

Verfahren zur Implementierung einer Kreislaufwirtschaft und ressourcenschonenden Werkstoffwahl in der Produktion von Handwerkzeugen

Walter Hänse, Rainer Blum

Fakultät Mechanical and Medical Engineering, Hochschule Furtwangen University, 2022

Abstract–Das stoffliche Recycling von Handwerkzeugen stellt eine Herausforderung dar. Hierzu ist eine Trennung der Werkstoffverbunde in ihre Einzelkomponenten erforderlich. Im Rahmen dieser Arbeit werden unterschiedliche mechanische, thermische und chemische Verfahren zusammengefasst, mit welchen dieses Ziel erreicht werden kann. Um den Produktionsprozess der Handwerkzeuge noch ressourcenschonender zu gestalten und die Verwendung von rohöl-basierten Kunststoffen zu reduzieren, werden im zweiten Teil der Arbeit Biokunststoffalternativen identifiziert und hinsichtlich ihrer Eignung für die Produktion von Handwerkzeugen untersucht.

Schlüsselworte– Recycling, biobasierte Kunststoffe, Spritzguss, Mehrkomponenten, Handwerkzeuge, Polypropylen,

I. EINLEITUNG

Wiha ist einer der weltweit führenden Hersteller von Handwerkzeugen für den professionellen Einsatz in Industrie & Handwerk. Vor 80 Jahren als kleiner Familienbetrieb gegründet, ist Wiha heute ein weltweit operierendes Unternehmen.

Ressourcen werden knapp. Eine Reihe wichtiger Rohstoffe ist nur begrenzt verfügbar und da die Weltbevölkerung wächst, steigt auch stetig die Nachfrage nach Rohstoffen. Um diesem Trend entgegenzuwirken, plant die Firma Wiha Werkzeuge GmbH eine Initiative, bei welcher Kunden gebrauchte Handwerkzeuge an dafür vorgesehene Abgabestellen der Kreislaufwirtschaft zuführen können. Die eingesammelten Handwerkzeuge sollen nach Möglichkeit zu 100% in der Produktion neuer Produkte wiederverwendet werden. Hierzu wurde als erster Schritt am Beispiel der anfallenden Ausschussschraubendreher im Unternehmen überprüft, wie diese zukünftig rohstofflich verwertet werden können.

Im aktuellen Prozess werden die fehlerhaften Schraubendreher in einer Vorrichtung eingespannt und deren Griffe abgezogen, um diese unbrauchbar zu machen. Die Griffe werden dann im Restmüll entsorgt. Es handelt sich hierbei um einen Dreikomponentengriff. Der Kern wird in einer ersten Spritzung aus Polypropylen-Copolymer-Rezyklat (PPC) hergestellt. Hier werden auch die im Produktionsprozess anfallenden Angüsse wiederverwendet. Anschließend werden die Kerne mit einer eingefärbten Außenschicht aus PPC Neuware umspritzt. Zuletzt wird in einem dritten

Spritzgießprozess eine eingefärbte Weichzone aus thermoplastischen Elastomeren (TPE) aufgebracht.

Dieser Mix aus drei Komponenten eignet sich nicht für die direkte Wiederverwendung in Form von Rezyklat für Schraubendreher. Wegen des TPE-Anteils werden daraus gefertigte Kerne zu weich, um das auftretende Drehmoment auf die Stahlklinge eines Schraubendrehers übertragen zu können. Nach dem Abziehen des Griffes bleibt, je nach Variante, entweder eine reine Stahlklinge oder wie in Abbildung 1 dargestellt, eine umspritzte Klinge zurück.



