

## Schiffstechnik im innerbetrieblichen Transport?

# Konzept: Variabler Fahrtrieb für

**Worin bestehen die Gemeinsamkeiten eines Hafenschleppers und eines fahrerlosen Transportfahrzeugs? Abgesehen von der grundsätzlichen Transportaufgabe der beiden Fahrzeuge lassen sich kaum Parallelen entdecken. Dies könnte sich in naher Zukunft aber ändern. Am Dortmunder Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik wurde ein neues Fahrwerkskonzept für Flurförderzeuge entwickelt, das seine Ursprünge in der Schiffstechnik hat.**

■ Matthias Könemann  
■ Guido Follert

Die Erfüllung einer innerbetrieblichen Transportaufgabe mithilfe von fahrerlosen Transportsystemen ist häufig eng mit der Manövrierfähigkeit der Transportfahrzeuge verknüpft. Durch „wendige“ Fahrzeuge können sowohl der Flächenbedarf im Bereich von Kurven und Lastübergaben als auch die Flexibilität des Gesamtsystems günstig beeinflusst werden. Omnidirektionale Fahrwerkskonzepte, wie z. B. der Mecanum-Antrieb, haben sich daher in verschiedenen Bereichen der Transporttechnik erfolgreich durchgesetzt.

Die Theorie der Fahrzeugtechnik unterscheidet prinzipiell zwischen linienbeweglichen und flächenbeweglichen Fahrwerken. Bei einem linienbeweglichen Fahrzeug sind die Bewegungsfreiheitsgrade in der Ebene – wie bei einem Kraftfahrzeug – voneinander abhängig. Somit sind bestimmte Fahrmanöver, wie beispielsweise Bewegungen quer zur Fahrzeughauptachse („Traversieren“) und Drehungen um die Fahrzeug-Hochachse prinzipbedingt nicht möglich. Flächenbewegliche bzw. omnidirektionale Fahrwerke ermöglichen im Gegensatz dazu – vergleichbar mit einem Luftkissenfahrzeug – beliebige Fahrmanöver in der Ebene.

### Vorbild mit langer Tradition: der Voith-Schneider-Propeller

Das neue, vom Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML) in Dortmund entwickelte Konzept des variablen Fahrtriebs ist eng verwandt mit

dem aus der Schiffstechnik bekannten Voith-Schneider-Propeller (VSP). Der VSP wurde bereits im Jahr 1926 von dem Österreicher *Ernst Schneider* erfunden und anschließend von der Fa. Voith in Heidenheim gebaut. Es handelt sich um einen Verstellpropeller, dessen Rotationsbewegung – im Gegensatz zu einer Schiffsschraube – um eine senkrecht stehende Achse ausgeführt wird. Die ebenfalls senkrecht orientierten Propellerflügel führen zusätzlich zur Rotation eine Schwenkbewegung aus. Der erzeugte Schub ist dadurch bezüglich der Richtung und der Stärke stufenlos regelbar. Eingesetzt wird der VSP in Wasserfahrzeugen, die eine hohe Manövrierfähigkeit erfordern, z. B. Schlepper, Fähren und Schwimmkrane (Bild 1).



1 Voith-Schneider-Propeller und Drehkreismanöver eines mit VSP ausgerüsteten Hafenschleppers

### Aufbau und Funktion des variablen Fahrtriebs

Anstelle der Strömungskräfte an den Flügeln des VSP werden beim variablen Fahrtrieb die Seitenführungskräfte der Räder für den Vortrieb genutzt. Über diese Seitenführungskräfte wird – vergleichbar mit der Abstoßbewegung eines Inline-Skaters – die Rotationsbewegung des Antriebes in eine Vortriebsbewegung umgesetzt. In Analogie zum Skater sind auch die Räder des variablen Fahrtriebs passiv bzw. in Rollrichtung frei drehbar ausgeführt.

Der Aufbau des variablen Fahrtriebs ist im Bild 2 dargestellt, die Arbeitsweise geht aus Bild 3 hervor. Der Fahrtrieb besteht aus einem rotierenden Radträger, an dem mehrere Räder in kreisförmiger Anordnung angebracht sind. Während der Drehung bewegt sich jedes der Räder auf einer Kreisbahn um das Drehzentrum D und nimmt nacheinander die Positionen a bis f ein. Die Aufhängungen der Räder ermöglichen eine zusätzliche Schwenkbewegung um den Radaufhängungspunkt P. Eine im Radträger integrierte Verstell-

