

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 15747 N der Forschungsvereinigung Forschungsgesellschaft Stahlverformung e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und –entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die Langfassung des Abschlussberichtes kann bei der FSV, Goldene Pforte 1, 58093 Hagen, angefordert werden.

# Forschungsgruppe Draht und Federn der TU Ilmenau

## **1. Forschungsthema**

Lebensdauervorhersage für Schraubendruckfedern

## **2. Problemstellung**

Die Anforderungen an das Maschinenelement Schraubendruckfeder werden von Seiten der Anwender zunehmend erhöht. Vor allem bei Tragfedern, Ventildruckfedern und Kupplungsfedern werden auf Grund der hohen Folgekosten im Falle eines technischen Versagens umfangreiche und zeitintensive Lebensdauertests gefordert. Dies erhöht den Kosten- und Zeitaufwand für die Entwicklung neuer Produkte und schränkt die zeitnahe Reaktion der Hersteller auf spezielle Kundenwünsche ein. Es besteht die Notwendigkeit, die erforderlichen Lebensdauertests in Umfang und Zeitbedarf zu reduzieren, so dass die Konkurrenzfähigkeit auf dem internationalen Markt durch verkürzte Produktentwicklungszeiten verbessert und ausgebaut wird. Hierfür bietet die numerische und experimentelle Simulation des Lebensdauerverhaltens einen erfolgversprechenden Ansatzpunkt.

Erste Ergebnisse eines Vorprojektes, das durch den Verband der Automobilindustrie (VDA) angeregt und gemeinsam mit dem VDFI finanziert wurde, zeigen, dass sowohl in der numerischen wie auch in der experimentellen Ermittlung der Betriebsbeanspruchungen von Schraubendruckfedern zusätzliche wissenschaftliche Untersuchungen notwendig sind. Insbesondere die während des Betriebs von Federn auftretenden bauteilspezifischen Besonderheiten können zum gegenwärtigen Stand der Technik nicht genau spezifiziert werden. Für die Erzeugung eines realitätsnahen Modells zur Abschätzung der Lebensdauer sind umfangreiche Untersuchungen notwendig.

Im Forschungsprojekt werden der herstellungsbedingte Eigenspannungsaufbau und die betriebsbedingten Einflussfaktoren untersucht, so dass auf Basis dieser Ergebnisse realitätsnahe Modelle erstellt und die Lebensdauer von Schraubendruckfedern besser abgeschätzt werden kann.

## **3. Forschungsziel**

Im Rahmen des Projektes wird die Vorhersage der Lebensdauer von Schraubendruckfedern unter Berücksichtigung der bauteilspezifischen Besonderheiten angestrebt. Dies erfolgt unter Verwendung von kommerzieller Software oder einem auf Versuchen basierenden Lebensdauergesetz. Ziel ist eine Verkürzung des Produktentstehungsprozesses durch Reduzierung bisher notwendiger zeit- und kostenaufwendiger Lebensdaueruntersuchungen. Dafür werden realitätsnahe Modelle, die bauteilspezifische Besonderheiten wie große Verformungen, dynamische Spannungsüberhöhungen und Eigenspannungen aus Draht- und Federherstellung berücksichtigen, benötigt. Für den erfolgreichen Abschluss des Forschungsprojektes war die genaue Untersuchung der herstellungs- und betriebsbedingten Einflussfaktoren notwendig.

Die Erreichung folgender Ergebnisse waren Teilziele der Untersuchungen:

- Erkenntnisse über den schrittweisen Aufbau der Eigenspannungen in Folge der Herstellungsschritte der Schraubendruckfeder
- Definition und Wichtung der Einflussgrößen aus der Federherstellung auf die Lebensdauer
- Einarbeitung der Kenntnisse über den schrittweisen Aufbau der Eigenspannungen in vorhandene FEM -Modelle zur Ermittlung eines realitätsnahen Spannungszustandes der Feder während der Betriebsbeanspruchung
- Aussagen zur zweckmäßigen Generierung von Werkstoff -Wöhlerlinien durch experimentelle Untersuchungen oder Übertragung von statischen Festigkeitskennwerten
- Aufnahme von Bauteil -Wöhlerlinien unter Berücksichtigung der herstellungsbedingten Einflussfaktoren und Untersuchungen zu deren Erzeugung aus statischen und dynamischen Werkstoffkennwerten
- Ableitung von Lebensdauergesetzen unter Berücksichtigung von federspezifischen Besonderheiten und Betriebsspannungen

## **4. Vorgehensweise**

Zur Erreichung des Forschungsziels des Projektes „Lebensdauervorhersage für Schraubendruckfedern“ wurde unter Berücksichtigung des Standes von Forschung und Technik sowie der wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Problemstellung folgender Lösungsweg verfolgt.

