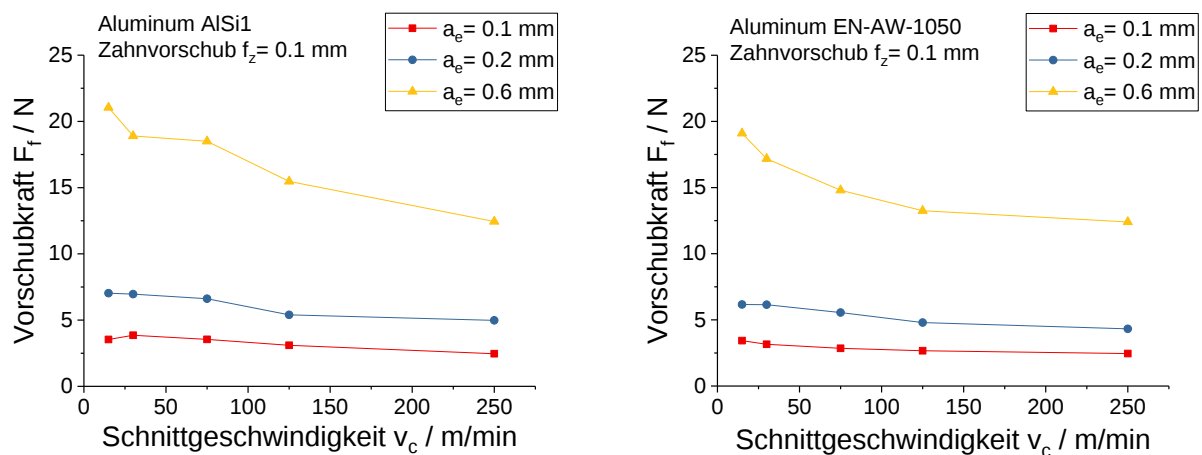


Abbildung 4: Vorschubkraft bei der Fräsbearbeitung bei einem Zahnvorschub von 0,1 mm von AlSi1 (links) und EN-AW-1050 (rechts) und unterschiedlichen Arbeitseingriffen

4 Zusammenfassung

Durch die experimentellen Untersuchungen zur Fräsbearbeitung an zwei vergleichbaren Aluminiumlegierungen mit hoher Duktilität konnten grundlegende Zusammenhänge in der Spanbildung und wirkenden Einflussparametern auf die Zerspankraftkomponenten ermittelt werden. Die Zusammenhänge zwischen technologischen Einstellparametern und den Zerspankraftkomponenten entsprechen dabei der Erwartungshaltung. Zukünftige Arbeiten zielen auf die Bewertung des Verschleißes bei der Fräsbearbeitung und eine Analyse der dabei wirkenden Mechanismen ab.

Literatur

/GRF-17/ Zwischenbericht „GROFA - Technologie- und Werkzeugentwicklung zur Herstellung von AlSi1-Fasern für den Aufbau von hochporösen Metallstrukturen im Großserienmaßstab“ Juli 2017

/KIR-17/ Kirchner, D. „Konstruktion einer Maschine zur gezielten Spanerzeugung und Untersuchung der Spanbildung in Musterversuchen“ Forschungspraktikum, TU Dresden, Juni 2017

Untersuchungen zur Ultraschallreinigung von Filtern beispielhaft für zentrale Kühlschmierstoffreinigungsanlagen¹

Dr.-Ing. Andreas Popp

1 Zielstellung

Als Entwicklungsziele und in einem Funktionsmuster umgesetzte Ergebnisse des Projektes werden eine prozesssichere, prozessintegrierte, adaptiv gesteuerte und regelbare Reinigung von Filtern am Beispiel der Kühlschmierstoffreinigung durch Einkopplung von Ultraschall in einem aufwandsarm anpassbaren Baukastensystem angestrebt /1, 2/. Die Ergebnisse der Untersuchungen liegen vor /3/.

2 Versuchsanordnungen

Aus der Konzepterarbeitung und Konstruktion der Lösungen wurde die bauliche Realisierung als iterativer Prozess zwischen den Projektpartnern realisiert. Das Ergebnis ist in Abbildung 1 mit 6 Versuchsanordnungen dargestellt.