mechanik sorgt dafür, dass die Radachsen in jedem Betriebszustand in einem ortsfesten Punkt, dem sog. Steuerpunkt V, zusammenlaufen. Wird der Steuerpunkt aus dem Drehzentrum verschoben, entsteht während eines Umlaufs ein Winkelversatz der Rollrichtung zur Kreisbahn. Entlang dem oberen Halbkreis (Positionen a bis d) wird die Vorderseite des Rades (Bezug: Bewegungsrichtung) zum Kreisinneren hin verschwenkt. Entlang dem unteren Halbkreis (Positionen d bis a) zeigt die Vorderseite des Rades nach außen bzw. vom Kreiszentrum weg. An jeder Radposition entsteht eine Vortriebsgeschwindigkeit, die senkrecht zur Auslenkungsrichtung des Steuerpunktes orientiert ist. Da alle Vektoren der Vortriebsgeschwindigkeit gleich groß sind und in die gleiche Richtung zeigen, ist eine einwandfreie Kinematik gewährleistet. Der Grund für die in allen Radpositionen identische Vortriebsgeschwindigkeit ist das von *Ernst Schneider* bereits zum Zeitpunkt der Erfindung des VSP formulierte „Normalenschnittgesetz“. Mit steigender Entfernung x des Steuerpunktes aus dem Drehzentrum erhöht sich bei gegebener Drehzahl die Vortriebsgeschwindigkeit. Der Steuerpunkt kann in beliebiger Richtung aus dem Drehzentrum verschoben werden, wobei sich die Richtung der Vortriebsgeschwindigkeit entsprechend ausrichtet. Relativ zum Boden führen die Räder eine ebene Schraubenbewegung (mathematisch korrekt: Zykloide) aus.

mechanik sorgt dafür, dass die Radachsen in jedem Betriebszustand in einem ortsfesten Punkt, dem sog. Steuerpunkt V, zusammenlaufen. Wird der Steuerpunkt aus dem Drehzentrum verschoben, entsteht während eines Umlaufs ein Winkelversatz der Rollrichtung zur Kreisbahn. Entlang dem oberen Halbkreis (Positionen a bis d) wird die Vorderseite des Rades (Bezug: Bewegungsrichtung) zum Kreisinneren hin verschwenkt. Entlang dem unteren Halbkreis (Positionen d bis a) zeigt die Vorderseite des Rades nach außen bzw. vom Kreiszentrum weg. An jeder Radposition entsteht eine Vortriebsgeschwindigkeit, die senkrecht zur Auslenkungsrichtung des Steuerpunktes orientiert ist. Da alle Vektoren der Vortriebsgeschwindigkeit gleich groß sind und in die gleiche Richtung zeigen, ist eine einwandfreie Kinematik gewährleistet. Der Grund für die in allen Radpositionen identische Vortriebsgeschwindigkeit ist das von *Ernst Schneider* bereits zum Zeitpunkt der Erfindung des VSP formulierte „Normalenschnittgesetz“. Mit steigender Entfernung x des Steuerpunktes aus dem Drehzentrum erhöht sich bei gegebener Drehzahl die Vortriebsgeschwindigkeit. Der Steuerpunkt kann in beliebiger Richtung aus dem Drehzentrum verschoben werden, wobei sich die Richtung der Vortriebsgeschwindigkeit entsprechend ausrichtet. Relativ zum Boden führen die Räder eine ebene Schraubenbewegung (mathematisch korrekt: Zykloide) aus.

dem Drehzentrum erhöht sich bei gegebener Drehzahl die Vortriebsgeschwindigkeit. Der Steuerpunkt kann in beliebiger Richtung aus dem Drehzentrum verschoben werden, wobei sich die Richtung der Vortriebsgeschwindigkeit entsprechend ausrichtet. Relativ zum Boden führen die Räder eine ebene Schraubenbewegung (mathematisch korrekt: Zykloide) aus.

### Zahlreiche Vorteile für den innerbetrieblichen Transport

Aus der Funktionsweise des variablen Fahrtriebs ergeben sich zahlreiche Potenziale, die das Konzept vor allem für Flurförderzeuge prädestinieren:

- ▶ Aufbau vollständig flächenbeweglicher Fahrwerke
- ▶ stufenlose mechanische Regelbarkeit
- ▶ Vereinigung der Funktionen „Vortrieb“ und „Lenkung“ in einer Baugruppe
- ▶ Übernahme der Funktion einer Betriebsbremse (aufgrund der Selbsthemmung in Neutralstellung)
- ▶ (bei größerer Radanzahl) hohe erreichbare Tragfähigkeiten und geringe Bodenbelastungen.

