

DURA Automotive

# Auslegung und Optimierung von Fertigungsprozessen zum Zweck der prozesssicheren Herstellbarkeit geforderter Qualitätsmerkmale nominaler Art

Ideale Umformbedingungen beim Kröpfen

## **1 Inhalt**

|       |                                     |    |
|-------|-------------------------------------|----|
| 1     | Vorwort .....                       | 2  |
| 2     | Bauteil .....                       | 7  |
| 2.2   | Funktion und Qualitätsumfang .....  | 13 |
| 2.3   | Fertigungsprozesse .....            | 16 |
| 2.2.2 | Streckbiegen .....                  | 18 |
| 2.2.3 | Fräsen .....                        | 21 |
| 2.2.4 | Kröpfen .....                       | 21 |
| 2.2.5 | Beschneiden .....                   | 21 |
| 2.2.6 | Schleifen und Polieren .....        | 21 |
| 2.2.7 | Eloxieren .....                     | 21 |
| 2.2.8 | DURAPro Beschichten .....           | 21 |
| 2.4   | Herleitung der Einflussgrößen ..... | 22 |
| 2.3.1 | Gewichtung .....                    | 22 |
| 2.5   | Ziele .....                         | 22 |
| 3     | Lösungsansätze .....                | 22 |
| 4     | Zusammenfassung .....               | 22 |

# 1 Vorwort

Die folgende Bachelorarbeit befasst sich mit einer Thematik, die im Industriestandort Deutschland mehr und mehr an Bedeutung gewinnt.

Heutzutage sind Teilepreise und Fertigungskosten in einigen Branchen nicht mehr die aussagekräftigsten Kriterien für eine Auftragsvergabe.

Kundenwunschorientiertes Arbeiten gewinnt somit immer mehr an Bedeutung.

Kundenwünsche erfassen ein großes Spektrum an Anforderungen. Einer der wichtigsten Anforderungen in der Automobilzuliefererindustrie können die folgenden sein:

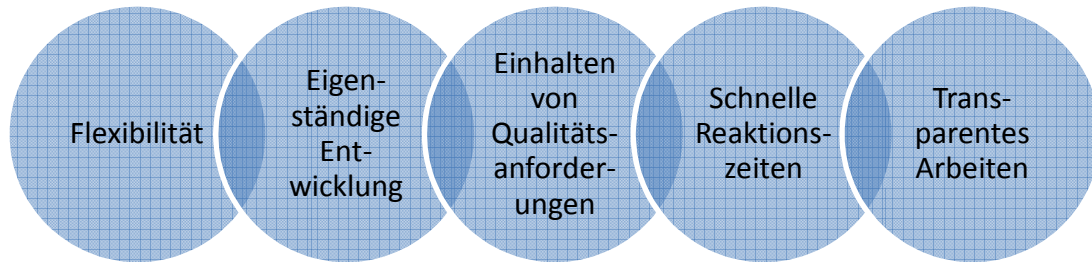


Abbildung 1: Anforderungen an die Automobilzuliefererindustrie

Vor allem im Bereich der Oberflächenteileherstellung wird besonders auf die konstante Herstellbarkeit der bestmöglichen Qualität sowie auf eine eigenständige Entwicklung hinsichtlich des Produktes und stabiler Fertigungsprozesse geachtet.

Es ist also durchaus möglich, dass Zulieferer A, trotz einem im Vergleich zum Zulieferer B niedrigerem Teilepreis, keine Auftragsvergabe erhält, aufgrund der für Zulieferer A nicht möglichen Herstellbarkeit eines geforderten Qualitätsmerkmals, welches möglicherweise auf mangelhafter Entwicklung basiert.

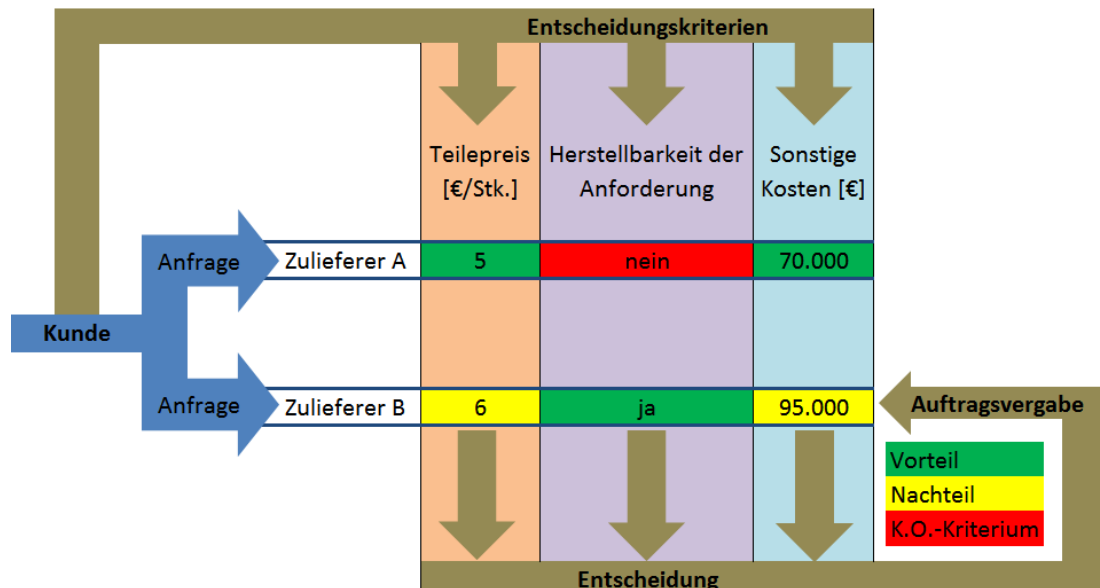


Abbildung 2: Auftragsvergabe nach Bewertung von Kriterien

Für weitere Auftragseingänge und somit für die Sicherung der Existenz eines Industrieunternehmens ist es also absolut notwendig auf Kundenwünsche einzugehen und Fertigungsprozesse zu entwickeln, die den Anforderungen gerecht werden.

Zu beachten ist, dass auch bestehende Fertigungsprozesse weiterentwickelt bzw. optimiert werden können um Kennzahlen wie Effizienz, Qualität, Produktivität, Mitarbeiterumsatz, Fertigungszeiten, usw. zu verbessern.

In der folgenden Bachelorarbeit werden die Fertigungsprozesse einer Zierleistenfertigung hinsichtlich der Herstellbarkeit einer qualitativen Anforderung nominaler Art untersucht.

Unter einem nominalen Qualitätsmerkmal versteht man ein nicht messbares Merkmal. Die Merkmalsausprägung des Merkmalsträgers ist entweder gut oder nicht gut.<sup>1</sup> Beispielsweise ist „Hell“ ein Merkmal, welches im Allgemeinen nicht präzise messbar ist.

Folgendes gedankliches Experiment soll die Interpretation nominaler Merkmalsausprägungen verdeutlichen.

*Man nehme ein Blech, zum Beispiel aus Aluminium. Dies ist der Merkmalsträger.*

*Dieses Blech ist ca. 1 mm dick und hat die Fläche einer Kreditkarte.*

*Das Blech wird nun mit der langen Seite nach oben bis zur Hälfte in einen Schraubstock gespannt.*

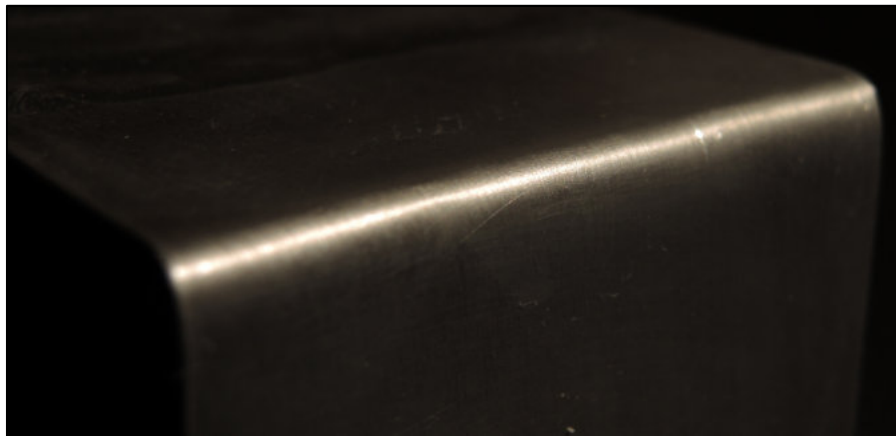
*Die Kanten der Schraubstockbacken sind mit einem 0,5 mm Radius verrundet.*

*Jetzt geht man her und biegt das Blech mit Hilfe eines Kunststoffhammers um 90° über dem Schraubstock ab.*

*Man betrachte nun den Radius an der Abkantung. Dieser Abkantungsradius ist nun das Merkmal mit einer gewissen Ausprägung.*

*Ausprägungsvarianten können zum Beispiel groß, klein, gleichmäßig und ungleichmäßig sein.*

*Mit gleichmäßig und ungleichmäßig wird die Radiengröße über die Länge der Abkantung gemeint.*



**Abbildung 3: Abkantungsradius eines Aluminiumbleches**

*Zeigt man dieses abgekantete Aluminiumblech nun den Menschen in seiner Umgebung so mag man folgende Feedbacks bzw. Ausprägungsinterpretationen erwarten:*

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <i>Simone, Floristin:</i>           | <i>„Kleiner, gleichmäßiger Radius.“</i>   |
| <i>Michael, Maschinenschlosser:</i> | <i>„Kleiner, ungleichmäßiger Radius.“</i> |
| <i>Peter, Feinwerkmechaniker:</i>   | <i>„Großer, ungleichmäßiger Radius.“</i>  |

<sup>1</sup> Vgl. [http://quality.kenline.de/seiten\\_d/spc\\_verteilungen.htm](http://quality.kenline.de/seiten_d/spc_verteilungen.htm).

Selbstverständlich wären in dem Gedankenexperiment die kardinale Größe und Gleichmäßigkeit des Radius durch diverse Messverfahren ermittelbar. Anhand der Befragung sieht man allerdings, dass diese Merkmale unterschiedlich interpretiert bzw. gesehen und empfunden werden.

Die Merkmalsausprägung ist somit individuell interpretierbar.

Einen ähnlichen Sachverhalt hat man an den abgekanteten Enden von Zierleisten. Die Radian an den Kröpfungen<sup>2</sup> der Zierleisten in den Endbereichen sind ebenfalls geometrisch messbar, aber alleine die Tatsache diese sich in der maßlichen **Range** **aufhalten reicht nicht aus um der Anforderung „präzise wirkende Radian“** zu genügen.

Die Anforderung, präzise wirkende Radian, ist also ein Qualitätsmerkmal welches in erster Linie geometrisch erfasst werden kann, jedoch letztendlich erst durch die **Anmutung** als gut oder nicht gut befunden wird.

In der Werbebranche wird unter Anmutung folgendes verstanden:

Die „Anmutung ist die erste Phase der individuellen Wahrnehmung, in der sich Gefühle und Stimmungen gegenüber dem wahrgenommenen Objekt bilden.“<sup>3</sup>

Bezogen auf die Automobilbranche ist nicht nur der Initialeffekt wichtig.

Der Gewohnheitsaspekt bzw. die Gewohnheitsempfindung ist ebenso von großer Bedeutung. Fahrzeugkäufer, auch die Potentiellen, müssen das Design von der ersten bis zur letzten Sekunde als beeindruckend empfinden.

Basierend auf diesem Gedanken hat die Fa. AUDI ein Design entwickelt, welches die Anmutung positiv beeinflusst. Dieses Designpaket wird von der Fa. Audi als „Anmutungspaket“ bezeichnet und beinhaltet u.a. diverse äußere Designmerkmale, wie eine Fugenreduzierung, markante und präzise Kanten und Linienformen am Fahrzeug.

Bezogen auf den **Zierrat**<sup>4</sup> heißt das, dass die die Radian an den Kröpfungen der Zierleisten präzise wirken müssen.

Die Anforderung „präzise“ enthält laut Fa. Audi folgende Merkmale:

- Eine über die Abkantungsebene konstant gleiche Radiengröße,
- geradlinige, parallele Radieneinsatzlinien,
- optisch klein wirkende Radian,
- gleiche Größe der gegenüberstehenden Radian.

Die auf der nächsten Seite dargestellten Abbildungen zeigen, was unter einem präzisen Radius zu verstehen ist.

<sup>2</sup> Kröpfung: Materialabkantung im Endbereich.

<sup>3</sup> URL: <http://www.werbeagentur-score4u.de/frankfurtoffenbach-lexikon-marketing-werbung/a-marketing-lexikon/marketing-lexikon-a.html> [19.11.2013].

<sup>4</sup> Allgemein für Verzierung. In diesem Zusammenhang: Zierleistenumfang

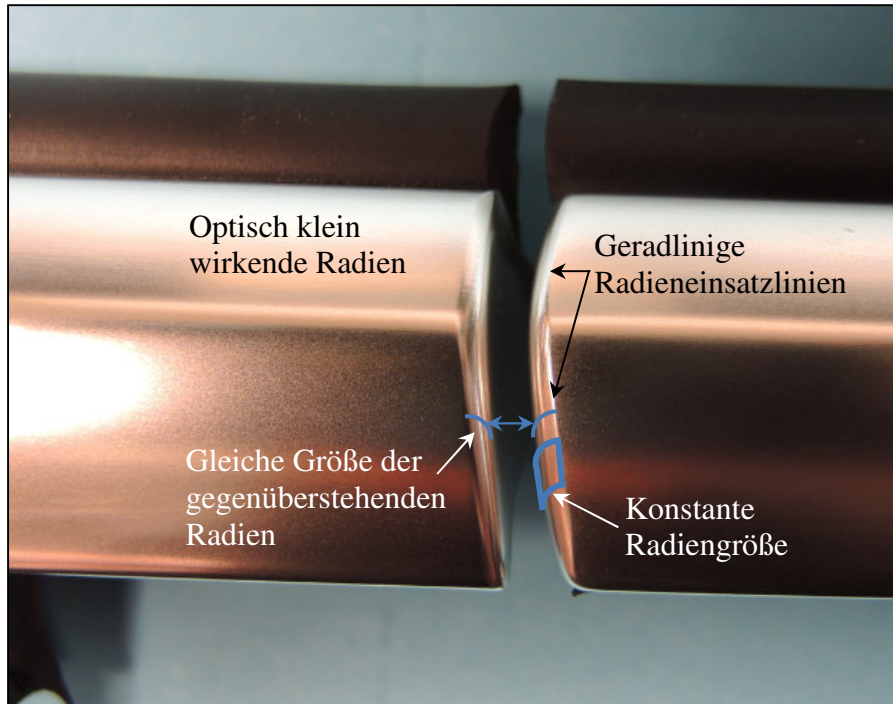


Abbildung 4: Radius am Fertigteil Zierleiste vorne und hinten rechts

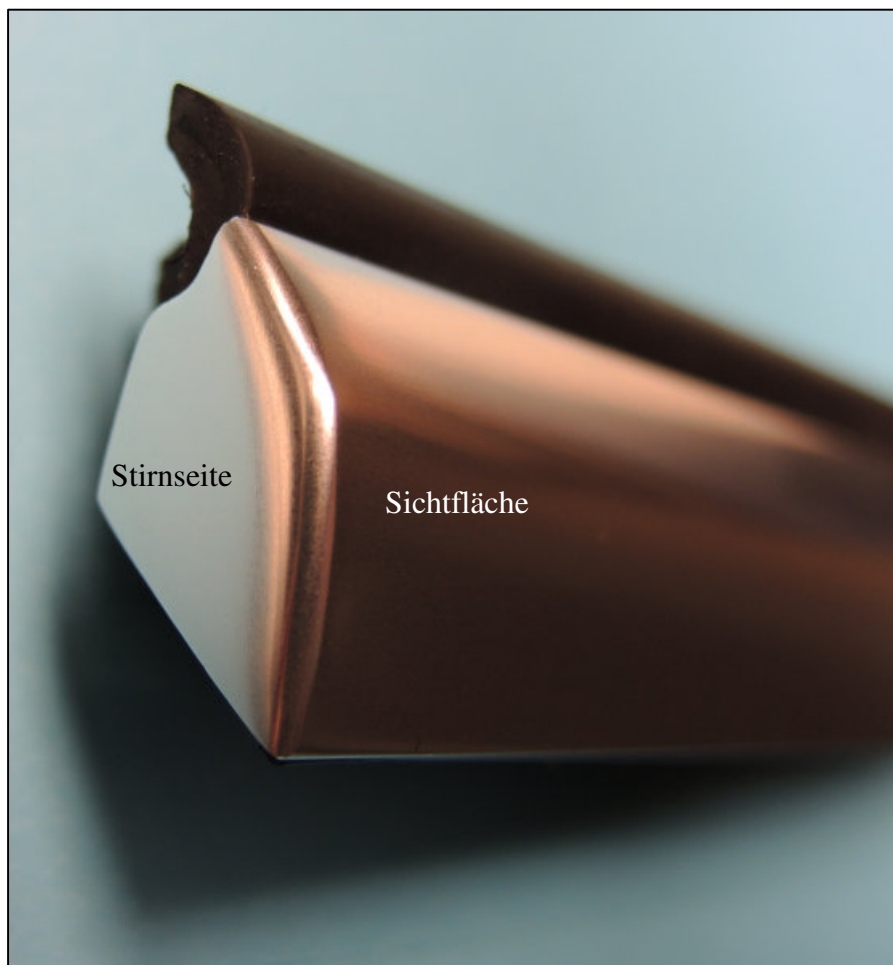


Abbildung 5: Radius am Fertigteil mit Stirnseite

Die steigenden Qualitätsstandards sorgen dafür, dass die Fertigungsprozesse weiter entwickelt werden müssen. Die „alte“ Prozessmethodik reicht zur Erfüllung dieser Standards nicht mehr aus. Beispielsweise wurden Kröpfwerkzeuge immer so ausgelegt, dass die Kröpfungen nicht ein- bzw. abreißen. Auf eine parallele und gleichmäßige Abkantung wurde bislang kein Wert gelegt, da diese damals kein Qualitätsstandard waren. Auch das Umformverhalten des Materials beim Abkanten wurde in den seltensten Fällen untersucht.

