

# Herstellung haltbarer Welle-Nabe-Verbindungen bei der Einzelteilinstandsetzung mit Hilfe neuartiger Preß- und Klebverbindungen

Ing. Brigitte Rost/Dipl.-Ing. J. Zscherper, KDT  
 Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Erntemaschinen Neustadt, Stammbetrieb, Betriebsteil Automatisierungstechnik Leipzig

## 1. Einleitung

Mit der weiteren wissenschaftlich-technischen Erschließung von Instandsetzungswürdigen Einzelteilen gilt es, einen Beitrag zur Erhöhung des Anteils instand gesetzter Einzelteile auf 50% und zur Erhöhung der Maschinennutzungsdauer auf 15 Jahre und darüber zu leisten. Vordergründig sollen hier die demontagefähigen Welle-Nabe-Verbindungen (WNV) betrachtet werden. Das sind gleichzeitig jene, an denen bei dynamischer Belastung Verschleiß oder zumindest Passungsrost auftritt. Dabei sollte es selbstverständlich sein, daß durch geeignete Werkstoffwahl in der Konstruktion wie auch in der Instandsetzung der Verschleiß zu minimieren und auf einen der beiden Reibpartner zu konzentrieren ist.

## 2. Preßverbindungen

Der Einsatz von Preßverbindungen wurde bisher durch die niedrigen Haftbeiwerte um 0,1 und die durch die Dünnwandigkeit bedingten geringen Fugenpressungen eingeschränkt.

An der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt wurden die wenig aufwendigen Preßverbindungen so weiterentwickelt, daß sie eine höhere Drehmomentenübertragungsfähigkeit und eine höhere Zuverlässigkeit gewährleisten [1, 2]. Erreicht wurde dieses durch Beschichten einer der beiden Fügepartner mit einer feinkristallinen Phosphat-schicht, die als Übertragungselement fungiert und Haftbeiwerte von 0,2 und darüber ermöglicht. Außerdem verhindert diese bis 5 µm dicke Schicht den bei dynamischer Belastung durch örtliche Gleitvorgänge in der Fuge entstehenden Passungsrost. Die Verbindung ist als Quärpressung mit einer Außenteiltemperatur bis zu 450°C oder als Längspressung herstellbar. Nach der me-

Tafel 1  
 Gegenüberstellung der Ergebnisse der Lebensdauerprüfung an einem Versuchsteil mit unbehandelten Paßflächen und mit beschichteter Wellenpaßfläche (nach [1])

Paßflächen-zustand der Preß-verbinding	Belastungs-drehmoment Nm	Lebensdauer Anzahl der Schwingspiele Mill. St.
trocken	± 500	27 (Bruch)
trocken	± 540	3 (Bruch)
beschichtet	± 500	200 (Durchläufer)

Tafel 2. Wichtigste Daten ausgewählter Einpreßbuchsen

	Keilriemenscheibe des Kornelevators E516	Motorantrieb des E516
Nabenwerkstoff	GGL20	20MnCr5
Buchsenwerkstoff	St38u-2	20MnCr5 und C15
Preßfugendurchmesser	mm 36	95
Nabenbreite	mm 55	74
Wanddicke der Nabe	mm 7	15
Wanddicke der Buchse	mm 3	11,5
max. Betriebsmoment (≅ konstruktive Auslegung)	kNm + 0,25	± 2,0
dyn. Prüfmoment	kNm + 0,45	± 2,0
stat. Lösemoment	kNm > 0,70	> 8,7

chanischen Bearbeitung sollte der Mittenrauhwert  $R_a$  nicht größer als 6,3 µm sein. Tafel 1 zeigt den Einfluß der Phosphatbeschichtung auf die Lebensdauer. Die bevorzugte Instandsetzungstechnologie ist das verschleißteilleitige Auf- oder Einbringen einer Buchse [2, 3]. In den Bildern 1 bis 3 sind einige Beispiele aus dem im Betriebsteil Automatisierungstechnik (BT AT) Leipzig untersuchten Teilesortiment dargestellt. In den beiden Beispielen in Tafel 2 wird deutlich, daß das Einbringen einer phosphatierten Buchse in einem weiten konstruktiven Bereich erfolgreich möglich ist. Auf der Grundlage aller Prüfstandergebnisse wurde in Zusammenarbeit mit dem VEB KfL Delitzsch, der Erzeugnisgruppe „Mährescher“ und

dem VEB KfL „Karl Marx“ Brand-Erbisdorf/Freiberg als Erzeugnisgruppenleitbetrieb „Futtererntemaschinen“ in der Kampagne 1985 eine Breitereprobung folgender Positionen mit je etwa 10 Prüflingen durchgeführt:

