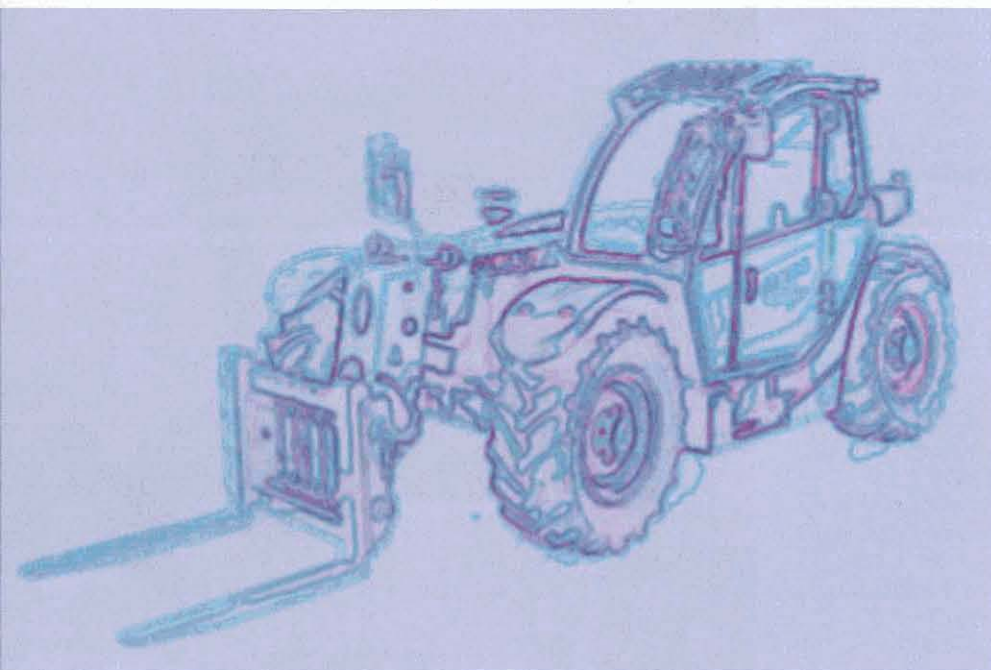


# Serieller hydrostatischer Hybrid – Teil 1: Aufbau und Betriebsstrategie

**Volle Antriebsunterstützung und Bremsenergierückgewinnung**



ne vom Konzept bis zum lauffähigen Prototypen. Schwerpunkte bilden dabei die Analyse von Maschinen- und Antriebskonzepten hinsichtlich deren Potenzials der Hybridisierung sowie die Entwicklung von Betriebsstrategien und Energiemanagementkonzepten.

Ziel der Studie, mit der sich dieser Artikel beschäftigt, war es, einen hydrostatischen Antriebsstrang in der Simulation zu hybridisieren und Kraftstoffverbrauchsminderungen unterschiedlicher Regelungskonzepte gegenüber der Serienmaschine zu vergleichen. Besonderes Augenmerk wurde hierbei auf die Regelung des Hybridantriebsstrangs gelegt: Zwei unterschiedliche Betriebsstrategien zum verbrauchsoptimalen Betrieb wurden entwickelt und die Kraftstoffeinsparungen verglichen. Dafür wurde ein für die untersuchte Maschine typischer Arbeitszyklus durchgeführt. Simulationsplattform war AMESim der Firma LMS Image .Lab AMESim.