Abbildung 1 Umspritzte Klinge

Im aktuellen Prozess werden die reinen Stahlklingen bei hohen Losgrößen erneut eingelagert. Kleine Losgrößen werden als Schrott verkauft, da der Aufwand für die Kontrolle und Einlagerung nicht wirtschaftlich wäre. Hinzu kommt die hohe Fehlerwahrscheinlichkeit bei der Zuordnung der einzelnen Profile. Die umspritzten Klingen werden zusammen mit den abgezogenen Griffen kostenpflichtig als Siedlungsmüll entsorgt. Das Entsorgungsunternehmen führt beides dann der thermischen Verwertung zu. Hierbei wird der Kunststoffanteil zur Energiegewinnung verbrannt und der Stahlanteil anschließend aus dem Aschebehälter zurückgewonnen und als Stahlschrott weiterverkauft.

Anhand der Produktionszahlen aller europäischer Produktionsstandorte des Jahres 2021 für Schraubendreher, wurde eine Jahresmenge von 5,8 Tonnen Kunststoff und 3,2 Tonnen Stahl ermittelt, die der thermischen Verwertung zugeführt wurden. Um die Produktion der Schraubendreher noch nachhaltiger zu gestalten, werden Wege gesucht, um diese Mehrkomponentenbauteile in Zukunft der stofflichen Verwertung zuzuführen.

II. KREISLAUFWIRTSCHAFT

A. Trennverfahren

Das Trennen der Umspritzung von der Stahlklinge stellt sich als schwierig dar, da es über 300 unterschiedliche Klingenvarianten gibt. Sofern man den

Prozess auch auf weitere Handwerkzeuge, wie beispielsweise Zangen anwenden möchte, steigt der Komplexitätsgrad wegen der unterschiedlichen Geometrien. Dies ist darin begründet, dass die Stahlbestandteile je nach verwendeter Stahlsorte eine vorgegebene Mindesthärte von 55-58 HRC besitzen [1]. Durch die vorgeschriebene Wärmebehandlung [2] liegt die tatsächliche Härte im Bereich von 59-62 HRC. Damit sind die Stahlbestandteile zu hart, um beispielsweise geschreddert werden zu können. Es empfiehlt sich daher die Kunststoffbestandteile gezielt abzuschälen oder abzuschneiden. Dies kann beispielsweise mit federnd gelagerten Schälmessern oder per Wasserstrahl erfolgen.

Thermisch gibt es die Möglichkeiten den Kunststoff zu erwärmen, bis dieser abfließt. Versuche bei denen die Klingen durch Induktion erwärmt wurden führten jedoch nicht zum gewünschten Erfolg. Hierbei entwickeln die Kunststoffe Dämpfe und erleiden teilweise eine Thermoschädigung, da sie nach dem Spritzgießen über die initiale Schmelztemperatur erwärmt werden müssen, um die notwendige Viskosität zu erreichen [3]. Ein komplettes Abfließen wurde nicht erreicht, was einen zusätzlichen Bürstprozess erforderlich machte. Daher empfiehlt sich eine Abkühlung des Kunststoffes und damit einhergehende Versprödung in flüssigem Stickstoff. Durch die Abnahme der Duktilität lässt sich der Kunststoff mit einem Schlagimpuls von der Klinge brechen.

Bei den chemischen Trennverfahren wird der Kunststoff in einer Säure oder Lauge aufgelöst und im weiteren Prozess in Reinform oder in Form eines anderen Produktes wieder zurückgewonnen. Alle kommerziell genutzten Verfahren haben gemeinsam, dass bereits im Voraus zerkleinerte Kunststoffteilchen aufgelöst werden. Wie bereits beschrieben ist ein Zerkleinern aufgrund der Härte der Stahlklingen nicht wirtschaftlich realisierbar. Die umspritzten Klingen als Ganzes dem Prozess zuzuführen, würde zu einer erhöhten Prozesszeit führen und je nach Medium zu einer Korrosion der Stahlklingen.