- Keilriemenscheiben des Korn- und Ähren-elevators vom Mährescher E 516
- diverse Keilriemenscheiben und 2 Mitnehmer des Feldhäckslers E280
- 2 Keilriemenscheiben und 1 Kupplungsteil der Schneidwerke E294/6
- dreirillige Keilriemenscheibe am Kegelradgetriebe des Schwadmähers E301.

In der Einsatzprüfung gab es bisher keine Ausfälle. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt gegenwärtig.

Bild 1. Keilriemenscheibe des Kornelevators vom E516 mit Verschleißbuchse (Prüfling mit abgedrehter Rille)

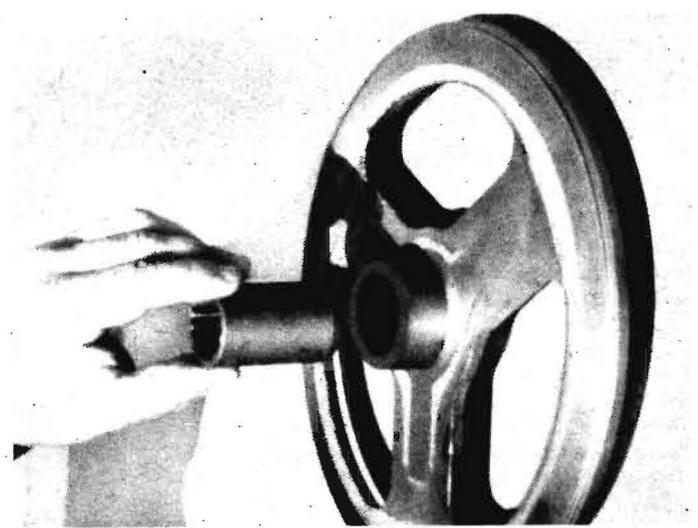
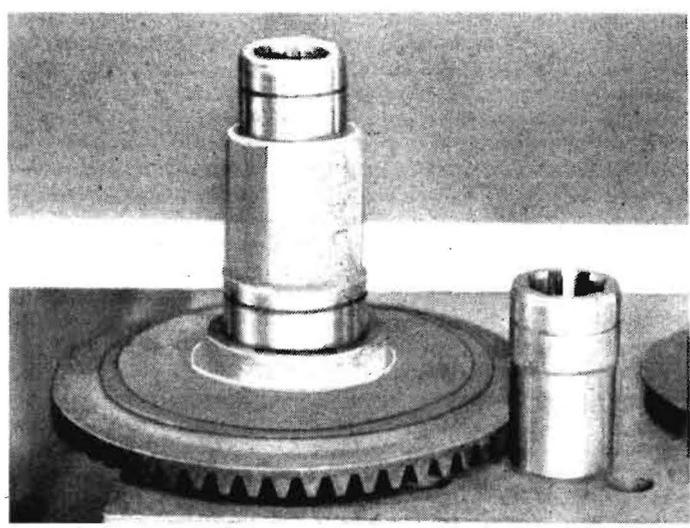
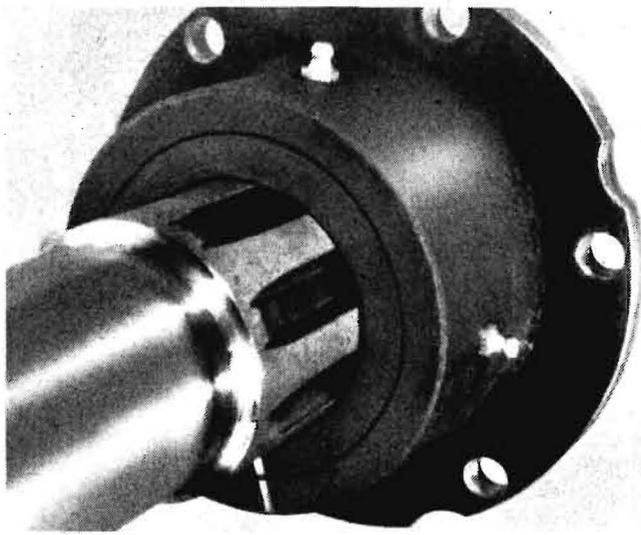


