



Gradientenstahl für Achsfedern

Dipl.-Ing. Alexander Tump;

Prof. Dr. rer. nat. Robert Brandt;

Dipl.-Ing. Steffen Klapprott

Ilmenau, 26. September 2013

Förderung durch:

Den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und den Europäischen Sozialfonds (ESF)

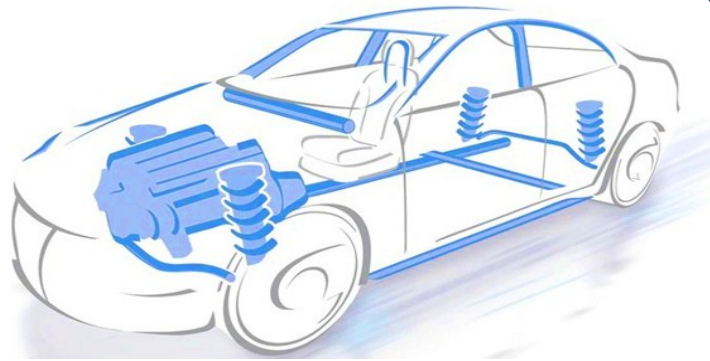


Projektdaten:

Name: Innovative Achsfeder

Laufzeit: bis Ende 2014

Schwerpunkt: Randschichtmodifikation von Silizium-Chrom-Stählen am Beispiel einer Tragfeder



1

Einleitung

2

Prozesstechnologie der Mubea Drahtfertigung

3

Beanspruchbarkeit einer Achsfeder und Methoden zur Erhöhung der Beanspruchbarkeit

4

Konzept der Surface Layer-Modification (SLM)

5

Achsfederoptimierung mit SLM

6

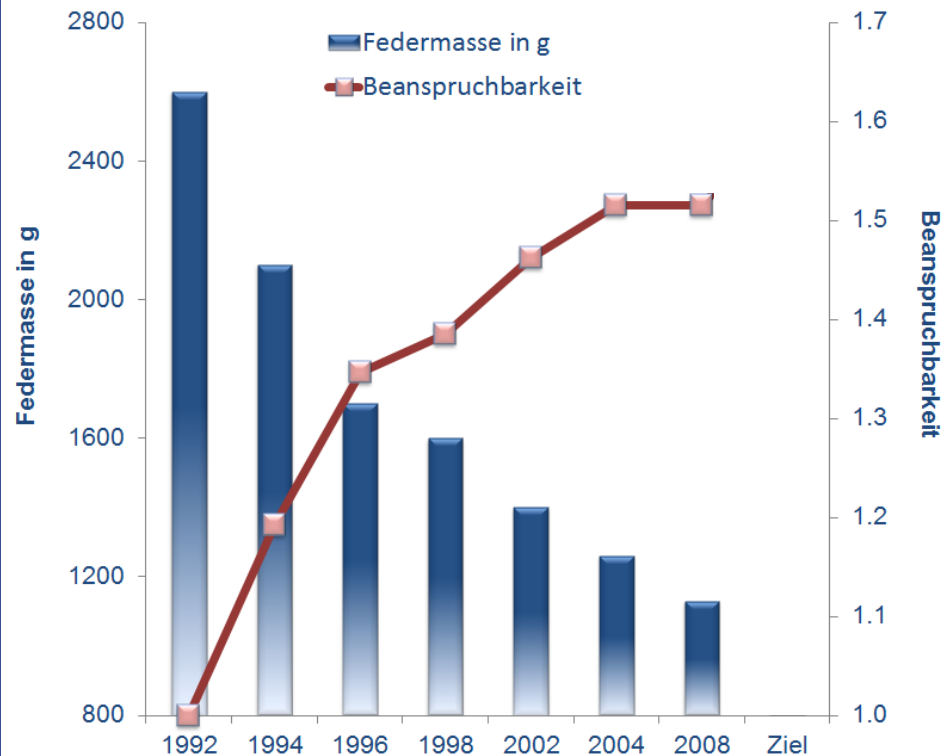
Erhöhung der Korrosionsresistenz mit SLM

