

Bernburg  
Dessau  
Köthen



**Hochschule Anhalt**  
Anhalt University of Applied Sciences

**emw**  
Fachbereich  
Elektrotechnik, Maschinenbau  
und Wirtschaftsingenieurwesen

## **Bachelorarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Engineering (B. Eng.)

**Yunzhi Ling**

---

Vorname Nachname

**Maschinenbau, 2012, 4061668**

---

Studiengang, Matrikel, Matrikelnummer

Thema:

**Simulation des Verhaltens von LKW  
Antriebswellen**

Prof. Dr. Hans-Heino Hiekel

---

Vorsitzende(r) der Bachelorprüfungskommission

Prof. Dr. Hans-Heino Hiekel

---

1. Prüfer(in)

Prof. Dr. Hilmar Killmey

---

2. Prüfer(in)

## **Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, dass die Arbeit selbstständig verfasst, in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung vorgelegt wurde und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen, einschließlich der angegebenen oder beschriebenen Software, verwendet wurden.

Köthen, den 22. 11. 2016

---

Ort, Datum

---

Unterschrift des Studierenden

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich über den gesamten Arbeitszeitraum dieser Bachelorarbeit unterstützt haben. Ein ganz besonderer Dank gilt meinen beiden Korrektoren der Hochschule Anhalt, Herrn Prof. Dr.-Ing. Hans-Heino Hiekel und Herrn Prof. Dr.-Ing. Hilmar Killmey, welche mir die komplette Zeit mit gutem Rat beiseite standen, mich durch ihre hilfreichen Anregungen und ihre Geduld immer wieder unterstützt und mir die Möglichkeit für das Erarbeiten dieser Bachelorthesis gaben.

Genauso bedanke ich mich bei allen Kollegen und Mitarbeitern für die freundschaftliche Atmosphäre am Fachgebiet. Ich blicke mit sehr viel Freude auf die Zeit zurück und bin sehr glücklich, dass ich in einem solchen Team arbeiten dürfte.

Zu guter Letzt bedanke ich mich bei meinen Eltern dafür, dass sie mich unterstützt haben und ich ohne finanziellen Sorgen mein Studium absolvieren konnte.

## Inhaltsverzeichnis

Selbstständigkeitserklärung .....	I
Danksagung .....	II
I Abbildungsverzeichnis .....	IV
II Tabellenverzeichnis .....	VI
Verwendete Symbole und Abkürzungsverzeichnis .....	VII
1. Einleitung.....	1
2. Analyse der Antriebswelle.....	2
2.1 Strukturanalyse .....	2
2.2 Getriebewelle Einsatzbedingungen.....	4
3. Simulation der Antriebswelle .....	5
3.1 Belastungsanalyse der Einzelteile .....	5
3.1.1 Die Analyse der Ergebnisse.....	5
3.1.2 Grundfunktion der Simulation.....	6
3.2 Finite-Elemente-Analyse der Antriebswelle.....	9
3.3 Methoden zur Strukturoptimierung .....	12
4. Verarbeitungsmethoden der Antriebswelle.....	15
4.1 Drehen für die Fertigung .....	15
4.2 Radiuskorrektur beim Drehen .....	18
4.3 Fertigung mit CAM .....	20
5. Herstellungsprozess.....	23
5.1 Fertigungsschritte.....	23
5.2 Fertigungsverfahren und Simulationen in Solidcam .....	24
6. Zeichnungen .....	26
7. Zusammenfassung.....	30
8. Literatur – und Quellenverzeichnis.....	31
Anhang Allgmeintoleranzen .....	33

## I Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Antriebswellenanordnung .....	2
Abbildung 2: CAD Modell der Flanschgabel .....	5
Abbildung 3: verschiedene Materialien .....	7
Abbildung 4: Oberfläche festlegen.....	7
Abbildung 5: Drehmomentrichtung.....	8
Abbildung 6: Netz der Flanschgabel.....	10
Abbildung 7: Kreuzgelenk Spannung(von Mises) .....	10
Abbildung 8: Joch-Welle Spannung(von Mises).....	10
Abbildung 9: Gelenkgabel Spannung(von Mises) .....	11
Abbildung 10: Lager Spannung(von Mises) .....	11
Abbildung 11: Nylon auf der Oberfläche[4] .....	13
Abbildung 12: Bruchstelle Antriebswelle[5] .....	13
Abbildung 13: Kreuzgarnitur [6] .....	14
Abbildung 14: Gruppen der CNC-Programmierung.....	15
Abbildung 15: CTX310 Drehmaschine in der Halle 61 .....	16
Abbildung 16: Programmcode bei der Simulation .....	17
Abbildung 17: Schneidenradiuskompensation beim Drehen.....	18
Abbildung 18: Eine Art der Antriebswelle mit CAD-Modell.....	20
Abbildung 19: Nullpunkt wählen .....	21
Abbildung 20: Grüne Box bedeutet das Material.....	21
Abbildung 21: Werkzeug Geometrie .....	22
Abbildung 22: Maschinen-Simulation.....	22
Abbildung 23: Bauteil eingespannt .....	23
Abbildung 24: Simulation des Drehens in Solidcam .....	24
Abbildung 25: Simulation vom Einstechen in Solidcam.....	25
Abbildung 26: Baugruppe .....	26
Abbildung 27: Explosionsansicht.....	26

Abbildung 28: Technische Zeichnung der Flanschgabel .....	27
Abbildung 29: Beispiel 1 .....	28
Abbildung 30: Beispiel 2 .....	28
Abbildung 31: CV-Antriebswellen & Gelenke für Pkw .....	29
Abbildung 32: Antriebswellen-kit .....	29

## II Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Material und Zugfestigkeit der Teilen .....	3
Tabelle 2: Zeichen und Bedeutung .....	4
Tabelle3: Legierter Stahl.....	6
Tabelle4: AISI 1020 Kaltgewalzter Stahl .....	6
Tabelle 5: max. Belastung, max. Verschiebung und SF der Bauteile .....	9
Tabelle 6: Gelenkwellen-Baugrößen-Masstabelle[7].....	14
Tabelle7: Bestandteil des Prozesses .....	24
Tabelle 8: Werkzeug für das Drehen .....	24
Tabelle 9: Wergzeug für das Einstechen .....	25
Tabelle 10: Grenzmaße für Längenmaße .....	33
Tabelle 11: Grenzmaße für Rundungshalbmesser und Fasenhöhen .....	34
Tabelle 12: Grenzmaße für Winkelmaße .....	34
Tabelle 13: Allgemeintoleranzen für Geradheit und Ebenheit.....	35

## Verwendete Symbole und Abkürzungsverzeichnis

### Symbol Einheit Bezeichnung

$V_c$	m/min	Schnittgeschwindigkeit
$d/D$	mm	Durchmesser
$n$	1/min	Drehzahl
$V_f$	mm/min	Vorschubgeschwindigkeit
$f_z$	mm	Vorschub je Schneide
$R_m$	$N/mm^2$	Zugfestigkeit
$R_{p0,2}$	$N/mm^2$	Dehngrenze
$A$	%	Bruchdehnung
$L$	mm	Länge

### Abkürzungsverzeichnis

S.	Seite
inkl.	inklusive
ca.	circa
NC	Numerical Control
DMU	Digital Mock-Up
2D	zwei dimensional
DIN	Deutsche Industrie Norm
Pkw	Personnenkraftwagen
Lkw	Lastkraftwagen
SF	Sicherheitsfaktor



## **1. Einleitung**

Die Antriebswelle ist eine wichtige Teile des Autos, weil sie nicht nur die Leistung zubringt, sondern als auch große Traglast tragen muss. So entsteht das Problem, wie wird die Antriebswelle genügende Stärke und zu gleicher Zeit geringeres Gewicht haben? Das Problem ist besonders hervorragend für die LKW bei der Kraftübertragung. Mit der traditionellen Methode muss die Welle zuerst designt und produziert wird, dann werden einige Welle physikalische Testen durchgeführt, um das Design zu optimieren. Aber die Nachteile sind auch sehr offensichtlich, dass es viel kostet und sehr niedrige Wirksamkeit gibt.

Um diese Problem zu lösen, wird häufig eine CAD Simulation verwendet. Bei der Simulation wird die Lösungen für die Spannungsanalyse, Frequenzanalyse, Knicken Analyse, thermische Analyse und Optimierte Analyse angeboten. Diese Software kann nicht vollständig Experimente ersetzen, aber Basierend auf diesen Ergebnissen werden unsichere Regionen stärken und Material über Sicherheitsstandards im Designbereich entfernen können. In einem gewissen Ausmaß wird nicht nur den Entwicklungszyklus verkürzt, sondern als auch unnötige Verschwendung vermeidet. Es ist offensichtlich, die neue Technologie macht es leichter, neue Produkte zu entwickeln.

## 2. Analyse der Antriebswelle

### 2.1 Strukturanalyse

Die Antriebswelle von der LKW besteht aus Kardangelenken in der beide Enden und Schaftrohr in der Mitte der gesamten Struktur. Teleskopeinstellung kann automatisch den Abstand zwischen der Übertragung verändern.

Wie in der Abbildung 1 zu sehen, das Bild zeigt die Struktur der Antriebswelle.

1. Flanschgabel 2. Kreuzgelenk 3. Lager 4. Ring 5. Gelenkgabel 6. Wellenrohr 7. Schiebestück 8. Joch-Welle

Das Schaftrohr ist mit der Spline Buchse und Kardangelenken verschweißt. Es gibt automatische CO<sub>2</sub>-Schutzgas-Schweißen oder Reibungsprozess Schweißen.

