

A. Albers / J. Marz / N. Burkardt

Entwicklungsmethodik bei Konzeption und Entwurf eines Mikro-Planetengeriebes

Entwicklungsmethodik in der Mikrotechnik

Der Produktentwicklungsprozess für urformend hergestellte Mikrobauteile und Mikrobauteilsysteme aus metallischen und keramischen Werkstoffen ist bisher nur in Ansätzen entwicklungsmethodisch durchdrungen. Im Fokus bekannter Arbeiten steht die fertigungsgerechte Gestaltung der Mikrobauteile bzw. deren Formeinsätze, beispielsweise hergestellt nach der etablierten Technologie des LIGA-Prozesses. Dem Vorteil hoher Oberflächenqualität und Formtreue stehen bei diesem Prozess hohe Kosten für die Formeinsatzherstellung, ein bei Verwendung hochbelastbarer Bauteilwerkstoffe hoher Formeinsatzverschleiß und somit lediglich eine Kleinserientauglichkeit und die Beschränkung in der dimensionellen Ausdehnung gegenüber. So können mit dem LIGA-Prozess nur 2,5D-Strukturen erzeugt werden, was einem gestuften Aufbau einzelner extrudierter 2D Profilkonturen gleichkommt.

Durch die Formeinsatzherstellung mittels Mikrofräsen können dreidimensional strukturierte Kavitäten erzeugt werden. Die Formeinsätze werden nachfolgend zur Abformung der Bauteile im Mikropulverspritzguss, bei dem sinterbedingt eine Schrumpfung auftritt, oder im Mikroguss eingesetzt. Im Vorfeld der Bauteilentwicklung wurden zur Abfrage der technologischen, gestaltbestimmenden Eigenschaften und Parameter insbesondere der fertigungsvorbereitenden und abformenden Verfahren Technologiedatenblätter über realisierbare Herstellgrößen erstellt. Abbildung 1 zeigt einen Ausschnitt relevanter Parameter am Mikrofräswerkzeug und die daraus resultierenden Herstellgrößen an Strukturdetails von Mikrokomponenten.

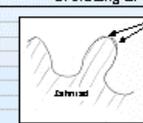
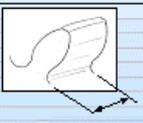
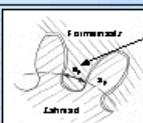
Bauabschnitt	Technologischer Sachverhalt		Bedeutung für die Konstruktion	Auswirkungen
	1	Durchmesser [mm] Größenzulassung [mm]	$d \geq 0,10$ $? = 0,05$	 ? Formeinsatzherstellung, die mit kleinsten Formeinsatzmessern nach in Formeinsatzwerkzeug anzufügen
2	Spannulinde Faus-Normel mit Luerfinger im Scheitel	$2-3 \times d$ $4 \times d$	 Maximale Zahnbreite bei gegebenem Formeinsatz mit Deckel $23 \times d = 23 \times 0,1 = 0,203 \text{ mm}$ $8 \times d = 8 \times 0,5 = 4 \text{ mm}$? Fräser mit Durchmesser 0,5 mm auch für kleinere Miniaturisierungsdimensionen zu groß
3	Toleranzen [mm] Scheitel Schnitell	$+0 / -0,005$ $+0,01 / -0,01$		
4	Minimale Wandsstärke	noch zu untersuchen	 ? Minimal-Lückenweite zwischen den Zähnen	? Zahnleitung und Verhältnis Lückenweite „Zahnbreite“ eventuell anpassen
5	Oberflächenrauheit [µm]	$R_a < 2$		
6	Gröblichkeit			

Abbildung 1: Technologiedatenblatt über realisierbare Herstellgrößen

Die so gewonnenen verfahrenscharakterisierenden Informationen wurden in ihrem Einfluss auf Gestaltmerkmale insbesondere an verzahnten Mikrobauteilen und –bauteilsystemen untersucht. Diese systematische Erhebung und Gegenüberstellung mit Gestaltausprägungen an konkreten Mikrobauteilen bildete die Grundlage zur Erarbeitung mikrospezifischer Entwicklungsmethoden. Bei der Konzeption und beim Entwurf sind dies insbesondere mikrospezifische Gerechtheiten, Prinzipien der Gestaltung zur Erfüllung der Funktion unter verschiedenartigen Optimierungsansprüchen bis hin zu konkreten Handlungsanweisungen für den Mikrobauteilentwurf in Form von Konstruktionsregeln. Auf die letztgenannte Methode, ihre Definition, Klassierung und Anwendung soll in diesem Beitrag bei der Entwicklung eines Mikro-Planetengeriebes im Schwerpunkt eingegangen werden.

Konstruktionsregeln

Konstruktionsregeln sind aus technologischen Grundanforderungen heraus sich ergebende konkrete Handlungsanweisungen für die mikrogerechte Bauteilgestaltung. Insbesondere im Hinblick auf die rechnergestützte Abbildung der Konstruktionsregeln stellen Handlungsanweisungen in Form von verketteten IF – THEN – ELSE Konstrukten eine Möglichkeit dar, nicht-geometrisches Wissen über ein Informationsportal oder direkt über eine wissensbasierte Applikation im 3D CAD zur Verfügung zu stellen. Durch Regelkonstrukte kann das technologiebezogene Know-how, was sich i.d.R. erst durch ein Expertengespräch erschließt und in die Erfahrung des Konstrukteurs einfließen muss, im Produktentwicklungsprozess nach vorne in die Gestaltende Phase verlagert und dort personenunabhängig bereitgestellt werden. Um die Konstruktionsregeln für die Ablage in einer Datenbank sowie für die Hinterlegung in einer wissensbasierten Konstruktionsunterstützungsumgebung eindeutig zu kennzeichnen, wurde ein Klassierungsschlüssel definiert. Er besteht aus einer Regelklasse und einer Nummer (Abbildung 2):