T. Kautzmann, Ph. Thiebes, M. Geimer

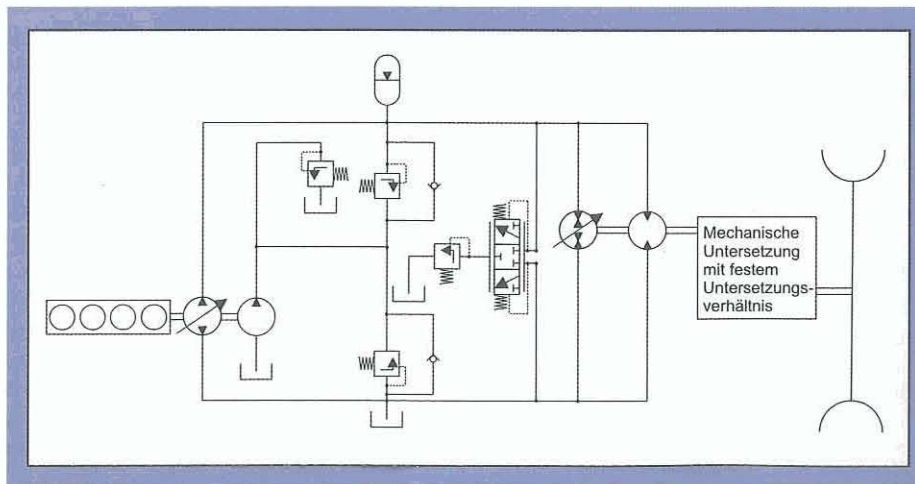
**Alternative Antriebskonzepte wie der Hybrid haben sich trotz steigender Preise energietragender Medien im Bereich der mobilen Arbeitsmaschinen noch nicht durchsetzen können. Fokus dieser Untersuchung ist daher das Potenzial zur Kraftstoffverbrauchsminderung auf Basis hybrider Antriebskonzepte. In dem hier vorliegenden Artikel wird das Konzept und die Betriebsstrategie eines seriellen hydrostatischen Hybridantriebs vorgestellt. Die simulativ ermittelten Kraftstoffeinsparungen folgen in einem zweiten Teil.**

Das allgemeine Interesse an alternativen Antriebskonzepten getragen von der politischen und wirtschaftlichen Unterstützung, bietet den Raum für viele Forschungseinrichtungen, sich daraus entstehenden Fragestellungen zu widmen. Ein Weg, den der Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen (MOBIMA) der Universität Karlsruhe (TH) einschlägt, ist die Untersuchung hybrider Antriebsstränge zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs in mobilen Arbeitsmaschinen. Projektziel ist die Entwicklung einer hybridgetriebenen mobilen Arbeitsmaschi-

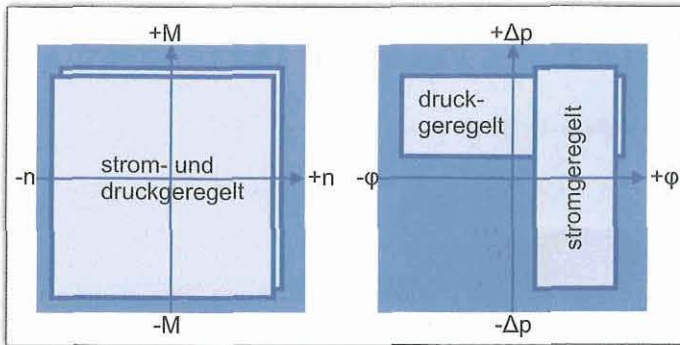
## Aktuelle Entwicklungen

Hybridantriebe für mobile Arbeitsmaschinen erfahren aufgrund der in der Einleitung erwähnten Rahmenbedingungen ein immer stärker werdendes Interesse. Auch liegen die erwarteten Kraftstoffeinsparungen durch Hybridisierung einer mobilen Arbeitsmaschine im Bereich des 10-fachen der Einsparungen bei Pkw [Thi07]. Als Indikator für das große Interesse kann die bereits zum zweiten Mal abgehaltene Tagung „Hybridantriebe für mobile Arbeitsmaschinen“ gesehen werden, die am 18. Februar

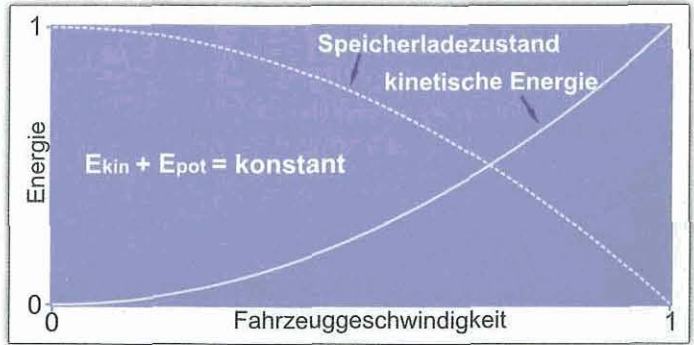
Dipl.-Ing. Timo Kautzmann, Dipl.-Ing. Phillip Thiebes, beide wissenschaftl. Mitarbeiter von Prof. Dr.-Ing. Marcus Geimer, Leiter des Lehrstuhls für Mobile Arbeitsmaschinen (MOBIMA) der Universität Karlsruhe (TH)