Ein Abreißen des Materials im Kröpfprozess resultiert aus einer unzulässigen Belastung des Materials. Eine Untersuchung des Umformverhaltens kann in erster Linie eine Aussage darüber geben, wie das Material beansprucht wird und welche Beanspruchung letztendlich das Material zum Reißen bringt. Nach einer Analyse des Materialverhaltens ist es ggf. möglich, diese durch eine Veränderung des Werkzeuges zu optimieren.

Eine Analyse des Materialverhaltens ist aber nicht nur hinsichtlich des Ein- bzw. Abreißens der Kröpfung sinnvoll. Auch ein grundsätzliches Verständnis der Materialbewegung beim Abkanten ist ein Erkenntnisgewinn.

Die Untersuchung des Materialverhaltens wird im Weiteren aus zwei Blickrichtungen erfolgen. Zum einen erfolgt die Betrachtung aus praktischer Sicht durch die praktische Anwendung des Kröpfverfahrens. Dieses wird gegenübergestellt mit der theoretischen Betrachtung anhand der Durchführung von Umformsimulationen.

Anzumerken ist, dass Umformsimulationen des Kröpfverfahrens bislang nicht existieren und diese somit Neuland für die Fa. DURA sind.

In dieser Bachelorarbeit wird also versucht durch Anwendung von Umformsimulationen frühzeitig Erkenntnisse bezüglich Materialverhalten und der daraus resultierenden Werkzeugauslegung zu gewinnen. Ob die frühzeitige Anwendung solcher Simulationen in der Zukunft stattfinden wird, ist wegen den enormen Kosten an dieser Stelle in Frage zu stellen. Ein Kosten-Nutzen-Verhältnis ist bislang nicht bekannt.

Aber nicht nur die Umformprozesse müssen den neuen Qualitätsstandards angepasst werden. Auch die Folgeprozesse müssen auf ihren Einfluss auf die Herstellung der Qualitätsmerkmale untersucht werden und demnach ausgerichtet werden.

Wie hoffentlich gut vermittelt worden ist, sorgt der steigende Qualitätsstandard für ein Umdenken bei der Prozessauslegung. Diese Bachelorarbeit steht allerdings unter dem Leitfaden:

*Man sollte nicht versuchen das Rad neu zu erfinden, sondern versuchen das Rad erfinderisch zu erneuern.*

*bezüglich  
berücksichtigung der  
Herstellungskosten*



## 2 Bauteil

Untersuchungsobjekte in der folgenden Ausarbeitung sind die unten dargestellten Zierleisten des Audi A3 Cabrios, die folgende organisationsinterne Deklaration haben:

- Zierleiste Schachtabdeckung vorne
- Zierleiste Schachtabdeckung hinten

Die folgende Abbildung zeigt die oben genannten Zierleisten am Fahrzeug.



Abbildung 6: AU375 Audi A3 Cabrio - Fahrzeug Seitenansicht<sup>5</sup>

Schaut man sich im Straßenverkehr die Fahrzeuge in der Umgebung an, so stellt man fest, dass nicht alle Fahrzeuge mit Zierleisten versehen sind.

Dies führt zu der allgemeinen Annahme, dass lediglich Premiumfahrzeuge mit einem Zierrat ausgestattet sind.

Die Entwicklung zeigt aber, dass immer mehr Unter- bis Mittelklassefahrzeuge mit einem Zierrat versehen werden um die Anmutung eines Premiumfahrzeugs zu haben. Jedoch stellt ein Fachmann fest, dass Eigenschaften, wie qualitative Verarbeitung und Design nicht mit den eines Premiumfahrzeugs vergleichbar sind.

Bei den Unter- bis Mittelklassefahrzeugen werden häufig verchromte Kunststoffleisten verwendet.

Die Frage, wieso die Premiumfahrzeughersteller besonders viel Wert auf Aluminium als Ausgangswerkstoff für Zierleisten legen, lässt sich dadurch beantworten, dass die Anmutung von Aluminiumzierleisten - vereinfacht gesagt - besser ist.

Die Unterschiede in der akustischen, haptischen und visuellen Wahrnehmung sind bei diesen beiden Ausgangswerkstoffen erheblich.

Mit akustischer Wahrnehmung wird in erster Linie der Klang der durch das Klopfen auf das Bauteil entsteht gemeint. Wie man sich gut vorstellen kann, ist der Klang des Klopfens auf eine Aluminiumleiste nicht mit dem auf einer Kunststoffleiste zu vergleichen. Viel wichtiger ist jedoch das Klingen des verbauten Bauteils am Fahrzeug. Kaum zu glauben, aber dennoch an dieser Stelle passend anzumerken ist, dass der Klang der verbauten Zierleiste eine große Rolle für die Fahrzeugakustiker<sup>6</sup> spielt. Der Klang, der aus der zufallenden Tür hervorgeht, resultiert in erster Linie aus den Schwingungen des Türblechs. Aber auch Anbauteile sind keineswegs zu vernachlässigen, da diese einen Einfluss auf den Gesamtklang haben.

<sup>5</sup> URL: <http://www.motorvision.de> [22.11.2013].

<sup>6</sup> Fahrzeugakustiker: Fachmann für Optimierung der Akustik bei Fahrzeugen - z.B. Motorgeräusche



Das Ziel sollte sein, einen satten Klang zu erzeugen. Dieser satte Klang wird vom potentiellen Käufer mit einer guten Qualität in Verbindung gebracht und beeinflusst die Kaufentscheidung maßgeblich.<sup>7</sup>

Im Bereich der haptischen Wahrnehmung zeigt die Entwicklung, dass sich verchromte Oberflächen im ersten Moment der Berührung wie Aluminium- bzw. metallische Oberflächen anfühlen. Dieser Effekt wird in der Literatur als Cool-Touch-Effekt bezeichnet und führt darauf zurück, dass der Wärmeeindringkoeffizienten von Aluminium, wie auch der von Chrom größer als der Wärmeeindringkoeffizienten der menschlichen Haut ist.<sup>8</sup> Ist dieser Koeffizient also größer, empfindet der Mensch die Oberfläche als kalt bzw. kälter.

Ist der Wärmeeindringkoeffizient kleiner als der der menschlichen Haut, wird die Oberfläche als warm bzw. wärmer empfunden.<sup>9</sup>

Folgende Tabelle dient zum besseren Verständnis.

| Empfindung  | Stoff                  | Wärmeeindringkoeffizient $b$<br>$\left[ \frac{W \cdot \sqrt{s}}{m^2 \cdot K} \right]$ |
|-------------|------------------------|---|
| Kalt/Kälter | Aluminium              | 24663   |
|             | Chrom                  | 14757   |
| Neutral     | Menschliche Haut       | 1 – 1,3   |
| Warm/wärmer | Polyvinylchlorid (PVC) | 445   |

**Tabelle 1: Darstellung der Temperaturempfindung mit Wärmeeindringkoeffizienten<sup>10</sup>**

Allerdings ist dieser Cool-Touch-Effekt bei verchromten Oberflächen nur in dem ersten Moment mit dem einer metallischen Oberfläche vergleichbar. Dies ist mit der geringen Schichtdicke des Chroms von ca. 0,2 bis 0,5 µm und somit der im Vergleich zu Aluminium schnelleren Wärmeeindringung zu begründen.

An dieser Stelle ist auch der Umweltaspekt nicht zu vernachlässigen. Durch die Verwendung des krebserregenden Chrom-(VI) sind Verchromungsprozesse an hohe Sicherheitsauflagen gebunden. Auch die Recyclingprozesse sind komplexer und somit unwirtschaftlicher als bei einer Aluminiumzierleistenfertigung. Um das Kunststoffträgerenteil von der Chromschicht zu befreien, muss das Bauteil üblicherweise in flüssigen Stickstoff getaucht werden, damit die Chromschicht abplatzt. Erst dann kann der Kunststoff ordnungsgemäß recycelt werden.

<sup>7</sup> Vgl. o.V.: Der Ton macht das Auto, Online im WWW unter URL:

<http://www.genius-community.com/community/jobs/berufswelt/3519/fahrzeug-akustiker> [26.11.2013].

<sup>8</sup> Vgl. Michaeli, Walter/Mäsing, Roland: Kunststoffbauteile mit Cool-Touch-Effekt in einem Prozessschritt herstellen (15.12.10), Online im WWW unter URL:

[http://www.maschinenmarkt.vogel.de/themenkanale/produktion/kunststoffverarbeitung\\_gummiverarbeitung/articles/296355/](http://www.maschinenmarkt.vogel.de/themenkanale/produktion/kunststoffverarbeitung_gummiverarbeitung/articles/296355/) [Stand: 26.11.2013].

<sup>9</sup> Vgl. o.V.: Wärmeeindringkoeffizient (13.07.2013), Online im WWW unter URL:

<http://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rmeeindringkoeffizient> [26.11.2013].

<sup>10</sup> Quellen: modifiziert übernommen aus Wikipedia-Artikel: Wärmeeindringkoeffizient (13.07.2013),

Online im WWW unter URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rmeeindringkoeffizient>

[26.11.2013] und Stoffwertesammlung – Universität Stuttgart, Online im WWW unter URL:

<http://www.tzs.uni-stuttgart.de/lehre/lehrveranstaltungen/Dokumente/wus/Stoffwertesammlung.pdf> [26.11.2013].

Auf das Thema der visuellen Wahrnehmung von Unterschieden zwischen verchromten und eloxierten Oberflächen wird im Folgenden nur oberflächlich eingegangen. Prozessspezifische Details werden im Kapitel 2.2.6 erläutert. Folgende Abbildung soll einen ersten Eindruck der beiden Oberflächen verschaffen.

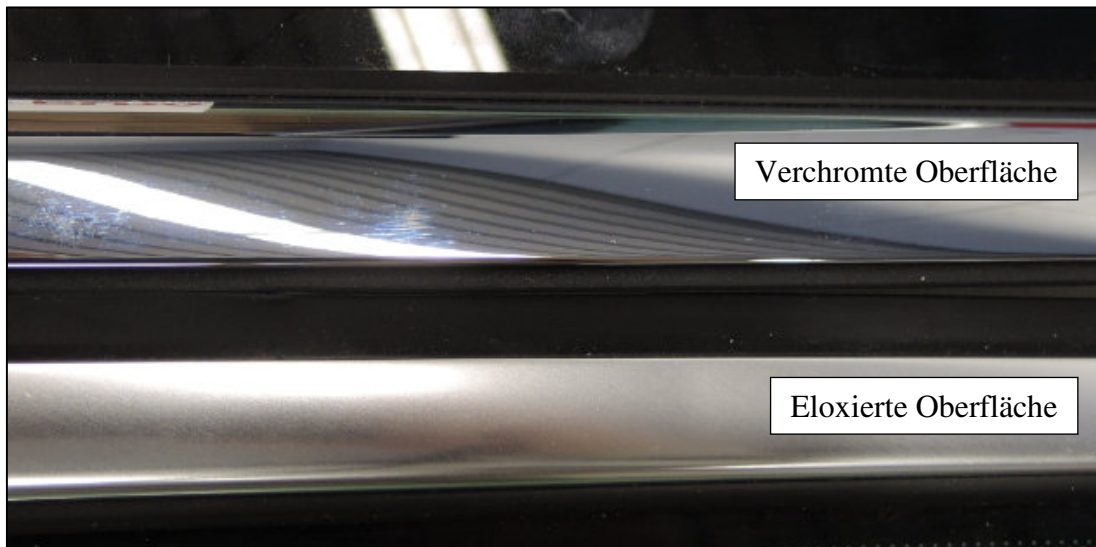


Abbildung 7: Darstellung einer verchromten und einer eloxierten Oberfläche

Festzustellen ist, dass verchromte Oberflächen eine andere Anmutung aufweisen als eloxierte Oberflächen. Dies ist unter anderem mit dem unterschiedlichen Glanzgrad zu begründen. Verchromte Oberflächen reflektieren das Licht deutlich intensiver als eloxierte Oberflächen. Anders als bei der Verchromung, kann Eloxal eine deutlich größere Vielzahl von Glanzgraden erzeugen. Das Spektrum beinhaltet hochglänzende Oberflächen bis matte bzw. satinierte Oberflächen.

Eine besonders hochwertige Anmutung der Oberfläche wird durch die Brillanz der DURAPro-Lackierung erzeugt. Diese keramische Nanolackierung wird nach dem Eloxieren auf die Oberfläche aufgetragen und sorgt für eine dreidimensionale Wahrnehmung der Oberfläche. Bei einer verchromten Oberfläche tritt dieser Effekt nicht ein.

Weitere Aspekte, auf die aber im Folgenden nicht näher eingegangen wird, sind:

- Maßhaltigkeit über Temperaturverlauf ist bei Aluminium erheblich besser.
- Image-Aspekt: „Billiges Plastik“.
- Im Vergleich zum Kunststoff bleib bei Aluminium der E-Modul in dem Verwendungstemperaturbereich (-40 bis 100°C) annähernd konstant.
- Vorteil des Aluminiums hinsichtlich der Formbeständigkeit in höheren Temperaturbereichen.

Es ist also hoffentlich klargeworden, wieso Aluminium als Ausgangswerkstoff bei den OEMs bevorzugt wird.

*Begriff  
erklären!*

Diese Art von Verzierungselementen setzen höchste Anforderungen an den Ausgangswerkstoff voraus. Die wichtigsten Anforderungen können die folgenden sein:



Abbildung 8: Anforderung an den Ausgangswerkstoff von Premiumzierleisten

Die Auswahl eines geeigneten Ausgangswerkstoffes unter wirtschaftlichen, fertigungstechnischen und den o.g. anforderungsspezifischen Gesichtspunkten ist von entscheidender Bedeutung.

Die folgende Herangehensweise soll die finale Auswahl eines geeigneten Vormaterials begründen:

Ein korrosionsbeständiger und leichter Werkstoff, welcher im Vergleich zu anderen Materialien wirtschaftlich zu beziehen und zu verarbeiten ist, ist Aluminium.

Zudem kommt noch der Aspekt, dass die OEMs, wie oben bereits beschrieben, besonders viel Wert auf Aluminium legen.

Da reines Aluminium als solches eine geringe Festigkeit aufweist und somit als verzierender Strukturwerkstoff ungeeignet ist, muss die Festigkeit gesteigert werden. Dies geschieht unter anderem durch das Hinzulegen anderer Elemente, insbesondere Silizium und Magnesium.

Diese Legierungsatome sorgen dafür, dass die Versetzungsbewegung im Aluminiummischkristall behindert wird. Bildlich kann man sich das so vorstellen, dass die im Aluminiumgefüge gelösten Fremdatome Spannungsfelder erzeugen. Diese Spannungsfelder erschweren das Abgleiten der Gleitebenen untereinander (mikroskopisch) bzw. das Umformen des Gefüges (makroskopisch). Somit erreicht man letztendlich die gewünschte Steigerung der Festigkeit.

Damit der Werkstoff die geometrische Form der Zierleiste annimmt, bedarf es des Herstellungsverfahrens Strangpressen und weiterer Umformverfahren. Aufgrund der Duktilität der Knetlegierung eignet sich diese besonders gut für das Strangpressverfahren, sowie weitere Umformverfahren. Das Pendant einer Knetlegierung ist die Gusslegierung, welche aufgrund der relativ hohen Sprödigkeit für Umformverfahren nicht geeignet ist.

Für ein besonders hochwertiges Oberflächenfinish muss eine elektrolytische Oberflächenbehandlung folgen. Unter Verwendung einer Aluminium Knetlegierung als Ausgangswerkstoff wäre die elektrolytische Oberflächenbehandlung das Eloxieren.

