

Paradebeispiel für hohe Anforderungen an Elastomere: Die Bereifung von Flurförderfahrzeugen. Nur noch wenige Elastomere können hier auf Dauer mithalten



Höchstleistung auch im Grenzbereich

Polyurethan-Heißgießelastomere als hochbelastbare Gummi-Alternative lassen sich an raue Einsatzumgebungen anpassen

Bernd Künne, Aljoscha Langenohl und Stefan Albus

Elastomere Werkstoffe sind aus dem Maschinenbau nicht mehr wegzudenken: Sie dämpfen Schwingungen und Stöße, dichten, isolieren Körperschall und übertragen Kräfte. Gleichwohl stößt das „klassische“ elastische Material

Prof. Dr.-Ing. Bernd Künne leitet das Fachgebiet Maschinenelemente an der Fakultät Maschinenbau der Universität Dortmund; Aljoscha Langenohl ist wissenschaftlicher Angestellter im Fachgebiet Maschinenelemente der Universität Dortmund. Weitere Informationen: Aljoscha Langenohl, Tel. (02 31) 755-5732, a.langenohl@me.mb.uni-dortmund.de; Dr. Stefan Albus ist Chemiker und freier Fachjournalist.

Gummi in besonders anspruchsvollen Einsatzbereichen immer häufiger an seine Grenzen. In die Lücke stoßen vermehrt leistungsfähige Materialalternativen wie Polyurethan-(PUR-)Gießelastomere. Sie lassen sich auch ohne Füllstoffe und Weichmacher auf größere Härtebereiche einstellen als Werkstoffe auf Kautschukbasis, bieten außerordentlich gute Einschneid- und Weiterreißfestigkeiten und warten mit geringen Abrieb- und Verschleißwerten auf.

Die Palette der Anwendungsgebiete, in denen PUR-Gießelastomere heute fest Fuß gefasst haben, ist sehr breit: Dazu gehören robuste

Staplerzinkenüberzüge, selbstreinigende Siebfelder für den Bergbau, Reinigungsmolche für Erdöl- und Erdgaspipelines, lösemittelbeständige Siebdruckrakel und Quetschwalzen in Erntesortiersystemen, in denen eine hohe Festigkeit und Feuchtigkeitsbeständigkeit gefordert sind. Zu den anspruchsvolleren Einsatzgebieten zählen Zwischenringe in elastischen Kupplungen, die erhebliche Stöße dämpfen müssen und hohen Druckbeanspruchungen ausgesetzt sind – und dies auch unter Extremklimata, zum Beispiel unter Tage. In der Beschichtung von Walzen, die bei der Glasfaserherstellung oder

CC: DNE
DOL
CHE
BOSIOEL
TNE
HOL
VES
KMU
GAE
ELL
TSCH
SIVILENIEBE
mfs
DHEIBRE
S.10.04

beim Recken von Kunstfasern verwendet werden, zählt sich die hohe Einreißfestigkeit mancher PUR-Elastomere aus; in Laufscheiben von Spinnmaschinen, die mit 15.000 Umdrehungen pro Minute rotieren, überstehen Polyurethan-Beschichtungen in warmer und heißer Atmosphäre Fliehkräfte, die gewöhnlichen Gummi überfordern würden. Für diesen Job werden die Rollenbeläge mit Rundlauf-Toleranzen von bis zu 5/1000stel mm gefertigt. Auch für den Tieftemperatureinsatz oder Anwendungen in Gegenwart von Hydraulikflüssigkeiten, Ölen oder Wasser unter Drücken von bis zu einigen hundert bar wurden eigene PUR-Spezialelastomere entwickelt.

Vielseitig durch Baukastenprinzip

Der Aufbau der PUR-Elastomere ist im Vergleich zum Gummi vergleichsweise einfach. Alle Mitglieder dieser Werkstofffamilie werden im Wesentlichen aus drei Bausteinen aufgebaut: den so genannten Polyolen, Isocyanaten und Vernetzern. Elastomere mit besonders guten Eigenschaften werden heute in einem zweistufigen Verfahren hergestellt, das einen besonders geregelten Polymeraufbau sicherstellt: Im ersten Schritt wird aus dem Polyol und dem Isocyanat ein Vorprodukt, ein so genanntes Prepolymer erzeugt. Dessen Moleküle werden über die Vernetzer im zweiten Schritt gezielt miteinander verbunden. Prepolymer und Vernetzer werden dazu in einem für den Verarbeiter sehr einfachen Prozess vermischt und in beliebig gestaltete Formen gegossen. Dort härten die Bausteine innerhalb kurzer Zeit zu dem elastischen Werkstoff aus.