1. Analyse und Bewertung der theoretischen Ansätze zur Lebensdauerermittlung im Hinblick auf ihre Anwendbarkeit auf Federn bzw. Federungen
2. Überlegungen zur zweckmäßigen experimentellen Ermittlung von Bauteilwöhlerlinien und zur experimentellen Überprüfung der Lebensdauer von Schraubendruckfedern
3. Ermittlung des Eigenspannungszustandes an Draht- und Federproben
4. Weiterentwicklung bisher vorhandener FEM- Modelle der Feder bzw. Federungen als Grundlage für die Ermittlung der Lebensdauer

5. Entwicklung von Methoden und Modellen zur Berechnung von Lebensdauer und Schadensort auf Basis der Spannungsergebnisse der weiterentwickelten FEM- Federmodelle
6. Experimentelle Ermittlung von Wöhlerlinien
7. Experimentelle Überprüfung und Validierung der FEM- Modelle zur Spannungsberechnung (mittels Dehnmessstreifentechnik)
8. Überprüfung und Bewertung der im Vorfeld der Antragsstellung festgelegten Vorschläge für die zeit- raffende experimentelle Simulation des Lebensdauerverhaltens

## 5. Ergebnisse

### 5.1. Analyse und Bewertung der theoretischen Ansätze zur Lebensdauerabschätzung

Für die Ermittlung der Lebensdauer von Schraubendruckfedern wurden drei Herangehensweisen untersucht.

- Lebensdauerermittlung über rechnerische Verfahren (FKM, RifestPLUS, ANSYS-Fatigue-Modul)
- Lebensdauerermittlung über Versuche zur Generierung von Lebensdauergesetzen
- Lebensdauerermittlung über Schädigungsparameter

Für die Validierung aller Herangehensweisen sind experimentelle Untersuchungen in unterschiedlichem Umfang notwendig.

Die **Lebensdauerberechnung über rechnerische Verfahren** setzt die Kenntnis des Spannungszustandes voraus. Dieser entsteht durch eine Überlagerung von Eigen- und Betriebsspannungen. Die Eigenspannungen können einerseits aus Parametern des Herstellprozesses berechnet und andererseits durch Messungen an der fertigen Feder ermittelt werden. Die Betriebsspannungen lassen sich über analytische Verfahren oder FEM-Modelle berechnen beziehungsweise durch Messungen mittels Dehnmessstreifentechnik (DMS-Technik) bestimmen. Durch die Überlagerung beider Spannungen ergibt sich der Gesamtspannungszustand der Feder während des Betriebes. Mit diesem lässt sich durch Übernehmen in den Berechnungsablauf der FKM-Richtlinie [1], in die Software RifestPlus oder in den ANSYS-Fatigue Modul bei anschließender Beschreibung von Lastkollektiven und zulässigen Beanspruchungen die Lebensdauer der Feder rechnerisch abschätzen.

Die FKM-Richtlinie ist eine Rechengrundlage zur Bestimmung des Auslastungsgrades von Bauteilen. Ausgehend von der Zugfestigkeit  $R_m$  werden durch Korrekturfaktoren statisch generierte Werkstoffkennwerte auf dynamische Festigkeitswerte des Bauteils übertragen. Die Korrekturfaktoren, die zur Abschätzung der Lebensdauer benötigt werden, können aus statischen Materialkennwerten berechnet, bzw. durch Versuche ermittelt werden.