7

Zusammenfassung

Entwicklung der Mubea Technologie

- **1995:** Hochfestes Material
- **1997:** Spannungskugelsstrahlen
- **2003:** High Performance Process (HPP)
 - Steigerung der Beanspruchbarkeit
 - Steigerung der Robustheit



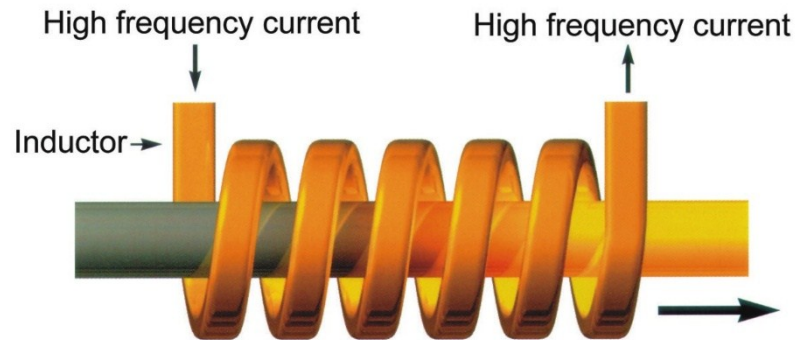
Ziele

- Gewichtsreduktion um 10%
- erhöhte Robustheit
- verbesserter intrinsischer Korrosionsschutz

Umsetzung

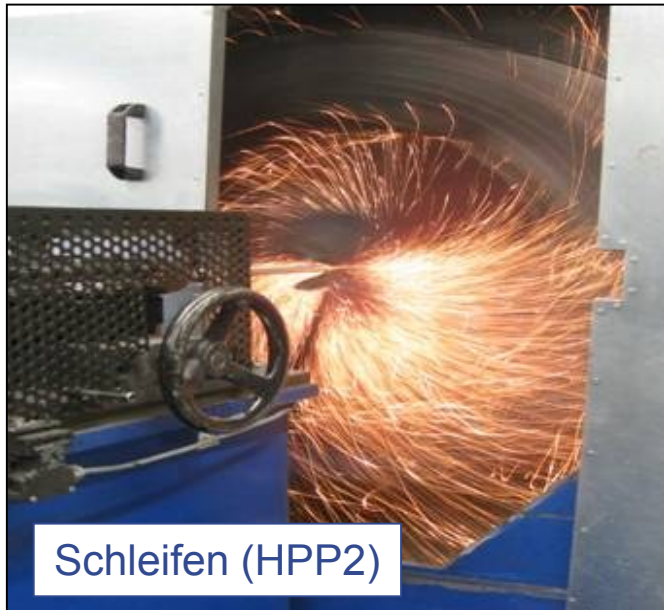
- Prozessoptimierung → **SLM + HPP2**

Um bei erhöhter Robustheit weitere Gewichtsreduktion zu erreichen, hat Mubea die Surface Layer Modification (SLM) Technologie für Achsfederdraht entwickelt.



Inductive Tempered Wire (ITW)

- **1995:** Inhouse Fertigung
- induktiv vorvergüteter Federdraht für höchstbeanspruchte Leichtbaufedern
- homogene, feinkörnige Gefüge
- Zugfestigkeiten bis $R_m = 2100$ MPa.



