

$$\left[\left(1 - \frac{f}{h_L} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{f}{h_L} \right) + 1 \right] \cdot \frac{f}{h_L}$$


Doz. Dr. sc. techn. Wolfgang Leidholdt

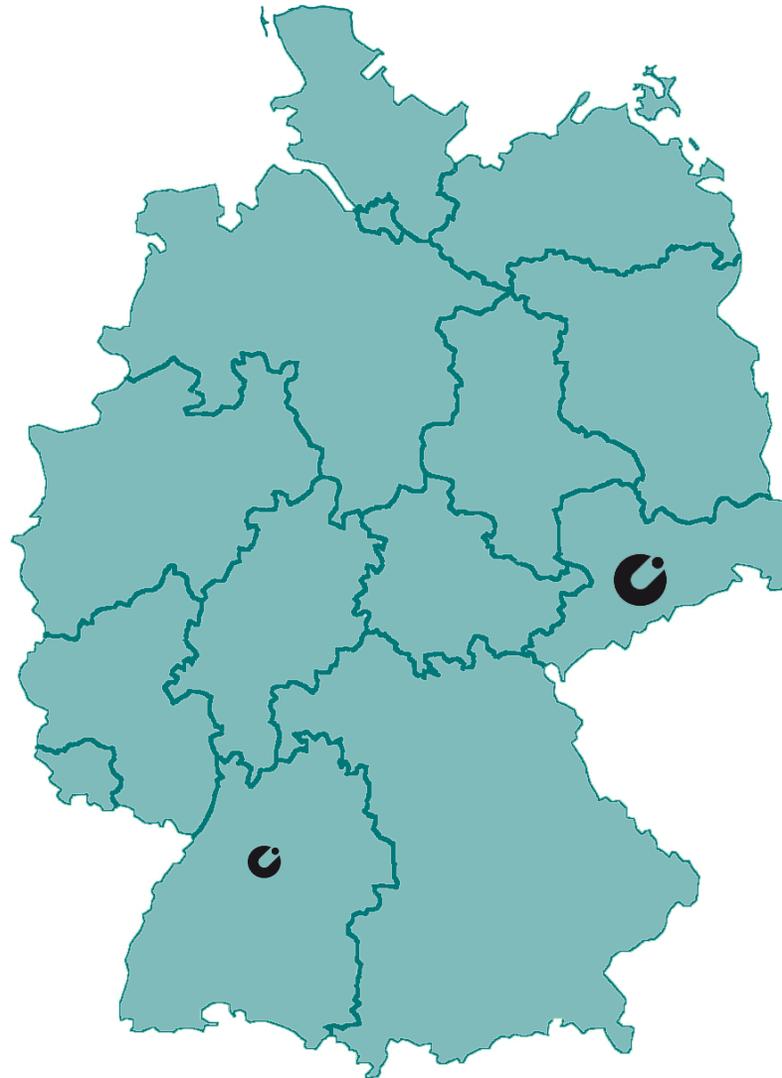
Biete: Durchmesser – Suche: Drehmoment

Wie bekomme ich aus einem zylindrischen Bauraum ein möglichst großes Drehmoment?

Feinwerktechnische Tagung September 2018 in Dresden



Adresse: Hauptstraße 35
70771 Leinfelden-Echterdingen
Telefon: +49 (0) 711 7819346 0
Fax: +49 (0) 711 7819346 99



Adresse: Amselgrund 30
09128 Chemnitz
Telefon: +49 (0) 371 400 97 900
Fax: +49 (0) 371 400 97 19

Branchenübergreifende Beratungs- und Ingenieurdienstleistungen

Produkt-entwicklung

Dr. Jens Trepte

- Antriebslösungen
- Struktur- und Materialdesign
- Multiphysikalische Simulation
- Finite Elemente Beratung und Training

Fertigungsprozess-entwicklung

Carsten Otto

- Fertigungs- und Montageplanung
- Fabrik- und Logistikplanung
- Digitale Produktionsplanung
- Produkt- und Produktions-optimierung

Informationstechnologie

Dr. Sebastian Bauer

- Softwareentwicklung
- Support und Service



Ergonomie

Prof. Dr. Lars Fritzsche

- Ergonomische Arbeitsgestaltung und Arbeitsorganisation
- Ergonomieanalyse und Risikobewertung
- Virtuelle Ergonomie
- Beratung und Training

Strategische Entwicklung

Dr. Wolfgang Leidholdt

Motor	Hersteller/ Lieferant	∅ [mm]	Leistung [mW]	Drehmoment [mNm]	Drehzahl [U/min]	i {0,1 Nm} [-]
EC 4	Maxon	4 (x 25)	765	0,32	22900	313
M 600	SOL-EXPERT	6	38	0,03	12000	3333
M700	SOL-EXPERT	7	381	0,28	13000	357
M8100	SOL-EXPERT	8	251	0,15	16000	667
30 SA	SOL-EXPERT	15	3519	2,40	14000	42
ST 130 - 22770	Star Motor	20	1079	1,03	10000	97
2126 - 384221	Johnson	20	2047	8,50	2300	12
RC 280 RA - 2485	Mabuchi	24	3836	3,33	11000	30
Rs 36 PH - 11240	Mabuchi	27	38736	41,10	9000	2

Quelle: Internet-Firmenkataloge

Motor	Hersteller/ Lieferant	Ø [mm]	Leistung [mW]	Drehmoment [mNm]	Drehzahl [U/min]	i {0,1 Nm} [-]
EC 4	Maxon	4 (x 25)	765	0,32	22900	313
M 600	SOL-EXPERT	6	38	0,03	12000	3333
M700	SOL-EXPERT	7	381	0,28	13000	357
M8100	SOL-EXPERT	8	251	0,15	16000	667
30 SA	SOL-EXPERT	15	3519	2,40	14000	42
ST 130 - 22770	Star Motor	20	1079	1,03	10000	97
2126 - 384221	Johnson	20	2047	8,50	2300	12
RC 280 RA - 2485	Mabuchi	24	3836	3,33	11000	30
RS 36 PH - 11240	Mabuchi	27	38736	41,10	9000	2

Ø 20 mm



Quelle: Internet-Firmenkataloge

Typisches Vorsatzgetriebe:

- Zylindrisch
- Eintrieb zentrisch
- Abtrieb zentrisch
- **Hohes Drehmoment**
- hohe Übersetzung
- Laufruhe

Schaumermal, was
sich machen lässt!



Quelle: Maxon Motors

Typische Anwendungen:

- Jalousieantrieb
- Förderbandrolle
- Walzenschredder
- Treppenlift
- Steinebrecher ...

