

Untersuchung des Verfahrens Glätten

Dominik Ritter (Duale Hochschule Baden-Württemberg Lörrach)

Fachrichtung: Maschinenbau, Studienphase: Bachelor

Dieser Artikel bezieht sich auf die Studienarbeit [1] und [2], die im Rahmen der Theoriephase an der DHBW-Lörrach durchgeführt wurde. Hierbei geht es um die genauere Untersuchung des Verfahrens Glätten. Das Glätten ist ein Verfahren, welches zur Verbesserung der Werkstoffeigenschaften eingesetzt wird. Durch Einsatz dieses Verfahrens können Druckspannungen in der Oberflächen erzeugt werden, hierdurch erhöht sich die Lebensdauer von biegewechselbeanspruchten Bauteilen (z. B. Lagerstellen von Kurbelwellen). Außerdem lassen sich durch das Glätten sehr glatter Oberflächen erzeugen, was wiederum für eine geringe Reibung zwischen bewegten Bauteilen sorgt. Das Verfahren Glätten ist bisher nur unzureichend wissenschaftlich untersucht worden. Erkenntnisse wie beim Drehen finden sich kaum. Gerade für unerfahrene Anwender ist es wichtig, bei Problemen zu wissen welche Parameter verändert werden müssen, um die gewünschten Glättergebnisse zu erzielen. In der Studienarbeit ging es darum, herauszufinden welchen Einfluss die Parameter Einstellwinkel, Werkstoff und Glättkraft auf die Rauheit und auf die Härte haben. Im Folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse aus dieser Studienarbeit vorgestellt.

Schlagwörter: Glätten, Glattdrücken, Oberflächenbearbeitung, Randschichthärt.e

1 Allgemeines zum Glätten

Das Glätten ist ein Verfahren, welches zur Bearbeitung von Bauteiloberfläche eingesetzt wird. Die Oberfläche wird mithilfe eines Glättkörpers umgeformt, sodass die Rauheitsspitzen in die „Rauheitstäler“ gedrückt werden [9] (siehe Abb. 1). Dadurch entsteht eine sehr glatte Oberfläche. In Krafrichtung ist die Umformung und damit der Materialfluss am größten. Durch Kaltverfestigung ist die Oberfläche nach dem Glätten nicht nur glatter sondern auch härter.

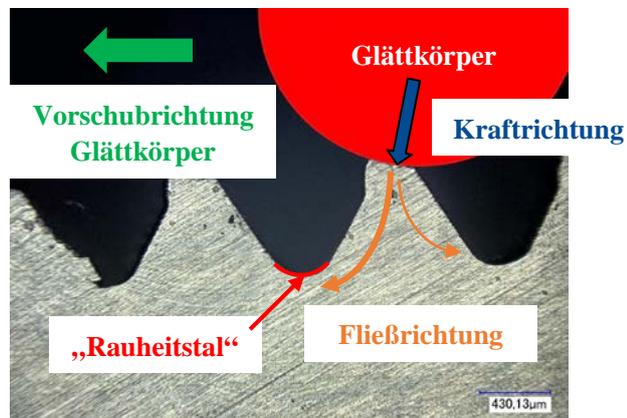


Abb. 1: Glätten eines Gewindes zur schematischen Darstellung des Fließvorganges

Grundsätzlich lässt sich das Verfahren Glätten auch auf einer Fräsmaschine einsetzen (siehe Quelle [3]). Hier kommt es vor allem bei der Herstellung von Werkzeugformen zum Einsatz. Es gibt unterschiedliche Zielsetzungen beim Glätten, zum einen kann eine möglichst hohe Randschichthärte oder eine geringe Oberflächenrauheit gefordert werden. Außerdem ist es möglich, durch die Glättbearbeitung enge Maßtoleranzen prozesssicher einzuhalten.

Neben rein technischen Aspekten sprechen auch wirtschaftliche Gründe für eine Glättbearbeitung. Durch einen geschickten Prozess kann komplett bzw. teilweise auf ein



Polieren verzichtet werden (siehe [3 S. 10]). Außerdem können durch das *Glätten* günstigere Werkstoffe verwendet werden, da durch die Bearbeitung die kritischen Stellen gezielt verstärkt werden können.

Beim *Glätten* wird die Randschicht eines Bauteils „verdichtet“ (Kaltverfestigung). Hierdurch wird die Randschicht härter und es entstehen Druckspannungen. Im Inneren des Bauteils treten leichte Zugspannungen auf (siehe **Abb. 2**). Denselben Effekt bewirkt auch das Einsatzhärten von Bauteilen, welches z. B. bei Zahnrädern zum Einsatz kommt (siehe [8 S.53]).