Für die Erzeugung eines **Lebensdauergesetzes** bildet eine einfache analytische Gleichung die Grundlage. Diese berücksichtigt die herstellungs- und betriebsbedingten, die Lebensdauer beeinflussenden Größen mittels experimentell im Projekt zu bestimmenden Faktoren. Für die vollständige Beschreibung einer derartigen Gleichung bilden umfangreiche Versuchsreihen die Grundlage. Dafür werden durch Auswertung der Versuchsergebnisse mittels Regression die Faktoren für die verschiedenen Einflussgrößen ermittelt. Im Rahmen des Projektes wurden insgesamt ca. 2000 Federbrüche für unterschiedliche Herstellungsvariationen und Belastungsspannungen erzeugt und bewertet. Versuche der statistischen Auswertung haben keine ausreichend signifikanten Ergebnisse erbracht, so dass die Ableitung eines Lebensdauergesetzes nicht sinnvoll möglich war. Für die Ableitung wäre eine größere Datenbasis erforderlich. In Folgeprojekten kann die vorhandene Datenbasis erweitert werden.

Die **Lebensdauerermittlung über Schädigungsparameter** erfolgt über auf Versuchen basierende Schädigungsparameter- Wöhlerlinien. Bei Dauerschwinguntersuchungen an Schraubendruckfedern haben sowohl die Spannungsamplitude (Dehnungsamplitude) als auch die Mittelspannung (Mitteldehnung) Einfluss auf die Lebensdauer. Der Zusammenhang zwischen der Mittelspannung und der ertragbaren Spannungsamplitude wird durch den Schädigungsparameter nach Smith, Watson und Topper [2] hergestellt.

Werden Mittelspannung und Spannungshub (Spannungsamplitude) so variiert, dass der sich ergebende Schädigungsparameter konstant ist, sollten die Versuchspunkte näherungsweise in einem Streuband zusammenfallen [3]. Beim Abtragen von Versuchspunkten für verschieden große Schädigungsparameter über die ertragbare Schwingspielzahl in einem Diagramm ergibt sich die Schädigungsparameter-Wöhlerlinie. Diese gilt lediglich für einen bestimmten Herstellprozess der Feder. Die Anwendung des Schädigungsparameters  $P_{SWT}$  zum Vergleich von Ergebnissen aus Dauerschwingversuchen bei unterschiedlichen Mittelspannungen ist in einem kleinen Mittelspannungsbereich möglich. Für eine Anwendung bei Ventildedern ist aufgrund der betriebsbedingten geringen Mittelspannungsvariation der  $P_{SWT}$  -Wert gut geeignet. Im Gegensatz dazu treten bei Achsfedern betriebsbedingt große Variationen der Mittelspannung auf. Deshalb ist die Anwendung des  $P_{SWT}$  -Wertes auf Achsfedern nur in begrenztem Maße möglich. Aus diesem Grund wurde ein neuer Schädigungsparameter  $P_{RKK}$  entwickelt, der einen Vergleich von Dauerschwingergebnissen bei großen Mittelspannungsvariationen unter Voraussetzung der Kenntnis der Mittelspannungsempfindlichkeit des Materials erlaubt und damit in einem größeren Mittelspannungsbereich mit guten Ergebnissen anwendbar ist.

## 5.2. Überlegungen zur zweckmäßigen experimentellen Ermittlung von Bauteil- Wöhlerlinien und Definition dafür notwendiger Versuchsbedingungen

Auf Grund der unterschiedlichen Auslegungskriterien von Achs- und Ventildedern (zeitfeste Auslegung gegen Prüfspannungen bei Achsfedern; dauerfeste Auslegung bei Ventildedern), wurde eine Trennung der Versuchspläne vorgenommen. Weiterhin wurden die experimentellen Versuche in Versuchsstufen unterteilt. Das Ziel waren aussagekräftige Ergebnisse über den Einfluss der Federherstellung und den Einfluss der Betriebsbelastungen.

### Ventildedern

Die Auslegung der Ventildedern erfolgte durch die Firma Brand KG in Zusammenarbeit mit der Forschungsstelle. Die genauen Spezifikationen und Variationen sind im Zwischenbericht für das Jahr 2008 enthalten.