Bild 2. Kegelradwelle des E684 und Verschleißbuchse



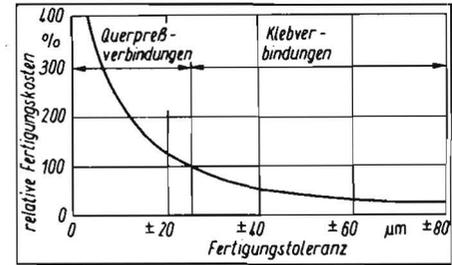


Tafel 3. Dauerfestigkeitsabfall durch Wiederholfügungen (alles Durchläufer über 2 Mill. Schwingspiele bei 5 Hz)

Betriebsmoment	250 Nm, schwellend
dyn. Prüfmoment nach 1. Fügung	450 Nm, schwellend
dyn. Prüfmoment nach 2. Fügung	400 Nm, schwellend
dyn. Prüfmoment nach 3. Fügung	300 Nm, schwellend
(stat. Lösemoment nach 3. Fügung)	420...490 Nm)

Bild 3  
Eingepreßte Verschleißbuchse im Motorantrieb des E516 (präparierter Prüfling)

Bild 4  
Einfluß der Fertigungstoleranz auf die Kosten und das Fertigungsverfahren (nach [4])



Durch die angestrebte Erhöhung der Maschinennutzungsdauer auf über 15 Jahre ergibt sich das Problem, die Einzelteilinstandsetzung (ETI) einer Ersatzteilposition möglichst oft durchführen zu können, ohne daß die Zuverlässigkeit unzulässig eingeschränkt wird. Naturgemäß rückt bei solchen Mehrfachinstandsetzungen die Werkstoffermüdung in den Vordergrund. Im vorliegenden Fall einer Preßverbindung kommt der im µm-Bereich liegende Übermaßverlust am Grundkörper hinzu. Diese unabwendbaren Erscheinungen müssen bei der Festlegung der Anzahl der zulässigen Wiederholungen der ETI berücksichtigt werden. Zur ausschließlichen Klärung dieser Zusammenhänge war wiederum die Keilriemenscheibe des Kornelevators am E516 das Prüfobjekt im BT AT Leipzig. Das maximale Betriebsmoment an dieser Keilriemenscheibe, das auch der Berechnung der Preßverbindung zugrunde gelegen hat, beträgt 250 Nm (s. a. Tafel 2). Die erste dynamische Prüfung erfolgte mit 450 Nm (das ist gleichzeitig die rechnerische Dauerfestigkeit der Welle).

Nach der ersten und auch nach der zweiten Prüfung wurde jeweils die gleiche Buchse – ohne die Phosphatschicht zu erneuern – kalt aus- und wieder eingepreßt. Die dann erreichten Dauerfestigkeitshorizonte sind in Tafel 3 aufgeführt. Da in der Praxis bei Wiederholinstandsetzungen eine neue, phosphatierte Buchse mit ungeglätteten Bearbeitungsrauhigkeiten verwendet wird, liegen die ohnehin positiven Versuchsergebnisse im sicheren Bereich. Weitere Versuche mit dem Ziel der Steigerung der Wiederholbarkeit dieser Instandsetzungsvariante werden im BT AT Leipzig durchgeführt.

Mit dieser Versuchsreihe wurde das aus der Sicht der Schutzgüte, Zuverlässigkeit und

Ökonomie bedeutungsvolle, aber bisher in der Praxis weitestgehend unbewältigte Problem „Nachweis der zulässigen Wiederholungen der ETI“ am behandelten Sortiment der WNV gelöst. Dabei ist allerdings vorauszusetzen, daß zum Ausschöpfen der zulässigen Wiederholungen die vorgegebenen konstruktiven und technologischen Verfahrensparameter eingehalten werden.

