

Bild 5. Integrierte Axialsicherung durch Verformung; Mehrere punktartige Verformungen werden mit Hilfe des Stößels St angebracht.

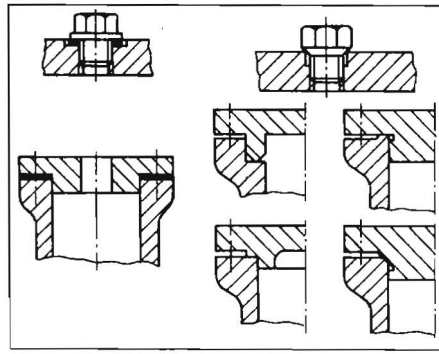


Bild 6. Integrierte Dichtelemente; Durch Dichtkegel bzw. angearbeitete schmale Dichtleisten können die links dargestellten herkömmlichen Dichtungen ersetzt werden.

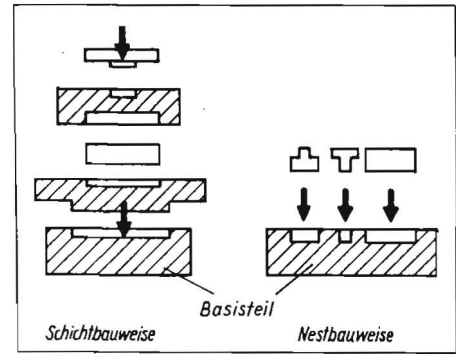


Bild 7. Schichtbauweise oder Nestbauweise sind vorzugsweise anzuwenden

gut erkennbar, daß jedes vom Konstrukteur vermiedene Bauelement weder gespeichert, vereinzelt gehandhabt, lagerichtig abgelegt noch gefügt werden muß. Welche bedeutenden Einsparungen bei konsequenter Anwendung der Hauptregel erreichbar sind; ist u. a. von Rögner in [3, 4] dargelegt worden. Rögner beschreibt, wie bei der konstruktiven Überarbeitung einer Baureihe von Strömungskupplungen die Anzahl der Zeichnungsteile von 379 auf 277 verringert werden konnte, obgleich die Baureihe von 5 auf 9 Baugrößen erweitert wurde. Die Regeln zur Gestaltung einer Montagegruppe sind auszugsweise in [5], vollständig in [6] dargestellt. Die wesentlichen Regeln lauten:

- Ein Basisteil sollte vorhanden sein!
- Die Montagerichtung von oben ist zu bevorzugen!  
Drehen, Kippen oder Wenden des Basisteiles erfordern Sondereinrichtungen und dehnen den unproduktiven Zeitanteil des Montageprozesses.
- Die Schicht- bzw. Nestbauweisen (Bild 7) sind zu bevorzugen!  
Kombinationen beider Bauweisen sind möglich.

- Halteoperationen sind zu vermeiden! Jedes zu fügende Bauelement sollte sich möglichst lagestabil auf dem vorher montierten Element ablegen lassen, sonst sind Hilfsroboter nötig, z. B. ist eine Halteoperation bei Schraube mit Mutter erforderlich.
  - Justiervorgänge vermeiden, ohne die Fertigung insgesamt zu verteuern!  
Justieraufgaben verlangen meist aufwendige Sondereinrichtungen. Für viele Justieraufgaben fehlen geeignete Sensoren, um die Justiervorgänge zu steuern.
  - Anzahl der Schraubenverbindungen minimieren!
  - Schraubenverbindungen erfordern den freien axialen Zugang für Schraube und Schraubenwerkzeug!
  - Kleinteile aller Art vermeiden!
- Die konsequente Anwendung der Konstruktionsregeln ist nicht nach einmaligem Lesen zu erwarten, sondern setzt mindestens eine zweckentsprechende Schulung voraus [6]. Bleiben die Regeln unbeachtet, darf als sicher vorausgesetzt werden, daß die Einführung des automatischen Montierens behindert bzw. verzögert wird.

Außerdem ist gewiß, daß sich jede nach vorstehend genannten Gesichtspunkten konstruierte Baugruppe auch bei Beibehaltung der Handmontage erheblich rationeller montieren läßt.

#### Literatur

- [1] Hoenow, G.; Thonig, H.: Automatische Montage mit Industrieroboter - peripheres Gerät Montagepresse. Maschinenbautechnik, Berlin 33 (1984) 2, S. 82-84.
- [2] Jacobi, P.; Volmer, J.: Fügemechanismen für die automatisierte Montage mit Industrierobotern. Maschinenbautechnik, Berlin 31 (1982) 10, S. 451-453.
- [3] Rögner, W.: Neue Kupplungsbaureihe KSR unter dem Gesichtspunkt der Materialökonomie, der Aufwandsenkung und der Gebrauchswert-erhöhung. Maschinenbautechnik, Berlin 27 (1978) 12, S. 548-549.
- [4] Rögner, W.: Senkung des Fertigungsaufwandes. Maschinenbautechnik, Berlin 30 (1981) 12, S. 569-572.
- [5] Hoenow, G.: Roboter - Montagegerechtes Konstruieren. Maschinenbautechnik, Berlin 33 (1984) 4, S. 150-152.
- [6] Hoenow, G.: Roboter - Montagegerechtes Konstruieren. KDT-Turnuslehrgang des KDT-Bezirksverbands Dresden: A 4364