Um eine Reduzierung der notwendigen Dauerschwingversuche zu erreichen, wurden im ersten Schritt die herstellungsbedingten Einflussfaktoren untersucht. Die wichtigsten Einflussfaktoren sind das Kugelstrahlen, das Anlassen und das Vorsetzen. Die Untersuchungen zu den herstellungsbedingten Einflussfaktoren ergaben weiterhin, dass die ertragbaren Lastwechselzahlen bei unterschiedlichen Wickelverhältnissen bei mit  $k'$  korrigierten Belastungsspannungen näherungsweise überein stimmen. Deshalb erfolgte die Versuchsdurchführung entgegen der üblichen Praxis und Normung nicht mit dem Spannungsbeiwert  $k$ , sondern mit  $k'$ -korrigierten Mittelspannungen und Spannungsamplituden.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurde der Versuchsplan zur Ermittlung der Wöhlerlinien sowohl im Zeit- als auch im Dauerfestigkeitsbereich erstellt (Tabelle 1).

**Tabelle 1:** Belastungsspannungen für Wöhlerversuche

	Spannungsamplitude $Tau_{k'a}$ [MPa]											
	Federgeometrie 1 (w=6,0)						Federgeometrie 2 (w=3,7)					
$Tau_{k'm1}=550$ MPa	520	490	460	430	400	370	520	490	460	430	400	370
$Tau_{k'm2}=640$ MPa	x	x	460	430	400	370	520	490	460	430	400	370

### Achsfedern

Die Firma Mubea stellte 500 Achsfedern zur Verfügung. Zur Unterscheidung der unterschiedlichen Herstellungsvariationen wurden diese Federn farblich gekennzeichnet:

- normal kugelgestrahlt (NK), normal vorgesetzt (NV)
- normal kugelgestrahlt (NK), schwach vorgesetzt (SV)
- schwach kugelgestrahlt (SK), normal vorgesetzt (NK)
- schwach kugelgestrahlt (SK), schwach vorgesetzt (SV)

Aufgrund des hohen Zeit- und Kostenaufwandes für Dauerschwingversuche erfolgte eine Aufteilung auf drei Mitgliedsfirmen des PA. Da diese über unterschiedliche Prüftechnik verfügen, wurde vor Beginn eine Vergleichbarkeitsanalyse durchgeführt. Diese wurde Ende April 2009 mit positivem Ergebnis abgeschlossen. Im Einzelnen wurden 4 Federvariationen (Parameter: Kugelstrahlen, Vorsetzen) mit unterschiedlichen Spannungsamplituden und Mittelspannungen untersucht (Tabelle 2).

**Tabelle 2:** Betriebsbelastungen der Dauerschwingversuche bei Tragfedern (korrigiert mit  $k$ )

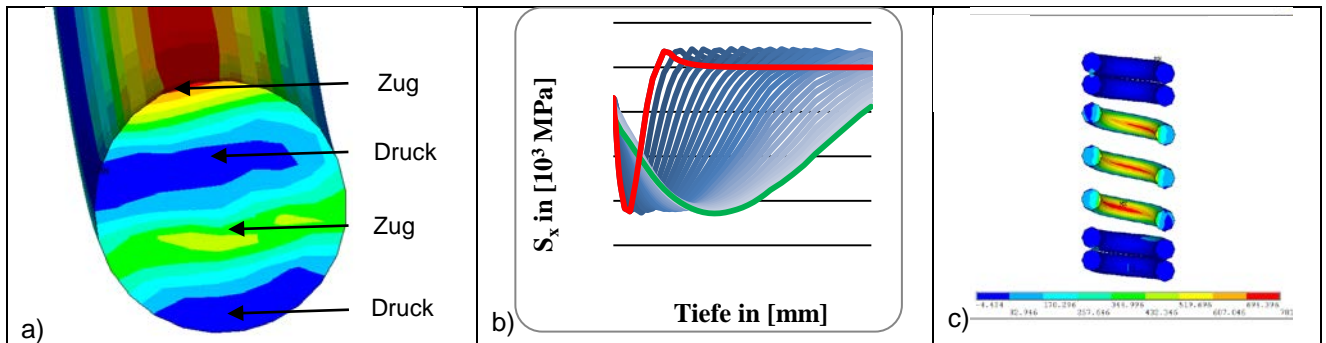
<b>Mittelspannung [MPa]</b>	<b>1118</b>			<b>884</b>				<b>650</b>		
<b>Oberspannung [MPa]</b>	1400	1350	1300	1400	1350	1300	1250	1235	1180	1142
<b>Unterspannung [MPa]</b>	836	886	936	368	418	468	518	65	104	158
<b>Spannungshub [MPa]</b>	564	464	364	1032	932	832	732	1170	1076	984