Eine kommerzielle Aluminium Knetlegierung welche eine besonders dekorative Oberfläche nach dem Eloxieren aufweist, sind Knetlegierungen entsprechend dem Legierungssystem Al-Mg-Si.<sup>11</sup>

Erfahrungen zeigten, dass sich ein ALMINOX Material hervorragend für die Verarbeitung von Premiumzierleisten eignet.

Die Bezeichnung ALMINOX setzt sich aus dem Konzept „Aluminium mit minimierten Oxiden“ zusammen und sorgt - wie das Konzept schon sagt - durch eine Minimierung der Oxiden im Material, für eine Minimierung von werkstoffbedingten Ungängen, wie schwarze Streifen und zeilenartige Defekte auf der Werkstückoberfläche, die erst nach dem Eloxieren zu erkennen sind.

G  
a  
der

Aus der Stabilitätsanforderung des Kunden und der Verarbeitungsanforderung der Fertigungsprozesse resultiert die geforderte bzw. erwünschte Festigkeit des Werkstoffes und somit folgende mechanische Eigenschaften:

- Zugfestigkeit  $R_m = 180 \text{ N/mm}^2$ ,
- $R_{p0,2} = 110 \text{ N/mm}^2$  und
- $A_{50} = 17\%$  liegt.

Es ist zu beachten, dass die mechanischen Eigenschaften  $R_m$  zu  $R_{p0,2}$  progressiv und  $R_m$  und  $R_{p0,2}$  zu  $A_{50}$  degressiv von einander Abhängig sind, also:

$$f(\uparrow R_m) \rightarrow g(\uparrow R_{p0,2}) \rightarrow h(\downarrow A_{50}).$$

Das bedeutet, dass die Zugfestigkeit nicht beliebig gesteigert kann ohne dass dies eine Steigerung der anderen Eigenschaften mit sich zieht. Ebenfalls zu erwähnen ist, dass die Werte der oben genannten mechanischen Eigenschaften lediglich Richtwerte sind. Das bedeutet, dass diese auch in einem gewissen Spektrum von dem Sollwert abweichen dürfen.

zug  
an  
men

Ein Werkstoff welches diese Spezifikation erfüllt wäre die AlMgSi<sub>0,5</sub> EAL-6048 ALMINOX Knetlegierung nach EN AW6060 im Zustand T64<sup>12</sup> in Form eines Strangpressprofils.

In diesem Fall sind die Legierungselemente:

| Legierungselement         | Kurzbezeichnung | Masseanteil in %<br>nach EN AW-6060<br>für EAL-6048 <sup>13</sup> |
|---------------------------|-----------------|---|
| Magnesium                 | Mg              | 0,3 – 0,6   |
| Silizium                  | Si              | 0,3 – 0,6   |
| Eisen                     | Fe              | 0,18 – 0,23   |
| Zink                      | Zn              | 0,03  |
| Mangan                    | Mn              | 0,03  |
| Kupfer                    | Cu              | 0,05  |
| Titan                     | Ti              | 0,02  |
| Crom                      | Cr              | 0,001   |
| Zul. Beimengungen einzeln |                 | 0,05  |
| Zul. Beimengungen gesamt  |                 | 0,15  |

Tabelle 2: Chemische Zusammensetzung der EAL-6048 Alminox Knetlegierung

<sup>11</sup> Al-Mg-Si: Aluminium – Magnesium - Silizium

<sup>12</sup> Zustand T64: Warmausgelagert, biegefähig

<sup>13</sup> Angaben nach technisches Datenblatt der Fa. WKW Erbslöh Aluminium GmbH

Es werden aber nicht nur hohe Anforderungen an den Ausgangswerkstoff gestellt, sondern natürlich auch an das fertige Produkt. Daraus resultiert die Planung und Auslegung der Fertigungsprozesse. Welche Anforderungen letztendlich im Allgemeinen und speziell zu beachten sind wird im nächsten Kapitel beschrieben.

Der Vollständigkeit halber ist noch zu erwähnen, dass das Fertigerzeugnis der Fa. DURA nicht nur aus der verarbeiteten Aluminiumzierleiste besteht.

Im Montageprozess wird ein Dichtungsprofil aus EPDM<sup>14</sup> in die Zierleiste montiert. Das Dichtungsprofil ist in erster Linie das Trägerteil der Zierleiste an dem Türflansch. Zu dem hat das Dichtungsprofil den Zweck den Schacht der Tür nach innen hin abzudichten.

Das Auftragen einer Kratzschutzfolie, wie auch das Einkleben einer Endkappe aus einem thermoplastischen Elastomer-Werkstoffes bei der vorderen Zierleiste erfolgt ebenfalls in dem Montageprozess.

Zur besseren Verdeutlichung befinden sich nachfolgend die CAD-Zeichnungen der ZSB-Zierleisten.<sup>15</sup>



Abbildung 9: AU375 CAD-Zeichnung ZSB Zierleiste vorne

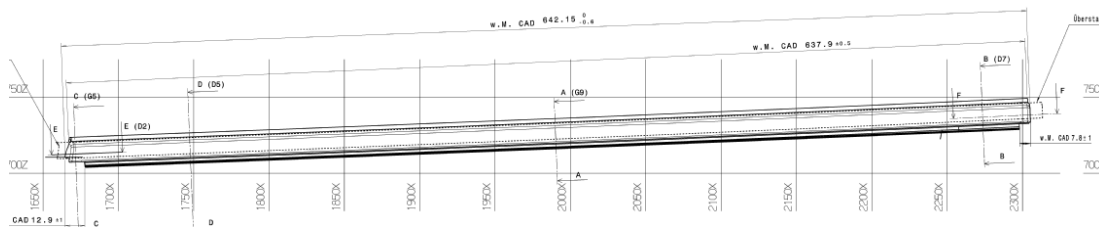


Abbildung 10: AU375 CAD-Zeichnung ZSB Zierleiste hinten links

<sup>14</sup> EPDM: Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk oder auch Gummi.

<sup>15</sup> ZSB: Zusammenbau, Fertigteil.

## 2.2 Funktion und Qualitätsumfang

Neben der Stabilitätsfunktion haben Zierleisten überwiegend die Funktion das Fahrzeug optisch aufzuwerten.

Wie aus dem letzten Kapitel hervor geht, verleihen Zierleisten dieser Form und Ausführung dem Fahrzeug eine optische Aufwertung und somit eine besondere Anmutung.

Damit die Funktion der optischen Aufwertung erfüllt ist, bedarf es einer Fehlerfreiheit des Teiles, insbesondere der Oberfläche.

Fehlerarten, die auf der Oberfläche des Zierteils auftreten können, werden in folgenden Kategorien unterteilt:

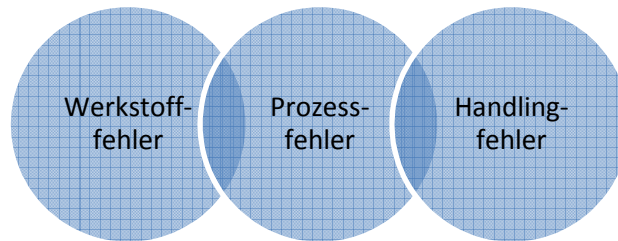


Abbildung 11: Oberflächenfehlerkategorien

Aus diesen Fehlerkategorien resultiert eine Vielzahl von Fehlerbildern. In folgender Abbildung werden die häufigsten Fehlerbilder dargestellt:

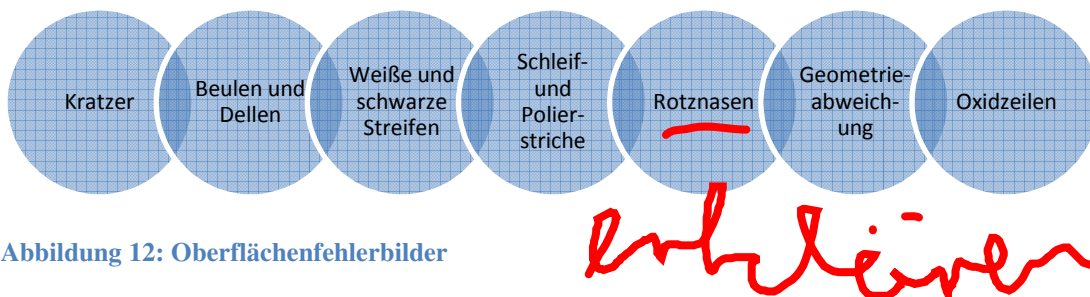


Abbildung 12: Oberflächenfehlerbilder

Da sich die folgenden Untersuchungen nur auf die Fertigungsprozesse beziehen, ist es notwendig zu wissen, welche prozessbedingte Fehlerbilder erzeugt werden können. Folgende Abbildung stellt die Beziehung des Fehlerbildes zu Fehlerkategorie dar:

| Werkstofffehler   | Prozessfehler  | Handlingfehler   |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Weiße und schwarze Streifen</li> <li>• Oxidzeilen</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kratzer</li> <li>• Beulen und Dellen</li> <li>• Schleif- und Polierstriche</li> <li>• Rotznasen</li> <li>• Geometrieabweichung</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kratzer</li> <li>• Beulen und Dellen</li> </ul> |

Abbildung 13: Oberflächenfehler - Fehlerkategorie und Fehlerbild

Festzustellen ist, dass Kratzer wie auch Beulen und Dellen prozessbedingt, wie auch durch falsches Handling entstehen können. Dies soll ein Hinweis darauf sein, sich in den folgenden Untersuchungen nicht auf eine falsche Fährte führen zu lassen.

Neben dem optischen Aspekt gibt es eine ganze Reihe von Anforderungen, die in Form von Normen aus dem Verband der Automobilindustrie (VDA), Prüfvorschriften (PV) und technischen Liefervorschriften (TL) eingehalten werden müssen.

Als Beispiel für einige kundenseitige Anforderungen können die Folgenden genannt werden:

- Korrosionsbeständigkeit
- Temperaturwechselbeständigkeit
- Chemikalienbeständigkeit
- Kratzbeständigkeit
- Klimawechseltest
- U.v.m.

Um den Umfang dieser Ausarbeitung nicht zu sprengen steht lediglich der optische Aspekt im Fokus. Wie oben bereits erwähnt, ist unter anderem die Fehlerfreiheit der Oberfläche für eine gute Anmutung erforderlich.

Aber nicht nur die Fehlerfreiheit der Oberfläche ist von entscheidender Bedeutung, sondern auch die geometrische Ausführung der Oberfläche, insbesondere die geometrische Ausführung der Radien an den Kröpfungen, da diese durch die Fertigungsprozesse hergestellt werden müssen. Die Geometrie der restlichen Oberfläche ist durch das Strangpressprofil gegeben. Es ist lediglich darauf zu achten, dass die Oberfläche über den Verlauf der Fertigungsprozesse keinen Schaden bzw. keinen Fehler annimmt.

Um die Ausführung der Radiengeometrie bewerten zu können müssen definierte Merkmale existieren. Die Kundenanforderungen, die im Kapitel „Vorwort“ bereits beschrieben wurden und in folgender Abbildung nochmal dargestellt sind, können hier als geforderte Merkmale oder auch als Qualitätsmerkmal definiert werden.

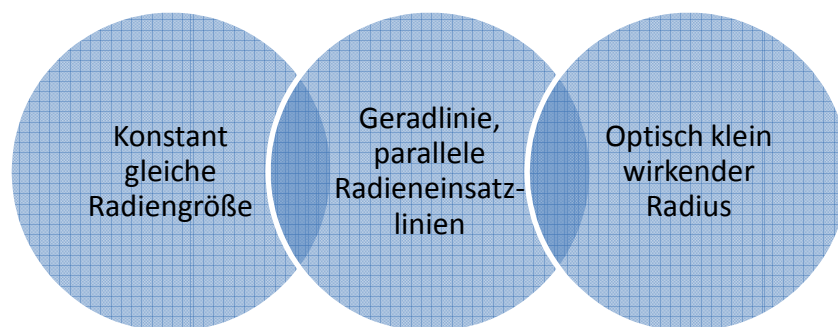


Abbildung 14: Qualitätsmerkmale Kröpfungsradius

(Die Abbildungen 3 und 4 symbolisieren die Merkmalsausprägung.)

Zu diesen Radienbezogenen Merkmalen kommen noch die Folgenden Qualitätsmerkmale hinzu... (Ebenheit der Stirnseite, Ebenheit der Fläche vor der Kröpfung, keine beulen und dellen... Etc...) *etc.*

Die oben dargestellten Qualitätsmerkmale werden allerdings am fertigen Teil bewertet. Somit ist also lediglich die „Ausgangsgröße“ bekannt.

Um die Beziehung der Fertigteilqualität blablabla... *wavy line*



*Funktion Kröpfung:*

Kröpfungen haben die Funktion, die Zierleiste an den Enden durch die Abkantung optisch um die Ecke verlaufen zu lassen. Dies führt dazu, dass die Zierleiste im Endbereich keine Formunterbrechung aufweist, wie z.B. bei aufgesteckten Endkappen. Zierleisten mit Kröpfungen werden somit als komplett und ununterbrochen bewertet.

FORM UND LAGETOLERANZ DER BIEGUNG!!

Form - und Lagetol..

## 2.3 Fertigungsprozesse

In folgender Abbildung werden die Fertigungsprozesse einer Zierleiste in richtiger Ablauffolge dargestellt.

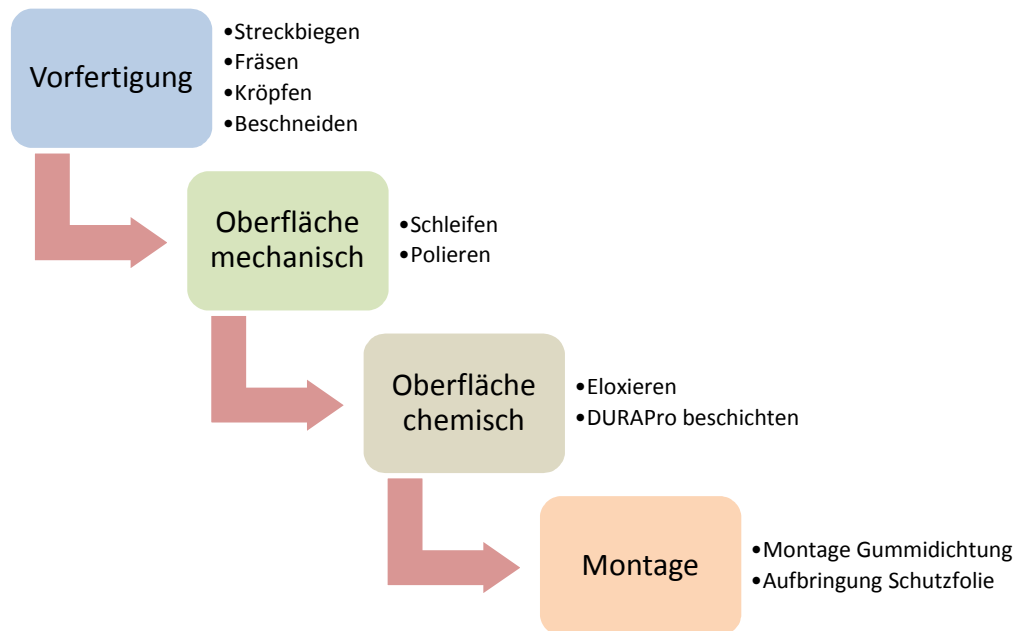


Abbildung 15: Fertigungsprozesse einer Zierleiste

Nach Betrachtung der oben dargestellten Abbildung ist zu erkennen, dass vier Hauptprozesse, bestehend aus insgesamt zehn Unterprozessen für eine Zierleistenherstellung notwendig sind.

Angelehnt an das Motto „viele Köche verderben den Brei“ ist auch in diesem Fall zu erwähnen, dass je mehr Prozessschritte ein Bauteil durchläuft, umso mehr schädigende Einflussgrößen in Bezug auf qualitative Merkmale existieren.

An dieser Stelle ist ebenfalls anzumerken, dass nicht nur die Prozessschritte in ihrer jeweiligen Dimension einen Einfluss auf das Erzeugnis nehmen, sondern auch Parameter wie Lagerzeit und Lagertemperatur, die als prozessunabhängig zu betrachten sind, eine Einflussgröße auf das Verarbeitungsergebnis darstellen.

Als Beispiel dient folgendes Szenario:

Die für die Vorfertigung benötigten Strangpressprofile stehen - aus welchen Gründen auch immer - in einem Außenlager bei  $-10^{\circ}\text{C}$  Außentemperatur. Diese werden an die Anlage gefahren und direkt verarbeitet.

Festzustellen ist, dass Merkmale wie zum Beispiel die Biegekontur nach dem Streckbiegen nicht mit der des letzten Fertigungsstandes zu vergleichen ist.

Die Lagerung der Strangpressprofile des letzten Fertigungsstandes erfolge in einem beheizten Innenlager bei  $25^{\circ}\text{C}$  Raumtemperatur.

