

# Effizienter Hybridantrieb mit Ultracaps für Stadtbusse

## *Efficient Hybrid Drive System with Ultracaps for City Buses*

Dr. Stefan **Kersch**, Eberhard **Hipp**, Gerald **Lexen**  
MAN Nutzfahrzeuge AG, München

### Zusammenfassung

MAN Nutzfahrzeuge hat im Rahmen eines Forschungsprojekts den bereits in Nürnberg im Linienbetrieb getesteten Ultracap-Bus durch eine Vielzahl von Optimierungsmaßnahmen weiter verbessert.

Wesentliche Maßnahmen sind der Einsatz eines neu entwickelten Ultracap-Speichersystems, bedarfsgerechter Betrieb der Nebenaggregate sowie die Optimierung des Energiemanagements mit Implementierung einer Stopp-Start-Automatik.

Dieses Prototyp-Fahrzeug wird in einem mehrmonatigen Linieneinsatz bei der VAG Nürnberg erprobt. Dadurch kann direkt die erreichte Verbesserung des optimierten Antriebssystems zum bisherigen Stand bestimmt werden. Das Projekt wird vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (BStMWIVT) gefördert.

### Summary

Within the context of a research project MAN Nutzfahrzeuge has further improved the ultracap bus already tested in scheduled-service operation in Nuremberg by means of a variety of optimisation measures.

Essential features of these measures are the use of a newly developed ultracap storage system, the requirement-oriented operation of secondary units and optimised energy management implementing an automatic stop-and-start system.

This prototype vehicle is being tested in several months of scheduled service at VAG Nuremberg. This will enable a direct comparison between the improvement achieved in the optimised drive system and the current status. The project is being supported by the Bavarian State Ministry of Economic Affairs, Transport and Technology (BStMWIVT).

## 1 Einführung

Rohöl wird auch in den nächsten Jahrzehnten die Grundlage zur Sicherung der Mobilität sein. Wegen der eingeschränkten Rohölvorkommen sowie der Klimarelevanz fossiler Kraftstoffe stellt die Verringerung des Kraftstoffverbrauchs eine wichtige Herausforderung für die Motoren- und Fahrzeugentwickler dar. Möglichkeiten dazu bieten der Einsatz alternativer Kraftstoffe sowie die Entwicklung von Fahrzeugantrieben mit gesteigerter Effizienz. Sowohl der Einsatz alternativer Kraftstoffe als auch der alternativer Antriebe muss aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht bewertet werden. Schwerpunkte dabei sind die Verringerung des Kraftstoffverbrauchs, die Reduzierung der lokalen und globalen Emissionen sowie die Möglichkeit einer Umsetzung ohne aufwändige Maßnahmen im Bereich der Infrastruktur.

Mit Hybridantriebssystemen kann eine deutliche Effizienzsteigerung für den Antriebsstrang erreicht werden, die aus heutiger Sicht durch kontinuierliche Weiterentwicklung der konventionellen Technik in dem Maße nicht dargestellt werden kann. Jedoch führt die Komplexität eines solchen Antriebskonzeptes zu höheren Systemkosten. Diese sollten durch die Reduzierung der Betriebskosten, insbesondere der Kraftstoffkosten kompensiert werden. Im Nutzfahrzeugbereich kommen zudem die Kriterien Fahrzeug-Verfügbarkeit, Lebensdauer, Wartungskosten sowie Reduzierung der Nutzlast durch Mehrgewicht zum Tragen.

Der Einsatz von hybriden Antriebssystemen vor allem bei Stadtbussen ist viel versprechend.

MAN Nutzfahrzeuge beschäftigt sich seit 1999 mit dem Einsatz von Ultracaps in Hybridsystemen für Stadtbusse. 2001 wurde der sog. „Ultracapbus“, der erste Hybridbus mit Ultracaps in Europa, der Öffentlichkeit vorgestellt und 2001/2002 im realen Linienbetrieb erprobt.

Im Rahmen eines weiteren vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (BStMWIVT) geförderten Forschungsprojekts wurde auf Basis der gewonnenen Erfahrungen das Antriebssystem durch eine Vielzahl von Optimierungsmaßnahmen weiter verbessert.

Die wesentlichen Maßnahmen zur Optimierung des Antriebssystems sind nachfolgend zusammengestellt:

- Einsatz des neu entwickelten Ultracap-Speichersystems
- Optimierung des Energiemanagements
- Implementierung einer Stopp-Start-Automatik (SSA)
- Standfester, SSA-fähiger Generator mit erhöhter Leistung
- Elektrisch angetriebene Lenkhilfpumpe
- Elektrisch angetriebener Luftpresse

- Ersatz der Lichtmaschine durch DC/DC-Wandler
- Bedarfsgerechte Ansteuerung der Nebenaggregate

Dieser optimierte Ultracap-Bus wird derzeit in einem mehrmonatigen Linieneinsatz bei der VAG Nürnberg erprobt. Dadurch kann direkt die erreichte Verbesserung des optimierten Antriebssystems zum bisherigen Stand bestimmt werden.

## 2 Fahrzeugbeschreibung

Der optimierte Ultracap-Bus mit diesel-elektrischem Antrieb und Hochleistungsspeicher stellt einen seriellen Hybridantrieb dar. Als Speicherelemente werden sog. Ultracaps verwendet und auf der Dachfläche des Busses montiert. Alle übrigen Antriebsstrangkomponenten sind im Bodenbereich (Heck- und Podestbereich) des Busses angeordnet. Abbildung 1 zeigt das Konzeptbild des aufgebauten Prototyps.

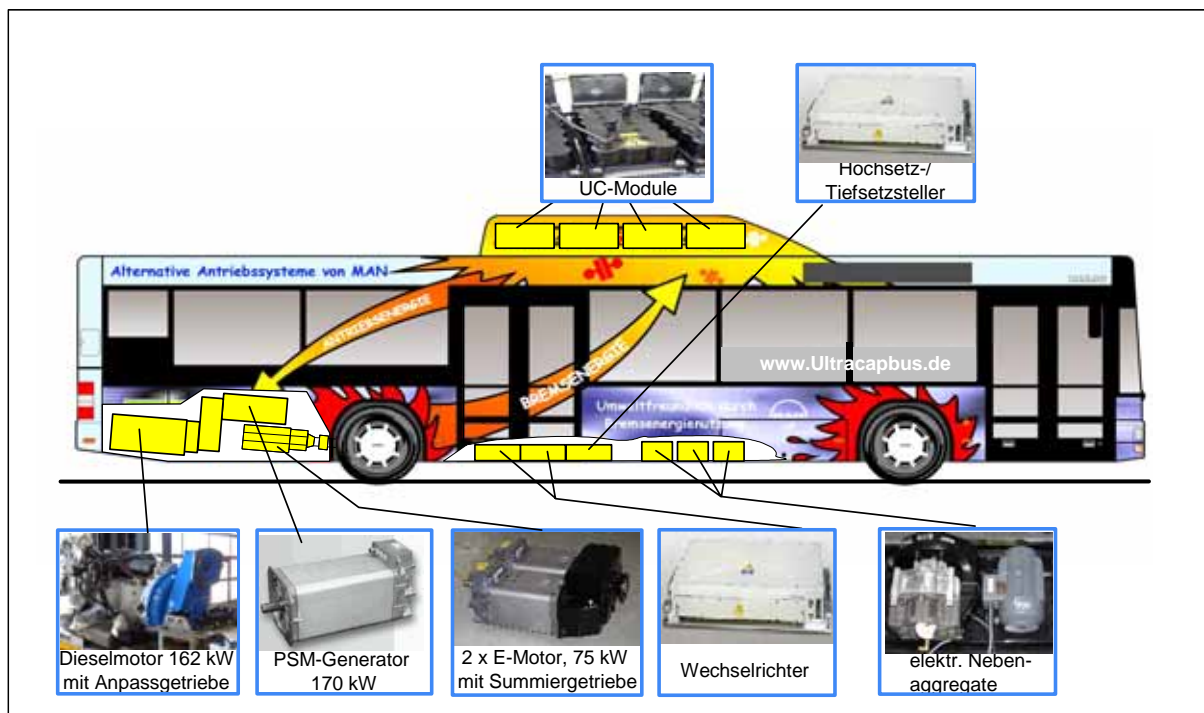


Abb. 1: Optimierter Ultracap-Bus (Konzeptbild)  
*Optimized Ultracap-bus (concept)*