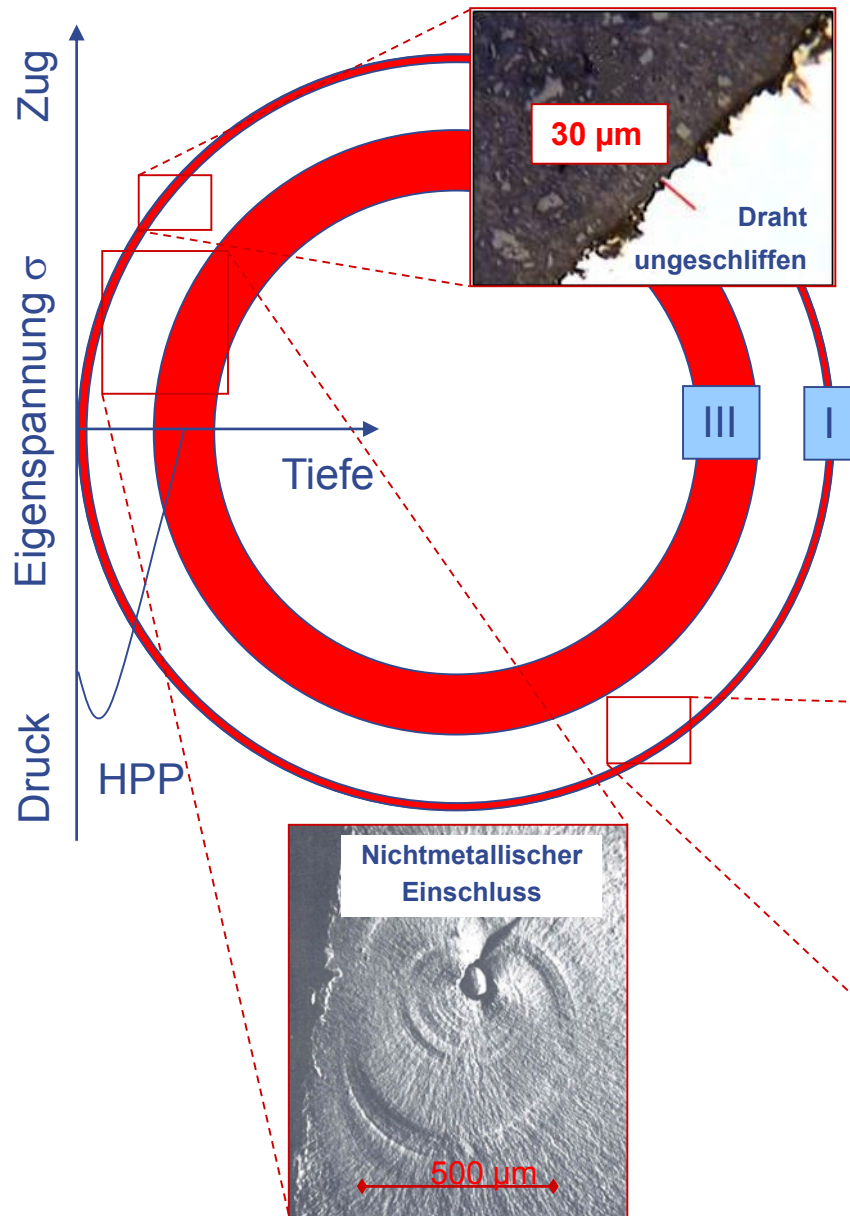
High Performance Process 2 (HPP2)

- **2008:** Schleifen der Oberfläche
- Entfernen von Oberflächenfehlern
- Eliminierung von Randentkohlung
- Erhöhung der Beanspruchbarkeit

Surface Layer Modification (SLM)

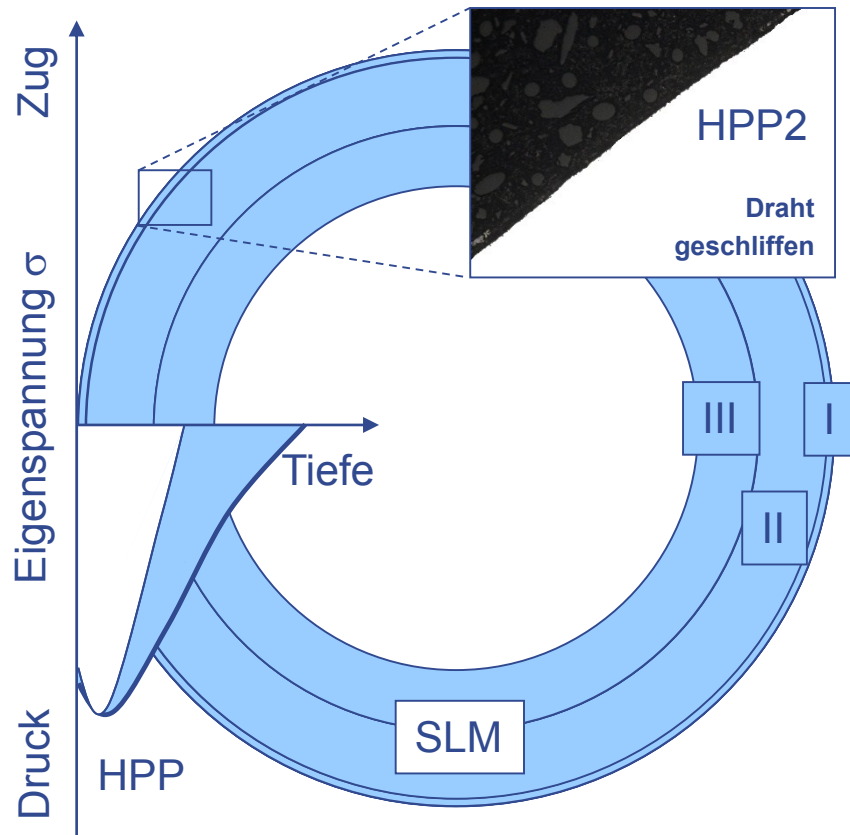
- **2012:** innovativer Gradientenwerkstoff
- weitere Erhöhung der Beanspruchbarkeit