Zu erklären wäre dieses Phänomen durch die unterschiedliche Materialtemperatur beim Verarbeiten. Jeder, der als Kind gerne mit Knete gespielt hat, weiß vielleicht noch, dass sich handwarme Knete besser formen ließ als frisch ausgepackte, die gegebenenfalls noch im kühlen Keller gelagert wurde.

Auf das Aluminium bezogen lässt sich das durch den Temperatureinfluss auf die mechanischen Eigenschaften wie Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung erklären. Eine signifikante Änderung der mechanischen Eigenschaften bei einem Temperaturunterschied von  $\Delta T = 35^{\circ}\text{C}$  in dem Temperaturbereich von  $T_1 = -10^{\circ}\text{C}$

bis  $T_2 = 25^\circ\text{C}$  wird in der Literatur üblicherweise nicht erwähnt. Dies mag daran liegen, dass die Skalierung in den häufigsten Fällen bei mindestens  $T = 0^\circ\text{C}$  anfängt. Zu dem ist die Varianz der mechanischen Eigenschaften in diesem Temperaturbereich vermutlich so minimal, dass sie in der Literatur nicht erwähnenswert ist.

~~Erfahrungswerte zeigen allerdings, dass dieser geringe Materialtemperaturunterschied bei der Verarbeitung eine Beeinflussung der Umformergebnisse stattfinden lässt.~~

Ein effizienter Fertigungsablauf ~~erfordert~~ **fördert** eine detaillierte Planung der Fertigungsprozesse.

Das Ziel der Planung von Fertigungsprozessen ist, unter Berücksichtigung aller Einflussgrößen aus den unterschiedlichsten Sachgebieten einen wirtschaftlichen, systematischen und exakt organisierten Fertigungsablauf, mit dem die bestmögliche Qualität erzeugt werden kann, zu ermöglichen. Wie in Abbildung 7 zu sehen ist, besteht der Fertigungsablauf einer Zierleiste aus mehreren Fertigungsprozessen. Ein weiteres Ziel sollte sein, die Anzahl der Fertigungsprozesse auf die nötigsten zu reduzieren. Das bedeutet, dass man im Vorfeld versuchen sollte einen Fertigungsprozess so auszulegen, dass er seine definierte Funktion im vollen Umfang erfüllt und kein Spielraum für auftretende Mängel zulässt. Zum Beispiel sollte man einen Beschneideprozess so auslegen, dass dieser keinen unzulässigen Grat hervorruft. Sollte nach dem Beschneiden ein unzulässiger Grat entstehen, wird ein Entgratvorgang benötigt, der wiederum einen eigenen Prozess darstellt. Dieser Entgratprozess benötigt wiederum Hilfs- und Betriebsstoffe und Personalzeit, die Geld kosten. Dieser Fertigungsprozess, welcher im Vorfeld meist nicht geplant wird, ist nicht wertschöpfend und stellt somit eine Störgröße auf den wirtschaftlichen Ablauf dar.

**in vollem Umfang...**  
In den folgenden Kapiteln werden die für die Zierleistenfertigung notwendigen Fertigungsprozesse beschrieben und versucht Einflussgrößen zu ermittelt.

**Entgratvorgang:  
Hilfs- und Betriebs-  
stoffe**

### 2.2.2 Streckbiegen

Wie anhand der Abbildung 9 und 10 im Kapitel *Bauteil* wage zu erkennen ist, ist die fertige Zierleiste in Längsrichtung nicht gerade, sondern weist eine dreidimensionale Form bzw. Biegung auf. Die folgenden Abbildungen sollen die dreidimensionale Form der Zierleisten inklusive Dichtungsprofil verdeutlichen.

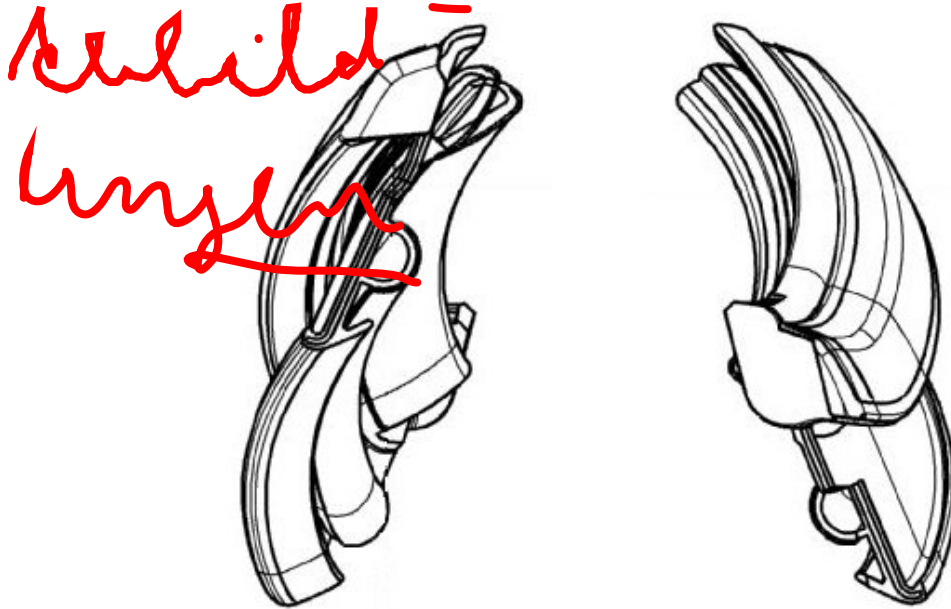


Abbildung 16: Form bzw. Biegung der Zierleiste vorne

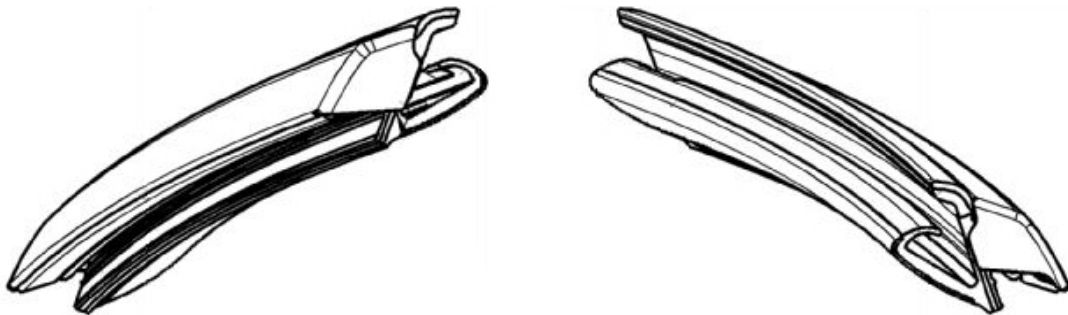


Abbildung 17: Form bzw. Biegung der Zierleiste hinten

Da das Ausgangsmaterial ein gerades Strangpressprofil ist, muss man dieses erst einmal in die dreidimensionale Form bringen. Dies geschieht in dem Fertigungsprozess *Streckbiegen*. Wie der Prozessname bereits aussagt, erfolgt „das in Form bringen“ über das Umformverfahren Biegen indem das Material zugleich während des Biegens gestreckt wird.

Man mag sich an dieser Stelle fragen, wieso ein synchrones Strecken in diesem Umformprozess notwendig ist.

Dies ist mit dem Materialverhalten des Aluminium Strangpressprofils zu begründen. Metallische Werkstoffe verhalten sich im Allgemeinen bei einer mechanischen Beanspruchung bis zu einem gewissen Grad elastisch.

Angenommen man würde das Aluminiumblech aus dem auf Seite 3 stehenden Gedankenexperiment, welches bis zur Hälfte im Schraubstock gespannt ist, mit dem Daumen um 5 mm aus seiner Ausgangslage nach vorne drücken. Dieses „Drücken“ stellt für das Blech im mikroskopischen Sinne eine mechanische Beanspruchung des

# Frage 2

metallischen Kristallgitters dar. In diesem Fall wäre diese eine Schubspannung. Lässt man das Blech nun los bzw. entfernt man die Schubspannung, so kann man davon ausgehen, dass sich das Blech wieder vollständig in seine ursprüngliche Lage zurückbewegt.

Dieses Verhalten symbolisiert die Elastizität des Werkstoffes und ist dadurch zu begründen, dass das Biegen eine Schubspannung  $\tau$  im Kristallgitter erzeugt und dadurch eine Verschiebung der Atome aus der Lage des stabilen Gleichgewichts stattfindet. Der Betrag der Atomverschiebung  $b$  ist allerdings kleiner als ein Atomabstand  $a$ , sodass es für das Atomgefüge energetisch leichter ist in den ursprünglichen Zustand zu gelangen.

Folgende Abbildung zeigt die atomistische Darstellung der elastischen Verformung.

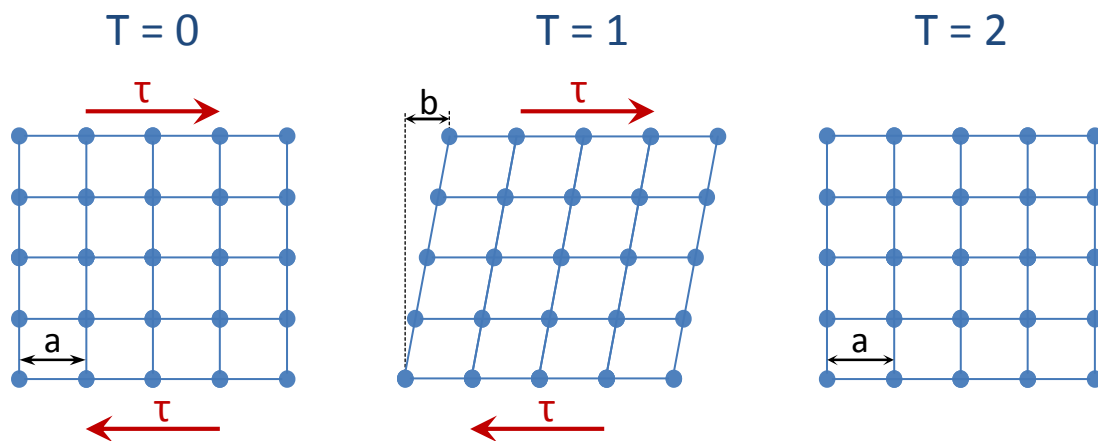


Abbildung 18: Atomistische Darstellung der elastischen Verformung des Kristallgitters

Wie vorhin bereits erwähnt, reagiert der Werkstoff, bzw. das Kristallgitter nur bis zu einem gewissen Grad der Beanspruchung elastisch.

Drückt man das gedankliche Blech in einem zweiten Versuch nun mehr als 5 mm aus seiner Ausgangslage, zum Beispiel um 50 mm und lässt es anschließend los, so stellt man fest, dass das Blech sich nicht vollständig in die ursprüngliche Lage zurückbewegt hat. Es ist vermutlich auf halbem Wege stehen geblieben.

Dies ist dadurch zu begründen, dass die Intensität der Biegespannung aus dem zweiten „Drückversuch“ eine größere Schubspannung in dem Kristallgitter erzeugt und dieses zum Teil plastisch, also bleibend verändert bzw. verformt.

Die plastische Formänderung ist dadurch zu begründen, dass die Verschiebung der Atome in eine neue Lage des stabilen Gleichgewichts erfolgt. Der Betrag der Atomverschiebung  $b$  ist in diesem Fall wesentlich größer als der Atomabstand  $a$ .

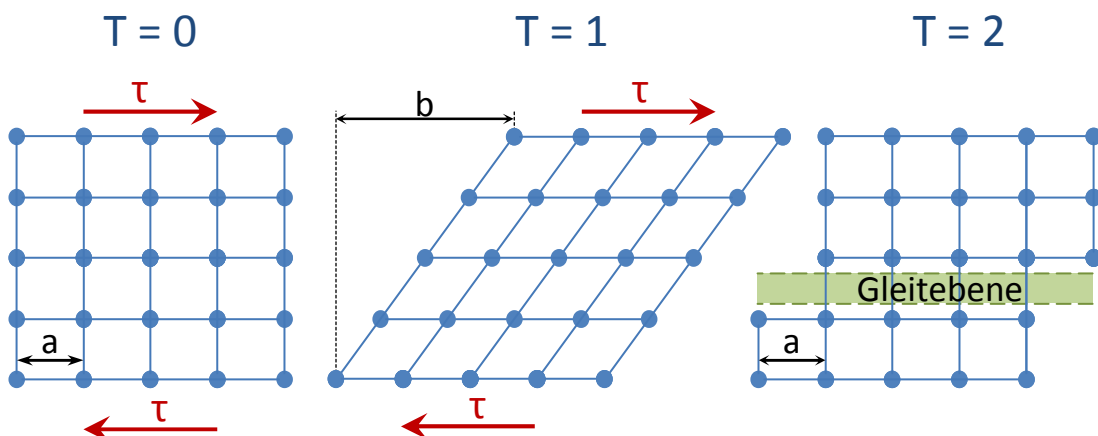


Abbildung 19: Atomistische Darstellung der plastischen Verformung des Kristallgitters

Der Betrag der Kraft oder Spannung, die aufzuwenden ist, damit der Werkstoff sich plastisch verformt, wird in der Literatur üblicherweise als Fließgrenze bezeichnet. Die Fließgrenze ist also der Punkt, ab dem unter einer bestimmten Spannung der Werkstoff anfängt zu fließen. Unter dem Fließen des Werkstoffes versteht man im Allgemeinen, dass ganze Kristallgitterbereiche entlang einer Gleitebene gegeneinander verschoben werden (siehe Abbildung 19).

Nachdem also klar geworden ist, dass es bei einer Ver- oder Umformung eines metallischen Werkstoffes einen elastischen und plastischen Anteil existiert, (form und lagetoleranz...)

und Form- und...

Man stellt ebenso fest, dass ein gewisser elastischer Anteil vorhanden ist, da das Blech nicht die Form, die es unter der Beanspruchung hatte, beibehalten hat.  
Die Existenz einer Fließgrenze mag in gewisser Hinsicht Probleme bereiten.





### 2.2.3 Fräsen

Fräsen

### 2.2.4 Kröpfen

Kröpfen

### 2.2.5 Beschneiden

Beschneiden

### 2.2.6 Schleifen und Polieren

Schleifen und Polieren

### 2.2.7 Eloxieren

Eloxieren

### 2.2.8 DURAPro Beschichten

DURAPro Beschichten



## 2.4 Herleitung der Einflussgrößen

Herleitung der Einflussgrößen

### 2.3.1 Gewichtung

Eine sich anbietende Methode zur Erstellung einer Gewichtung ist der Paarvergleich. Der Paarvergleich ist ein Tool der Nutzwertanalyse mit dem diverse Beurteilungskriterien gegenübergestellt und gegeneinander bewertet werden können. Das Ergebnis des Paarvergleichs ist eine Rangfolge der aufgestellten Beurteilungskriterien. Diese Beurteilungskriterien resultieren aus dem vorher aufgestellten Ziel. Eine komplette Nutzwertanalyse wäre an dieser Stelle nicht angebracht, da der übergeordnete Sinn einer Nutzwertanalyse die Nutzwertberechnung mehrerer Planungsalternativen und somit der Vergleich dieser Varianten untereinander beinhaltet. Die Begründung dafür, dass eine komplette Durchführung der Nutzwertanalyse an dieser Stelle nicht geeignet ist, ist die Tatsache, dass lediglich eine Variante zur Auswahl steht, nämlich die derzeitige Prozess- und Werkzeuggestaltung. Die Durchführung der kompletten Nutzwertanalyse ist in diesem Sachzusammenhang aber auch nicht notwendig und darf somit nicht negativ verstanden werden. Man bedient sich lediglich mit einem geeigneten Tool zur Verdeutlichung der Gewichtung von Beurteilungskriterien bzw. in diesem Fall von Einflussgrößen.

## 2.5 Ziele

Ziele

## 3 Lösungsansätze

Lösungsansätze

## 4 Zusammenfassung

Zusammenfassung

Tool besser Danks!  
Werkzeug  
Sachverhalt

DURA Automotive

# Auslegung und Optimierung von Fertigungsprozessen zum Zweck der prozesssicheren Herstellbarkeit geforderter Qualitätsmerkmale nominaler Art

Ideale Umformbedingungen beim Kröpfen

## **1 Inhalt**

|       |                                     |    |
|-------|-------------------------------------|----|
| 1     | Vorwort .....                       | 2  |
| 2     | Bauteil .....                       | 7  |
| 2.2   | Funktion und Qualitätsumfang .....  | 13 |
| 2.3   | Fertigungsprozesse .....            | 16 |
| 2.2.2 | Streckbiegen .....                  | 18 |
| 2.2.3 | Fräsen .....                        | 21 |
| 2.2.4 | Kröpfen .....                       | 21 |
| 2.2.5 | Beschneiden .....                   | 21 |
| 2.2.6 | Schleifen und Polieren .....        | 21 |
| 2.2.7 | Eloxieren .....                     | 21 |
| 2.2.8 | DURAPro Beschichten .....           | 21 |
| 2.4   | Herleitung der Einflussgrößen ..... | 22 |
| 2.3.1 | Gewichtung .....                    | 22 |
| 2.5   | Ziele .....                         | 22 |
| 3     | Lösungsansätze .....                | 22 |
| 4     | Zusammenfassung .....               | 22 |

# 1 Vorwort

Die folgende Bachelorarbeit befasst sich mit einer Thematik, die im Industriestandort Deutschland mehr und mehr an Bedeutung gewinnt.