Die Vielseitigkeit der Polyurethane resultiert unmittelbar aus dem Baukastencharakter ihrer Bausteine: Sie kann der Entwickler heute aus einer Vielzahl von Alternativen auswählen und sich damit sein ideales Elastomer mit maßgeschneiderten physikalischen und chemischen Eigenschaften zusammenstellen. Aus der Sicht des Chemikers resultieren

die unterschiedlichen Materialeigenschaften aus dem abgestimmten Nebeneinander von Weich- und Hartsegmenten im Polymermolekül: Die Polyurethanbausteine ordnen sich – bildlich gesprochen – zu harten Blöcken an, die über elastische Bänder miteinander verbunden sind. Erst das geordnete Zusammenspiel dieser beiden Elemente führt letztlich zu den guten statischen und dynamischen Eigenschaften, die Polyurethan-Elastomere ausmachen (Bild 1). Während die dynamische Belastbarkeit und die Festigkeit des Werkstoffs stark durch die Wahl des Isocyanats im Hartsegment beeinflusst wird, werden seine elastischen Eigenschaften und seine Chemikalienbeständigkeit im Wesentlichen über das Polyol im Weichsegment bestimmt (Bild 2). So zeigen Polyole auf Polyester-Basis zum Beispiel besonders gute dynamische Eigenschaften; solche auf Polycarbonat-Basis weisen dagegen eine besonders hohe Resistenz im Vergleich zu Zerstörung durch Wasser auf.

Ein Beispiel für ein Einsatzgebiet, das ohne Polyurethan-Gießelasto-

mere heute nicht annähernd so leistungsfähig wäre wie gewohnt, sind Rollen für Flurförderfahrzeuge in schnellen Warenumschlagsystemen. In Hochregallagern zum Beispiel müssen diese Fahrzeuge auf engstem Raum manövrieren; auf den nur wenige Quadratmeter messenden Auflageflächen ihrer Rollen ruhen dabei Lasten von mehreren Tönnen.

An das Rollenmaterial werden dabei natürlich äußerst komplexe Anforderungen gestellt, die stellvertretend für andere anspruchsvolle Einsatzgebiete im Maschinen- und Anlagenbau an dieser Stelle beleuchtet werden sollen. So führt die Belastung der Räder unter hoher Gewichtsbeaufschlagung selbstverständlich zu hohen Verformungen und damit zu ständigen Be- und Entlastungsvorgängen in der gesamten

FAZIT

- ▶ PUR-Elastomere auf Basis von NDI bieten eine höhere Dauerbeständigkeit gegen extreme dynamische Belastungen
- ▶ Werden Rollenbeläge bis an die Grenzen ihrer Materialeigenschaften belastet, müssen auch ihr Umfeld und ihre Einsatzbedingungen in Betracht gezogen werden

Segmentstruktur von Polyurethan-Elastomeren

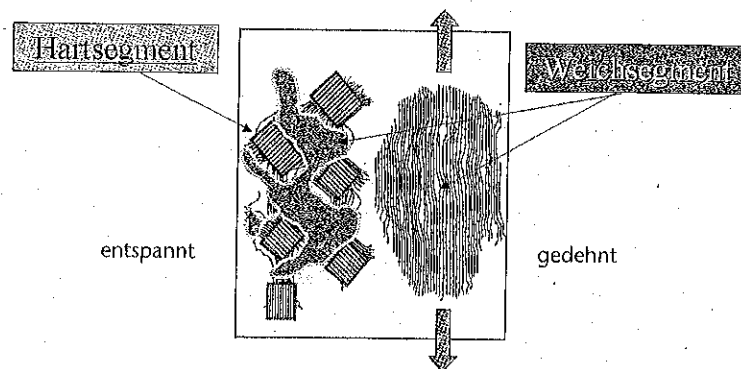


Bild 1: NDI-basierende Elastomere zeichnen sich dadurch aus, dass sie in nahezu allen Disziplinen ein besonders hochwertiges und ausgewogenes Eigenschaftsprofil aufweisen.