SLM ist eine modifizierte und innovative Prozesstechnologie für die Inductive Tempered Wire (ITW) Produktion.



Beanspruchbarkeit einer Feder

- Druckeigenspannungen an der Oberfläche durch HPP
- Risse und Randentkohlung an der Oberfläche (I)
- nichtmetallische Einschlüsse (III)
- Korrosion, ausgehend von der Oberfläche (I)



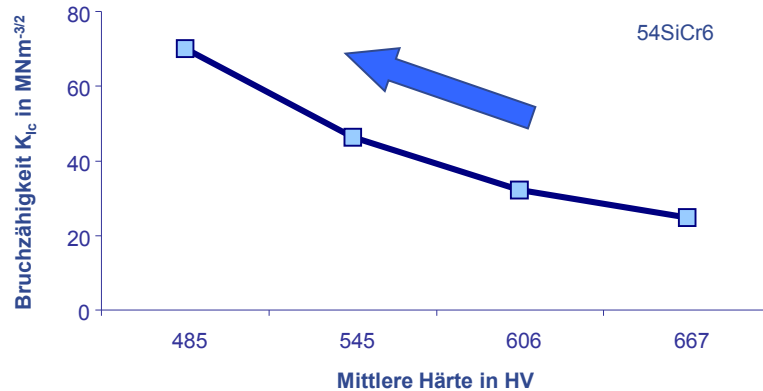
Beanspruchbarkeit einer Feder

- Druckeigenspannungen an der Oberfläche durch HPP
- Risse und Randentkohlung an der Oberfläche (I)
- nichtmetallische Einschlüsse (III)
- Korrosion, ausgehend von der Oberfläche (I)

Erhöhung der Beanspruchbarkeit

- Entfernung randschichtnaher Risse und Randentkohlung in (I) } HPP2
- Vermeidung von Rissbildung (I)
- Reduktion der Rissausbreitungsgeschwindigkeit (II) } SLM
- optimierte Druckeigenspannung (III) }

SLM ermöglicht erhöhte Beanspruchbarkeit der Feder durch Optimierung der Randschicht des Federdrahtes.



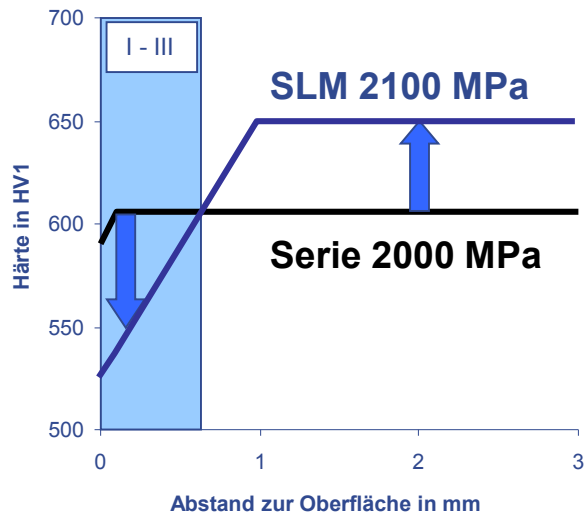
Erhöhung der Beanspruchbarkeit

- Vermeidung von Rissbildung (I)
- Reduktion der Rissausbreitungsgeschwindigkeit (II)
- optimierte Druckeigenspannung (III)