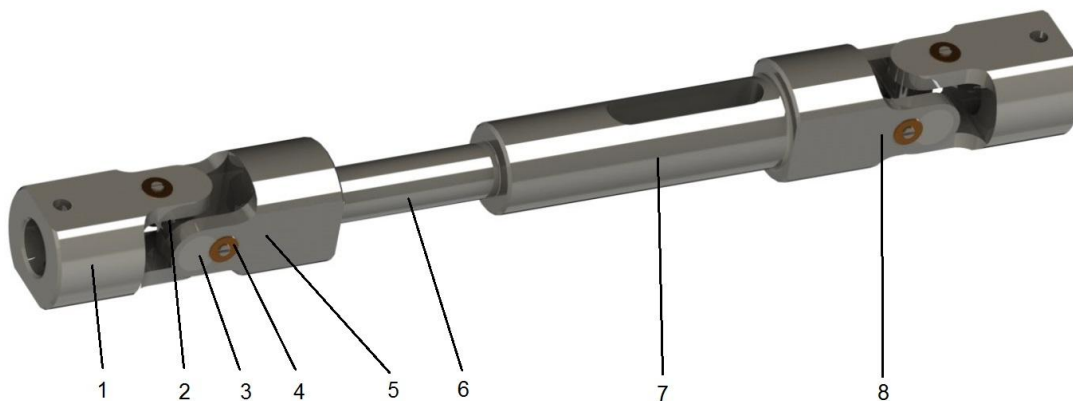


Abbildung 1: Antriebswellenanordnung

#### 1. Kardangelenken

Der Winkel und Abstand zwischen die Getriebswelle und Antriebsachse Hauptgetriebeeingangswelle werden immer geändert, weil das Fahrzeug auf unebenen Pflaster schlägt. Deshalb ist Kardangelenken zu erfunden.

## Die Besonderheiten des Kardangelenks

- Wenn die relative Position der beiden Wellen an der erwarteten Variationsbereich verbunden sind, kann es zuverlässig Leistung übertragen
- die Verbindung können auch zwei Achsen ausführen
- Höhere Übertragungseffizienz, lange Lebensdauer, einfache Struktur, einfach herzustellen, leicht zu pflegen

### 2. Teleskopabdeckung

Die neue Antriebswelle verändert die traditionelle Struktur. Die Keilwellenhülse und Schaftrohr werden zusammen verschweißt.

### 3. Schaftrohr

Der grundlegende Zweck und dieselbe trägt, aber die Kosten sind relativ preiswerter, aber die Reibung groß ist, so dass nur auf dem Teil des Elements verwenden. Buchsen meist Kupfer, aber auch von Kunststoffbuchsen hergestellt. Mehrachsenhülse in der Tragstruktur angeordnet und sehr nahe an der Tragstruktur, kann nur auf der Wellenhülse drehen. Welle und Hülsenanordnung, das Schmiermittel zwischen den beiden wird die Reibung während der Rotation erzeugt zu reduzieren hinzugefügt werden

Bauteile	Material	Zugfestigkeit/MPa
Flanschgabel	AISI 1020 Kaltgewalzter Stahl	350
Kreuzgelenk	Legierter Stahl	620
Lager	Legierter Stahl	620
Ring	AISI 1020 Kaltgewalzter Stahl	350
Gelenkgabel	AISI 1020 Kaltgewalzter Stahl	350
Wellenrohr	AISI 1020 Kaltgewalzter Stahl	350
Schiebestück	AISI 1020 Kaltgewalzter Stahl	350
Joche-Welle	AISI 1020 Kaltgewalzter Stahl	350

Tabelle 1: Material und Zugfestigkeit der Teilen

## 2.2 Getriebewelle Einsatzbedingungen

Die LKW gibt verschiedene Geschwindigkeiten während der Fahrt, deshalb wird unterschiedliche Effekte auf die Getriebewelle erzeugt. Es ist daher sehr notwendig, dass die Geschwindigkeit berechnet werden können.

Die Formel von der Wellendrehmoment

$$\tau = T_{e \max} \cdot i_{R1} \cdot i_{F1} \cdot k_d / W_{\tau} = M_{\tau} / W_{\tau}$$

Um das Gewicht zu sparen, ist die Welle normalerweise hohl, nämlich Schaftrohr. Kann die Formel auch so:

$$\tau = 16DT / \pi \cdot (D^4 - d^4)$$

Zeichen	Bedeutung
T(MPa)	Maximale Torsionsspannung
T <sub>max</sub>	Das maximale Drehmoment des Motors
k <sub>d</sub>	Dynamische Belastungsfaktor
W <sub>τ</sub> (mm <sup>3</sup> )	Widerstandsmoment bei Torsion
D(mm)	Wellen-Außendurchmesser
d (mm)	Wellen-Innendurchmesser
M <sub>τ</sub> (Nmm)	Torsionsmoment

Tabelle 2: Zeichen und Bedeutung

Es ist leicht zu sehen, dass die Antriebswelle bei niedrigen Geschwindigkeiten immer das größte Drehmoment tragen muss. Dabei ist sie besonders anfällig für Schäden. Deshalb ist es repräsentativ, wenn die LKW in einem niedrigen Gang fährt.

### 3. Simulation der Antriebswelle

#### 3.1 Belastungsanalyse der Einzelteile

##### 3.1.1 Die Analyse der Ergebnisse

Es bietet dem Anwender eine vorläufige Stress-Analyse-Tools. Durch das Testen wird der Benutzer auf dem Computer entwickelt, um Benutzern zu reduzieren teure und zeitaufwändige Tests zu helfen, Kosten zu senken und die Markteinführungszeit zu reduzieren. Wizard-Interface führt den Anwender durch die Analyse, Optimierung Analyse, die ein optionales Modul ist.

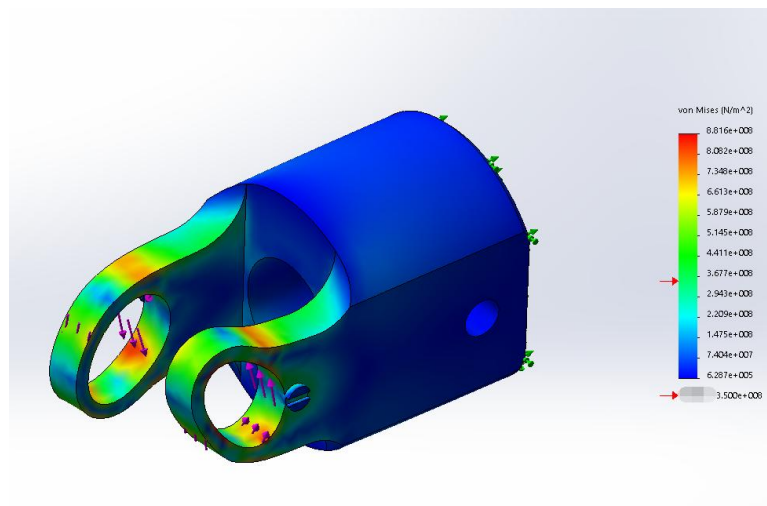


Abbildung 2: CAD Modell der Flanschgabel

Wie auf der Abbildung 2 ersichtlich, dieses Einzelteil verliert seine Form. Der Pfeil von Oben zeigt mehr als die Streckspannung.

### 3.1.2 Grundfunktionender Simulation

(1) Material auswählen bei der statischen Analyse

Es kann auch zu einem Teil in dem Modellmaterial zugeordnet werden. Hier wird legierter Stahl gewählt. Seine Streckgrenze ist ca. 620 MPa.

Eigenschaft	Wert	Einheiten
E-Modell	2.1e+011	N/m <sup>2</sup>
Poissonzahl	0.28	Nicht zutreffend
Massendichte	7700	kg/m <sup>3</sup>
Fließgrenze	620422000	N/m <sup>2</sup>

Tabelle3: Legierter Stahl

Eigenschaft	Wert	Einheiten
E-Modell	2.05e+011	N/m <sup>2</sup>
Poissonzahl	0.29	Nicht zutreffend
Massendichte	7870	kg/m <sup>3</sup>
Fließgrenze	350000000	N/m <sup>2</sup>

Tabelle4: AISI 1020 Kaltgewalzter Stahl

Es ist auch möglich, dass das Material selbst definiert wird. Dieser Schritt bietet eine neue Möglichkeit, die Einzelteile je nach Bedarf zu erstellen.

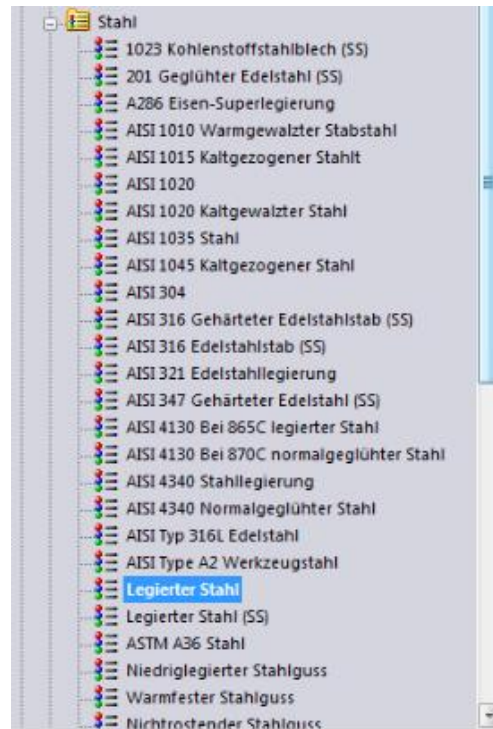


Abbildung 3: verschiedene Materialien

## (2) Fixierte Geometrie

Mindestens ein Oberflächenteil eingeschränkt wird, um Fehleranalyse zu vermeiden. Flächen, Kanten, Eckpunkte für Entspannung werden dann durch grüne Pfeile festgelegt.