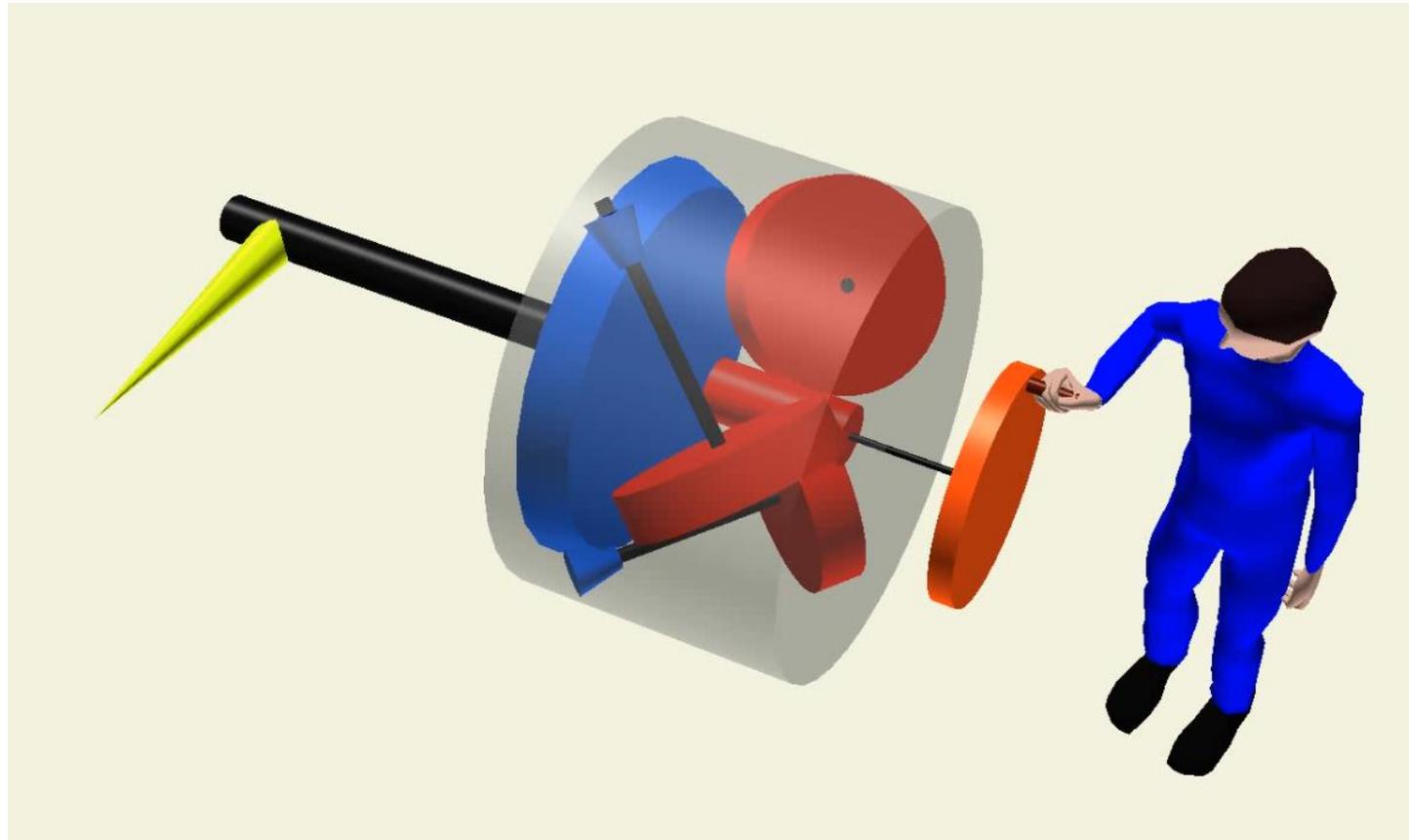


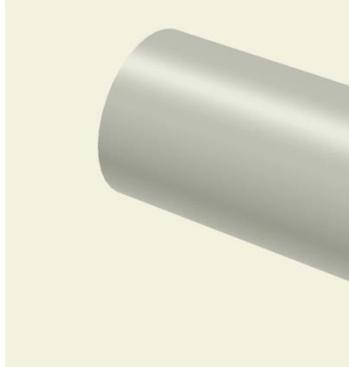
Quellen: Eleero, Somfy, Sandvik – Steine+Erden
MM-Engineering, ThyssenKrupp Encasa GmbH

Sehen Sie jetzt:

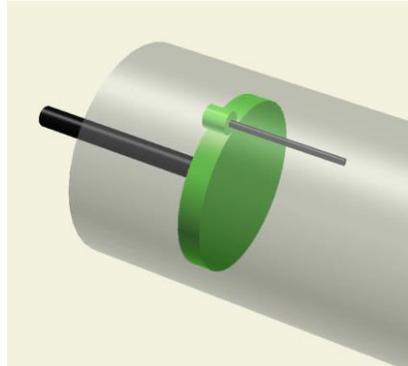
Die Geburt einer Idee

An dieser Stelle läuft eine Animation, für den Tagungsband siehe Folgefolien.

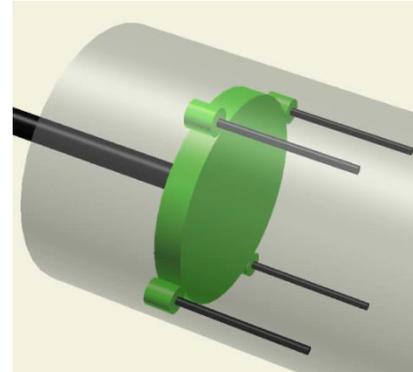




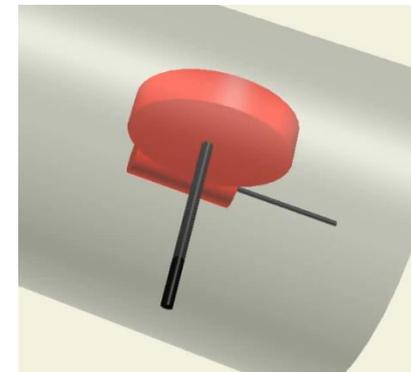
Am Anfang gibt es nur den Bauraum bestimmten Durchmessers.



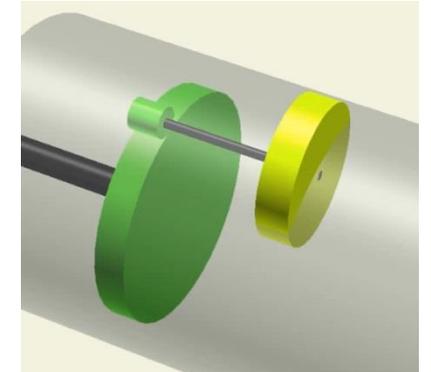
Für großes Abtriebsmoment auf der zentralen Abtriebswelle brauchen wir ein großes Bodenrad, für hohe Übersetzung kleine Ritzel.



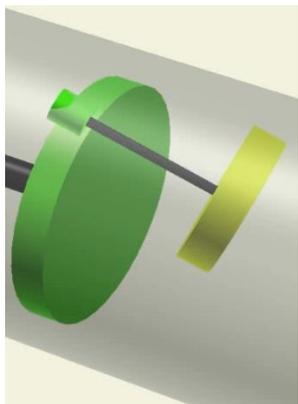
Für noch mehr Moment kann der Kraftfluss parallelisiert werden. Dazu später.



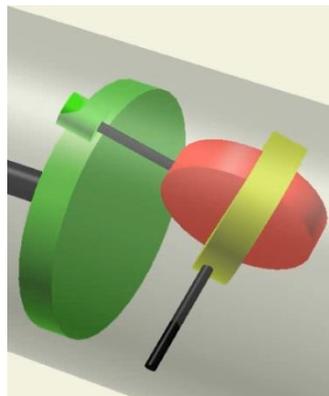
Die Eintriebsstufe mit zentraler Welle ist für gute Laufruhe und hohe Übersetzung eine Schneckenstufe.