## Zur Anwendung beschichteter Preßverbindungen

Prof. Dr.-Ing. habil. G. Pursche, Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt, Sektion Chemie und Werkstofftechnik  
Dr.-Ing. H. Gropp, KDT, Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt, Sektion Maschinen-Bauelemente  
Ing. Brigitte Rost, Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Erntemaschinen Neustadt, Stammbetrieb,  
Betriebsteil Automatisierungstechnik Leipzig

### 1. Probleme beim Einsatz von Wellen-Naben-Verbindungen in der Landtechnik

Im Landmaschinenbau kommen wie in anderen Industriezweigen in vielen Erzeugnissen Wellen-Naben-Verbindungen zum Einsatz, die form- oder kraftschlüssig wirken. Die formschlüssigen haben gegenüber kraftschlüssigen Wellen-Naben-Verbindungen, speziell Preßverbindungen, hauptsächlich folgende Nachteile:

- Fertigungsaufwand, besonders der Zerspanungsaufwand, sowie der Materialaufwand sind hoch.
- Während des Betriebs, besonders unter landtechnischen Einsatzbedingungen, tritt an formschlüssigen Wellen-Naben-Verbindungen beträchtlicher Verschleiß auf.
- Mit fortschreitendem Verschleiß nimmt

bei dynamischer Wechselbelastung der zugeordneten Baugruppe die Stoßbelastung dieser und der im Energiefluß nachgeordneten Baugruppen zu, wodurch die Verschleiß- und Ermüdungsprozesse noch beschleunigt werden.

Diese o. g. Nachteile werden bei der Ablösung der formschlüssigen durch kraftschlüssige Wellen-Naben-Verbindungen beseitigt, sofern letztere zuverlässig die auftretenden Belastungen in der Konstruktionsnutzungsdauer und möglichst darüber hinaus bis zur Aussonderungsgrenze der Maschine übertragen. Im Landmaschinenbau der DDR beträgt z. B. die Konstruktionsnutzungsdauer 6 bis 10 Jahre. Die Aussonderung erfolgt hingegen erst nach 12 bis 15 Jahren mit weiter ansteigender Tendenz. Gegenwärtig werden im Landmaschinenbau der DDR für Wellen-

Naben-Verbindungen, die hohe Drehmomente bei wechselnder oder schwelender Belastung zu übertragen haben, folgende Verbindungen bevorzugt eingesetzt:

- Zahnwellen-Zahnablen-Verbindungen
- Keilwellen-Keilnaben-Verbindungen.

In vielen Anwendungsfällen, in denen der Einsatz von Preßverbindungen funktionell möglich ist, war er bisher oft aufgrund der nicht genügend geklärten Übertragungsverhältnisse bei dynamisch belasteten Preßverbindungen und der spezifischen landtechnischen Belastungen sehr beschränkt. Infolge der bei konventionellen Preßverbindungen vorherrschenden Haftbeiwerte (meist nicht größer als  $\nu = 0,1 \dots 0,12$ ), der bei dünnwandigen Teilen nur niedrigen erreichbaren Fugenpressungen und der z. T. auftretenden Tribokorrosionserscheinungen bei dynami-

scher Belastung waren der Größe der übertragbaren Belastungen bisher relativ enge Grenzen gesetzt. Erst durch die Entwicklung einer neuen Generation von Preßverbindungen mit speziell beschichteten Paßflächen [1, 2] wird auch im Landmaschinenbau und in der landtechnischen Instandsetzung das Einsatzgebiet für Preßverbindungen entscheidend erweitert.

Durch die Anwendung der neuartigen Preßverbindungen ergeben sich nicht zu unterschätzende Leichtbau- und Regenerierungsmöglichkeiten, die bedeutende Einsparungen an Material und an Fertigungszeit ermöglichen.

## 2. Drehmomentübertragung in Preßverbindungen

Wird eine Preßverbindung mit einem Drehmoment  $M_0$  belastet, so treten in ihr Verdrehungen auf. Bis zu einer bestimmten Größe des Drehmoments, dem sog. elastischen Grenzmoment [3], sind die Verformungen der Paßflächen von Welle und Nabe identisch. Die Paßflächen gehen bei Entlastung in ihre Ausgangslage zurück. Die Verformungen erfolgen also rein elastisch. Beim Überschreiten dieses elastischen Grenzmoments sind die Verformungen der Paßflächen von Welle und Nabe nicht mehr identisch. Infolge der unterschiedlichen Steifigkeiten von Welle und Nabe treten Verschiebungen zwischen den Paßflächen von Welle und Nabe auf, die als örtliches Gleiten bezeichnet werden. Bei einer Entlastung wird die Ausgangslage der Paßflächen nicht wieder erreicht, da kein oder nur ein sehr geringes Zurückgleiten erfolgt. Die Bereiche der Paßfuge, in denen dieses örtliche Gleiten auftritt, werden als Gleitzonen bezeichnet und liegen normalerweise am Paßfugenanfang und am Paßfugenende (Bild 1) [4, 5, 6]. Die Gleitzone  $l_{gII}$  ist dabei wesentlich kleiner als die Gleitzone  $l_{gI}$ . Bei weiterer Steigerung des Drehmoments vergrößern sich die Gleitzonen immer mehr, bis das Gleiten in der gesamten Paßfuge stattfindet und somit das völlige Durchrutschen der Preßverbindung eintritt. Je nach der Größe des wirkenden Drehmoments ergeben sich somit drei verschiedene Belastungsbereiche:

- rein elastische Drehmomentübertragung
- Drehmomentübertragung unter örtlichem Gleiten eines Teils der Paßflächen
- völliges Durchrutschen der Preßverbindung.