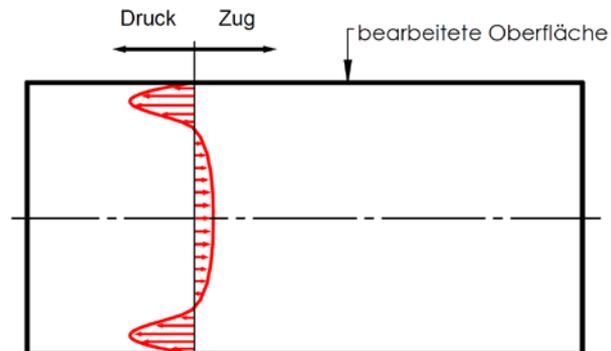


Abb. 2: Darstellung des Spannungsverlaufes eines geglätteten Drehteils [2 S.61]¹

Bei Biegebeanspruchungen werden die Radfasern stark belastet. Durch das *Glätten* müssen bei einer Belastung zuerst die Druckspannungen in den Randfasern abgebaut werden, erst danach treten Zugspannungen auf. Die Zugspannungen sorgen bei Biegebelastungen für ein Bauteilversagen. Aufgrund der Druckspannungen am Rand sind somit höhere Spannungen notwendig, um für ein Versagen des Bauteils zu sorgen. Zum Erzeugen von Druckspannungen im Randbereich von Bauteilen werden ebenfalls Verfahren wie z. B. Kugelstrahlen (Shot-Peening [7]) eingesetzt.

Biegewechselbeanspruchte Bauteile sind häufig nur für eine gewisse Lebensdauer ausgelegt, da diese andernfalls zu schwer werden würden. Durch das Glättverfahren können solche Bauteile bei gleicher Lebensdauer kleiner dimensioniert werden. Dies ist z. B. im Fahrzeugbau wichtig, da jedes Gramm, das an Gewicht eingespart werden kann, den Spritverbrauch senkt.

Eine typisches geglättetes Bauteile ist ein Radflansch (z. B. im Hinterrad eines Motorrades [4]). Dieser ist im Einsatz einer umlaufende Biegung ausgesetzt. Durch die Eigenschaften des *Glättens* kann die Lebensdauer eines solchen Bauteils erhöht werden. Weitere Beispiele für geglättete Werkstücke sind z. B. Nockenwellen, Teile aus der Luft- und Raumfahrt oder Tiefziehwerkzeuge.

Verfahren: Beim *Glätten* wird entweder eine stillstehende oder eine drehender Glättkörper eingesetzt. Bei der drehenden Variante wird eine Hartmetall- oder Kugelmikroverformung verwendet. Wird diese auf eine Werkstückoberfläche gedrückt, so kann diese während des Glättvorganges frei mitdrehen. Die Kugel wird hierbei in einem hydraulischen Strom gelagert. Um den benötigten Druck aufrecht zu halten ist ein Hydraulikaggregat notwendig, da ständig ein gewisser Leckagestrom herrscht. Hersteller eines solchen Glättwerkzeugs ist die Firma Ecoroll (siehe [5]).

¹ Gezeichnet nach [7]



Bei der stillstehenden Variante sitzt der Glättkörper fest im Werkzeug. Eine Drehbewegung ist deshalb nicht möglich. Aufgrund der höheren Belastung kommt hierbei eine halbkugelförmige Diamantspitze zum Einsatz. Hersteller solcher Glättwerkzeuge sind z. B. die Firma Baublies oder Moessner (siehe **Abb. 3**). Da der Glättkörper stillsteht, herrscht zwischen Werkzeug und Werkstück eine hohe relative Geschwindigkeit. Das Werkzeug muss deshalb während der Bearbeitung gekühlt werden, da andernfalls der Diamant beschädigt wird.



Abb. 3: Glättwerkzeug (Diamantwerkzeug variabel außen) der Firma Baublies

Bei meiner Studienarbeit kam ein Werkzeug der Firma Baublies zum Einsatz, da dieses an der DHBW-Lörrach vorhanden ist.

Es handelt sich hierbei um ein Glättwerkzeug zur Bearbeitung von Außenkonturen an Drehteilen. Durch den schwenkbaren Glättkopf kann der Winkel variiert werden (Einstellwinkel). Hierdurch lässt sich die Krafrichtung an die Geometrie des Bauteils anpassen. Durch eine Feder im Inneren kann die Zustellungskraft eingestellt werden. Es gibt vier unterschiedliche Federn, die im Lieferumfang enthalten sind. Durch diese Federn kann die Umformkraft (Walzkraft) variiert werden, wodurch sich das Werkzeug für unterschiedliche Werkstoffe eignet.