B. Recyclingmethoden für Kunststoffgriffe

Mehrkomponenten-Kunststoffabfälle, wie die abgezogenen Griffe, könnten zerkleinert werden, um PPE und TPE voneinander zu trennen. In der Recyclingindustrie verbreitete Verfahren, wie die optischen Methoden, bei denen die Infrarotlichttransmission der Kunststoffe für die Trennung verwendet wird, funktionieren bei dunkel eingefärbten Kunststoffen nicht zuverlässig. Ebenfalls weit verbreitete Verfahren sind die Schwimm- und Sinktrennung oder die Schaumflotation, welche die Dichteunterschiede der Kunststoffe für die Trennung nutzen. Da die von Wiha verwendeten Kunststoffe in ihrer Dichte sehr nahe beieinander liegen und eine Verbindung miteinander eingehen, funktionieren diese Trennverfahren nicht zuverlässig. Somit erweisen sich

hier insbesondere die chemischen Recyclingmethoden als interessante Möglichkeiten. Zu den hierbei verwendeten chemischen Prinzipien gehören Pyrolyse, Vergasung, Hydrolyse, Hydrocracking, katalytisches Cracking, Solvolyse und Depolymerisation. Wirtschaftlich betrieben werden vornehmlich Hydrolyse, Hydrocracking und Depolymerisation. Allerdings sind diese Methoden nur für eine geringe Anzahl von teuren Polymeren wie Polymethylmethacrylat (PMMA) und Polyetheretherketon (PEEK) ökologisch und ökonomisch sinnvoll [4]. Bei PPC müsste eine Jahresmenge von 20.000-30.000 Tonnen erreicht werden, um eine solche Anlage wirtschaftlich betreiben zu können. Ebenfalls weit verbreitet ist die Pyrolyse. Bei dieser entstehen neben Gasen wie H_2 und CH_4 flüssige Kohlenwasserstoffe und Paraffine, die als Energieträger verwendet werden können [5].

Der vom Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung entwickelte Creasolv-Prozess, wäre bereits ab einer Jahresmenge von 8.000 Tonnen wirtschaftlich betreibbar. Allerdings wäre hier laut Anlagenhersteller Creacycle GmbH eine Anfangsinvestition von 2-4 Millionen Euro nötig, um ein Pilotwerk zu bauen [6]. In dem Prozess werden je nach Zielpolymer unterschiedliche Lösemittel formuliert, die sowohl für den Anwender, als auch für die Umwelt absolut ungefährlich sind. Dies ist ein weiterer Vorteil gegenüber den zuvor erwähnten chemischen Prozessen [7].

Eine weitere Möglichkeit ist die stoffliche Verwertung der Griffe in anderen Produkten, bei denen der TPE Anteil und die damit einhergehenden, verbesserten Fließeigenschaften von Vorteil sind. Somit würde die Notwendigkeit der Trennung entfallen.

III. FAZIT UND AUSBLICK

Wegen der hohen Investitionskosten und der benötigten Stoffströme ist chemisches Recycling nur als Branchenlösung sinnvoll, die von einem Zusammenschluss mehrerer Hersteller finanziert wird. Bis dies geschieht, wurde in der PROGODA Kunststoffverwertung GmbH ein regionaler Verwerter gefunden, der abgezogene Griffe ankaufen würde, um daraus Mahlgüter für die Bauindustrie herzustellen. Für die Anwendungen in diesem Bereich ist das verbesserte Fließverhalten durch den TPE Anteil vorteilhaft. Eine Kalkulation auf Basis der Produktionsdaten von 2021 ergab ein zusätzliches Einsparungspotential von 2800 Euro pro Jahr.

Für die umspritzten Klingen wurde eine mögliche Kostenreduktion von 58.000 Euro pro Jahr ermittelt, sofern diese wieder der Produktion zugeführt werden. Nach Abzug der Kosten für die manuelle Kontrolle und Einlagerung wäre ein Einsparungspotential von bis zu 26.000 Euro pro Jahr möglich. Bei Investitionen, die zur Fertigungsoptimierung dienen, wird bei Wiha in der

Regel eine Amortisationszeit von 2 Jahren angestrebt. Die Kosten für eine automatisierte Abziehvorrückung übersteigen erfahrungsgemäß das sich ergebende Budget. Im Sinne einer planvollen und langfristig tragbaren Verwendung der Ressourcen, empfiehlt es sich dennoch, die nötigen Investitionen zu tätigen.