Untersuchung mit Kraftmikroskop

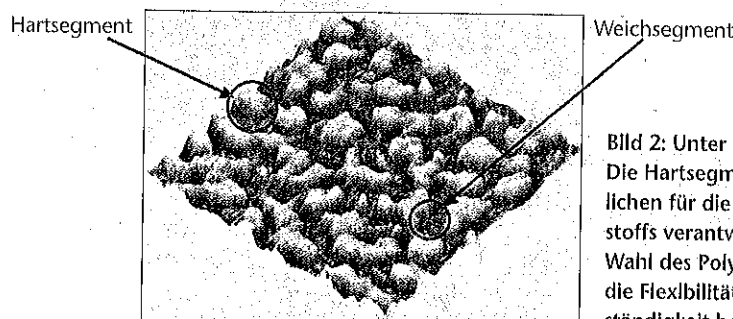
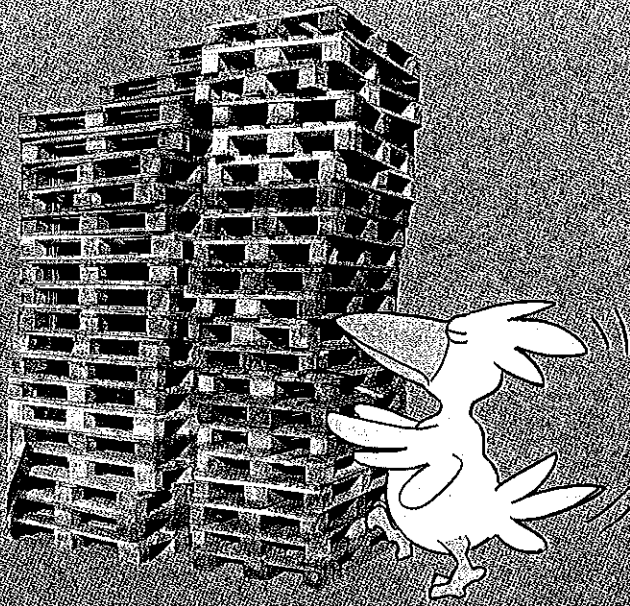


Bild 2: Unter dem Kraftmikroskop: Die Hartsegmente sind im Wesentlichen für die Festigkeit des Werkstoffs verantwortlich, während die Wahl des Polyols im Weichsegment die Flexibilität und Chemikalienbeständigkeit beeinflusst.



Hardware-Schieber

Software-Führer



Der Softwareführer von MM Logistik.
Jetzt anfordern!

Tel: 09 31 / 4 18-24 70

VOGEL

www.mmsachenmarkt.de

Bandage. Weil ein Teil der Verformungsenergie dabei in Wärme umgewandelt wird, erhitzt sich der Elastomerbelag im Laufe der Zeit. Auf Fahrverhalten und Fahrsicherheit darf sich das natürlich nicht auswirken.

Werden die Fahrzeuge abgestellt, kommt es dagegen zu statischen Verformungen, die sich nach der Standzeit möglichst unmittelbar und vollständig zurückbilden müssen – sonst droht ein Plattfuß. Raue Böden und der Schlupf der Räder bei Beschleunigungs- und Bremsvorgängen, bei Lenkbewegungen im Stand sowie Kurvenfahrten haben immer auch einen gewissen Abrieb des Radbelages zur Folge. Im Sinne einer möglichst hohen Lebensdauer der Rollenbeläge sind natürlich möglichst geringe Werte gefragt. Schließlich können beim Überfahren von Fugenkanten oder etwa Spänen hohe Einschnittkräfte auftreten. Hochleistungs-Rollenbeläge sollten daher außerordentlich hohe mechanische Festigkeiten und Einschnittfestigkeiten aufweisen. Trotz all dieser Forderungen müssen die Rollenbeläge zur Schonung der Böden aber immer elastisch sein: nur so kann die Flächenpressung auf den Untergrund auf tolerable Werte reduziert werden.