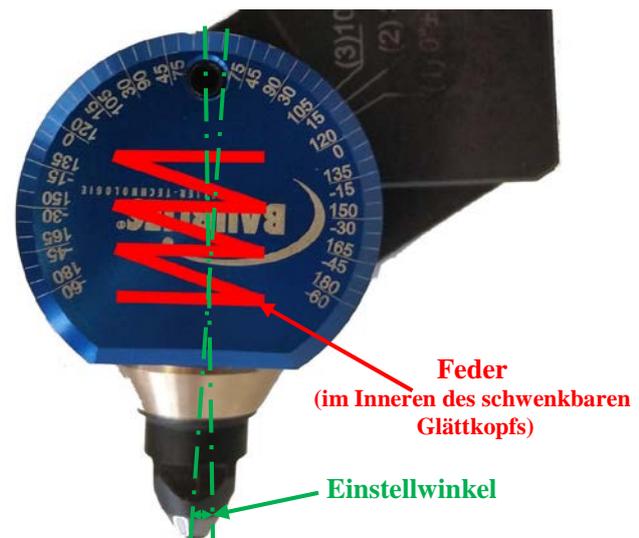


Abb. 5: Aufbau des Glättwerkzeugs der Firma Baublies

2 Umformvorgang

Beim *Glätten* werden die Rauheitsspitzen einer Oberfläche in die „Rauheitstäler“ gedrückt. Dabei werden die Spitzen aber nicht umgebogen, sondern fließen in die Rauheitstäler (seitliches Verdrängen). Vor dem Glättwerkzeug wird außerdem Material hergeschoben (Schieben) (siehe **Abb. 6**).² Diese beiden Materialflussrichtungen treten während des Glättvorganges auf und zumindest die seitliche Verdrängung konnte im Rahmen der Studienarbeit nachgewiesen werden (siehe **Abb. 1**).

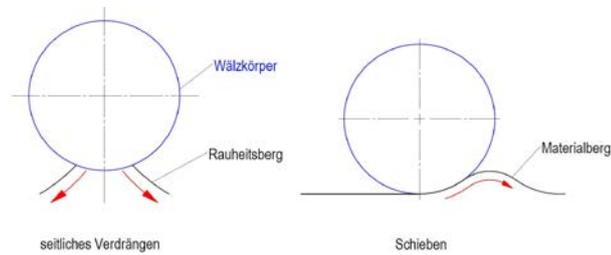


Abb. 6: Schematischer Umformvorgang beim Glätten [1 S. 136]

Die Härtezunahme der Werkstückoberfläche entsteht durch die Verdichtung der Atomlagen (Kaltverfestigung). In **Abb. 7** lässt sich dies anhand der dichteren Struktur zeigen. Diese ist in Richtung der Werkstückoberfläche ausgerichtet (rote Linie). Weiter im Bauteilinneren ist das Gefüge völlig unverändert (grüne Linie).

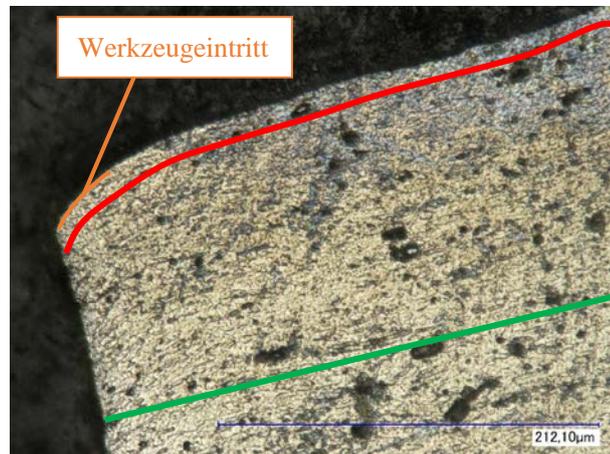


Abb. 7: Querschliff eines geglätteten Bauteils nach [1 S. 156]

3 Oberflächenuntersuchung

Die Bauteiloberfläche wurde vor und nach dem *Glätten* unter einem Weißlichtinterferometer untersucht. Hierbei wird ein Lichtstrahl in seine Spektralfarben zerlegt. Dieser Lichtstrahl wird auf die Werkstückoberfläche gelenkt. Mithilfe der Brechung und eines Spektrometers lässt sich für jeden Punkt eine Höhe ermitteln. Eine Software setzt alle Höhenpunkte zusammen. In **Abb. 8 und 9** sind eine gedrehte und eine geglättete Oberfläche zu sehen, die mithilfe dieser Methode aufgezeichnet wurden.