Das dazugehörige Antriebsstrangschemata ist in Abbildung 2 dargestellt. Ein permanent erregter Synchron-Generator wird über ein Anpassgetriebe an den Dieselmotor angeflanscht. Der Generator versorgt zwei Asynchronmaschinen, die über ein Summiergetriebe miteinander verbunden sind, mit elektrischem Strom. Die Momentenübertragung zur Hinterachse erfolgt über eine Gelenkwelle.

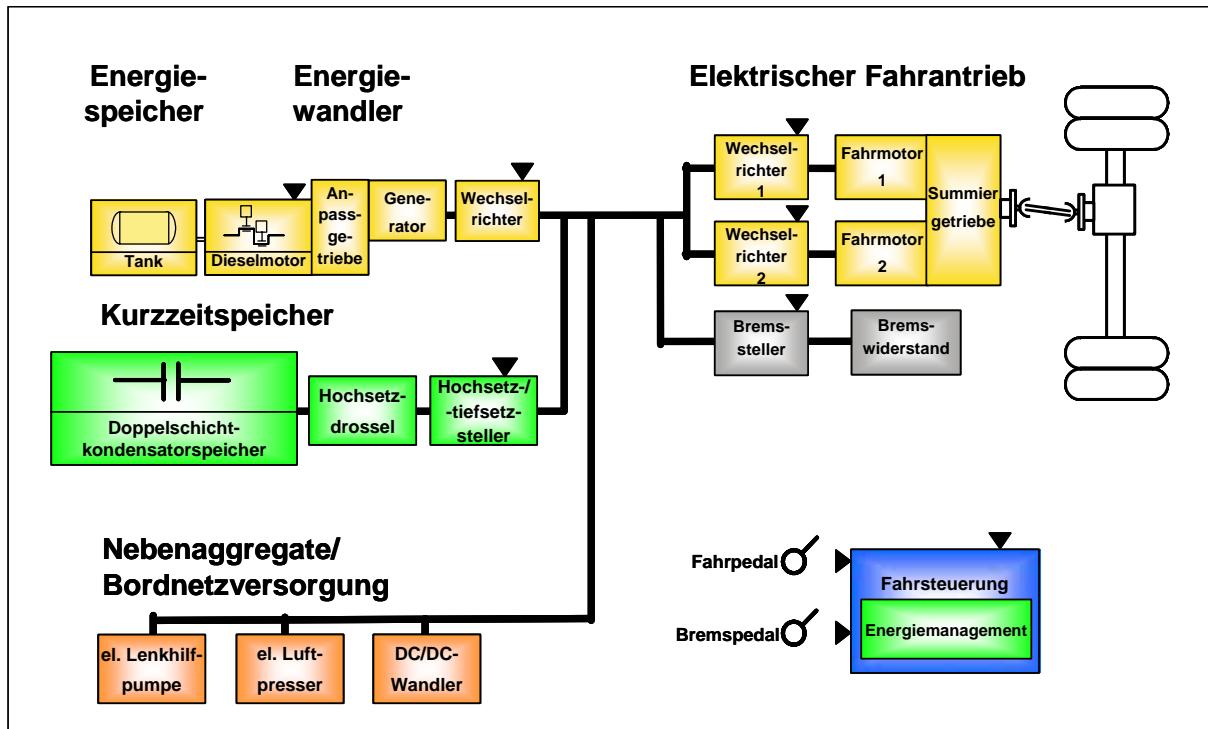


Abb. 2: DE-Hybrid-Antriebssystem  
DE-hybrid drive system

Die elektrische Anbindung des Ultracap-Speichers erfolgt am Gleichstrom-zwischenkreis. Damit die Energieaufnahme und -abgabe des Speichers in den Gleichstromzwischenkreis definiert gesteuert werden kann, erfolgt eine Spannungsanpassung über eine Hoch-/Tiefsetzsteller-Einheit. Zusätzlich werden im Gegensatz zum konventionellen Antriebssystem die Nebenaggregate nicht direkt über den Dieselmotor angetrieben, sondern elektrisch aus dem Gleichstrom-zwischenkreis versorgt und damit entkoppelt.

## 2.1 Ultracap-Speichersystem

Grundsätzlich zeichnen sich Ultracaps gegenüber anderen Energiespeichern wie Batterien oder Schwungradspeichern durch ihre besonders hohe Leistungsdichte, hohe Leistungsaufnahmefähigkeit, Zuverlässigkeit, hohen Wirkungsgrad, keinerlei bewegte Teile sowie Wartungsfreiheit aus. Die Ultracap-Technologie ist aufgrund der hohen Wirkungsgrade durch extrem geringe Innenwiderstände und Zyklusfestigkeit ideal für die Rekuperation von Bremsenergie geeignet. Ultracaps haben zwar sehr hohe Kapazitäten, jedoch nur sehr geringe Betriebsspannungen von max. ca. 2,7 Volt. Aufgrund der hohen Arbeitsspannungen bis 650 V müssen bei Ultracap-Systemen eine Vielzahl von Einzelzellen in Reihe verschaltet werden. Hierdurch entstehen höchste Anforderungen an geringe Einzelzelltoleranzen (z. B. Selbstentladungs-verhalten, Kapazität) und gleichmäßige Temperaturbedingungen, um einen homogenen Zellverbund über die geforderten Lebensdauern betreiben zu können. Ebenso steigt der Aufwand für die Einzelzellüberwachung.

Die Entwicklung des optimierten Ultracap-Speichersystems basierte auf den Erfahrungen mit dem bisherigen Ultracap-Speichersystem. Dessen Aufbau ist in Abbildung 3 dargestellt.

