



Diplomarbeit

Qualitative und wirtschaftliche Optimierungspotentiale in der Prozesskette wärmebehandelter Bauteile

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs (Dipl.-Ing. oder DI)

eingereicht an der TU Wien,
Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften
von

Bernhard Gregor Hainberger, BSc

Mat.Nr.: 01125877

unter der Leitung von
Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Ernst Kozeschnik
Institut für Werkstoffwissenschaften und Werkstofftechnologie, E308

Ich nehme zur Kenntnis, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen von mir selbstständig erstellt wurde. Alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, sind in dieser Arbeit genannt und aufgelistet. Die aus den Quellen wörtlich entnommenen Stellen, sind als solche kenntlich gemacht.

Das Thema dieser Arbeit wurde von mir bisher weder im In- noch Ausland einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt. Diese Arbeit stimmt mit der von den Begutachterinnen/Begutachtern beurteilten Arbeit überein.

Wien, im Februar 2019

Bernhard Gregor Hainberger, BSc

Danksagung

Mein größter Dank gilt meinen Eltern, Mag. Kurt und Mag. Renate Hainberger. Ich konnte mir während des gesamten Studiums ihrer Unterstützung sicher sein.

Für die Kooperation, um diese Diplomarbeit erarbeiten zu können, bedanke ich mich bei den Mitarbeitern der STIWA Automation GmbH, im Besonderen meiner Betreuerin, Frau DI Dr. Angelika Zeilinger, sowie meinen Kollegen Ing. Manfred Rahofer, MSc und Yu Zhang, MSc.

Ein herzlicher Dank gilt meinem Betreuer seitens der Technischen Universität Wien, Herrn Univ.Prof. DI Dr. Ernst Kozeschnik, für die gute Zusammenarbeit.

Kurzfassung

In der Prozesskette wärmebehandelter Bauteile der STIWA Automation GmbH wurden Probleme mit den Produktqualitäten und zu hohe Produktionskosten festgestellt. Dadurch ergab sich der Bedarf an einer Analyse dieser Prozesse in Hinblick auf Qualität und Wirtschaftlichkeit rund um die Wärmebehandlung. Diese Dienstleistung wird durch einen externen Lieferanten durchgeführt.

Mittels Interviews der unternehmens-internen und -externen Mitarbeiter sowie Bestelldaten von zwei Geschäftsjahren wurde der Bestellprozess analysiert. Zusätzlich wurde eine ABC-Analyse bezüglich Kosten und Stückzahlen der verwendeten Werkstoffe durchgeführt. Dabei ergab sich eine hohe Dominanz von nur zwei Werkstoffen, die einen Anteil von ca. 80 % der Stückzahlen ausmachen. Die weiteren 15 Werkstoffe sollten auf Rationalisierungspotentiale untersucht werden, da sie im Bestellprozess durch geringe Bestellmengen hohe Wärmebehandlungskosten verursachen.

Die standardisierten Wärmebehandlungen werden teilweise zu wenig genutzt. Bei sechs Werkstoffen ist ihr Anteil größer ein Viertel. Diese führen zu hohen Kosten, die entweder durch eine Rationalisierung oder eine Erweiterung der Standards gesenkt werden können.

Darüber hinaus wurde eine beträchtliche Variabilität der Bestellmengen aufgezeigt. Die wöchentliche Anzahl an Bestellpositionen der meist verwendeten Werkstoffe schwankt im Mittel um 25 %. Eine Glättung dieser Spitzen würde Verschwendungen vermeiden.

Die an den Dienstleister geschickten Lieferungen werden oft geteilt, trotz gleicher Wärmebehandlung, wodurch Mehrkosten durch Unterschreiten der Mindestbestellmenge oder Mengenrabattgrenzen entstehen. Das theoretisch mögliche Einsparungspotential für den am meisten bestellten Werkstoff belief sich auf ein Viertel der Kosten.

In Erfahrung gebracht wurde auch, dass Bauteile für Wärmebehandlungen, die vom Lieferanten nur einmal wöchentlich vonstattengehen können, unverzüglich in den Versand zum Wärmebehandler gehen. Diese verrechnet allerdings der Dienstleister als einzelne Lieferungen, obwohl sie dann am selben Wochentag wärmebehandelt werden. Das Optimierungspotential ist hier eine termingenaue Bestellung, damit sich die Wärmebehandlungskosten nicht vervielfachen.

Zuletzt könnte im Bestellwesen noch die Anzahl an standardisierten Wärmebehandlungen rationalisiert werden. Die Vereinigung von Wärmebehandlungen gleicher Härte- und Anlasstemperaturen, aber unterschiedlicher Werkstoffe, wäre technologisch möglich und soll daher in Abstimmung mit dem Lieferanten geprüft werden.

Aufgrund fehlender, interner Qualitätsprüfungen hinsichtlich des Wärmebehandlungszustandes der Werkzeuge wurde eine Stichprobe in Form von

Härteprüfungen durchgeführt. Dabei kam das Verfahren nach Vickers zur Anwendung. Die ermittelten Werte wurden anschließend normgerecht in Härtewerte nach Rockwell umgewertet. Die Ermittlung der Messunsicherheit fand ebenfalls normgerecht statt und schlug sich in der Bewertung der Ergebnisse nieder.

Die Stichprobe von 85 Teilen ergab, dass die Härtewerte im Mittel um die obere Toleranzgrenze normalverteilt sind und eine hohe Streuung aufweisen. Es sind statistisch mindestens 36 % in Ordnung, wiederum mindestens 29 % nicht. Eine Analyse der Härteprüfungsergebnisse von Routineprüfungen des Wärmebehandlers zeigten ebenso eine Tendenz zu höheren Werten. Auffällig dabei ist die ungleichmäßige Verteilung, die bei der oberen Toleranzgrenze abrupt gegen null geht. Dies lässt ein irreguläres Runden der Härtewerte vermuten.

Abstract

In the process chain of heat-treated components of STIWA Automation GmbH, problems with product qualities and too high production costs were identified. That is why an analysis of these processes in terms of quality and cost-effectiveness around heat treatment was necessary. These treatments are done by an external supplier.

The ordering process was analysed by interviews between the company's internal and external employees as well as order data from two financial years. In addition, an ABC analysis was carried out regarding the costs and quantities of used materials. This resulted in a high dominance of only two materials, which account for about 80 % of the quantities. 15 further materials should be examined for rationalization potentials, as they cause high heat treatment costs in the ordering process due to low order volumes.

Some of the standardised heat treatments are hardly used. The share of six materials is greater than a quarter. These lead to high costs, which can be reduced either by rationalizing or extending standards.

In addition, a considerable variability in order volumes was shown. The weekly number of order positions mostly used materials varies by an average of 25 %. Smoothing these spikes would avoid wasting.

Deliveries sent to the service provider are often split, despite identical heat treatment. Therefore, additional costs arise by falling below the minimum order or volume discount limits. Theoretically, the possible potential savings for the most ordered material equals a quarter of the costs.

It has also been experienced that components for heat treatments, which can only be done by the supplier once a week, are immediately sent to the supplier. However, these are billed as individual deliveries, although they are then heat treated on the same day of the week. The optimization potential is a more time-accurate order, so that the heat treatment costs do not multiply.

Finally, the number of standardised heat treatments could be rationalised in the ordering system. The combination of heat treatments of the same hardening and tempering temperatures, but different materials, would be technologically possible and should therefore be examined in coordination with the supplier.

Due to the lack of internal quality tests regarding the hardness of the tool steels, a sample was performed by hardness tests. The test according to Vickers was used. Moreover, the determined values were then re-evaluated in hardness values according to Rockwell. Measurement uncertainty was determined and included in the assessment.

The sample of 85 parts showed that the hardness values are normal distributed on average around the upper tolerance level and have a high variation. Statistically at least 29 % are out of order, and 36 % are fine. Results of supplier's routine tests illustrated a tendency towards higher values as well. Obviously, the distribution is uneven, shown by an abruptly drop to zero at the upper tolerance level. This suggests an irregular rounding of hardness levels.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Aufgabenstellung.....	2
3	Literaturstudie.....	3
3.1	ABC-Analyse.....	3
3.2	Bestellwesen.....	3
3.2.1	Die Bestellung.....	4
3.2.2	Informationsflüsse in der Logistik.....	4
3.3	Wärmebehandlung.....	5
3.3.1	Vakuumhärten.....	5
3.3.2	Anlassen.....	6
3.4	Härteprüfung.....	7
3.4.1	Härteprüfung nach Rockwell.....	7
3.4.2	Härteprüfung nach Vickers.....	8
3.4.3	Umwertung von Härtewerten.....	9
3.4.4	Messunsicherheit von Härteprüfungen.....	9
4	Angewandte Methoden.....	11
4.1	Messunsicherheit der Härteprüfungen.....	11
4.2	Härteprüfung durchgehärteter Bauteile.....	12
5	Ergebnisse.....	14
5.1	Wirtschaftliche Analyse der Prozesskette.....	14
5.1.1	Resultate der ABC-Analyse.....	15
5.1.2	Nutzung der Standardwärmebehandlungen.....	16
5.1.3	Variabilität der Bestellungen.....	18
5.1.4	Bestellkostenanalyse.....	18
5.1.5	Optimal terminierte Bestellungen.....	19
5.1.6	Vereinigung technologisch gleicher Wärmebehandlungen.....	20
5.2	Qualitative Analyse wärmebehandelter Bauteile.....	20
5.2.1	Resultate der Härteprüfungen.....	20
5.2.2	Härteprüfungsdaten des Wärmebehandlers.....	22
6	Diskussion und Ausblick.....	23

6.1	Erkenntnisse aus der ABC-Analyse	23
6.2	Sonderwärmebehandlungen und Variabilität	23
6.3	Vereinigung der Standard-Wärmebehandlungen	24
6.4	Informationsfluss im Bestellwesen.....	24
6.5	Diskussion zur qualitativen Stichprobe	25
7	Zusammenfassung.....	26
8	Literaturverzeichnis	27

1 Einleitung

Steigende Produktionsmengen führten in den historisch gewachsenen Produktionsprozessen der STIWA Automation GmbH zu Problemen hinsichtlich Produktqualität und hohen Kosten bezüglich der Wärmebehandlung von Werkzeugbauteilen. Die Fachabteilung „Werkstofftechnik“ nahm diesen Umstand zum Anlass, die Prozesse rund um die Wärmebehandlung zu analysieren und Optimierungspotentiale zu erarbeiten. Eine Besonderheit ist, dass es sich um unternehmens-externe Wärmebehandlungen handelt, was spezifische Phänomene zu Tage treten lässt.

Das Familienunternehmen STIWA Automation GmbH hat ihren Sitz in Attnang-Puchheim und ist Teil der STIWA Group, welche 1972 von Herrn Sticht Walter gegründet wurde. Die Unternehmensgruppe beschäftigt derzeit mehr als 2.000 Mitarbeiter. Der größte Anteil des Umsatzes der Unternehmensgruppe, ca. 60 %, wird dem Geschäftsbereich „Automation“ zugeschrieben. In diesem werden Komplettlösungen für Montage- und Prozessanlagen sowie Zuführsysteme entwickelt, produziert und montiert [1].

Die in solchen Anlagen verbauten Werkzeuge sind zumeist Einzelteile. Sie müssen den Anforderungen von Schneid-, Greif- oder Prägeoperationen genügen und es werden Standzeiten von über eine Millionen Zyklen gefordert. Deshalb ist aus technischer Sicht für diese Bauteile eine Wärmebehandlung unabdingbar.

Die Wärmebehandlungen dieser Werkzeuge werden von der STIWA Automation GmbH nicht selbst durchgeführt. Diese Dienstleistungen werden von einem externen Lieferanten, einem auf Wärmebehandlungen spezialisierten Unternehmen, übernommen. Die Bauteile werden demnach nach der internen Eigenfertigung und vor der weiteren Bearbeitung bzw. Montage an den Wärmebehandler geliefert.

Aufgrund des stetigen, großen Wachstums des Geschäftsbereichs „Automation“ der vergangenen Jahre änderten sich die Bedingungen für die Wärmebehandlungen. Der Fachbereich „Werkstofftechnik“ der STIWA Automation GmbH hat daher den Beschluss gefasst, diese historisch gewachsene Prozesskette der Wärmebehandlung zu analysieren und Optimierungspotentiale zu erarbeiten.