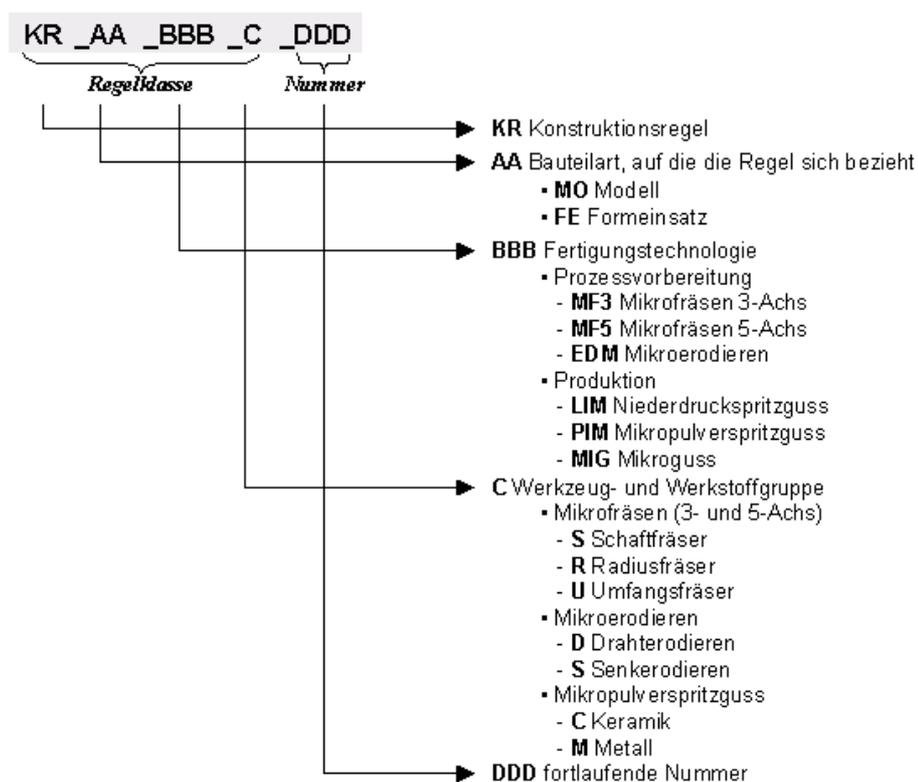


Abbildung 2: Klassierungsschlüssel für Konstruktionsregeln

Da zum kompletten Fertigungsprozess sowohl ein trennendes Verfahren für die Herstellung des Formeinsatzes, als auch ein Abformverfahren für das Modell gehört, sind für jedes Bauteil zwei Regelklassen anwendbar. Für beide Verfahrensschritte gibt es bestimmte Einschränkungen und Regeln, so kann z.B. beim Fräsen keine Nut kleiner als der Fräserdurchmesser einschließlich der auftretenden Toleranzen hergestellt werden. Gleichfalls muss auch beim Mikropulverspritzguss eine gewisse Mindestmaterialstärke eingehalten werden. Daher liegt es nahe, getrennt einen Satz Regeln für den Formeinsatz und einen zweiten für das Modell zu definieren. Gleichzeitig sind aber beide geometrisch miteinander verknüpft, da sämtliche Größen des Modells vom Formeinsatz bestimmt werden, nur bedingt durch den Sinterschrumpf aber keine gleichen Abmaße haben. D.h. eine Regel kann bei bestehender Beziehung für eine Bauteilart definiert und in die andere umgesetzt werden, so dass der Konstrukteur je nach Anforderung oder Anschaulichkeit sich für eine Bauteilart entscheiden kann.

Findet eine Regel für mehrere Werkzeug- bzw. Werkstoffgruppen oder Verfahren Anwendung, wird statt den aufgelisteten Kennbuchstaben „x“ bzw. „xxx“ eingesetzt (Abbildung 2). Für die Bauteilart ist das nicht möglich, da eindeutig festgelegt werden muss, worauf sich die Bezeichnungen in der Regel beziehen. Beispielhaft sei die Konstruktionsregel **KR_FE_MF3_x_001** erläutert.

Sie gilt für die prozessvorbereitende Fertigungstechnologie des 3-Achs Mikrofräsen und für mehrere Werkzeuggruppen (Schaft- und Radiusfräser). Des weiteren bezieht sie sich auf den Formeinsatz und ist die erste ihrer Regelklassenzusammensetzung. In einer mathematischen Beziehung ausgedrückt lautet sie:

$$R_{\text{Innenkante}} \geq d_{\text{Fräser}}/2 \tag{1}$$

Durch den runden Querschnitt eines Fräfers können keine scharfen Innenkanten oder –radien, die kleiner als der Fräseradius sind, hergestellt werden. Ist der Radius aber genau so groß oder größer als der Fräser, kann das Werkzeug der Geometrie folgen. Für die konkrete Bauteilgeometrie eines Planetenradzahnes (Abbildung 3) bedeutet dies eine Kopfkantenrundung von mindestens 50 µm bei dem derzeit kleinsten für reproduzierbare Ergebnisse eingesetzten Schaftfräser mit einem Durchmesser von 100 µm. Dies zieht einen Verlust an tragender Flankenlänge nach sich, wodurch die Profilüberdeckung sinkt.

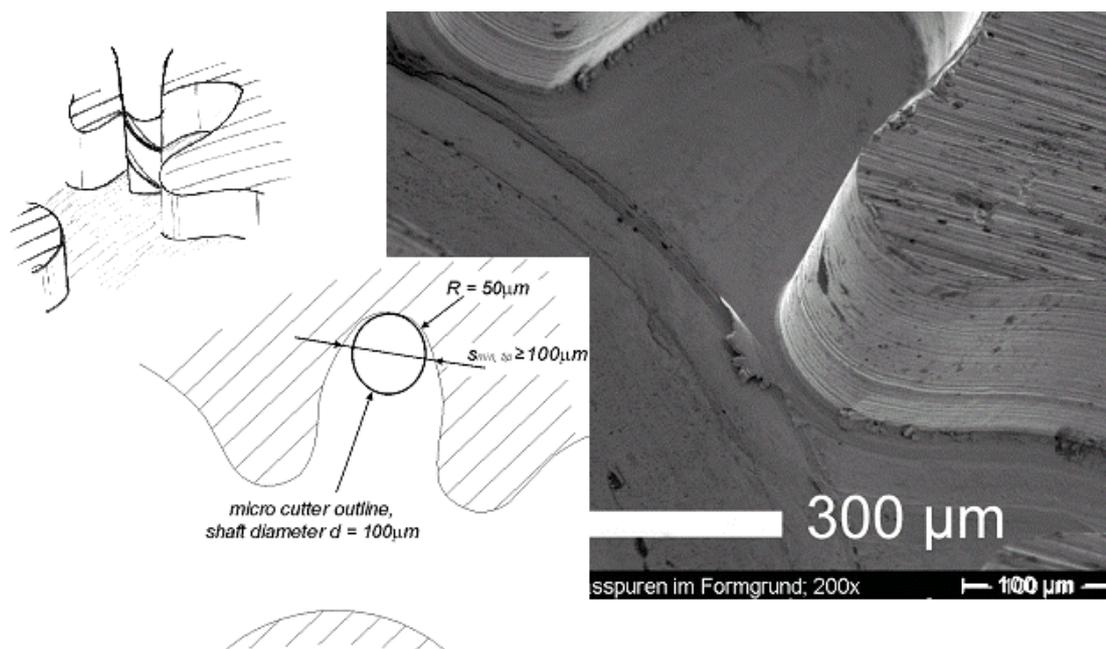


Abbildung 3: Fertigungsbedingte Rundung an Formeinsatzinnenradien durch den eingesetzten Mikrofräser

Nach diesem Vorgehen wurden sämtliche in den oben vorgestellten Technolgieblättern enthaltenen Informationen konstruktionsrelevant interpretiert und dem methodischen Entwickler und Konstrukteur bereitgestellt. Bei der Darstellung der stellvertretend für ein hochbelastetes Mikrosystem entwickelten Mikro-Planetenradstufe werden einzelne zur Anwendung gekommene Konstruktionsregeln erläutert.