1: Antriebsstrang



2: Betriebsweise des Hydromotors



3: Sollspeicherzustand als Funktion der Fahrgeschwindigkeit

2009 in Karlsruhe stattfand. Die Veranstaltung gab einen umfassenden Überblick über aktuelle Technologien und Trends [Hyb09]. Dabei wurde deutlich, dass sowohl elektrische als auch hydrostatische Hybridantriebe in mobilen Arbeitsmaschinen eine Bedeutung haben und haben werden. Jedoch zeigte sich auch, dass bei den elektrischen Komponenten, besonders den Speichern, noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht. Hydraulische Speicher sind zwar serienreif verfügbar, allerdings können mit diesen Speichern nach wie vor sehr hohe Leistungen aber nur geringe Energien bereitgestellt werden.

## Antriebsstrangkzept und Betriebsstrategie

Basis für die Untersuchungen war ein Teleskopklader mit den technischen Daten aus **Tabelle 1**. Die untersuchte Maschine verfügt in ihrem Serienzustand über einen hydrostatischen Fahrtrieb mit Primär-Sekundärverstellung im geschlossenen Kreis, wobei der Hochdruck auf 450 bar begrenzt ist. Zur Darstellung eines Hybridantriebs wurde an der Hochdruckseite ein Speicher angeschlossen und der hydrostatische Kreis in ein offenes System mit eingepprägtem Druck umgestaltet (**Bild 1**). Außerdem wurde der Hydromotor durch eine durch Null schwenkbare Einheit ersetzt. Dadurch dass sich die Zuordnung der Hoch- und Niederdruckseite nicht ändert (offener Kreis), bleibt es jedoch im Schwenkwinkel-Druck-Diagramm ( $\varphi$ - $\Delta p$ -Diagramm) bei einem Zweiquadrantenbetrieb (**Bild 2**). Das ur-

Technische Daten der untersuchten Maschine	
Masse	10 t
max. Geschwindigkeit im Arbeitsbetrieb	20 km/h
max. Geschwindigkeit im Fahrbetrieb	40 km/h
Hydropumpe	90 ccm (verstellbar, Zweiquadrantenbetrieb)
Hydromotor	133 ccm (verstellbar, Zweiquadrantenbetrieb)
Speichergröße	82 l

Tab. 1: Technische Daten des Teleskopkladers

sprünglich stromgeregelt System wurde somit in ein druckgeregelt umgewandelt. Schließlich wurde die Ansteuerung der beiden Verstellhydrostaten angepasst, was im zweiten Teil dieses Artikels näher erläutert wird. Der parallel geschaltete Konstantmotor des Serienantriebsstrangs wurde hingegen unverändert übernommen.

Der Verstellmotor wird geschwindigkeits- bzw. drehzahl geregelt, dies entspricht bekannten Ansätzen der Sekundärregelung wie sie in [Mur83, Haa89, Zäh93] beschrieben sind. Abweichend von üblichen sekundär geregelten Systemen sind hier zwei markante Unterschiede von Bedeutung:

- 1.) Sekundär geregelte Systeme werden üblicherweise im Stationäreinsatz verwendet.
- 2.) Sekundär geregelte Systeme werden aus einer druck geregelten Pumpe versorgt, die auf einen konstanten Solldruck einregelt.