An dieser Stelle soll auch noch erwähnt werden, dass dem Wärmebehandler besonderes Vertrauen entgegengebracht wird. Die Bauteile werden nach erfolgter Dienstleistung unternehmensintern nicht auf ihren Wärmebehandlungszustand geprüft. Demnach entstand ein Interesse an einer Analyse des qualitativen Zustands der Werkzeuge.

2 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung gliedert sich in folgende Punkte:

- Analyse des bestehenden Bauteilespektrums.
Dabei sind die Bestelldaten des Lieferanten, der die Wärmebehandlungen durchführt, heranzuziehen. Besonderer Fokus liegt auf Werkstoffe, Verfahren, Menge und Variabilität. Mit der Methode der ABC-Analyse sind die Werkstoffe zu analysieren. Die Ergebnisse sind anhand der Daten von zumindest einem Geschäftsjahr zu erarbeiten.
- Ist-Analyse der derzeitigen Prozesskette durchgehärteter Bauteile.
Es wurde festgelegt die für die Wärmebehandlung relevanten Prozesse zu betrachten. Dabei liegt der Fokus auf den Vorgängen, die der Wärmebehandlung nahe sind. Das sind insbesondere die Vorgänge im wärmebehandlungsbezogenen Bestellwesen.
- Qualitative Analyse durch Härteprüfungen an gehärteten Bauteilen anhand einer aussagekräftigen Stichprobe.
Festgelegt wurde ein Stichprobenumfang von mindestens 50 Bauteilen. Je Werkstoff sind dabei zumindest drei Teile zu prüfen. Die Härteprüfungsergebnisse sind je nach Nennwerten und jeweiligen Toleranzen zu bewerten. Ziel ist eine qualitative Aussage über die Lieferqualität der gehärteten Bauteile.
- Evaluierung von Optimierungspotentialen in Hinblick auf Qualität und Wirtschaftlichkeit beim Härten von Bauteilen.
Nach abgeschlossener Analyse des Ist-Zustandes sind gegebenenfalls sich ergebende Optimierungspotentiale festzustellen.

3 Literaturstudie

3.1 ABC-Analyse

Für die Recherchen des Kapitels „3.1 ABC-Analyse“ wurden die Literaturquellen [2] und [3] herangezogen.

Zur Analyse des eigenen Werkstoffportfolios eines Produktionsunternehmens ist die ABC-Analyse eine weit verbreitete Methode. Sie stellt die Wert-Mengen-Verhältnisse gegenüber und teilt die Werkstoffarten in Klassen (A, B, C) ein. Durch diese Methode wird aufgezeigt, dass zumeist ein hoher Anteil am Gesamtwert auf einige wenige Werkstoffarten fällt.

Werkstoffarten werden üblicherweise der Gruppe A zugeordnet, wenn der Anteil am Wert bei 60-80 % liegt. Bei dieser Gruppe sollte ein großes Augenmerk auf die Disposition und die Bedarfsermittlung gelegt werden.

In die Gruppe B sollten Werkstoffarten mit einem Wertanteil von 10-30 % gezählt werden. Die Anzahl der Werkstoffarten ist dabei aber höher als die der Gruppe A.

Schließlich werden alle übrigen Werkstoffarten der Gruppe C zugeordnet. Sie haben einen Gesamtwert < 10 % und den größten Anteil an Werkstoffarten. Der Dispositionsaufwand soll hier weitestgehend reduziert werden.

Die Grenzen der Gruppen können grundsätzlich frei gewählt werden und obliegen dem jeweiligen Analysten.

Um die Klassifizierung vornehmen zu können, werden die Werkstoffarten nach den relativen Wertanteilen sortiert und die kumulativen Wertanteile berechnet. Bei Betrachtung der kumulierten Werte kann dann die Zuordnung nach den oben genannten Grenzwerten vorgenommen werden.

Für schlanke Beschaffungsprozesse ist eine Einteilung der Werkstoffarten von Vorteil, da aufgrund der großen Bestellmengen Schwerpunkte bei Beschaffungsprozessen zu setzen sind. Durch die ABC-Analyse können so gruppenspezifische Maßnahmen und Prozesse gesetzt und entwickelt werden. Der Gruppe A sollte dabei die größte Beachtung hinsichtlich Markt-, Preis- und Kostenstruktur geschenkt werden. Hingegen ist das Bestellwesen von Werkstoffarten der Gruppe C möglichst schlank zu halten, da diese selten und zu geringen Mengen bestellt werden.

3.2 Bestellwesen

Für die Recherchen des Kapitels „3.2 Bestellwesen“ wurden die Literaturquellen [2], [3] und [4] herangezogen.

3.2.1 Die Bestellung

Eine verbindliche Aufforderung eines Abnehmers an einen Lieferanten, Güter oder Dienstleistungen unter vereinbarten Bedingungen zu liefern, wird Bestellung genannt. Um Verschwendungen zu vermeiden, sollte eine geringe Anzahl an Bestellungen gewählt bzw. auf Mengenbündelung sowie Lieferantenbündelung geachtet werden. Dies führt zu Ressourceneffizienz, da sowohl auf Lieferanten- als auch auf Abnehmerseite der Logistikaufwand gesenkt wird. Es sollte bedacht werden, dass bei jeder Bestellung Fixkosten anfallen.

Die Bestellmengenentscheidung wird unter Abwägung bestimmter Kriterien gefällt und führt zur Bedarfsmenge. Relevante Kriterien können dabei Kapazitätsgrenzen sein, zum Beispiel Verpackungsgrößen. Andererseits sind bei der Bedarfsermittlung auch Mengenrabatte zu berücksichtigen. Die Regelmäßigkeit und Vorhersehbarkeit des Bedarfes sollten dabei möglichst gut bekannt sein. Unregelmäßige Bestellmengen können zu erhöhten Kosten führen.

3.2.2 Informationsflüsse in der Logistik

Der Begriff „Elektronic Data Interchange“ (EDI) steht heute für ein Konzept zur Geschäftsdatenübermittlung zwischen Telekommunikationssystemen verschiedener Unternehmen. Die Daten werden zwischen den unternehmenseigenen Systemen papierlos und automatisiert ausgetauscht. Genutzt wird dieses Konzept, beispielsweise, bei routinemäßigen Rechnungsübermittlungen, Bestellungen, Überweisungen etc.

Vorteile von EDI sind Zeitersparnisse in den Geschäftsprozessen, Vermeidung von Fehlern durch Sprachhürden, Einsparung von Personalressourcen durch den Wegfall manueller, nicht wertschöpfender Tätigkeiten, gegebenenfalls kürzere Lieferzeiten und eine Verbesserung der Kunden-Lieferanten Beziehung.

Den Vorteilen entgegen steht eine nicht zu unterschätzende Implementierungshürde. Einfluss auf die erfolgreiche Umsetzung haben insbesondere:

- Motivation: vorhandenes Wissen und erwartete Vorteile, externer Druck etc.
- Unternehmenscharakter: Mitarbeiter, Umsatz etc.
- Dokumente: Art, Format, Austauschmethode etc.
- Barrieren: Kosten, Zeit, fachlicher Aufwand etc.

Die Entscheidung für eine Implementierung bedarf einer Gegenüberstellung der Vorteile und der Hürden.

3.3 Wärmebehandlung

Für die Recherchen des Kapitels „3.3 Wärmebehandlung“ wurden die Literaturquellen [5] und [6] herangezogen.

In den folgenden Kapiteln werden neben den Grundlagen im Speziellen Warm-, Schnell- und legierte Kaltarbeitsstähle betrachtet.

3.3.1 Vakuumhärten

Für verschiedenste Anwendungen ist es notwendig, die Werkstoffeigenschaften von Stahl gezielt zu verändern. Einige Eigenschaften, wie Härte oder Verschleißfestigkeit, können durch eine Wärmebehandlung verändert werden. Eine Kombination der Wärmebehandlungsprozesse Härten und Anlassen ist dabei eine gängige Behandlung und wird als Vergüten bezeichnet, wenn die Anlasstemperatur oberhalb von 500°C liegt.

Das Härten hat, gemäß DIN EN 10052, den Zweck, im Bauteil ein martensitisches Gefüge herzustellen, um die Härte zu maximieren. Es kann sinnvoll in drei Zeitabschnitte gegliedert werden, siehe Abbildung 1. Im ersten Schritt, dem Erwärmen, werden die im Ofen befindlichen Teile auf eine vordefinierte Behandlungstemperatur erwärmt. Dies kann stufenweise oder kontinuierlich erfolgen. Ziel ist in dieser Phase, dass möglichst alle im Härteofen befindlichen Teile über den gesamten Querschnitt die gewünschte Temperatur erreichen. Die Behandlungstemperatur wird zuerst an den Bauteiloberflächen erreicht und erst später in den Kernen großer Bauteile oder in Haufwerken kleinerer Teile. Übliche Behandlungstemperaturbereiche sind für legierte Kaltarbeitsstähle 770 bis 1200°C, für Warmarbeitsstähle 780 bis 1200°C und für Schnellarbeitsstähle 1180 bis 1300°C.

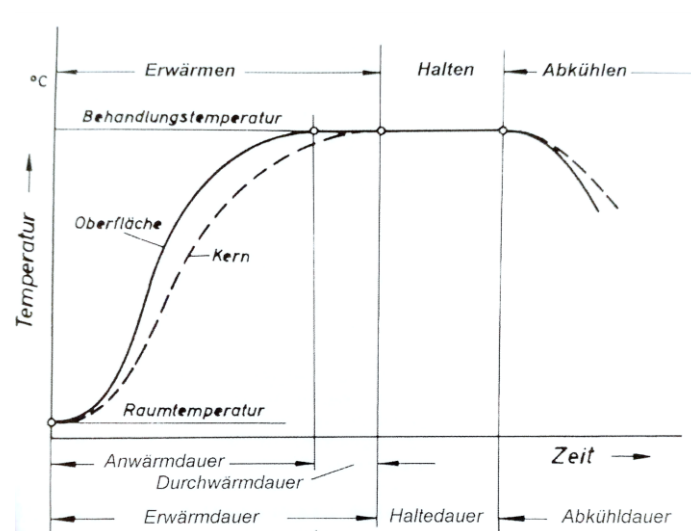


Abbildung 1: Zeit-Temperatur-Diagramm des Härten [5]

In der zweiten Phase wird die zuvor erreichte Behandlungstemperatur gehalten, um die vollständige Umwandlung des Gefüges in Austenit und die Auflösung von Carbiden zu erreichen. Diese Haltedauer ist abhängig von der chemischen Werkstoffzusammensetzung

und dem Ausgangsgefüge. Zu lange Haltedauern oder zu hohe Behandlungstemperaturen können negative Auswirkungen auf die Bauteileigenschaften haben.

In der dritten Phase des Härtens, dem Abkühlen bzw. Abschrecken, wird mit einer Abkühlgeschwindigkeit größer als der oberen kritischen Abkühlgeschwindigkeit bis auf oder sogar unter Raumtemperatur abgeschreckt. Durch dieses Vorgehen werden Diffusionsvorgänge von Eisen- und Kohlenstoffatomen unterdrückt, wodurch das austenitische Gefüge größtenteils in Martensit umgewandelt wird, was dem gewünschten Ergebnis des Härtens entspricht. Das Abkühlen kann auch stufenweise erfolgen.

Das Abschrecken auf Temperaturen unterhalb der Raumtemperatur wird als Tiefkühlen bezeichnet. Dies kann bei bestimmten Werkstoffzusammensetzungen notwendig sein, wenn die Martensit-Endtemperatur unterhalb der Raumtemperatur liegt und der Austenit vollständig in Martensit umgewandelt werden soll. Das Tiefkühlen muss allerdings unmittelbar nach dem Abschreckvorgang vonstattengehen (bis max. 4 Stunden), da der verbliebene Austenit, Restaustenit genannt, stabilisiert. Die Vorteile eines restaustenitfreien Gefüges sind eine höhere Härte und Verschleißfestigkeit.