Konzeption mikrotechnischer Verzahnungen

Bei der Konzeption des zu entwickelnden Mikro-Planetengetriebes galt es in einem ersten Schritt zu klären, welche Verzahnungsart hinsichtlich Funktionstüchtigkeit und hoher Belastbarkeit mit den vorliegenden Produktionsmitteln und dem zu verwendenden Werkstoff herzustellen ist.

Aus der Analyse und Bewertung verschiedener Verzahnungsarten erwies sich die Evolvente aus folgenden Gründen am geeignetsten:

- Konstante Übersetzung bei Drehzahl- und Drehmomentschwankungen
- Unempfindlichkeit gegenüber Achsabstandsänderung
- Anpassungsfähigkeit an besondere Erfordernisse

Um die gesammelten Anforderungen und Restriktionen in ihrem Einfluss auf die konkrete Gestaltung an verzahnten Mikrobauteilen besser einschätzen zu können, entstand ein erster Entwurf eines Mikro-Planetengetriebes.

Die Auslegung des Getriebes erfolgte basierend auf den bekannten Informationen rein nach geometrisch-kinematischen Merkmalen. Erst mit den weiteren Forschungsfortschritten, wenn u.a. fundierte Werkstoffkennwerte aus der Werkstoffprüfung an Mikroprobekörpern, Messung und Prüfung der Toleranzen und Oberflächenrauheiten sowie erste Simulationsergebnisse zur Gestaltoptimierung vorliegen, soll die Auslegung auch festigkeits- und tragfähigkeitsorientiert erfolgen.

Aus dem Entwurf eines, in [6] in seiner Spezifikation näher ausgeführten Mikro-Planetengetriebe konnten für die Entwicklungsmethodik urformend hergestellter Mikrobauteile aus Metall und Keramik wichtige Erkenntnisse und daraus abgeleitete Konstruktionsregeln gewonnen werden; die mithin wichtigste Erkenntnis für die Auslegung mikrotechnischer Verzahnungen mit mikrozerspanend hergestellten Formeinsätzen zeigt die nachfolgende Abbildung 4 am Eingriff von Sonne und Planetenrad [2, 3]:

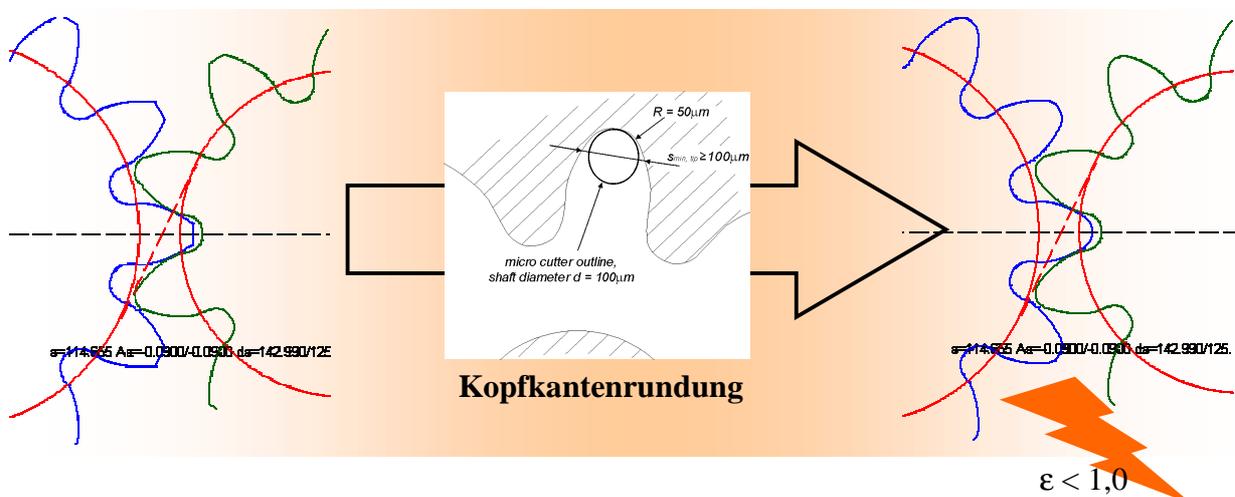


Abbildung 4: Profilüberdeckung von Sonne und Planet vor und nach der fertigungsbedingten Kopfkantenrundung

Vernachlässigt man zunächst die fertigungstechnische Gegebenheit der Verrundung von Formeinsatzinnenkanten, so ergibt mit einem Modul von $100\mu\text{m}$ die Profilüberdeckung zwischen Sonne und Planet einen Wert von $\varepsilon = 1,2$. Bedingt durch den Fräser entsteht im Bereich des Zahnkopfes eine Rundung mit mindestens der Hälfte des Fräserdurchmessers. Für das abgeformte Zahnrad bedeutet dies einen Verlust tragender Flankenlänge im Kopfbereich und dadurch ein Abfall der Profilüberdeckung unter den Wert eins, d.h. dass weniger als ein Zahn zu jeder Zeit des Umlaufs im Eingriff ist. Drehzahl- und Drehmomentschwankungen sind die Folge. Doch gerade im Mikrobereich ist aufgrund der im Verhältnis zur Makrowelt größeren Maß- und Formtoleranzen, im Hinblick auf die Laufeigenschaften und die Belastbarkeit bei hohen Drehzahlen eine effektive Profilüberdeckung größer eins anzustreben.

1.Stufe rechner- und methodenunterstützter Optimierung hinsichtlich Miniaturisierung

In diskursiver Herangehensweise wurden die sich ergebenden geometrischen Restriktionen, wie beispielsweise Kopfkantenrundung am Formeinsatz $R_{\text{Innenkante}} \geq d_{\text{Fräser}}/2$ oder Zahnbreite $b \leq 2 \times d_{\text{Fräser}}$, und die variierbaren Verzahnungsgrößen Modul m , Eingriffswinkel α , Zähnezahl z und Profilverschiebungsfaktor x festgelegt. Danach wurden in systematischer Variation vorhandener Merkmale die einzelnen Verzahnungsparameter (m, α, z, x) zunächst für eine Stirnradstufe zur Verringerung des Komplexitätsgrades und zum Aufzeigen von Tendenzen, dann für die gesamte Planetenradstufe durchvariiert. Als Werkzeug kam dabei die Berechnungssoftware KISSsoft [5] zum Einsatz. Als Ergebnis der Variation stellt Abbildung 5 das Miniaturisierungspotenzial von vier vorselektierten Zähnezahlkombinationen für eine Planetenradstufe dar.