### 3. Klebverbindungen

Geklebte Welle-Nabe-Verbindungen entsprechen in ihrer Einfachheit etwa den Preßverbindungen. Zusätzliche Vorteile sind:

- problemlose Lösbarkeit durch Wärme
- geringe Toleranzanforderungen (Bild 4)
- geringe Gesamtspannung im Maschinenteil und dadurch mögliche, ja sogar wünschenswerte geringe Wanddicke (Bild 5)
- Klebstoff verhindert – ebenso wie das Phosphat der beschichteten Preßverbindung – die Entstehung von Passungsrost.

Zwei Nachteile sind zu beachten:

- Die erforderliche Klebfugendicke von etwa 0,1 mm bedingt zusätzliche Maßnahmen zur Sicherung der Rundlaufgenauigkeit. Eine entsprechende Positionierung kann z. B. durch einen Paßsitz realisiert werden. Im Bild 6 ist dazu das Ausführungsbeispiel der Kegelradwelle der Kartoffelerntemaschine E684/6 dargestellt.
- Die maximal mögliche Schubspannung, die der Klebstoff in sich und an den Materialgrenzflächen aufnehmen kann, ist wesentlich geringer als die des Maschinenteilwerkstoffs.

Die Fügeflächen müssen absolut fettfrei sein, und die Rauhtiefe  $R_a$  soll zwischen 20 und 30 µm liegen. Es ist von Vorteil, wenn die Bearbeitungsspuren unregelmäßig sind (Sandstrahlen) oder senkrecht zur Bela-

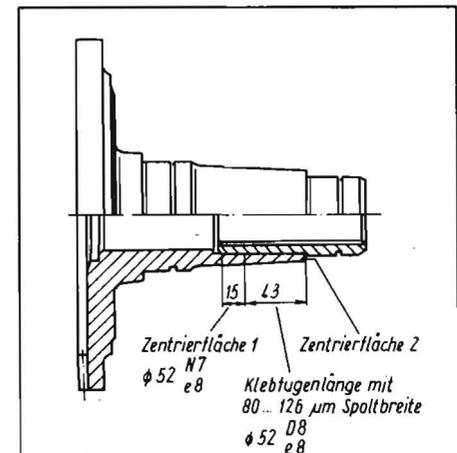
stungsrichtung verlaufen. Unter Beachtung dieser Voraussetzungen können mit Epoxidharzklebern hergestellte Rundverbindungen statische Schubspannungen von 30 bis 40 N/mm<sup>2</sup> aufnehmen. Für dynamische Dauerfestigkeit sind maximal 10 N/mm<sup>2</sup> anzusetzen [5]. Mechanisch frisch aktivierte Oberflächen bringen eine zusätzliche Festigkeitssteigerung, falls die Zeitspanne zwischen mechanischer Bearbeitung und Klebstoffauftrag 1 h nicht übersteigt.

WNV werden vorteilhaft dann geklebt, wenn die Nabenbreite kleiner als der Klebfugendurchmesser ist. Wie im Bild 7 gezeigt wird, bewirkt eine Verbreiterung der Nabe keine Steigerung des übertragbaren Drehmoments.

Im BT AT Leipzig wurden die Buchsen der Kegelradwelle E684/6 und der Keilriemenscheibe vom Kornelevator E 516 mit dem kalt-härtenden Epoxidharzklebstoff T 20–20 (früher EGK 19) unter Zugabe des Härter DPTA techn. (Härter 3) und ohne Füllstoffzusatz eingeklebt. Zur Festigkeitssteigerung wurde der Klebstoff 2 h bei 90 °C warm ausgehärtet [6]. Die auf der servohydraulischen Prüfanlage erzielten Ergebnisse sind in Tafel 4 dargestellt.

Durch kurzzeitige Temperatureinwirkung von 300 °C kann die Klebverbindung gelöst und nach mechanischer Reinigung problemlos und häufig wiederholt werden.

Bild 6. Einklebte Verschleißbuchse (GGG50) der Kegelradwelle des Kartoffelrodelladers E684



Tafel 4. Prüfung geklebter WNV auf Dauerfestigkeit;

- alle Prüflinge Durchläufer
- Horizontfolge Kegelradwelle (Zweistufenversuch): 900 × H1, 1 × H2, 900 × H1 usw.