Daraus folgt, daß eine normale Preßverbindung nicht bis in die Nähe des völligen Durchrutschens belastet werden kann, ohne daß sie vorher örtlich gleitet [3, 5]. Das örtliche Gleiten tritt auch bei Biegebelastung [7] und Axialkraftbelastung [8] auf.

Während früher vorwiegend der Bereich der rein elastischen Drehmomentübertragung vorlag, wird durch den Übergang zu immer höheren zu übertragenden Drehmomenten, den Abbau der z. Z. oft noch viel zu hohen Sicherheiten und die Forderung nach einer besseren Materialökonomie der Bereich der Drehmomentübertragung unter örtlichem Gleiten in der Paßfuge immer mehr der Arbeitsbereich, für den eine Preßverbindung zu berechnen und auszulegen ist.

Werden nicht speziell Maßnahmen getroffen, so führt das örtliche Gleiten zur Zerstörung der Preßverbindung durch fortschreitende Passungsrostbildung, die meist mit Reißbildung verbunden ist (Bild 2) [5, 6].

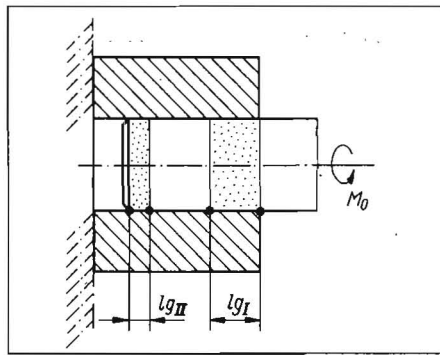


Bild 1. Prinzipielle Darstellung der Gleitzonen einer Preßverbindung

## 3. Entwicklung einer neuen Generation von Preßverbindungen mit speziell beschichteten Paßflächen

Resultierend aus den bei der Anwendung konventioneller Preßverbindungen auftretenden Problemen ergab sich die Notwendigkeit, die Preßverbindungen so weiter zu entwickeln, daß eine wesentliche Erhöhung des Haftbeiwerts und damit der Drehmomentübertragungsfähigkeit sowie eine Verhinderung der nachteiligen Tribokorrosionserscheinungen erzielt werden. Dazu ist es erforderlich, den Zustand der Grenzfläche Welle-Nabe (Paßflächen) entsprechend zu verändern. Das geschieht durch das Aufbringen einer verbundstabilen anorganisch-nichtmetallischen Konversionsschicht auf die Paßfläche von Welle oder Nabe.

Als Konversionsschicht hat sich eine auf der Basis von modifiziertem Phosphorsalz P 150 hergestellte Phosphatschicht sehr gut bewährt. Die im Ausgangszustand feinkristalline Phosphatschicht geht unter der Einwirkung der durch das Fügen hervorgerufenen Spannungen zunächst in einen plastischen und dann in einen amorphen (glasartigen) Zustand über. Die Schicht verfügt im Be-

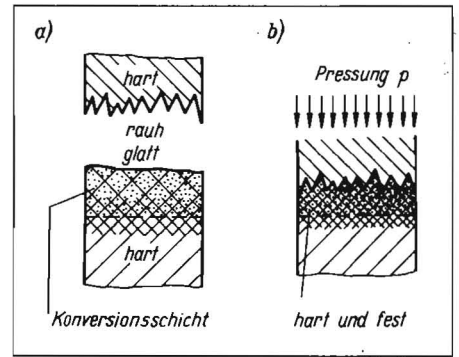


Bild 3. Veränderung der Konversionsschicht infolge des Fügens (plastische Verformung und Verdichtung); a) vor dem Fügen (Kontaktmodell rauh/glatt) b) nach dem Fügen (unter Betriebsbedingungen)

triebszustand über eine hohe Festigkeit, ohne spröde zu sein. Sie wirkt als Übertragungselement.

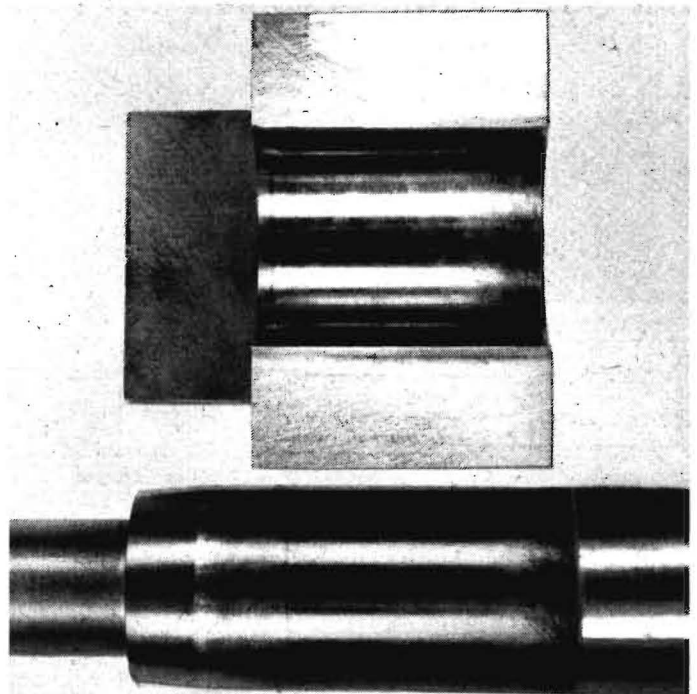
Die Veränderung der Konversionsschicht infolge des Fügens ist prinzipiell im Bild 3 dargestellt. Wesentlich ist, daß nur die Paßfläche eines Teils beschichtet wird, da bei Beschichtung beider Paßflächen die angestrebten Wirkungen nicht eintreten können [2]. Ein wiederholtes Fügen und Lösen der Preßverbindungen ist ohne nachteilige Auswirkungen möglich.