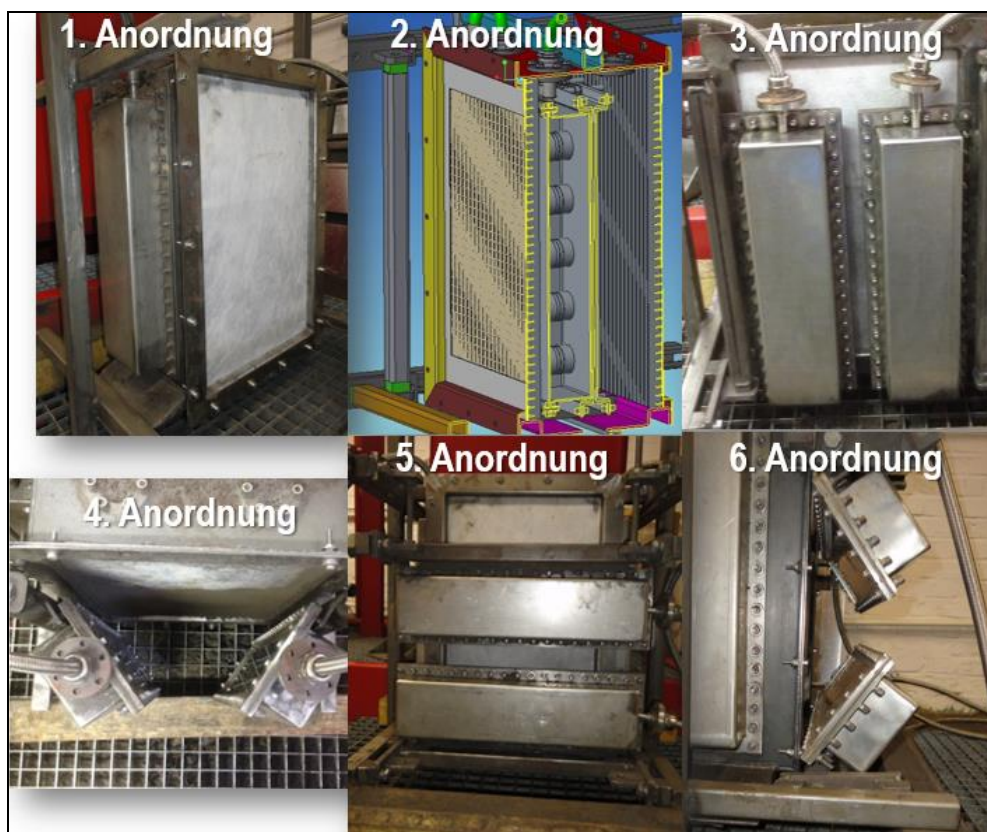


Abbildung 1: Versuchsanordnungen

Die Versuchsanordnungen unterschieden sich in folgenden Varianten:

1. Körperschalleinbindung über die Ultraschallsonotroden 1 und 5

¹ Das Projekt wird über die AiF im Rahmen der Fördermaßnahme Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des BMWi gefördert.

2. Kapselschwinger 2 und 3 im Inneren der Filterkassette
3. Kapselschwinger 4 und 6 senkrecht, gegenüber der Filterkassette
4. Kapselschwinger 4 und 6 senkrecht und um 45° geneigt, gegenüber der Filterkassette
5. Kapselschwinger 4 und 6 waagerecht, gegenüber der Filterkassette
6. Kapselschwinger 2 und 3 im Innern der Filterkassette sowie 4 und 6 waagerecht und um 45° geneigt, gegenüber der Filterkassette.

3 Versuchsergebnisse

Die Projektergebnisse lassen sich durch folgende Kernaussagen beschreiben:

1. Die zeitgleiche Kühlschmierstofffiltration und Ultraschallreinigung der Filter führte nicht zum Ergebnis. Es ist eine Unterbrechung des Filtrvorganges erforderlich.
2. Mit den Versuchsanordnungen 2, 3, 4 und 6 ist es möglich, die Filterreinigung so zu gestalten, dass die Durchflussmenge im Vergleich zum Ausgangszustand auf sehr hohem Niveau gehalten werden kann.

Beispielhaft ist dies in Abbildung 2 dargestellt. Bei allen erprobten Reinigungsregimen konnte das Ausgangsniveau des Durchflusses erreicht werden.