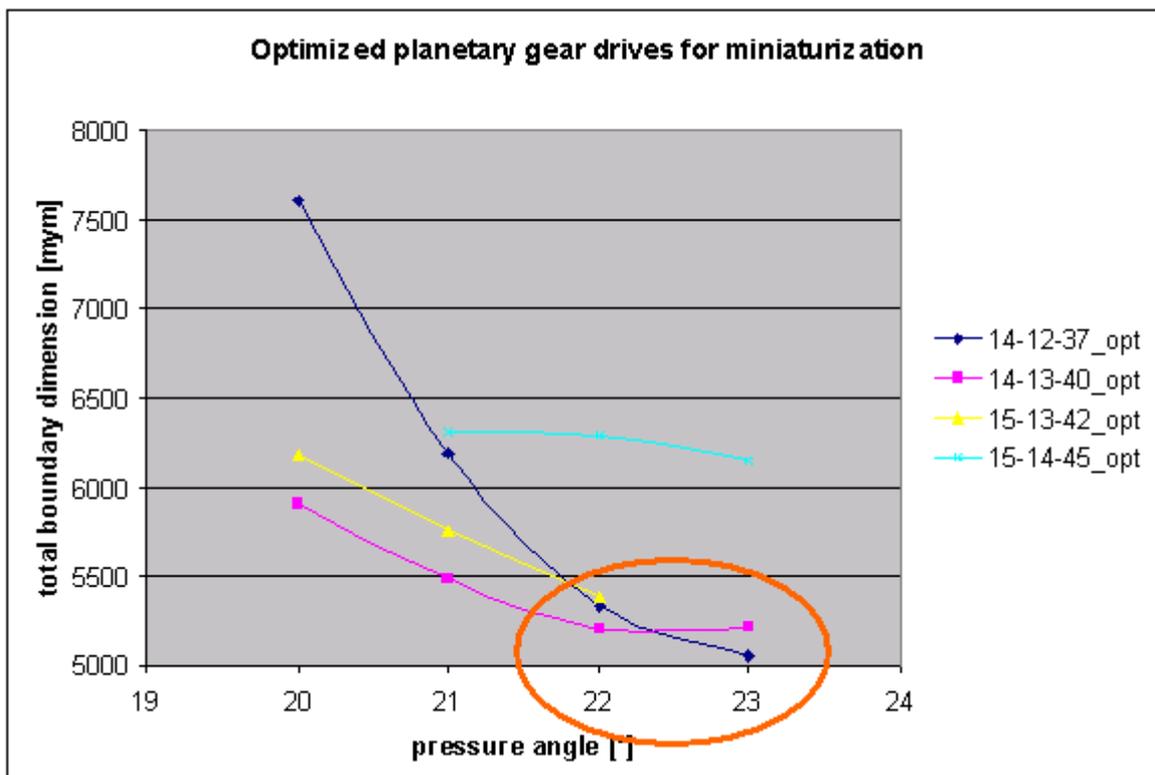


Abbildung 5: Miniaturisierungspotenzial von Planetenradstufen verschiedener Zähnezahlkombinationen in Abhängigkeit vom Eingriffswinkel

Zu erkennen ist, dass nach Variation von Modul und Profilverchiebung für verschiedene Zähnezahlkombinationen bei angenommenem Standardeingriffswinkel von 20° die Planetenradstufe mit 14 Zähnen für die Sonne, 13 für den Planeten und -40 für das Hohlräder den kleinsten Getriebeaußendurchmesser erwarten lässt. Durch Steigerung des Eingriffswinkels, unter Anpassung von m und x auf Profilüberdeckung gerade eins, sinkt der Durchmesser der anfänglich hinsichtlich Miniaturisierung ungünstigsten Variante (14-12-37_opt) auf den kleinsten möglichen Außendurchmesser im Vergleich. [3]

Als Ergebnis lässt sich als eine weitere, speziell für den Bereich verzahnter Mikrobauteile geltende Konstruktionsregel ableiten, dass für ein Mikro-Planetengetriebe, dessen Bauteilformeinsätze mittels Mikrofräsen hergestellt werden, zur Sicherstellung einer Profilüberdeckung von gerade eins, der Modul das 1,5-fache des Schaftfräserdurchmessers betragen muss:

$$m (\epsilon \geq 1) = 1,5 \times d_{\text{Schaftfräser}} \quad (2)$$

Zu beachten ist, dass hierin noch nicht die fertigungs- und abformbedingten Toleranzen sowie die charakterisierten Oberflächenrauheiten im Formeinsatz und am Bauteil berücksichtigt wurden. Um nun ein anforderungsgemäßes, funktionstüchtiges Getriebe zu erhalten, wurde ein Toleranzkonzept für Mikroverzahnungen erarbeitet, das nachfolgend vorgestellt wird.

Toleranzkonzept für Mikroverzahnungen

Zur Festlegung eines geeigneten Ansatzes für ein Toleranzkonzept wurden bestehende Normen des Allgemeinen Maschinenbaus und der Feinwerktechnik herangezogen sowie Toleranzangaben zu realisierten Maschinensystemen und Aktoren aus der Mikrotechnik recherchiert.

Für die Tolerierung von Bauteilen des allgemeinen Maschinenbaus stellt DIN ISO 286 Vorschriften bereit, allerdings ist im Geltungsbereich dieser Norm keine Untergrenze für das Nennmaß angegeben. Im Bereich der Feinwerktechnik gilt DIN 85700 „Toleranzfeldauswahl für die Feinwerktechnik“ ab einem Nennmaß von 1 mm aufwärts.

Für spezielle Bereiche komplexer Geometrien, zu denen auch Zahnräder zählen, gibt es ab Modul 1 mm in DIN 3961 sowie in den darauf aufbauenden Normen DIN 3962, DIN 3963, DIN 3964 und DIN 3967 klare und für umfassend viele Einsatzzwecke sowie Messmöglichkeiten Vorschriften zur Tolerierung von Zahnrädern.

Weniger umfassend als DIN 3961 legt DIN 58405 Toleranzen für Zahnräder der Feinwerktechnik mit einem Modul bis hinab zu 0,2 mm und einem Kopfkreisdurchmesser von mindestens 3 mm fest. Das Planetenrad der nach dem ersten Optimierungsschritt vorliegenden Planetenradstufe des Demonstrators liegt mit einem Modul von 0,116 mm und einem Kopfkreisdurchmesser von 1,624 mm jedoch unterhalb dieser Kleinstmaße.