Die ausführliche Technologie für die Herstellung der Beschichtung liegt an der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt, Sektion Chemie und Werkstofftechnik, sowie im VEB Getriebewerk Gotha vor, wo bereits in großem Umfang und mit gutem Erfolg Preßverbindungen mit verbundstabilen Konversionsschichten im praktischen Einsatz sind. Die grundlegenden Arbeitsstufen der Beschichtung sind in Tafel 1 zusammengestellt.

Zur Ermittlung des Übertragungsverhaltens der Preßverbindungen mit verbundstabilen Konversionsschichten wurden an der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt umfangreiche experimentelle Untersuchungen

Bild 2. Gleitzonen, Passungsrostbildung und Reißbildung in einer trocken gefügten Preßverbindung nach dynamischer Belastung mit einem rein wechselnden Drehmoment von 540 Nm und einer Schwingspielzahl von 2 998 000 (Paßfugendurchmesser 30 mm, Nabe aufgetrennt)

(Foto: J. Oberländer)



Tafel 1. Prinzipieller technologischer Ablauf der Phosphatierung der Paßflächen von Preßverbindungen (ohne spezielle Angaben zu Arbeitsmitteln, Konzentrationen, Arbeitstemperaturen usw.)

Bad-Nr.	Arbeitsgang	Behandlungsdauer min
1	Entfetten	3 ... 6
2	Spülen kalt (Wasser fließend)	≅ 10
3	Spülen heiß (Wasser Standbad)	max. 5
4	Beizen	max. 10 (für blanke Teile)
5	Spülen kalt (Wasser fließend)	max. 10
6	Vorwärmen (Wasser Standbad)	10
7	Phosphatieren mit Phosphorsal P 150	10
8	Spülen kalt (Wasser fließend)	max. 10
9	Passivierung (Porenverdichtung)	max. 5
10	Spülen kalt (Wasser fließend)	≅ 5
11	Trocknen (Warmluft)	≅ 15

durchgeführt. Im Bild 4 und in der Tafel 2 sind ausgewählte Versuchsergebnisse dargestellt [2].

#### 4. Industrielle Anwendung der neuen Generation von Preßverbindungen

##### 4.1. Anwendungsmöglichkeiten in der Landtechnik

Auf dem Gebiet der Landtechnik ergeben sich hauptsächlich folgende Anwendungsgebiete für die neue Generation von Preßverbindungen:

- Ersatz von konventionellen Preßverbindungen durch Preßverbindungen mit beschichteten Paßflächen  
Das bedeutet eine größere Sicherheit bzw. eine größere Übertragungsfähigkeit.
- Ersatz von Vollwellen durch Hohlwellen, indem Wellenstümpfe aus Vollmaterial in die aus Rohr bestehenden Hohlwellen eingepreßt werden (Bilder 5 und 6)  
Außer dem Fügen als Längspreßverbindung ist auch das Fügen als Querspreßverbindung möglich. Potentielle Einsatzfälle dafür sind:
  - Langwellen in landtechnischen Anlagen, z. B. Zylinderwellen an Saatgutaufbereitungsmaschinen
  - Langwellen an selbstfahrenden und gezogenen Landmaschinen, wie Zwischen-

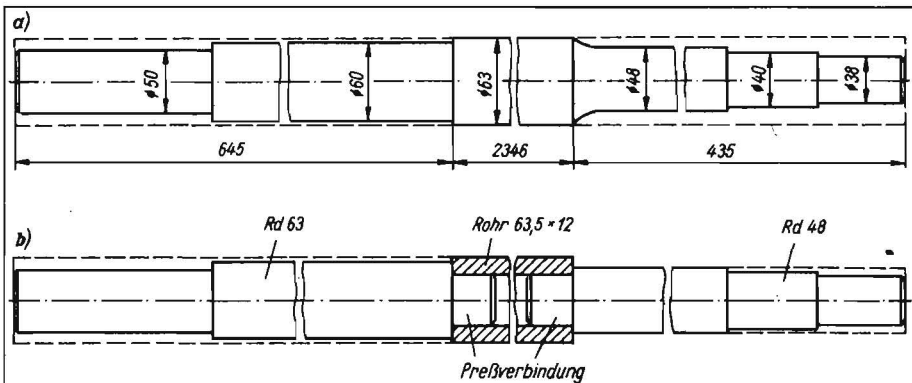
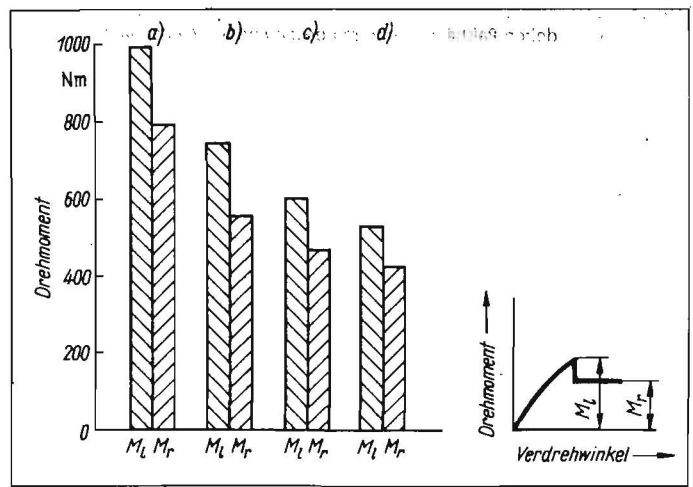