Aufgrund der erhöhten Temperaturen in einem Härteofen, reagiert die Stahloberfläche während des Härtens leichter mit der Umgebung. Um einen unerwünschten thermochemischen Einfluss möglichst gering zu halten, werden, beispielsweise, inerte Schutzgase verwendet. Einen guten Schutz bietet auch das Härten in Vakuum. In den so genannten Vakuumöfen wird bei höher legierten Stählen, wie Warm- oder Schnellarbeitsstahl, üblicherweise mit Stickstoff abgeschreckt. Der Druck beim Abschrecken mit Stickstoff wird dabei meist auf bis zu 20 bar erhöht, um die Wärmeabfuhr zu beschleunigen. Helium würde eine noch bessere Wirkung erzielen.

3.3.2 Anlassen

Das Anlassen findet, ebenso wie das Härten, in der DIN EN 10052 eine Definition. Es wird durch ein Erwärmen auf Temperaturen zwischen Raumtemperatur und A_{c1} und ein temporäres Verharren auf dieser Temperatur sowie ein entsprechendes Abkühlen definiert. Ziel des Anlassens ist die Zähigkeit der Bauteile zu erhöhen, da es durch das Härten zu einer Versprödung der Bauteile kommt. Martensit, Bainit und Restaustenit werden vom Anlassen beeinflusst, sodass Kohlenstoff in Form von Carbiden ausgeschieden wird. Außerdem werden Versetzungen abgebaut, was im Allgemeinen zu einer Reduzierung der Härte führt. Für Warm- und Schnellarbeitsstähle kommt dem Anlassen eine besondere Bedeutung zu, da es aufgrund der Legierungselemente beim Anlassen zu einem so genannten Sekundärhärtungseffekt kommt.

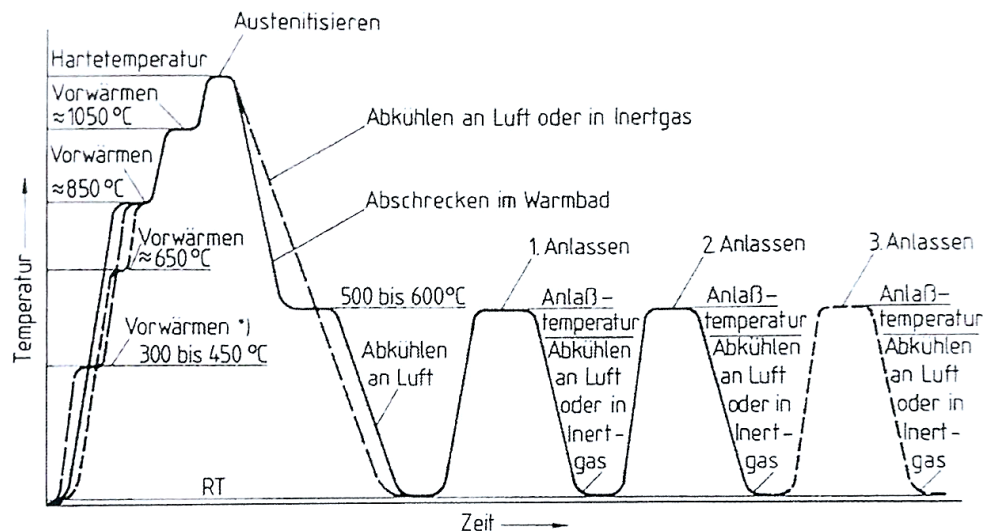


Abbildung 2: Zeit-Temperatur-Diagramm für Härten und Anlassen von Schnellarbeitsstahl [5]

Nach dem ersten Anlassen ist empfehlenswert die Härte der Bauteile zu prüfen, weil die von Normen und Literatur empfohlenen Anlassparameter Unsicherheiten beinhalten. Variierende Bauteilgeometrien und Bedingungen im Ofen beeinflussen zudem das Ergebnis der Wärmebehandlung.

Der Restaustenitgehalt nach dem Härten kann bei Warm-, Schnell- und legierten Kaltarbeitsstählen 10 bis 40 % betragen. Dieser wird allerdings während des ersten Anlassvorganges in Martensit oder Bainit umgewandelt. Deshalb sollte bei diesen Stählen zumindest ein zweites Mal angelassen werden, damit auch dieser neu entstandene Martensit angelassen wird. Warmarbeitsstähle sind mindestens zwei Mal anzulassen, Schnellarbeitsstähle zwei bis vier Mal. Eine typische Wärmebehandlung für Schnellarbeitsstahl ist in Abbildung 2 gezeigt.

3.4 Härteprüfung

Für die Recherchen des Kapitels „3.4 Härteprüfung“ wurden die Literaturquellen [5], [6] und [7] herangezogen.

Die Härte eines Körpers ist der Widerstand gegen das Eindringen eines anderen Körpers in seine Oberfläche. Ein Bauteil mit hoher Härte lässt sich sicher weniger leicht verformen als ein Bauteil mit niedriger Härte. Um den Härtewert eines Bauteils zu ermitteln, wird ein definierter Prüfkörper auf die Oberfläche des Bauteils mit einer definierten Prüfkraft gedrückt. Im Anschluss wird, je nach Verfahren, die Eindringtiefe oder die Eindruckoberfläche gemessen. Im Folgenden werden zwei genormte Härteprüfverfahren näher erläutert.

3.4.1 Härteprüfung nach Rockwell

Die schnellste und simpelste Prüfung der Härte lässt sich mit dem Verfahren nach Rockwell erreichen. Es eignet sich für mittlere bis hohe Härtewerte. Gemäß DIN EN ISO 6508-1:2005

wird der definierte Eindringkörper zuerst mit einer Vorprüfkraft auf die Oberfläche gedrückt, um einen guten Kontakt zwischen Prüfling und Prüfkörper herzustellen. Außerdem soll durch die Vorprüfkraft ein vorhandenes Spiel in der Messeinrichtung kompensiert werden. Anschließend wird die Prüfzusatzkraft aufgebracht. Nach einer definierten Einwirkdauer wird der Prüfling wieder entlastet. Mit der durch die Prüfzusatzkraft erwirkte Eindringtiefe wird der Härtewert ermittelt. Die eben beschriebenen Schritte sind in Abbildung 3 schematisch gezeigt.

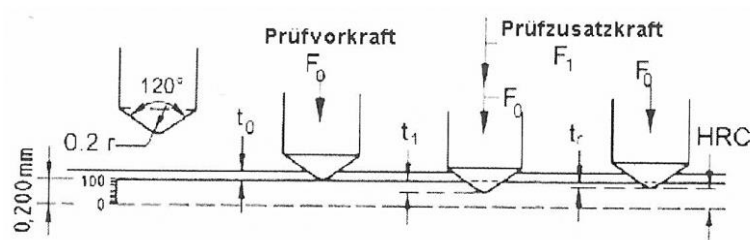


Abbildung 3: Prinzip Härteprüfung nach Rockwell [5]

Es gibt verschiedene, genormte Rockwell-Verfahren. Diese unterscheiden sich bei Eindringkörper, Prüfvor- und Prüfzusatzkraft. Der Prüfkörper ist je nach Verfahren entweder eine Stahlkugel oder ein Diamantenkegel. Die Wahl des geeigneten Verfahrens richtet sich anhand der Prüfkraft nach Bauteilgröße sowie Werkstoff. Zu beachten ist, dass die zu prüfende Oberfläche metallisch blank, frei von Zunder und Fremdstoffen sowie eben zu sein hat. Bei den Verfahren HRA, HRB und HRC hat der Abstand zweier Prüfmittelpunkte bzw. eines Prüfmittelpunkts zum Rand der Probe mindestens drei Millimeter zu betragen.

3.4.2 Härteprüfung nach Vickers

Das Verfahren nach Vickers zeichnet sich durch seine Universalität aus. Es ist für metallische Werkstoffe jeder Art und Härte anwendbar. Es können kleine, dünne Bauteile und Randschichten gemessen werden. Dies ist aufgrund des relativ kleinen Eindrucks, der bei der Prüfung erzeugt wird, möglich.

Die Norm, EN ISO 6507-1:2005, schreibt vor, dass der Eindringkörper ein Diamant in Form einer geraden Pyramide mit quadratischer Grundfläche zu sein hat. Der Winkel zweier gegenüberliegenden Pyramidenflächen hat 136° zu betragen, siehe Abbildung 4.

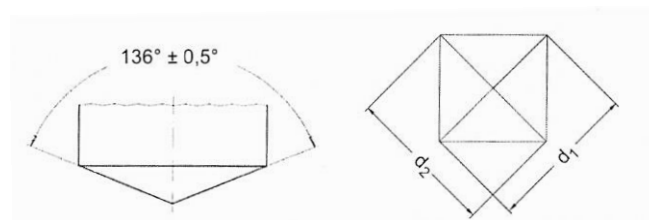


Abbildung 4: Eindringkörper Härteprüfung Vickers [5]

Je nach Höhe der Prüfkraft kann das Vickers-Verfahren in drei Bereiche unterteilt werden: Makro-, Kleinlast- und Mikrobereich. Der Eindruck, der durch die Prüfung entsteht, ist rautenförmig. Davon werden die Diagonalen optisch gemessen und der Mittelwert ermittelt. Aus dem Verhältnis kann, abhängig vom jeweiligen Prüfverfahren, die Härte ermittelt werden. Wie auch beim Rockwell-Verfahren muss die geprüfte Oberfläche metallisch blank und frei von Schmutz sowie Zunder sein. Der Abstand zweier Prüfmittelpunkte muss mindestens das Dreifache der mittleren Länge der Eindruckdiagonalen betragen. Der Abstand eines Prüfmittelpunkts zum Rand der Probe mindestens das Zweieinhalbfache.

Um die Messunsicherheit möglichst gering zu halten, ist die Prüfkraft so gering als notwendig zu wählen. Messunsicherheiten von ± 25 HV sind üblich. Bei Prüfkraften im Bereich HV10 bis HV100 ist der Einfluss der Prüfkraft auf den Härtewert vernachlässigbar. Der Vergleich von Vickers-Härtewerten verschiedener Verfahren ist nur bei gleichen Prüfbedingungen zulässig.

3.4.3 Umwertung von Härtewerten

Die Umwertung von Härtewerten verschiedener Prüfmethoden wird in der Norm DIN EN ISO 18265:2014-02 erläutert. Die Werte der Tabellen in dieser Norm basieren auf experimentellen Ergebnissen. Tabellen sind für verschiedene Stahlgruppen, wie Kaltarbeitsstahl oder Schnellarbeitsstahl, vorhanden. Umwertungen anhand dieser Tabellen sind direkt nur für die in dieser Norm genannten Werkstoffe, wie beispielsweise 1.3343, möglich. Für weitere Werkstoffe gelten die Tabellen als Indikator.

Die Norm weist aufgrund der grundsätzlichen Ungenauigkeit der Umwertung darauf hin, dass die so erhaltenen Ergebnisse informativen Charakter haben. Des Weiteren wird angeführt, dass die Härteumwertung nur dann gemacht werden darf, wenn das vorgesehene Prüfverfahren, beispielsweise beim Fehlen einer entsprechenden Prüfeinrichtung, nicht durchgeführt werden kann.

3.4.4 Messunsicherheit von Härteprüfungen

Laut des Nationalen Anhangs der DIN EN ISO 6507-1:2006-03 wird eine vereinfachte Methode zur Berechnung der Messunsicherheit der Härteprüfung ausgewiesen.

Die Messunsicherheit der Härteprüfmaschine kann durch indirekte Kalibrierung des Anwenders bestimmt werden. Dazu müssen zunächst mehrere Eindrücke auf einer Härtevergleichsplatte gemacht und die Härte daraus bestimmt werden.

Die erweiterte Messunsicherheit der Härteprüfmaschine u_{HTM} errechnet sich dann durch folgende Gleichung:

$$u_{HTM} = \sqrt{u_{CRM}^2 + u_H^2 + u_{CRM-D}^2 + u_{ms}^2}$$

u_{CRM} berücksichtigt die Kalibriersicherheit der Härtevergleichsplatte. u_H ist die Unsicherheit aus der Wiederholpräzision der Härteprüfmaschine und errechnet sich aus:

$$u_H = \frac{t * s_H}{\sqrt{n}}$$

mit $t = 1,14$. s_H ist die Standardabweichung und n die Anzahl der Härteeindrücke auf der Härtevergleichsplatte.

u_{CRM-D} ist der zeitliche Drift der Härtevergleichsplatte und wird im in der Norm angeführten Beispiel mit null angenommen.

u_{ms} berücksichtigt die Standardunsicherheit aufgrund der Auflösung des optischen Messsystems und wird durch die Gleichung

$$u_{ms} = \frac{\delta_{ms}}{2 * \sqrt{3}}$$

bestimmt.