² Informationen hierzu aus [9] und [6 S. 207]



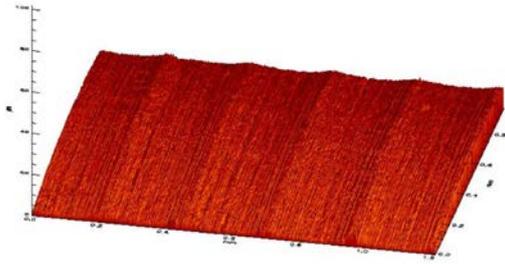


Abb. 8: Gedrehte Oberfläche mit Vorschub 0,25 mm (Werkstoff EN AW-2007) Aufnahme mit FRT Weißlichtinterferometer Intensität 25

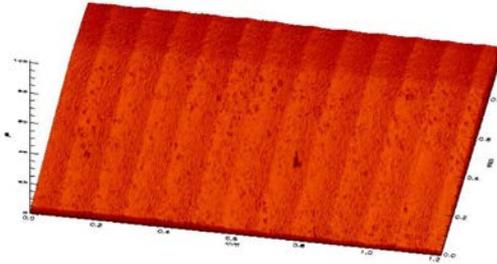


Abb. 9: Geglättete Oberfläche mit Vorschub 0,1 mm (Werkstoffe EN AW-2007) Aufnahme mit FRT Weißlichtinterferometer Intensität 25

Die Abbildungen zeigen, dass die geglättete Oberfläche deutlich glatter ist. Zudem zeigt sich, dass der Rillenabstand dichter ist. Der geringere Rillenabstand liegt am geringeren Vorschub beim *Glätten*. Die Bildgröße der beiden 3D-Aufnahmen (Abb. 8 und 9) ist hierbei gleich.

Bei der Glättbearbeitung wurde ein Vorschub von 0,1 mm/Umdrehung eingestellt. Dieser lässt sich eindeutig unter einem Mikroskop bestimmen (siehe Abb. 10).



Abb. 10: Glättvorschub an Oberfläche abgelesen unter Lichtmikroskop bei 100facher Vergrößerung nach [2 S. 68]

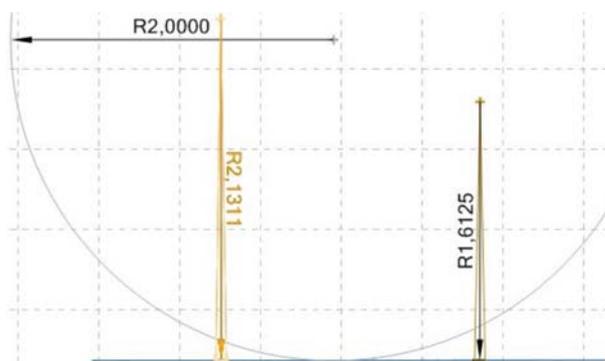


Abb. 11: Bestimmung Glättkörperradius an Oberfläche mit Konturmessung Firma Jenoptik T8000 RC [2 S. 69]

Mithilfe eines Konturmessgerätes lässt sich außerdem der Glättkörperradius grob bestimmen, er beträgt 2 mm. Das Ergebnis der Konturauswertung zeigt ebenfalls einen Radius von annähernd 2 mm (siehe Abb. 11).



4 Maßänderung beim Glätten

Aufgrund von Versuchen konnte die Formel aus [3, p. 55] auf rotationssymmetrische Teile erweitert werden (siehe **Formel 1**). Bei rotationssymmetrischen Bauteilen wird die Oberfläche im Radius betrachtet einmal geglättet (vgl. gefräste Bauteile). Im Durchmesser betrachtet entsteht damit die zweifache Änderung. Somit fällt für ebene Werkstücke die zwei aus **Formel 1** weg.

$$\Delta d = 2 * (R_{z,vorher} - R_{z,nachher})$$

Formel 1: Maßänderung beim Glätten von rotationssymmetrischen Bauteilen [2 S. 64]

Δd = Durchmesseränderung [μm]

$R_{z,vorher}$ = gemittelte Rautiefe vor dem Glätten [μm]

$R_{z,nachher}$ = gemittelte Rautiefe nach dem Glätten [μm]

Diese Formel gilt zur näherungsweisen Bestimmung der Maßänderungen. Näherungsweise bedeutet in diesem Fall, dass der Unterschied zwischen der gemessenen und der berechneten Änderung weniger als 0,01 mm beträgt. Diese Abweichung ist in den meisten Fällen zu vernachlässigen. Für noch genauere Bauteile sind im Einzelfall weitere Untersuchungen zur Maßänderung notwendig.