Werkstoffe stoßen an ihre Grenzen

So verwundert es nicht, dass in dieser Anwendung nicht nur kautschukbasierende Werkstoffe an ihre Grenzen stoßen, sondern auch viele Gummi-Alternativen aus Polyurethan. Die höchste Lebensdauer in diesem anspruchsvollen Job weisen erfahrungsgemäß PUR-Gießelastomere auf Basis des Isocyanats NDI (Naphthylendiisocyanat, Desmodur 15) auf, die von Bayer Material-Science AG, Leverkusen, unter dem Namen Vulkollan vermarktet werden und vom Verarbeiter beziehungsweise Rollenhersteller nach einem exakten und von Bayer präzise definierten Fertigungsverfahren hergestellt werden. Dieser Werkstoff ist nach Ansicht von Fachleuten heute in vielen Einsatzbereichen ohne Alternative (Bild 3).

Polyurethan-Elastomere auf Basis des Bausteins NDI wie das Bayer-Produkt weisen eine sehr gute Dauerformbeständigkeit

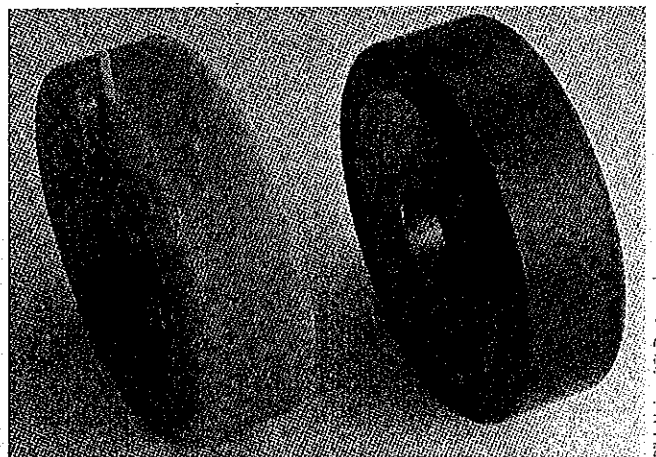


Bild 3: Die linke Rolle aus einem MDI-basierenden Polyurethanelastomer zeigt einen wesentlich geringeren gravimetrischen Verlust (Abrieb oder Verschleiß) als die rechte aus einem NDI-basierenden Elastomer (Vulkollan). Dennoch ist sie bis zur Felge zerstört und damit unbrauchbar, während das rechte Rad trotz des erhöhten Abriebs weiterhin eingesetzt werden kann.

Bild: Universität Dortmund

auf. Daher neigen Räder aus diesem Material auch nach langem Stehen unter hohen Lasten nicht zur Bildung von Plattfüßen. Weiterhin sind Formteile aus Vulkollan dauerhaft bis zu einer Materialtemperatur von 80 °C und kurzzeitig bis zu 120 °C einsetzbar. Selbst bei hohen dynamischen Belastungen, wie sie zum Beispiel durch das Drehen von Rädern unter großer Last erzeugt werden, baut sich im Innern des Materials wenig Hitze auf (Heat-built-up). Zwar kann auch das von Bayer angebotene Polyurethan-Elastomer thermisch überlastet werden – zur Zersetzung des Materials kommt es aber erst dann, wenn andere Elastomere schon lange versagt haben.

Ursache dieser Robustheit ist das beim Bayer-Elastomer besonders effektive Zusammenspiel der Weich- und Hartsegmente; es wird vermutet, dass letztere besonders steif sind

und dem Material eine hohe „innere“ Festigkeit verleihen. Daraus resultiert eine Hysteresekurve mit einem sehr flachen Plateau, die damit sehr nahe am physikalischen Optimum liegt: die innere Dämpfung des Materials ist damit geringer als bei anderen elastischen Werkstoffen (Bild 4).

Dennoch: Auch und gerade hoch belastete Werkstoffe liefern ihre optimale Leistung nur unter optimalen Einsatzbedingungen. So zeigten zum Beispiel Untersuchungen zum Verschleißverhalten von Rollenbandagen, die das Fachgebiet Maschinenelemente der Universität Dortmund in einem von der Bundesvereinigung Logistik (BVL) geförderten Projekt unternommen hatte, dass elastische Werkstoffe in einem von der Bundesvereinigung Logistik (BVL) geförderten Projekt unternommen hatte, dass elastische Werkstoffe in einem extrem anspruchsvollen Umfeld, das vom ständigen, intensiven Kontakt mit Wasser und Salzwasser geprägt

Prüfbedingungen: Testkörper 29 mm Ø 12,5 mm Höhe
Deformationsgeschwindigkeit: 10mm/min
Temperatur: 23 °C
gemessen nach der 3. Verformung