## 5.3. Ermittlung des Eigenspannungszustandes an Draht- und Federproben

Die Eigenspannungsmessungen an den Ventildedern erfolgten an der Windungsinenseite in den Tiefen  $5\mu\text{m}$ ,  $50\mu\text{m}$ ,  $100\mu\text{m}$  und  $250\mu\text{m}$ . Dabei wurden in den Tiefen  $5\mu\text{m}$  und  $250\mu\text{m}$  die Eigenspannungen in  $5^\circ$ -Schritten von  $0-180^\circ$  relativ zur Drahtachse ermittelt. Die Messungen erfolgten nach jedem Herstellungsschritt, so dass der Eigenspannungsaufbau vollständig ermittelt wurde. Die Eigenspannungsmessungen an Achsfedern erfolgten auf die gleiche Weise (Ort: Windungsinenseite, Tiefe:  $5\mu\text{m}$ ,  $50\mu\text{m}$ ,  $100\mu\text{m}$ ,  $150\mu\text{m}$ ,  $250\mu\text{m}$ ,  $400\mu\text{m}$ ,  $600\mu\text{m}$ ). Allerdings wurden nur die Eigenspannungen in der fertigen Feder ermittelt. Die Ergebnisse der Eigenspannungsmessungen sind dem Abschlussbericht zu entnehmen.

## 5.4. Weiterentwicklung vorhandener FEM-Modelle

Im Rahmen des Projektes wurden FEM-Modelle für die Berechnung der Eigenspannungen nach dem Windprozess, in Folge des Kugelstrahlprozesses und des Vorsetzprozesses der Feder entwickelt (siehe **Abbildung 1**). Weiterhin können z.B. Längenverluste durch das Federsetzen ermittelt werden.



**Abbildung 1:** FEM-Simulation der Eigenspannungsentstehung infolge der Federherstellung a) nach dem Windeprozess b) nach dem Kugelstrahlprozess c) nach dem Setzprozess

Es handelt sich hierbei um FEM-Berechnungen, die jeweils die Eigenspannungsentstehung bei einzelnen Herstellungsschritten simulieren. Die FEM-Modelle wurden in den FEM-Federprozessor eingebunden.

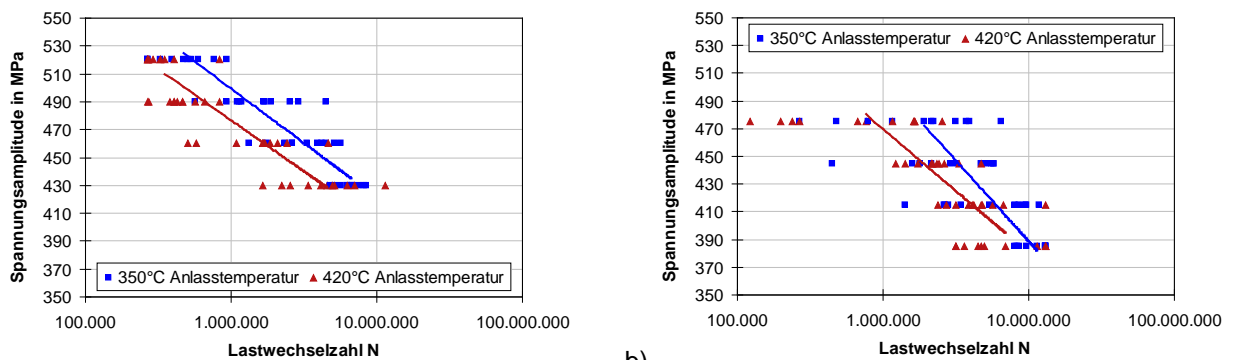
### 5.5. Entwicklung von Methoden und Modellen zur Berechnung der Lebensdauer

Es sind bereits Methoden und Modelle zur Berechnung des Auslastungsgrades von Bauteilen vorhanden. Unter Voraussetzung eines Auslastungsgrades von 1 kann mit deren Hilfe die Lebensdauer abgeschätzt werden. Allerdings handelt es sich hierbei um allgemeine Berechnungsvorschriften, in denen die bauteilspezifischen Besonderheiten von Schraubendruckfedern nicht in genügendem Umfang Berücksichtigung finden (siehe auch **Abschnitt 5.1**). Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde ein Excel-Tool entwickelt, welches die Abschätzung der Lebensdauer einer Schraubendruckfeder ermöglicht. Allerdings ist nach wie vor die Bestimmung der Übertragungsfaktoren problematisch, so dass die Ergebnisqualität nicht im notwendigen Maße erreicht werden kann. Es sind unbedingt weitere Untersuchungen notwendig, um eine Steigerung der Ergebnisqualität zu erzielen und diesen relativ einfachen und kostengünstigen Weg der Lebensdauerabschätzung auch für kleine und mittlere Unternehmen zur Verfügung stellen zu können.

