

# Das Gesamtsystem im Auge behalten – Teil II

cc: SCH/HOR/THA/FLOR/DOL/BOS/  
CAE  
12.6.02

PETER PLATE, THOMAS STINGL

Innerhalb der Logistikkette übernehmen Flurförderzeuge neben Transportfunktionen auch Aufgaben der Regalbedienung. Der Warenumsatz in Regallagern wird immer schneller. Dabei ist aber nicht nur Tempo, sondern auch verschleißarme, robuste Flurförderzeugtechnik gefragt. Der erste Teil der Serie (in F+H 4/2002) beschäftigte sich mit dem Einfluss des Hallenbodens auf das Gesamtsystem, bestehend aus Lagerkonzept, Hallenboden und Flurförderzeug. Im Mittelpunkt des vorliegenden zweiten und abschließenden Teils stehen die aus den veränderten Einsatzprofilen der Flurförderzeuge resultierenden neuen Anforderungen an die Reifenbeläge.

Das Einsatzprofil von Schubmaststaplern (Bild 5) hat sich in den letzten Jahren verändert. Nicht ohne Auswirkungen bleiben höheren Geschwindigkeiten und Beschleunigungen der Fahrzeuge auf den Reifenbelag. So wird die Motorkraft heute vielfach nur noch über das eine hintere Lenk- und Antriebsrad auf den Untergrund übertragen. Das gleiche trifft für die negative Beschleunigung, also beim Bremsvor-

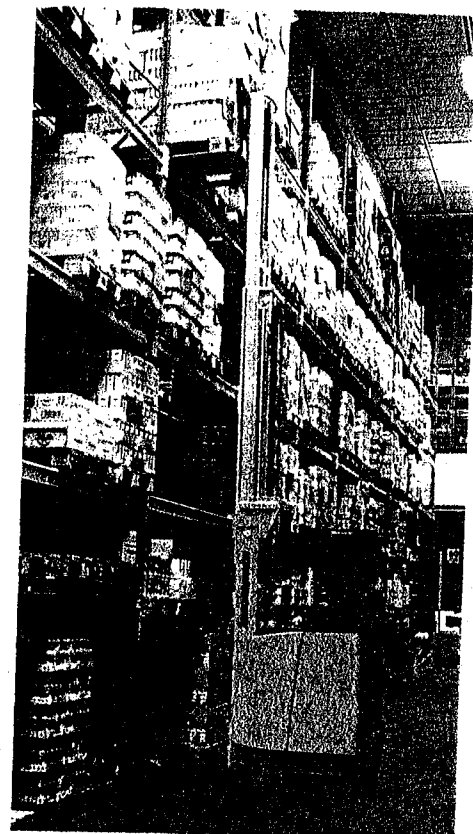
gang zu, die wiederum vom Lenk- und Antriebsrad aufgefangen wird – sogar verstärkt, denn aus Sicherheitsgründen muss die Bremsbeschleunigung höher sein als die Anfahrbeschleunigung. Höhere Beschleunigungen hingegen bedeuten, dass die Reifenbeläge bei jeder Kraftübertragung steigenden Scherbelastungen ausgesetzt sind. Und hohe Scherbelastungen sind nicht ohne Einfluss auf den Reifenbelag: Sie verursachen entweder eine erhöhte Reibung, verbunden mit Temperaturerhöhung und verstärktem Reifenabrieb, oder eine erhöhte Dehnung des Elastomerbelags im Grenzbereich Reifenoberfläche-Boden.

Dennoch werden einfache Geradeausfahrten – auch unter Vollast – von einem leistungsfähigen Reifenbelag mit geringem Wärmehaufbau („heat-build-up“) für gewöhnlich gut toleriert. Die Radbelastbarkeit im Geradeauslauf ist aber nur ein Teil des Problems. Wenn man das Antriebsrad bei stehendem Fahrzeug mehrere 360°-Drehungen hintereinander durchführen lässt, kann man nach kurzer Zeit eine Erhöhung der Radbelags-Oberflächentemperatur auf rd. 45 °C feststellen – verursacht nur durch die Reibung des Rades auf dem Boden.

Ein noch größeres Problem für den Reifenbelag scheinen allerdings schnell gefahrene Kurven zu sein. Hier verzerrt die Fliehkraft des Staplers den Querschnitt des hinteren Lenk- und Antriebsrads in axialer Richtung, was zu einer erheblichen Verformung des Radbelags im Kantenbereich führt. Gleichzeitig wird bei raschen Kurvenfahrten – bedingt durch die Neigung der Stapler nach außen – das Antriebsrad kurzzeitig ungleichmäßig auf nur einer Seite belastet. Das kann im Extremfall bedeuten, dass weniger als ein Drittel der Reifenauftragfläche die Last tragen muss, die laut Spezifikation von der ganzen Fläche gefordert wird.