Im Anschluss ist die Messunsicherheit aufgrund der Inhomogenität der Härteverteilung auf der Probe u_x zu bestimmen. In der Gleichung

$$u_x = \frac{t * s_x}{\sqrt{n}}$$

ist $t = 1,14$. s_x ist die Standardabweichung und n die Anzahl der Eindrücke auf der Probe. Es sind dabei mindestens drei Eindrücke zu machen.

Die erweiterte Messunsicherheit der Probe kann danach mit der Gleichung

$$U = \pm 2 * \sqrt{u_{HTM}^2 + u_x^2}$$

bestimmt werden.

4 Angewandte Methoden

Am Beginn der Arbeit stand eine lange Einarbeitungsphase, um das Unternehmen kennen zu lernen und um die Abläufe rund um die Prozesskette wahr zu nehmen. Es wurden in Form von Interviews mit Mitarbeitern vieler Abteilungen Informationen gesammelt. Diese Informationen dienten dem grundsätzlichen, wie auch detaillierten, Verständnis und der kritischen Analyse partieller Prozessschritte.

Des Weiteren wurden zur Durchführung einer qualitativen Prüfung ausgewählte Bauteile nach dem Wärmebehandlungsschritt aus dem Regelablauf entnommen.

4.1 Messunsicherheit der Härteprüfungen

Für die Bestimmung der Messunsicherheit wurde die vereinfachte Methode des Nationalen Anhangs der DIN EN ISO 6507-1:2006-03 genutzt.

Dafür wurden sieben Messungen auf einer Härtevergleichsplatte durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 ersichtlich.

Messung	Ergebnis
1	607HV10
2	610HV10
3	607HV10
4	607HV10
5	609HV10
6	610HV10
7	607HV10

Tabelle 1: Messergebnisse der Härtevergleichsplatte

Die Härtevergleichsplatte wurde durch das Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen geprüft. Sie hat eine Härte von $55,26 \pm 0,3$ HRC und eine Kalibrierunsicherheit von 0,3 %.

Mit diesen und weiteren Daten aus Tabelle 2 wurde die erweiterte Messunsicherheit U_{HTM} bestimmt.

k	1
u_{CRM}	3
u_{H}	0,63
δ_{ms}	0,1
u_{ms}	0,03
U_{HTM}	6,13HV

Tabelle 2: Daten für die Bestimmung der Messunsicherheit

4.2 Härteprüfung durchgehärteter Bauteile

Die Härteprüfungen wurden mit einem Vickers-Härteprüfer, Emco Test Durascan DS20G5, durchgeführt. Bei den Prüfungen wurden die Vorgaben der EN ISO 6507-1:2005 zur Durchführung der Härteprüfungen berücksichtigt.

Es wurde bei der Auswahl der zu prüfenden Teile darauf geachtet, eine möglichst große Vielfalt an Bauteilvarianten zu haben. Die Bauteile waren zwar alle voneinander verschieden, jedoch sollten sie sich deutlich in Form und Größe unterscheiden. Darüber hinaus sollten möglichst alle im Prozess gängigen Werkstoffe geprüft werden. Die Werkstoffe und der zugehörige Stichprobenumfang sind in Tabelle 3 ersichtlich.

Werkstoff	Stk. geprüft
1.2379	29
1.3343	13
1.2210	5
1.4528	4
1.S8V	3
1.K340	8
1.2343	4
1.M390	3
1.S390	3
1.2101	3
1.K390	7
1.S290	3
Summe	85

Tabelle 3: Stichprobenumfang

Die Nennwerte und zugehörigen Toleranzen wurden je Bauteil von den Zeichnungen abgelesen und dokumentiert. Diese waren in Rockwell-Härtewerten angegeben, wodurch eine Umwertung der Prüfungsergebnisse von HV in HRC notwendig war.

Die Werkstoffe wurden in zwei Gruppen, Kaltarbeits- und Schnellarbeitsstähle, geteilt. Die Notwendigkeit der Einteilung zeigt sich in Abbildung 5, in welcher die Härtewerte zur Umwertung der DIN EN ISO 18265:2014-02 abgebildet sind. Die Werte der beiden Stahlsorten weichen voneinander um 0,3 bis 0,8 HRC ab.

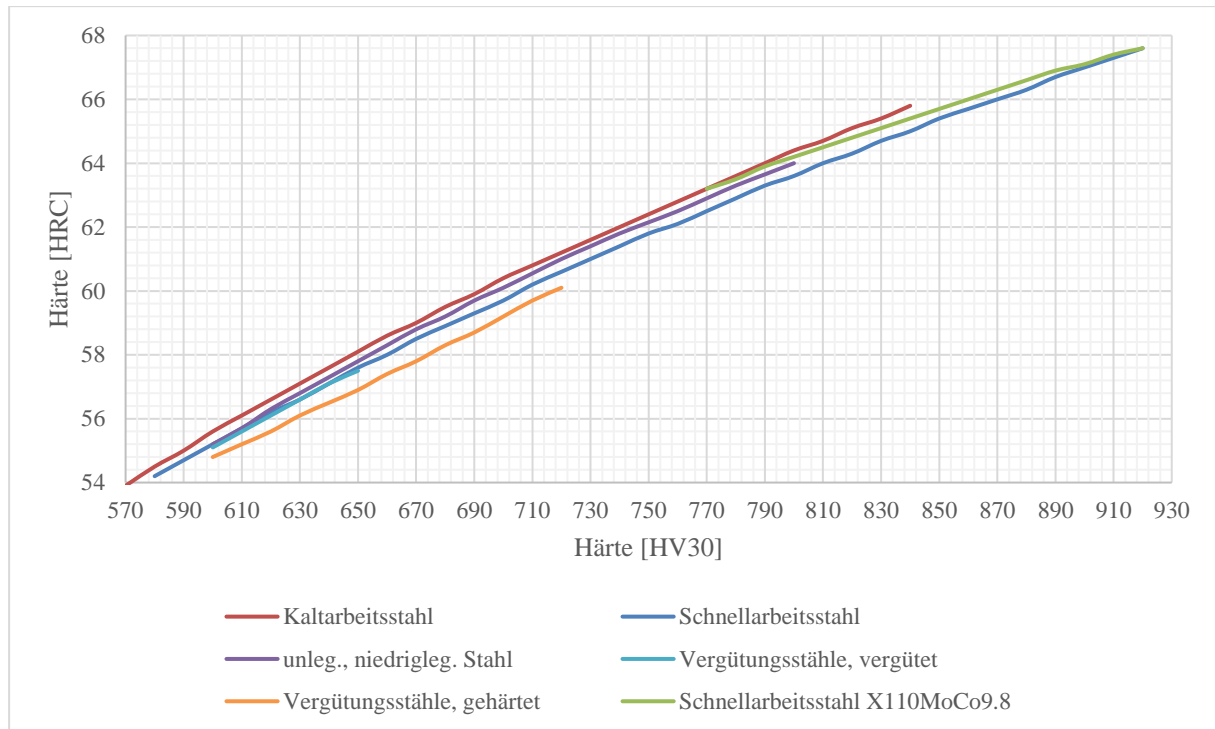


Abbildung 5: Umwertung der Härtewerte verschiedener Stahlsorten

Für die Umwertung wurden aus der DIN EN ISO 18265:2014-02 die Werte der Tabelle C.2, Umwertung für Härte in Härte für Kaltarbeitsstähle, und der Tabelle D.2, Umwertung für Härte in Härte für Schnellarbeitsstähle, mit einem Polynom zweiten Grades interpoliert. Die Genauigkeit der Interpolation liegt bei $\pm 0,15$ HRC. Das Polynom für Kaltarbeitsstähle lautet

$$[\text{HRC}] = -4 \cdot 10^{-5} \cdot [\text{HV}]^2 + 0,1011 \cdot [\text{HV}] + 9,2, \quad (\text{Gleichung 1})$$

das Polynom für Schnellarbeitsstähle ist

$$[\text{HRC}] = -3 \cdot 10^{-5} \cdot [\text{HV}]^2 + 0,084 \cdot [\text{HV}] + 15,6. \quad (\text{Gleichung 2})$$

Für die Stähle 1.3343, S290, S390 und 1.4528 wurde Gleichung 2 zur Umwertung herangezogen, für alle anderen Werkstoffe Gleichung 1.

5 Ergebnisse

5.1 Wirtschaftliche Analyse der Prozesskette

Es wurden zur Untersuchung des Bestellprozesses die Bestelldaten zweier Geschäftsjahre, Juli 2016 bis Juni 2018, der STIWA Automation GmbH betrachtet. Beschränkt wurde die Analyse auf das Wärmebehandlungsverfahren „Durchhärten“, wobei bei diesem Verfahren Härten und Anlassen gemeint ist.

Bestellungen werden täglich von Montag bis Freitag (ausgenommen Feier- und Betriebsurlaubstagen) an den Lieferanten geschickt. Die Teile werden dabei in der Qualitätsabteilung der Fertigung gesammelt. Es wird eine Qualitätsaufzeichnung protokolliert und die geplante Wärmebehandlung als Bestellposition der Bestellung hinzugefügt. Mittags wird dann die Bestellung abgeschlossen und als Vorabinformation an den Lieferanten geschickt. Währenddessen werden die Teile der Bestellungen verpackt und versendet.

Die Gliederung einer Bestellung ist in Abbildung 6 gezeigt. Sie besteht aus vielen Bestellpositionen, die mit einer Chargenkennung (CHK) eindeutig gekennzeichnet sind. Eine Bestellposition umfasst eine beliebige Anzahl an Bauteilen gleicher Wärmebehandlung. Je Bestellung kann es jedoch mehrere Bestellpositionen mit der gleichen Wärmebehandlung geben. Eine Bestellposition besteht aus mehreren Bauteilen mit gleicher oder unterschiedlicher Artikelnummer. Jede Bestellposition wird separiert und in eine eigene Kiste gepackt. Wenn im Folgenden von „Artikeln“ gesprochen wird, ist damit die Anzahl an voneinander unterschiedlichen Artikelnummern gemeint, unabhängig von der Stückzahl an Bauteilen je Artikelnummer. Beispielsweise umfasst die Bestellposition „CHK: X“ in Abbildung 6 zwei Artikel.

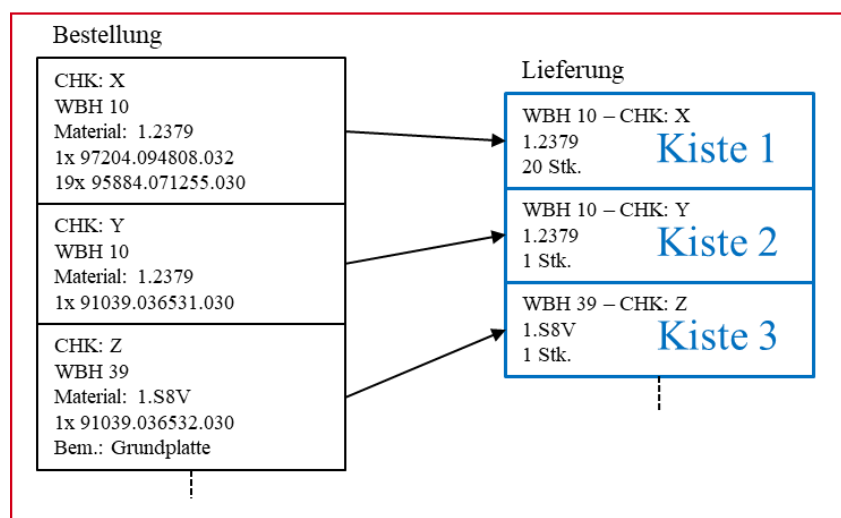


Abbildung 6: Aufbau einer Bestellung

5.1.1 Resultate der ABC-Analyse

Für die Durchführung einer ABC-Analyse wurden die Anteile je Werkstoff an den Gesamtkosten sowie an den Gesamtstückzahlen bestimmt, siehe Abbildung 7 und Abbildung 8.