5 Rauheitsänderung

Die Rauheit lässt sich durch die Glättbearbeitung deutlich verbessern. Hierdurch können zuvor matte Flächen (rau) spiegelnd (glatt) gemacht werden. **Abb. 12** zeigt die optische Änderung einer gedrehten Oberfläche zu einer geglätteten.

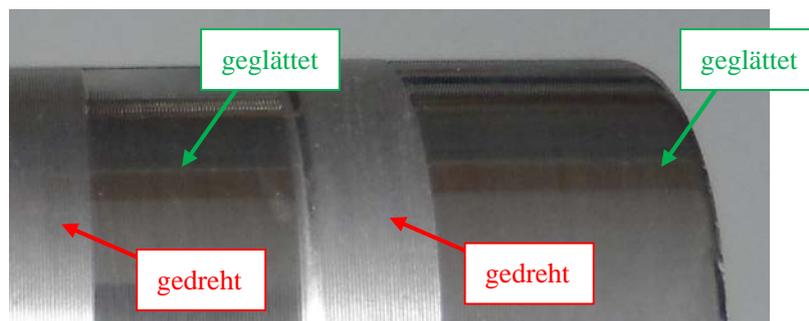


Abb. 12: Geglättete Probe nach [1 S. 153]



Bei den Versuchen, die im laufenden Abschnitt gezeigt werden, wurden der Einstellwinkel des Werkzeuges verstellt und die Zustellkraft verändert. Die Zustellkraft wirkt dabei in Krafrichtung (siehe **Abb. 1**) und entspricht damit der resultierenden Kraft auf die Oberfläche. Zusätzlich wurden unterschiedliche Aluminiumlegierungen untersucht. Angefangen mit einer sehr weichen Legierung, die hauptsächlich für die Elektrobranche produziert wird, bis hin zu einer Legierung, die in der Luft- und Raumfahrt verwendet wird.

Es zeigt sich, dass eine geringe Kraft die geringste Rauheit erzielt (unabhängig vom Werkstoff) (siehe **Abb. 13**). Nur wenn keine Kraft auf die Oberfläche wirkt, wird die Oberfläche rauer. Der Unterschied zwischen den verschiedenen

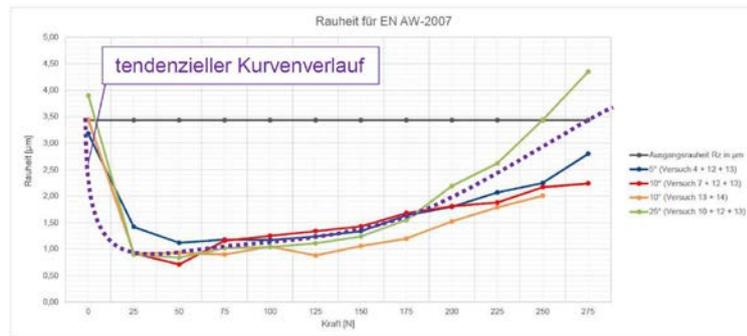


Abb. 13: Rauheitsverlauf Werkstoff EN AW-2007 nach [2 S. 51]

verschiedenen Einstellwinkeln zeigt sich bei größeren Glättkräften. Durch einen größeren Einstellwinkel wird der Kurvenverlauf steiler (vgl. grün- und blaufarbene Linie ab 175 N). Durch den größeren Einstellwinkel verstärkt sich die Oberflächenzerrüttung. Der tendenzielle Kurvenverlauf zeigt die qualitative Änderung aller Kurven.

Die schlechtere Oberfläche bei Steigerung der Glättkraft lässt sich durch die auftretende Oberflächenzerrüttung erklären. Der Werkstoff versagt somit an der Oberfläche durch die Überbeanspruchung während des Glättvorgangs. Deutlich wird diese Zerrüttung vor allem bei einer Betrachtung unter dem Mikroskop. **Abb. 14 und 15** zeigen, wie bei der weichen Aluminiumlegierung EN AW-1350A bereits 25 N mehr Kraft ausreicht um eine starke Oberflächenzerrüttung hervorzurufen. Das Material wird beim Fließen förmlich auseinandergerissen.