Heutzutage sind Teilepreise und Fertigungskosten in einigen Branchen nicht mehr die aussagekräftigsten Kriterien für eine Auftragsvergabe.

Kundenwunschorientiertes Arbeiten gewinnt somit immer mehr an Bedeutung.

Kundenwünsche erfassen ein großes Spektrum an Anforderungen. Einer der wichtigsten Anforderungen in der Automobilzuliefererindustrie können die folgenden sein:

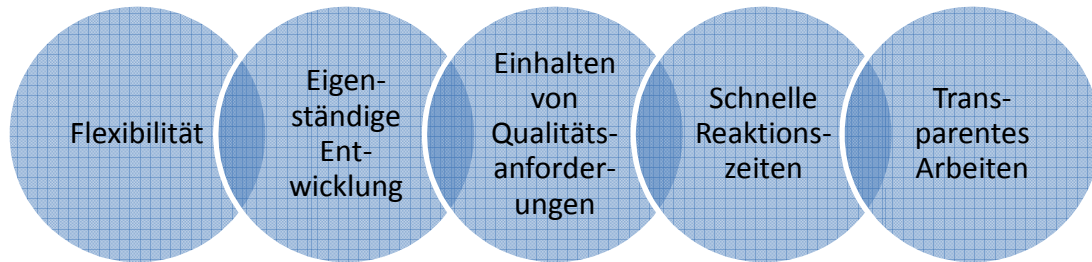


Abbildung 1: Anforderungen an die Automobilzuliefererindustrie

Vor allem im Bereich der Oberflächenteileherstellung wird besonders auf die konstante Herstellbarkeit der bestmöglichen Qualität sowie auf eine eigenständige Entwicklung hinsichtlich des Produktes und stabiler Fertigungsprozesse geachtet.

Es ist also durchaus möglich, dass Zulieferer A, trotz einem im Vergleich zum Zulieferer B niedrigerem Teilepreis, keine Auftragsvergabe erhält, aufgrund der für Zulieferer A nicht möglichen Herstellbarkeit eines geforderten Qualitätsmerkmals, welches möglicherweise auf mangelhafter Entwicklung basiert.

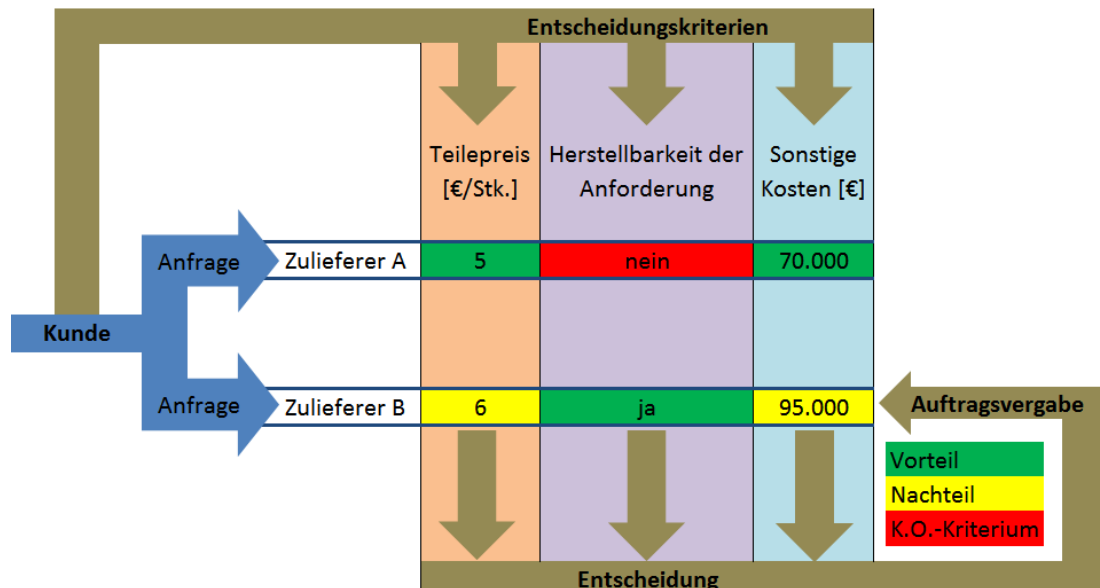


Abbildung 2: Auftragsvergabe nach Bewertung von Kriterien

Für weitere Auftragseingänge und somit für die Sicherung der Existenz eines Industrieunternehmens ist es also absolut notwendig auf Kundenwünsche einzugehen und Fertigungsprozesse zu entwickeln, die den Anforderungen gerecht werden.

Zu beachten ist, dass auch bestehende Fertigungsprozesse weiterentwickelt bzw. optimiert werden können um Kennzahlen wie Effizienz, Qualität, Produktivität, Mitarbeiterumsatz, Fertigungszeiten, usw. zu verbessern.

In der folgenden Bachelorarbeit werden die Fertigungsprozesse einer Zierleistenfertigung hinsichtlich der Herstellbarkeit einer qualitativen Anforderung nominaler Art untersucht.

Unter einem nominalen Qualitätsmerkmal versteht man ein nicht messbares Merkmal. Die Merkmalsausprägung des Merkmalsträgers ist entweder gut oder nicht gut.<sup>1</sup> Beispielsweise ist „Hell“ ein Merkmal, welches im Allgemeinen nicht präzise messbar ist.

Folgendes gedankliches Experiment soll die Interpretation nominaler Merkmalsausprägungen verdeutlichen.

*Man nehme ein Blech, zum Beispiel aus Aluminium. Dies ist der Merkmalsträger.*

*Dieses Blech ist ca. 1 mm dick und hat die Fläche einer Kreditkarte.*

*Das Blech wird nun mit der langen Seite nach oben bis zur Hälfte in einen Schraubstock gespannt.*

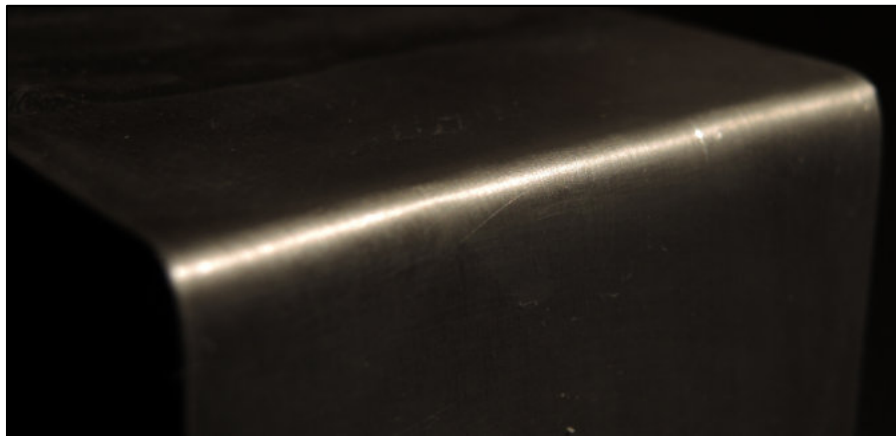
*Die Kanten der Schraubstockbacken sind mit einem 0,5 mm Radius verrundet.*

*Jetzt geht man her und biegt das Blech mit Hilfe eines Kunststoffhammers um 90° über dem Schraubstock ab.*

*Man betrachte nun den Radius an der Abkantung. Dieser Abkantungsradius ist nun das Merkmal mit einer gewissen Ausprägung.*

*Ausprägungsvarianten können zum Beispiel groß, klein, gleichmäßig und ungleichmäßig sein.*

*Mit gleichmäßig und ungleichmäßig wird die Radiengröße über die Länge der Abkantung gemeint.*



**Abbildung 3: Abkantungsradius eines Aluminiumbleches**

*Zeigt man dieses abgekantete Aluminiumblech nun den Menschen in seiner Umgebung so mag man folgende Feedbacks bzw. Ausprägungsinterpretationen erwarten:*

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <i>Simone, Floristin:</i>           | <i>„Kleiner, gleichmäßiger Radius.“</i>   |
| <i>Michael, Maschinenschlosser:</i> | <i>„Kleiner, ungleichmäßiger Radius.“</i> |
| <i>Peter, Feinwerkmechaniker:</i>   | <i>„Großer, ungleichmäßiger Radius.“</i>  |

<sup>1</sup> Vgl. [http://quality.kenline.de/seiten\\_d/spc\\_verteilungen.htm](http://quality.kenline.de/seiten_d/spc_verteilungen.htm).

Selbstverständlich wären in dem Gedankenexperiment die kardinale Größe und Gleichmäßigkeit des Radius durch diverse Messverfahren ermittelbar. Anhand der Befragung sieht man allerdings, dass diese Merkmale unterschiedlich interpretiert bzw. gesehen und empfunden werden.

Die Merkmalsausprägung ist somit individuell interpretierbar.

Einen ähnlichen Sachverhalt hat man an den abgekanteten Enden von Zierleisten. Die Radian an den Kröpfungen<sup>2</sup> der Zierleisten in den Endbereichen sind ebenfalls geometrisch messbar, aber alleine die Tatsache diese sich in der maßlichen Range aufhalten reicht nicht aus um der Anforderung „**präzise wirkende Radian**“ zu genügen.

Die Anforderung, präzise wirkende Radian, ist also ein Qualitätsmerkmal welches in erster Linie geometrisch erfasst werden kann, jedoch letztendlich erst durch die **Anmutung** als gut oder nicht gut befunden wird.

In der Werbebranche wird unter Anmutung folgendes verstanden:

Die „*Anmutung ist die erste Phase der individuellen Wahrnehmung, in der sich Gefühle und Stimmungen gegenüber dem wahrgenommenen Objekt bilden.*“<sup>3</sup>

Bezogen auf die Automobilbranche ist nicht nur der Initialeffekt wichtig.

Der Gewohnheitsaspekt bzw. die Gewohnheitsempfindung ist ebenso von großer Bedeutung. Fahrzeugkäufer, auch die Potentiellen, müssen das Design von der ersten bis zur letzten Sekunde als beeindruckend empfinden.

Basierend auf diesem Gedanken hat die Fa. AUDI ein Design entwickelt, welches die Anmutung positiv beeinflusst. Dieses Designpaket wird von der Fa. Audi als „Anmutungspaket“ bezeichnet und beinhaltet u.a. diverse äußere Designmerkmale, wie eine Fugenreduzierung, markante und präzise Kanten und Linienformen am Fahrzeug.

Bezogen auf den Zierrat<sup>4</sup> heißt das, dass die die Radian an den Kröpfungen der Zierleisten präzise wirken müssen.

Die Anforderung „präzise“ enthält laut Fa. Audi folgende Merkmale:

- Eine über die Abkantungsebene konstant gleiche Radiengröße,
- geradlinige, parallele Radieneinsatzlinien,
- optisch klein wirkende Radian,
- gleiche Größe der gegenüberstehenden Radian.

Die auf der nächsten Seite dargestellten Abbildungen zeigen, was unter einem präzisen Radius zu verstehen ist.

---

<sup>2</sup> Kröpfung: Materialabkantung im Endbereich.

<sup>3</sup> URL: <http://www.werbeagentur-score4u.de/frankfurtoffenbach-lexikon-marketing-werbung/a-marketing-lexikon/marketing-lexikon-a.html> [19.11.2013].

<sup>4</sup> Allgemein für Verzierung. In diesem Zusammenhang: Zierleistenumfang

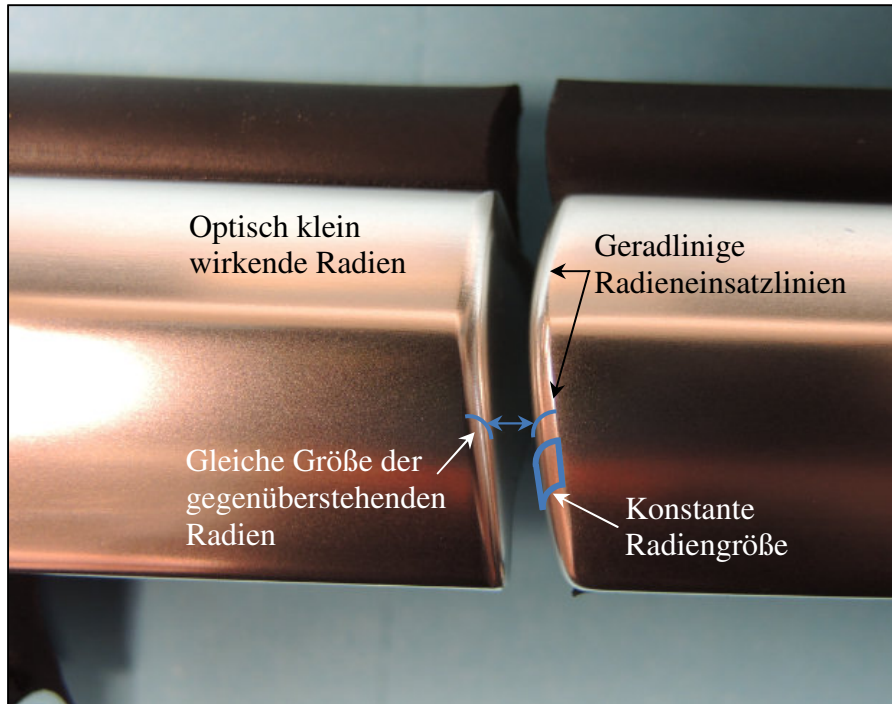


Abbildung 4: Radius am Fertigteil Zierleiste vorne und hinten rechts

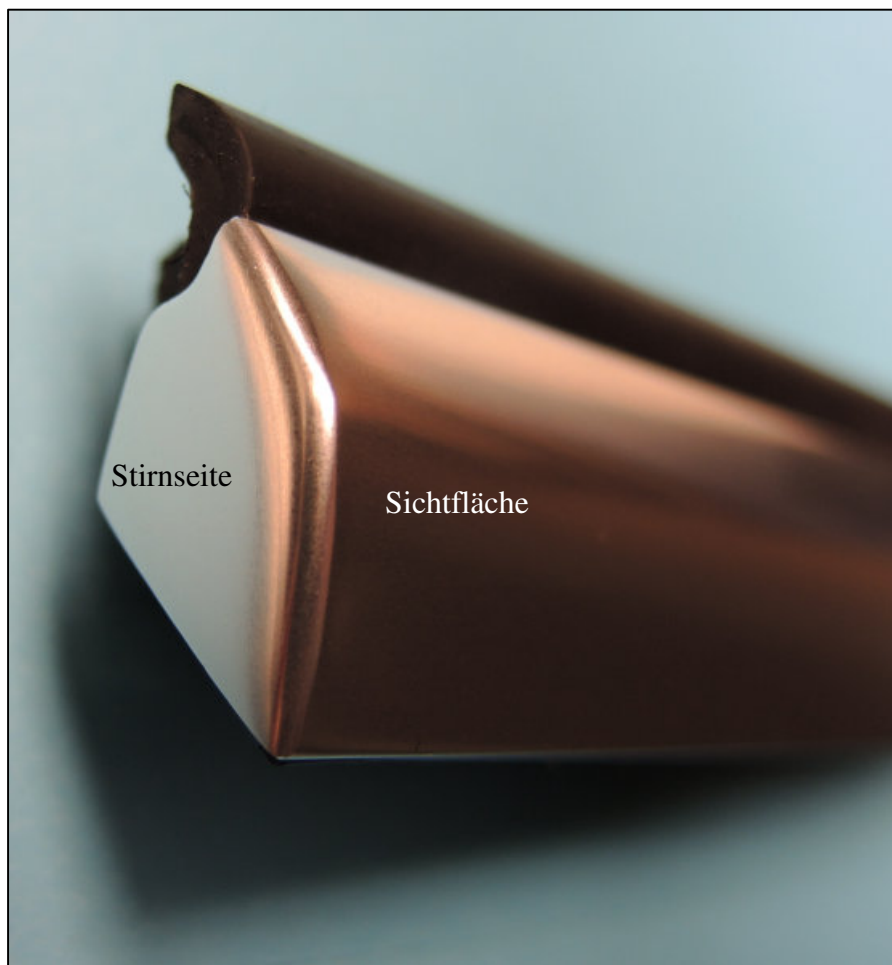


Abbildung 5: Radius am Fertigteil mit Stirnseite



Die steigenden Qualitätsstandards sorgen dafür, dass die Fertigungsprozesse weiter entwickelt werden müssen. Die „alte“ Prozessmethodik reicht zur Erfüllung dieser Standards nicht mehr aus. Beispielsweise wurden Kröpfwerkzeuge immer so ausgelegt, dass die Kröpfungen nicht ein- bzw. abreißen. Auf eine parallele und gleichmäßige Abkantung wurde bislang kein Wert gelegt, da diese damals kein Qualitätsstandard waren. Auch das Umformverhalten des Materials beim Abkanten wurde in den seltensten Fällen untersucht.