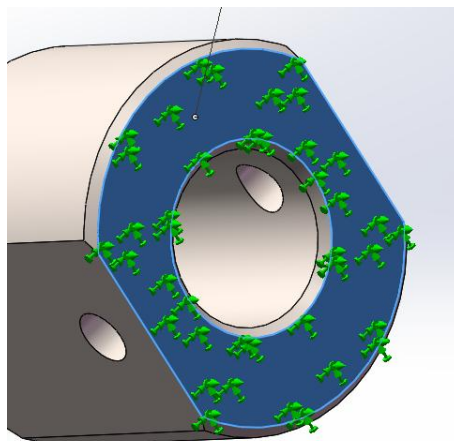


Abbildung 4: Oberfläche festlegen

### (3) Externe Lasten

In dem "Laden" werden die Art der Kraft oder die Druckbelastungen ausgewählt. Die Kraft wird auf den Wert für jede Fläche angegeben, die Richtung muss auch geändert werden. Wenn die "Rückwärtsrichtung" überprüft wird, können die angeschlossene Lasten vervollständigt werden. Mit ausgewählter Richtung kann die Kraft auf der Fläche nur in eine Richtung nehmen.

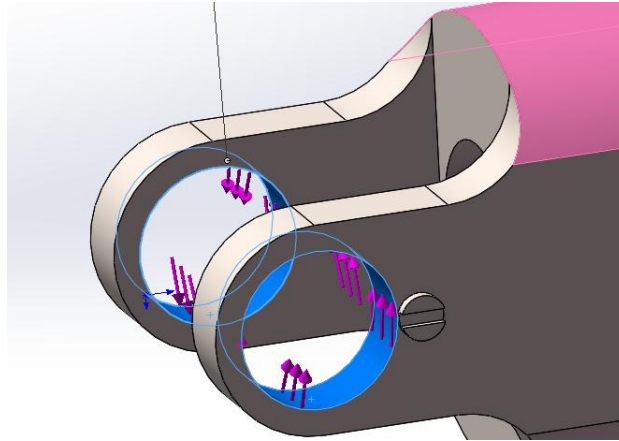


Abbildung 5: Drehmomentrichtung

### (4) Ausführen

Dieser Prozess wird auf einmal Gittermodell abgeschlossen und Modell gerechnet.

### (5) Optimierung der Einzelteile

Nach Beendigung der Spannungsanalyse, falls erforderlich, wird die Analyse optimiert. In der "Ergebnisse" Registerkarte, folgen Sie den Anweisungen des Assistenten Schritt für Schritt.

### (6) Ergebnisse anzeigen

Nach Abschluss der Spannungsanalyse (oder Optimierungsanalyse), können die "Ergebnisse" Registerkarte geklickt werden, um die Ergebnisse anzuzeigen. In der Schnittstelle, kann das Video abspielen oder unter HTML-Berichte oder eDrawings-Datei speichern.



### 3.2 Finite-Elemente-Analyse der Antriebswelle

Sicherheitsfaktor = ertragbare Belastung / herrschende Belastung

Bei ständig wirkenden Lasten (z. B. Eigengewicht) wird in den einschlägigen Normen meist eine Sicherheit von etwa 2 verlangt.[1] In der Praxis ist oft der Wert größer als 1,5.

Bauteile	Max. Belastung /MPa	Max. Verschiebung /mm	SF
Flanschgabel	176.3	0.234	2.0
Kreuzgelenk	470.0	0.156	1.3
Lager	360.3	0.270	1.7
Gelenkgabel	176.3	0.234	1.3
Wellenrohr	220.5	0.770	1.6
Schiebestück	151.5	0.549	2.3

Tabelle 5: max. Belastung, max. Verschiebung und SF der Bauteile

Nach der Zerlegung des Grundgebietes in finite Elemente erfolgt dann wieder der Zusammenbau sämtlicher Elemente zum Gesamttragwerk (vom Teil zum Ganzen). Ein wichtiger Schritt in der FE-Methode ist der Übergang von lokalen zu globalen Koordinaten und damit von den lokalen Knotenvariablen zu globalen Systemfreiheitsgraden. Dieser Übergang erfolgt durch problemabhängige Transformationsgleichung.[2]

## Netz erstellen

Das dreidimensionale Modell wird in eine Reihe von kleinen Stücken unterteilt, diese Formen wird einfache kleine Einheit genannt. Im allgemeinen ist, desto feiner die Maschen, desto höher die Genauigkeit.

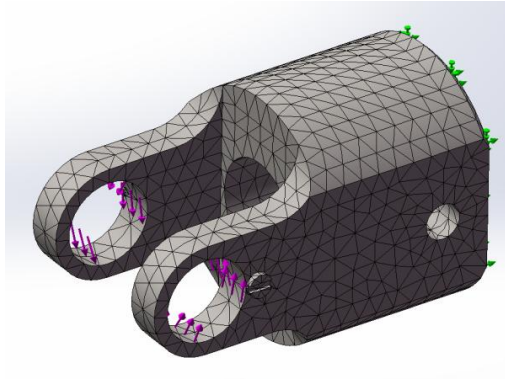


Abbildung 6: Netz der Flanschgabel

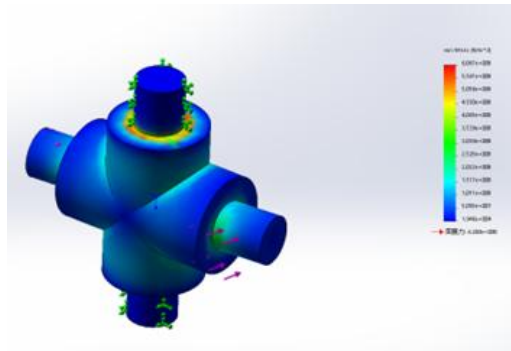


Abbildung 7: Kreuzgelenk Spannung(von Mises)

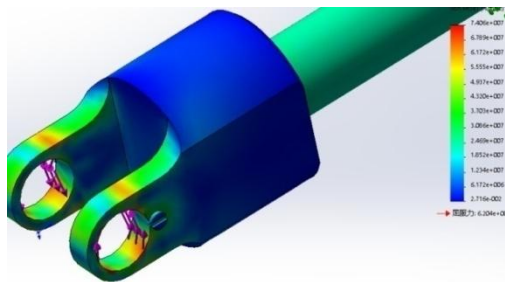


Abbildung 8: Joch-Welle Spannung(von Mises)

Die Bewegung bei dem Lager entsteht immer große Reibungswiderstand und Wärme, das macht das Lager gleichzeitig nicht mehr wirksam. Dieser Rechnungsanalyse entspricht der Sachlage. Deshalb ist das Hauptgewicht immer Kreuzgelenk und Lager.

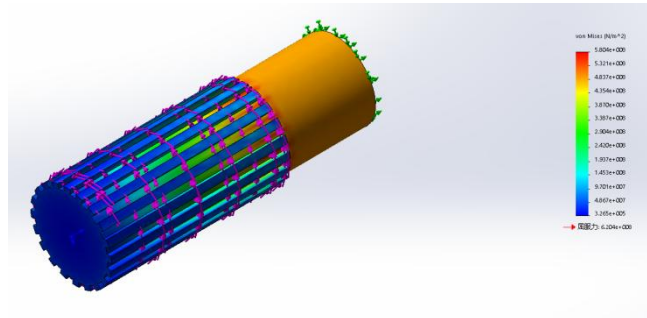


Abbildung 9: Gelenkgabel Spannung(von Mises)

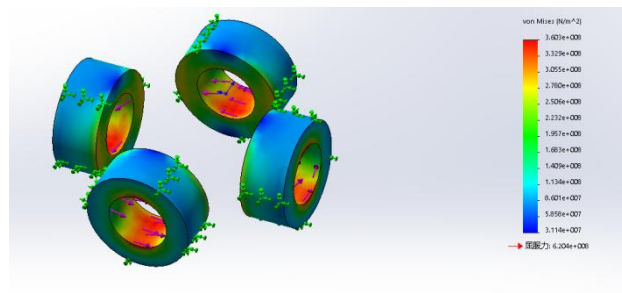


Abbildung 10: Lager Spannung(von Mises)

### 3.3 Methoden zur Strukturoptimierung

Mit oberer Analyse wird noch die Kräfte von dem Lager verbessert. Es ist offenkundig, dass das Lager bei der Bewegung immer große Belastungen tragen muss. Um das Problem besser zu lösen, ist es sehr notwendig, dass die Entwürfe optimiert werden.

Gewöhnlich verteilen sich die Zeitanteile bei typischen Projekten etwa wie folgt:

- 30% konstruktive Bearbeitung (Konzipieren, Entwerfen, Ausarbeiten);
- 40% Auslegung(Dimensionierung, Optimierung);
- 20% experimentelle Absicherung(Prototyp, Test);
- 10% Überarbeitung (Konzept, Entwurf). [3]

Methoden z.B. experimentelle Absicherung geht hier aber nicht, weil die Einzelteile viele Teste machen muss. Das kostet nicht nur viele Zeit und Ausgaben, sondern auch Ressourcen vergeudet. Deshalb werden zwei verbesserte Entwürfe dargestellt.

- Die Struktur der Gabel wird verändert, um der Kontaktbereich zwischen der Gabel und dem Lager zu vergrößern;
- Die Länge des Kreuzgelenks wird erhöht, dann wird die konzentrierte Beanspruchung freigesetzt. Die Beanspruchung wird auf dem Kreuzgelenk konzentriert.

Das ist ein Verfahren zur Übertragung der Kraft.

Durch die obige Analyse ist es einfach zu wissen, dass die Erhöhung der Länge der Gelenkwelle die beste Ergebnisse gibt. Aber die Abmessung aller Bauteile müssen gleichzeitig geändert werden, es wird auch viel kosten. Nylon erhöht die Verschleißbeständigkeit und hat selbstschmierende Eigenschaften und verringert die Stoßbelastung auf die Antriebswelle und trägt zur Verbesserung der Pufferkapazität bei.



Abbildung 11: Nylon auf der Oberfläche[4]

Um das Vertrauen von den Kunden zu erhalten, ist gute Qualität immer nötig. So muss Fehlerdiagnose Antriebswelle durchgeführt, um verschiedene Fehler zu finde. Ein Grund ist möglich, dass im Winter schlichtweg vergessen beim Radwechsel die Radbolzen fest anzuziehen. Dann wird die Welle wegen des kalten Wetter kaputt gemacht.