SLM

SLM Konzept

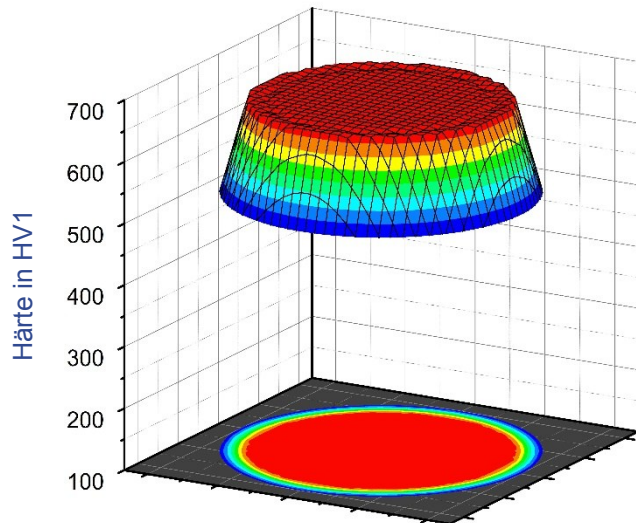
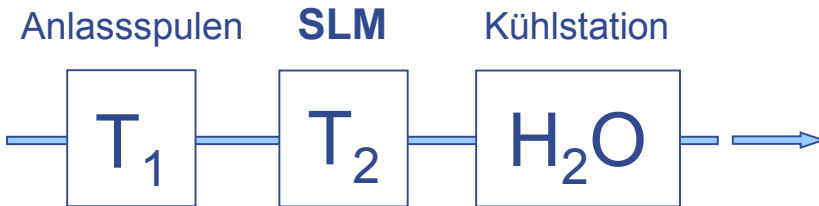
- Erhöhung der Bruchzähigkeit K_{Ic} durch Absenkung der Festigkeit in der Randschicht
- Erhöhung der Setzfestigkeit durch Anhebung der Härte im Kern
- Härtegradient an der Oberfläche liefert ein optimiertes Eigenspannungsprofil



SLM bewirkt eine erhöhte Bruchzähigkeit in der Randschicht, ein verbessertes Setzverhalten sowie ein optimiertes Druckeigenspannungsprofil.

Darstellung des Festigkeitsgradienten

- Einstellung der Kernhärte analog zum ITW-Verfahren
- Einstellung der Randhärte mittels zusätzlicher Erwärmereinheit für eine geänderte Temperaturführung

