

## Hydrobus mit stufenlosem Antrieb und Bremsenergie-Rückgewinnung

Sonderdruck über Forschungsvorhaben  
„Alternativen im Stadtbusbetrieb“  
Anschlußvorhaben Hydrobus III  
Gefördert vom Bundesminister für Forschung  
und Technologie und vom Senator für  
Wissenschaft und Forschung Berlin



## Ziel und Durchführung des Vorhabens

Ziel des Vorhabens war die Entwicklung, der Bau und die Funktionserprobung eines Antriebes zur Rückgewinnung der Bremsenergie bei Stadtlinienbussen unter Verwendung eines stufenlosen Getriebes und Druckspeichern.

Alle für einen realen Stadtbuseinsatz notwendigen Funktionen wurden nachgewiesen. In Stadtbuszyklen wurden Treibstoffeinsparungen von 21 bis 28,2% bezogen auf 2 Halte/km, bei hoher Fahrdynamik und gutem Fahrkomfort gemessen. Ein wesentliches zusätzliches Ergebnis stellt die Neuentwicklung aller Hydraulikkomponenten für 420 bar dar.

Die Entwicklungsarbeiten werden vom Bundesminister für Forschung und Technologie, sowie vom Senator für Wissenschaft und Forschung Berlin gefördert. Die zwei Erprobungsträger – ein Bus mit und ein Bus ohne Energierückgewinnung – werden von der BVG im Stadtlinieneinsatz betrieben und zusammen mit der SNV auf Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz untersucht.

Mit der gesamten Abwicklung der Phase I des Anschlußvorhabens und der betrieblichen Erprobung sind die Berliner Verkehrs-Betriebe – BVG – beauftragt worden.

Als Unterauftragsnehmer sind beteiligt:

- BVC, Berliner Verkehrs-Consulting GmbH:  
Begleitende Untersuchungen.
- SNV, Studiengesellschaft für Nahverkehr mbH Berlin:  
Begleitende Untersuchung.
- MAN Nutzfahrzeuge GmbH:  
Beistellung der beiden Fahrzeuge aus Vorhaben Hydrobus III, Optimierung derselben, sowie deren fahrzeugspezifische Betreuung.
- MAN Technologie GmbH:  
Verbesserung der Regelung und Betreuung des elektronischen Regelsystems.
- J. M. Voith GmbH, Antriebstechnik:  
Arbeiten zur Erhöhung der Zuverlässigkeit der Komponenten des stufenlosen Getriebes mit Energierückgewinnung und Betreuung des mechanischen und hydrostatischen Teiles des Getriebes und Speichersystems.

### Ergebnisse

Alle für einen realen Einsatz im öffentlichen Personennahverkehr notwendigen Funktionen wurden nachgewiesen. Das Fahrzeug ist ohne besondere Fahrerschulung einsetzbar. Das Beschleunigungsverhalten ist mit den Bestwerten eines Stadtbusses mit konventionellem Antriebssystem vergleichbar, siehe Bild 3 oben.

Im schon erwähnten Stadt-Testzyklus mit Konstantgeschwindigkeiten von 40 und 50 km/h, Vollastbeschleunigung, 18 s Haltezeit und Haltestellenabständen von 250 bis 1000 m, siehe Bild 1, wurden gegenüber dem Bus mit Automatikgetriebe Verbrauchseinsparungen von 21 bis 28,2% gemessen, siehe Bild 2 und Bild 3 unten.

Im Gegensatz zum konventionellen Stadtbusantriebssystem reagiert der stufenlose Antrieb mit Bremsenergie-rückgewinnung wenig sensibel auf die Haltefrequenz, siehe Bild 2. Der geringere Verbrauch bei Konstantfahrt ist durch die diesem stufenlosen System eigene hohe Gesamtwandlung bedingt, die einen Konstantfahrtbetrieb mit sehr geringen Motordrehzahlen ermöglicht. Aufgrund des geringen hydrostatischen Leistungsanteiles wird ein guter Gesamtwirkungsgrad der Getriebe erreicht.