## Kurvenfahrten als Übeltäter

Diese Extrembelastungen können sich mittelfristig selbst bei den robusten Reifenbelägen aus Polyurethan-Heißgießelastomeren in der Bildung feiner tangentialer Risse und später im Ausbrechen ganzer Reifenteile äußern. Und dies auch, wenn der Belag des Antriebsrads die vom Fahrzeughersteller geforderten Spezifikationen prinzipiell übererfüllt. Wohlgemerkt: Andere Reifenbeläge würden, wie Vergleichsuntersuchungen gezeigt haben, unter die-



5: Große Hallenhöhen und mehr Tempo im Warenumsatz kennzeichnen das Einsatzprofil von Schubmaststaplern

ser Tortur schon früher ausfallen [2], [3]. Unnötig zu erwähnen, dass die Verringerung der Auflagefläche mit einer Erhöhung des mittleren Pressdrucks einhergeht, die selbst Böden überfordern kann, die eigentlich für den Betrieb mit Vulkollan-Rollen ausgelegt sind.



P. Plate ist Manager im strategischen Marketing des Geschäftsfelds Integral-schaum/Elastomere, Segment Gießelastomere, des Geschäftsbereichs Polyurethane der Bayer AG



Dr. Th. Stingl ist Manager im Bereich Marketing & Development für das Segment Functional Flooring im Geschäftsfeld Construction & Materials des Geschäftsbereichs Coatings and Colorants der Bayer AG

Auf die erhöhte Beweglichkeit, die die 360-Grad-Lenkung bietet, muss allerdings auch nicht verzichtet werden, wenn man die Spezifikation der Räder in der Projektierung neuer Stapler genauer an die in der Praxis geforderten Leistungen anpasst. Macht man sich z. B. die extreme Rollenbelastung bei Kurvenfahrten bewusst, bietet die richtige Dimensionierung der Reifen durchaus noch Spielräume – etwa durch Verwendung größerer Raddurchmesser, verbunden mit einer größeren Auflagefläche und damit geringerer Walkarbeit beim Abrollen oder Kurvenfahren. Auch ein den Belastungen durch Kurvenfahrten besser angepasstes Felgen- oder Profildesign könnte die Belastung des Belags weiter verringern. Bei einigen Radherstellern gibt es hier bereits viel versprechende Ansätze, etwa durch die gezielte, per Computer modellierte Veränderung der Belagsquerschnitte oder der Metallkern-Geometrie. Diese Überlegungen haben allerdings ihren Weg in den Markt noch nicht gefunden.

### Wege zur Lösung des Zielkonflikts

Weitere Optimierungsmöglichkeiten bieten Änderungen in der Konstruktion der Flurförderzeuge selbst. Konstruktive Lösungen, die Kippbewegungen z. B. bei Kurvenfahrten minimieren, würden ebenfalls deutlich zu einer Verlängerung der Reifenlebensdauer beitragen. Und schließlich kann man der absoluten Parallelität der Radachse zur Bodenebene nicht genug Aufmerksamkeit schenken: Bilden beide nur einen Winkel von einigen Grad-Bruchteilen zueinander, folgt unmittelbar eine ungleichmäßige Belastung beider Radhälften, die zu einer Beschleunigung der Reifenabnutzung führen kann. Typisch für diesen Fehler ist das konische Verschleißbild einseitig abgefahrener Radbeläge. Möglicherweise wäre hier eine beidseitige, stabile Aufhängung der Radachse eine buchstäblich tragbarere Lösung.

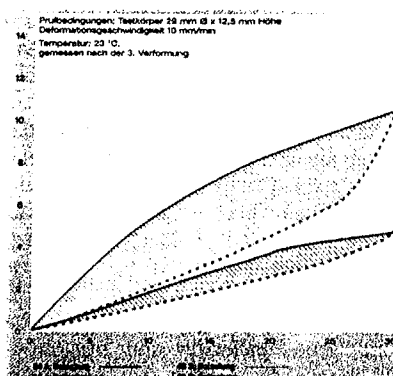
Darüber hinaus dürften Bremssysteme, die die Scherbelastung durch Bremsmanöver auf verschiedene Räder verteilen, einen weiteren Weg aus dem angesprochenen Zielkonflikt weisen.

Auch die Möglichkeiten, die eine Prozesssteuerung der Parameter Geschwindigkeit, Lenkradeinschlag, Kippwinkel etc. bietet, ist noch nicht ausgeschöpft: So ist z. B. durchaus denkbar, dass ein Elektro-Flurförderzeug seine Höchstgeschwindigkeit nur beim Geradeauslauf erreichen könnte. Auch ist es heutzutage möglich, Antriebs- und Bremsbeschleunigungen so zu steuern, dass sich für die Belagwerkstoffe und Hallenböden Belastungsspitzen vermeiden lassen.