### 5.6. Experimentelle Ermittlung von Wöhlerlinien

Wie auch in **Abschnitt 5.2** erfolgt eine Unterteilung der experimentellen Ermittlung von Wöhlerlinien in Achs- und Ventilfeuern.

#### Ventilfedern

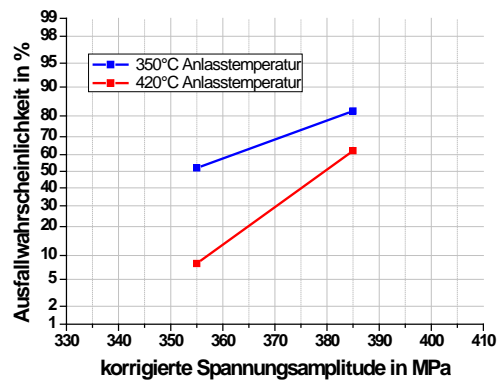
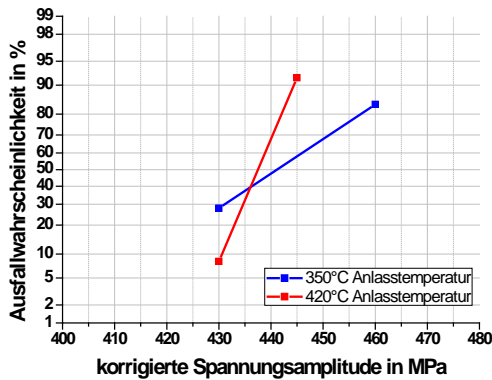


**Abbildung 2:** Zeitfestigkeitsgerade (Überlebenswahrscheinlichkeit 50 %) der Federgeometrie 2 in Abhängigkeit von Anlasstemperatur und mit  $k'$  korrigierter Mittelspannung a) 552 MPa b) 640 MPa

Für die experimentelle Ermittlung von Wöhlerlinien wurden von der Firma Brand KG in Summe 4000 Ventilfeuern für Dauerschwingversuche zur Verfügung gestellt.

Die Dauerschwingversuche zur Ermittlung der Dauerfestigkeitsamplitude wurden bis zu einer Schwingzahl von  $2 \times 10^7$  LW durchgeführt. Hierzu wurde das Abgrenzungsverfahren genutzt [3].

Wie in **Abbildung 2** und **Abbildung 3** deutlich wird, ist die Wahl der optimalen Wärmebehandlungsparameter für gewundene Schraubendruckfedern nicht allein von den Vergüteparametern und dem Ausgangsmaterial, sondern auch von der geforderten Lastwechselzahl und den beaufschlagten Betriebsspannungen abhängig.



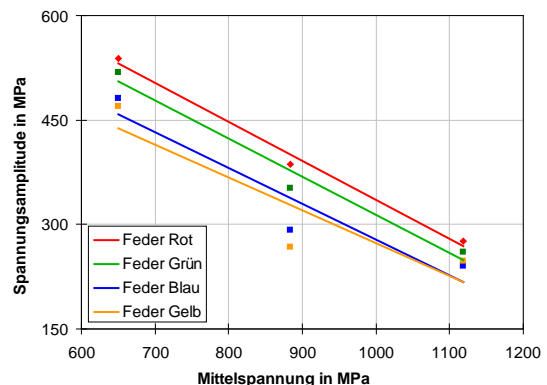
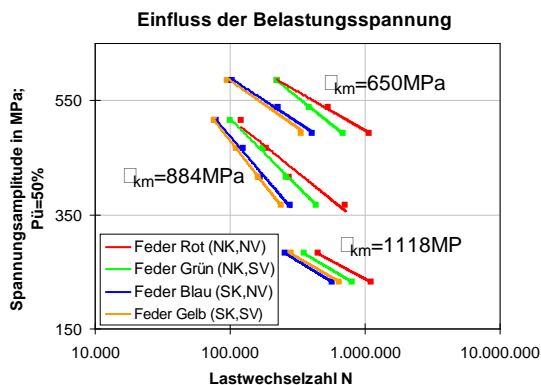
a)

b)