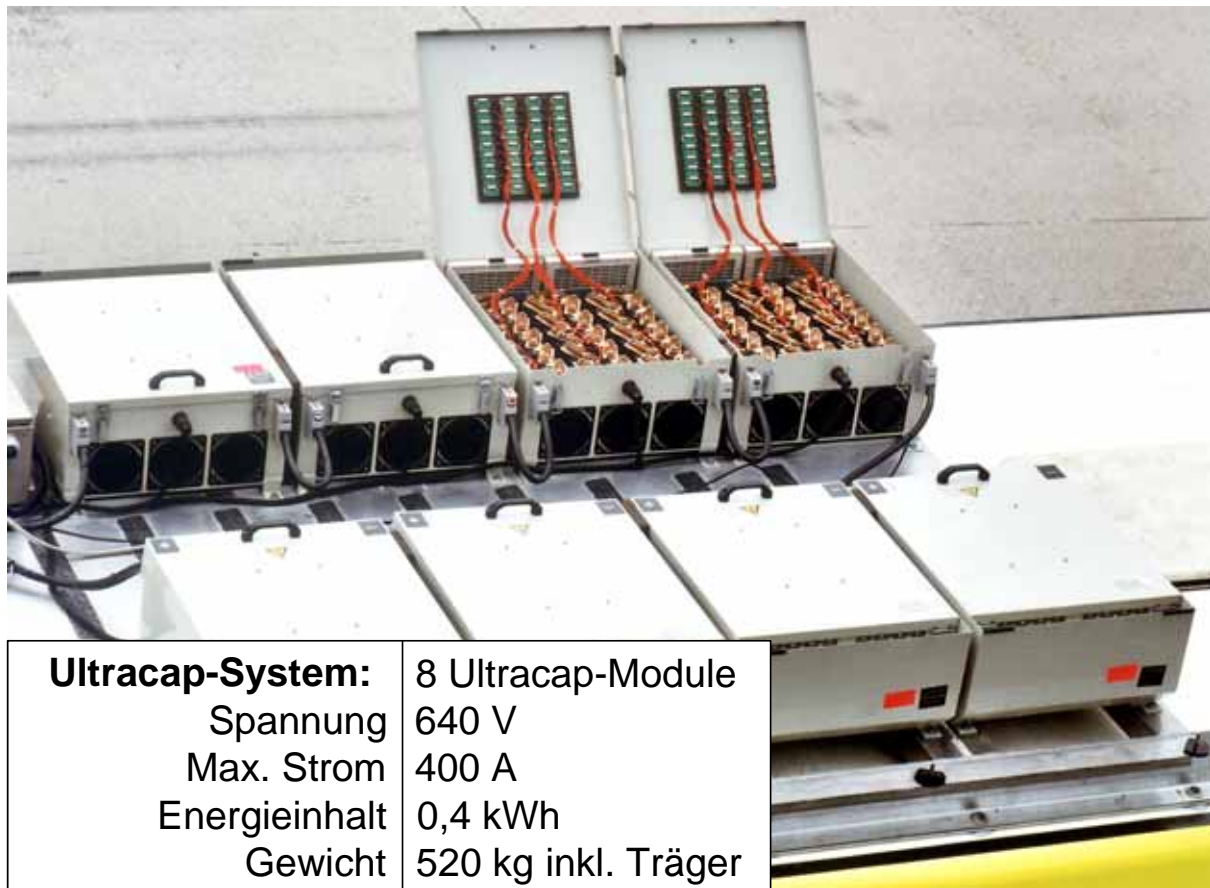


Abb. 3: Ultracap-Speichersystem (1. Generation)  
*Ultracap-storage-device (1. generation)*

Schwächen zeigte dieses System vor allem hinsichtlich relativ hoher Innenwiderstände (bedingt durch Zellaufbau und verschraubte Kontaktierung), ungleichmäßige und ungenügende Kühlung der Zellen sowie eines nicht automotiven Aufbaus und Verkabelung.

Für das neue Ultracap-Speichersystem konnten die zusammen mit der Fa. EPCOS entwickelten 42 V-Module neuester Technologie eingesetzt werden. Diese Module beinhalten gewickelte Ultracap-Rundzellen mit deutlich verbesserter Kontaktierung der Elektroden innerhalb der Zelle. Zudem wird die Verschaltung der Einzelzellen über fest verschweißte Aluminiumschienen dargestellt. Die spezifischen Energie- und Leistungsdichten des bisherigen und des neu entwickelten Speichersystems sind im Ragone-Diagramm in Abbildung 4 eingetragen.

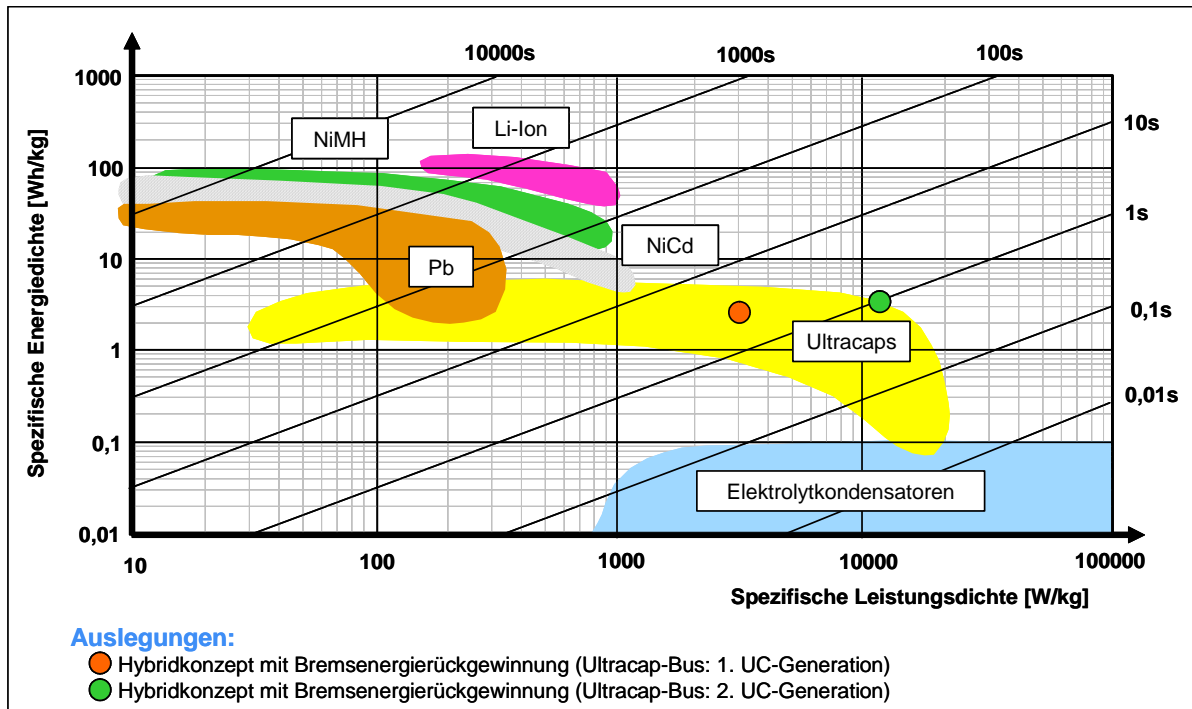


Abb. 4: Spezifische Leistungs- und Energiedichte der beiden Ultracapsysteme  
*Specific power- and energy density of the two Ultracap-storage devices*

Das neu entwickelte Ultracap-Speichersystem (Abbildung 5) zeichnet sich vor allem durch eine drastische Reduzierung der Speicherverluste durch Verringerung der Innenwiderstände sowie einer deutlichen Verlängerung der Lebensdauer durch Verbesserung der Kühlung aus. Eine Lebensdauer entsprechend der Fahrzeuglebensdauer scheint voraussichtlich erreichbar.