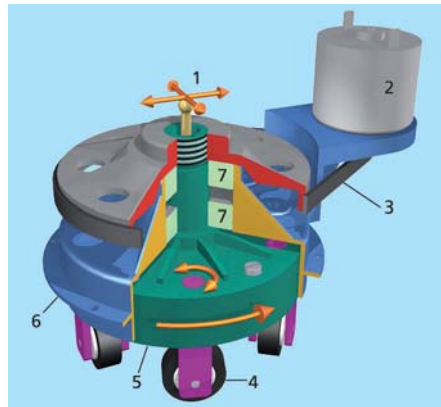
Die mechanische Regelung über die Auslenkung des Steuerpunktes wirkt wie ein stufenloses Getriebe. Ein Fahrzeug ist da-

# Flurförderzeuge

durch – wie auch ein mit VS-Propellern ausgerüstetes Wasserfahrzeug – in der Lage, bei voller Antriebsdrehzahl aus dem Stillstand heraus zu beschleunigen. Als zusätzlicher Regelparameter für die Geschwindigkeit steht die Antriebsdrehzahl zur Verfügung.

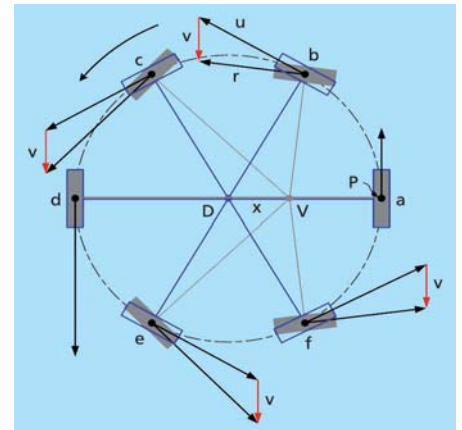
Durch die Kombination aus Drehzahl und mechanischer Auslenkung des Steuerpunktes können so beliebige Betriebspunkte eingestellt werden. Beispielsweise besteht die Möglichkeit, zur Erreichung hoher Vortriebskräfte eine hohe Drehzahl mit einer geringen mechanischen Auslenkung zu verbinden. Im regulären Fahrbetrieb kann dann die Drehzahl zugunsten einer vergrößerten Steuerpunkt-Auslenkung („Fahren im großen Gang“) zurückgenommen werden.

Obwohl die grundsätzliche Kinematik des Antriebs einwandfrei ist, entstehen Reibverluste durch die permanente „Kurvenfahrt“ der Räder in Verbindung mit der Radbreite. Hier ist geplant, die Verluste durch entsprechend schmale oder konisch ausgestaltete Rollen zu begrenzen. Einschränkungen im Einsatz können sich bei schlechten Bodenverhältnissen



## 2 Aufbau des variablen Fahrtriebs

1 Vortriebs- und Richtungssteuerung, 2 Motor, 3 Kraftübertragung, 4 Räder mit Aufhängung, 5 rotierender Radträger mit integrierter Verstellmechanik, 6 Gehäuse, mit Fahrzeugrahmen verbunden, 7 Lagerung

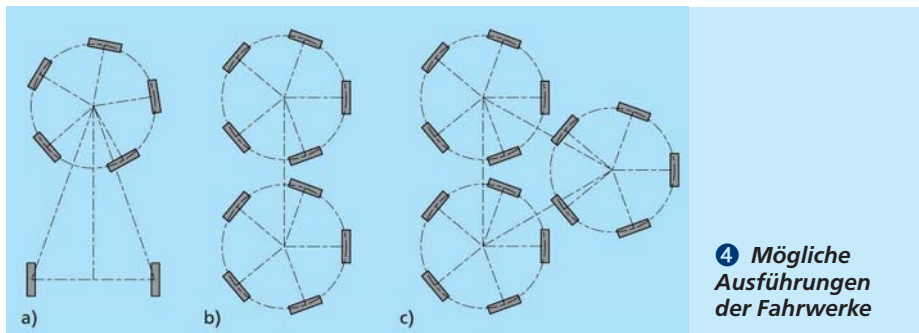


## 3 Kinematik des variablen Fahrtriebs

### Mögliche Fahrwerksvarianten

Für den Bau kompletter Fahrwerke sind verschiedene Anordnungsvarianten möglich (Bild 4). Zu beachten ist dabei das Reaktionsmoment des Antriebs, das – wie beim Hauptrotor eines Hubschraubers – kompensiert werden muss. ▶

ergeben, da sich die Seitenführungskräfte der Räder nur bei gleichmäßigem Bodenkontakt gegeneinander abstützen können.