IV. RESSOURCENSCHONENDE WERKSTOFFWAHL

A. Anforderungen an die biobasierten Kunststoffe

An Kunststoffe, die für die Verwendung im Bereich der Handwerkzeuge vorgesehen sind, werden eine Reihe von Anforderungen gestellt:

- Optik
- Druckhaftung
- Torsionsfestigkeit
- Schlagzähigkeit
- Beständigkeit gegen aggressive Medien

Der Bereich der biobasierten Kunststoffe kann in zwei Arten unterteilt werden. In biobasierte Kunststoffe, die biologisch abbaubar sind und in biobasierte Kunststoffe, die nicht biologisch abbaubar sind. Für die Verwendung im Bereich der Handwerkzeuge erweisen sich die biologisch nicht abbaubaren als geeignet, da mit Handwerkzeugen in der Regel durch den Benutzer nicht pfleglich umgegangen wird. So müssen diese auch bei ausgedehnten Phasen in suboptimalen Bedingungen beständig sein und dürfen auch nach Jahren der Lagerung nicht anfangen zu kompostieren. Hinzu kommen die Gesetzeslage und der Stahlbestandteil, welche eine Entsorgung auf beispielsweise dem heimischen Kompost verbieten. Somit bieten die biologisch abbaubaren, biobasierten Kunststoffe keinen Mehrwert für den Endverbraucher.

Die biobasierten Kunststoffe, die nicht biologisch abbaubar sind, bestehen im Fall der Polyamide aus der aus Rizinusöl gewonnenen Sebacinsäure und im Fall der Polyerephthalate aus dem aus Mais gewonnenen Biopropandiol (PDO).

B. Ausgewählte Vertreter

Für die Herstellung der ersten Schraubendreher-Serie wurden zwei biobasierte Kunststoffe aus dem Portfolio des Hauptlieferanten der Wiha Werkzeug GmbH ausgewählt. Hierbei wurde darauf geachtet, dass die Eigenschaften denen, der bereits in der Produktion verwendeten Kunststoffe ähnlich sind. So wurde ein biobasierter PPC mit einem Schmelzflussindex von $5 - 7 \frac{g}{min}$ und ein biobasierter TPE mit einer Härte von 75 Shore-A ausgewählt.

V. MATERIALIEN UND METHODEN

A. Herstellung der Erstmuster

Die Erstmuster wurden in einer standardisierten Produktionslinie der Firma Wiha mit den in der Produktion verwendeten Prozessparametern hergestellt. Die Kernspritzung wurde mit dem in der Produktion von Standartschraubendrehern verwendeten PPC-Rezyklat ausgeführt. Die fertigen Schraubendreher wurden, wie in der Produktion üblich, in einen Karton gelegt in dem eine Weich-Polyethylenfolie (LD-PE) als Trennschicht dient. Sobald die erste Lage gefüllt war, wurde eine LD-PE-Folie als Trennschicht zwischen den Schraubendrehern eingelegt und die nächste Lage befüllt. Nach der Herstellung blieben die Schraubendreher für 2 Wochen eingelagert bevor mit den Untersuchungen begonnen wurde.

B. Optische Kontrolle

Bei der optischen Kontrolle wurden 30 Prüflinge untersucht. Es wurden die Form und Farbe des Griffes und des Zweikomponentenschritzzuges auf Unregelmäßigkeiten, Überspritzungen oder nicht ausgefüllte Bereiche untersucht.