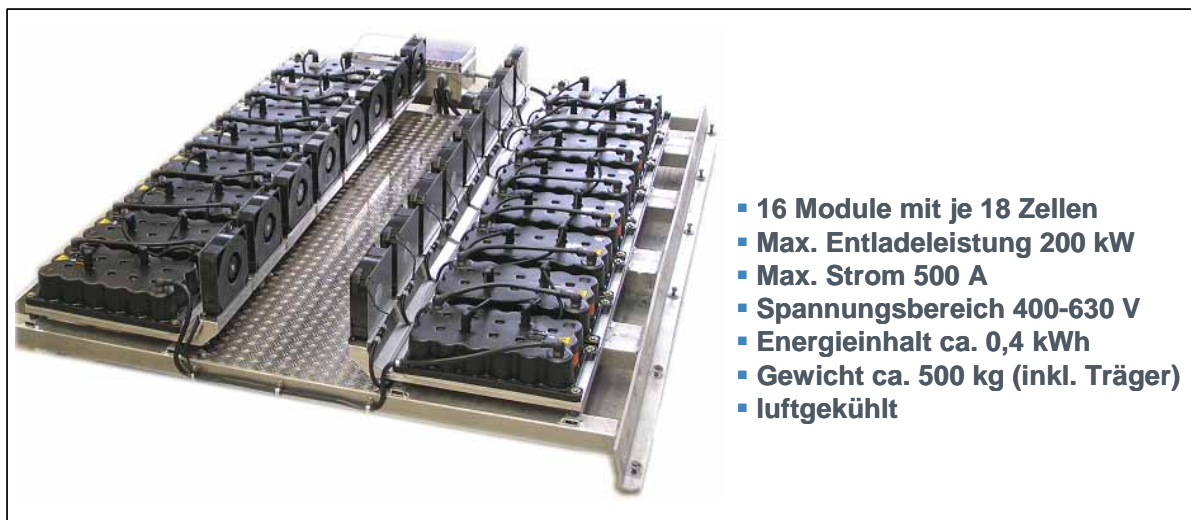


Abb. 5: Optimiertes Ultracap-Speichersystem  
*Optimized Ultracap-storage device*

## **2.2 Funktionsweise**

### **2.2.1 Anfahren und Fahrbetrieb**

Die Antriebsleistung für die Fahrmotoren kann vom Dieselmotor über den Generator oder vom Energiespeicher bereitgestellt werden. Speziell beim Anfahren wird die Antriebsleistung zunächst dem Energiespeicher entnommen. Dies hat den Vorteil, dass der Bus rein elektrisch betrieben den Haltebereich verlassen kann und der Dieselmotor erst danach gestartet wird. Dadurch werden Anfahrgeräusche und Emissionen im Haltebereich deutlich reduziert.

Während der Fahrt kann der Dieselmotor abweichend von der benötigten Antriebsleistung mehr oder weniger Leistung liefern, indem der Energiespeicher als Puffer verwendet wird. Dadurch ist es möglich, den Dieselmotor zu phlegmatisieren (Reduzierung der Dynamik) sowie ihn in seinen optimalen Betriebspunkten zu betreiben, wodurch wiederum eine Reduzierung des Verbrauchs und der Emissionen möglich ist.

### **2.2.2 Bremsvorgang**

Beim Bremsen wird über das Bremspedal zunächst die elektrische Bremse mit bis zu 150 kW angesteuert. Das reicht für Bremsungen im normalen Fahrgastverkehr aus. Nur in kritischen Situationen muss das Bremspedal stärker ausgelenkt werden, damit zusätzlich die mechanischen Bremsen aktiviert werden. Bei der elektrischen Bremsung arbeiten die Fahrmotoren als Generatoren und die so zurück gewonnene Bremsenergie wird im Energiespeicher für den nächsten Anfahrvorgang zwischengespeichert.

### **2.2.3 Stopp-Start-Automatik**

Die Dieselmotor-Generator-Einheit dient der Bereitstellung der benötigten Leistung für das Antriebssystem. Im Fahrzeugstillstand, wenn keine bzw. nur geringe Leistungen (z.B. für Versorgung der Nebenaggregate oder Bordnetz) gefordert werden, kann der Dieselmotor abgeschaltet werden. Kleine Leistungen werden in diesen Betriebsphasen aus dem Energiespeicher abgedeckt. Dies wirkt sich positiv auf das Kraftstoffverbrauchsverhalten aus, da der Dieselmotor sowie der Generator im Leerlauf und unteren Teillastbereich nur ineffizient betrieben werden können. Werden im Fahrbetrieb dann höhere Leistungen gefordert, wird der Dieselmotor direkt über den Generator gestartet.

Das Abschalten und Starten des Dieselmotors wird von der im Energiemanagement implementierten Stopp-Start-Automatik gesteuert. Dabei wird in Abhängigkeit vom



Speicher-Ladezustand, geforderter Dieselmotorleistung und Dieselmotor-Temperatur der Dieselmotor bei Erreichung des Fahrzeugstillstandes abgeschaltet. Gestartet wird über den Generator, nachdem rein elektrisch angefahren wird. Der Startvorgang wird abhängig von der Fahrerwunschleistung, der Fahrzeuggeschwindigkeit und dem Speicherladezustand eingeleitet.

#### 2.2.4 Bedarfsgerechter Betrieb der Nebenaggregate

Im einem konventionellen Stadtbus werden die Nebenaggregate (z.B. Luftpresser, Lenkhilfpumpe,..) mechanisch, gekoppelt an die Dieselmotordrehzahl, angetrieben.

Im hier dargestellten Antriebssystem werden dagegen diese Nebenaggregate rein elektrisch angetrieben. Dadurch sind sie unabhängig von der Dieselmotordrehzahl bedarfsgerecht betreibbar, was deren Energiebedarf deutlich reduziert. Die dazu erforderliche Ansteuerung der Nebenaggregate ist ebenfalls im Energiemanagement implementiert.

### 3 Erprobung im Linienbetrieb

Zur Verifizierung der Alltagstauglichkeit und der prognostizierten Kraftstoffeinsparungen des neuen Stadtbus-Antriebssystems ist der Einsatz im realen Linienbetrieb nicht durch Prüfstandsversuche zu ersetzen. Die Erprobung wird derzeit in Nürnberg mit Unterstützung der VAG Nürnberg, dem dortigen Verkehrsbetreiber durchgeführt.



Abb. 6: Ultracap-Bus im Erprobungsbetrieb in Nürnberg  
*Ultracap-Bus in test operation in Nuremberg*



Der Erprobungszeitraum erstreckt sich über etwa 4 Monate im Zeitraum von Ende 7/2005 bis 11/2002. Das Fahrzeug wird wie auch bei den bisherigen Messungen ([1]) während der Erprobungszeit auf der Linie 36 eingesetzt (siehe Abbildung 6). Die Linie 36 mit den Endhalte-Stellen Plärrer und Luitpoldhain verläuft quer durch die Nürnberger Altstadt und ist eine typische Innenstadt-Strecke (siehe Abbildung 7) mit einer Gesamtlänge von ca. 6 km. Die maximale Höhendifferenz beträgt 22 Meter.