Selbst die Optimierung vermeintlicher Details kann zum Gesamterfolg beitragen: Da sich die Weiterreißfestigkeit des Vulkollans, wie bei anderen polymeren Werkstoffen auch, mit steigender Temperatur geringfügig verringert, kann jede Maßnahme, die einer unnötigen Temperaturerhöhung des Reifenmaterials entgegenwirkt, die Lebensdauer der Rollen erhöhen. Auch hier gibt es viele Möglichkeiten: So kann es

### Grenzen des technisch Möglichen erreicht

Vulkollan ist ein echter „Klassiker“ unter den heute verbreiteten Chemiewerkstoffen: Dieses gummielastische Material wurde bereits Ende der 50er-Jahre von Mitarbeitern der Bayer AG, Leverkusen, entwickelt. Was Vulkollan von anderen Polyurethan-Heißgießelastomeren unterscheidet, ist ein chemischer Baustein namens Desmodur® 15. Diese Verbindung sorgt für eine effektive Ausbildung von Hartsegmenten in den eigentlich flexiblen Polymermolekülen, aus denen das Vulkollan besteht. Dies wiederum bedingt ein ausbalanciertes Eigenschaftsprofil mit einem geringen Druckverformungsrest, einem hohen Elastizitätsmodul und vor allem einem guten



6: Federkennlinien bei verschiedenen Be- und Entlastungen

thermischen Verhalten: Im Härtebereich zwischen 85 und 95 Shore A besitzt dieses Polyurethanelastomer Vorteile gegenüber anderen elastomeren Werkstoffen in puncto Einschnitt- und Verschleißfestigkeit. Durch die geringe Dämpfung ist die Wärmeentwicklung unter Belastung deutlich geringer als bei anderen elastischen Werkstoffen. Als Beispiel hierfür zeigt Bild 6 aus Prüfungen gewonnene Federkennlinien. Die bei Aufzeichnung der Federkennlinien entstehenden Be- und Entlastungskurven umschreiben einen Bereich, der als Hysteresisverlust bekannt ist. Die Be- und Entlastungskurven des Vulkollan liegen nahe zusammen und bedeuten einen niedrigen Energieverlust, eine Eigenschaft, die sich insbesondere bei wiederholten und langandauernden, dynamischen Belastungen vorteilhaft auswirkt.

Mit anderen Polyurethanbausteinen erhält man zwar ebenfalls Elastomere mit guten elastischen Eigenschaften, die aber auf Grund ihres abweichenden chemischen Aufbaus nicht die Dauergebrauchstüchtigkeit des Vulkollans aufweisen. Auch Versuche, die Eigenschaften von Polyurethan-Elastomersystemen z. B. durch Glasfaserverstärkung zu verbessern, haben bislang nicht zum Erfolg geführt.

sinnvoll sein, die Strahlungswärme des Motorblocks von den Reifen abzuschirmen oder die Wärmeübertragung von den Bremsstromeln auf die Rollen zu unterbinden. Selbstverständlich sollte man auch vermeiden, Räder durchdrehen zu lassen oder im Stand zu lenken.

### Der Blick auf das Ganze erhöht die Wirtschaftlichkeit

Die immer schneller ablaufenden Vorgänge in der Logistikkette führen Komponenten innerhalb dieser Kette allmählich in ihre technischen Grenzbereiche. Die damit verbundenen Probleme lassen sich längst nicht nur durch die Optimierung eines einzelnen Systembestandteils lösen. Vielmehr muss das Gesamtsystem im Auge behalten und an allen beteiligten Faktoren angesetzt werden. Wenn also aus Wirtschaftlichkeitsgründen Ausfälle der Flurförderzeugbereitung minimiert werden sollen, gilt es nicht den Belagwerkstoff, sondern sowohl die Radgeometrie als auch die Fahrzeugtechnik und -konstruktion auf den Prüfstand zu stellen und noch besser an die gestiegenen Anforderungen der Praxis anzupassen.

Letztlich muss auch das Hallenkonzept in die Optimierungsbemühungen einbezogen werden: Wenn Fahrer schnelle Kurvenfahrten durch entsprechende Anordnung der Wege vermeiden, die fugenlosen, einheitlich planen Hallenböden dem gestiegenen Bedarf angepasst, und die Konstruktion der Fahrzeuge verstärkt aus dem „Blickwinkel Rad“ geschieht, dann lässt sich nicht nur der Belagverschleiß unter zukünftigen Belastungen minimieren, sondern auch die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems steigern. (Ende)

#### Literaturhinweise:

- [1] Strenner, R.: Rissüberbrückende Beschichtungen von befahrbaren Betonkonstruktionen. Betoninstandsetzung 2000, S. 37
- [2] Kogelnik, H.-J.; Huang, H. H.; Barnes, M.; Meichner, R.: Comparison of the Dynamic Properties of Solid Polyurethane Elastomers. Polyurethanes 90, Proceedings of the SPI 33rd Annual Technical Meeting/Technical Conference, S. 207
- [3] Hartig, H. G.: Prüfungen an Rollenbelägen aus Vulkollan und seinen Wettbewerbssystemen. Anwendungstechnische Information, Bayer AG

Bildnachweis: 5 Jungheinrich AG, 6 Bayer AG

Zum besseren Verständnis sind die Bilder und die Literaturhinweise der Beiträge Teil I und Teil II fortlaufend nummeriert

Bayer AG  
51368 Leverkusen  
Tel.: 02 14/30-57393  
E-Mail: peter.plate.pp@bayer-ag.de  
Internet: www.pu.bayer.de