Abbildung 12: Bruchstelle Antriebswelle[5]

## Abmessungen

Die folgenden Abbildung und Tabelle sind die Abmessungen deutlich zu sehen.

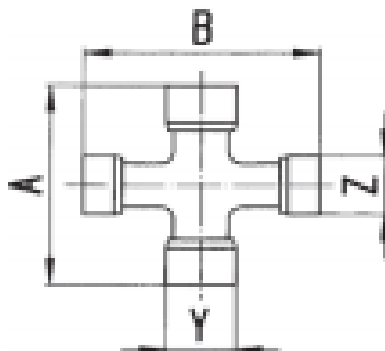


Abbildung 13: Kreuzgarnitur [6]

Baugröße	A (mm)	Y (mm)	B (mm)	Z (mm)	Rotations-Ø R (mm)
G 2100	55	22			69
G 2200	61	24			76
WWG 2280	61	24	76	22	142
G 2300	75	27			92
WWG 2380	75	27	91	24	155
G 2400	76	32			95
WWG 2480	76	32	94	27	165
G 2500	89	36			108
WWG 2580	89	36	106	32	180
G 2600	104	42			125

Tabelle 6: Gelenkwellen-Baugrößen-Masstabelle[7]

## 4. Verarbeitungsmethodeder Antriebswelle

### 4.1 Drehen für die Fertigung

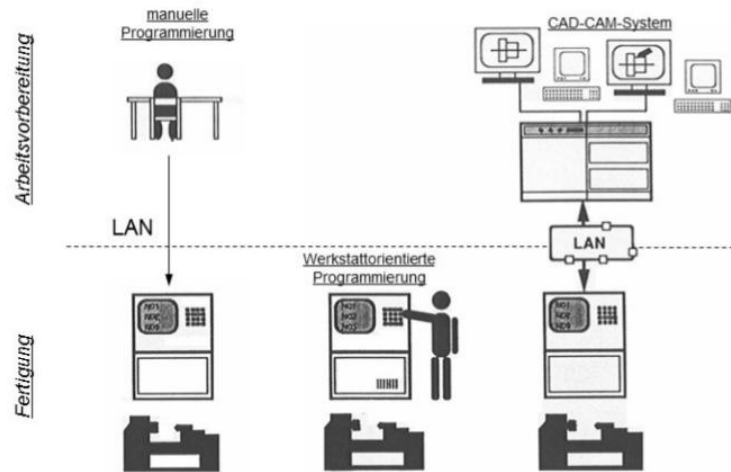


Abbildung 14: Gruppen der CNC-Programmierung

(Quelle: (vgl.)Torsten Herbst, Daniel Landeberger: Praktikum DIN/ISO-Programmierung beim Fräsen; 2016; S3. )

Es gibt viele Methoden, eine reale Produkte herzustellen. Eine Bauteile wird zuerst gezeichnet in SolidWorks. Dann werden diese Bauteile Parameter zugeordnet, z.B. Drehpunkt, Außengröße und Länge der Rohrteile gewählt. Danach kommt die Geometrielinie, was eine wichtige Rolle spielt. Durch diese Geometrielinie wird die reale Werkzeuggeometrie gezeichnet. Zum Schluss wird das NC Programm erzeugt. Wenn das NC Programm in der Software "Sinutrain" getestet wurde und es kein Problem gibt, wird dieses Programm direkt auf der CNC Drehmaschine benutzt.

Zweite Idee ist direkt das NC Programm auf der Drehmaschine einzusetzen, das kostet weniger Zeit für leichte Bauteile. Aber der Nachteil ist auch sehr auffällig. Es ist sehr schwer für komplizierte Bauteile. Weil viel Arbeit zu tun ist. Aber dieser Schnitt ist sehr wichtig, um die Drehmaschinesprache zu lernen.



Abbildung 15: CTX310 Drehmaschine in der Halle 61

Das Betriebssystem von CTX 310 ist SINUMERIK 840D vom Siemens, Informationen zur Benutzung werden auf der offiziellen Website dargestellt. Außerdem ist es notwendig, dass der Anfänger mit dem 840Dsl\_Programmierhandbuch\_Grundlagenerlernt.

### **Manuelle Programmierung (Werkstück Beispiel DIN/ISO-Sätze)**

Programmcode

N10 T="DCKT42\_SDJC1616L" S250 F100 M3 D1 M8

N20 G0 G42 X100 Z100

N30 G0 X0 X85

N40 G0 Z80

N50 G01 X8

N60 G01 Z76

N70 G2 X16 Z72 CR=4

N80 G3 X28 Z66 CR=6

N90 G40 X100 Z100

N100 M30



Die CNC-Steuerungen SINUMERIK bieten für jedes Maschinenkonzept die passende Lösung – von einfachen CNC-Standardmaschinen über standardisierte Maschinenkonzepte bis hin zu modularen Premium-Maschinenkonzepten.

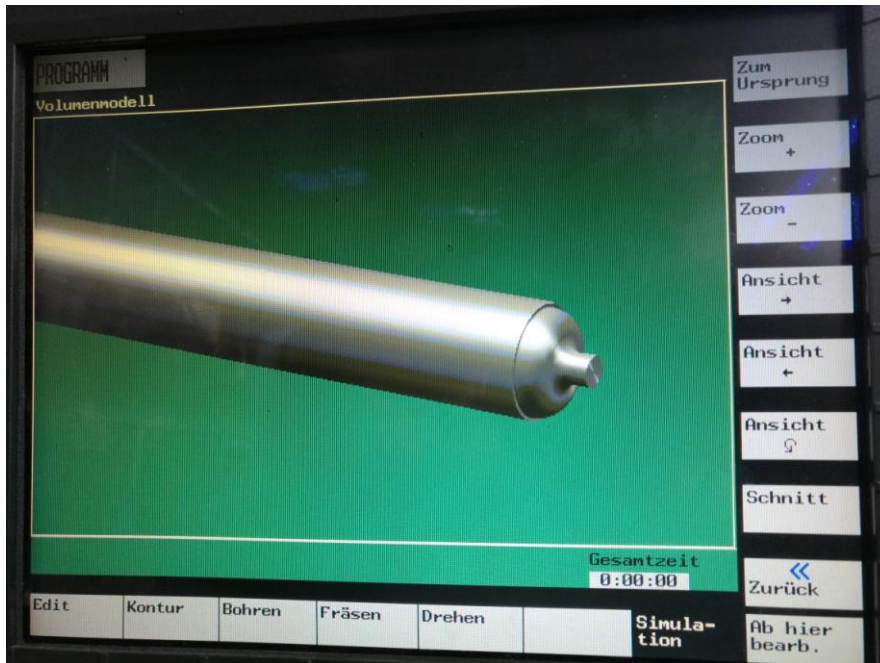


Abbildung 16: Programmcode bei der Simulation

Außerdem ist es auch sehr einfach, dass der Aufbau der Programm nicht nur mit selbst manuelle Programmierung gemacht, sondern auch bei ShopTurn und programmGUIDE eingegeben wird.

## 4.2 Radiuskorrektur beim Drehen

Dieser Schritt spielt eine wichtige Rolle beim Bearbeiten, es bezieht sich auf die Radiuskorrektur. Radiuskorrektur entsteht nicht nur beim Fräsen, weil die Fräsenmittelbahn gerechnet muss, sondern als auch beim Drehen, weil ein Werkzeug nicht absolut scharf ist. Deshalb ist es notwendig, eine Radiuskorrektur beim Drehen zu benutzen. So dass braucht es G42, um Werkzeug mit Werkzeugradiuskorrektur anzustellen.

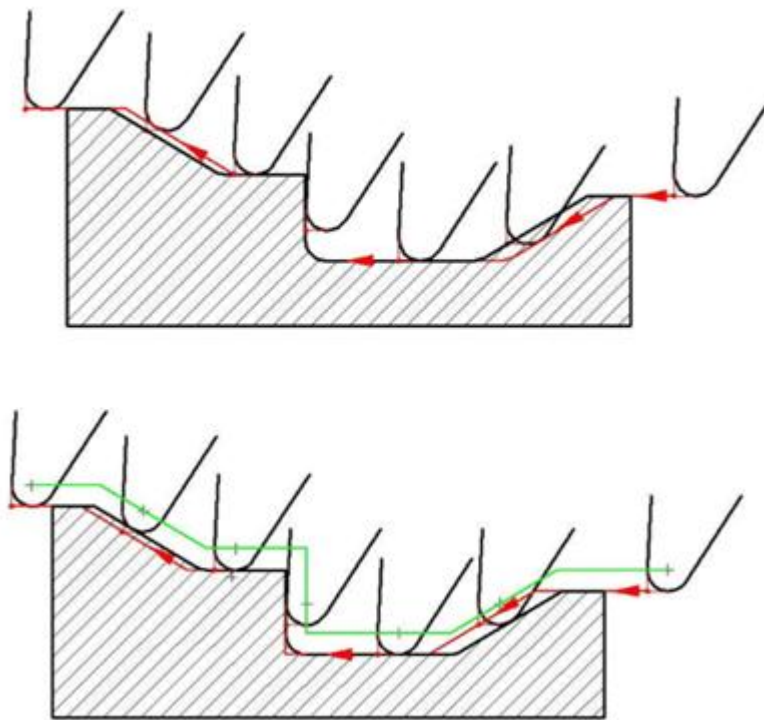


Abbildung 17: Schneidenradiuskompensation beim Drehen

(Quelle: (vgl.) <http://www.cnc-pausch.de/Radiuskorrektur1.pdf>; 16.10.2016; 9:20Uhr. )

Bei diesem Werkstück würde ohne Schneidenradiuskorrektur eine Konturverzerrung auftreten. Die schwarze Linie ist die gewünschte Werkstückkontur, die rote zeigt den tatsächlichen Schnitt des Werkzeuges, wenn er ohne Korrektur ausgeführt wird, da hier der Messpunkt der Kontur folgt. Auf der fallenden Schräge rechts wird zu viel Werkstoff abgenommen, auf der ansteigenden Schräge links bleibt Material stehen. Auch bei Radien würde eine

entsprechende Konturverzerrung entstehen. Wie auf der Abbildung 8 ersichtlich, arbeitet das Werkzeug nur bei achsparallelen Wegen korrekt.