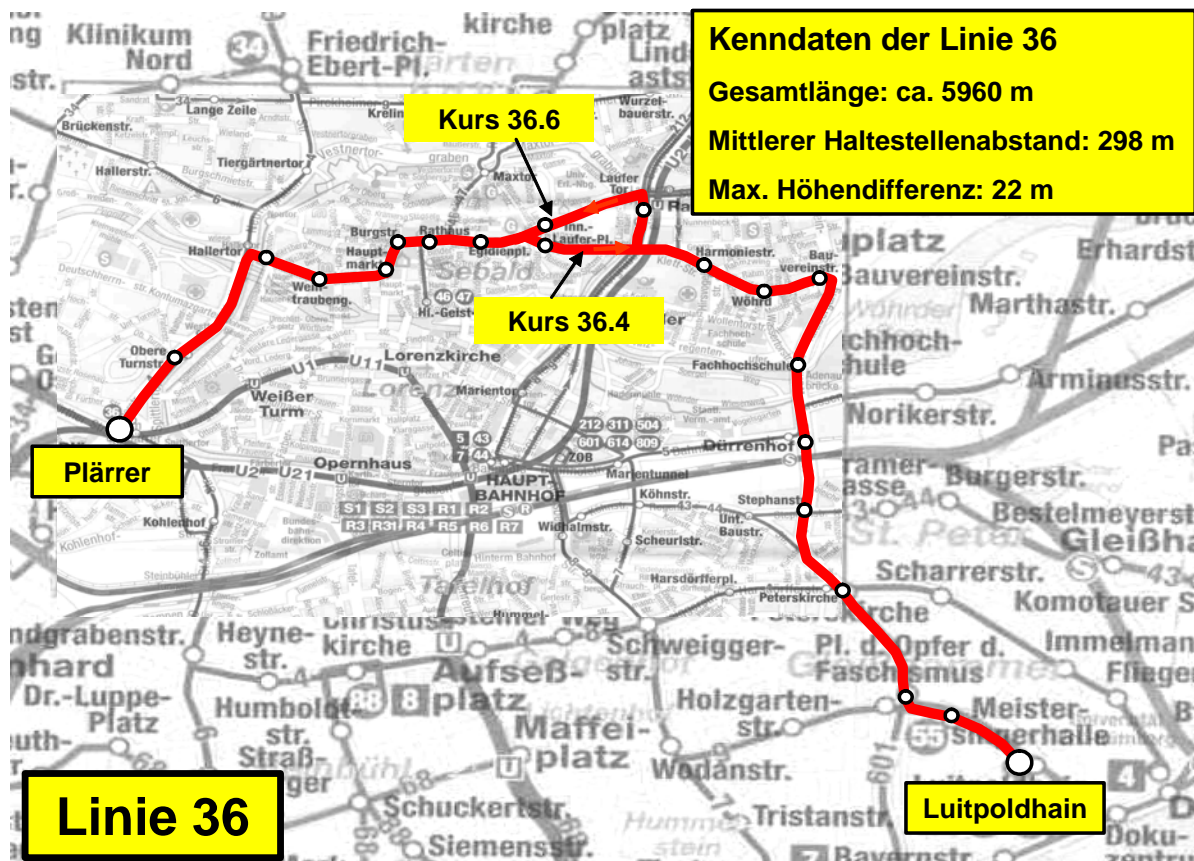


Abb. 7: Linienführung der Bus-Linie 36 in Nürnberg  
*Course of the bus-line 36 of Nuremberg*

Während des Versuchsbetriebs werden die wesentlichen Systemdaten mit einem Langzeitmessgerät aufgezeichnet. Ziel der Messdatenaufzeichnung ist es neben der Überprüfung und Optimierung der Betriebsstrategie, Aussagen über Systemverhalten und Kraftstoffverbrauch des Busses sowie Fahrverhalten des jeweiligen Busfahrers treffen zu können und Störungen des Systems nachvollziehbar zu machen.

#### 4 Erste Messergebnisse

Seit Beginn der 4-monatigen Erprobung wurden bislang 146 Linienfahrten ausgewertet. Die daraus abgeleiteten ersten Messergebnisse sind im Folgenden dargestellt. Eine vollständige Auswertung wird nach Abschluss der Erprobungsphase erstellt.

Zur energetischen Bewertung des Systemverhaltens sind zunächst die spezifischen Energieverbräuche und -durchsätze analysiert worden. Der „spezifische Antriebsenergieverbrauch“, der bereits in [1] definiert wurde, dient der Eliminierung der Einzelabhängigkeiten des Fahrleistungsbedarfs von Verkehrsfluss, Fahrweise sowie Passagierzahl und gibt den geforderten Fahrleistungsbedarf (Zugbetrieb) in [kWh/km] wieder. Diese Größe wird aus der Integration der Zugleistung (=pos. Anteile) an der Fahrmotorantriebseinheit berechnet. Die Streckentopologie im Erprobungsbetrieb wird dabei als konstant betrachtet. In Abbildung 8 ist die Verteilung des "Spezifischen Antriebsenergieverbrauchs" dargestellt.

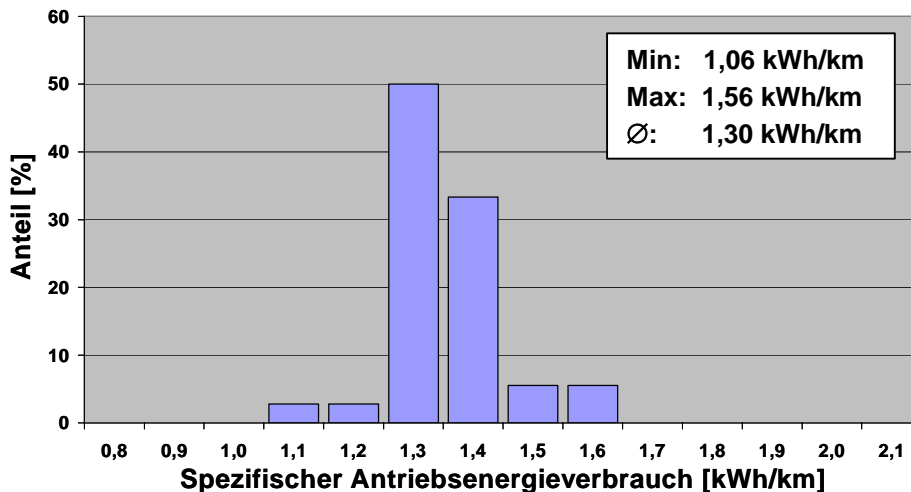


Abb. 8: Häufigkeitsverteilung: Spezifischer Antriebsenergiebedarf (Linie 36)  
*Frequency of distribution: Specific drive energy requirement (line 36)*

Im Vergleich hierzu interessant ist auch der spezifische Nebenaggregate-Energieverbrauch ebenfalls in [kWh/km], der in Abbildung 9 dargestellt ist.

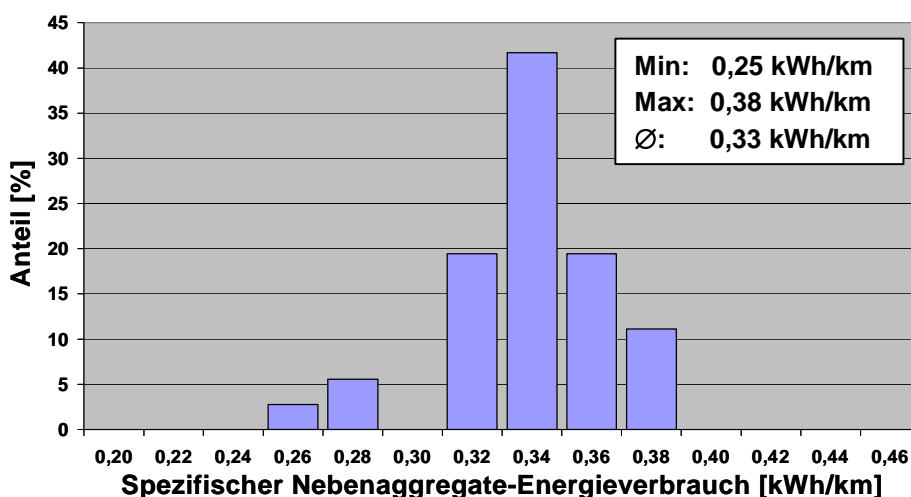


Abb. 9: Häufigkeitsverteilung: Spezifischer Nebenaggregate-Energieverbrauch  
*Frequency of distribution: Specific energy consumption of the auxiliaries*

So werden im Mittel etwa 0,33 kWh pro Fahrkilometer an elektrischer Energie für die Nebenaggregate (Luftpresser, Lenkhilfpumpe, DC/DC-Wandler für Bordnetzversorgung) benötigt.