**Abbildung 3:** Ermittlung der Dauerfestigkeitsamplitude von Federgeometrie 2 a) korrigierte Mittelspannung 552 MPa b) korrigierte Mittelspannung 640 MPa

### Achsfedern

Durch Dauerschwingversuche wurden im Rahmen des Projektes 312 Federbrüche für unterschiedliche Herstellungsvariationen im Zeitfestigkeitsbereich erzeugt. Auf die Ermittlung der Dauerfestigkeitsamplitude ist verzichtet worden, da keine Praxisrelevanz vorlag.



a)

b)

**Abbildung 4:** Dauerschwingversuche an Achsfedern a) Einfluss der Belastungsspannung b) Mittelspannungseinfluss bei  $5 \times 10^5$  LW und  $P_{\bar{u}}=50\%$

**Abbildung 4 a** zeigt einen deutlichen Einfluss der Mittelspannung und der Spannungsamplituden auf die ertragbare Lastwechselzahl. Je höher der Betrag der Mittelspannung ist, desto niedriger ist der von der Feder bei gleicher Lebensdauer ertragbare Betrag der Spannungsamplitude.

### 5.7. Experimentelle Überprüfung und Validierung der FEM- Modelle zur Spannungsberechnung (mittels Dehnmessstreifentechnik)

Während der Projektlaufzeit wurden DMS-Messungen durchgeführt. Die betragsmäßigen Unterschiede der gemessenen Spannungen und der mit den verbesserten FEM-Modellen durchgeführten Simulationen sind bei den Entwurfsmodellen kleiner 10%, bei Vermessung und Implementierung des realen Drahtverlaufes in der Feder sind die Abweichungen <5%.

### 5.8. Überprüfung und Bewertung der im Vorfeld der Antragsstellung festgelegten Vorschläge für die zeitraffende experimentelle Simulation des Lebensdauerhaltens

Die zeitraffende experimentelle Simulation des Lebensdauerhaltens von Schraubendruckfedern mittels der Vorschläge aus der Antragsstellung ist nur bedingt möglich. Sowohl musterprozessbegleitende, als auch produktionsbegleitende Dauerschwingversuche bei Achs- und Ventildfedern werden bei maximaler Hubspannung durchgeführt. Aus diesem Grund müssen Überlastversuche als zeitraffende experimentelle Simulationen des Lebensdauerhaltens zum größten Teil ausgeschlossen werden. Prinzipiell besteht jedoch immer die Möglichkeit, mit betragsmäßig höheren Belastungsspannungen Dauerschwingversuche durchzuführen, um mit deren Ergebnis durch Kenntnis der Neigung der Wöhlerlinie im Zeitfestigkeitsbereich und der Mittelspannungsempfindlichkeit des Werkstoffes extrapolierend auf die ertragbare Lebensdauer bei niedrigeren Belastungsspannungen zu schließen.

Jedoch wurde während der Projektlaufzeit eine weitere Möglichkeit der zeitraffenden experimentellen Simulation erarbeitet. Dabei wird der Eigenspannungszustand der Feder durch Weglassen der Kugelstrahlbehandlung dahingehend beeinflusst, dass die ertragbare Lastwechselzahl bei vorgegebener Beanspruchung stark reduziert ist. Durch Dauerschwingversuche wird die ertragbare Lastwechselzahl ermittelt. Anschließend erfolgt durch Kenntnis der Neigung der Wöhlerlinie im Zeitfestigkeitsbereich die Extrapolation der zulässigen Spannungsamplitude für höhere Lastwechselzahlen. Nach Überlagerung des sich ergebenden

Werkstoffkennwertes mit der erwarteten Druckeigenspannung in Folge des Kugelstrahlprozesses kann nach dem Prinzip der lokalen Dauerfestigkeit die Lebensdauer und der zu erwartende Schadensort abgeschätzt werden. Die Zeiteinsparung dieser Methode ist gleich der Erhöhung der Lebensdauer durch die Kugelstrahlbehandlung der Feder und liegt ca. bei Faktor 10-20. Zusätzlich werden für diese Herangehensweise Eigenspannungsmessungen an der gleichen, kugelgestrahlten Feder oder Simulationsrechnungen mit dem im Projekt entwickelten FEM –Modell benötigt. Diese Herangehensweise wurde an wenigen Probefedern mit positivem Ergebnis durchgeführt und bedarf weiterer Validierung.