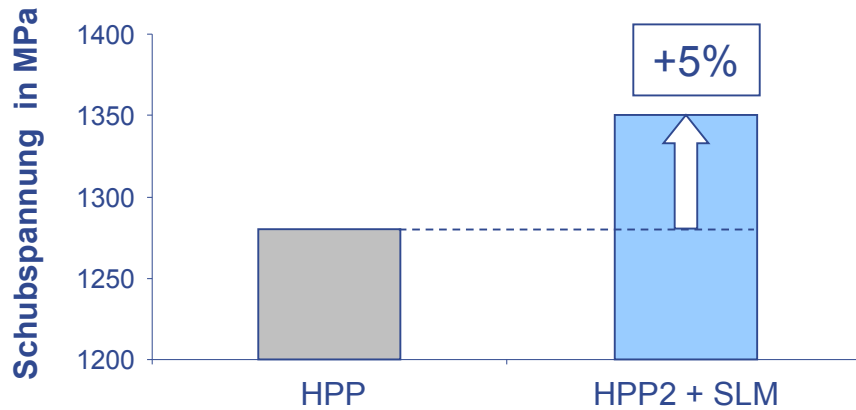


Festigkeitsdefinition für SLM-Draht

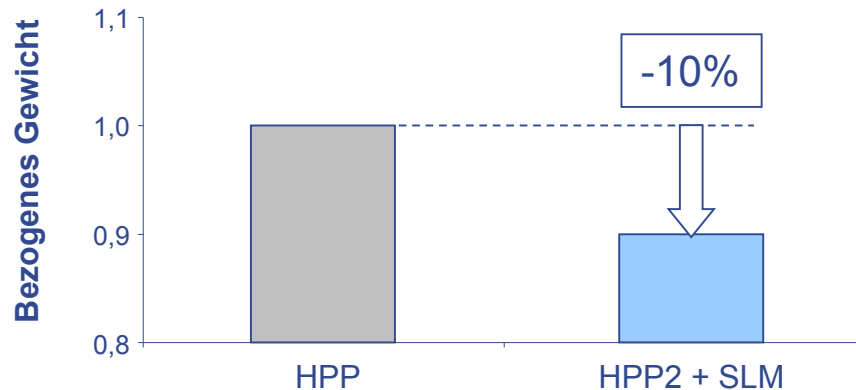
- Randschichtfestigkeit = 1700 MPa
- Kernfestigkeit = 2100 MPa
- resultierende, integrale Festigkeit
⇒ 2050 MPa

SLM basiert auf der Absenkung der Härte in der Randschicht des Federdrahts sowie der Anhebung der Härte im Kernbereich.

Auslegungsgrenze Schubspannung



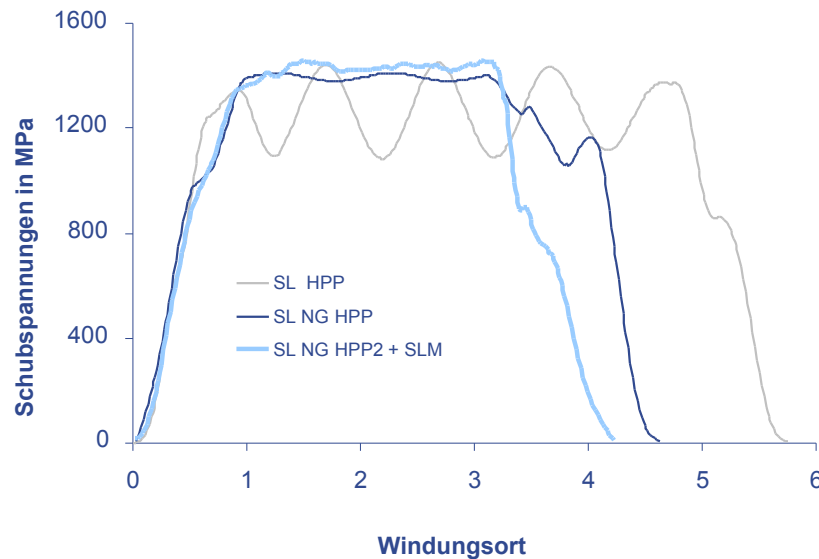
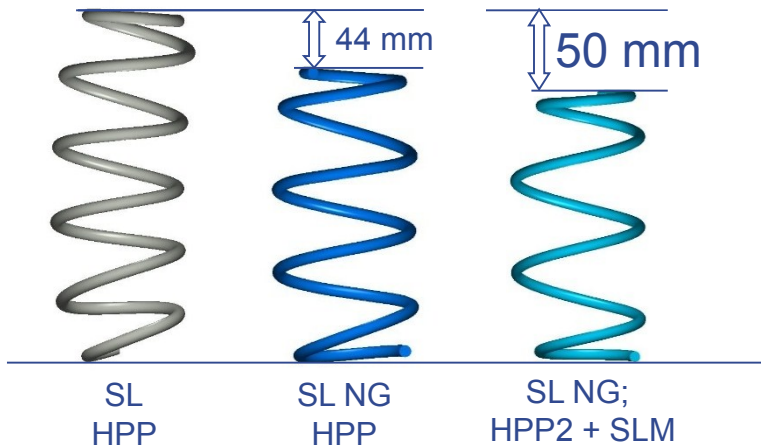
	HPP	SLM + HPP2
Maximale Schubspannung $\tau_{k,max}$ in MPa	1280	1350
Schubspannungserhöhung	-	5%
Gewichtsreduktion	-	10%



Gewichtsreduktion

- SLM and HPP2: bis zu 10%
- unabhängig vom Federtyp

SLM bietet ein Gewichtsreduktionspotential für alle Federtypen von 10% durch den Einsatz von SLM und HPP2.