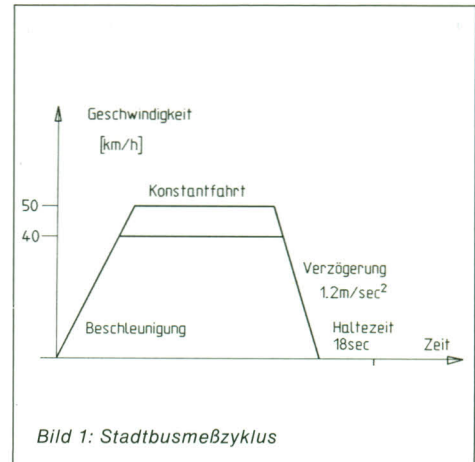


Bild 1: Stadtbusmeßzyklus

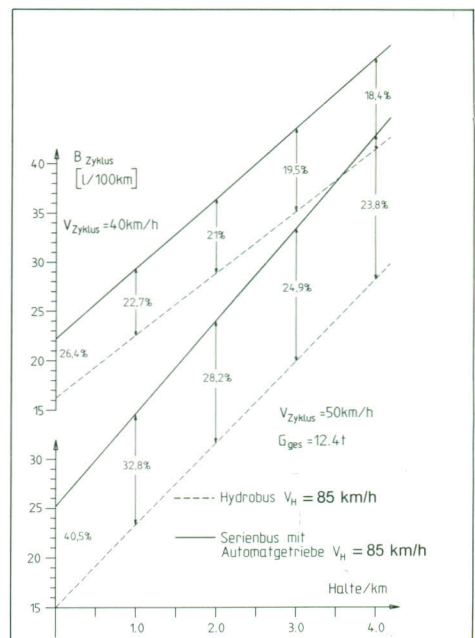


Bild 2: Kraftstoffverbrauch im Haltestellenzyklus

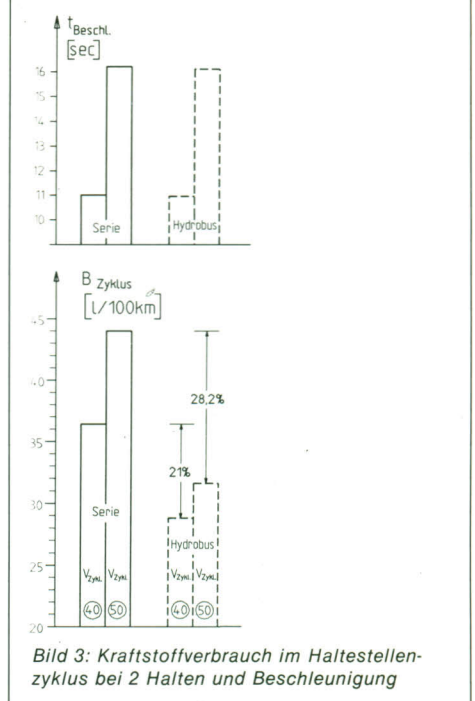


Bild 3: Kraftstoffverbrauch im Haltestellenzyklus bei 2 Halten und Beschleunigung

## Antriebssystem

Der Antrieb des Hydrobusses besteht aus einem konventionellen Dieselmotor 147 kW bei 2200 1/min, dem hydro-mechanischen Leistungsverzweigungsgetriebe und den untereinander hydrostatisch gekoppelten Hydroeinheiten H1 und H2 mit den angeschlossenen Druckspeichern. Die Hydroeinheiten H1 und H2 sind wiederum mechanisch mit dem Hohlrad bzw. dem Steg oder kleinen Sonnenrad des vierwelligen Planetendifferentials verbunden. Die stufenlose Übersetzungsänderung zwischen Eingangs- und Ausgangsdrehzahl wird durch die kontinuierlich verstellbaren Schluck- bzw. Fördervolumina der Hydroeinheiten H1 und H2 erreicht.

Das Getriebe bietet 3 Fahrbereiche. Im 1. Fahrbereich ist die Hydroeinheit H2 über eine sperrsynchrisierte Klauenkupplung an den Steg und im 2. Fahrbereich an das kleine Sonnenrad des Planetendifferentials gekoppelt. Im 3. Fahrbereich wird das kleine Sonnenrad durch die als Motor arbeitende Hydroeinheit H2 entgegengesetzt der Motordrehrichtung angetrieben und dadurch die Abtriebsdrehzahl gegenüber der Motordrehzahl erhöht.

Beim Bremsvorgang, das Getriebe befindet sich in der 2. oder 3. Fahrstufe, arbeiten die beiden Hydroeinheiten als Pumpen und die Bremsenergie wird durch Umpumpung des Speichervolumens vom Niederdruckspeicher ND in den Hochdruckspeicher HD gespeichert.

Die Beschleunigung erfolgt zunächst bis zur Umschaltung in den 2. Fahrbereich mit dem Dieselmotor, dann werden Hoch- und Niederdruckspeicher geöffnet. Beide Hydroeinheiten arbeiten nun als Motor, dabei ist die Einheit H2 völlig ausgeschwenkt und die Einheit H1 wird in Funktion des Fahrpedals geschwenkt. Während des Entleervorganges des Hochdruckspeichers wird der Leistungsabfall des hydrostatischen Antriebes durch allmähliche Zuschaltung des Verbrennungsmotors ergänzt.

Die Steuerung der Hydroeinheiten, der Ventile sowie die Motorbeeinflussung erfolgt durch ein elektronisches Steuergerät mit Mikroprozessor, siehe Bild 4 und 5.