Ein Abreißen des Materials im Kröpfprozess resultiert aus einer unzulässigen Belastung des Materials. Eine Untersuchung des Umformverhaltens kann in erster Linie eine Aussage darüber geben, wie das Material beansprucht wird und welche Beanspruchung letztendlich das Material zum Reißen bringt. Nach einer Analyse des Materialverhaltens ist es ggf. möglich, diese durch eine Veränderung des Werkzeuges zu optimieren.

Eine Analyse des Materialverhaltens ist aber nicht nur hinsichtlich des Ein- bzw. Abreißens der Kröpfung sinnvoll. Auch ein grundsätzliches Verständnis der Materialbewegung beim Abkanten ist ein Erkenntnisgewinn.

Die Untersuchung des Materialverhaltens wird im Weiteren aus zwei Blickrichtungen erfolgen. Zum einen erfolgt die Betrachtung aus praktischer Sicht durch die praktische Anwendung des Kröpfverfahrens. Dieses wird gegenübergestellt mit der theoretischen Betrachtung anhand der Durchführung von Umformsimulationen.

Anzumerken ist, dass Umformsimulationen des Kröpfverfahrens bislang nicht existieren und diese somit Neuland für die Fa. DURA sind.

In dieser Bachelorarbeit wird also versucht durch Anwendung von Umformsimulationen frühzeitig Erkenntnisse bezüglich Materialverhalten und der daraus resultierenden Werkzeugauslegung zu gewinnen. Ob die frühzeitige Anwendung solcher Simulationen in der Zukunft stattfinden wird, ist wegen den enormen Kosten an dieser Stelle in Frage zu stellen. Ein Kosten-Nutzen-Verhältnis ist bislang nicht bekannt.

Aber nicht nur die Umformprozesse müssen den neuen Qualitätsstandards angepasst werden. Auch die Folgeprozesse müssen auf ihren Einfluss auf die Herstellung der Qualitätsmerkmale untersucht werden und demnach ausgerichtet werden.

Wie hoffentlich gut vermittelt worden ist, sorgt der steigende Qualitätsstandard für ein Umdenken bei der Prozessauslegung. Diese Bachelorarbeit steht allerdings unter dem Leitfaden:

*Man sollte nicht versuchen das Rad neu zu erfinden, sondern versuchen das Rad erfinderisch zu erneuern.*

## 2 Bauteil

Untersuchungsobjekte in der folgenden Ausarbeitung sind die unten dargestellten Zierleisten des Audi A3 Cabrios, die folgende organisationsinterne Deklaration haben:

- Zierleiste Schachtabdeckung vorne
- Zierleiste Schachtabdeckung hinten

Die folgende Abbildung zeigt die oben genannten Zierleisten am Fahrzeug.



Abbildung 6: AU375 Audi A3 Cabrio - Fahrzeug Seitenansicht<sup>5</sup>

Schaut man sich im Straßenverkehr die Fahrzeuge in der Umgebung an, so stellt man fest, dass nicht alle Fahrzeuge mit Zierleisten versehen sind.

Dies führt zu der allgemeinen Annahme, dass lediglich Premiumfahrzeuge mit einem Zierrat ausgestattet sind.

Die Entwicklung zeigt aber, dass immer mehr Unter- bis Mittelklassefahrzeuge mit einem Zierrat versehen werden um die Anmutung eines Premiumfahrzeugs zu haben. Jedoch stellt ein Fachmann fest, dass Eigenschaften, wie qualitative Verarbeitung und Design nicht mit den eines Premiumfahrzeugs vergleichbar sind.

Bei den Unter- bis Mittelklassefahrzeugen werden häufig verchromte Kunststoffleisten verwendet.

Die Frage, wieso die Premiumfahrzeughersteller besonders viel Wert auf Aluminium als Ausgangswerkstoff für Zierleisten legen, lässt sich dadurch beantworten, dass die Anmutung von Aluminiumzierleisten - vereinfacht gesagt - besser ist.

Die Unterschiede in der akustischen, haptischen und visuellen Wahrnehmung sind bei diesen beiden Ausgangswerkstoffen erheblich.

Mit akustischer Wahrnehmung wird in erster Linie der Klang der durch das Klopfen auf das Bauteil entsteht gemeint. Wie man sich gut vorstellen kann, ist der Klang des Klopfens auf eine Aluminiumleiste nicht mit dem auf einer Kunststoffleiste zu vergleichen. Viel wichtiger ist jedoch das Klingen des verbauten Bauteils am Fahrzeug. Kaum zu glauben, aber dennoch an dieser Stelle passend anzumerken ist, dass der Klang der verbauten Zierleiste eine große Rolle für die Fahrzeugakustiker<sup>6</sup> spielt. Der Klang, der aus der zufallenden Tür hervorgeht, resultiert in erster Linie aus den Schwingungen des Türblechs. Aber auch Anbauteile sind keineswegs zu vernachlässigen, da diese einen Einfluss auf den Gesamtklang haben.

<sup>5</sup> URL: <http://www.motorvision.de> [22.11.2013].

<sup>6</sup> Fahrzeugakustiker: Fachmann für Optimierung der Akustik bei Fahrzeugen - z.B. Motorgeräusche

Das Ziel sollte sein, einen satten Klang zu erzeugen. Dieser satte Klang wird vom potentiellen Käufer mit einer guten Qualität in Verbindung gebracht und beeinflusst die Kaufentscheidung maßgeblich.<sup>7</sup>

Im Bereich der haptischen Wahrnehmung zeigt die Entwicklung, dass sich verchromte Oberflächen im ersten Moment der Berührung wie Aluminium- bzw. metallische Oberflächen anfühlen. Dieser Effekt wird in der Literatur als Cool-Touch-Effekt bezeichnet und führt darauf zurück, dass der Wärmeeindringkoeffizienten von Aluminium, wie auch der von Chrom größer als der Wärmeeindringkoeffizienten der menschlichen Haut ist.<sup>8</sup> Ist dieser Koeffizient also größer, empfindet der Mensch die Oberfläche als kalt bzw. kälter.

Ist der Wärmeeindringkoeffizient kleiner als der der menschlichen Haut, wird die Oberfläche als warm bzw. wärmer empfunden.<sup>9</sup>

Folgende Tabelle dient zum besseren Verständnis.

| Empfindung  | Stoff                  | Wärmeeindringkoeffizient $b$<br>$\left[ \frac{W \cdot \sqrt{s}}{m^2 \cdot K} \right]$ |
|-------------|------------------------|---|
| Kalt/Kälter | Aluminium              | 24663   |
|             | Chrom                  | 14757   |
| Neutral     | Menschliche Haut       | 1 – 1,3   |
| Warm/wärmer | Polyvinylchlorid (PVC) | 445   |

**Tabelle 1: Darstellung der Temperaturempfindung mit Wärmeeindringungskoeffizienten<sup>10</sup>**

Allerdings ist dieser Cool-Touch-Effekt bei verchromten Oberflächen nur in dem ersten Moment mit dem einer metallischen Oberfläche vergleichbar. Dies ist mit der geringen Schichtdicke des Chroms von ca. 0,2 bis 0,5 µm und somit der im Vergleich zu Aluminium schnelleren Wärmeeindringung zu begründen.

An dieser Stelle ist auch der Umweltaspekt nicht zu vernachlässigen. Durch die Verwendung des krebserregenden Chrom-(VI) sind Verchromungsprozesse an hohe Sicherheitsauflagen gebunden. Auch die Recyclingprozesse sind komplexer und somit unwirtschaftlicher als bei einer Aluminiumzierleistenfertigung. Um das Kunststoffträgerenteil von der Chromschicht zu befreien, muss das Bauteil üblicherweise in flüssigen Stickstoff getaucht werden, damit die Chromschicht abplatzt. Erst dann kann der Kunststoff ordnungsgemäß recycelt werden.

<sup>7</sup> Vgl. o.V.: Der Ton macht das Auto, Online im WWW unter URL:

<http://www.genius-community.com/community/jobs/berufswelt/3519/fahrzeug-akustiker> [26.11.2013].

<sup>8</sup> Vgl. Michaeli, Walter/Mäsing, Roland: Kunststoffbauteile mit Cool-Touch-Effekt in einem Prozessschritt herstellen (15.12.10), Online im WWW unter URL:

[http://www.maschinenmarkt.vogel.de/themenkanale/produktion/kunststoffverarbeitung\\_gummiverarbeitung/articles/296355/](http://www.maschinenmarkt.vogel.de/themenkanale/produktion/kunststoffverarbeitung_gummiverarbeitung/articles/296355/) [Stand: 26.11.2013].

<sup>9</sup> Vgl. o.V.: Wärmeeindringkoeffizient (13.07.2013), Online im WWW unter URL:

<http://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rmeeindringkoeffizient> [26.11.2013].

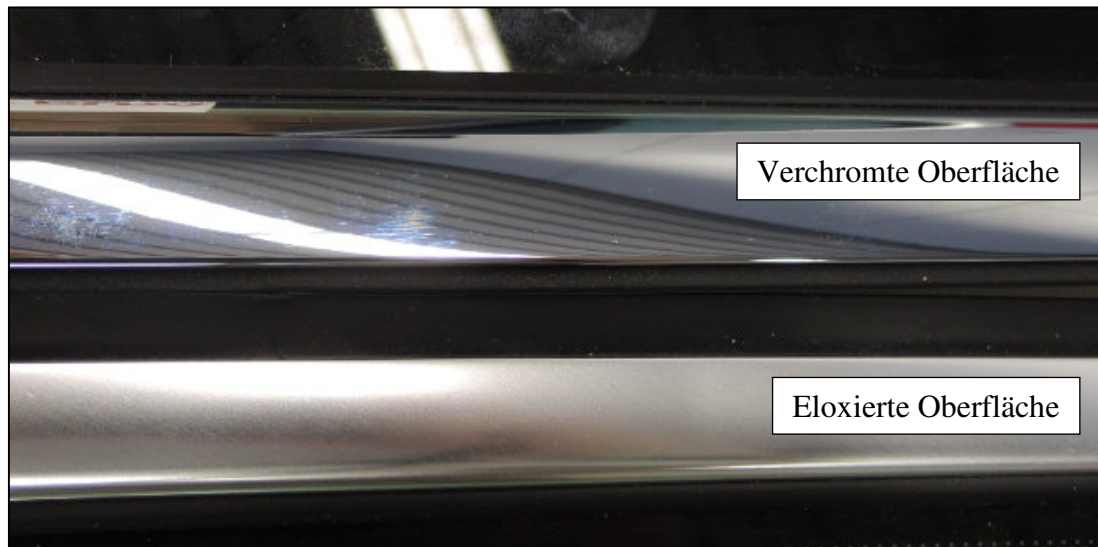
<sup>10</sup> Quellen: modifiziert übernommen aus Wikipedia-Artikel: Wärmeeindringkoeffizient (13.07.2013),

Online im WWW unter URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rmeeindringkoeffizient>

[26.11.2013] und Stoffwertesammlung – Universität Stuttgart, Online im WWW unter URL:

<http://www.tzs.uni-stuttgart.de/lehre/lehrveranstaltungen/Dokumente/wus/Stoffwertesammlung.pdf> [26.11.2013].

Auf das Thema der visuellen Wahrnehmung von Unterschieden zwischen verchromten und eloxierten Oberflächen wird im Folgenden nur oberflächlich eingegangen. Prozessspezifische Details werden im Kapitel 2.2.6 erläutert. Folgende Abbildung soll einen ersten Eindruck der beiden Oberflächen verschaffen.



**Abbildung 7: Darstellung einer verchromten und einer eloxierten Oberfläche**

Festzustellen ist, dass verchromte Oberflächen eine andere Anmutung aufweisen als eloxierte Oberflächen. Dies ist unter anderem mit dem unterschiedlichen Glanzgrad zu begründen. Verchromte Oberflächen reflektieren das Licht deutlich intensiver als eloxierte Oberflächen. Anders als bei der Verchromung, kann Eloxal eine deutlich größere Vielzahl von Glanzgraden erzeugen. Das Spektrum beinhaltet hochglänzende Oberflächen bis matte bzw. satinierte Oberflächen.

Eine besonders hochwertige Anmutung der Oberfläche wird durch die Brillanz der DURAPRO-Lackierung erzeugt. Diese keramische Nanolackierung wird nach dem Eloxieren auf die Oberfläche aufgetragen und sorgt für eine dreidimensionale Wahrnehmung der Oberfläche. Bei einer verchromten Oberfläche tritt dieser Effekt nicht ein.

Weitere Aspekte, auf die aber im Folgenden nicht näher eingegangen wird, sind:

- Maßhaltigkeit über Temperaturverlauf ist bei Aluminium erheblich besser.
- Image-Aspekt: „Billiges Plastik“.
- Im Vergleich zum Kunststoff bleibt bei Aluminium der E-Modul in dem Verwendungstemperaturbereich (-40 bis 100°C) annähernd konstant.
- Vorteil des Aluminiums hinsichtlich der Formbeständigkeit in höheren Temperaturbereichen.

Es ist also hoffentlich klargeworden, wieso Aluminium als Ausgangswerkstoff bei den OEMs bevorzugt wird.

Diese Art von Verzierungselementen setzen höchste Anforderungen an den Ausgangswerkstoff voraus. Die wichtigsten Anforderungen können die folgenden sein:



**Abbildung 8: Anforderung an den Ausgangswerkstoff von Premiumzierleisten**

Die Auswahl eines geeigneten Ausgangswerkstoffes unter wirtschaftlichen, fertigungstechnischen und den o.g. anforderungsspezifischen Gesichtspunkten ist von entscheidender Bedeutung.

Die folgende Herangehensweise soll die finale Auswahl eines geeigneten Vormaterials begründen:

Ein korrosionsbeständiger und leichter Werkstoff, welcher im Vergleich zu anderen Materialien wirtschaftlich zu beziehen und zu verarbeiten ist, ist Aluminium.

Zudem kommt noch der Aspekt, dass die OEMs, wie oben bereits beschrieben, besonders viel Wert auf Aluminium legen.

Da reines Aluminium als solches eine geringe Festigkeit aufweist und somit als verzierender Strukturwerkstoff ungeeignet ist, muss die Festigkeit gesteigert werden.

Dies geschieht unter anderem durch das Hinzulegen anderer Elemente, insbesondere Silizium und Magnesium.

Diese Legierungsatome sorgen dafür, dass die Versetzungsbewegung im Aluminiummischkristall behindert wird. Bildlich kann man sich das so vorstellen, dass die im Aluminiumgefüge gelösten Fremdatome Spannungsfelder erzeugen. Diese Spannungsfelder erschweren das Abgleiten der Gleitebenen untereinander (mikroskopisch) bzw. das Umformen des Gefüges (makroskopisch). Somit erreicht man letztendlich die gewünschte Steigerung der Festigkeit.

Damit der Werkstoff die geometrische Form der Zierleiste annimmt, bedarf es des Herstellungsverfahrens Strangpressen und weiterer Umformverfahren. Aufgrund der Duktilität der Knetlegierung eignet sich diese besonders gut für das Strangpressverfahren, sowie weitere Umformverfahren. Das Pendant einer Knetlegierung ist die Gusslegierung, welche aufgrund der relativ hohen Sprödigkeit für Umformverfahren nicht geeignet ist.

Für ein besonders hochwertiges Oberflächenfinish muss eine elektrolytische Oberflächenbehandlung folgen. Unter Verwendung einer Aluminium Knetlegierung als Ausgangswerkstoff wäre die elektrolytische Oberflächenbehandlung das Eloxieren.

Eine kommerzielle Aluminium Knetlegierung welche eine besonders dekorative Oberfläche nach dem Eloxieren aufweist, sind Knetlegierungen entsprechend dem Legierungssystem Al-Mg-Si.<sup>11</sup>

Erfahrungen zeigten, dass sich ein ALMINOX Material hervorragend für die Verarbeitung von Premiumzierleisten eignet.

Die Bezeichnung ALMINOX setzt sich aus dem Konzept „Aluminium mit **minimierten Oxiden**“ zusammen und sorgt - wie das Konzept schon sagt - durch eine Minimierung der Oxiden im Material, für eine Minimierung von werkstoffbedingten Ungängen, wie schwarze Streifen und zeilenartige Defekte auf der Werkstückoberfläche, die erst nach dem Eloxieren zu erkennen sind.