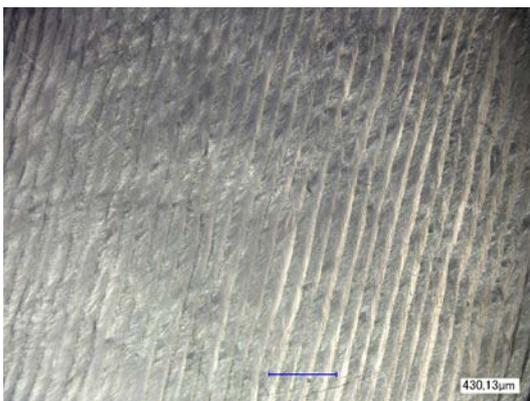


Abb. 14: geglättete Oberfläche mit 50 N Glättkraft untersucht unter Lichtmikroskop bei 100facher Vergrößerung (Werkstoff EN AW-1350A) [2 S. 50]

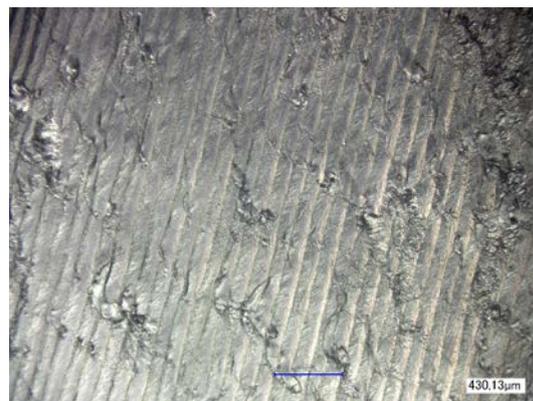


Abb. 15: geglättete Oberfläche mit 75 N Glättkraft untersucht unter Lichtmikroskop bei 100facher Vergrößerung (Werkstoff EN AW-1350A) [2 S. 50]



6 Kritische Walzkraft

Als kritische Walzkraft³ bzw. Glättkraft wird ein werkstoffspezifischer Wert [vgl. 3] bezeichnet, der unabhängig vom Einstellwinkel ist. Dies gilt zumindest für Winkel von bis zu 25° zur Senkrechten auf die Oberfläche. Ob dies auch bei größeren Winkeln gilt, kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht gesagt werden, da dies in der Studienarbeit nicht untersucht wurde. Ein Einstellwinkel von 25° ist jedoch bereits sehr groß. Für alle drei untersuchten Aluminiumsorten wurde genau dieser Wert bestimmt. Durch die Aluminiumlegierungen EN AW-1350 A (weich), EN AW-2007 (mittel) und EN AW-7075 (hart) kann das Verhalten bei unterschiedlichen Aluminiumlegierungen gezeigt werden. Die kritische Walzkraft wurde dabei so definiert, dass dies die Kraft ist, ab der verstärkt Oberflächenzerrüttung auftritt. Sichtbar ist dies zum einen unter dem Lichtmikroskop oder im Rauheitsverlauf. Im Rauheitsverlauf zeigt sich dies durch einen verstärkten Rauheitsanstieg (siehe **Abb. 19**). Hier gibt es einen Übergang zwischen der Glättkraft 150 N und 175 N. Nach Überschreiten der Kraft von 150 N stiegen die Rauheitskurven steiler (bedingt durch die Oberflächenzerrüttung).

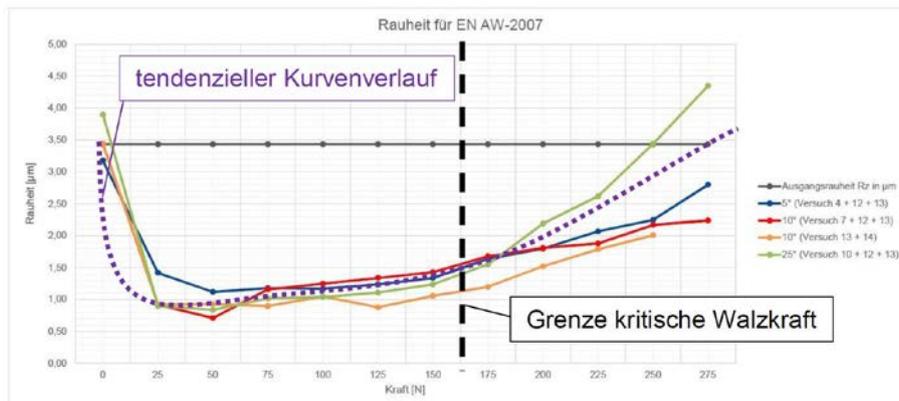


Abb. 16: Rauheitsverlauf Werkstoff EN AW-2007 mit kritischer Walzkraft [2 S. 51]