		Keilriemenscheibe des Kornelevators E516	Kegelradwelle des E684/6 H1/H2
Betriebsmoment	Nm	+ 250	+ 700/1 100
dyn. Prüfmoment	Nm	+ 450	+ 700/1 100
mittl. Schubspannung in der Klebfuge	N/mm <sup>2</sup>	4,0	3,8/6,0
Schwingpielanzahl	Mill. St.	2	15/0,017
Prüffrequenz	Hz	4	20/1

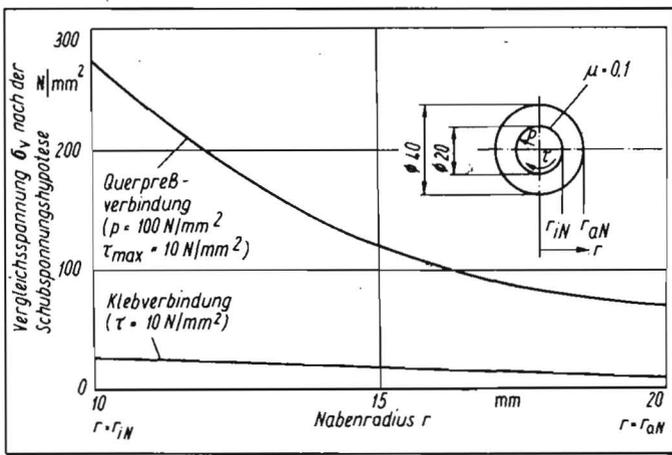


Bild 5. Vergleichsspannung in der Nabe einer quergepreßten und einer geklebten Welle-Nabe-Verbindung (nach [4])

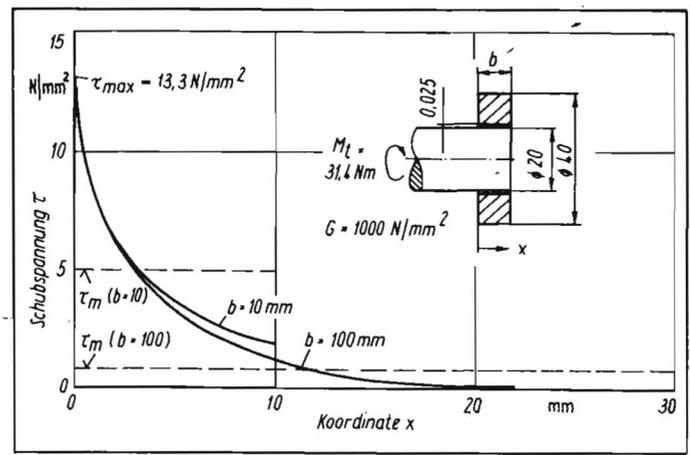


Bild 7. Schubspannungsverlauf über der Nabenbreite  $b$  einer geklebten Welle-Nabe-Verbindung (nach [4])

#### 4. Zusammenfassung

Vorentscheidend für die grundsätzliche Möglichkeit des Einpressens oder Einklebens einer Verschleißbuchse ist die vom Maschinenkonstrukteur gewählte Gestaltung der Welle-Nabe-Verbindung. Schmale und dünnwandige Naben, die zudem noch die Möglichkeit des Einbringens einer Zentrierung erlauben, sollten geklebt werden. Bei dicken, langen Naben – und damit meist auch großen Momenten – bietet sich die Preßverbindung an.

Mit den vorliegenden Untersuchungen konnte für die Ersatzteilkategorie der Welle-Nabe-Verbindung der experimentelle Nachweis erbracht werden, daß sowohl gepreßte

wie auch geklebte Verbindungen in den beschriebenen und ähnlich gelagerten landtechnischen Einsatzfällen anwendbar und in 3 Instandsetzungen unter werkstattmäßigen Bedingungen möglich und zulässig sind.

#### Literatur

- [1] Pursche, G.; Gropp, H.: Belastbarkeit und Lebensdauer von Preßverbindungen mit phosphatierten Paßflächen. IfL-Mitteilungen, Dresden 22 (1983) 6, S. 225–229.
- [2] Pursche, G.; Gropp, H.; Rost, B.: Zur Anwendung beschichteter Preßverbindungen. agrartechnik, Berlin 35 (1985) 4, S. 170–174.
- [3] Petersohn, H.-J.: Einbeziehen von Haltbarkeitsuntersuchungen in die Festlegung von Regene-

rierungsvarianten für Einzelteile. agrartechnik, Berlin 35 (1985) 4, S. 174–177.