C. Absonderungen des biobasierten TPE

Da bei der optischen Kontrolle kleine, ölige Flecken auf sechs Schraubendrehergriffen zu erkennen waren und die in Abbildung 2 dargestellten öligen Rückstände auf der LD-PE-Folie zurückblieben, wurde das Verhalten der Kunststoffe bei direktem Kontakt mit LD-PE und Hart-Polyethylen (HD-PE) untersucht.



Abbildung 2 Ölige Rückstände auf LD-PE Folie

Am Platz, an dem die Schraubendreher eingelagert waren, hatten diese direkte Sonneneinstrahlung erfahren. Daher wurden je ein Schraubendreher in LD-PE-Folie und HD-PE-Folie eingewickelt und bei einem Außenversuch für eine Woche in die Sonne gelegt. Als Kontrolle wurde ein Standartschraubendreher in LD-PE-Folie eingewickelt. Die klimatischen Bedingungen während des Versuches sind in Abbildung 3 dargestellt.

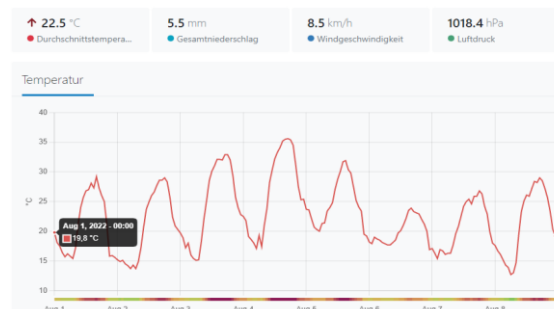


Abbildung 3 Klimatische Bedingungen [8]

D. Druckqualität und Druckhaftung

Zuerst wurde eine optische Kontrolle der Druckqualität durchgeführt. Im Anschluss wurde bei sechs Prüflingen die Druckhaftung mit einem Abriebtest nach DIN EN IEC 60900 überprüft. Hierzu wurden der bedruckte Griff und die Kappe für 15 Sekunden mit einem in Wasser getränkten, Baumwolltuch abgerieben. Im Anschluss wurde die Druckqualität überprüft und dokumentiert. Der gleiche Versuch wurde mit einem in 99,9%igen Isopropanol getränkten, Baumwolltuch durchgeführt.

E. Untersuchung des Spritzgusses

Ein Schraubendrehergriff wurde entlang der Achse getrennt und dann langsam bis zur Mitte des Griffes Nassgeschliffen. Nun wurde das, durch den Spritzguss erzeugte Gefüge und die Haftung der biobasierten Kunststoffe auf dem Kern untersucht.

F. Falltest

Zwei Schraubendreher wurden zuerst aus einer Höhe von 30cm fallen gelassen und nach jedem Falltest auf Beschädigungen untersucht. Die Höhe wurde dann sukzessive jeweils um 30cm bis zu einer Höhe von 210cm gesteigert.

G. Bruchdrehmomentuntersuchung

Bei der Bruchdrehmomentuntersuchung wurden jeweils 5 Schraubendreher aus biobasierten Kunststoffen mit Standard-Schraubendrehern verglichen. Es wurde untersucht, ab welchem Drehmoment die Klinge anfängt sich im Griff zu verdrehen. Bei jeweils einem Schraubendreher wurde untersucht welche Verdrehwinkel bei erneutem Anlegen eines Drehmomentes erreicht werden. Für die Messung wurden an die Klingen Flächen geschliffen, damit diese sicher in einem Dreibackenfutter eingespannt werden können. Die Griffe wurden, wie in Abbildung 4 dargestellt, in einer Drehmomentversuchsanlage der SCHATZ GmbH eingespannt. Als Messsensor wurde ein Kistler Drehmomentsensor verwendet, mit einem Messbereich von 0-50Nm bei einer Messunsicherheit von $\leq 0,5\%$ nach DIN EN ISO 51309 [9].