## 6. Praktischer Nutzen/Wirtschaftlichkeit

Folgende praktisch nutzbare Ergebnisse wurden im Rahmen des Projektes erzielt:

- Achsfeder-Wöhlerlinien für 54SiCr6; 12 mm Drahtdurchmesser
- Ventulfeder-Wöhlerlinien für OTEVA 70 RD SC; 3,75 mm Drahtdurchmesser
- Modelle zur FEM-Simulation der Eigenspannungen in Folge des Federwindens, des Anlassens, des Kugelstrahlens und des Federvorsetzens
- Berechnungsvorschrift für Schraubendruckfedern in Anlehnung an die FKM-Richtlinie in Form einer Excel-Tabelle
- Definition der Eigenspannungsausprägung in Folge verschiedener Federherstellungsschritte
- Ermöglichung der zeitraffenden experimentellen Simulation
- Ableitung eines neuen Schädigungsparameters für Schraubendruckfedern ( $P_{RKK}$ )
- Validierung der besseren Vergleichbarkeit von Ergebnissen aus Dauerschwingversuchen unterschiedlicher Federgeometrien bei Verwendung von mit  $k'$ -korrigierten Spannungen

Die genannten Ergebnisse können schnell umgesetzt werden und reduzieren sowohl während der Produktentwicklung als auch serienbegleitend deutlich den Aufwand an kostenintensiven Dauerschwingversuchen.

## 7. Umsetzung und Ergebnistransfer

Die Forschungsstelle wurde bei der Durchführung des Vorhabens von einer sachverständigen Arbeitsgruppe aus leitenden Mitarbeitern der Federnindustrie, die durch halbjährliche Zusammenkünfte mit der Forschungsstelle den Erkenntnistransfer in die Praxis sicherten, unterstützt. Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens wurden bereits auf der Jahreshauptversammlung des Verbandes der Deutschen Federnindustrie vorgestellt. Weiterhin sind Veröffentlichungen in Fachzeitschriften wie „DRAHT“ und „WIRE“ in Planung sowie Vorträge auf Fachtagungen wie den „Ilmenauer Federntag“ und „DGM – Werkstoffprüfung 2010“ für das 4. Quartal 2010 eingereicht und zum Vortrag freigegeben. Ebenso erfolgt im Dezember 2010 für die Mitgliedsfirmen des VDFI eine Präsentation des Forschungsvorhabens zur Umsetzung der Ergebnisse in die betriebliche Praxis.

Im Rahmen des Projektes erstellte Berechnungsgrundlagen wie z.B. die Umsetzung der FKM –Richtlinie in einem Exceltool und die Herangehensweise zur Nutzung des Prinzips der lokalen Dauerfestigkeit zur zeitraffenden experimentellen Simulation werden bereits in verschiedenen Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses validiert und teilweise zur Anwendung gebracht.

## 8. Literatur

- [1] Hänel, B.; Haibach, E.; Seeger, T.; Wirthgen, G.; Zenner, H.; FKM-Richtlinie, Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile; 5. erweiterte Ausgabe 2003; Forschungskuratorium Maschinenbau (FKM)
- [2] Smith, K.N.; Watson, P.; Topper, T.H.: A stress-strain function for the fatigue of metals. J. of Materials 5 (1970) Nr.4, S. 767/78
- [3] Haibach, E: Betriebsfestigkeit, Verfahren und Daten zur Bauteilberechnung, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2002

## Ansprechpartner

[Dipl.-Ing. Rene Reich](#), TU Ilmenau, Fak. für Maschinenbau, [Forschungsgruppe Draht und Federn](#), Max-Planck-Ring 12, 98693 Ilmenau, Tel.: +49 3677 - 69 18 55, Fax: +49 3677 - 69 12 59, <mailto:rene.reich@tu-ilmenau.de>