Für das Verbesserungspotenzial des Hybridsystems ist der Grad der Bremsenergienutzung mitentscheidend. Das Antriebssystem kann eine elektrische Nutzbremse bis max. etwa 150 kW darstellen. Diese Bremsleistung ist für den normalen Bus-Bremsbetrieb ausreichend. Nur in unvorhergesehenen Situationen bzw. Notsituationen muss zusätzlich mechanisch gebremst werden.

Zur Quantifizierung der elektrischen Nutzbremse wurde die Größe "Rückspeisegrad" in [%] in [1] definiert, die aus dem Verhältnis der rekuperierten Schubenergie zur aufgewendeten Antriebsenergie an der Fahrmotoren-Einheit gebildet wird. Die Auswertung zeigt, dass auf dieser Linie im Mittel 43 % der Antriebsenergie wieder in das System zurückgespeist werden können. Die Maximalwerte liegen sogar bei über 47 %. Die entsprechende Verteilung ist Abbildung 10 zu entnehmen.

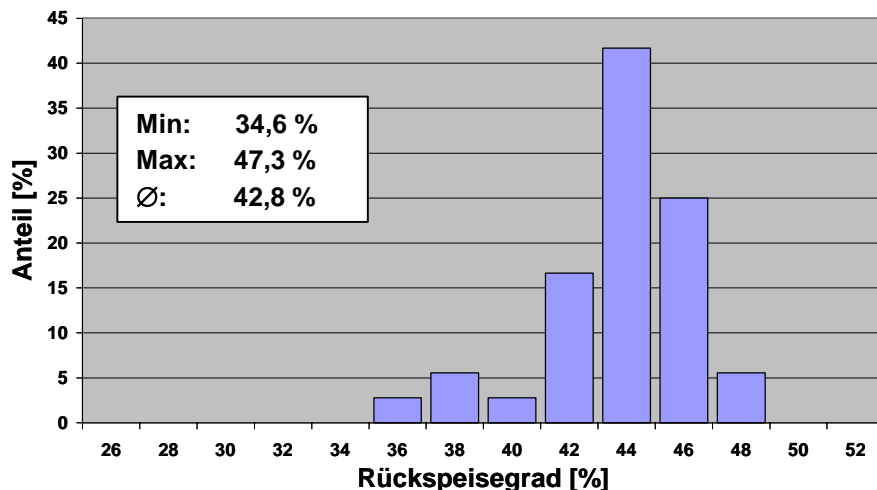


Abb. 10: Häufigkeitsverteilung: Rückspeisegrad (Linie 36)

*Frequency of distribution: factor of recovered energy (line 36)*

Welcher Energiedurchsatz das Speichersystem im Fahrbetrieb belastet, ist in Abbildung 11 als Verteilung dargestellt. Je nach Fahrweise, Beladung und Verkehrsfluss werden im Mittel zwischen 0,3 und 0,7 kWh pro Fahrkilometer durchgesetzt.

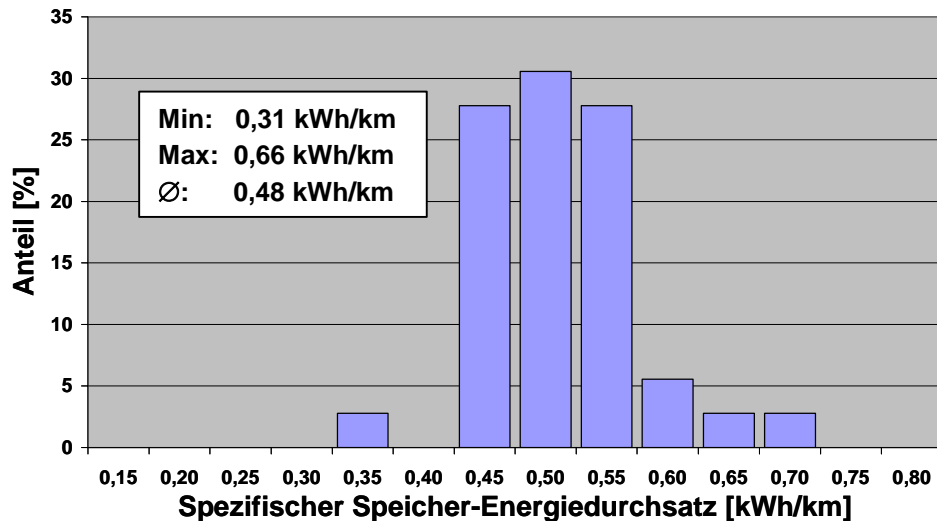


Abb. 11: Häufigkeitsverteilung: Spezifischer UC-Speicher Energiedurchsatz (Linie 36)

*Frequency of distribution: specific energy throughput of UC-storage device (line 36)*

Der Speicherwirkungsgrad (Gesamtwirkungsgrad unter Berücksichtigung der Lade- und Entladeverluste) des Ultracap-Speichersystems ist aufgrund der überwiegend rein ohmschen Verluste geprägt vom Speicher-Gesamttinnenwiderstand und von der Strombelastung. Die Strombelastung wiederum resultiert aus dem Speicherladezustand, über den die Speicherspannung bestimmt ist und der gewünschten Lade- bzw. Entladeleistung. Das sich im Fahrbetrieb einstellende Ladezustandsniveau sowie die Verteilung der Lade- und Entladeleistungen sind zudem abhängig von der Betriebsstrategie.