Das selbe Werkstück mit Schneidenradiuskorrektur, jetzt richtig ausgeführt. Das korrigierte Werkzeug folgt mit dem Radiusmittelpunkt der grün dargestellten Äquidistante und schneidet wie gewünscht auf der schwarzen Konturlinie. Die rote Linie zeigt den Weg des theoretisch vorhandenen Messpunktes an.[8]

Außerdem ist es sehr auffällig, wenn der Kontur ein Radius gibt. Die normale Vorschubgeschwindigkeit von Drehmaschine ist etwa 6001/min, um eine glatte Oberfläche der Einzelteile zu bearbeiten, wird konstante Vorschubgeschwindigkeit häufig benutzt. D.h. dadurch entsteht eine Konturbahn, und bei hohen Anforderungen an die Fertigungsgenauigkeit nur bedingt geeignet ist. Mit dem Programmcode G96 wird immer eine gute Fertigungsgenauigkeit gegeben.

Zusätzlich zu der Notwendigkeit, die maximale Geschwindigkeit zu machen, definiert ist, wobei der Programmcode z.B. LIMS = 3000, um überhöhte Geschwindigkeit-Drehmaschine zu vermeiden. Mit konstanter linearer Geschwindigkeit verbessert die Verarbeitungseffizienz.

### 4.3 Fertigung mit CAM

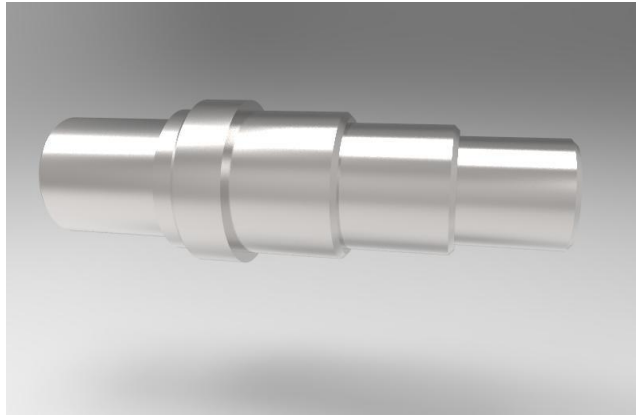


Abbildung 18: Eine Art der Antriebswelle mit CAD-Modell

#### **Vorteile Solidcam**

Erhöhung der Materialabtragsraten, ob beim Fräsen oder Schneidplatten - selbst bei Werkzeugen mit kleinem Durchmesser kann mit maximaler Zustellung unter Ausnutzung der vollen Werkzeug-Schneidenlänge gefräst werden. Zusätzlich sorgen die einzigartigen, optimierten Werkzeugbahnen für eine weitere Erhöhung von Schnittgeschwindigkeit und Produktivität. Der patentierte Technology Wizard liefert automatisch optimierte Werte für Vorschub und Drehzahl, was das Programmieren einfacher und schneller macht und die Produktivität bei der CNC-Programmierung deutlich verbessert. [9]

#### **Drehen Einstellung bei CAM**

- Nullpunktdefinition

Ursprung platzieren auf Zentrum der Rotationsfläche. Die X-Richtung kann auch ausgewählt oder um Z Achse drehen.

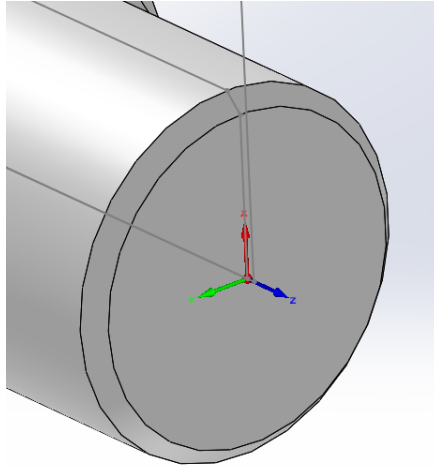


Abbildung 19: Nullpunkt wählen

- Rohmodell

Das Modell wird über Zylinder definiert. Hier sind z.B. Rechts(+Z) 1mm, Links(-Z) 100mm, Außendurchmesser 1mm, Innendurchmesser 0mm.

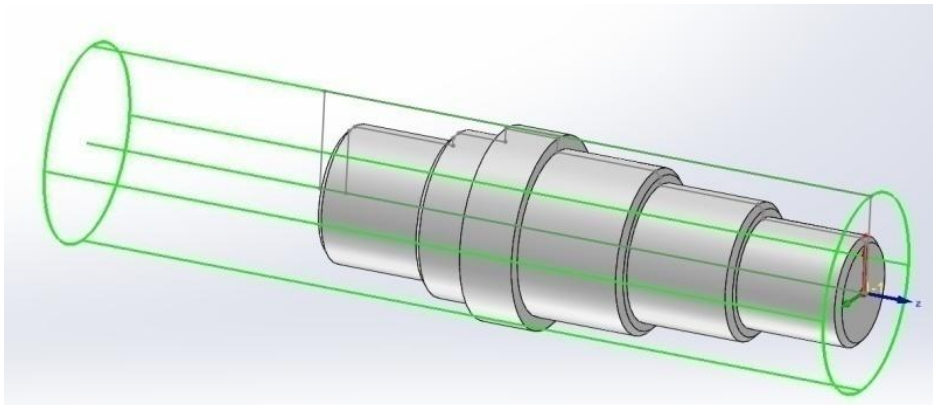


Abbildung 20: Grüne Box bedeutet das Material

### **Drehjob hinzufügen**

- Geometrie Bearbeiten

Werkzeug Geometrie entspricht den Weg des Werkzeugs. Am häufigsten wird Ext. Schrupp benutzt, dann muss die Einbaulage immer auf der richtigen Position liegen. Sonst gibt es danach Fehler beim Anstellwinkel.

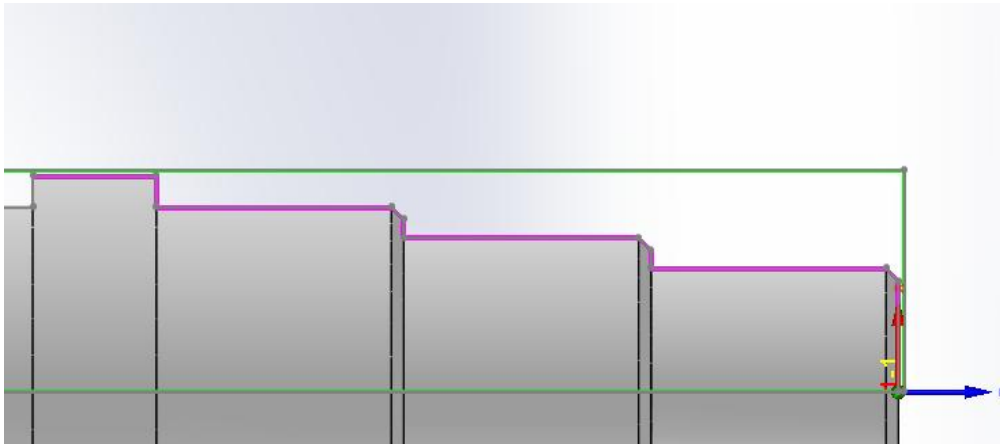


Abbildung 21: Werkzeug Geometrie

- Simulation

Nach Speichern & Berechnen kommt es dann zur Simulation. Es gibt die Möglichkeit das Restmaterial anzuzeigen, im CAD -Modell, Drehen, 3D, Solid Verify und Maschinen-Simulation.

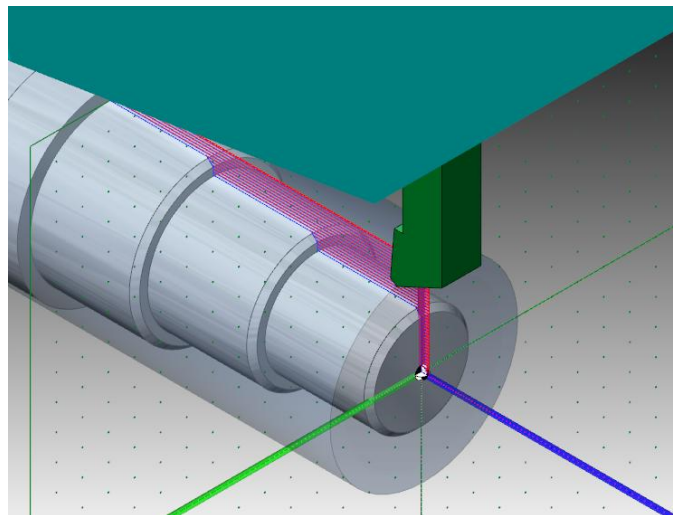


Abbildung 22: Maschinen-Simulation

Hier ist ein Beispiel für die Fertigung eines Einzelteils in der Hochschulhalle. Die glatte Oberfläche bedeutet immer gute Anforderung an die Fertigungsgenauigkeit und konstante Lineargeschwindigkeit. Mit der Programmcode G96 (m/min) wird eine Schnittgeschwindigkeit gehalten.