Bild 4. Ausgewählte Versuchsergebnisse in bezug auf die statische Drehmomentübertragungsfähigkeit von Preßverbindungen mit verschieden behandelten Paßflächen (Paßfugendurchmesser 30 mm, Haftmaß  $Z \approx 35 \mu\text{m}$ ):  
a) Welle mit Phosphorsal P 150 beschichtet,  
b) Welle trocken,  
c) Welle mit  $\text{MoS}_2$ -Ölpaste behandelt,  
d) Welle mit  $\text{MoS}_2$ -Pulver behandelt  
 $M_L$  Lösemoment,  $M_R$  Rutschmoment



wellen an Mähreschern, Dresch- und Leitrommelwellen

- Verbundbauweise, besonders bei Teilen mit großen Durchmessersprüngen (Bild 7)  
Derartige Lösungen können bei konstruktiv vorgesehenen Demontagemöglichkeiten gleichzeitig Regenerierungsvarianten sein.
- Regenerierungsvarianten durch Ein- bzw. Anarbeiten von Verschleißbuchsen (Bilder 8 und 9) und Verschleißzapfen (Bild 7)  
Potentielle Anwendungsfälle ergeben sich besonders bei formschlüssigen Wellen-Naben-Verbindungen mit Profilverschleiß, indem z. B. Verschleißbuchsen aus Stahl in Naben aus Grauguß zuverlässig eingebracht werden (Bilder 8 und 9).  
In Instandsetzungsbetrieben durchgeführte Instandsetzungsversuche durch Einkleben von Verschleißbuchsen in Graugußnaben scheiterten bisher bei hohen dynamischen Belastungen der Bauteile. Außerdem fehlt es z. Z. an systematischen Untersuchungen zu Einsatzgrenzen von derartigen hochbelasteten Klebverbindungen.  
Ebenfalls angestrebte Regenerierungsvarianten durch Verbindungsschweißen von in Graugußnaben eingepreßten Stahlbuchsen scheitern in der Praxis meist an Bereitstellungsproblemen von Gußkaltschweißelektroden. Außerdem treten beim Vorliegen schwer schweißbarer Werkstoffe Mikrorisse auf, und die Zuverlässigkeit derartiger Verbindungen entspricht nicht mehr den landtechnischen Anforderungen.  
Dort, wo es funktionell möglich ist, ist zu empfehlen, nicht den Weg des Einsatzes formschlüssiger Wellen-Naben-Verbindungen in Form der Anwendung von Ver-

schleißzapfen und Verschleißbuchsen zu gehen, sondern die formschlüssigen Verbindungen direkt durch Preßverbindungen zu ersetzen, die dann bei entsprechender konstruktiver Herstellung als Ölpreßverbindung ausgeführt werden können und mehrfaches Fügen und Lösen ohne nachteilige Auswirkungen ermöglichen.

##### 4.2. Anwendungsbeispiele und gegenwärtiger Stand der Erprobung

###### 4.2.1. Ersatz von Vollwellen durch Hohlwellen

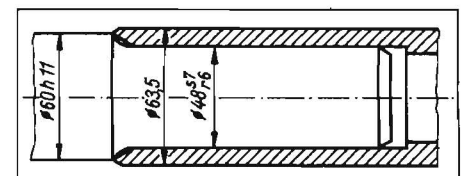
Durch den gesicherten Haftbeiwert von mindestens  $\nu = 0,2$  werden Preßverbindungen mit dünnwandigen zylindrischen Naben möglich. Bisherige Vollwellen können jetzt als Hohlwellen mit eingepreßten oder eingeschrumpften Wellenstümpfen unter Verwendung von dickwandigem Rohr als Mittelteil gefertigt werden.

###### Beispiel 1: Zylinderwellen der Saatgutaufbereitungsanlagen

Die Zylinderwellen werden gegenwärtig aus geschältem Vollmaterial Rd 63 hergestellt. In der Ausführung als Hohlwelle wird im mittleren Bereich Rohr 63,5 x 12 eingesetzt, und die Wellenenden aus entsprechendem Vollmaterial werden eingepreßt bzw. eingeschrumpft. Das höchste zu übertragende Drehmoment beträgt 3 200 Nm (Anfahrmoment), bei Dauerbelastung werden 810 Nm erreicht. Die Preßverbindungen wurden entsprechend ausgelegt. Niedrige Toleranzen und die Länge der Preßverbindungen sind durch die speziellen Verhältnisse bedingt. Die Preßverbindung wurde als Längs- und Querspreßverbindung erprobt. Die Längspreßverbindung bei Hohlwellen schwerer