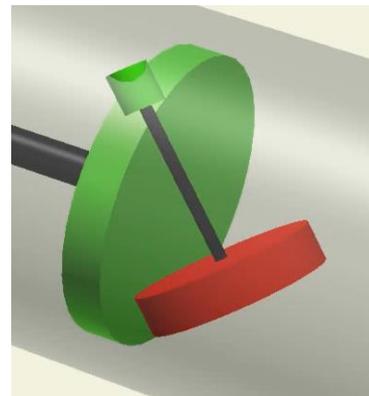
Das Schneckenrad auf der Zwischenwelle verletzt zunächst das Package.



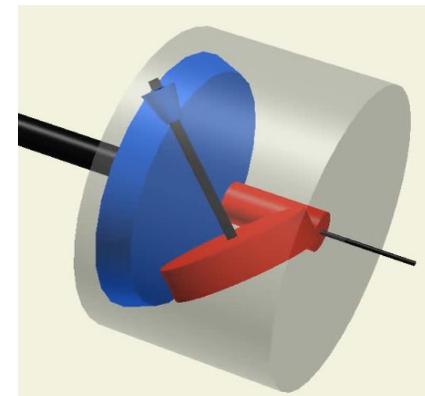
Nach innen geschwenkt, geht's.



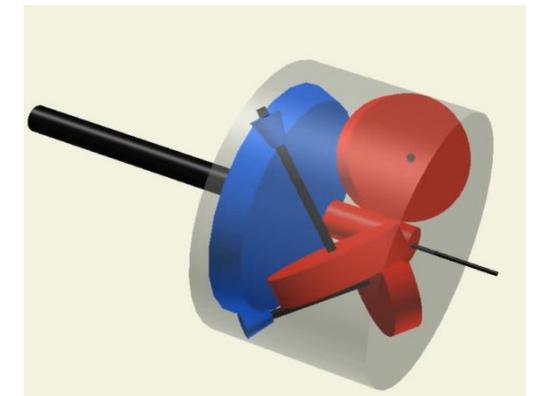
Schneckenrad herangeschoben: Nun sind die Achslagen noch anzugleichen.



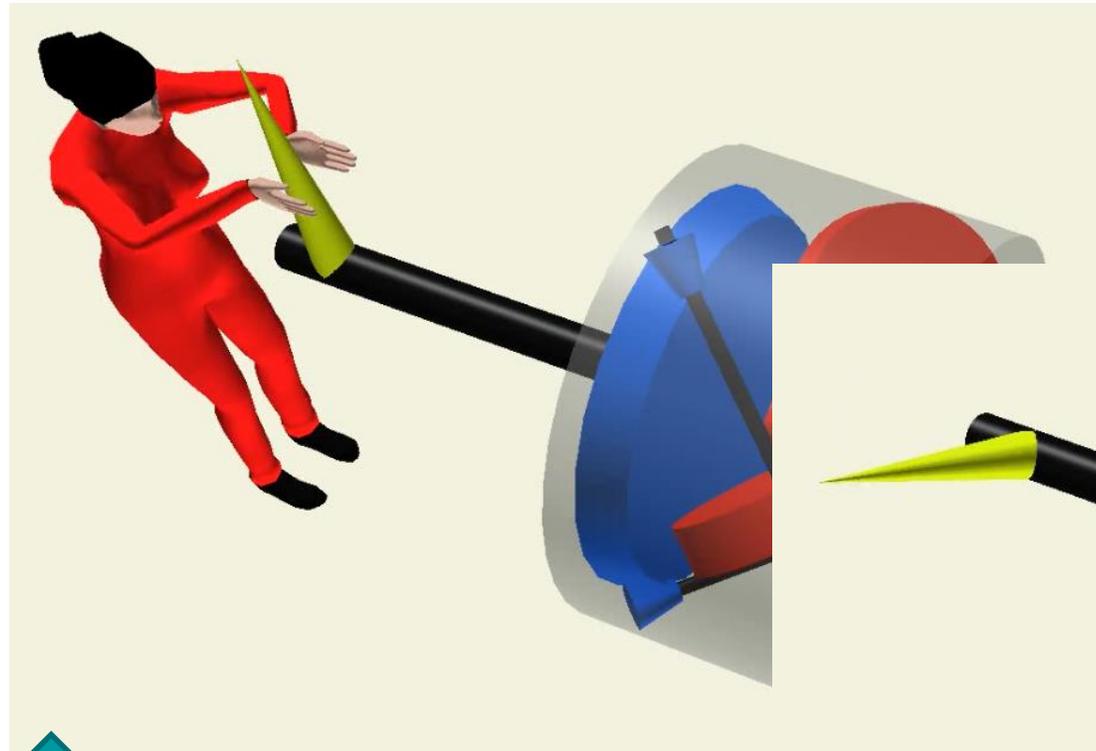
Die stimmen jetzt, aber die Zwischenwelle liegt windschief.



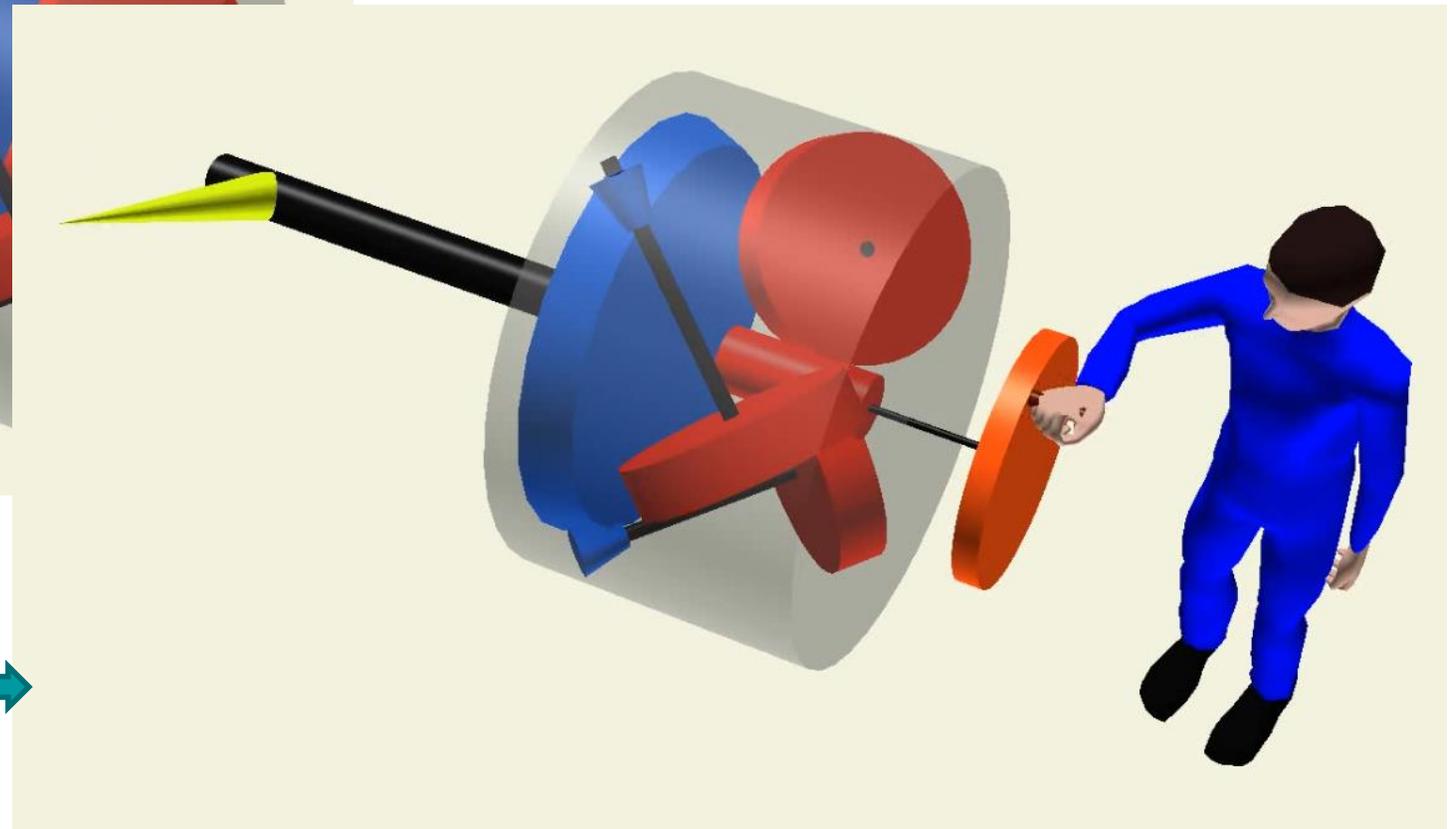
Der Bauraum steht fest, und die Hypoidstufe entsteht. Die Schneckenstufe wird zum Schraubtrieb.