- [4] Altmik, K.: Untersuchung des Festigkeits- und Verformungsverhaltens geklebter Welle-Nabe-Verbindungen. Forschungsbericht des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 3123. Leverkusen: Westdeutscher Verlag 1982.
- [5] Hahn, O.; Otto, G.; Muschard, W.: Geklebte Welle-Nabe-Verbindungen als Alternative zu konventionellen Verbindungen. VDI-Bericht Nr. 360, Düsseldorf (1980) S. 103–107.
- [6] Zscherper, J.; Reichenheim, H.: Prüfstandsergebnisse zur eingeklebten Verschleißbuchse an der Kegelradwelle des E684. Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Forschungszentrum des Landmaschinenbaus, BT Automatisierungstechnik Leipzig, Bericht 1984 (unveröffentlicht). A 4525

## Untersuchungen zur Wiederholbarkeit der Einzelteilstandsetzung am Beispiel des Achsschenkelbolzens des Traktors ZT 300

Dozent Dr.-Ing. K. Rößner, KDT/Dipl.-Ing. A. Schmidt, KDT  
Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik

### 1. Problemstellung

Landmaschinen arbeiten mehr als 80% ihrer Nutzungsdauer als instand gesetzte Maschinen. Da sich die tatsächliche Nutzungsdauer landtechnischer Arbeitsmittel in Zukunft weiter erhöhen wird, gewinnt die Frage der Wiederholbarkeit der Einzelteilstandsetzung (ETI) an Bedeutung.

Eine zunehmende Verwendung instand gesetzter Einzelteile (IET) statt Neuersatzteile (NET) beeinflusst die Zuverlässigkeit instand gesetzter Technik und den zur Ersatzteilerstellung nötigen Aufwand. Die optimale Gestaltung dieses Einflusses setzt die Planbarkeit der ETI voraus [1]. Eine entscheidende Rolle für den anwender- und herstellerseitigen Nutzeffekt kommt dabei der Zuverlässigkeitssicherung instand gesetzter Einzelteile zu.

IET sind nach den gleichen Prinzipien wie NET in die Zuverlässigkeitsanforderungen einzubeziehen. Nur so ist es möglich, Vor-

aussetzungen für eine hohe Qualität aller Ersatzteile zu schaffen. Untersuchungen ergaben, daß bei der ETI Sicherheitsteile einbezogen werden müssen, denn auch sie sind prinzipiell instandsetzungswürdig und instandsetzungsfähig [2]. Da Sicherheitsteile einer geforderten Überlebenswahrscheinlichkeit entsprechen müssen und der Wiederholfaktor der ETI einen entscheidenden Einfluß auf die Zuverlässigkeit hat, ist die Wiederholbarkeit an konkreten Positionen zu untersuchen. Deshalb werden an der TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Wissenschaftsbereich Instandhaltung, im Auftrag des VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen Neustadt in Sachsen solche Untersuchungen durchgeführt. Durch sie soll eine Methodik der Vorgehensweise zur Feststellung der Wiederholbarkeit erarbeitet werden. Mit der Bestimmung der Wiederholbarkeit kann ein unbegründet zu niedrig liegender Wiederholfaktor ausge-

schlossen werden, aus der Sicht der Material- und Energieökonomie sind Reserven erschließbar.

Des weiteren sind diese Untersuchungen aus Gründen der Schutzgüte erforderlich. Der Zuverlässigkeitsnachweis, speziell der Haltbarkeitsnachweis, bietet dazu die Grundvoraussetzung.

### 2. Ausgangssituation

Bei der Feststellung der Wiederholbarkeit der ETI an aus der Praxis stammenden Teilen muß auf folgende Probleme hingewiesen werden:

- Die Teile sind sehr unterschiedlich geschädigt.
- Obwohl die Technologie eine Kennzeichnung der Wiederholung der ETI vorsieht, werden die Teile nicht gekennzeichnet.
- Nicht für alle untersuchungswürdigen Teile existieren gemessene dynamische Belastungsverläufe, die eine Zusammen-