Bild 5. Ersatz von Vollwellen durch Hohlwellen am Beispiel einer Zylinderwelle einer Saatgutaufbereitungsmaschine;

a) Vollwelle  
b) Hohlwelle  
Bild 6. Befestigung eines Zapfens in einer Hohlwelle am Beispiel einer Zylinderwelle einer Saatgutaufbereitungsmaschine



Tafel 2. Gegenüberstellung der Lebensdauer von Preßverbindungen mit un- behandelten Paßflächen und mit beschichteter Wellenpaßfläche (aus- gewählte Versuchsergebnisse, Wellenwerkstoff St 50, unter Berück- sichtigung der Dauergestaltigkeit der Welle übertragbares Drehmoment  $M_{100} \approx 450$  Nm bei der Sicherheit  $S = 1$ )

Paßflächenzustand der Preßverbindung	Belastungsmoment (rein wechselndes Drehmoment) Nm	Lebensdauer in Schwing- spielen
trocken	500	26 851 000
trocken	540	2 998 000
beschichtet (Welle)	500	> 200 000 000

Tafel 3. Prüfprogramm bei dynamischer Belastung

lfd. Nr.	Anzahl der Paare	Belastung kNm	Prüfhorizont kNm	untere Belastungs- grenze kNm	Passungs- qualität
1	5	schwellend	3,2	0,17	IT 7/IT 7
2	5	schwellend	3,2	0,17	IT 6/IT 7

Tafel 5. Ergebnisse der statischen Ermittlung der Lösemomente

lfd. Nr.	Proben-Nr.	Lösemoment kNm
1	37	3,797
2	38	3,724
3	36	4,026
4	39	3,459
5	33	4,502

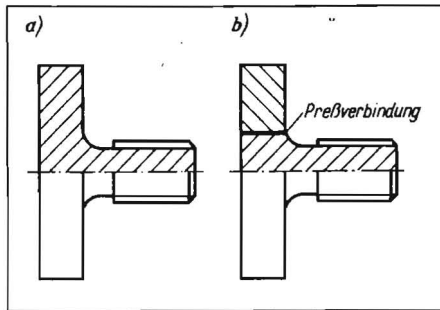
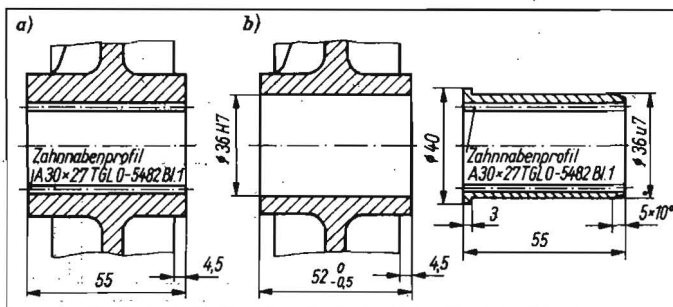


Bild 7. Verbundbauweise bei Teilen mit großen Durchmessersprüngen bzw. Regenerie- rungsvariante durch Anarbeiten von Verschleißzapfen; a) alte Ausführung b) neue Ausführung

Bild 8. Regenerierungsvariante einer Keilriemenscheibe aus GGL-20 durch Einarbeiten einer Verschleißbuchse; a) alte Ausführung, nicht instand setzbar b) neue Ausführung, qualitätsgerecht instand setzbar



Tafel 4. Ergebnisse der dynamischen Prüfung

lfd. Nr.	Proben- Nr.	Prüfhorizont kNm	Anzahl der Schwing- spiele
1	39	3,2	$2,2 \cdot 10^6$
2	37	3,2	$2,3 \cdot 10^6$
3	38	3,2	$2,3 \cdot 10^6$
4	36	3,2	$1,6 \cdot 10^6$
5	40	3,2	$2,1 \cdot 10^6$
6	40	3,86	$3,1 \cdot 10^6$
7	33	3,2	$2,2 \cdot 10^6$

Tafel 6. Ergebnisse der dynamischen Prüfung (Rohr aus St 35 hb)

lfd. Nr.	Proben-Nr.	Belastung kNm	Schwing- spiele
1	S 61	1,4 <sup>1)</sup> 2,2 <sup>2)</sup>	10 <sup>7</sup>
2	S 62	2,2	$2 \cdot 10^6$
3	S 63	2,2	$2 \cdot 10^6$

1) 1. Horizont, 2) 2. Horizont

realisierbar ist, wird nur auf die Querpreß- verbindung orientiert (induktive Erwärmung oder offene Flamme). Die Naben der Prüflinge werden auf eine Temperatur von 400 °C erwärmt (errechnete Füge- temperatur 329 °C).

Nach dem in Tafel 3 angegebenen Prüf- programm wurden auf der ESH-Prüfanlage EDYZ 3/4 des VEB Erntemaschinen Neu- stadt, Betriebsteil Automatisierungstechnik Leipzig, dünnwandige Wellen-Naben-Ver- bindungen der Zylinderwellen der Saatgut- aufbereitungsanlagen auf Haltbarkeit ge- prüft. Begonnen wurde mit der lfd. Nr. 1 (Haftbeiwert  $\nu = 0,2$ ). Bei Versagen von 3 Versuchsteilen nacheinander sollte eine Prü- fung mit lfd. Nr. 2 fortgesetzt werden. Um die Sicherheit der Preßverbindungen ein- schätzen zu können, wurden nach den Prü- fergebnissen bei dynamischer Belastung (Tafel 4) die statischen Lösemomente (Tafel 5) ermittelt.