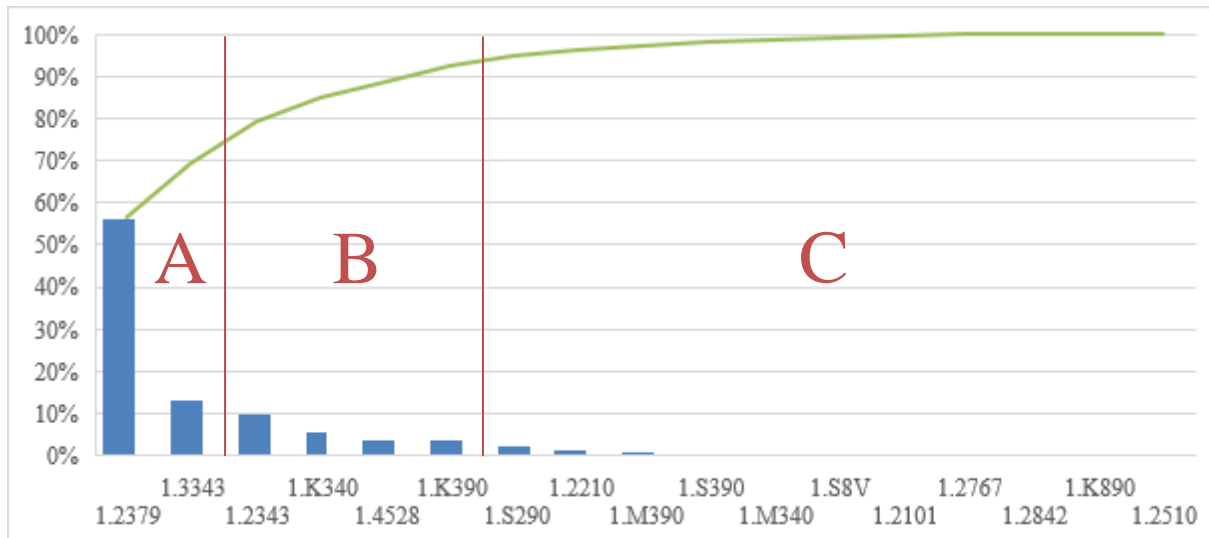


Abbildung 7: ABC-Analyse, Anteil je Werkstoff an Gesamtkosten

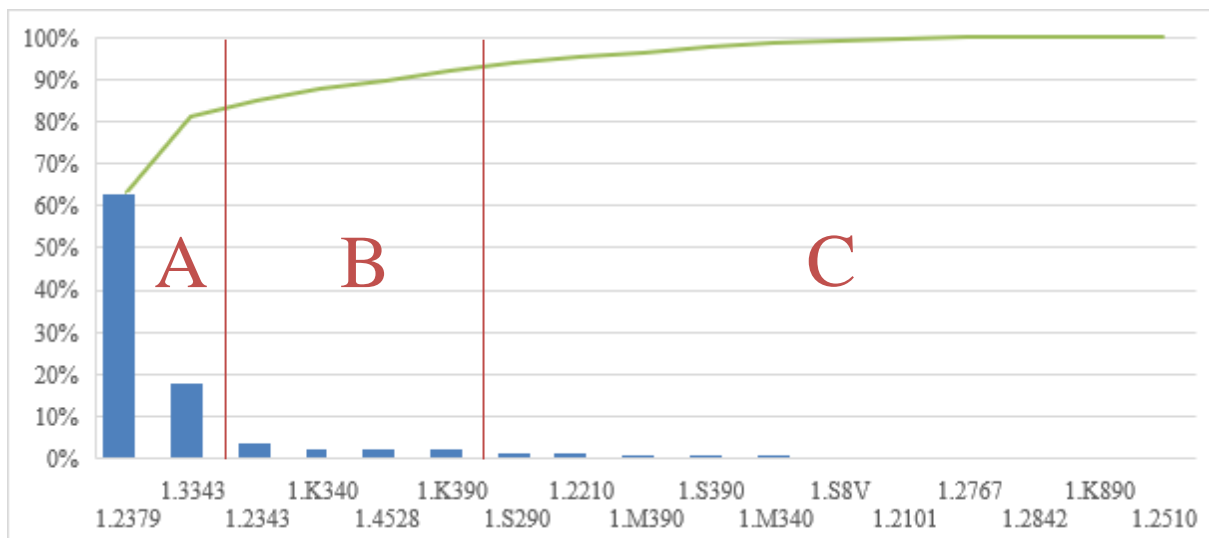


Abbildung 8: ABC-Analyse, Anteil je Werkstoff an Gesamtstückzahl

Die für diese Methode übliche Einteilung in die Gruppen A, B und C wurde vorgenommen. Dabei wurden 1.2379 und 1.3343 der Werkstoffgruppe A zugeteilt. Sie ergaben zusammen einen Kostenanteil von 70 %. Ihr Anteil an der Gesamtstückzahl ergab 81 %.

Der Werkstoffgruppe B wurden 1.2343, 1.K340, 1.4528 und 1.K390 zugeordnet und ergaben zusammen einen Gesamtkostenanteil von 23 %. Der Mengenanteil belief sich auf 11 %.

Die weiteren elf Werkstoffe wurden der Gruppe C zugeteilt und ergaben 7 % Kosten- und 8 % Mengenanteil.

5.1.2 Nutzung der Standardwärmebehandlungen

Zwischen dem externen Wärmebehandler und der STIWA sind je Werkstoff bis zu fünf Wärmebehandlungen vereinbart. Diese sind mit Nummern gekennzeichnet, zum Beispiel „WBH 10“. Festgelegt sind dabei die Härte- und Anlasstemperaturen, die Zielhärte, die Lieferzeit und der Werkstoff. Sie dienen den Konstrukteuren als Orientierung für die Auswahl der notwendigen Wärmebehandlung. Diese sollen zur Vermeidung von Verschwendungen genutzt werden.

Es wurde aus den Bestelldaten ermittelt, wie hoch die Anzahlen und Anteile an vom Standard abweichenden Artikeln sind. Eine Wärmebehandlung eines Artikels wich dann vom Standard ab, wenn die Zielhärte und der Werkstoff in Kombination keiner der Standard-Wärmebehandlungen entsprach. Diese Wärmebehandlungen werden im Folgenden „Sonderwärmebehandlungen“ genannt. In Abbildung 9 sind in Balkenform die Anzahlen absolut dargestellt. Die Anteile je Werkstoff sind am oberen Ende der Balken notiert.

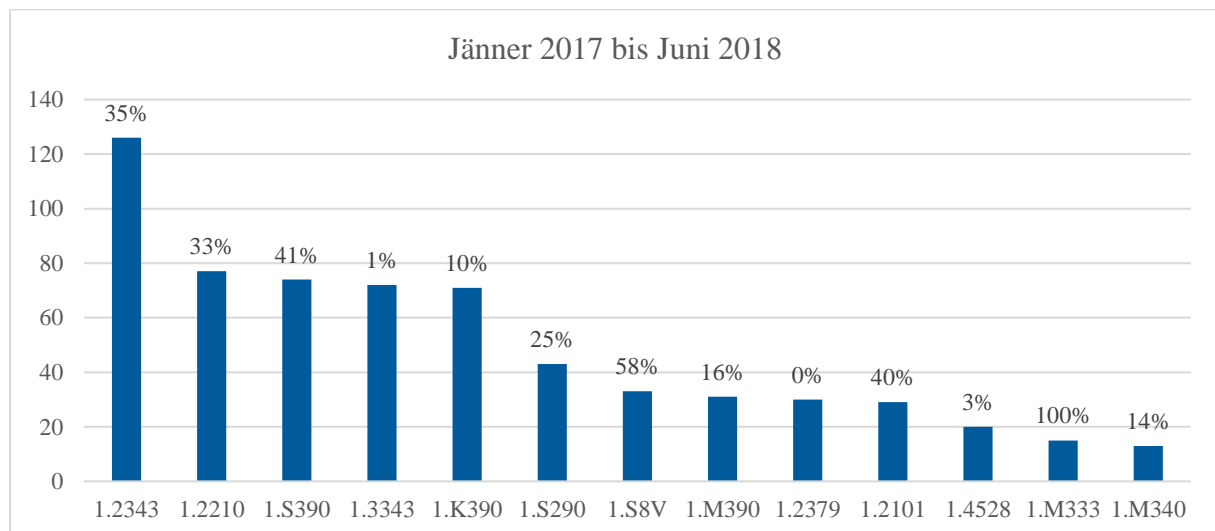


Abbildung 9: Anzahl bestellter Artikel mit abweichenden WBH-Parametern und Anteil je Werkstoff

Die absolute Anzahl der Sonderwärmebehandlungen ist besonders beim Werkstoff 1.2343 erhöht.

Es wurde weiters analysiert, ob sich bestimmte Sonderwärmebehandlungen häufen. In Abbildung 10 sind die meist vorkommenden Sonderwärmebehandlungen nach absoluter Anzahl an Artikeln sortiert.

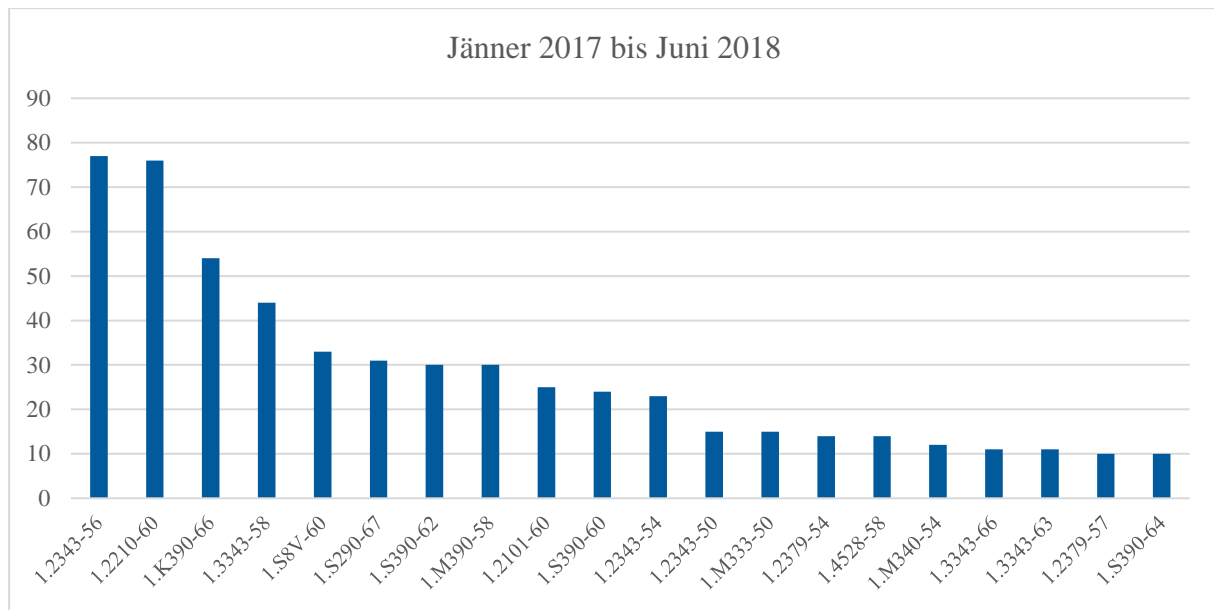


Abbildung 10: Häufig bestellte Sonderwärmebehandlungen

Die Zielhärten wichen dabei teilweise den Härtewerten der standardisierten Wärmebehandlungen lediglich um ein bis zwei HRC ab. Für den Werkstoff 1.2343 ist nur eine Standard-Wärmebehandlung vorgegeben, die eine Zielhärte von 55 HRC vorgibt.

Zu den Sonderwärmebehandlungen sei noch zu erwähnen, dass sie nach den gleichen Prozessen wie die Standard-Wärmebehandlungen bestellt wurden. Dem Lieferanten wurden also lediglich Werkstoff und Zielhärte zur Durchführung der Wärmebehandlungen vorgegeben.