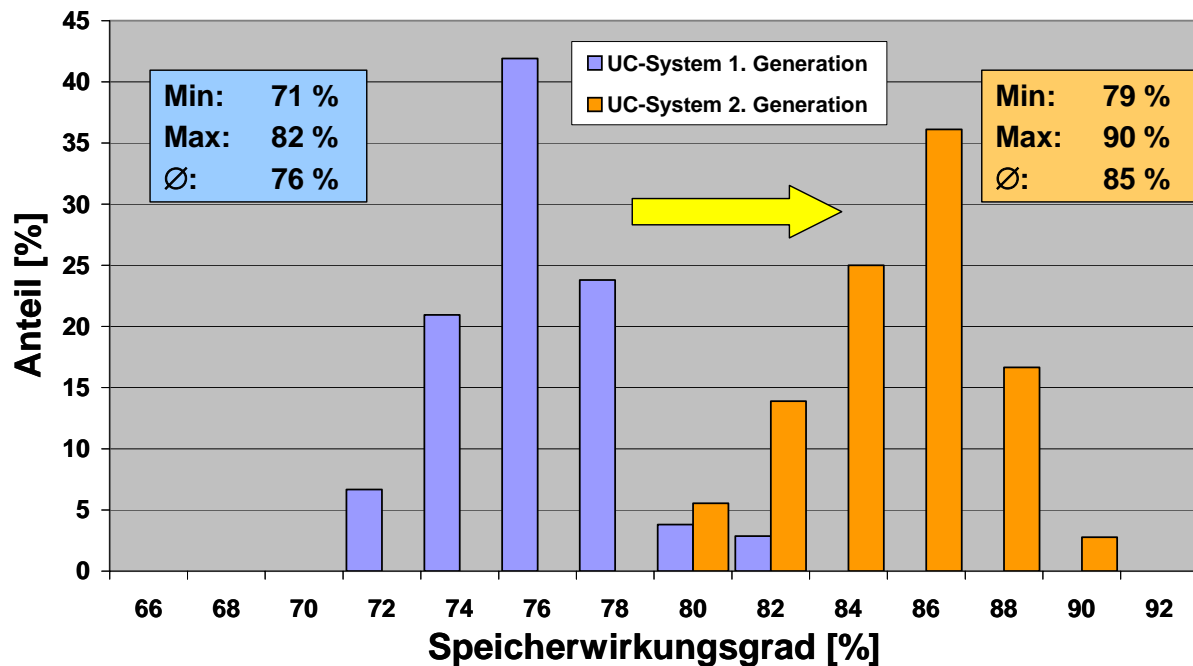


Abb. 12: Häufigkeitsverteilung des UC-Speichersystemwirkungsgrads 1. und 2. Generation (Linie 36)  
*frequency distribution of the UC-storage efficiency 1. and 2. generation (line 36)*

Abbildung 12 zeigt die Verteilung des mittleren Speicherwirkungsgrads über alle Messfahrten. Zum Vergleich ist zudem die Verteilung des mittleren Speicherwirkungsgrads des UC-Speichersystems der ersten Generation eingetragen. So wird deutlich, dass durch die Optimierungsmaßnahmen sich der mittlere Speicherwirkungsgrad um ca. 8 %-Punkte deutlich erhöht hat. Der Mittelwert liegt bei 85 % und Maximalwerte bis 90 %.

Eine weitere Größe, die sich auch auf den Kraftstoffverbrauch auswirkt, ist der Halteanteil (siehe Abbildung 13). Der Mittelwert beträgt etwa 35 % bei einem sehr breiten Bereich von 29 bis 41 %. Die implementierte Stopp-Start-Automatik reduziert dabei die Zeitanteile, in denen sich der Dieselmotor bei konventionellen Antriebssystemen im verbrauchs- und emissionsungünstigen Leerlaufbetrieb befindet. Die Zeitanteile, in denen der Dieselmotor abgeschaltet werden kann, betragen im Mittel ca. 19 % und erreichte Maximalwerte bis zu 30 % bezogen auf die Gesamtfahrzeit.

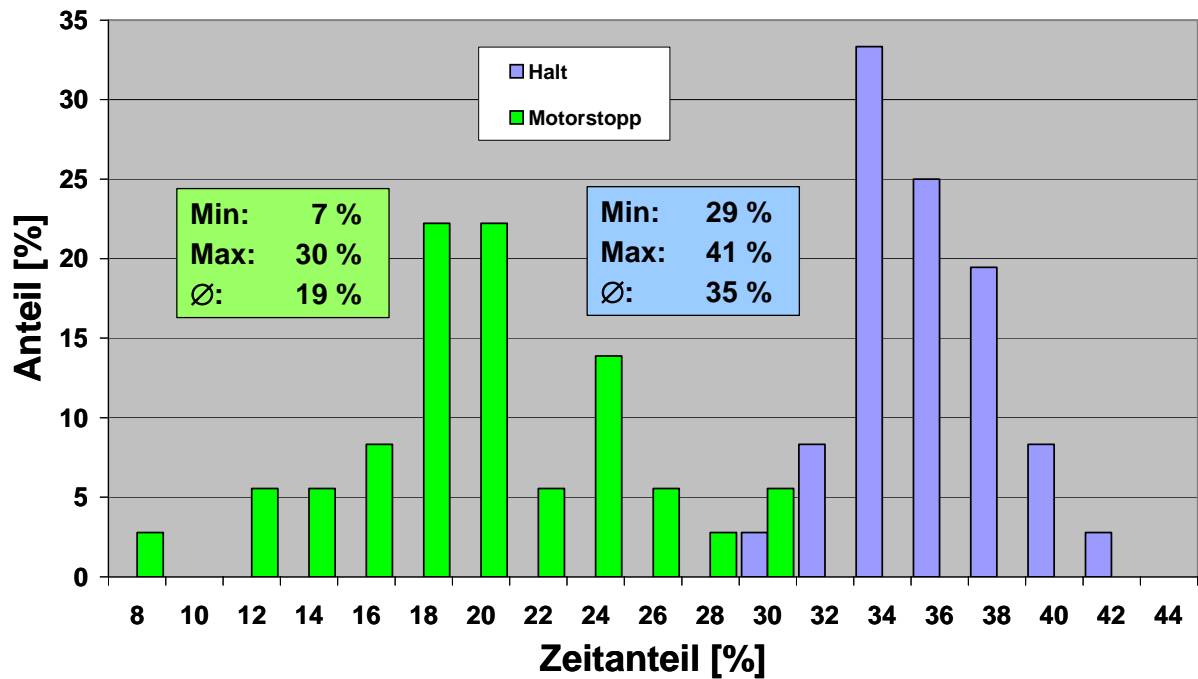


Abb. 13: Häufigkeitsverteilung: Zeitanteil Halt (Linie 36)  
*Frequency of distribution: part of time of standstill (line 36)*

In Abbildung 14 sind die Kraftstoffverbrauchswerte der Einzelfahrten des optimierten Ultracap-Busses sowie zum Vergleich des bisherigen Ultracap-Busses und des reinen DE-Betriebs über dem spezifischen Antriebsenergiebedarf aufgetragen.

Dabei werden die Verbrauchswerte der Einzelfahrten der drei Varianten eingetragen und mit einer Trendlinie versehen. Zeigte der bisherige Ultracap-Bus im Vergleich zu einem reinen DE-Bus bereits deutlich niedrigere Verbrauchswerte, so ist aus den ersten Messungen des optimierten Ultracap-Busses eine weitere deutliche Verbrauchsabsenkung ersichtlich. Einschränkend ist anzumerken, dass derzeit aufgrund der wenigen Messwerte bei höherem spezifischen Antriebsstrang-Energiebedarf die Trendlinie noch nicht belastbar ist.