Kritische Walzkraft für untersuchte Aluminiumlegierungen

EN AW-1350A	50 N
EN AW-2007	150 N
EN AW-7075	175 N

Die kritische Walzkraft kann bedenkenlos überschritten werden. Die Rauheit wird dann jedoch mit Steigerung der Glättkraft deutlich schlechter. Sollte das Ziel sowohl eine glatte als auch harte Oberfläche sein, ist es nicht empfehlenswert, die kritische Walzkraft zu übersteigen. Ist das Ziel eine harte Randschicht, dann kann es notwendig sein die

³ Begriff ebenfalls erwähnt in [3 S. 16]



kritische Walzkraft zu überschreiten um die notwendige Aufhärtung zu realisieren. Hier muss somit je nach Anwendungsfall unterschieden werden.

7 Härteänderung

Durch die Oberflächenumformung kommt es zur Verfestigung der Randschicht. Die Verfestigung der Randschicht ist abhängig von der Glättkraft bzw. Walzkraft und dem zu glättenden Werkstoff. Zur Ermittlung der Ausgangshärte wurde ein gedrehter Abschnitt auf der Aluminiumprobe gewählt. Der Härteverlauf der Legierung EN AW-2007 ist in **Abb. 17** zu sehen. Hier kommt es direkt nach der Krafteinleitung zu einem starken Anstieg. Anschließend verläuft die Aufhärtung annähernd linear zur Walzkraft (siehe **Abb. 17** tendenzieller Kurvenverlauf). Eine höhere Glättkraft sorgt somit für eine höhere Härte der Randschicht aufgrund der steigenden Verfestigung. Der Kurvenverlauf wird flacher, da die härter werdende Oberfläche mehr Kraft benötigt, um weiter verfestigt zu werden. Bei sehr weichen Werkstoffen, wie etwa dem EN AW-1350A, ist die Aufhärtung sehr gering. Es zeigt sich aber auch hier, dass mit zunehmender Kraft die Randschichthärte steigt.

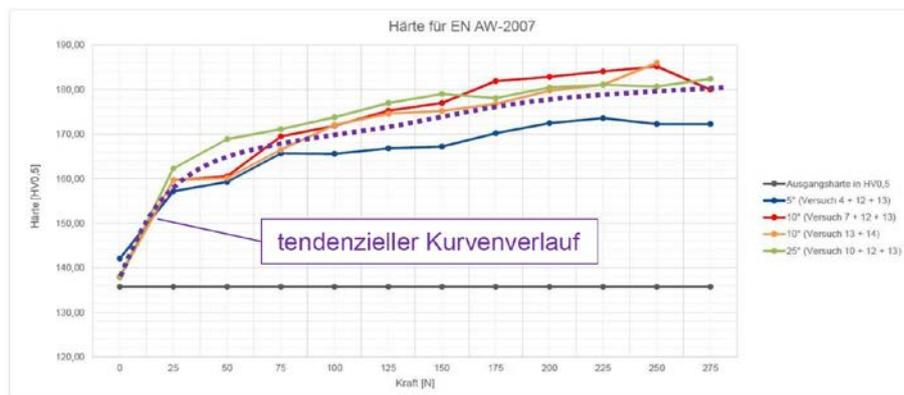


Abb. 17: Härteverlauf EN AW-2007 [2 S. 62]

Bei der Legierung EN AW-7075 (hart) (Luft- und Raumfahrt) sieht dieser Zusammenhang etwas anders aus. Es gilt auch hier, dass durch eine höhere Glättkraft eine höhere Randschichthärte erzeugt werden kann. Dabei gibt es zuerst einen annähernd linearen Verlauf, bei dem die Härte nur minimal zunimmt. Ab einer gewissen Kraft knicken die Kurven deutlich. Nach diesem Knick verläuft die Kurve wieder weitestgehend linear (siehe **Abb. 18** tendenzieller Kurvenverlauf). Es wird somit bei harten Werkstoffen eine Mindestglättkraft benötigt, um überhaupt eine Verfestigung der Randschicht zu erzeugen. Anschließend verhält sich auch dieser Kurvenverlauf wie bei der Legierung EN AW-2007 (siehe **Abb. 17**). Der Einstellwinkel hat dabei einen Einfluss auf die Mindestglättkraft (größerer Einstellwinkel = kleinere Mindestglättkraft), die benötigt wird um einen signifikante Aufhärtung der Randschicht zu erzeugen (vgl. blau- und orangefarbene Kurve).