Die Anzahl der bestellten Artikel mit Sonderwärmebehandlungen, über die Zeit betrachtet, zeigt einen eindeutigen Trend. So zeigt Abbildung 11, dass die Anzahl abnahm und dass jede Woche, mit Ausnahme der Betriebsurlaubswoche im Dezember 2017, Sonderwärmebehandlungen bestellt wurden.

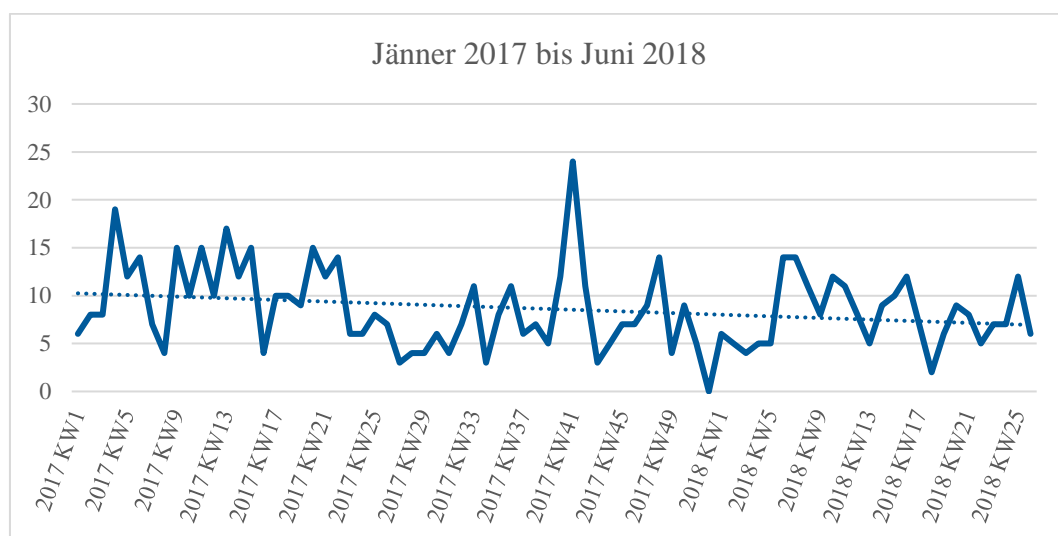


Abbildung 11: Anzahl bestellter Artikel mit Sonderwärmebehandlungen über die Zeit

5.1.3 Variabilität der Bestellungen

Die Analyse der Bestelldaten zeigte eine hohe Variabilität der bestellten Artikel pro Woche. In Abbildung 12 ist die wöchentliche Anzahl bestellter Artikel des Werkstoffes 1.2379 über die Zeit aufgetragen.

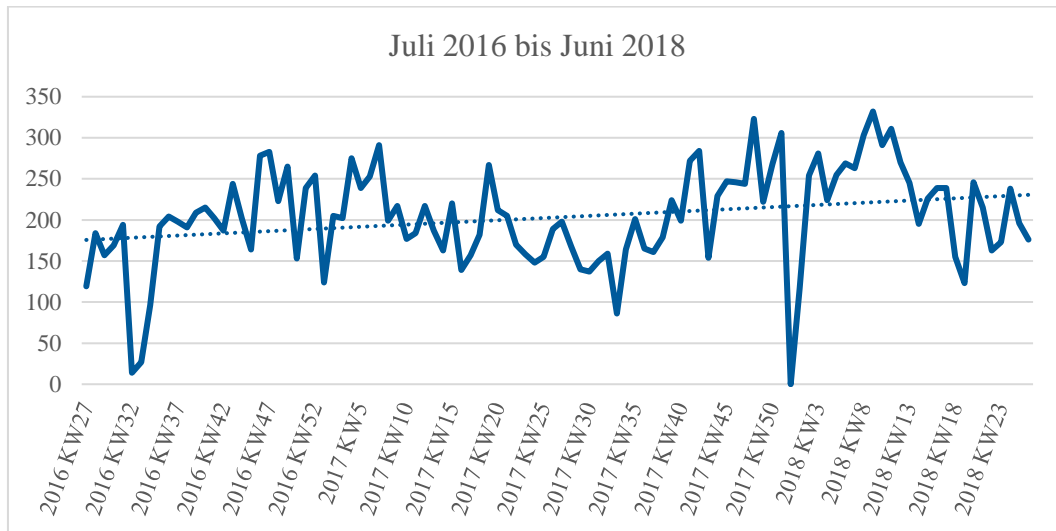


Abbildung 12: Variabilität der Anzahl bestellter Artikel 1.2379

Zunächst lässt sich ein steigender Trend konstatieren. Des Weiteren ist zu erkennen, dass die Anzahl wöchentlich deutlich schwankt. Die durchschnittliche absolute Abweichung der wöchentlich bestellten Artikel wurde bestimmt und beträgt 26 %. Beim Werkstoff 1.3343, dem zweit meist bestellten Werkstoff, beträgt sie sogar 36 %.

5.1.4 Bestellkostenanalyse

Einer speziellen Betrachtung wurde auch der Zeitraum 16. Februar bis 6. April 2018 unterzogen. In diesem wurden die täglichen Bestellpositionen analysiert. In Abbildung 13 sind die Anzahlen der täglichen Bestellpositionen für einen bestimmten Härtetemperaturbereich, der nur die WBH10 umfasst, aufgetragen. Es ist zu erkennen, dass die Anzahl zwischen einer und 17 Bestellpositionen im betrachteten Zeitraum lebhaft schwankt. Der Mittelwert beträgt gerundet sieben Bestellpositionen pro Tag.

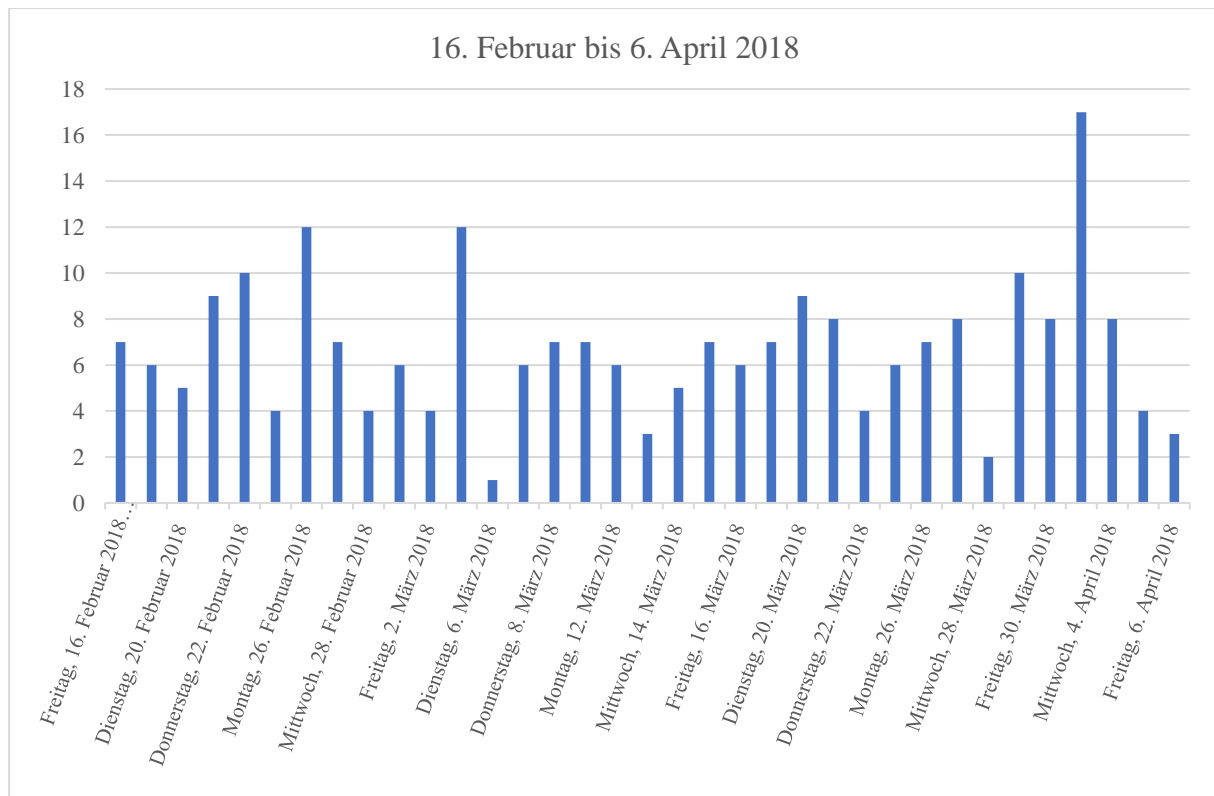


Abbildung 13: Tägliche Anzahlen an Bestellpositionen des Werkstoffes 1.2379

Zur Prüfung eines möglichen Optimierungspotentials wurde ermittelt, wie hoch die Kosten bei einer Zusammenlegung der Bestellpositionen des Werkstoffes 1.2379 zu einer einzigen täglich wären. Die Kostenersparnis für so eine theoretische Optimierung belief sich im betrachteten Zeitraum auf € 3.895. Das ist bei Gesamtkosten in der Höhe von € 17.209 eine Kostensenkung von 23 %. Diese Differenz ergibt sich aus dem Wegfallen von Bestellpositionen, die einen Mindestbestellwert unterschreiten, und dem Nutzen aus der gewichtsbezogenen Preisstaffelung des Lieferanten. Unter der Ausnutzung selbiger Effekte würde sich bei Sammelbestellungen an nur jedem zweiten Tag das Einsparungspotential auf € 5.072 belaufen.

Die theoretische Kostenreduktion beim Werkstoff 1.3343 bei nur einer Bestellposition täglich würde € 2.023 betragen.

5.1.5 Optimal terminierte Bestellungen

Ein weiteres Einsparungspotential bezieht sich auf nur fünf der wärmebehandelten Werkstoffe. Für diese ist nämlich eine Standard-Wärmebehandlung vorgesehen, die beim Lieferanten nur einmal wöchentlich angeboten wird. Jede dieser gesendeten Bestellpositionen wird nach dem normalen Preisschema verrechnet und beim Lieferanten bis zum Tag der Wärmebehandlung gesammelt. Bis zu diesem Tag eingetroffene Bestellpositionen werden dann gemeinsam einer Wärmebehandlung unterzogen und werden gleichzeitig retour gesandt. Das frühe Senden der Lieferungen bringt also keinen Zeitgewinn, bewirkt aber durch das

Auftrennen in verschiedene Bestellpositionen höhere Kosten durch Verluste von möglichen Mengenrabatten sowie das Unterschreiten des Mindestbestellwertes.

Die so erreichbare Kostenreduktion wurde für den Zeitraum 16. Februar bis 6. April 2018 bestimmt und beträgt € 355.

5.1.6 Vereinigung technologisch gleicher Wärmebehandlungen

Zuletzt wurde die Vielfalt der standardisierten Wärmebehandlungen analysiert. Die mit dem Lieferanten abgestimmten Wärmebehandlungen sind technologisch, das heißt bezüglich Härte- und Anlasstemperatur, teilweise deckungsgleich. Folgende vier Vereinigungen haben exakt gleiche Wärmebehandlungsdaten:

- WBH4 (1.K390), WBH24 (1.K340) und WBH11 (1.2379)
- WBH3 (1.3343) und WBH9 (1.2379)
- WBH14 (1.K390) und WBH12 (1.3343)
- WBH32 (1.S390) und WBH13 (1.K390)

Die theoretische Einsparung bei Vereinigung der genannten Wärmebehandlungen von 1.2379, K340 und K390 wurde bestimmt und beträgt € 1.475.

5.2 Qualitative Analyse wärmebehandelter Bauteile

5.2.1 Resultate der Härteprüfungen

Die Ergebnisse der Härteprüfungen sind in Abbildung 14 gezeigt.