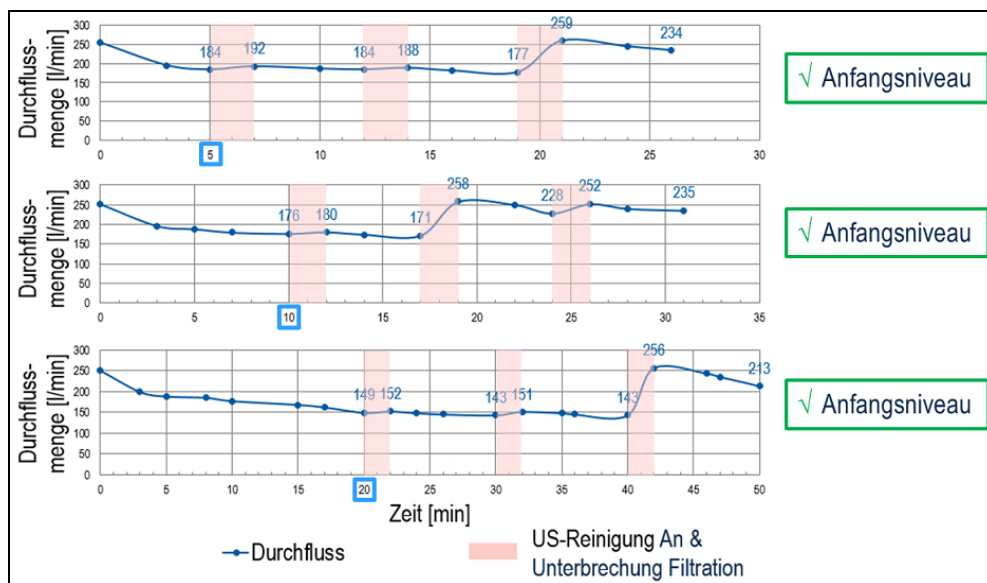


Abbildung 2: Beispielhafte Darstellung der Sondierungsversuche mit Anordnung 4

3. Die Reproduzierbarkeit der Versuchsergebnisse konnte nachgewiesen werden. Beispielhaft ist dies in Abbildung 3 dargestellt. Die Schwankungen zwischen den Versuchswiederholungen sind auf die Stochastik des Vorganges der Filterkuchenbildung zurückzuführen. Die Ursachen für diese Stochastik sind in der Inhomogenität der Filterkuchenstruktur auf Grund der schwankenden Strömungsverhältnisse im Kühlschmierstoffbehälter und unterschiedlichen Feinschmutzteilchengröße zu suchen. Entscheidend ist die Aussage, dass der Durchfluss des Filtrates durch die Reinigungswirkung des Ultraschalls auf Ausgangsniveau gebracht werden kann.

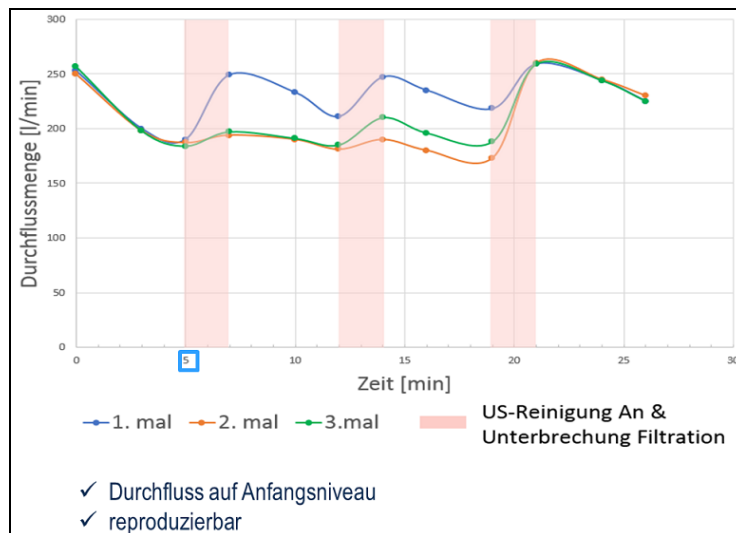


Abbildung 3: Nachweis der Reproduzierbarkeit der Versuchsergebnisse

4. Die Versuchsanordnung 6 (zeitgleiche Innen- und Außenbeschallung der Filter) wurde als Bestvariante ausgewählt.
5. Durch die Validierungsversuche mit der Versuchsanordnung 6 konnte die erforderliche Unterbrechung des Filtrationsprozesses auf 80 s reduziert und somit die Anlagenverfügbarkeit maximiert werden.

Beispielhaft ist dies in Abbildung 4 dargestellt. Aus Abbildung 5 ist die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ablesbar.