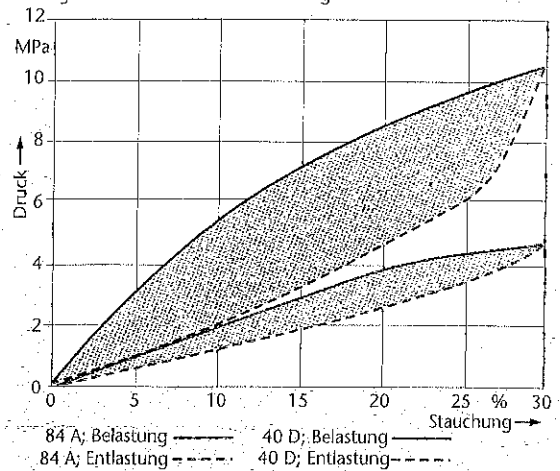


Bild 4: Vulkollan zeigt eine für elastische Werkstoffe ausgesprochen geringe innere Dämpfung; dadurch erwärmt sich das Material unter extremer dynamischer Belastung nicht so stark wie andere Elastomere. Eine höhere Lebensdauer unter andauernder Höchstbelastung ist die Folge.



Weniger Wartung,
längerer Einsatz.

Zugegeben, unsere Gabelstapler sind nicht ganz so schnell unterwegs wie die Kollegen aus der Formel 1. Aber ihre sprichwörtliche Zuverlässigkeit und Langlebigkeit sorgen dafür, dass sie nur selten an die Box müssen. Setzen Sie auf die Qualität, die uns weltweit bereits zur Nr. 1 gemacht hat.



Toyota Gabelstapler Deutschland GmbH
Dr.-Alfred-Herrhausen-Allee 33
47228 Duisburg

Telefon 0 20 65/7 75-00
E-Mail info@toyotagabelstapler.de
www.toyotagabelstapler.de

 **TOYOTA**
GABELSTAPLER

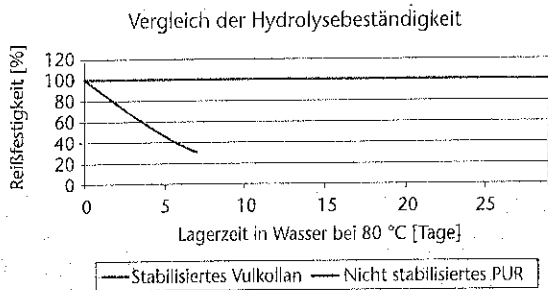


Bild 5: Optimale Lebensdauer durch angepasste Polymerchemie: Selbst für den Einsatz in feuchter Umgebung gibt es spezielle Polyole, die von Wasser nicht nennenswert angegriffen werden.

ist, zu verstärkter Zersetzung und damit zu erhöhten Abrieb- oder Verschleißwerten neigen können (Bild 5). In diesen Versuchen wurden die Rollenbeläge auf einem eigens entwickelten Prüfstand durch das Einblasen eines konstanten Stroms abrasiver Zwischenstoffe zwischen Rad und „Untergrund“ unter hohen Anpressdrücken erheblichem, zu-