Der Bauraum bietet Platz für eine Parallelisierung des Kraftflusses über drei, je nach Übersetzung auch vier Zwischenwellen.



Ein weiblicher Avatar 95. Perzentil im hochmodischen roten Overall hat einen Zeiger an die Abtriebswelle montiert.



Ein männlicher Avatar 50. Perzentil im werkstattüblichen Blaumann bringt eine Kurbel herzu und prüft die Leichtgängigkeit des Getriebes.

Das von imk automotive GmbH entwickelte Software-Tool » Editor menschlicher Arbeit« – ema – dient vorrangig zur simulativen Planung manueller Fertigungsprozesse. Da sich in der Werkhalle aber auch die Anlagentechnik bewegen lässt, ist gleichermaßen eine solche Animation machbar.

Avisierte und berechnete Vorteile:

- **Größtes erreichbares Drehmoment – oder hat jemand eine bessere Idee?**
- **Sehr gute Eingriffsverhältnisse der Verzahnungen, enorme Sprungüberdeckungen**
- **Gute Schmierverhältnisse der Verzahnungen**
- **Hohe Laufruhe durch große Drehzahlreduktion schon in der ersten Stufe**
- **Äußerst kompakter Aufbau bei hohen Übersetzungen**

Bereits erkannte Nachteile:

- **Die Fertigung und Montage sind der blanke Wahnsinn.**

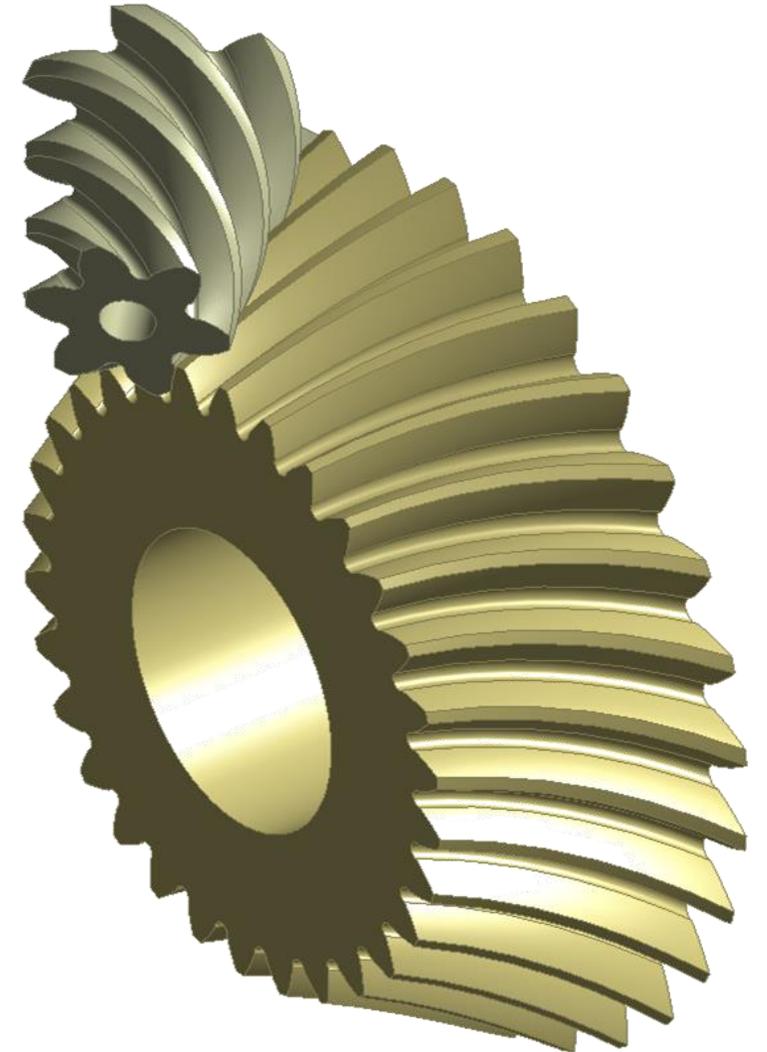
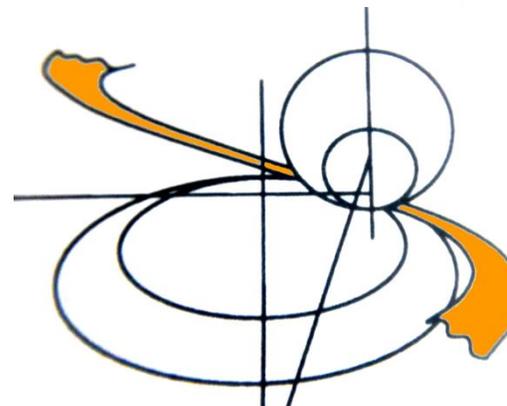
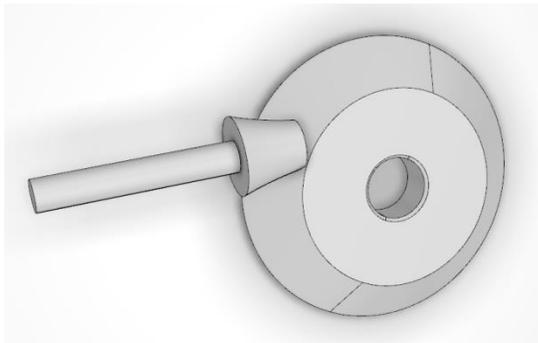
Vorschriften gibt es:

	Kegelräder ($a_k=0$)	Hypoidräder ($a \neq 0$)	Zahnbruch	Grübchen	Fressen	Verschleiß
DIN 3991	x	/	x	x	x	/
ISO 10300	x		x	x	/	/
ISO 23509	x	x	/	/	/	/
ISO/TR 13989	x	x	/	/	x	/
FVA 411	x	x	x	x	/	/
AGMA 2003	x	/	x	x	/	/
DNV41.2	x		x	x		/
Niemann/ Winter	x	x	x	x	x	x
AGMA 2003	x	/	x	x	/	/

Leider alles etwas kompliziert, wenn die Achsen **windschief** liegen!