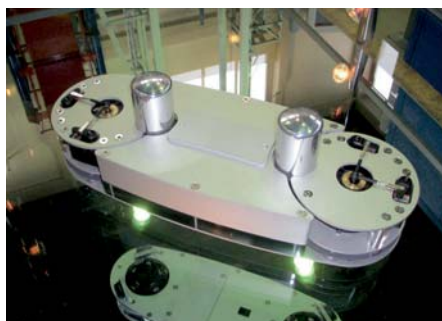


**4** Mögliche Ausführungen der Fahrwerke

Neben dem Einsatz eines einzelnen Antriebs in Kombination mit weiteren Stützrollen (Bild 4 a) ist der Einsatz zweier oder mehrerer Antriebe möglich (Bilder 4 b bzw. 4 c). Der Vorteil der vollständigen Flächenbeweglichkeit wird bei mindestens zwei Antrieben erreicht.

**Inspiration durch Texel-Fähre: Konzeptfahrzeuge**

Die Idee, das Grundprinzip des Voith-Schneider-Antriebs für ein Landfahrzeug zu adaptieren, entstand während der Überfahrt zur niederländischen Insel Texel. Die dort von der Fährgesellschaft Teso eingesetzten Schiffe – aufgrund ihres symmetrischen Aufbaus Doppelendfähren genannt – sind mit VS-Propellern ausgerüstet, die sich jeweils am Bug und am Heck des Rumpfes befinden.



**5** Maßstäbliches Konzeptfahrzeug mit Doppelantrieb (Bilder: IML, Voith)

Dem Layout der Doppelendfähre folgend, wurde am Fraunhofer-IML ein vollständig flächenbewegliches Fahrzeugmodell entwickelt (Bild 5). Das Fahrzeug ist mit zwei Antrieben versehen, die entsprechend Bild 4 b angeordnet sind. In Ergänzung dazu wurde ein weiterer Versuchsträger mit einem einzelnen Antrieb entworfen. Die Antriebe der Fahrzeuge entstammen ursprünglich dem Schiffsmotellbau. Nachdem die Propellerschaufeln der Schiffsantriebe durch Räder ersetzt worden waren, lieferten bereits die ersten Tests der Antriebe außerhalb des „nassen Elements“ vielversprechende Ergebnisse.

Beide Konzeptfahrzeuge zeigen vor allem bei Richtungswechseln, Beschleunigungen und Verzögerungen ein agiles Verhalten. Das flächenbewegliche Fahrwerk ermöglicht komplexe Fahrmanöver, wie Drehungen um die Fahrzeug-Hochachse und Traversierbewegungen in beliebiger Richtung. Filmaufnahmen dieser Fahrzeuge finden sich auf der Website [www.variabler-fahrtrieb.de](http://www.variabler-fahrtrieb.de).

**Potenzielle Anwendungsfelder**

Neben dem Einsatz in Fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF) ergeben sich für das neue Funktionsprinzip – vor allem aufgrund der erwartungsgemäß hohen Tragfähigkeit – zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten in den Marktsegmenten der mobilen Handhabungstechnik und der innerbetrieblichen Schwerlast-Transportsysteme. Ein weiteres potenzielles Anwendungsfeld sind manuell betriebene Flurförderzeuge, vor allem die derzeit mit aufwändiger Fahrwerkstechnik ausgestatteten Vierwege- und Mehrwegestapler.

**Weitere Ziele in Forschung und Entwicklung**

Die Systemgestaltung des Antriebskonzeptes wird derzeit in einem Forschungsvorhaben des IML untersucht. Im Mittelpunkt stehen hierbei die Verstellmechanik des

Antriebs und die Rad-Boden-Kontaktzone. Das Ziel besteht darin, die Auslegung und Gestaltung der Antriebskomponente für ein Flurförderzeug zu beherrschen. Für die Verstellmechanik existieren im Bereich der Schiffstechnik – bedingt durch die lange Entwicklungsgeschichte des VSP – zahlreiche Lösungsprinzipien. Diese sollen nun bezüglich der Eignung für ein Landfahrzeug untersucht werden. Ein Schlüsselfaktor bei der Systemgestaltung ist die Auslegung der Verstellmechanik, da die Größe der auftretenden Seitenführungskräfte der Räder noch weitgehend unbekannt ist. Aufschluss soll ein Versuchsstand geben, der über die Messung der Kräfte den Vergleich mit Modellrechnungen ermöglicht. Das Fraunhofer-IML knüpft bei diesen Arbeiten an die über 20-jährige Erfahrung im Bau individueller fahrerloser Transportfahrzeuge an. □

**Dipl.-Ing. Matthias Könemann**  
 ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Maschinen und Anlagen des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik in Dortmund



**Dr.-Ing. Guido Follert**  
 ist Leiter der Abteilung Maschinen und Anlagen des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik in Dortmund