Für Getriebe und Zahnräder der Mikrotechnik gibt es somit kein genormtes Toleranz- und Passungssystem.

Auch die Recherche nach realisierten, einzelnen Anwendungen der Mikrotechnik ergab keine einheitlichen, statistisch aussagekräftigen Tendenzen in der Tolerierung. Lediglich für einzelne Konstruktionsbereiche, z.B. Mikrogleitlager, können Erfahrungen bereits existierender Systeme auf den vorliegenden Anwendungsfall übertragen werden.

Da die relevanten Verzahnungsgrößen nur knapp unterhalb derer der DIN 58405 für Zahnräder der Feinwerktechnik liegen, wurde für das Toleranzkonzept im Sinne eines Top-Down-Ansatzes eine Extrapolation über den unteren Nennmaßbereich der Feinwerktechnik hinaus vorgenommen.

Zunächst wurde für jede der zu tolerierenden Verzahnungsgrößen ein Diagramm erstellt, in dem die vorgeschriebenen Abmaße über dem Nennmaß aufgetragen wurden. Da die Toleranzen in der Norm immer für einen Nennmaßbereich gelten, wurde als relevantes Maß hier, wie auch in DIN ISO 286 gebräuchlich, der geometrische Mittelwert zwischen dem größten und kleinsten Maß, für das dieser Bereich gültig ist, angenommen. Über diesem Wert wurde die in der Norm angegebene Toleranz

bzw. die angegebenen Abmaße aufgetragen. Durch die gegebenen Punkte wurde eine Ausgleichkurve ermittelt und über die untere Grenze des Maßbereiches extrapoliert. Exemplarisch gibt Abbildung 6 die Verläufe für oberes und unteres Zahnweitenabmaß wieder.

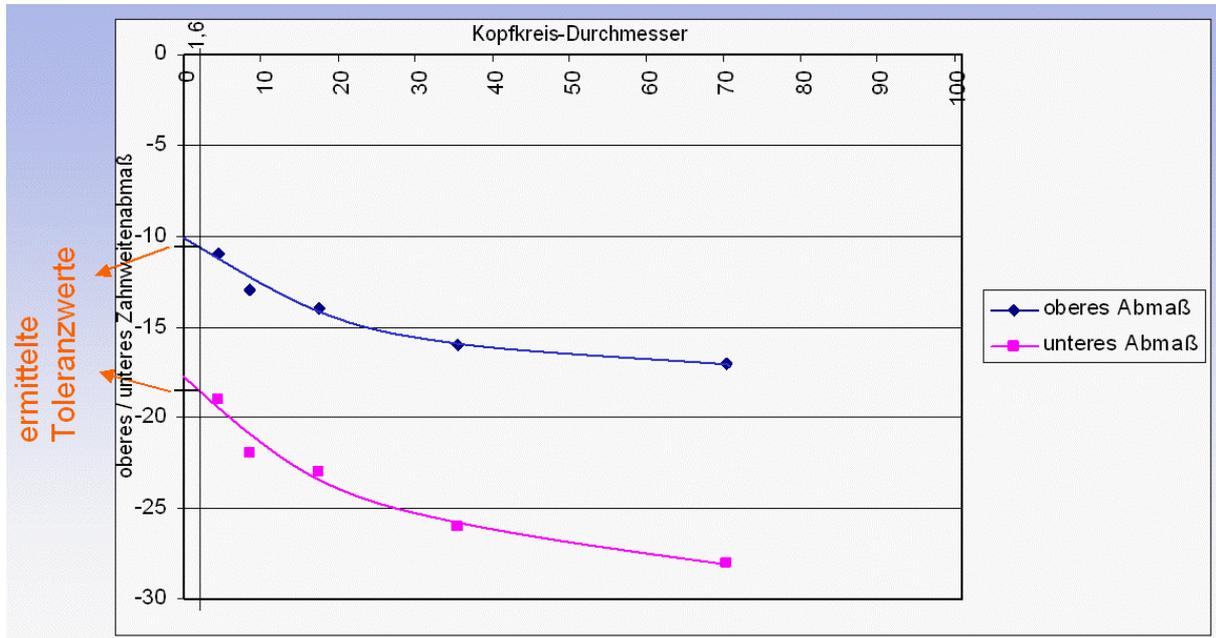


Abbildung 6: Extrapolation der Zahnweitenabmaße auf Basis von DIN 58405

Für den Kopfkreisdurchmesser des Planetenrades ergeben sich Zahnweitenabmaße von $-11 \mu\text{m}$ und $-18 \mu\text{m}$ bei Verzahnungsqualität 6.

Bei der Umsetzung stehen die nach diesem Ansatz ermittelten Toleranzen für Mikrozahnräder den erreichbaren Fertigungstoleranzen aus der Formeinsatzherstellung und der Abformung gegenüber. Verfahrenabhängig unterscheidet man verschiedene Arten von Fertigungstoleranzen:

- eine Art ist die Ungenauigkeit, die an der Form durch das Mikrofräsen entsteht. Sie setzt sich zusammen aus Toleranzen der Werkzeugmaschine, des Werkzeugs und der Prozessführung und beträgt derzeit bis zu $20 \mu\text{m}$. Wichtig ist hier, dass diese Ungenauigkeit ein absoluter Wert und damit unabhängig von der Größe des zu fertigenden Bauteils ist.
- Eine weitere Art der Ungenauigkeit entsteht beim Prozess des Mikropulverspritzgusses durch den unterschiedlich starken Sinterschrumpf. Sie beträgt $\pm 0,4 \%$, ein relativer Wert also, der sich auf die Abmessungen des Bauteils bezieht.

Da die für die Zahnräder im betrachteten Größenbereich festgelegten Fertigungstoleranzen unterproportional mit der Bauteilgröße wachsen, ergeben sich für die verfahrensbedingten Toleranzarten folgende Auswirkungen auf die Bauteildimension (Abbildung 7):

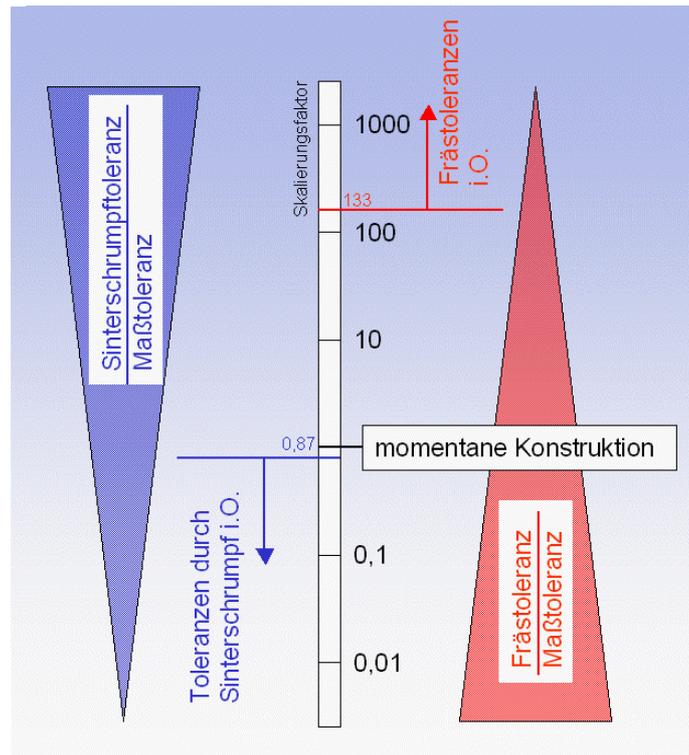


Abbildung 7: Verfahrensbedingte Toleranzarten und ihre Auswirkung auf die Bauteildimension