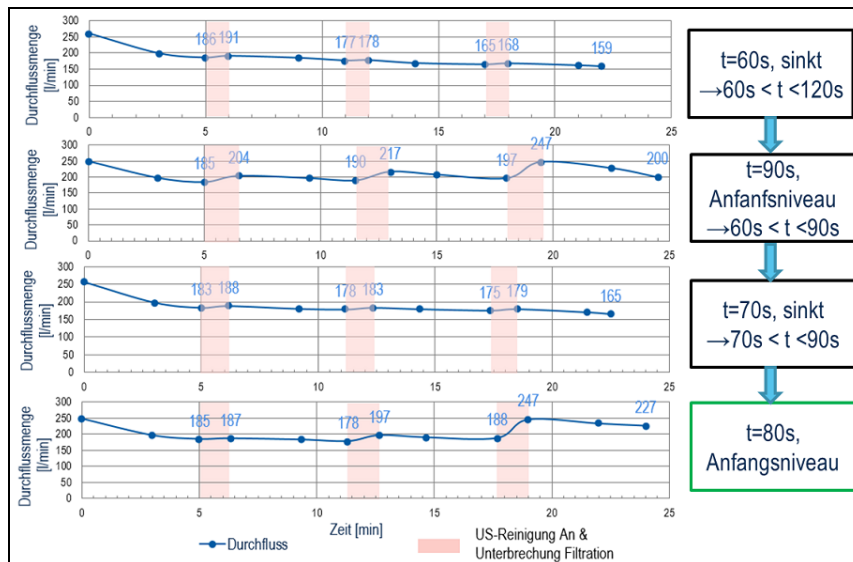


Abbildung 4: Beispielhafte Darstellung der Validierungsversuche mit Anordnung 4

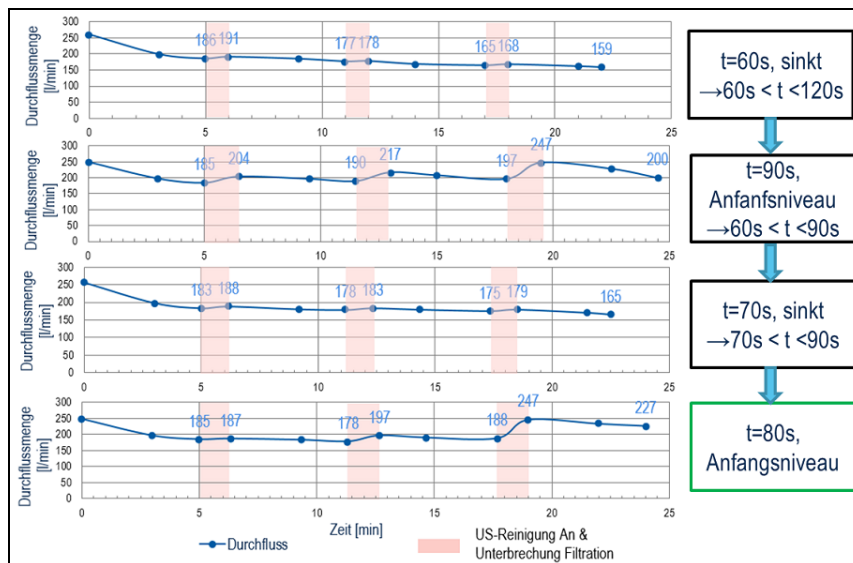


Abbildung 5: Nachweis der Reproduzierbarkeit der Validierungsversuche

4 Zusammenfassung

Mit den ermittelten Bestvariante (Versuchsmethode, Sonotrodenanordnung) wird eine konstante Filtration bei maximaler Anlagenverfügbarkeit gewährleistet. Damit kann das Filtervlies mittels Ultraschall vom Filterkuchen ohne Auszug der Filterkassette befreit und somit die Einsatzbereitschaft der Kühlschmierstoffanlage kontinuierlich gewährleistet werden. Dadurch lassen sich die Handhabung der Filterreinigung vereinfachen, der Zeitaufwand zur Filterreinigung reduzieren und Kosten sparen.

Literatur

- /1/ Popp, A.: Steigerung von Prozesssicherheit, Energieeffizienz und Anlagenverfügbarkeit durch prozessintegrierte und adaptiv initiierte Ultraschallreinigung von Filtern für zentrale Kühlschmierstoffreinigungsanlagen. In: Nestler, A.: Forschungsergebnisbericht 2015/16 der Arbeitsgruppe Produktionsautomatisierung, Zerspan- und Abtragtechnik. TU Dresden, 2017; S. 39-45
- /2/ Yazhu, Li.: Prozessintegrierte Ultraschallreinigung von Kühlschmierstofffiltern. Diplomarbeit, TU Dresden, Institut für Fertigungstechnik, 2017
- /3/ Popp, A.: Steigerung von Prozesssicherheit, Energieeffizienz und Anlagenverfügbarkeit durch prozessintegrierte und adaptiv initiierte Ultraschallreinigung von Filtern für zentrale Kühlschmierstoffreinigungsanlagen. Abschlussbericht AiF-ZIM, Dresden, 31.10.2017