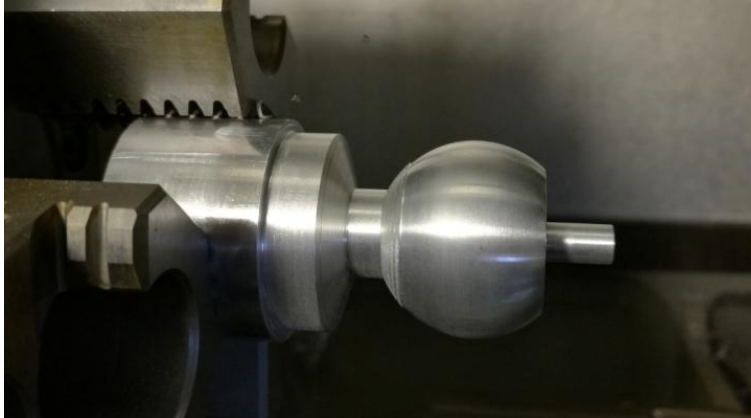
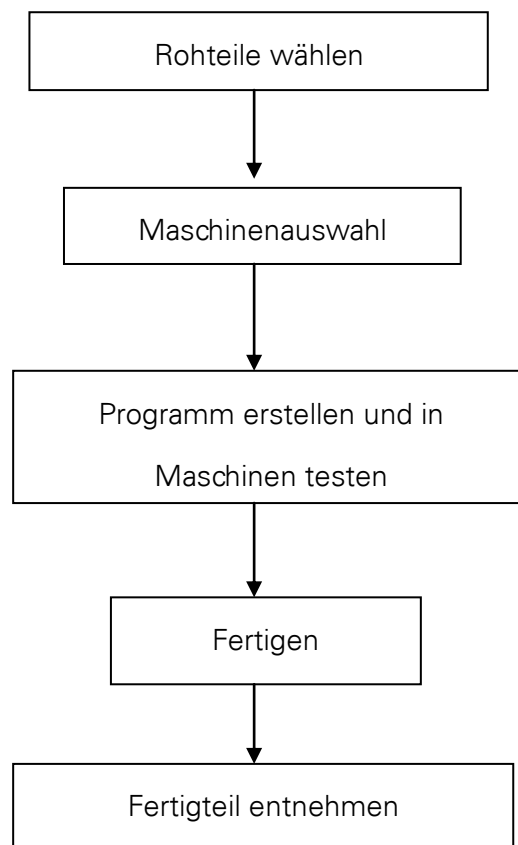


Abbildung 23: Bauteil eingespannt

## 5. Herstellungsprozess

### 5.1 Fertigungsschritte

Flussbild des Herstellungsprozesses:



Die folgende Tabelle zeigt die notwendigen Bestandteile des Prozesses.

Material	Legierter Stahl und AISI 1020 Kaltgewalzter Stahl
Maschine	CTX310 ecolineDMG MORI®
Betriebssystem	Sinumerik 840D

Tabelle 7: Bestandteil des Prozesses

## 5.2 Fertigungsverfahren und Simulationen in Solidcam

Werkzeugtyp	A	B
Ext. Schrupp(mm)	15	5

Tabelle 8: Werkzeug für das Drehen

Auf dem Bild (Abbildung 24) ist die Simulation in Solidcam zu sehen

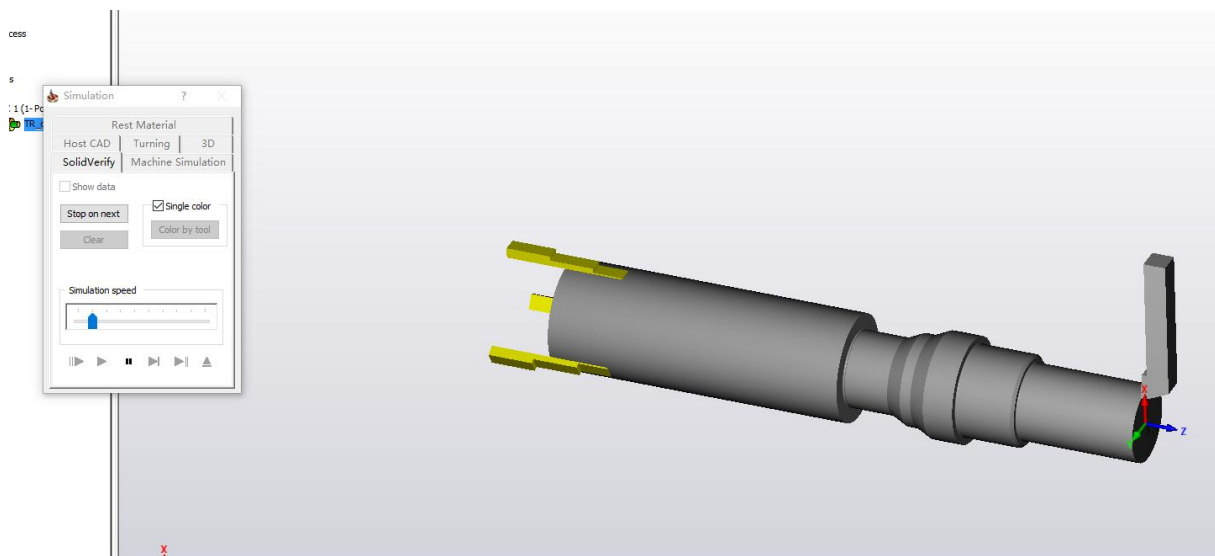


Abbildung 24: Simulation des Drehens in Solidcam



Werkzeugtyp	A	B
Ext. Einstechpunkt(mm)	25	-10

Tabelle 9: Werkzeug für das Einstechen

Auf dem Bild (Abbildung 25) ist die Simulation in Solidcam zu sehen

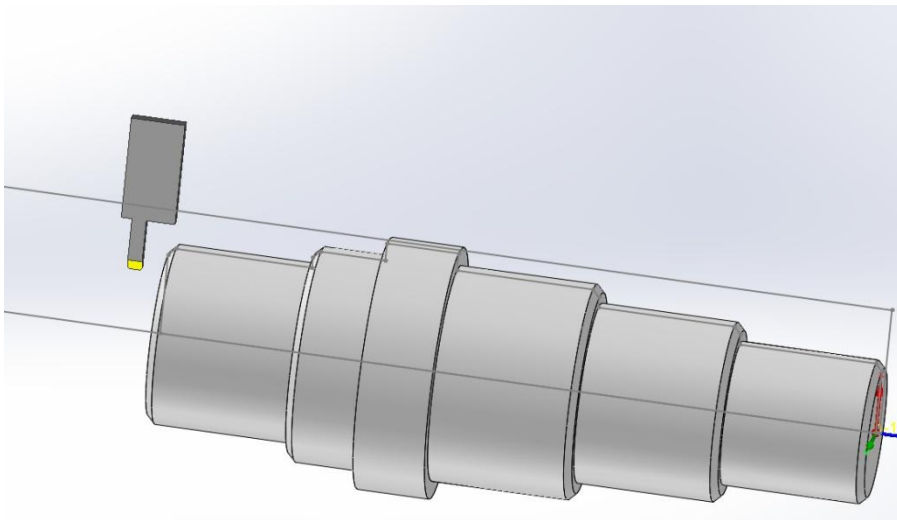


Abbildung 25: Simulation vom Einstechen in Solidcam

## 6. Zeichnungen

Alle Komponenten werden hier zusammengebaut, mit der Explosionsansicht wird auch die Struktur besser gesehen.

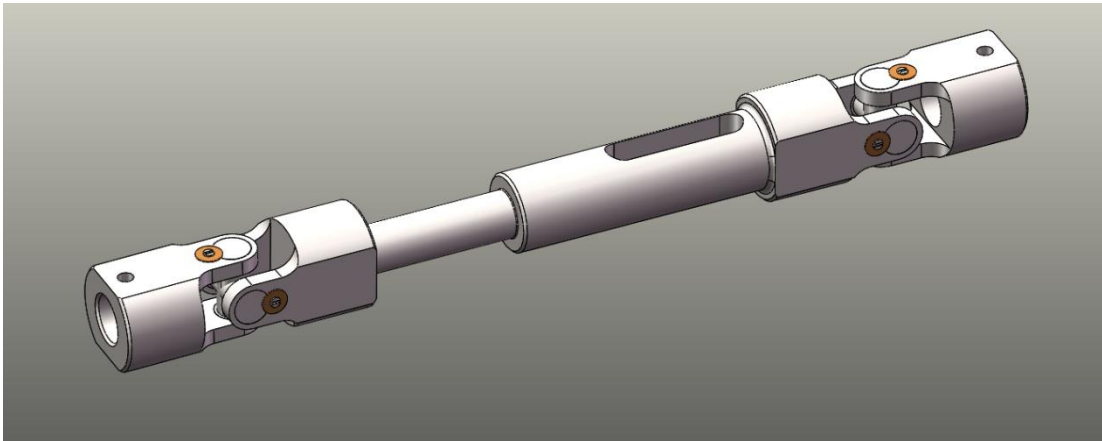


Abbildung 26: Baugruppe

Wie in der Abbildung 27 zu sehen, alle Komponenten sind deutlich zu sehen.