Die Prüfergebnisse sind in den Tafeln 4 und 5 dargestellt. Sie bestätigen die Haltbarkeit der Preßverbindung unter Prüfstandbedin- gungen.

Die Einsparungen an Material betragen je Welle:

- Zylinderwelle 1: 30,40 kg (17,5 %)
- Zylinderwelle 2: 39,75 kg (18,25 %).

Beispiel 2: Zwischenwelle des Mähdreschers E 516

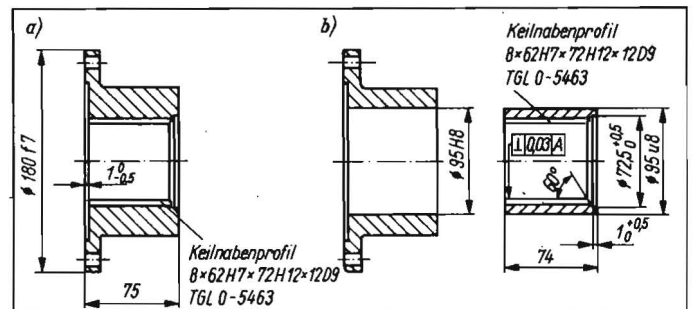
Bisher wurde eine Vollwelle aus Rd 70, blank

(St 70-2), verwendet. In der Ausführung als Hohlwelle wird für den mittleren Bereich Rohr 70 × 12 (1. Variante aus St 55-2, 2. Va- riante aus St 35 hb) eingesetzt, und die Wel- lenenden aus entsprechendem Vollmaterial werden eingepreßt. Das zu übertragende maximale Drehmoment beträgt 2 200 Nm. Die Prüfung zur Preßverbindung wurde auf der ESH-Prüfanlage EDYZ 3/4 durchge- führt.

Die Proben wurden schwellend zwischen ei- nem positiven spielfreien Tiefstwert und dem maximalen Drehmoment von 2 200 Nm mit bis zu  $2 \cdot 10^6$  Schwingspielen belastet. Mit Prüflingen der Variante 2 wurde begon- nen. Zum Nachweis der Sicherheit der Ver- bindung wurden nach der dynamischen Be- lastung die statischen Lösemomente ermit- telt. Die Ergebnisse der Prüfungen sind in den Tafeln 6 und 7 dargestellt. Die Ergeb- nisse bestätigen die Haltbarkeit der Preßver- bindung unter Prüfstandbedingungen. Da aber während des Einsatzes im Mähdrescher zur Torsion noch eine hohe Drehzahl und Biegebelastung hinzukommen, wird erst eine Erprobung in der Maschine eine endgültige Aussage bringen. Die Ausführung als Hohl- welle bringt eine Materialeinsparung von 17,42 kg (26 %) je Welle.

4.2.2. Instandsetzung von Verschleißteilen Häufige Anwendung findet die neue Genera- tion von Preßverbindungen bei der Instand- setzung von Verschleißteilen. Darüber wird

Bild 9. Regenerierungsvariante am Mitnehmer des Motorabtriebs einer selbstfahrenden Landmaschine durch Einarbeiten einer Verschleiß- buchse; a) alte Ausführung, nicht instand setzbar b) neue Ausführung, qualitätsgerecht instand setzbar





lfd. Nr.	Proben-Nr.	Lösemoment kNm	Werkstoff des Rohrs	Passung
1	S 61	7,4	St 35 hb	IT 6/IT 7
2	S 62	6,5	St 35 hb	IT 6/IT 7
3	S 63	6,4	St 35 hb	IT 6/IT 7
4	64	7,8	St 55-2	IT 7/IT 7
5	65	7,3	St 55-2	IT 7/IT 7
6	66	7,8	St 55-2	IT 7/IT 7
7	67	7,1	St 55-2	IT 7/IT 7

Tafel 7  
Ergebnisse der statischen Ermittlung der Lösemomente

speziell im nachfolgenden Beitrag „Einbeziehen von Haltbarkeitsuntersuchungen in die Festlegung von Regenerierungsvarianten für Einzelteile“ von Petersohn berichtet. Speziell sollten die Ausführungen am Ende des Abschn. 4.1. beachtet werden. Zu prüfen wäre, inwieweit die mit Verschleiß behafteten formschlüssigen Wellen-Naben-Verbindungen unmittelbar durch Preßverbindungen in der Ausführung als Ölpreßverbindung zu ersetzen sind. Diese stellen dann bei richtiger Dimensionierung und Gestaltung keine Verschleißteile mehr dar.

### 5. Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wird zunächst die Problematik der Wellen-Naben-Verbindungen unter den spezifischen Bedingungen der Landtechnik dargelegt, wobei besonders auf den hohen Verschleiß bei formschlüssigen Wellen-Naben-Verbindungen und auf die relativ niedrigen Haftbeiwerte konventioneller Preßverbindungen eingegangen wird. Nach

der Erläuterung der Grundlagen der Drehmomentübertragung in Preßverbindungen wird eine neue Generation von Preßverbindungen mit speziell beschichteten Paßflächen vorgestellt, die auch bei sehr hohen dynamischen Belastungen die Realisierung von zuverlässigen Preßverbindungen mit dünnwandigen Hohlwellen und Naben ermöglicht. Dadurch konnten regenerierungsgerechte Leichtbauwellen sowie ein neues Verfahren der Einzelteilinstandsetzung durch Anwendung von Verschleißzapfen und Verschleißbuchsen entwickelt werden. Anwendungsgebiete in der Landtechnik und spezielle Anwendungsbeispiele sowie Ergebnisse experimenteller Erprobungen werden vorgestellt.