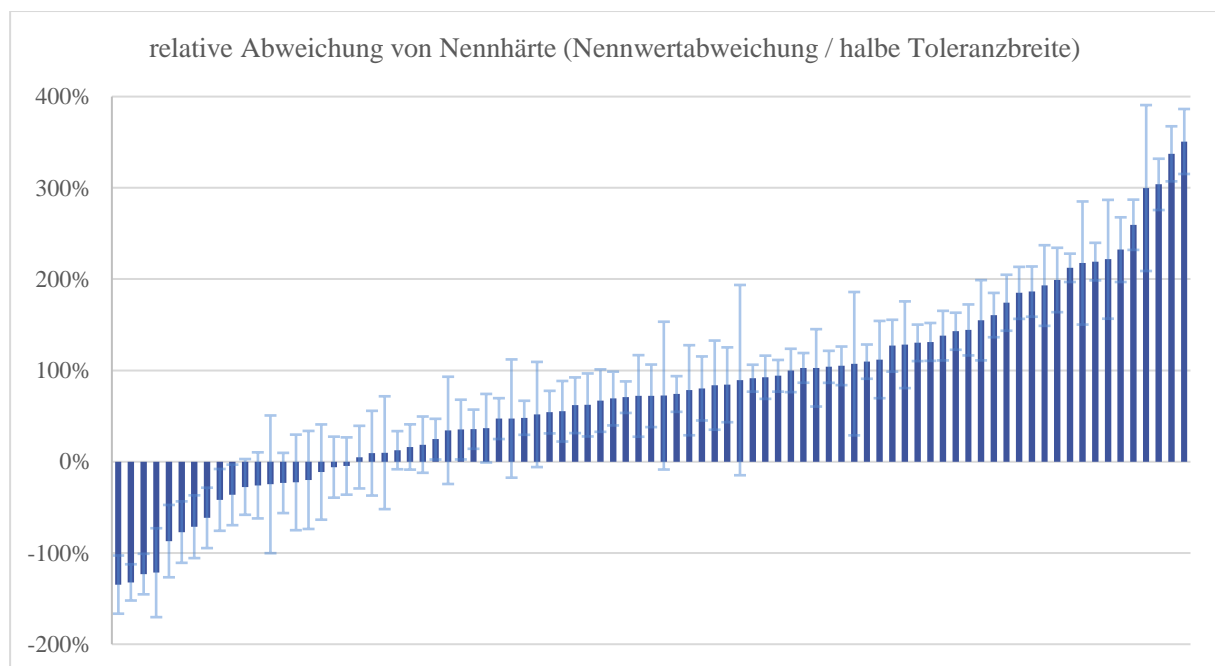


Abbildung 14: Ergebnisse der qualitativen Stichprobe durchgehärteter Bauteile

Auf der Ordinate ist die relative Abweichung von der Nennhärte aufgetragen. Diese Darstellung wurde gewählt, weil bei den untersuchten Bauteilen unterschiedliche Nennhärten (55 bis 66 HRC) und Toleranzfeldbreiten (± 1 oder $\pm 1,5$ HRC) vorhanden sind. Die relative Abweichung ist der Quotient von Abweichung vom Nennwert zur halben Toleranzfeldbreite in Prozent. 100 % relative Abweichung, beispielsweise, entspricht der oberen Toleranzgrenze. Des Weiteren wurden in Abbildung 14 die Unsicherheiten der Härteprüfungen als Fehlerindikatoren in relativen Werten eingetragen.

Abbildung 15 zeigt die Anteile der Bauteile, die die Härtevorgaben erfüllen (in Ordnung), aufgrund der Messunsicherheit möglicherweise nicht erfüllen (unsicher) oder nicht erfüllen (nicht in Ordnung).

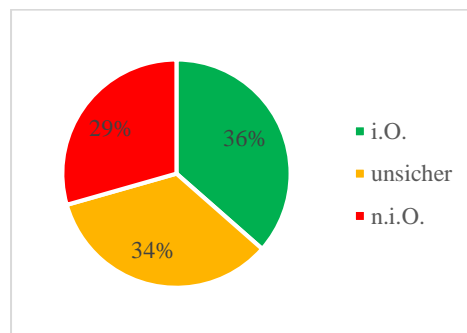


Abbildung 15: Anteil der Bauteile, die Härtevorgabe erfüllen

Für eine weitere Darstellung der Ergebnisse der Härteprüfungen wurden diese in 50 %-Schritten der relativen Abweichung zusammengefasst. Abbildung 16 zeigt die Anzahl der Bauteile je Abweichungsbereich.

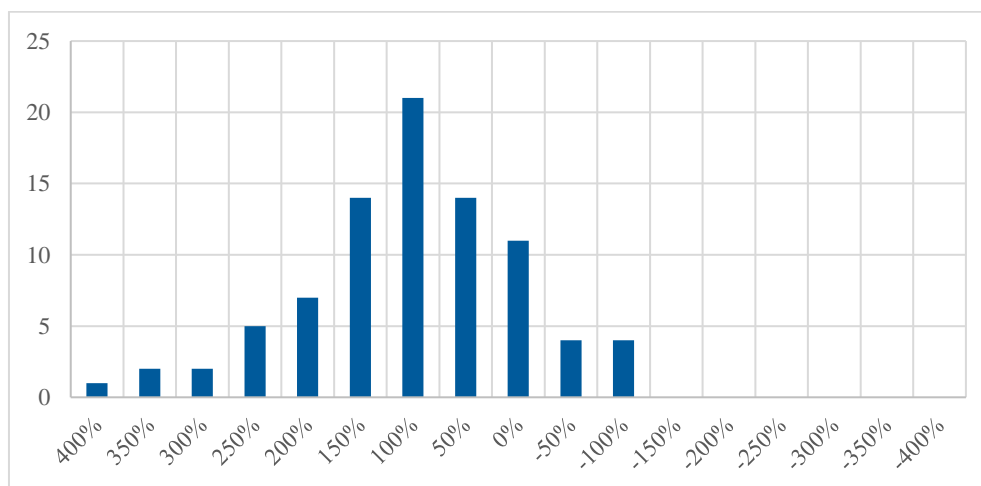


Abbildung 16: Anzahl der Bauteile je relativem Abweichungsbereich

Die Härtewerte sind annähernd normalverteilt um die obere Toleranzgrenze (100 %).

Besonders viele Abweichungen je Werkstoff wurden bei 1.K390, 1.S290 und 1.S390 festgestellt, siehe Abbildung 17.

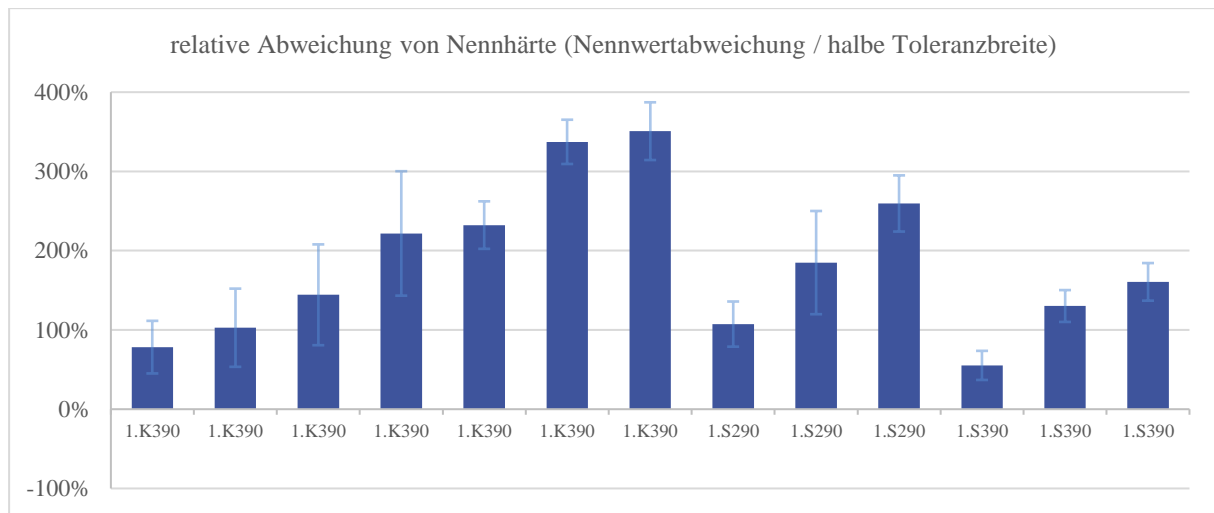


Abbildung 17: Härteprüfungsergebnisse für 1.K390, 1.S290 und 1.S390

5.2.2 Härteprüfungsdaten des Wärmebehandlers

Die einzige wärmebehandlungsbezogene Qualitätsprüfung in der Prozesskette wird vom Lieferanten, dem externen Wärmebehandler, selbst durchgeführt. Dieser Prüfung wird seitens Qualitätskontrolle der STIWA großes Vertrauen zugesprochen. Der Wärmebehandler prüft bei jeder Auftragsposition, d. h. bei jeder Verpackungseinheit, zumindest an einem Bauteil die Härte mit einem Rockwell-Härteprüfer. Der Härtewert wird mit dem Lieferschein übermittelt. Diese werden vom Lieferanten auf halbe HRC gerundet.

152 solcher Härtewerte wurden ausgewertet und sind in Abbildung 18 gezeigt.

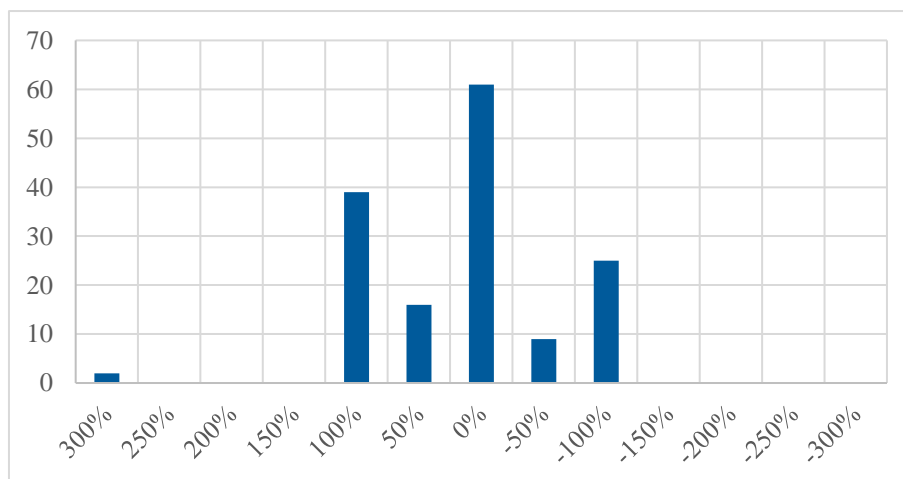


Abbildung 18: Härteprüfungsdaten des externen Wärmebehandlers

Die relativen Abweichungen der Härtewerte vom Nennwert wurden in 50 %-Bereiche eingeteilt. Es zeigt sich auch bei den Härteprüfungsergebnissen des Lieferanten eine Tendenz zu höheren Härtewerten. Die Verteilung ist unregelmäßig und zeigt an den Toleranzgrenzen jeweils einen abrupten Abfall gegen null.

6 Diskussion und Ausblick

6.1 Erkenntnisse aus der ABC-Analyse

Bemerkenswert ist die Dominanz des Werkstoffs 1.2379. Zusammen mit dem Werkstoff 1.3343 machen sie 80 % der Gesamtstückzahlen aus. Dass auf sie aber nur 70 % der Gesamtkosten der Wärmebehandlung entfallen, kann folgende Gründe haben:

- Es handelt sich um viele kleine, leichte Teile, da die Kosten pro Gewichtseinheit kalkuliert werden.
- Durch die hohen Mengen werden die Mindestbestellmengen erreicht.
- Durch die hohen Mengen werden die Mengenrabatt-Schwellen überschritten.

Eine kleine Unschärfe muss bei der Betrachtung der Kosten beachtet werden, da den Artikeln innerhalb einer Bestellposition die Wärmebehandlungskosten aliquot nach Stückzahlen zugeteilt werden. Korrekt wäre die Kosten nach Gewicht zu aliquotieren.

Bei den beiden dominanten Werkstoffen sollte eine hohe Standardisierung im Produktionsprozess gegeben sein, um Verschwendungen zu vermeiden. Auf den Dispositionsaufwand sollte ein großes Augenmerk gelegt werden, da durch die großen Stückzahlen sonst hohe Kosten entstehen würden.