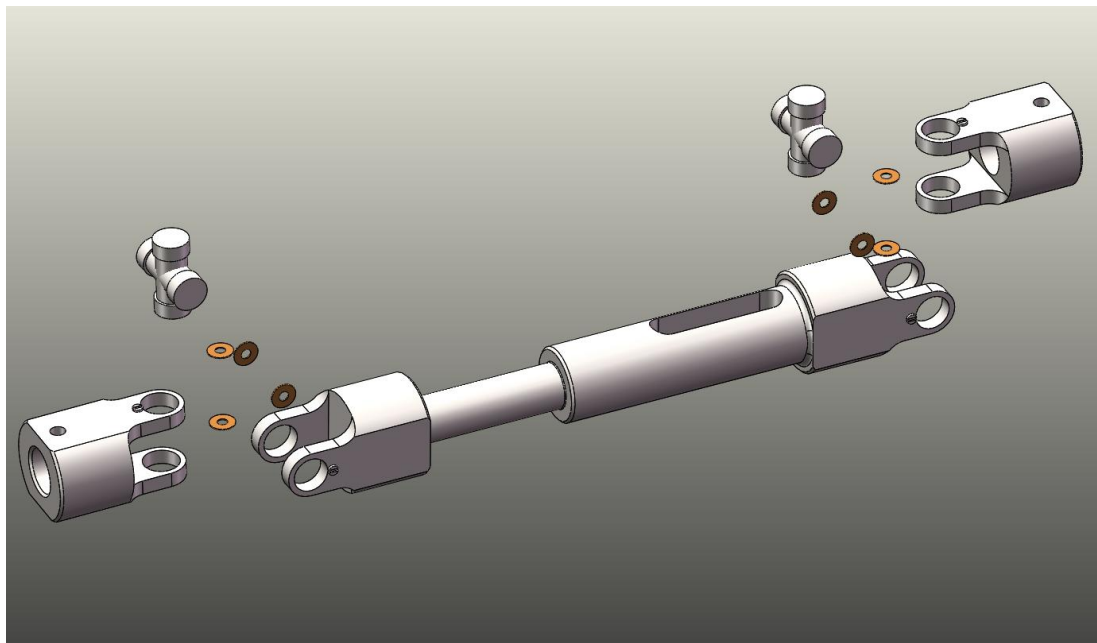


Abbildung 27: Explosionsansicht

## 2D-Zeichnung

Die 2D-Zeichnung zeigt die Abmessungen und verschiedene Ansichten auf einem Papier. Mit dieser Zeichnung entsteht auch eine anschauliche Dimensionen, z.B. der Halbmesser und die Länge.

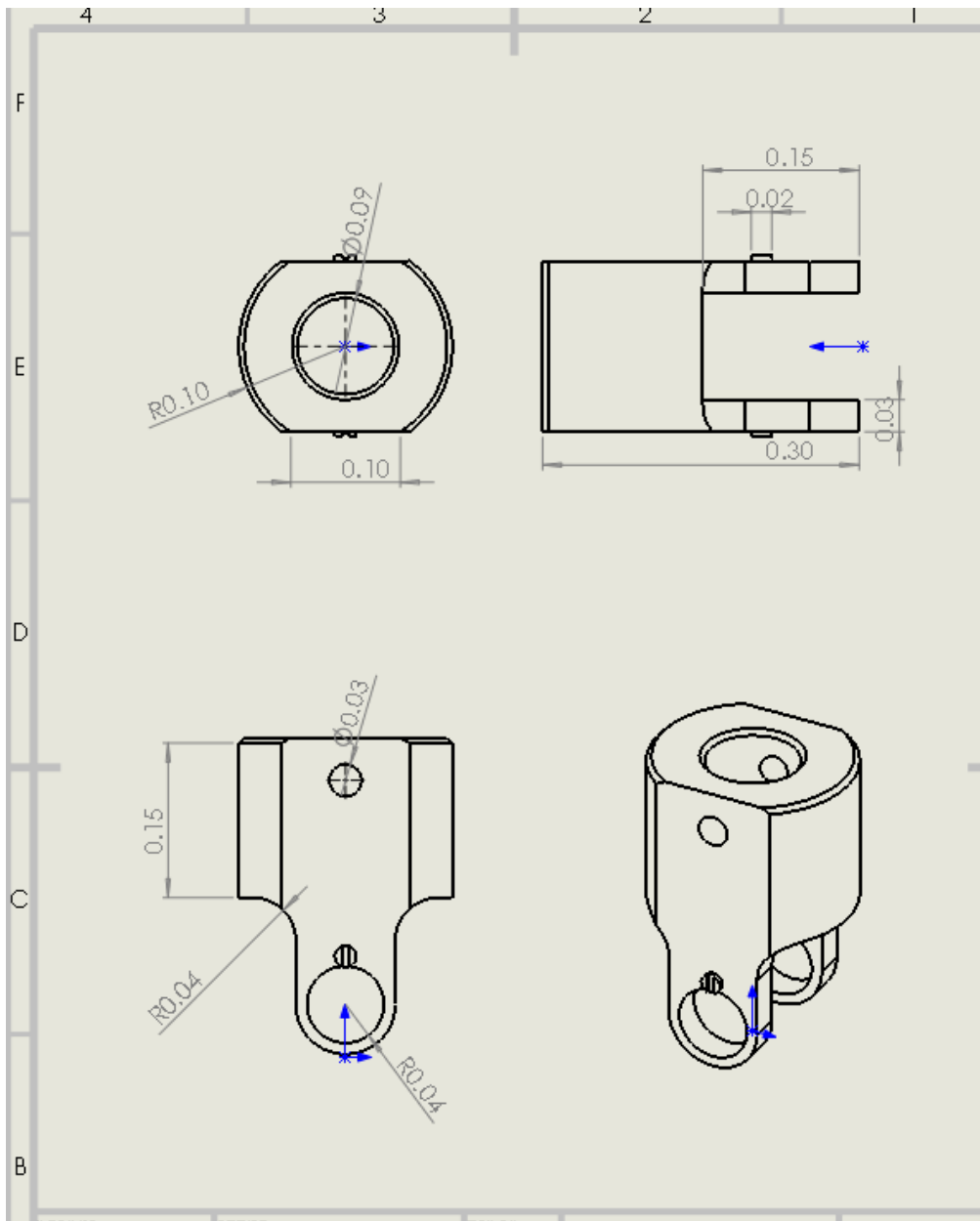


Abbildung 28: Technische Zeichnung der Flanschgabel

## Weitere Möglichkeiten der Gelenkwellen (CAD-Zeichnung)

Es gibt viele Typ der Antriebswellen, deshalb werden auch einige neue Ideen gefunden.