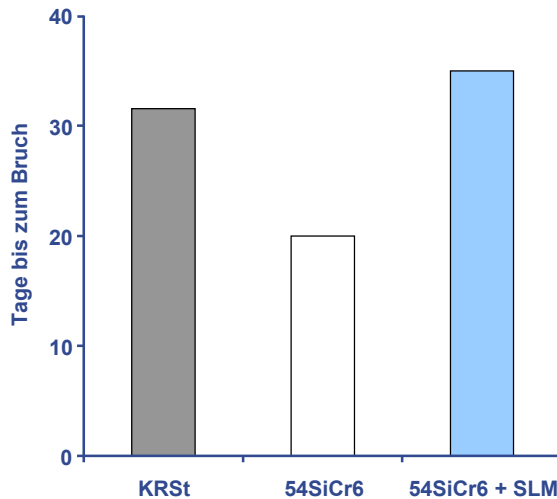
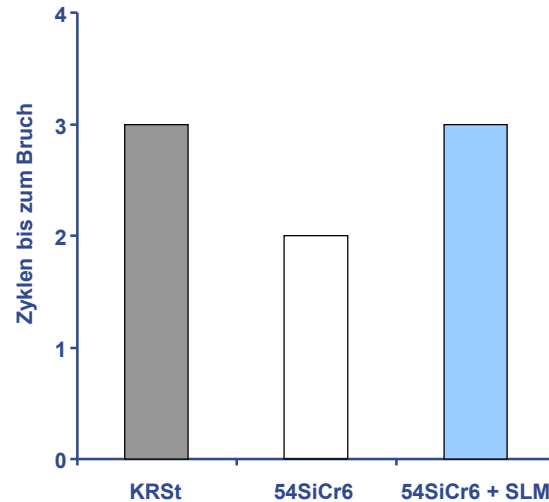


Optimierung

- Basis ist die Mubea SL-Feder mit HPP
- 1. Optimierung mit New Generation
- 2. Optimierung mit HPP2 und SLM

	SL HPP	SL NG HPP	SL NG HPP2 SLM
Max. Spannung $\tau_{k,max}$ in MPa	1170	1280	1350
Anzahl der Windungen n_t	5,8	4,6	4,2
Reduzierung Bauhöhen in mm	-	44	50
Masse in kg	2,07	1,82 (-12%)	1,62 (- 22%)

SLM bietet ein Gewichtsreduktionspotential von mehr als 20% durch den Einsatz von SLM und HPP2 sowie der Achsfeder New Generation Technologie.



Schwingungsrissskorrosion

- systematische Vorschädigung der Beschichtung
- 24 h: Salzsprühnebel, Heißtrocknen, Tauchen im Salzbad und Trocknen
- 150.000 LW mit Prüfhub
- Prüfung bis zum Bruch
- Auswertung der Anzahl der **Zyklen**

Spannungsrissskorrosion

- unbeschichtete Federn
- vorgespannt in verdünnte Schwefelsäure
- Prüfung bis zum Bruch
- Auswertung der Zeitdauer in **Tagen**

SLM erlaubt die Substitution von teuren, korrosionsresistenten Stählen durch Federstahl 54SiCr6.

- **SLM** bewirkt ...
 - eine erhöhte Bruchzähigkeit in der Randschicht.
 - ein verbessertes Setzverhalten.
 - optimierte Druckeigenstressungen an der Oberfläche.

- **SLM** basiert auf ...
 - der Absenkung der Härte in der Randschicht des Federdrahts.
 - der Anhebung der Härte im Kernbereich.

- **SLM** bietet ...
 - Kompatibilität mit dem **High Performance Process (HPP)**.
 - ein Gewichtsreduktionspotential von 10% in Verbindung mit Schleifen (**HPP 2**).
 - Kompatibilität mit der **Achsfeder New Generation** Technologie.
 - Robustheit und damit die Möglichkeit zur Substitution von teuren, korrosionsresistenten tählen durch Federstahl 54SiCr6.

- **SLM** ist prozesssicher, reif und in Anwendung.

Um bei erhöhter Robustheit eine weitere Gewichtsreduktion zu erreichen, hat Mubea die innovative Prozesstechnologie SLM für Achsfederdraht entwickelt.