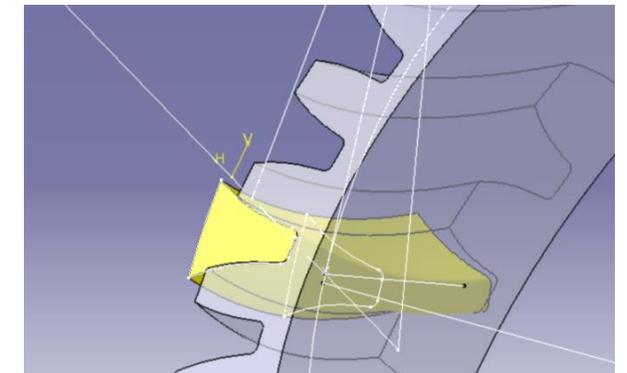
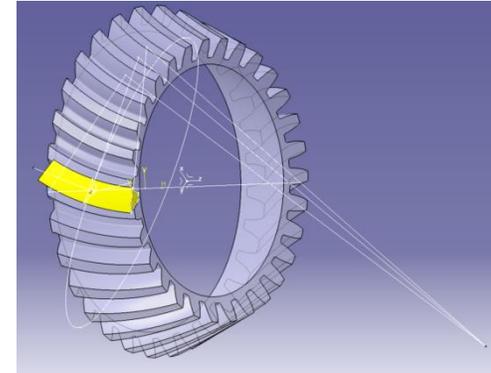
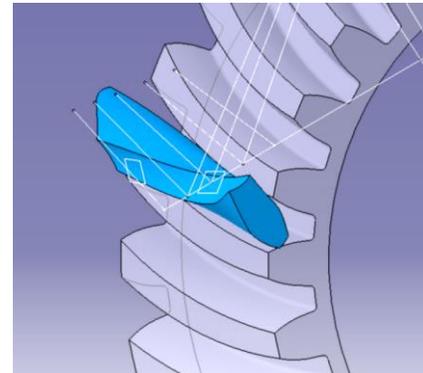
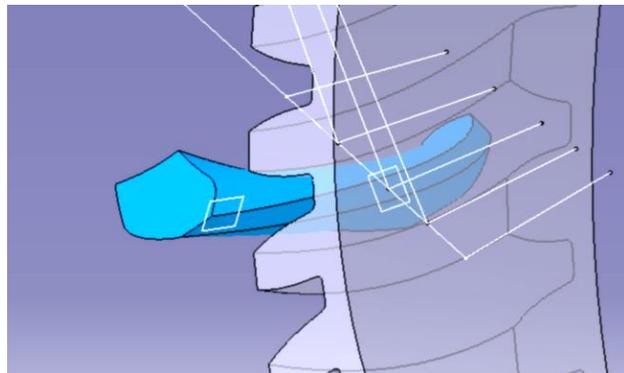
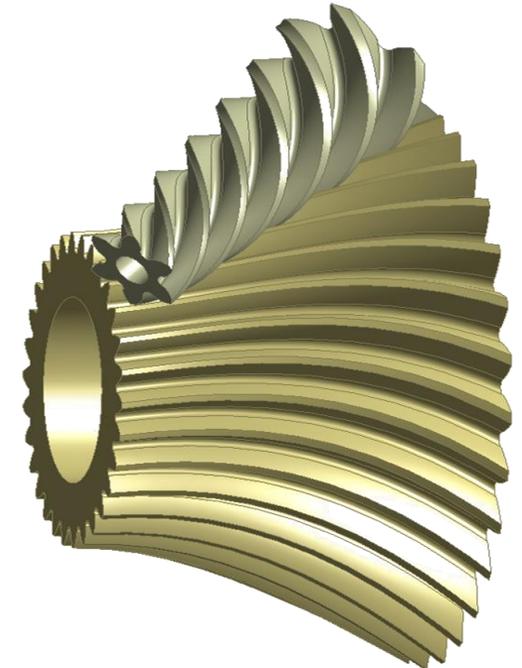
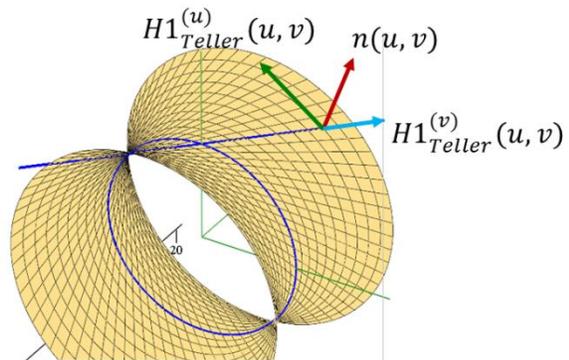
Wichtige Parameter:

- Modul, Zähnezahl, Zahnbreite sowieso
- Verzahnungsart: Evolvente oder ...?
- **Mittlerer Schrägungswinkel**
- Schrägungsrichtung
- Mittlerer **Krümmungsradius** der Flankenlinie
- Korrektur
- **Gestalt des Planrades** → der Planhelix →
Fertigungsverfahren