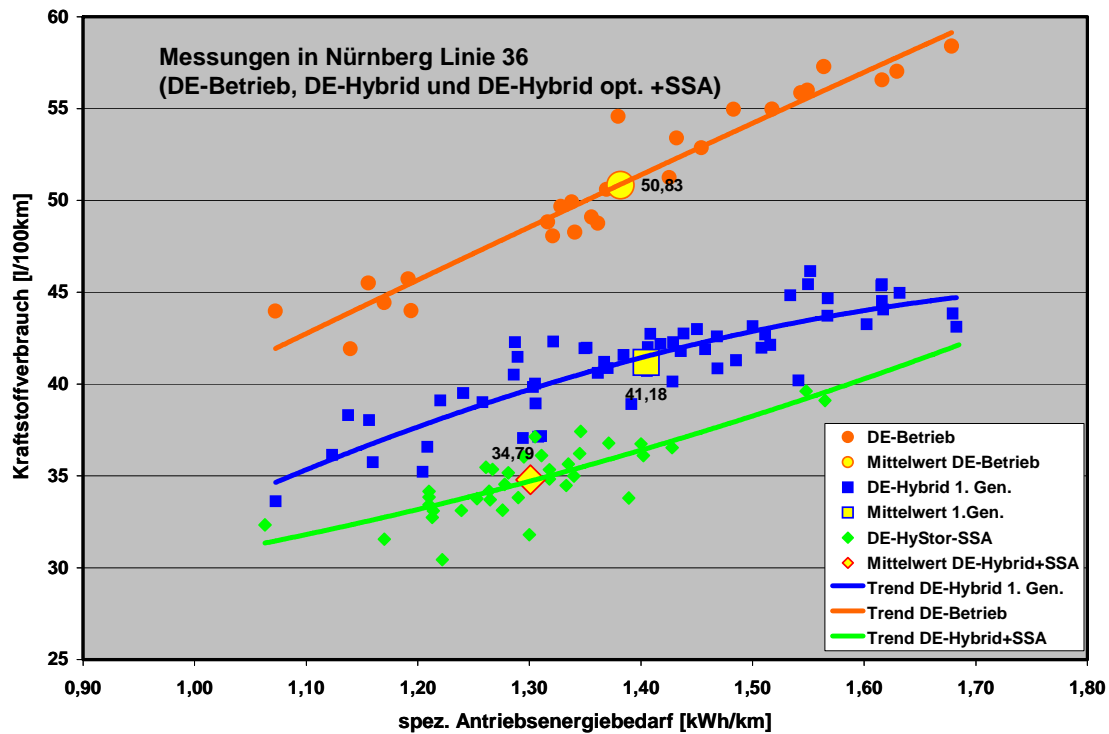


Abb. 14: Kraftstoff-Verbrauchsverhalten (Messungen Linie 36)  
*Behaviour of the fuel consumption (measurements line 36)*

Zur Bestimmung der erzielbaren Kraftstoff-Einsparung (siehe Abbildung 15) des optimierten Ultracap-Busses im Vergleich zum DE-Bus ohne Kurzzeitspeichersystem wird wie bereits in [1] folgendermaßen vorgegangen: Ausgehend von den Kraftstoffverbrauchs-Trendlinien für DE-Betrieb und DE-Hybrid wird das Mindergewicht von ca. 750 kg des DE-Busses ohne Speichersystem über einen Korrekturwert von 0,065 kWh/km im spezifischen Antriebsenergiebedarf berücksichtigt. Dieser Mittelwert wurde aus Rollenprüfstandsversuchen mit unterschiedlichen Gewichtseinstellungen bestimmt.

Daraus ergeben sich für den optimierten Ultracap-Bus deutlich erhöhte Kraftstoffeinsparungen im Bereich von 24 % (niedrige Passagierzahl) bis 27 % (hohe Passagierzahl) im Vergleich zum DE-Bus ohne Kurzzeitspeichersystem. Dies entspricht einer Erhöhung zum bisherigen Stand von bis zu 10 %-Punkten.



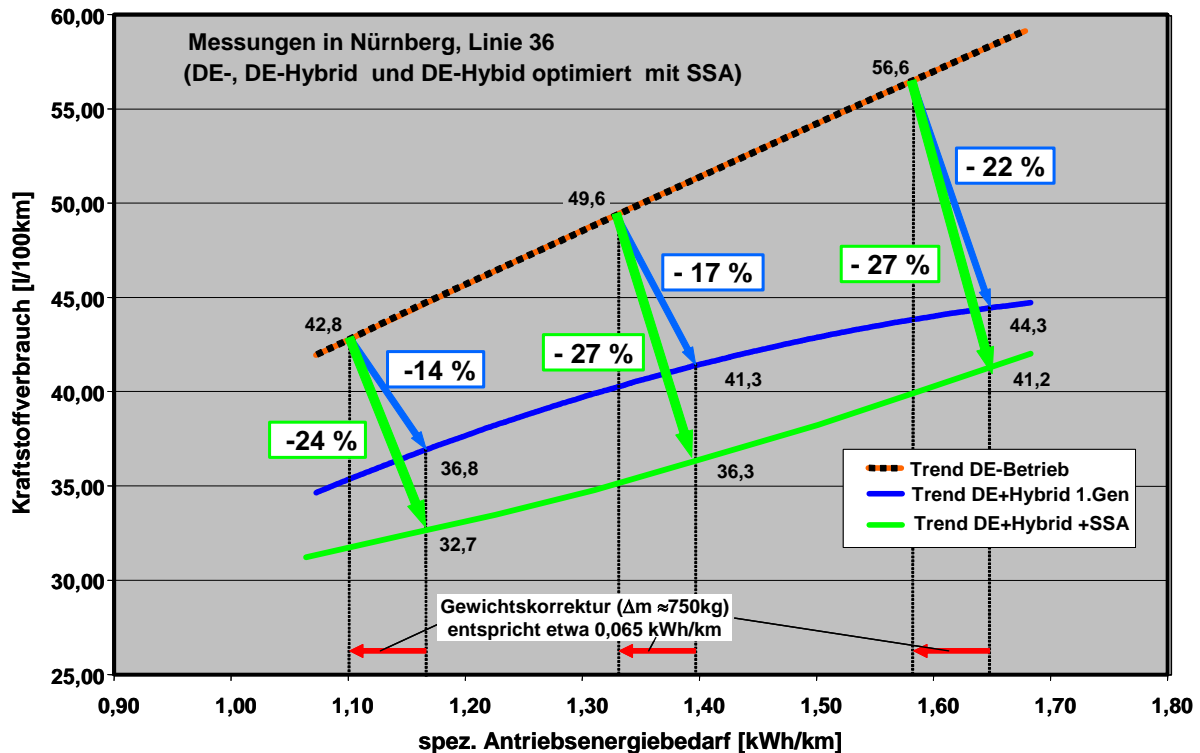


Abb. 15: Bestimmung der Kraftstoffeinsparung (Linie 36)  
*Determination of fuel saving (line 36)*

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Erprobung des Prototyp-Fahrzeugs im Linieneinsatz bei der VAG Nürnberg dient der Verifizierung der erwarteten Kraftstoffeinsparungen durch die umgesetzten Optimierungsmaßnahmen.

Die Steigerung der Systemeffizienz wird vor allem durch die Nutzung der Bremsenergie erreicht. Durch die genannte Verbesserung der Speicherwirkungsgrade wird das Rekuperationspotenzial nochmals erhöht. Weitere Optimierungsmaßnahmen wie die Stopp-Start-Automatik und der bedarfsgerechte Betrieb der Nebenaggregate führen darüber hinaus zur weiteren Reduzierung des Kraftstoffbedarfs. Insgesamt scheint dadurch linienabhängig eine Kraftstoffeinsparung von etwa 20 bis 25 % im Vergleich zum konventionellen Dieselfahrzeug erreichbar. Ebenso werden deutliche Emissionsvorteile durch reduzierten Kraftstoffverbrauch, Phlegmatisierung des Dieselmotors und Motorleerlaufabschaltung durch die Stopp-Start-Automatik erreicht. Als zusätzlicher Systemvorteil kann die Haltestelle rein elektrisch verlassen werden, was sowohl Fahrgäste als auch Anwohner im Haltestellenbereich hinsichtlich Lärm und Abgase entlastet.

Mit diesem Forschungsprojekt wird versucht, durch weitere Optimierungsmaßnahmen diese Technologien mittelfristig für Stadtbusse aus ökologischer als auch ökonomischer Sicht attraktiv zu machen.

## **6 Literatur**

- [1] KERSCHL, S.  
MAN-Ultracap-Bus: Erfahrungen aus dem Linienbetrieb  
VDI-Berichte 1704  
Dresden, 2002.