Abbildung 4 Versuchsaufbau Bruchdrehmoment

Die geforderten minimalen Bruchdrehmomentwerte und Verdrehwinkel sind je nach Profil der Schraubendreherklinge unterschiedlich, da auch die Ausformung der Flügel, die das Drehmoment in den

Griff übertragen, unterschiedlich ist. Diese wurden der betriebsinternen Norm BN 1152 entnommen und in der Software hinterlegt. Für die verwendeten Klingen mit einem Kreuzschlitzprofil PH 2 beträgt das geforderte minimale Bruchdrehmoment 18Nm bei einem minimalen Verdrehwinkel von 15° [10].

H. Lösemittelbeständigkeit

Für die Untersuchung der Lösemittelbeständigkeit wurden je zwei Schraubendreher aus biobasierten Kunststoffen und ein Standardschraubendreher für insgesamt 72 Stunden in die folgenden Medien eingelegt:

- Bremsenreiniger
- Bremsflüssigkeit
- Kühlmittel
- Hydrauliköl
- Isopropanol 99,9%
- Verdünnung

Die Schraubendreher wurden nach 30 Minuten zur Kontrolle aus den Medien genommen. Nach einer optischen Kontrolle im feuchten Zustand wurden die Schraubendreher vorsichtig getrocknet und auf Quellungen und Qualität des Druckes untersucht. Anschließend wurde das starke Anziehen einer Schraube im Uhrzeiger- und Gegenuhrzeigersinn simuliert, um den Widerstand gegen ein aufgebrachtes Drehmoment zu überprüfen. Dieses Vorgehen wurde erneut nach, 1 Stunde, 2 Stunden, 4 Stunden, 8 Stunden, 24 Stunden, 48 Stunden und 72 Stunden durchgeführt.

VI. ERGEBNISSE

Die optische Kontrolle der Schraubendreher bezüglich Form und Druckqualität zeigt keine Auffälligkeiten. Allerdings sind auf 6 der 30 kontrollierten Schraubendreher vereinzelte kleine ölige Flecken zu erkennen, die sich erst nach intensivem Abreiben entfernen lassen. Auf den als Trennschicht verwendeten LD-PE-Folien befinden sich die in Abbildung 2 dargestellten öligen Rückstände in den Bereichen, in denen die Folie die Griffe berührt hat. Beim Versuch das Austreten von Öl beim Kontakt mit Folie durch Sonneneinstrahlung zu provozieren, tritt erneut beim biobasierten Schraubendreher in LD-PE-Folie Öl aus.

Druckqualität und Haftung sind vergleichbar mit Standard-Schraubendrehern. Der Druck lässt sich weder mit Wasser noch mit Isopropanol abreiben. Beim Abriebtest mit Isopropanol lässt sich eine leichte Verschlechterung erkennen, die sich im Rahmen der betriebsinternen Vorgaben befindet.

Die Qualität des Spritzgusses aus Abbildung 5 ist vergleichbar mit der eines Standardschraubendrehers. Die unterschiedlichen Komponenten gehen eine gute Verbindung miteinander ein und lassen sich nicht abschälen. Die Bläschen in der Kernspritzung entstehen

durch die Zugabe von Treibmittel. Dieses wird beigefügt, um die Bildung großer Lunker zu vermeiden.