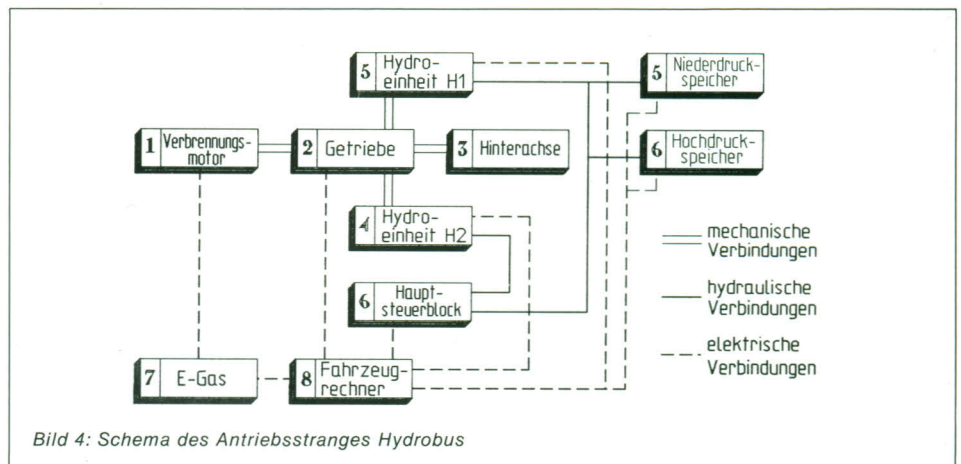


Bild 4: Schema des Antriebsstranges Hydrobus

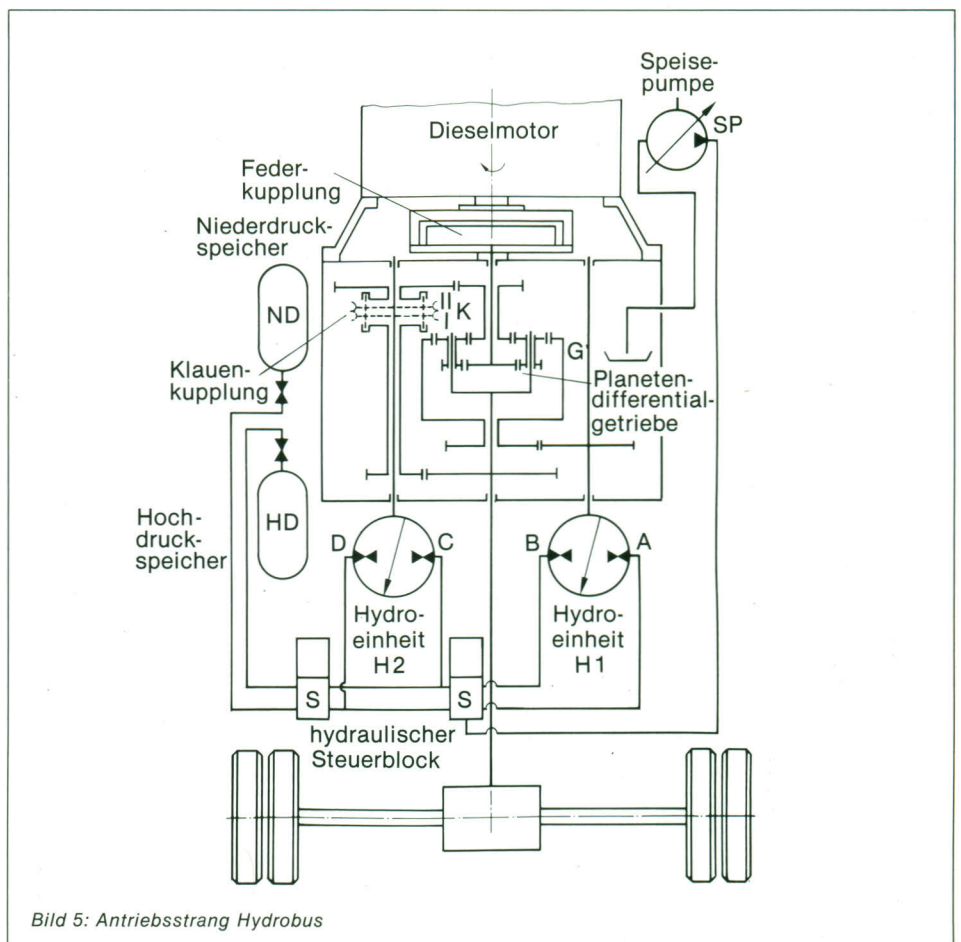


Bild 5: Antriebsstrang Hydrobus

Wenn Leistung zählt...

## J. M. Voith GmbH

### Antriebstechnik

Sankt Pöltener Straße 43

Postfach 1940

D-7920 Heidenheim

Tel.: (0 73 21) 37-0

Telex: 714 799 80 VH D

Telefax: (0 73 21) 37 31 04

Telegramme:

Voithwerk Heidenheimbrenz



### Bewertung und Ausblick

Das vorgestellte Getriebesystem für Stadtomnibusse ist eine Alternative zu den konventionellen Automatgetrieben mit Trilock- oder Differentialwandler. Der stufenlose Antrieb mit Energierückgewinnung ermöglicht eine Optimierung des Antriebsstranges, der folgende Vorteile erwarten läßt:

- Deutlich verringerter Kraftstoffverbrauch durch Energierückgewinnung und Betrieb im günstigsten Kennfeld- und Motordrehzahlbereich.
- Reduzierung der Motorgeräuschemission durch die Möglichkeit, den Motor im niedrigen Drehzahlbereich zu betreiben.
- Weniger Abgasemission infolge geringerer verbrauchter Kraftstoffmenge.
- Vereinfachte Bedienung und erhöhter Fahrkomfort.