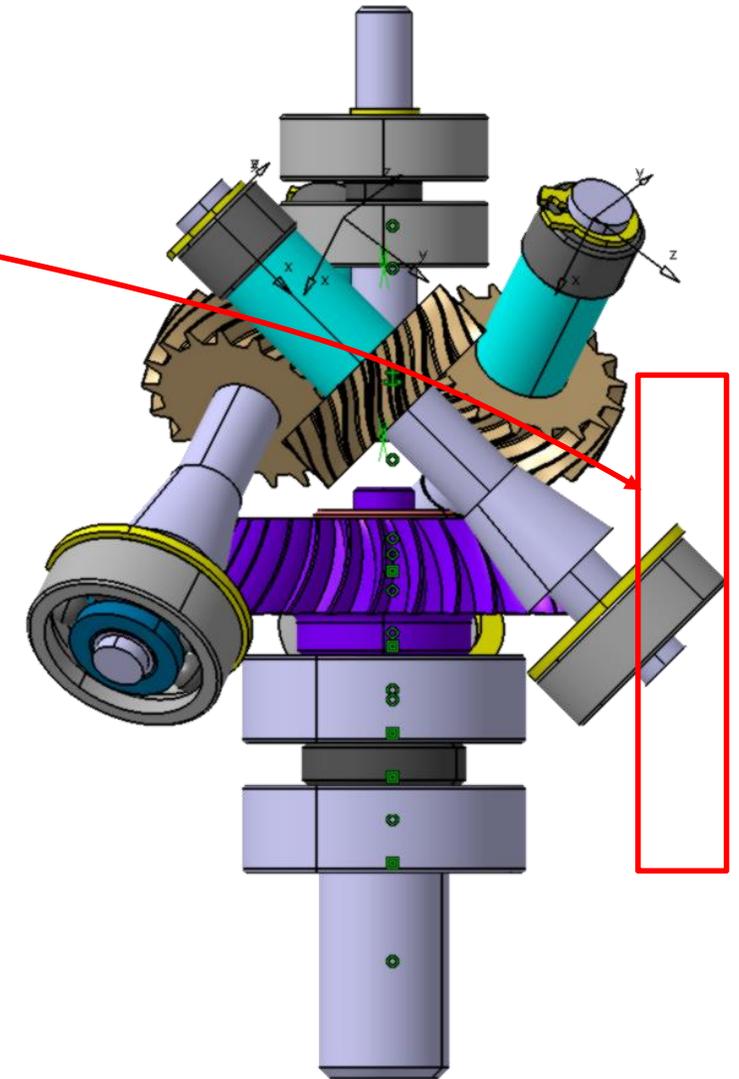
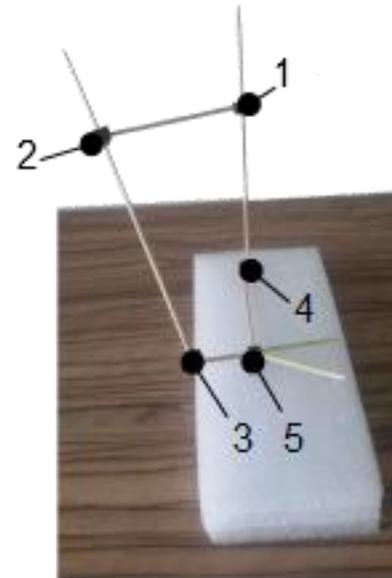
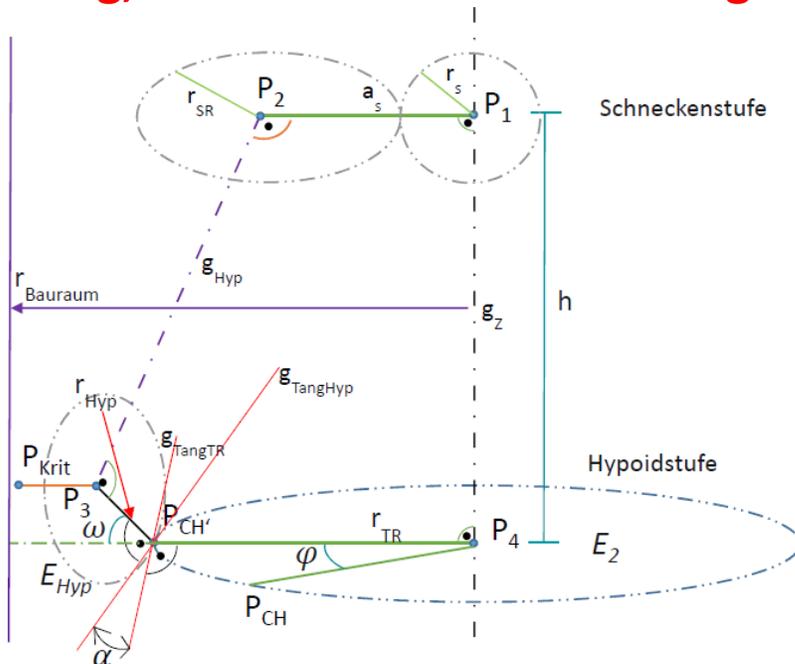
Gegenwärtig verfolgt:

- Die komplette Mathematik
- Simulative Ansätze
- Fertigungstechnische Ansätze



Am Hypoidgetriebe ist alles schief:

- Achslagen sind windschief zueinander
- Lagerung außerhalb vergrößert das Package
- Wohin mit den Lagern?
- Justagemöglichkeit während der Montage ist nötig, in verschiedenen Freiheitsgraden

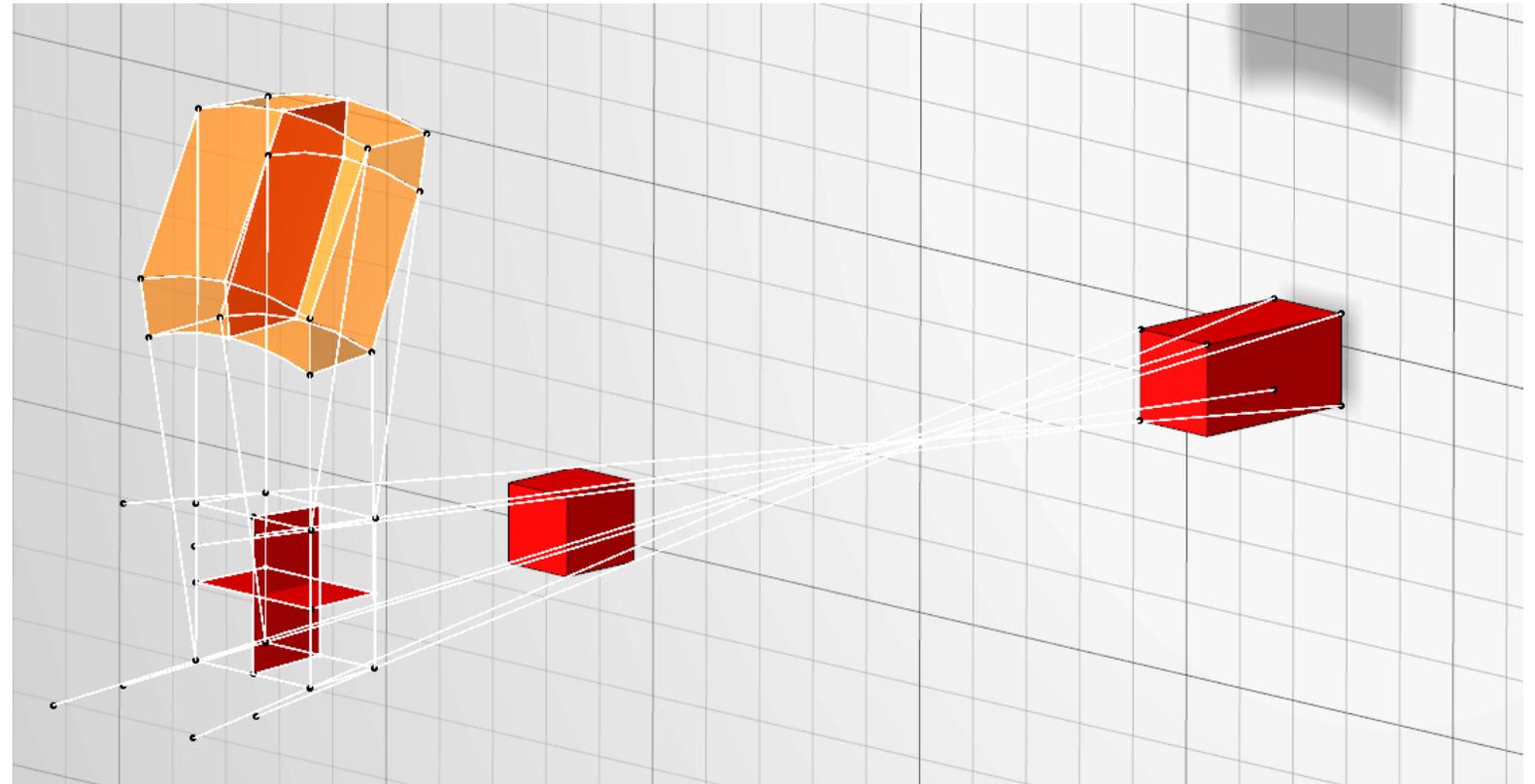


Die Parallelisierung bewirkt eine Überbestimmung bester Güte:

- die Drehlage muss ausgeglichen werden, am montierten Getriebe

Die Toleranzen bilden ein
Grenzlagenbild aus 3D-
Polygonen unregelmäßiger
Natur

- Maßtoleranzen
 - Form- und
Lageabweichungen
- Untersuchungen dazu
sind als studentische
Arbeit preisgekrönt