Die ABC-Analyse zeigte auch, dass es eine Vielzahl wenig genutzter Werkstoffe gibt. Diese verursachen im Unternehmen aus mehreren Gründen, wie die Pflege im System oder erhöhte Fehleranfälligkeit durch fehlende Routine, hohe Kosten. Auch die Wärmebehandlungskosten sind höher, da Mindestbestellwerte oft nicht erreicht werden. Bei ihnen soll der Dispositionsaufwand gering gehalten werden.

6.2 Sonderwärmebehandlungen und Variabilität

Der hohe Anteil an Sonderwärmebehandlungen verursacht aus diversen Gründen hohe Kosten. Bei sechs der gezeigten Werkstoffe ist der Anteil an Sonderwärmebehandlungen größer ein Viertel. Hier muss ein großes Augenmerk auf die Rationalisierung dieser Abweichungen gelegt werden.

Der Anteil von 100 % beim Werkstoff 1.M333 überrascht nicht, da für diesen Werkstoff keine standardisierte Wärmebehandlung vorgesehen ist.

Da die Einführung der Standards nur wenige Jahre her ist, kann ein Großteil der abweichenden Wärmebehandlungen von Reproduktionen alter Bauteile stammen. Dies sollte überprüft werden und gegebenenfalls sollten die alten Zeichnungen angepasst werden. Die Abnahme der Sonderwärmebehandlungen im Geschäftsjahr 17/18 kann als Indiz für das eben Erwähnte gesehen werden.

Einige Sonderwärmebehandlungen häuften sich und es ist zu hinterfragen, ob diese als neue Standard-Wärmebehandlungen etabliert werden sollten. Abweichungen um nur einen oder zwei HRC würden technologisch wenig Sinn machen, insbesondere bei einem tendenziell unsicheren Prozess.

Die Variabilität der Bestellmengen zeigte sich als sehr hoch. Die absoluten mittleren Abweichungen der wöchentlichen Bestellmengen von 26 % und 36 % bei den Werkzeugstählen 1.2379 und 1.3343 sind hohe Werte, die Anlass für eine umfangreichere Analyse der Bestellmengenstrategie geben. Die Literatur bestätigt, dass durch eine Glättung der Spitzen eine Reduzierung der Kosten möglich ist.

6.3 Vereinigung der Standard-Wärmebehandlungen

Durch die Bestellkostenanalyse wurde aufgezeigt, dass täglich Lieferungen gleicher Wärmebehandlung und gleichen Werkstoffs aufgeteilt werden. Wenn das Gewicht jeder einzelnen Bestellposition mehr als ca. 3 kg beträgt, wird zumindest der Mindestbestellwert erreicht. Allerdings erhöht die Anzahl an Bestellpositionen indirekte Kosten (z.B. Logistikkosten) und es können Mengenrabatte nicht erreicht werden. Daher sollten auch hier eine Rationalisierung und genaue Überprüfung der Bestellpraxis vorgenommen werden. Beim Werkstoff 1.2379 wäre eine theoretische Einsparung von rund einem Viertel der Kosten möglich. Die Gründe, die für eine Aufteilung in mehrere Bestellpositionen sprechen, wurden in dieser Arbeit nicht erörtert. Ein Nachteil der Vereinigung wäre, dass weniger Härteprüfungen seitens des Lieferanten durchgeführt werden würden.

Die dagegen eher geringe Einsparungsmöglichkeit bei einer gezielteren Lieferung an den Wärmebehandler wäre sehr einfach umzusetzen. Das würde Wärmebehandlungen mit geringeren Stückzahlen betreffen. Dies ist auch der Grund für das niedrigere Einsparungspotential. Für die Lieferungen muss allerdings zusätzlicher logistischer Aufwand berücksichtigt werden, da für die zwischenzeitliche Lagerung Platz geschaffen werden muss.

Da der Lieferant die Werkstoffe nicht sortenrein wärmebehandelt, kann eine Vereinigung von Standard-Wärmebehandlungen einiger Werkstoffe angedacht werden. Die Zielhärten der genannten Verfahren sind jeweils ungleich. Da diese allerdings Resultate der Wärmebehandlung sind, sollte diese Unterscheidung keine Rolle spielen. Die genaue technische Machbarkeit sollte mit dem Lieferanten diskutiert werden. Für so eine Vereinigung müssten aber auch logistische Maßnahmen getroffen werden.

6.4 Informationsfluss im Bestellwesen

Eine Anbindung des eigenen Bestellsystems an das des Lieferanten in Form eines EDI hätte viele Vorteile. Der Lieferant zeigte sich in einem Gespräch wohlwollend einer solchen Anbindung gegenüber. Die derzeitige Praxis, die Bestellung per Email zu senden, bedient sich zwar einfacher Mittel, ist jedoch ressourcenineffizient, da beim Lieferanten, aber auch bei der

STIWA Automation GmbH, Personal gebunden wird. Die Abwägung einer solchen Einführung bedarf weiterer interner und externer Analysen und Fachgespräche.

6.5 Diskussion zur qualitativen Stichprobe

Die Stichprobe hat gezeigt, dass die Härten der Bauteile über einen großen Bereich streuen. Die Ergebnisse liegen zwischen -135 % und 350 % relativer Abweichung, was je nach Toleranzbreite -1,8 bis 5,25 HRC entspricht. Sie können als normalverteilt um die obere Toleranzgrenze betrachtet werden. Die Ergebnisse sind mit einer Unsicherheit behaftet, die laut Literatur einem gewöhnlichen Maß entspricht. Darüber hinaus muss auch ein nicht quantifizierter Fehler aus der Umrechnung berücksichtigt werden. Allerdings ist die Streuung nicht mit den bekannten Unsicherheiten erklärbar. Vielmehr scheint der Wärmebehandlungsprozess des Lieferanten unpräzise zu sein. Andeutungsweise zeigen das auch die Auswertungen der Härteprüfungen des Lieferanten. Diese tendieren ebenso zu höheren Werten.

Der hohe Anteil an Härtewerten des Lieferanten genau auf der oberen Toleranzgrenze und keinem einzigen Wert knapp darüber lässt vermuten, dass der Lieferant bei seinen Härteprüfungen zu seinen Gunsten rundet. Dieser Umstand sollte weiter analysiert und mit dem Lieferanten diskutiert werden. Eine einvernehmliche Lösung zur Steigerung der Produktqualität ist anzustreben.

Besonders betroffen von zu hohen Härtewerten sind die Werkstoffe 1.K390, 1.S290 und 1.S390. Aufgrund der geringen Anzahl an untersuchten Bauteilen dieser Werkstoffe können diese Ergebnisse nur als Hinweis für weitere Prüfungen gesehen werden. Würde eine größere Stichprobe an diesen Werkstoffen diese erste Tendenz bestätigen, sollte eine spezifische Qualitätsprüfung angedacht werden.

Über die Stichprobe kann gesagt werden, dass mindestens 29 % der geprüften Teile statistisch nicht in Ordnung sind. Aufgrund der Messunsicherheit sind aber auch nur 36 % der Teile in Ordnung. Diese Werte waren zu Beginn dieser Arbeit nicht zu erwarten und es bedarf unternehmensinterner, qualitätssichernder Maßnahmen. Außerdem ist es aufgrund der starken Abweichung des Mittelwertes notwendig, die Toleranzfelder der Teile zu hinterfragen. Wenn übereingekommen wird, dass die Teile weitestgehend die technischen Anforderungen im Feld erfüllen, dann sollte der Wärmebehandlungsprozess technologisch nicht verändert werden, sondern nur das Toleranzfeld verschoben und möglicherweise auch aufgeweitet werden.

Es sollte aber jedenfalls auch bedacht werden, dass höhere Werte bei Bauteilen aus Werkzeugstählen meist zu einer geringeren Zähigkeit führen, was sich negativ auf das Bruchverhalten solcher Werkzeuge auswirken kann.

7 Zusammenfassung

Im Zuge der Analyse des Ist-Zustandes der Prozesskette wärmebehandelter Bauteile haben sich einige Optimierungspotentiale ergeben.

Es hat sich gezeigt, dass zwei Werkstoffe hinsichtlich der Stückzahl besondere Dominanz aufweisen. Zusammen haben sie einen Anteil von ca. 80 % aller Bauteile. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass es viele Werkstoffe gibt, die kaum genutzt werden. Bei diesen ist eine Rationalisierung anzudenken.

Bei der Analyse der Bestelldaten war zu erkennen, dass ein bedeutender Anteil an Wärmebehandlungen von dem für die Werkstoffe vorgesehenen Standard abweicht. Der Grund für das Abweichen muss eruiert werden und eine Rationalisierung dieser ist aufgrund von Mindestbestellwerten und Mengenrabatten notwendig. Sollte eine bestimmte Sonderwärmebehandlung aus anderen Gründen allerdings sinnvoll sein, dann ist eine Standardisierung dieser vorzunehmen.

Die Variabilität, insbesondere der beiden dominanten Werkstoffe, ist zu minimieren. Die wöchentliche Anzahl an Bestellpositionen von 1.2379 schwankt im Mittel um 26 %. Eine Glättung dieser Spitzen würde aus Sicht der Logistik zu einer Reduzierung der Kosten führen.

Eine Vereinigung der Lieferungen, also das Zusammenlegen von Bestellpositionen, würde wegen Mengenrabatt- und Mindestbestellgrenzen die laufenden Kosten pro Wärmebehandlung senken. Außerdem würden Einsparungen im Bereich der Logistik indirekt möglich sein. In diesem Zusammenhang wurde auch sichtbar gemacht, dass bei Wärmebehandlungen, welche seitens des Lieferanten nur einmal wöchentlich wärmebehandelt werden, eine termingenaue Bestellung monetäre Vorteile bringen würde.

Aus der qualitativen Stichprobe ging hervor, dass die Härten der Bauteile zu hoch sind. Das arithmetische Mittel der Stichprobe lag bei der oberen Toleranzgrenze. Außerdem ist die Streuung der Härte sehr hoch, was vermutlich einem unsicheren Wärmebehandlungsprozess zugrunde liegt. Aus der gezogenen Stichprobe gingen lediglich 36 % gute Teile hervor, 29 % der Bauteile sind jedenfalls abweichend.

Der Lieferant prüft selbst bei jeder Bestellposition zumindest ein Bauteil. Jedoch lässt eine Analyse seiner Härteprüfungsergebnisse vermuten, dass der Lieferant zu seinen Gunsten die Härtewerte rundet und sich dadurch falsch positive Werte ergeben. Des Weiteren zeigten die Ergebnisse des Wärmebehandlers ebenso eine Tendenz zu höheren Härtewerten.

8 Literaturverzeichnis

- [1] STIWA Automation GmbH, [Online]. Available: <https://www.stiwa.com/>. [Zugriff am 10 Februar 2019].
- [2] S. Kummer, „Grundzüge der Beschaffung, Produktion und Logistik,“ 3. aktualisierte Auflage Hrsg., München [u.a.], Pearson, 2013, pp. 166-379.
- [3] D. e. a. Arnold, „Handbuch Logistik,“ 3., korrigierten Auflage Hrsg., Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, 2008, pp. 289-293.
- [4] L. Veselá, „Factors Affecting the Adoption of Electronic Data Interchange,“ *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, Nr. 65(6), pp. 2123-2130, 1 Jänner 2017.
- [5] D. Liedtke, „Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen: 1. Grundlagen und Anwendungen; mit 30 Tabellen,“ 9., neu bearb. u. erw. Aufl. Hrsg., Renningen, Expert-Verl., 2014, pp. 29-71, 386-395.
- [6] D. Liedtke und R. Jönsson, „Wärmebehandlung : Grundlagen und Anwendungen für Eisenwerkstoffe ; mit 92 Tabellen,“ 6., durchges. Aufl. Hrsg., Renningen, Expert-Verl., 2004, pp. 68-85.
- [7] K. Herrmann, „Härteprüfung an Metallen und Kunststoffen : Grundlagen und Überblick zu modernen Verfahren ; mit 68 Tabellen,“ 2., überarb. und erw. Aufl. Hrsg., Renningen, Expert-Verl., 2014, pp. 1-120.