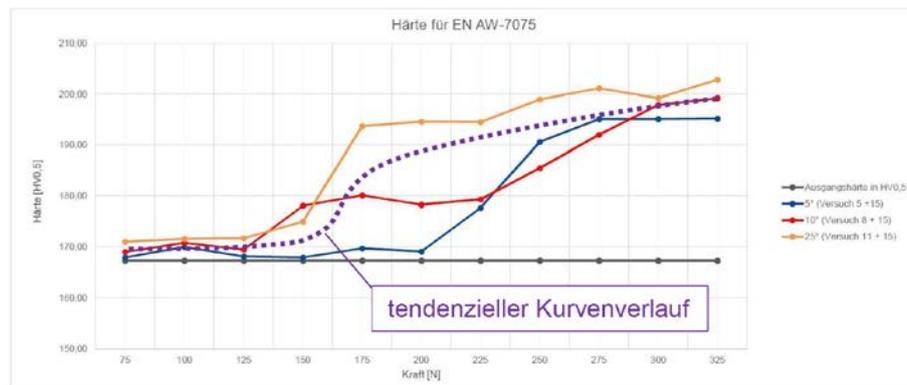


Abb. 18: Härteverlauf EN AW-7075 [2 S. 63]

8 Zusammenfassung

Dieser Artikel enthält die wichtigsten Erkenntnisse der Studienarbeiten [1] und [2]. In diesem Artikel finden sich allgemeine Grundlagen zum Thema Glätten. Diese Grundlagen umfassen den Aufbau des Glättwerkzeuges der Firma Baublies, sowie die wirtschaftlichen und technischen Aspekte, die für ein Glätten von Bauteilen sprechen. Die Formel zur näherungsweise Berechnung der Maßänderung zwischen gedrehtem und geglättetem Bauteil ist notwendig um bei präzisen Bauteilen das Aufmaß vor dem Glättvorgang berechnen zu können. Es wird gezeigt, dass eine minimale Glättkraft ausreicht um die geringste Rauheit zu erreichen und dass eine Steigerung der Kraft eine Erhöhung der Rauheit bewirkt. Die kritische Walzkraft, die in diesem Artikel für drei Aluminiumlegierungen aufgeführt ist, wird benötigt, wenn sowohl eine gute Rauheit als auch eine hohe Randschichthärte notwendig sind. Die Änderung der Härte ist vor allem für verschleißfeste Randschichten relevant. Eine Steigerung der Glättkraft bewirkt hier generell einen Anstieg der Härte. In diesem Artikel wurden einige Zusammenhänge auf Grund des geringeren Umfanges weggelassen bzw. verkürzt dargestellt.

9 Literatur

- [1] Ritter, D. (2016). Untersuchung des Verfahrens Glätten - Grundlagen, DHBW Lörrach.
- [2] Ritter, D. (2016). Untersuchung des Verfahrens Glätten - Versuchsdurchführung zur Bestimmung der kritischen Walzkraft und Vorbereitung für weitere Studienarbeiten, DHBW-Lörrach.
- [3] D.-I. J. S. D.-I. K. W. M.Sc. Steitz, M. (2013). Maschinelle Oberflächeneinglättung für den effizienten Werkzeug- und Formenbau, PtU (TU Darmstadt), PhM (TU Darmstadt), Fraunhofer IST, Braunschweig.
- [4] „Motorrad.net“ [Online]. Abgerufen am 30.08.2016: <http://www.motorrad.net/radflansch>.



- [5] „Homepage Ecoroll,“ [Online]. Abgerufen am 07.05.2016: <http://www.ecoroll.de>.
- [6] Lange, K. (1988). Umformtechnik Band 2 Massivumformung, 2. Auflage Hrsg., Springer Verlag,.
- [7] „Festwalzen Ecoroll,“ [Online] Abgerufen am 29.08.2016: <http://www.ecoroll.de/verfahren/festwalzen-grundlagen-des-festwalzens.html>.
- [8] B. M. S. T. Klocke, F. (2012). Methodik zur Identifizierung von funktionsrelevanten Oberflächen- und Randzoneneigenschaften in der Hartfeinbearbeitung, Apprimus Verlag.
- [9] „WOLFGANG GRIESSHABER GMBH,“ [Online]. Abgerufen am 19.10.2015: <http://glattwalzen.com/html/technologien.html>.