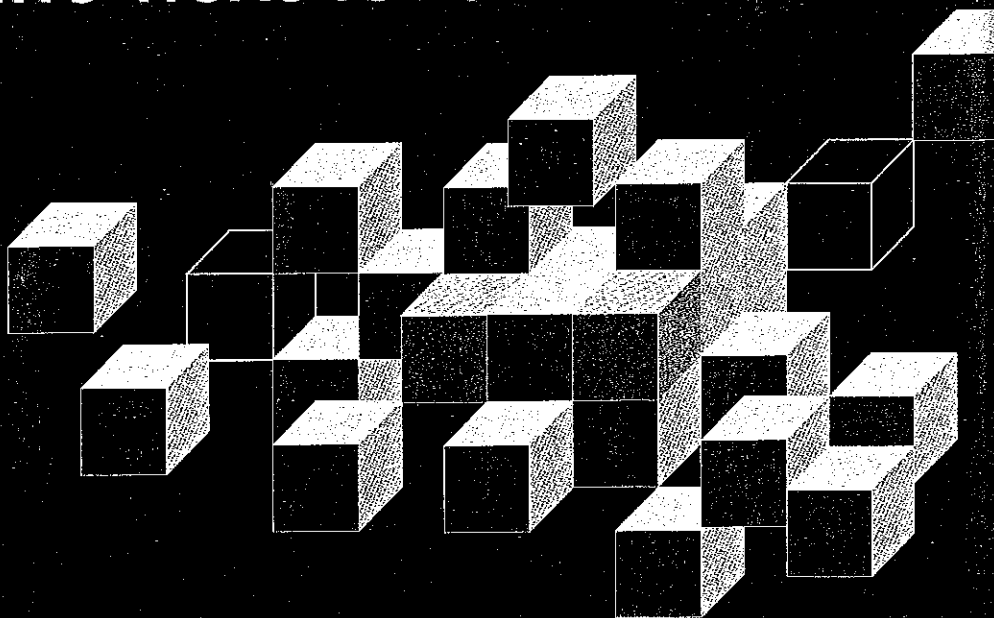
sätzlichem Stress ausgesetzt. Zwar sind die Versuchsbedingungen dabei bewusst nicht praxisnah gewählt worden, um die Verschleiß-Unterschiede zwischen den untersuchten Elastomeren deutlicher als unter Alltagsbedingungen hervortreten zu lassen. Die allmähliche Zerstörung von Polymeren durch Feuchtigkeit ist jedoch in der Tat ein Phänomen, das in der Technik schon lange bekannt ist und als Hydrolyse bezeichnet wird; es handelt sich um eine chemische Reaktion des Wassers mit den langen Ketten der Polyole, die bei hohen Temperaturen und in Gegenwart von Begleitstoffen wie etwa Säuren und Laugen beschleunigt abläuft. In Folge der Hydrolyse werden die Weichsegmente des PUR-Elastomers allmählich zerstört; die Hartsegmente bleiben hiervon unbeeinflusst. Der Vorgang betrifft in erster Linie Polyesterpolyole und erfolgt

keinesfalls spontan bei Kontakt mit Feuchtigkeit, sondern schreitet selbst in Gegenwart großer Wassermengen erst über Wochen bis Monate substantiell fort. Für Räder, die in der normalen europäischen Witterung eingesetzt werden, ist daher in der Regel kein spezieller Schutz erforderlich. Ein erhöhter Abrieb unter Feuchtigkeitseinfluss ist zudem stets im Lichte anderer praxisrelevanter Aspekte zu sehen: Dem Anwender ist es letztlich in der Regel gleich, ob eine Rolle einen Teil ihrer Bandagenstärke verloren hat, sofern das Rad voll einsatzfähig ist und die elastischen Eigenschaften gegeben sind – insbesondere, wenn es für den Einsatz keine Materialalternative gibt.

Denn in technischen Grenzbereichen reicht es nicht aus, wenn der Radbelag nur einzelne Anforderungen aus einem größeren Katalog er-

Bilder: Bayer Material-Science AG

Move to the next level.



CeMAT 2005

THE WORLD'S LEADING FAIR
FOR INTRALOGISTICS

11–15 October 2005, Hannover-Germany

www.cemat.com

Deutsche Messe AG · Messegelände · D-30521 Hannover · Tel. +49-511/89-3 21 24 · Fax +49-511/89-3 25 64 · ceamat@messe.de

füllt. So nützt etwa die beste Einschnittfestigkeit wenig, wenn das Rad durch längeren Fahrzeugstillstand irreversibel verformt ist und nicht mehr rund abrollen kann. Genauso wenig nützlich sind Materialien, die zwar gute Abriebwerte aufweisen, sich aber im Fahrbetrieb so weit erwärmen, dass das Radmaterial in kurzer Zeit durch so genannten „blow-out“ zerstört wird. Für besonders kritische Einsatzfälle wurde für Vulkollan von den Entwicklern der Bayer Material-Science AG auch ein spezielles, hydrolysebeständiges Polyol entwickelt, welches auch diesen Anforderungen einwandfrei standhält und in Spezialbereichen auch breite Anwendung findet.

Auch auf die Randbedingungen achten

Die Lebensdauer der Rollenbeläge ist gleichwohl nicht allein durch die Chemie des elastischen Werkstoffs determiniert: Auch durch eine angemessene Gestaltung des Arbeitsumfelds lässt sich eine Menge erreichen. Weil zum Beispiel risskeimbildende Zwischenstoffe wie Sand und Metallspäne den Abrieb eines Rollenbelags erhöhen können, sollte stets auf eine angemessene Sauberkeit des Bodens geachtet werden.