Um mit der derzeit eingesetzten Fertigungstechnologie Mikrofräsen die Fertigungstoleranzen einhalten zu können, muss das zu fertigende Bauteil eine Mindestgröße aufweisen. Das kleinste Zahnrad, bei dem die engste Fertigungstoleranz mindestens $20\mu\text{m}$ beträgt, hat laut DIN 58405 ein Kopfkreisdurchmesser von mindestens 200 mm und liegt somit mehr als zwei Größenordnungen über dem Durchmesser der momentanen Konstruktion.

Da die Ungenauigkeiten durch den Sinterschrumpf proportional mit der Bauteilgröße abnehmen, muss im Gegenzug hierzu das Bauteil eine gewisse Höchstgröße unterschreiten, damit die aus dem Fertigungsprozess des Pulverspritzgießens bedingten Toleranzen eingehalten werden können. Dies geht konform mit dem Ziel der steten Miniaturisierung des Demonstrators. Die Grenze, ab derer diese Bedingung erfüllt ist, liegt nur wenig unterhalb der derzeitig angestrebten Größe.

Als Hauptproblem aus dieser Toleranzbetrachtung wird deutlich, dass für eine Massenproduktion ohne Auslesepaarung sich die Bereiche, in denen die Fertigungstoleranzen durch das Fräsen bzw. Sintern eingehalten werden können, überlappen sollten. Befinden sich die Sinterschrumpftoleranzen bezogen auf die momentane Demonstratorgröße schon in dem gewünschten Größenspektrum, so liegt ein Hauptaugenmerk nun auf der weiteren Verkleinerung und Optimierung der eingesetzten Zerspanwerkzeuge.[1]

2.Stufe rechner- und methodenunterstützter Optimierung hinsichtlich Miniaturisierung

Bei der Implementierung der ermittelten Verzahnungstoleranzen in die bisher toleranzfrei optimierte Planetenradstufe, blieb die Achsabstandstoleranz zunächst unberücksichtigt, da sie sich deutlicher auf die Getriebedimensionen auswirkt und daher gesondert zu betrachten ist. Um eine effektive Profilüberdeckung von mindestens $\epsilon = 1$ zu wahren, wurde sukzessive der Eingriffswinkel unter Anpassung der Profilverschiebungsfaktoren erhöht. Erst zur Vermeidung von Hinterschnitt und Spitzenbildung der Zähne sollte der Modul erhöht werden. Abbildung 8 stellt die erzielbaren Profilüberdeckungen für verschiedene Eingriffswinkel und Modulen dar.

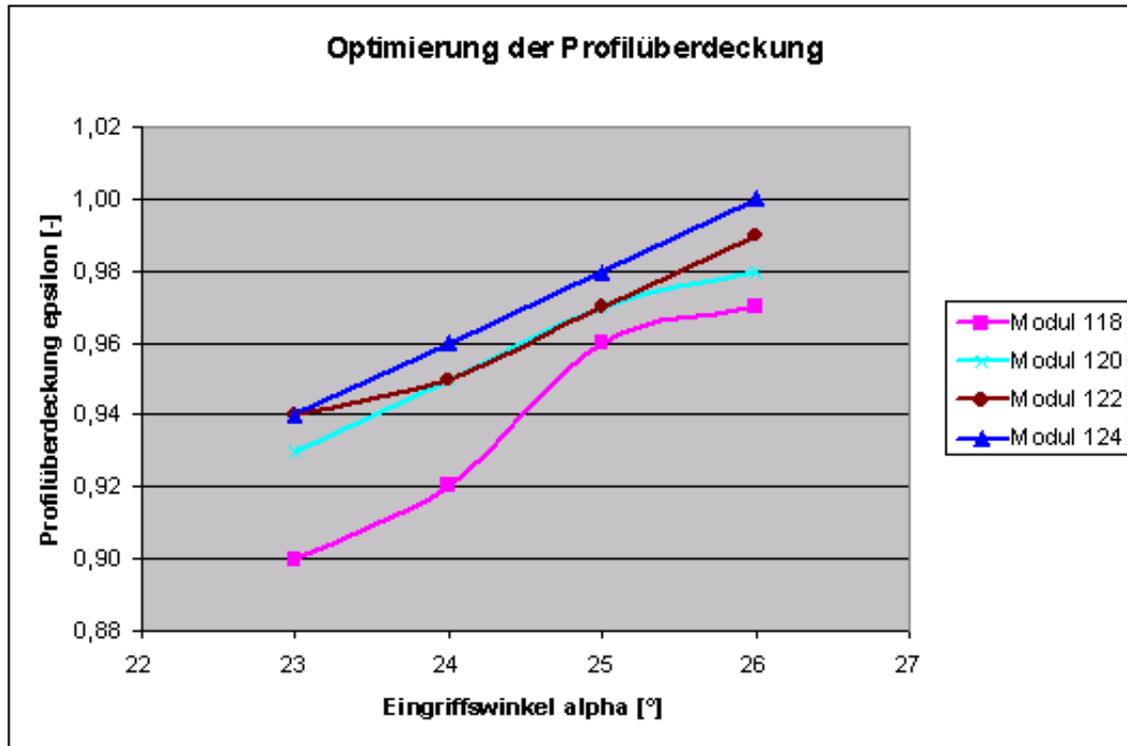


Abbildung 8: Variation von Verzahnungsparametern zur Optimierung der Profilüberdeckung

Die nun noch zu integrierenden Achsabstandsabmaße sind zum einen aus den extrapolierten Wertetabellen der Feinwerktechniknorm entnommen, zum anderen bestand die Überlegung, dass die Planetenräder mit einer Nabenbohrung versehen werden und sich dort eine Gleitlagerstelle ausbildet. Aus der Untersuchung realisierter Mikrosysteme fordert [7] für funktionstüchtige Mikro-Gleitlager ein Mindestlagerspiel von $4 \mu\text{m}$. Ziel des letzten Optimierungsschrittes sollte sein, für die ungünstigste Kombination der Abmaße aus Planetenträger und Nabenbohrung des Planeten einen unteren Wert der effektiven Profilüberdeckung von gerade 1 zu garantieren.