1. Beispiel vereinfacht die Struktur der Welle, aber die Bewegung in der vertikalen Richtung ist ungestört.

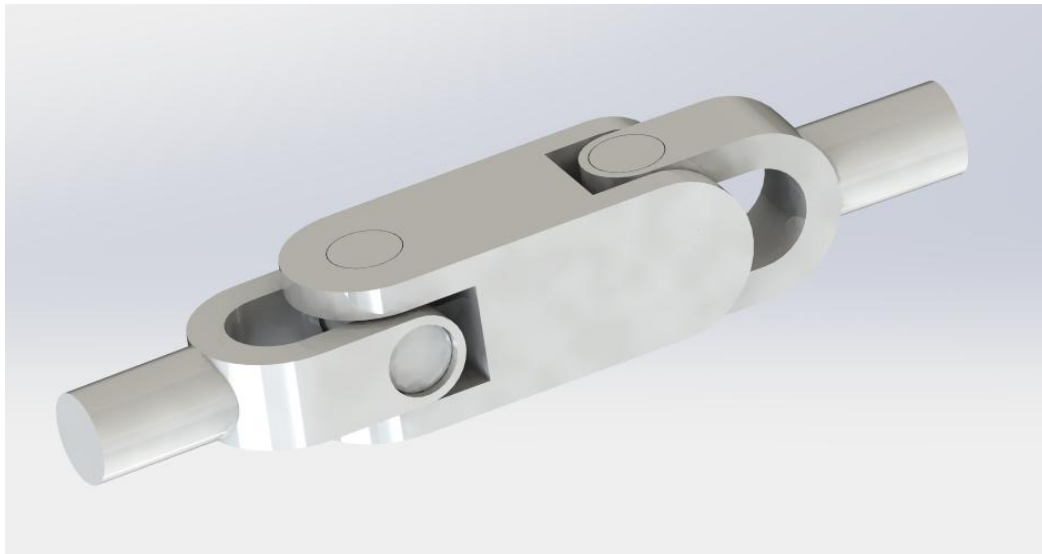


Abbildung 29: Beispiel 1

2. Beispiel wird schon optimiert, der Umfang der Beweglichkeit ist viel größer.

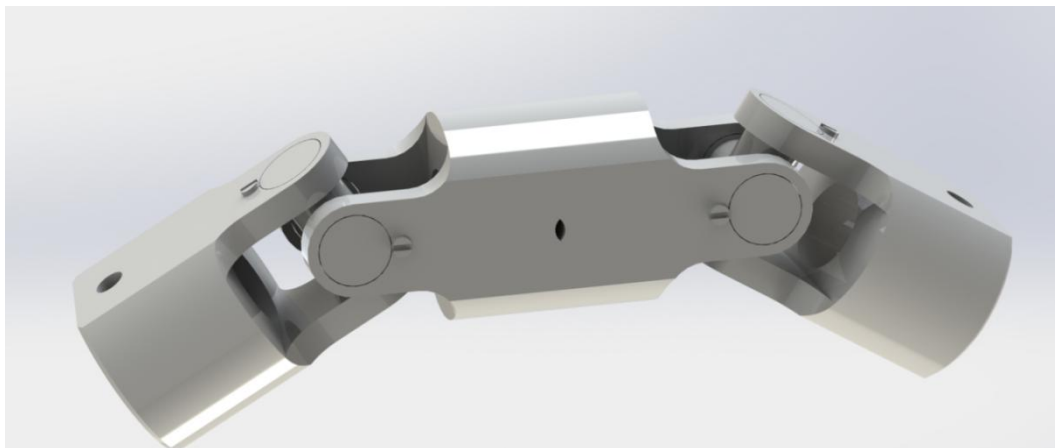


Abbildung 30: Beispiel 2

3. Beispiel ist CV-Antriebswelle, die häufig bei Pkw's benutzt wird.

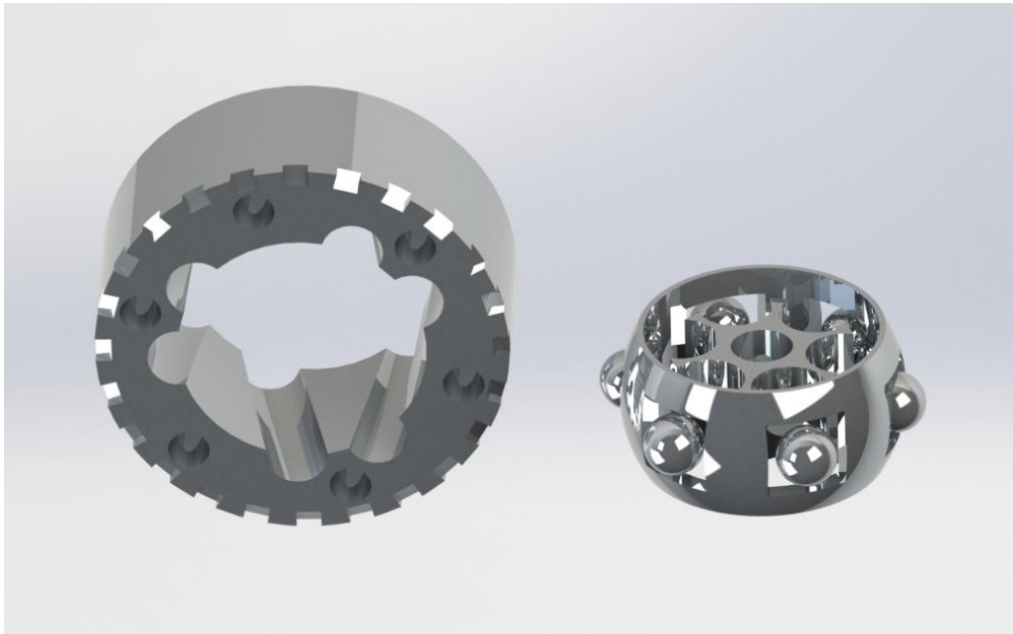


Abbildung 31: CV-Antriebswellen & Gelenke für Pkw

Das Produkt hat hohe Synchronisation, hohe Winkelverschiebung, einfache Struktur kleine Größe.



Abbildung 32: Antriebswellen-kit

## **7. Zusammenfassung**

Mit der Benutzung von Finite-Elemente-Analyse erzielt die max. Beanspruchung der verschiedenen Komponenten. Alle Einzelteile von der Antriebswelle werden zuerst die Struktur optimiert und verbessert. Das verringert die Spannungskonzentration und dann wird eine rationale Struktur hergestellt. Nach strukturellen Verbesserungen bei der Gewichtsreduktion wird die Leistung besser gemacht, es gibt ein wichtiger Referenzwert.

Dann wird eine Zusammenfassung gegeben. Eine Fertigungsvorbereitung ist immer notwendig, bevor ein Erzeugnis mit hohem wirtschaftlichen Effekt hergestellt wird. Vor Fertigungsbeginn muss völlige Klarheit über die Beschaffenheit des Erzeugnisses bestehen. Außerdem müssen die jeweils anzuwendenden Fertigungsmittel und -methoden bekannt sein, ehe die notwendigen Arbeiten zur Herstellung des Erzeugnisses begonnen werden können. Was noch wichtig ist, dass eine Prüfung für das Erzeugnis auch notwendig ist. Nur wenn das Erzeugnis während der Prüfung gut funktionieren kann, dann ist die Herstellung oder Fertigung erfolgreich.

## 8. Literatur – und Quellenverzeichnis

[1] Prof. Dr-Ing. Bernd Klein: Leichtbau-Konstruktion Berechnungsgrundlagen und Gestaltung  
10. Auflage; Universität Ksaael, Deutschland; 2013;

[2] Friedrich U. Matiak: Die Methode der finiten Elemente (FEM)  
[http://www.mechanik-info.de/dokumente/Skript\\_FEM.pdf](http://www.mechanik-info.de/dokumente/Skript_FEM.pdf)(17.10.2016; 20:32 Uhr)

[3]Stephan Pausch: Eine Website  
<http://www.cnc-pausch.de/Radiuskorrektur1.pdf> (20.10.2016; 11:35 Uhr)

[4] Nylon auf der Oberfläche  
[http://de.made-in-china.com/co\\_lishunrong/image\\_Spline-Shaft-Coated-Nylon\\_egshinyhg\\_GjFQpmBRfObW.html](http://de.made-in-china.com/co_lishunrong/image_Spline-Shaft-Coated-Nylon_egshinyhg_GjFQpmBRfObW.html)(23.10.2016; 12:35 Uhr)

[5] Bruchstelle Halbachse  
<http://www.tractionavant.ch/Berichte/Technik/bruch/pics/Bruchstelle%20Halbachse.jpg>  
(27.10.2016; 15:23 Uhr)

[6]<http://www.gkn-walterscheid.de/fileadmin/downloads/product-infos/de/GKN-09-167-GW-Landmaschinen09-V2.pdf> (28.10.2016; 13:13 Uhr)

[7] GELENKWELLEN FÜR LANDMASCHINEN  
<http://www.gkn-walterscheid.de/fileadmin/downloads/product-infos/de/GKN-09-167-GW-Landmaschinen09-V2.pdf> (29.10.2016; 12:13 Uhr)

[8] Firma Siemens: CNC  
SINUMERIK<http://w3.siemens.com/mcms/mc-systems/de/automatisierung/cnc-steuerung/seiten/cnc-sinumerik.aspx>(12.11.2016;01:37 Uhr)

[9] Solidcam

<http://images.google.de/imgres?imgurl=http://www.solidcam.de> (15.11.2016; 08:37 Uhr)



## Anhang Allgemeintoleranzen

### Allgemeintoleranzen nach DIN ISO 2768-1

Allgemeintoleranzen für Längen- und Winkelmaße mit Toleranzklassen dienen zur Vereinfachung von Zeichnungen. Durch die Wahl einer Toleranzklasse soll die jeweilige werkstattübliche Genauigkeit berücksichtigt werden.

Ist für ein einzelnes Nennmaß eine kleinere Toleranz erforderlich oder eine größere wirtschaftlich, dann wird diese neben dem Nennmaß angegeben.

Grenzmaße in mm für Nennmaß Bereich in mm										
Toleranz- klasse	bis 0,5	0,5 bis 3	über 3 bis 6	über 6 bis 30	über 30 bis 120	über 120 bis 400	über 400 bis 1000	über 1000 bis 2000	über 2000 bis 4000	über 4000 bis 8000
f (fein)	Siehe unten	± 0,05	± 0,05	± 0,10	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	-	-
m (mittel)		± 0,10	± 0,10	± 0,20	± 0,30	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3
g (grob)		± 0,15	± 0,20	± 0,50	± 0,80	± 1,2	± 2,0	± 3,0	± 4	± 5
s (sehr grob)		-	± 0,50	± 1,00	± 1,50	± 2,5	± 4,0	± 6,0	± 8	± 8

Tabelle 10: Grenzmaße für Längenmaße

Bei Nennmaßen unter 0,5 mm sind die Grenzmaße direkt am Nennmaß anzugeben.

<b>Grenzmaße in mm für Nennmaß Bereich in mm</b>						
<b>Toleranzklasse</b>	<b>bis 0,5</b>	<b>0,5 bis 3</b>	<b>über 3 bis 6</b>	<b>über 6 bis 30</b>	<b>über 30 bis 120</b>	<b>über 120 bis 400</b>
f (fein)	Sieheunte n	± 0,2	± 0,5	± 1,0	± 2,0	± 4,0
m (mittel)						
g (grob)		± 0,4	± 1,0	± 2,0	± 4,0	± 8,0
v (sehrgrob)						

Tabelle 11: Grenzmaße für Rundungshalbmesser und Fasenhöhen

Bei Nennmaßen unter 0,5 mm sind die Grenzmaße direkt am Nennmaß anzugeben.

<b>Grenzmaße in Winkleinheiten für Nennmaß - Bereich des kürzesten Schenkels in mm</b>					
<b>Toleranzklasse</b>	<b>bis 10</b>	<b>über 10 bis 50</b>	<b>über 50 bis 120</b>	<b>über (50) 120 bis 400</b>	<b>über 400</b>
f (fein)	± 1 °	± 30 '	± 20 '	± 10 '	± 5 '
m (mittel)					
g (grob)	± 1 ° 30	± 1 °	± 30 '	± 15 '	± 10 '
v (sehrgrob)	± 3 °	± 2 °	± 1 °	± 30 '	± 20 '

Tabelle 12: Grenzmaße für Winkelmaße

## Allgemeintoleranzen für Form und Lage nach DIN ISO 2768-2

DIN ISO 2768-2 dient zur Vereinfachung von Zeichnungen, legt Allgemeintoleranzen in drei Toleranzklassen durch die Wahl einer bestimmten Toleranzklasse für Form und Lage fest. Durch die Wahl einer bestimmten Toleranzklasse soll die jeweils werkstattübliche Genauigkeit berücksichtigt werden.

Wenn kleinere Toleranzen für Form und Lage erforderlich oder größere wirtschaftlich sind, sollen diese Toleranzen direkt nach ISO 1101 angegeben werden.

Allgemeintoleranzen für Form und Lage, sollen angewendet werden, wenn der Tolerierungsgrundsatz nach ISO 8015 gilt und dies in der Zeichnung eingetragen ist. Dieser Tolerierungsgrundsatz besagt, dass keine gegenseitige Beziehung zwischen Maß-, Form-, und Lagetoleranzen besteht (Unabhängigkeitsprinzip). Allgemeintoleranzen für Form und Lage gelten für Formelemente, bei denen Form- und Lagetoleranzen nicht einzeln angegeben sind. Sie sind für alle Eigenschaften der Formelemente anwendbar mit Ausnahme der Zylinderform, Profil einer beliebigen Linie oder Fläche, Neigung, Axialität, Position und Gesamtlauf.

<b>Allgemeintoleranzen für Geradheit und Ebenheit in mm für Nennmaß Bereich mm</b>						
<b>Toleranzklasse</b>	<b>bis 10</b>	<b>über 10 bis 30</b>	<b>über 30 bis 100</b>	<b>über 100 bis 300</b>	<b>über 300 bis 1000</b>	<b>über 1000 bis 3000</b>
H	0,02	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40
K	0,05	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80
L	0,10	0,20	0,40	0,80	1,20	1,60

Tabelle 13: Allgemeintoleranzen für Geradheit und Ebenheit