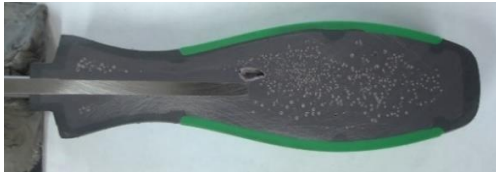


Abbildung 5 Querschnitt Schraubendrehergriff

Dementsprechend sind die mechanischen Eigenschaften der Schraubendreher auch besser als gefordert. So sind beim Falltest keine Beschädigungen an den Schraubendrehern entstanden. Bei der Messung des Bruchdrehmoments haben alle Schraubendreher die profilspezifischen Anforderungen übertroffen. Im linken Schaubild von Abbildung 6 ist in grün das erreichte Anziehdrehmoment von einem Schraubendreher aus biobasiertem Kunststoff mit einem PH 2 Profil dargestellt und in rot das erreichte Anziehdrehmoment von einem Standardschraubendreher mit einem PZ 2 Profil. Beide übertreffen die profilspezifischen Anforderungen [10]. Das rechte Schaubild zeigt das erreichbare Anziehdrehmoment, wenn der Versuch nach dem ersten Verdrehen wiederholt wird. Es ist zu erkennen, dass die Schraubendreher trotz des ersten Überschreitens des geforderten Bruchdrehmoments weiterhin verwendbar bleiben.

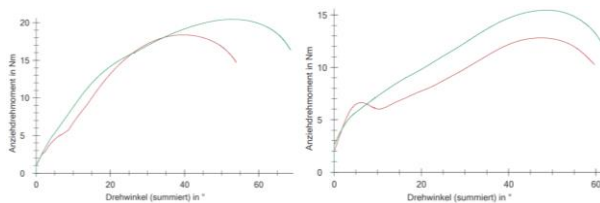


Abbildung 6 Bruchdrehmomentuntersuchung

Die Ergebnisse der Lösemittelbeständigkeit fallen je nach Medium unterschiedlich aus. Die Schraubendreher sind gegen Maschinenreiniger, Hydrauliköl, Isopropanol und Bremsflüssigkeit resistent. Unterschiede sind bei diesen Medien lediglich in der Resistenz der Bedruckung und der Farbechtheit der Griffe zu erkennen. Der Druck bleibt im Maschinenreiniger komplett erhalten, im Isopropanol und Hydrauliköl gibt es minimale Ablösungen. Im Kühlmittel löst sich der Druck der biobasierten Schraubendreher nur minimal, während der Druck der Standardschraubendreher sich zu 30% ablöst. In der Bremsflüssigkeit löst sich der gesamte Druck bereits nach 2 Stunden ab. Im Isopropanol kommt es bei den biobasierten Schraubendrehern bereits nach 30 Minuten zu einem starken aufhellen der Farbe des TPE, diesen Farbton behält der Schraubendreher dann aber über den gesamten Untersuchungszeitraum bei.

Bei der Verdünnung beginnen die Standardschraubendreher bereits nach 30 Minuten

aufzuquellen und nach 72 Stunden beträgt die Quellung bereits 3 mm im Durchmesser. Der Druck bleibt zu 50% erhalten. Die biobasierten Schraubendreher beginnen erst nach 4 Stunden minimal aufzuquellen und bleiben auch nach 72 Stunden in diesem Zustand. Der Druck bleibt hier aber nur zu 30% erhalten.

Der Bremsenreiniger erweist sich als aggressivstes Medium da die Standardschraubendreher nach 30 Minuten bereits stärker aufquellen als in den anderen Medien. Das Aufquellen wird immer stärker, und ist nach 48 Stunden so weit fortgeschritten, dass es beim Aufbringen von einer Drehmoment-Belastung zu starken Rissen und nach 72 dann zu dem vollständigen Abreißen der Weichzone des Griffes kommt. Auch die biobasierten Schraubendreher quellen bereits nach einer Stunde minimal auf, bleiben aber auch nach 72 Stunden in diesem Zustand. Es kommt zu einem kontinuierlichen Verlust der Farbintensität, der Druck bleibt aber komplett erhalten.