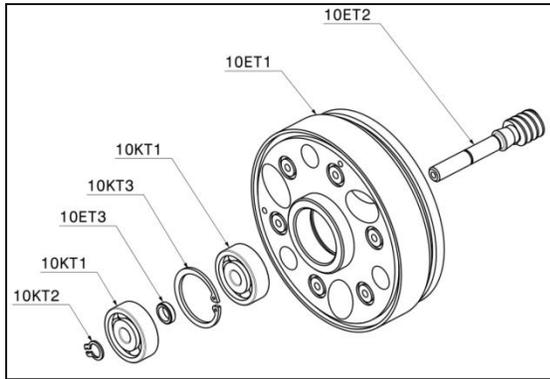
Die Fertigung der Räder verlangt Verfahrenstechnik in Abstimmung mit dem Package

1. 3D-Druck: Kann alles, ist **tribologisch** fraglich, hat nicht die volle **Festigkeit** und ist nicht **massenfertigungstauglich**.
2. Spanende Bearbeitung: **Hypoidfähige** Kegelradwälzfräsmaschine ist notwendig und ein **Bediener**, der das kann. Insbesondere die Korrekturwerte nach dem Ergebnis der Laufprüfung auf einer **Laufprüfmaschine**, die das auch erst mal können muss, verlangen Erfahrung!
3. Kunststoffspritzguss: Frage der axialen **Entformbarkeit** der Ritzel, sonst wird das Werkzeug unbezahlbar. **Drehmoment**potenzial nicht ausgeschöpft.
4. Umformen: Fließpressen Ritzel, Walzen Schnecke und Schneckenrad, Taumelwalzen Tellerrad. Werkzeuge, Entformbarkeit, Grenzformänderung, Umformsimulation.

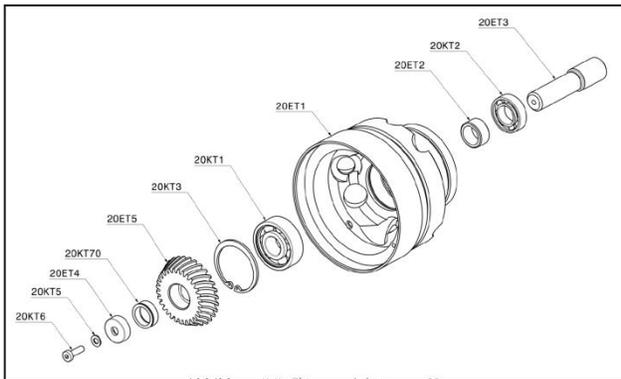
Quellen: Gleason, Fraunhofer IWU



Die Montage wird ein Puzzlespiel für „Motorenerfahrene Hobby-Schrauber“:

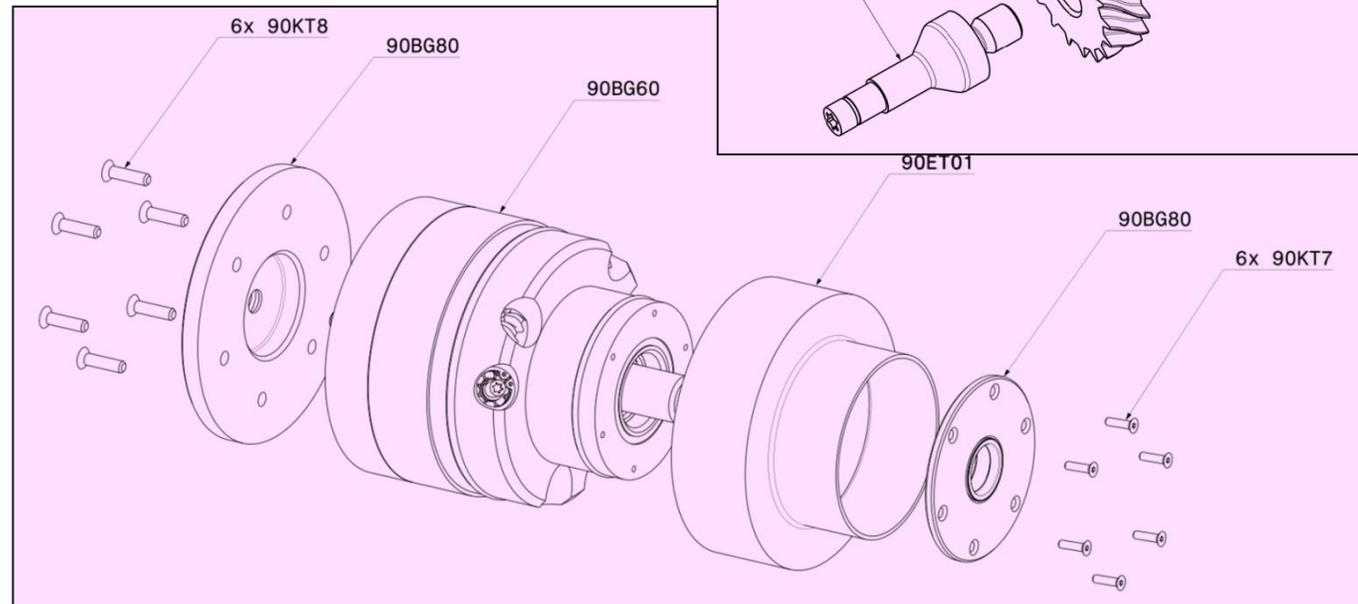
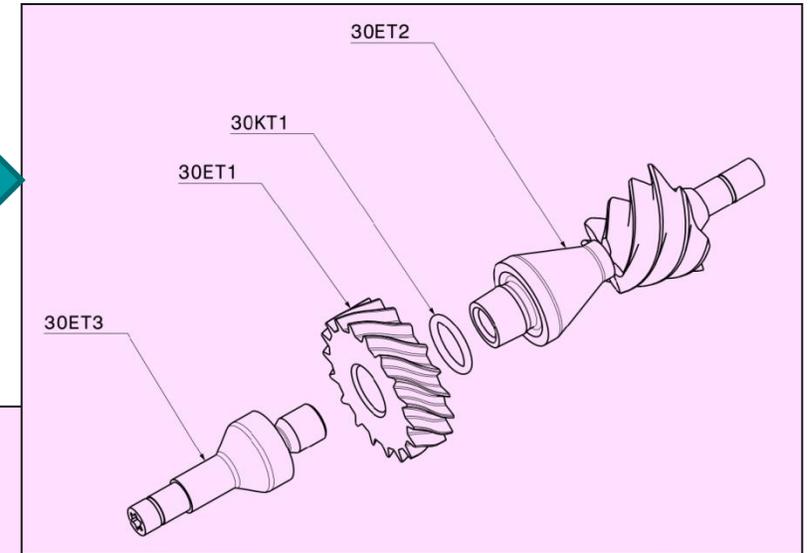


ZSB „Antrieb“ ist stino.