Aus der Stabilitätsanforderung des Kunden und der Verarbeitungsanforderung der Fertigungsprozesse resultiert die geforderte bzw. erwünschte Festigkeit des Werkstoffes und somit folgende mechanische Eigenschaften:

- Zugfestigkeit  $R_m = 180 \text{ N/mm}^2$ ,
- $R_{p0,2} = 110 \text{ N/mm}^2$  und
- $A_{50} = 17\%$  liegt.

Es ist zu beachten, dass die mechanischen Eigenschaften  $R_m$  zu  $R_{p0,2}$  progressiv und  $R_m$  und  $R_{p0,2}$  zu  $A_{50}$  degressiv von einander Abhängig sind, also:

$$f(\uparrow R_m) \rightarrow g(\uparrow R_{p0,2}) \rightarrow h(\downarrow A_{50}).$$

Das bedeutet, dass die Zugfestigkeit nicht beliebig gesteigert kann ohne dass dies eine Steigerung der anderen Eigenschaften mit sich zieht. Ebenfalls zu erwähnen ist, dass die Werte der oben genannten mechanischen Eigenschaften lediglich Richtwerte sind. Das bedeutet, dass diese auch in einem gewissen Spektrum von dem Sollwert abweichen dürfen.

Ein Werkstoff welches diese Spezifikation erfüllt wäre die AlMgSi0,5 EAL-6048 ALMINOX Knetlegierung nach EN AW6060 im Zustand T64<sup>12</sup> in Form eines Strangpressprofils.

In diesem Fall sind die Legierungselemente:

| <b>Legierungselement</b>  | <b>Kurzbezeichnung</b> | <b>Masseanteil in %<br/>nach EN AW-6060<br/>für EAL-6048<sup>13</sup></b> |
|---------------------------|------------------------|---|
| Magnesium                 | Mg                     | 0,3 – 0,6   |
| Silizium                  | Si                     | 0,3 – 0,6   |
| Eisen                     | Fe                     | 0,18 – 0,23   |
| Zink                      | Zn                     | 0,03  |
| Mangan                    | Mn                     | 0,03  |
| Kupfer                    | Cu                     | 0,05  |
| Titan                     | Ti                     | 0,02  |
| Crom                      | Cr                     | 0,001   |
| Zul. Beimengungen einzeln |                        | 0,05  |
| Zul. Beimengungen gesamt  |                        | 0,15  |

**Tabelle 2: Chemische Zusammensetzung der EAL-6048 Alminox Knetlegierung**

<sup>11</sup> Al-Mg-Si: Aluminium – Magnesium - Silizium

<sup>12</sup> Zustand T64: Warmausgelagert, biegefähig

<sup>13</sup> Angaben nach technisches Datenblatt der Fa. WKW Erbslöh Aluminium GmbH

Es werden aber nicht nur hohe Anforderungen an den Ausgangswerkstoff gestellt, sondern natürlich auch an das fertige Produkt. Daraus resultiert die Planung und Auslegung der Fertigungsprozesse. Welche Anforderungen letztendlich im Allgemeinen und speziell zu beachten sind wird im nächsten Kapitel beschrieben.

Der Vollständigkeit halber ist noch zu erwähnen, dass das Fertigerzeugnis der Fa. DURA nicht nur aus der verarbeiteten Aluminiumzierleiste besteht.

Im Montageprozess wird ein Dichtungsprofil aus EPDM<sup>14</sup> in die Zierleiste montiert. Das Dichtungsprofil ist in erster Linie das Trägerteil der Zierleiste an dem Türflansch. Zu dem hat das Dichtungsprofil den Zweck den Schacht der Tür nach innen hin abzudichten.

Das Auftragen einer Kratzschutzfolie, wie auch das Einkleben einer Endkappe aus einem thermoplastischen Elastomer-Werkstoffes bei der vorderen Zierleiste erfolgt ebenfalls in dem Montageprozess.

Zur besseren Verdeutlichung befinden sich nachfolgend die CAD-Zeichnungen der ZSB-Zierleisten.<sup>15</sup>



Abbildung 9: AU375 CAD-Zeichnung ZSB Zierleiste vorne

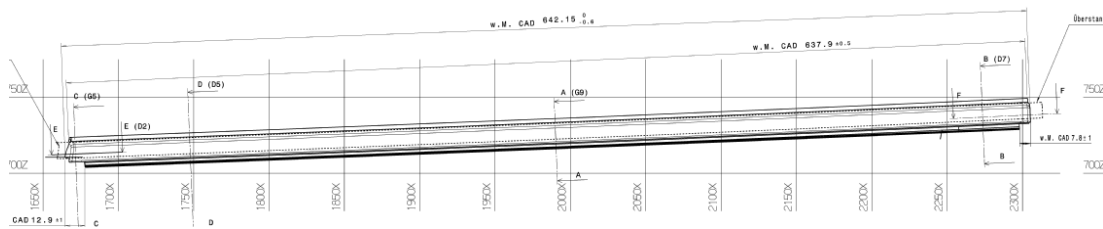


Abbildung 10: AU375 CAD-Zeichnung ZSB Zierleiste hinten links

<sup>14</sup> EPDM: Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk oder auch Gummi.

<sup>15</sup> ZSB: Zusammenbau, Fertigteil.



## 2.2 Funktion und Qualitätsumfang

Neben der Stabilitätsfunktion haben Zierleisten überwiegend die Funktion das Fahrzeug optisch aufzuwerten.

Wie aus dem letzten Kapitel hervor geht, verleihen Zierleisten dieser Form und Ausführung dem Fahrzeug eine optische Aufwertung und somit eine besondere Anmutung.

Damit die Funktion der optischen Aufwertung erfüllt ist, bedarf es einer Fehlerfreiheit des Teiles, insbesondere der Oberfläche.

Fehlerarten, die auf der Oberfläche des Zierteils auftreten können, werden in folgenden Kategorien unterteilt:

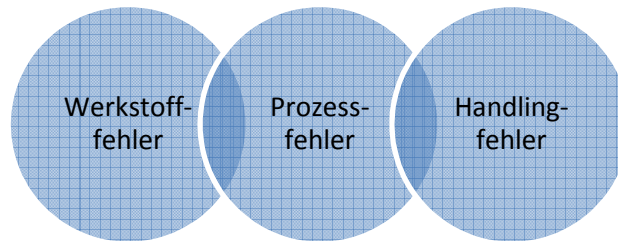


Abbildung 11: Oberflächenfehlerkategorien

Aus diesen Fehlerkategorien resultiert eine Vielzahl von Fehlerbildern. In folgender Abbildung werden die häufigsten Fehlerbilder dargestellt:

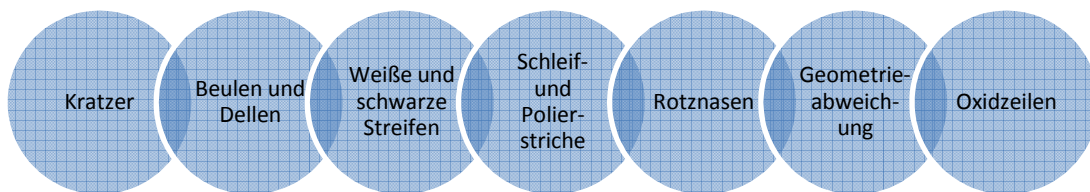


Abbildung 12: Oberflächenfehlerbilder

Da sich die folgenden Untersuchungen nur auf die Fertigungsprozesse beziehen, ist es notwendig zu wissen, welche prozessbedingte Fehlerbilder erzeugt werden können. Folgende Abbildung stellt die Beziehung des Fehlerbildes zu Fehlerkategorie dar:

| Werkstofffehler   | Prozessfehler  | Handlingfehler   |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Weiße und schwarze Streifen</li> <li>• Oxidzeilen</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kratzer</li> <li>• Beulen und Dellen</li> <li>• Schleif- und Polierstriche</li> <li>• Rotznasen</li> <li>• Geometrieabweichung</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kratzer</li> <li>• Beulen und Dellen</li> </ul> |

Abbildung 13: Oberflächenfehler - Fehlerkategorie und Fehlerbild

Festzustellen ist, dass Kratzer wie auch Beulen und Dellen prozessbedingt, wie auch durch falsches Handling entstehen können. Dies soll ein Hinweis darauf sein, sich in den folgenden Untersuchungen nicht auf eine falsche Fährte führen zu lassen.

Neben dem optischen Aspekt gibt es eine ganze Reihe von Anforderungen, die in Form von Normen aus dem Verband der Automobilindustrie (VDA), Prüfvorschriften (PV) und technischen Liefervorschriften (TL) eingehalten werden müssen.

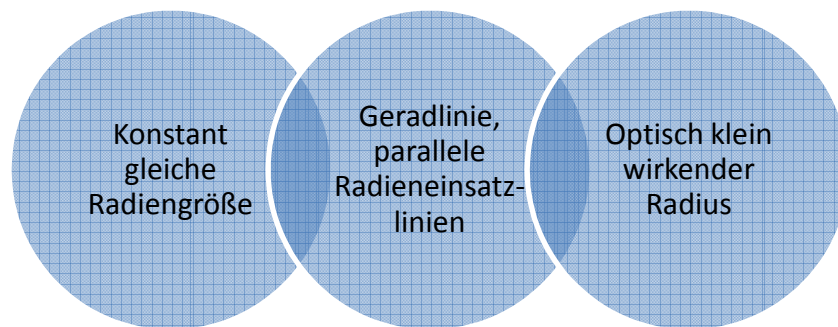
Als Beispiel für einige kundenseitige Anforderungen können die Folgenden genannt werden:

- Korrosionsbeständigkeit
- Temperaturwechselbeständigkeit
- Chemikalienbeständigkeit
- Kratzbeständigkeit
- Klimawechseltest
- U.v.m.

Um den Umfang dieser Ausarbeitung nicht zu sprengen steht lediglich der optische Aspekt im Fokus. Wie oben bereits erwähnt, ist unter anderem die Fehlerfreiheit der Oberfläche für eine gute Anmutung erforderlich.

Aber nicht nur die Fehlerfreiheit der Oberfläche ist von entscheidender Bedeutung, sondern auch die geometrische Ausführung der Oberfläche, insbesondere die geometrische Ausführung der Radien an den Kröpfungen, da diese durch die Fertigungsprozesse hergestellt werden müssen. Die Geometrie der restlichen Oberfläche ist durch das Strangpressprofil gegeben. Es ist lediglich darauf zu achten, dass die Oberfläche über den Verlauf der Fertigungsprozesse keinen Schaden bzw. keinen Fehler annimmt.

Um die Ausführung der Radiengeometrie bewerten zu können müssen definierte Merkmale existieren. Die Kundenanforderungen, die im Kapitel „Vorwort“ bereits beschrieben wurden und in folgender Abbildung nochmal dargestellt sind, können hier als geforderte Merkmale oder auch als Qualitätsmerkmal definiert werden.



**Abbildung 14: Qualitätsmerkmale Kröpfungsradius**

(Die Abbildungen 3 und 4 symbolisieren die Merkmalsausprägung.)

Zu diesen Radienbezogenen Merkmalen kommen noch die Folgenden Qualitätsmerkmale hinzu... (Ebenheit der Stirnseite, Ebenheit der Fläche vor der Kröpfung, keine beulen und dellen.... Etc...)

Die oben dargestellten Qualitätsmerkmale werden allerdings am fertigen Teil bewertet. Somit ist also lediglich die „Ausgangsgröße“ bekannt.

Um die Beziehung der Fertigteilqualität blablabla...

*Funktion Kröpfung:*

Kröpfungen haben die Funktion, die Zierleiste an den Enden durch die Abkantung optisch um die Ecke verlaufen zu lassen. Dies führt dazu, dass die Zierleiste im Endbereich keine Formunterbrechung aufweist, wie z.B. bei aufgesteckten Endkappen. Zierleisten mit Kröpfungen werden somit als komplett und ununterbrochen bewertet.

FORM UND LAGETOLERANZ DER BIEGUNG!!

## 2.3 Fertigungsprozesse

In folgender Abbildung werden die Fertigungsprozesse einer Zierleiste in richtiger Ablauffolge dargestellt.

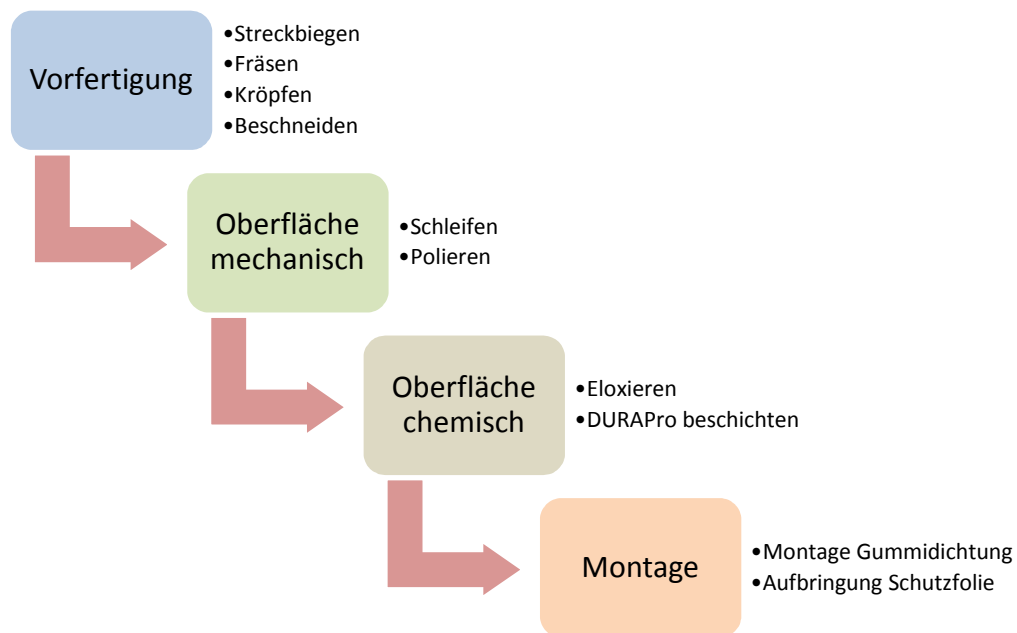


Abbildung 15: Fertigungsprozesse einer Zierleiste

Nach Betrachtung der oben dargestellten Abbildung ist zu erkennen, dass vier Hauptprozesse, bestehend aus insgesamt zehn Unterprozessen für eine Zierleistenherstellung notwendig sind.

Angelehnt an das Motto „viele Köche verderben den Brei“ ist auch in diesem Fall zu erwähnen, dass je mehr Prozessschritte ein Bauteil durchläuft, umso mehr schädigende Einflussgrößen in Bezug auf qualitative Merkmale existieren.

An dieser Stelle ist ebenfalls anzumerken, dass nicht nur die Prozessschritte in ihrer jeweiligen Dimension einen Einfluss auf das Erzeugnis nehmen, sondern auch Parameter wie Lagerzeit und Lagertemperatur, die als prozessunabhängig zu betrachten sind, eine Einflussgröße auf das Verarbeitungsergebnis darstellen.

Als Beispiel dient folgendes Szenario:

Die für die Vorfertigung benötigten Strangpressprofile stehen - aus welchen Gründen auch immer - in einem Außenlager bei  $-10^{\circ}\text{C}$  Außentemperatur. Diese werden an die Anlage gefahren und direkt verarbeitet.

Festzustellen ist, dass Merkmale wie zum Beispiel die Biegekontur nach dem Streckbiegen nicht mit der des letzten Fertigungsstandes zu vergleichen ist.

Die Lagerung der Strangpressprofile des letzten Fertigungsstandes erfolge in einem beheizten Innenlager bei  $25^{\circ}\text{C}$  Raumtemperatur.

Zu erklären wäre dieses Phänomen durch die unterschiedliche Materialtemperatur beim Verarbeiten. Jeder, der als Kind gerne mit Knete gespielt hat, weiß vielleicht noch, dass sich handwarme Knete besser formen ließ als frisch ausgepackte, die gegebenenfalls noch im kühlen Keller gelagert wurde.

Auf das Aluminium bezogen lässt sich das durch den Temperatureinfluss auf die mechanischen Eigenschaften wie Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung erklären. Eine signifikante Änderung der mechanischen Eigenschaften bei einem Temperaturunterschied von  $\Delta T = 35^{\circ}\text{C}$  in dem Temperaturbereich von  $T_1 = -10^{\circ}\text{C}$

bis  $T_2 = 25^\circ\text{C}$  wird in der Literatur üblicherweise nicht erwähnt. Dies mag daran liegen, dass die Skalierung in den häufigsten Fällen bei mindestens  $T = 0^\circ\text{C}$  anfängt. Zu dem ist die Varianz der mechanischen Eigenschaften in diesem Temperaturbereich vermutlich so minimal, dass sie in der Literatur nicht erwähnenswert ist.

Erfahrungswerte zeigen allerdings, dass dieser geringe Materialtemperaturunterschied bei der Verarbeitung eine Beeinflussung der Umformergebnisse stattfinden lässt.