VII. DISKUSSION

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass Schraubendreher aus biobasierten Kunststoffen eine echte Alternative zu den Rohöl-basierten Schraubendrehern aus der aktuellen Produktion der Firma Wiha darstellen. Sie erfüllen die geforderten mechanischen Eigenschaften und erweisen sich als beständiger gegenüber Lösungsmitteln, mit denen die Schraubendreher im Arbeitsalltag in Verbindung kommen könnten. Lediglich die Tendenz des ausgewählten TPE unter Sonneneinstrahlung Öl abzusondern, stellt ein Hindernis für einen bedenkenlosen Einsatz in der Fertigung dar. Wenn bei einem Schraubendreher beispielsweise im Baumarkt in der Verpackung Öl austritt, wird das Produkt dadurch schwer verkäuflich und die Gefahr eines Imageschadens für das Unternehmen besteht. Eine Rücksprache mit unterschiedlichen Herstellern hat ergeben, dass der Effekt bei den ölhaltigen Produkten mancher Hersteller bekannt ist. Die Empfehlungen der Hersteller gingen daher zu biobasierten TPE's die kein Öl enthalten. Diese wären eine Alternative, sind mit einer Härte von 80-85 Shore-A aber härter als die ursprüngliche Anforderung, da das Öl als Weichmacher dient.

VIII. FAZIT UND AUSBLICK

Da die bisherigen Untersuchungen vielversprechend sind, wurden Produkte eines neuen Lieferanten identifiziert und bestellt. Im Bereich der TPE wurde ein ölhaltiger TPE eines anderen Herstellers bestellt, um zu untersuchen ob dieser auch die Tendenz hat Öl abzusondern. Zusätzlich wurde ein TPE ohne Öl-Bestandteile bestellt, um zu untersuchen, ob das Griffgefühl trotz der höheren Härte noch angenehm ist. Der Lieferant bietet auch die weitere Modifikation seiner Produkte entsprechend den Kundenanforderungen an.

Da diese modifizierten Produkte teilweise noch produziert werden müssen und daher längere Lieferzeiten haben, sind sie zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieser Arbeit noch nicht abgemustert und getestet.

IX. LITERATURVERZEICHNISS

- [1] Betriebsnorm BN 1151. 2021-11-11.
Härteprüfung von Klingen für Schraubendreher und Stiftschlüssel
- [2] Betriebsvorschrift BV 1235. 2022-02-28.
Härte- und Anlassparameter für Schraubwerkzeuge
- [3] BRIEHL, Horst: *Chemie der Werkstoffe*. 4., überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Spektrum, 2021
- [4] RUDOLPH, Natalie ; KIESEL, Raphael ; AUMNATE, Chuanchom: *Einführung Kunststoffrecycling : Ökonomische, ökologische und technische Aspekte der Kunststoffabfallverwertung*. München : Hanser, 2020 (Hanser eLibrary)
- [5] MAISELS, Arkadi ; HILLER, Andreas ; SIMON, Franz-Georg: *Chemisches Recycling für Kunststoffe: Status und Perspektiven*. In: *Chemie Ingenieur Technik* 93 (2021), Nr. 11, S. 1742–1750
- [6] ORTH, Peter ; BRUDER, Jürgen ; RINK, Manfred: *Kunststoffe im Kreislauf: Vom Recycling zur Rohstoffwende*. 1. Auflage 2022. Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2022
- [7] FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR VERFAHRENSTECHNIK UND VERPACKUNG IVV: *Kunststoff-Recycling - CreaSolv® Prozess*. URL <https://www.ivv.fraunhofer.de/de/recycling-umwelt/kunststoff-recycling-creasolv.html#creasolv> – Überprüfungsdatum 2022-08-30
- [8] METEOSAT: *Wetterrückblick und Klimadaten Schonach im Schwarzwald*. URL <https://meteostat.net/de/place/de/schonach-im-schwarzwald?s=D1214&t=2022-08-01/2022-08-08> – Überprüfungsdatum 2022-08-29
- [9] KISTLER GRUPPE: *Datenblatt Drehmomentsensor mit rotierender Messwelle Typ 5413-1100/50*. Winterthur Schweiz, 2017
- [10] Betriebsnorm BN 1152. 2021-12-14.
Drehmomente für Schraubendreherklingen