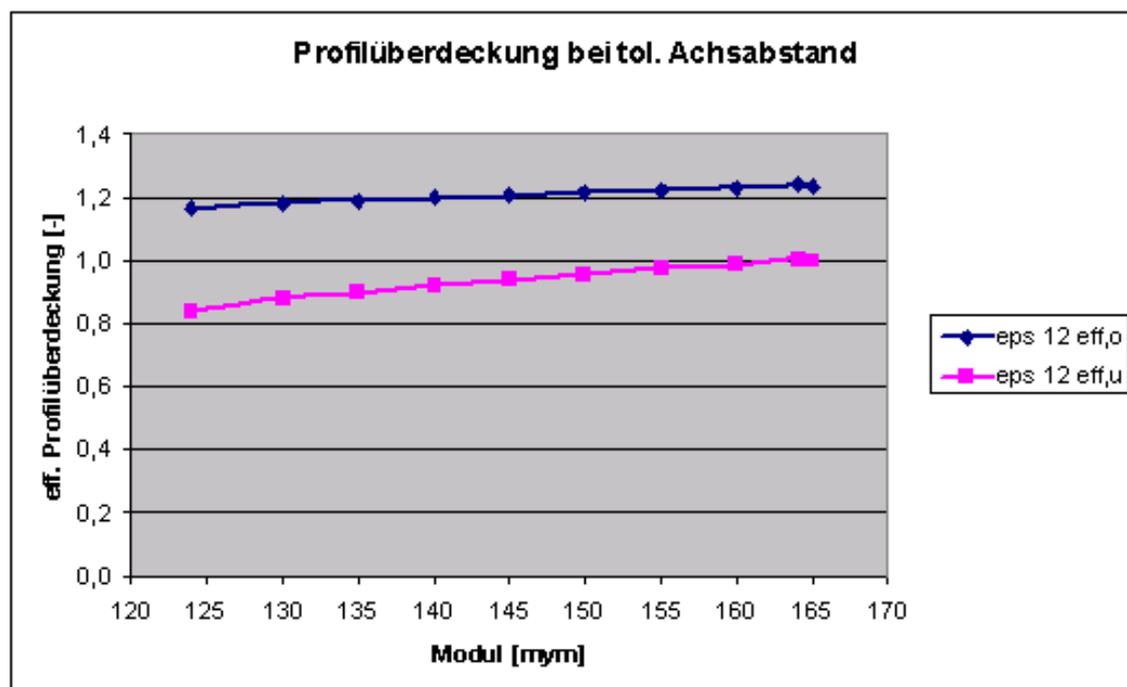


Abbildung 9: Einfluss des Moduls auf die Profilüberdeckung bei toleriertem Achsabstand

In Abbildung 9 wurde für die kritischere Außenradpaarung Sonne-Planet der obere und untere Wert für die effektive Profilüberdeckung aufgetragen. Erst eine massive Steigerung des Moduls führte zur Erfüllung der Forderung, was den dominanten Einfluss der Achsabstandsabweichung veranschaulicht.

In der endgültigen Fassung weist das entwickelte Mikro-Planetengetriebe eine Gesamtprofilüberdeckung von $\epsilon = 1,12$ auf. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass ein Mikro-Planetengetriebe unter den gegebenen Randbedingungen ein $\Delta\epsilon$ von mindestens 0,12 beinhalten muss, um den Toleranzanforderungen gerecht zu werden und das Verzahnungsgesetz zu erfüllen.

Entwurf des Mikro-Planetengetriebes

Für den Entwurf des Mikro-Planetengetriebes wurden aus den modifizierten Berechnungsdaten der Zahnradberechnung in KISSsoft [5] die verzahnten Komponenten über eine Datenschnittstelle (Abbildung 10) als CAD-Datenmodell exportiert und in ein 3D CAD-System eingelesen.

Eine unterstützende Anwendung der Berechnungssoftware KISSsoft [5] war hier nur mit Einschränkungen möglich, da Parameter aufgrund mikrospezifischer Dimensionen außerhalb von der Software zugelassener Wertebereiche lagen und somit Anpassungen erforderlich waren.