### Literatur

[1] Pursche, G.; Gropp, H.; Lätsch, H.: Wellen-Naben-Verbindung, insbesondere Preßverbindung mit beschichteten Paßflächen. DDR-WP 152972 vom 11. Sept. 1980.

- [2] Pursche, G.; Gropp, H.: Belastbarkeit und Lebensdauer von Preßverbindungen mit phosphatierten Paßflächen. IfL-Mitteilungen, Dresden 22 (1983) 6, S. 225–229.
- [3] Müller, H.-W.: Der Mechanismus der Drehmomentübertragung in Preßverbindungen. TH Darmstadt, Fakultät für Maschinenbau, Dissertation 1960.
- [4] Fernlund, I.: Drehmomentübertragung in Preßverbindungen. Konstruktion, Berlin/Heidelberg/New York 18 (1966) 12, S. 495–501.
- [5] Gropp, H.: Die Übertragungsfähigkeit von Längspreßverbindungen bei dynamischer Belastung durch wechselnde Drehmomente. TH Karl-Marx-Stadt, Fakultät für Maschineningenieurwesen, Dissertation 1973.
- [6] Gropp, H.: Übertragungsfähigkeit von Querspreßverbindungen bei dynamischer Belastung durch wechselnde Drehmomente. TH Karl-Marx-Stadt, Sektion Maschinen – Bauelemente, Forschungsbericht Verbindungselemente, Teilthema Kraftschlüssige Wellen-Naben-Verbindungen, Teilbericht 1, 1977.
- [7] Gropp, H.; Weißflog, H.: Beitrag zur Ermittlung der Übertragungsfähigkeit von Preßverbindungen bei dynamischer Belastung durch Drehmomente, Biegemomente und Querkräfte. TH Karl-Marx-Stadt, Sektion Maschinen – Bauelemente, Forschungsbericht Verbindungselemente, Teilthema Kraftschlüssige Wellen-Naben-Verbindungen, Teilbericht 1, 1976.
- [8] Gropp, H.: Übertragungsfähigkeit von Preßverbindungen bei statischer und dynamischer Axialkraftbelastung. TH Karl-Marx-Stadt, Sektion Maschinen – Bauelemente, Forschungsbericht Verbindungselemente, Teilthema Kraftschlüssige Wellen-Naben-Verbindungen, Teilbericht 3, 1980. A 4373

## Einbeziehen von Haltbarkeitsuntersuchungen in die Festlegung von Regenerierungsvarianten für Einzelteile

Dr.-Ing. H.-J. Petersohn, KDT, Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Erntemaschinen Neustadt, Stammbetrieb, Betriebsteil Automatisierungstechnik Leipzig

### 1. Einleitung

Aus der volkswirtschaftlichen Notwendigkeit, die Nutzungsdauer landtechnischer Arbeitsmittel bis zu ihrer Aussonderung zu verlängern und das Sortiment der instand zu setzenden Einzelteile zu erweitern, folgt, daß zunehmend auch für Dauerteile und sicherheitsbestimmende Bauteile zuverlässige Regenerierungsvarianten festgelegt werden müssen. Ein Schwerpunkt ist dabei die Sicherung der erforderlichen Ermüdungsfestigkeit auch im instand gesetzten Zustand, möglichst über mehrere, durch Verschleiß der Abnutzungsstellen des Teils oder auch durch Risse und Brüche begrenzte Nutzungsdauerintervalle hinweg.

Im Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Erntemaschinen Neustadt, Betriebsteil Auto-

omatisierungstechnik (BT AT) Leipzig, wurden deshalb in Zusammenarbeit mit den Konstruktionsbereichen der Kombinatbetriebe und mit wissenschaftlich-technischen Einrichtungen sowie Produktionsbetrieben des landtechnischen Instandsetzungswesens Regenerierungstechnologien experimentell in Form von Haltbarkeitsuntersuchungen erprobt und bei Erfordernis gemeinsam mit den genannten Partnern verbessert.

### 2. Konstruktiv-technologische Vorbereitung und experimentelle Haltbarkeitsprüfungen von Regenerierungsvarianten

Im vergangenen Jahr wurden im BT AT Leipzig an folgenden Objekten Untersuchungen durchgeführt:

–neuartige Preßverbindungen Verschleiß-

buchse–Nabe auf der Basis verbundstabiler Konversionsschichten  
–Reibschweißen schutzgütebestimmender und hochbelasteter Zahnwellen  
–Auftragschweißen schutzgütebestimmender und hochbelasteter Zahnwellen.  
Die experimentellen Haltbarkeitsprüfungen wurden jeweils auf einem Torsionsprüfstand der elektroservohydraulischen Prüfanlage des BT AT Leipzig durchgeführt (Bild 1).

#### 2.1. Preßverbindungen mit phosphatiertem Fügepartner als Regenerierungsvariante

Über Wirkmechanismus, Technologie, Berechnungsgrundlagen und übertragbare Drehmomente sowie Anwendungsgebiete einer neuen Generation von Preßverbindun-