Ein effizienter Fertigungsablauf erfordert eine detaillierte Planung der Fertigungsprozesse.

Das Ziel der Planung von Fertigungsprozessen ist, unter Berücksichtigung aller Einflussgrößen aus den unterschiedlichsten Sachgebieten einen wirtschaftlichen, systematischen und exakt organisierten Fertigungsablauf, mit dem die bestmögliche Qualität erzeugt werden kann, zu ermöglichen. Wie in Abbildung 7 zu sehen ist, besteht der Fertigungsablauf einer Zierleiste aus mehreren Fertigungsprozessen. Ein weiteres Ziel sollte sein, die Anzahl der Fertigungsprozesse auf die nötigsten zu reduzieren. Das bedeutet, dass man im Vorfeld versuchen sollte einen Fertigungsprozess so auszulegen, dass er seine definierte Funktion im vollen Umfang erfüllt und kein Spielraum für auftretende Mängel zulässt. Zum Beispiel sollte man einen Beschneideprozess so auslegen, dass dieser keinen unzulässigen Grat hervorruft. Sollte nach dem Beschneiden ein unzulässiger Grat entstehen, wird ein Entgratvorgang benötigt, der wiederum einen eigenen Prozess darstellt. Dieser Entgratprozess benötigt wiederum Hilfs- und Betriebsstoffe und Personalzeit, die Geld kosten. Dieser Fertigungsprozess, welcher im Vorfeld meist nicht geplant wird, ist nicht wertschöpfend und stellt somit eine Störgröße auf den wirtschaftlichen Ablauf dar.

In den folgenden Kapiteln werden die für die Zierleistenfertigung notwendigen Fertigungsprozesse beschrieben und versucht Einflussgrößen zu ermitteln.

### 2.2.2 Streckbiegen

Wie anhand der Abbildung 9 und 10 im Kapitel *Bauteil* wage zu erkennen ist, ist die fertige Zierleiste in Längsrichtung nicht gerade, sondern weist eine dreidimensionale Form bzw. Biegung auf. Die folgenden Abbildungen sollen die dreidimensionale Form der Zierleisten inklusive Dichtungsprofil verdeutlichen.

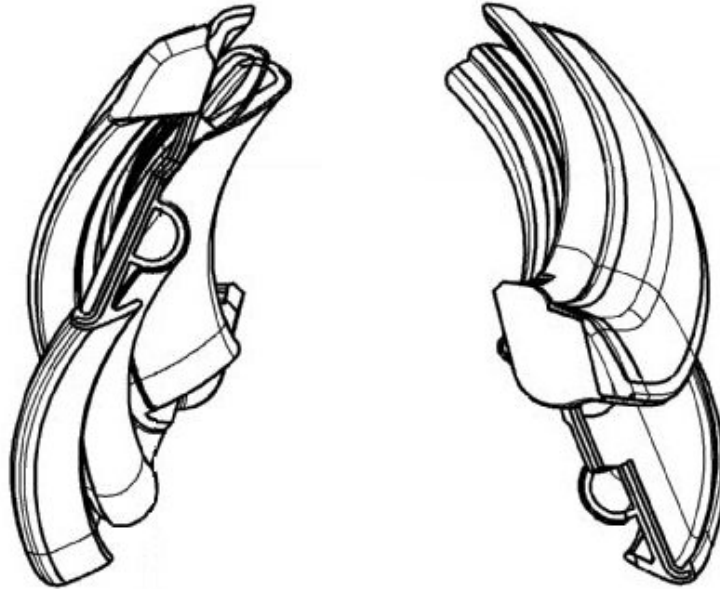


Abbildung 16: Form bzw. Biegung der Zierleiste vorne

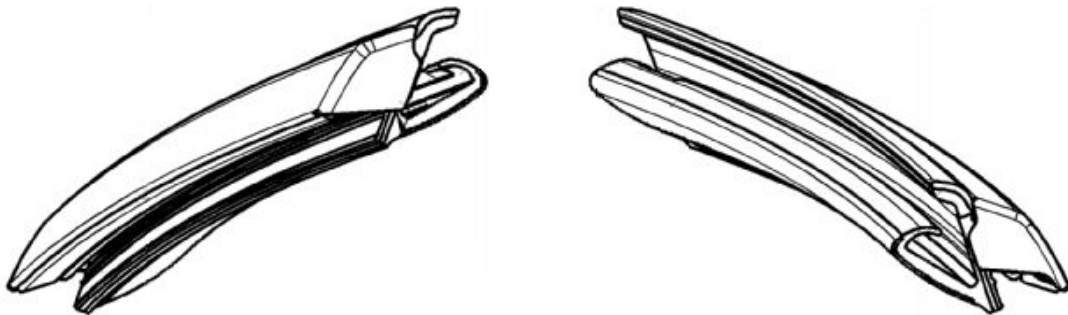


Abbildung 17: Form bzw. Biegung der Zierleiste hinten

Da das Ausgangsmaterial ein gerades Strangpressprofil ist, muss man dieses erst einmal in die dreidimensionale Form bringen. Dies geschieht in dem Fertigungsprozess *Streckbiegen*. Wie der Prozessname bereits aussagt, erfolgt „das in Form bringen“ über das Umformverfahren Biegen indem das Material zugleich während des Biegens gestreckt wird.

Man mag sich an dieser Stelle fragen, wieso ein synchrones Strecken in diesem Umformprozess notwendig ist.

Dies ist mit dem Materialverhalten des Aluminium Strangpressprofils zu begründen. Metallische Werkstoffe verhalten sich im Allgemeinen bei einer mechanischen Beanspruchung bis zu einem gewissen Grad elastisch.

Angenommen man würde das Aluminiumblech aus dem auf **Seite 3** stehenden Gedankenexperiment, welches bis zur Hälfte im Schraubstock gespannt ist, mit dem Daumen um 5 mm aus seiner Ausgangslage nach vorne drücken. Dieses „Drücken“ stellt für das Blech im mikroskopischen Sinne eine mechanische Beanspruchung des

metallischen Kristallgitters dar. In diesem Fall wäre diese eine Schubspannung. Lässt man das Blech nun los bzw. entfernt man die Schubspannung, so kann man davon ausgehen, dass sich das Blech wieder vollständig in seine ursprüngliche Lage zurückbewegt.

Dieses Verhalten symbolisiert die Elastizität des Werkstoffes und ist dadurch zu begründen, dass das Biegen eine Schubspannung  $\tau$  im Kristallgitter erzeugt und dadurch eine Verschiebung der Atome aus der Lage des stabilen Gleichgewichts stattfindet. Der Betrag der Atomverschiebung  $b$  ist allerdings kleiner als ein Atomabstand  $a$ , sodass es für das Atomgefüge energetisch leichter ist in den ursprünglichen Zustand zu gelangen.

Folgende Abbildung zeigt die atomistische Darstellung der elastischen Verformung.

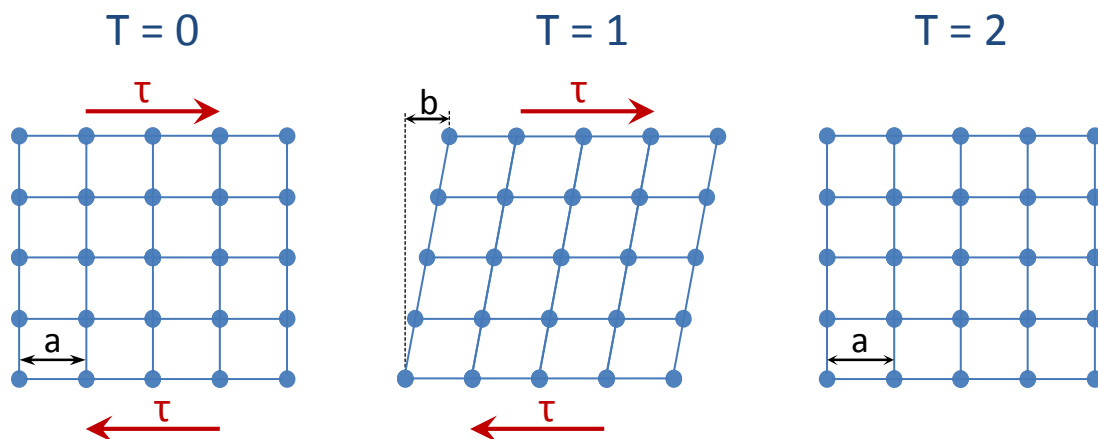


Abbildung 18: Atomistische Darstellung der elastischen Verformung des Kristallgitters

Wie vorhin bereits erwähnt, reagiert der Werkstoff, bzw. das Kristallgitter nur bis zu einem gewissen Grad der Beanspruchung elastisch.

Drückt man das gedankliche Blech in einem zweiten Versuch nun mehr als 5 mm aus seiner Ausgangslage, zum Beispiel um 50 mm und lässt es anschließend los, so stellt man fest, dass das Blech sich nicht vollständig in die ursprüngliche Lage zurückbewegt hat. Es ist vermutlich auf halbem Wege stehen geblieben.

Dies ist dadurch zu begründen, dass die Intensität der Biegespannung aus dem zweiten „Drückversuch“ eine größere Schubspannung in dem Kristallgitter erzeugt und dieses zum Teil plastisch, also bleibend verändert bzw. verformt.

Die plastische Formänderung ist dadurch zu begründen, dass die Verschiebung der Atome in eine neue Lage des stabilen Gleichgewichts erfolgt. Der Betrag der Atomverschiebung  $b$  ist in diesem Fall wesentlich größer als der Atomabstand  $a$ .

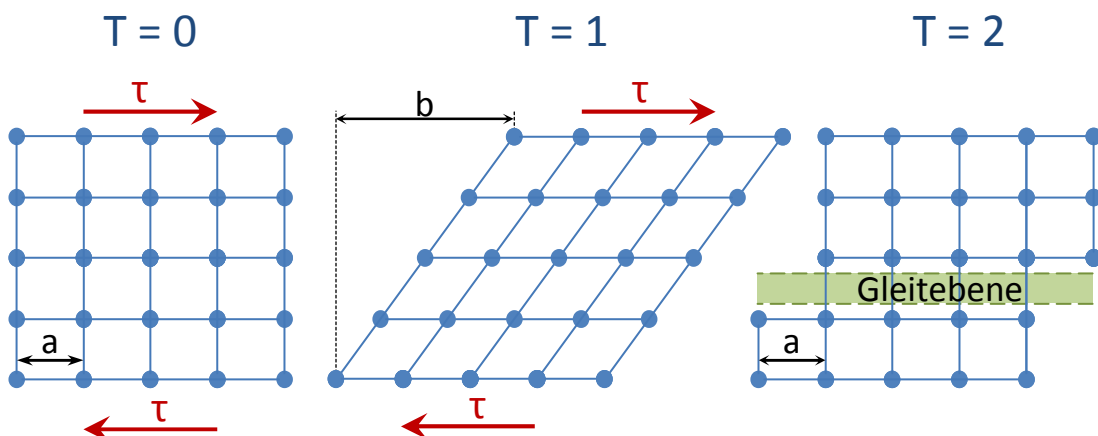


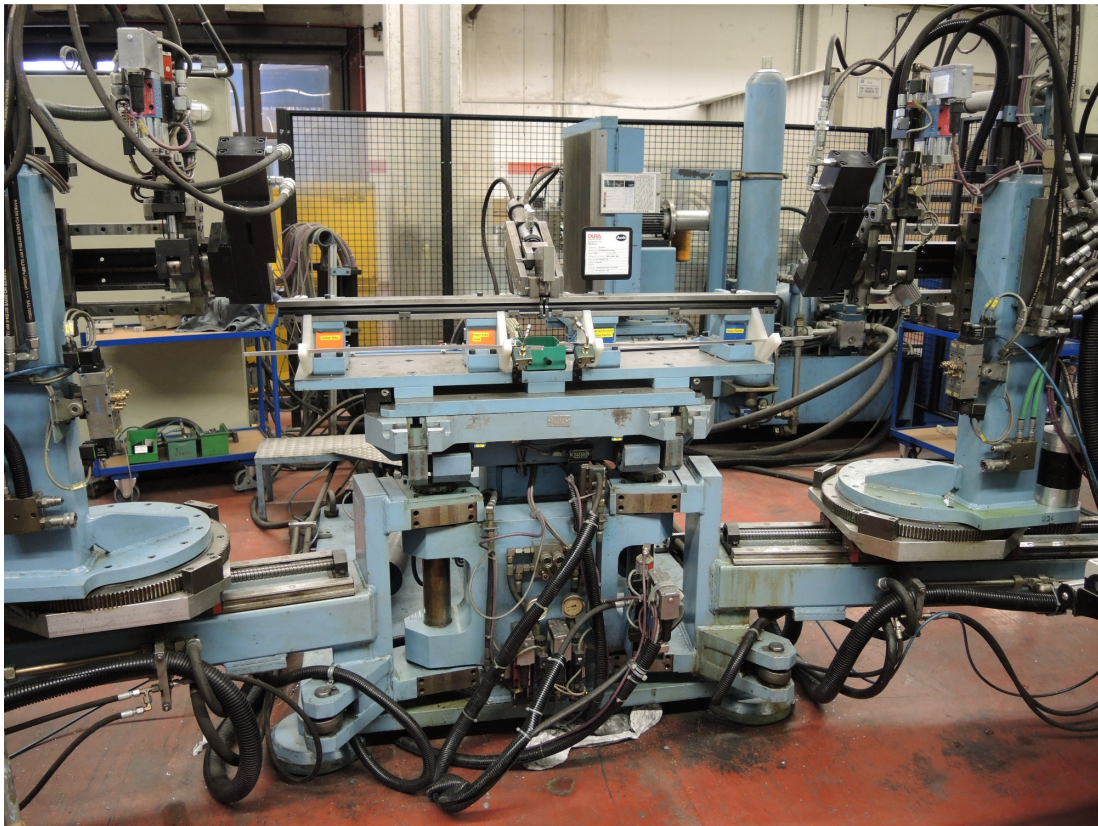
Abbildung 19: Atomistische Darstellung der plastischen Verformung des Kristallgitters



Der Betrag der Kraft oder Spannung, die aufzuwenden ist, damit der Werkstoff sich plastisch verformt, wird in der Literatur üblicherweise als Fließgrenze bezeichnet. Die Fließgrenze ist also der Punkt, ab dem unter einer bestimmten Spannung der Werkstoff anfängt zu fließen. Unter dem Fließen des Werkstoffes versteht man im Allgemeinen, dass ganze Kristallgitterbereiche entlang einer Gleitebene gegeneinander verschoben werden (siehe Abbildung 19).

Nachdem also klar geworden ist, dass es bei einer Ver- oder Umformung eines metallischen Werkstoffes einen elastischen und plastischen Anteil existiert, (form und lagetoleranz...)

*Man stellt ebenso fest, dass ein gewisser elastischer Anteil vorhanden ist, da das Blech nicht die Form, die es unter der Beanspruchung hatte, beibehalten hat.*  
Die Existenz einer Fließgrenze mag in gewisser Hinsicht Probleme bereiten.



### 2.2.3 Fräsen

Fräsen

### 2.2.4 Kröpfen

Kröpfen

### 2.2.5 Beschneiden

Beschneiden

### 2.2.6 Schleifen und Polieren

Schleifen und Polieren

### 2.2.7 Eloxieren

Eloxieren

### 2.2.8 DURAPro Beschichten

DURAPro Beschichten

## 2.4 Herleitung der Einflussgrößen

Herleitung der Einflussgrößen

### 2.3.1 Gewichtung

Eine sich anbietende Methode zur Erstellung einer Gewichtung ist der Paarvergleich. Der Paarvergleich ist ein Tool der Nutzwertanalyse mit dem diverse Beurteilungskriterien gegenübergestellt und gegeneinander bewertet werden können. Das Ergebnis des Paarvergleichs ist eine Rangfolge der aufgestellten Beurteilungskriterien. Diese Beurteilungskriterien resultieren aus dem vorher aufgestellten Ziel. Eine komplette Nutzwertanalyse wäre an dieser Stelle nicht angebracht, da der übergeordnete Sinn einer Nutzwertanalyse die Nutzwertberechnung mehrerer Planungsalternativen und somit der Vergleich dieser Varianten untereinander beinhaltet. Die Begründung dafür, dass eine komplette Durchführung der Nutzwertanalyse an dieser Stelle nicht geeignet ist, ist die Tatsache, dass lediglich eine Variante zur Auswahl steht, nämlich die derzeitige Prozess- und Werkzeuggestaltung. Die Durchführung der kompletten Nutzwertanalyse ist in diesem Sachzusammenhang aber auch nicht notwendig und darf somit nicht negativ verstanden werden. Man bedient sich lediglich mit einem geeigneten Tool zur Verdeutlichung der Gewichtung von Beurteilungskriterien bzw. in diesem Fall von Einflussgrößen.

## 2.5 Ziele

Ziele

## 3 Lösungsansätze

Lösungsansätze

## 4 Zusammenfassung

Zusammenfassung