Im vorgeschlagenen Steuerkonzept folgt die Pumpe einer veränderlichen Führungsgröße. Interessant ist hierbei die Bestimmung der Führungsgröße nach folgendem Prinzip. Es wird angenommen, dass die Gesamtenergie des Systems „fahrende Maschine“ konstant bleibt. Diese Gesamtenergie besteht aus zwei Anteilen: Der kinetischen Energie ( $E_{kin}$ ) des Fahrzeugs und der potenziellen Energie des Hydraulikspeichers ( $E_{pot}$ ). Die kinetische Energie ändert sich mit der Geschwindigkeit der Maschine, die potenzielle Energie mit dem Druck im Speicher und damit auf der Hochdruckseite des Fahrtriebs. Als Axiom des Antriebskonzepts wird festgelegt, dass die Summe dieser beiden Energien immer gleich der maximalen kinetischen Energie im Arbeitszyklus bzw. der maximalen Speicherenergie ist, wie es in **Bild 3** dargestellt ist.

Dies hat den Vorteil, dass der Speicher eine optimale Antriebsunterstützung liefert, da bei minimaler Geschwindigkeit maximaler Druck anliegt und das Fahrzeug bis auf die vorgegebene maximale Geschwindigkeit beschleunigen kann. Außerdem weist der Speicher optimales Potenzial zur Bremsenergie rückgewinnung auf, da er stets die gesamte kinetische Energie des Fahrzeugs aufnehmen kann. Aus der Kenntnis der Ist-Geschwindigkeit kann folglich ein Soll-Druck bestimmt werden. Über den Abgleich mit dem Ist-Druck kann der Schwenkwinkel

der Hydropumpe geregelt werden.

Die Art und Weise wie diese Energie in das System gespeist wird, regelt die Betriebsstrategie. Hier werden zwei verschiedene Ansätze verfolgt, die im zweiten Teil miteinander verglichen werden. Einerseits wird die VKM auf der Linie und andererseits im Punkt minimalen Verbrauchs des Motorkennfeldes betrieben. Im ersten Fall ist die Leistungsabgabe proportional zur Druckdifferenz  $\Delta p$  zwischen Soll- und Ist-Druck, im zweiten Fall speist die VKM dann Energie im wirkungsgrad optimalen Punkt in das System, wenn  $\Delta p$  über einen gewissen Grenzwert steigt und erst dann wieder abgeschaltet wird, wenn  $\Delta p$  gleich Null ist.

MOBIMA  
5199310

WWW  
www.vfv1.de/#5199310

### Literatur:

- [Thi07] Thiebes, P. Geimer, M.: Hybridantriebe für Mobile Arbeitsmaschinen O+P Zeitschrift für Fluidtechnik - Aktorik, Steuerelektronik und Sensorik, Band 51 (2007), Nr. 11-12, S. 630-635.  
 [Hyb09] WVMA (Hrsg.): Hybridantriebe für mobile Arbeitsmaschinen. Tagungsband zur gleichnamigen 2. Fachtagung, 18.02.2009 in Karlsruhe, 170 Seiten.  
 [Mur93] Murrenhoff, H.: Regelung von verstellbaren Verdrängereinheiten am Konstant-Drucknetz. Dissertation. RWTH Aachen, 1983.  
 [Haa89] Haas, H.-J.: Sekundär geregelte hydrostatische Antriebe im Drehzahl- und Drehwinkelregelkreis. Dissertation. RWTH Aachen, 1989.  
 [Zäh93] Zäh, B.: Energiesparende Schaltungen hydraulischer Antriebe mit veränderlichem Versorgungsdruck und ihre Regelung. Dissertation. RWTH Aachen, 1993.

## Ausblick: Zweiter Teil

Im Artikel „Serieller hydrostatischer Hybrid - Regelung und Potenzialabschätzung“ der nächsten Ausgabe der Fachzeitschrift Mobile Maschinen wird aufbauend auf den hier beschriebenen Ideen eine Regelung in das Simulationsmodell des Hybridantriebsstranges implementiert. Daran anschließend erfolgt die Berechnung des Kraftstoffverbrauchs für einen für die Maschine repräsentativen Zyklus. Hier zeigt sich ganz besonders, welche Auswirkung die Betriebsstrategie auf den Erfolg des Hybridantriebs haben kann.