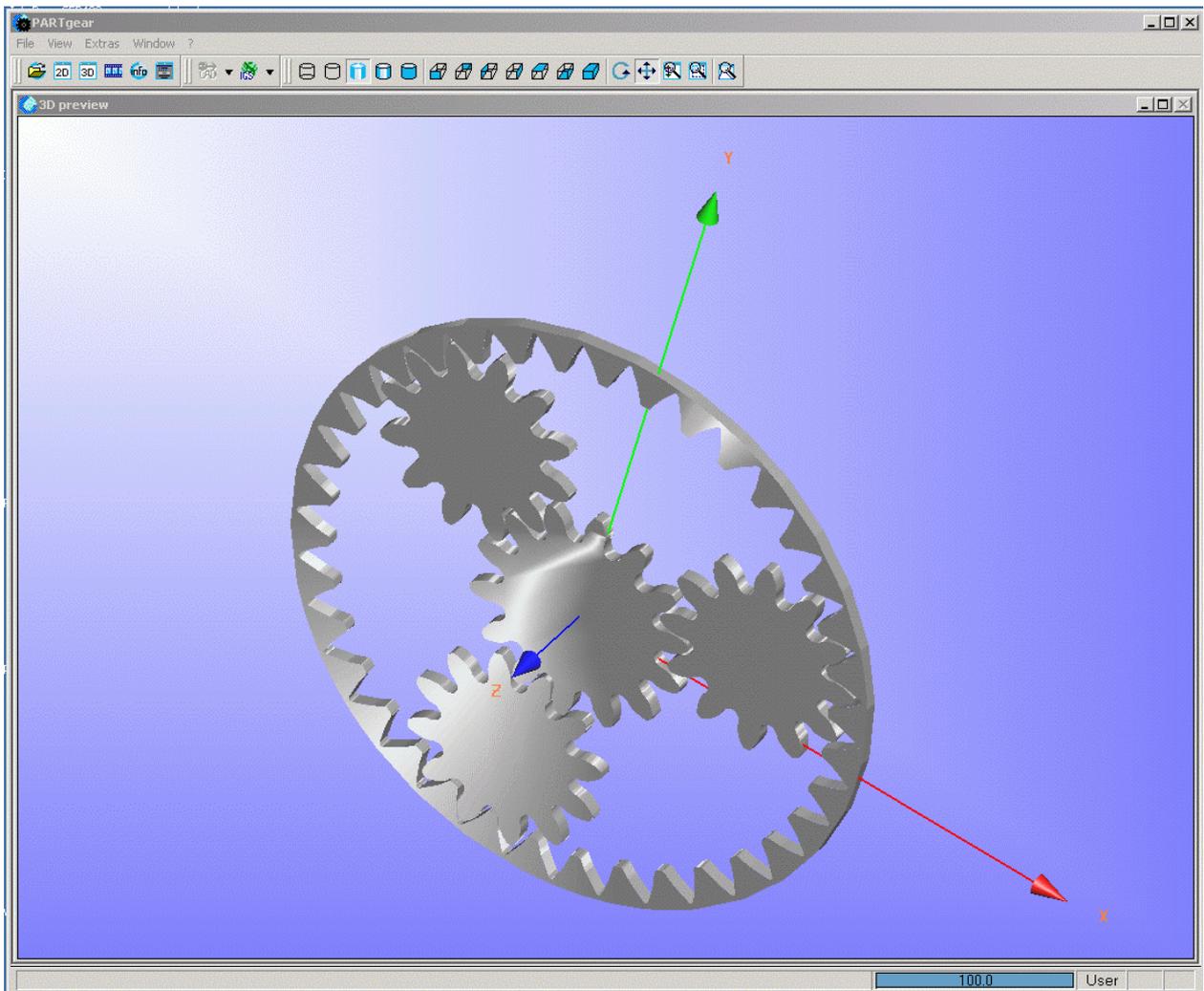


Abbildung 10: In KISSsoft [5] berechnete Planetenradkomponenten für den Export über die Datenschnittstelle

Im 3 D CAD-System wurden die Bauteile auf Zielmaß skaliert und die Ausgestaltung der Wirkflächen und der umliegenden Leitstützstruktur (Gehäuse, Lager,...) [4] bis zum vollständig definierten 3D-Produktmodell vorgenommen. Die Gestaltung der Bauteile und Strukturdetails erfolgte unter Nutzung und Einhaltung der definierten Konstruktionsregeln. Eine Explosionsdarstellung aller Getriebekomponenten zeigt Abbildung 11.

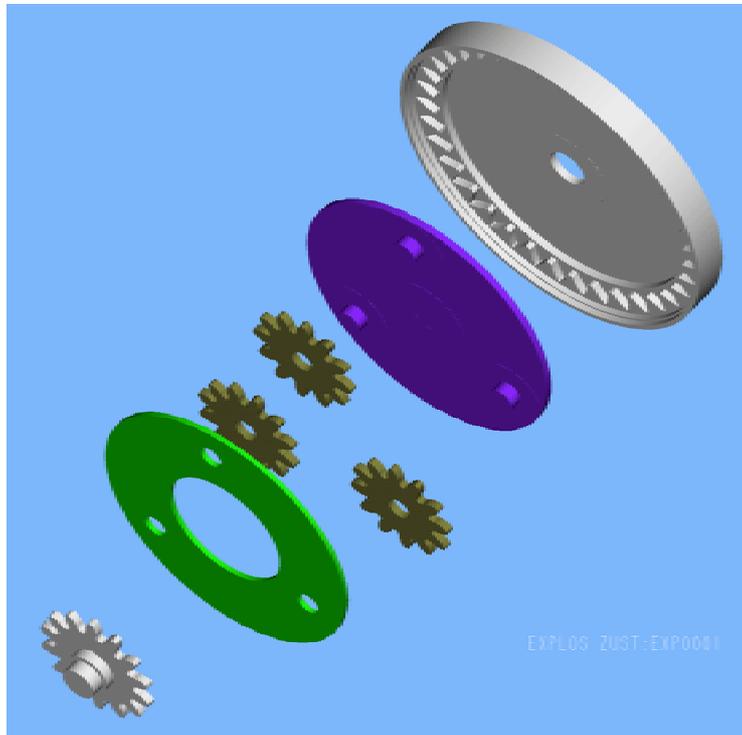


Abbildung 11: Entwurf des Mikro-Planetengetriebes nach Ausgestaltung der Wirkflächen und Leitstützstrukturen

Laufende wissenschaftliche Arbeiten beschäftigen sich mit der rechnerinternen Abbildung von Konstruktionsregeln, die dem Konstrukteur über eine eigens programmierte Schnittstelle in einer wissensbasierten Entwurfsumgebung bereitgestellt werden.

Die vorgestellten Forschungsarbeiten werden von der DFG im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 499 „Entwicklung, Produktion und Qualitätssicherung urgeformter Mikrobauteile aus metallischen und keramischen Werkstoffen“ gefördert.

Literatur- bzw. Quellenhinweise:

- [1] Albers, A., Burkardt, N., Marz, J., Ohmer, M. Erarbeitung eines Toleranzkonzeptes und Implementierung in ein Mikro-Planetengetriebe. Konstruktion - Zeitschrift für Produktentwicklung Band 53, Heft 11-12, S. 38-41. 2001. Düsseldorf, Springer VDI-Verlag.
- [2] Albers, A., Marz, J. Restrictions in the design of gear wheel components and drives for micro technology. Book of abstracts of the Fourth International Workshop on High-Aspect-Ratio Micro-Structure Technology (HARMST), June 17-19 , pp.257f. 2001. Baden-Baden, Germany.
- [3] Albers, A., Burkardt, N., Marz, J. Restrictions in the design of gear wheel components and drives for micro technology. Microsystem Technologies accepted 24 september 2001, still to be published. 2002. Berlin Heidelberg, Springer.
- [4] Albers, A., Matthiesen, S. Konstruktionsmethodisches Grundmodell zum Zusammenhang von Gestalt und Funktion technischer Systeme. Konstruktion - Zeitschrift für Produktentwicklung Band 54 Heft 7/8. 2002.
- [5] KISSsoft Berechnungsprogramme für den Maschinenbau. 2002. <http://www.kisssoft.ch>
- [6] Marz, J. Beschränkte Mikrowelt - Restriktionen bei der Konstruktion von Zahnradgetrieben für die Mikrotechnik. f&m Feinwerktechnik Mikroelektronik Band 109, Heft 1-2, 51. 2001. München, Hanser Verlag.
- [7] Thürigen, Ch. Zahnradgetriebe für Mikromotoren. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 1 Nr.326, Berichte aus dem Institut für Mikrotechnik Mainz . 2000. Düsseldorf, VDI Verlag.

Autorenangabe(n):

Titel Vorname Nachname

Titel Vorname Nachname

Einrichtung, Straße, PF

PLZ, Ort

Tel.:

Fax:

E-mail:

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Albert Albers

Dipl.-Ing. Jochen Marz

Universität Karlsruhe (TH), Kaiserstrasse 12, Postfach 6980

76128 Karlsruhe

0721 608-2371

0721 608-6051

marz@mkl.uni-karlsruhe.de