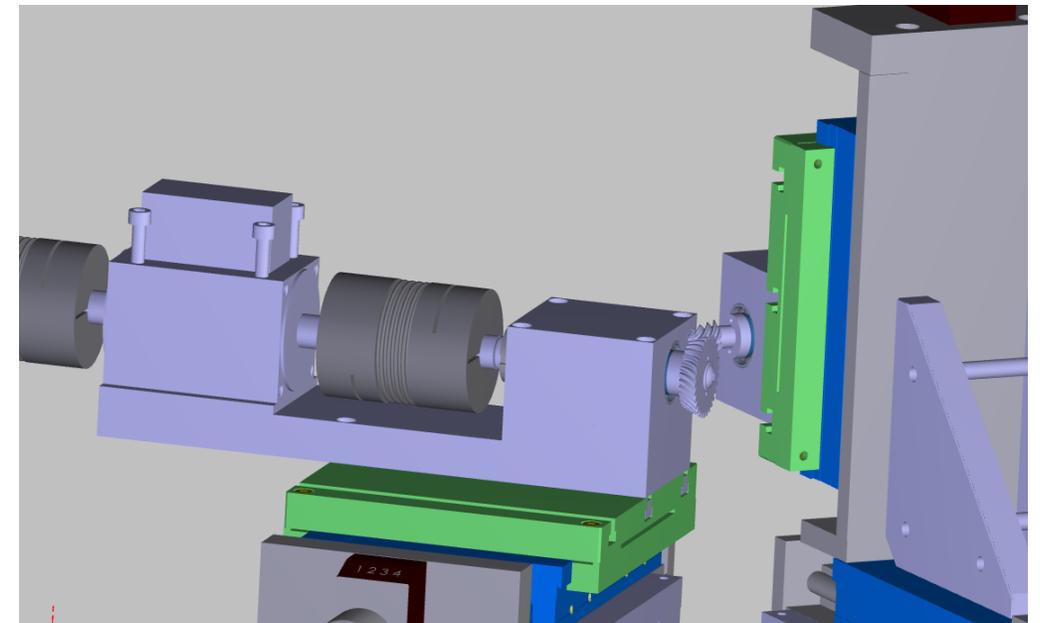
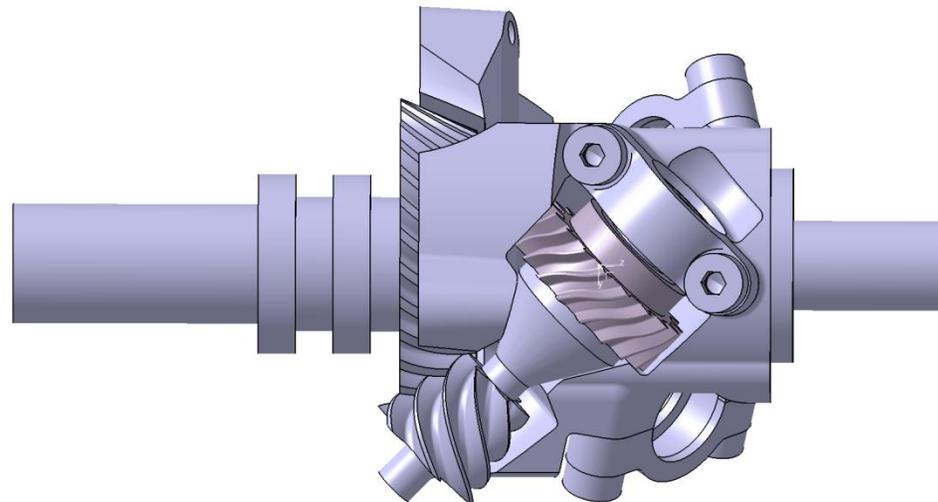
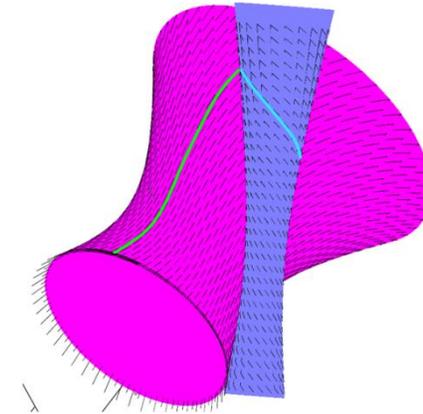
ZSB „Abtrieb“ ist auch stino.

Aber die Zwischenwelle muss
in jeder Richtung im fertigen
Getriebe justiert werden!



Erreichter Entwicklungsstand:

- Ein Funktionsmuster zum Kurbeln mit miesem Package
- Ein Funktionsmuster mit besserem Package
- Ein Package mit voller Funktionserfüllung
- Berechnungsmethoden für die Verzahnungen (funktionierende)
- Know-how und Konzepte für die Fertigung und Montage, besonders Justage
- Prüfstand für die Verzahnungen auf Festigkeit, Reibung, Schmierung, Laufverhalten



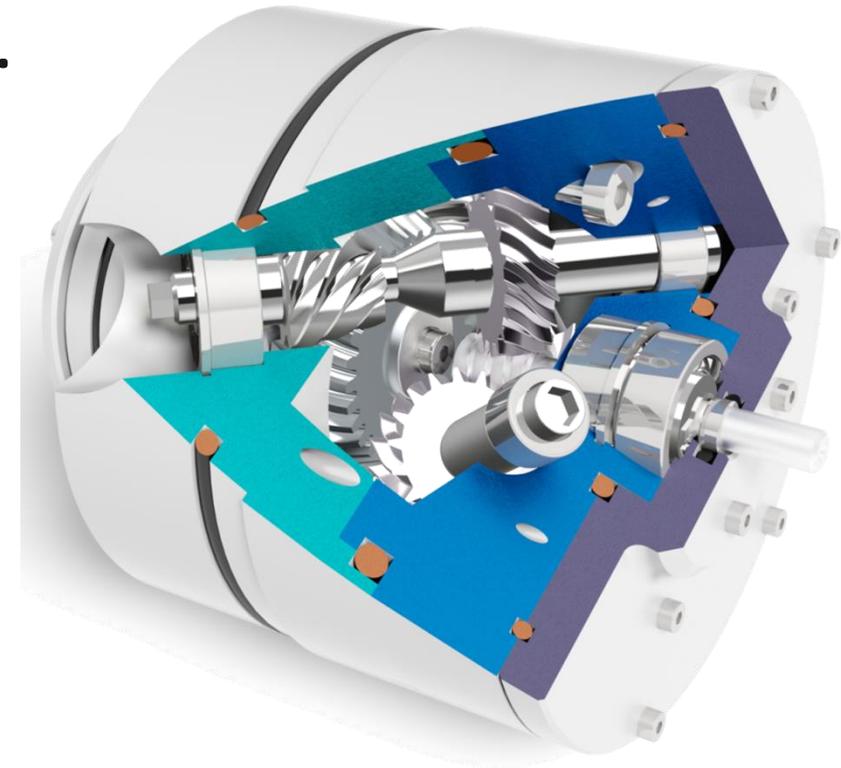
„Unser“ Hypoidgetriebe!

Patent DE 10 2016 118 877 A1 angemeldet und offengelegt.

Getriebe hat das höchste Drehmomentpotenzial.

Das wird erkauf mit

- komplizierter Entwicklung,
- anspruchsvoller Fertigung,
- erhöhten Kosten.



$$\left[\left(1 - \frac{f}{h_L}\right) \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{f}{h_L}\right) + 1 \right] \cdot \frac{f}{h_L}$$



Strategische Entwicklung



Kontakt

Dr. Wolfgang Leidholdt
Fachbereichsleiter Strategische Entwicklung
Mobil: +49 (0)174 321 69 65
wolfgang.leidholdt@imk-automotive.de
www.imk-automotive.de