Besonderes Augenmerk ist auch auf scharfe Kanten, Fugen oder kleine Fehlstellen im Boden zu richten, die, etwa durch heruntergefallene Werkzeuge hervorgerufen werden. Werden diese mit hoher Geschwindigkeit überfahren, kommt es zu erheblichen Belastungsspitzen, die über Walk- und Mahleffekte schnell zu großflächigen Schäden führen können – und damit zur Belastung des Bodens mit abrasiven Fremdkörpern, welche mittelfristig wiederum die Reifenbeläge in Mitleidenschaft ziehen.

Darüber hinaus zahlt es sich natürlich aus, dem Rollenbelag Exrembelastungen nur dort zuzumuten, wo es auch erforderlich ist. In der Praxis gelingt dies zum Beispiel auf einfache Weise, indem man unnötige schnelle Kurvenfahrten, bei denen das Antriebsrad einseitig und damit gegebenenfalls über Spezifikation

belastet wird, vermeidet – etwa durch eine intelligente Anordnung der Wege. Mittelfristig sind hier aber auch die Hersteller der Flurförderfahrzeuge gefragt: So kann zum Beispiel die Verteilung der hohen Bremsbeschleunigung auf mehrere Räder, eine Radaufhängung, die einseitige Belastungen unter Kurvenfahrten verringert, eine Erhöhung des Raddurchmessers beziehungs-

weise eine Optimierung der Radgeometrie und sogar eine wirksame Abschirmung der Motor-Strahlungswärme vom Rollenbelag helfen, die Rollenlebensdauer deutlich zu erhöhen.

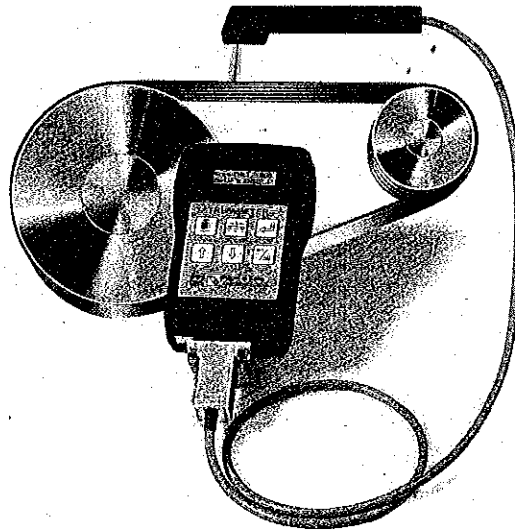
MM

www.maschinenmarkt.de

- ▶ Bayer Material-Science
- ▶ Uni-Dortmund



TRUMMETER - Das Messinstrument für perfekt gespannte Riemenantriebe
Schätzen ist gut, doch Messen ist besser.



Ein Riemenantrieb erreicht seine maximale Lebensdauer und optimale Leistungsübertragung nur dann, wenn er optimal gespannt ist.

Keine Kontrollaufgabe für einen Daumen, sondern für ein Messinstrument. TRUMMETER, das Riemenspannungsmessinstrument von Hilger u. Kern Antriebstechnik löst diese Aufgabe optimal.

Einfach, schnell und kostengünstig für nur € 399,00 + MWST.

Konkrete Messergebnisse liefern sichere, protokollier- und dokumentierbare Daten für die Qualitätssicherung und für die rechnerische Kontrolle der Trumkraft, sowie der maximalen Achslast.

TRUMMETER ist auch international einsetzbar. Es liefert die Messergebnisse in 4 Sprachen. Deutsch, Englisch, Französisch und Italienisch.

Sie haben die Aufgabe – Hilger u. Kern hat die Lösung.



Hilger u. Kern Antriebstechnik

Hilger u. Kern GmbH · Käfertaler Strasse 253 · 68167 Mannheim · DEUTSCHLAND
Tel.: 0621 37 05 294 · Fax: 0621 37 05 402 · www.hilger-kern.com · info@hilger-kern.de
AA 1

Direktbestellung
<http://trummeter.hilger-kern.de>
Sicherheit für nur
€ 399,00
+ MWST