



An
Solaris Deutschland GmbH
Bei den Wörden 33

13437 Berlin

Eckhard Schläfke
Betriebsleiter Verkehrsbetrieb
0251.694.3820
0251.694.3823
e.schlaefke@stadtwerke-muenster.de

www.stadtwerke-muenster.de

30. Oktober 2008

Fakten zum Hybrikdbus

Daten und Fakten:

Zahl der Achsen:	3
Hersteller:	Solaris
Wagentyp:	Urbino 18 Hybrid
Motoren (Typ):	Diesel-Motor von Cummins
Diesel-Motoren (Leistung):	rund 184 kW
Elektro-Motoren (Leistung):	zweimal 75 kW
Plätze (Steh-/Sitz-):	99/ 43+4 Klappsitze
Gewicht (to):	28 (gesamt) / 17,7 (leer)

Einsatzzeit in Münster: 11.10.2008 bis 18.10.2008

Lokale Rahmenbedingungen

Münster verfolgt ambitionierte Ziele zur Reduzierung der Luftschadstoffbelastung. Neben den Ruß- und Partikelemmissionen ist insbesondere der Ausstoß von Stickoxiden deutlich zu reduzieren. Reduzierte Kraftstoffverbräuche leisten ebenso einen Beitrag zum Klimaschutz durch Verringerung der CO₂-Emissionen. Zukünftig von besonderer Bedeutung wird die Umgebungslärmbelastung sein. Das gilt für die Buslinienführungen durch Wohngebiete mit Gelenkbussen in besonderem Maße. In Münster werden zeitgleich 100 Gelenkbusse und 40 Solobusse (davon 25 angemietet) für den Stadtlinienverkehr eingesetzt. Alle eigenen Stadtbusse verfügen bereits über einen Dieselpartikelfilter (CRT). Die Linien werden überwiegend aus den umliegenden Stadtteilen über den Hauptbahnhof und der historischen Innenstadt als Durchmesserlinien geführt. Der Straßenbahnbetrieb wurde in Münster bereit 1954 eingestellt, der Oberleitungsbus wurde 1968 endgültig durch den wirtschaftlicheren Dieselbus abgelöst. Die tendenziell stark gestiegenen Dieselpreise und die immer höheren technischen Anforderungen zur Erreichung der Emissions-Grenzwertvorgaben haben die Stadtwerke Münster zusammen mit ihrem Kooperationspartner Stadtwerke Osnabrück veranlasst, am Interessenbekundungsverfahren für das Demonstrationsvorhaben „Hybridbusse für einen umweltfreundlichen ÖPNV“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) teilzunehmen. Um die Tauglichkeit eines bereits serienreifen Hybridfahrzeuges für den Stadtverkehr in Münster zu prüfen, hat die Fa. Solaris den Stadtwerken Münster einen fabrikneuen Hybrid-Gelenkbus der Marke Solaris Urbino 18 Hybrid vom 11.Oktober bis 18.Oktober 2008 zu Testzwecken zur Verfügung gestellt.

Funktionsweise (Angabe Hersteller)

Bei dem Hybrid-Gelenkbus der Marke Solaris Urbino 18 Hybrid arbeitet unter der Motorhaube ein klassischer Dieselmotor parallel mit zwei leistungsstarken Elektromotoren nebst dazugehöriger Speichereinheit.

Außer einem sinkenden Kraftstoff-Verbrauch und einem leiseren Fahrgeräusch versprechen die Hersteller auch einen höheren Fahrkomfort. Bestätigen sich die Messwerte, amortisiert sich der deutlich höhere Preis des Busses.

Das Dieselaggregat, dessen Abgasausstoß der Euro 5-Norm entspricht und mit Partikelfilter ausgestattet ist, wird während der Fahrt von zwei Elektromotoren unterstützt. Die beziehen ihre Energie von einem auf dem Dach befindlichen Energiespeicher, einer speziellen Nickel-Metall-Hybrid-Batterie. Bremsst der Bus oder steht überschüssige Dieselmotor zur Verfügung, wird die 600 Volt-Hochleistungsbatterie geladen. Über ein sogenanntes Planetengetriebe koppeln sich die Elektromotoren zur Fahrt ein und entlasten damit den Dieselmotor oder laufen beim Bremsen als Generator mit und laden die Batterie. Eine Steuerelektronik sorgt für ein optimales Energiemanagement im Fahrzeug.



Die Geräusch-Entwicklung des Antriebes ist vergleichbar mit derjenigen eines Autos. Die weiche Schaltung des Busgetriebes verbessert den Fahrkomfort und beschleunigt den Wagen gleichmäßiger.

Erfahrungsbericht Verkehrsbetrieb Stadtwerke Münster

Gesamteindruck

Mit der zweiten , weiterentwickelten Generation des richtungsweisenden Fahrzeuges ist es dem Bushersteller Solaris gelungen, eine echte Alternative zum herkömmlichen Dieselmotor auf den Markt zu bringen. Der Innenraum wurde durch den nun hinten stehenden push-



Motor deutlich aufgewertet. Der Cummins-Dieselmotor wurde eine Variante kleiner gewählt und läuft bei 178 kW mit 6,7 ltr Hubraum konstant mit optimaler Drehzahl. Der Turmbau des hinten stehenden Motors ist in Münster nicht unbekannt, da bereits seit einigen Jahren zwei Solaris Solobusse mit dieser Konstruktion unterwegs sind. Das ästhetische Empfinden eines stehenden Motors ist bei Experten geteilt und in Deutschland wird eher der

liegende Motor favorisiert, den Kunden scheint es aber nicht zu interessieren: Bezüglich dieser Konstruktion gibt es keine Kundenbeschwerden. Da auch Produktionskosten und Wartungskosten bei einem stehendem Serienmotor geringer sind, muss der liegende Motor zukünftig sicherlich in Frage gestellt werden.

Die Durchgangshöhe im Gelenkbereich ist mit knapp 2,00 mtr noch verbesserungsbedürftig. Die Verarbeitungsqualität im Innenraum war ansonsten beanstandungslos und kann lobend hervorgehoben werden.

Es handelt sich bei dem Fahrzeug um einen sogenannten leistungsverzeigten Hybrid im Gegensatz zu einem seriellen Hybridfahrzeug, welches einen kurzfristigen Antrieb nur über einen Elektromotor ermöglicht. Für Stadtbusverkehre mit Durchmesserlinien ist das für die Innenstadtbereiche eine zu bevorzugende Lösung, die der Solaris-Hybrid in dieser Form nicht leisten kann. Die gegenwärtig angebotene Version ist andererseits verfügbar und hinsichtlich der Emissionen ein deutlicher Fortschritt.

Fahrzeugmaße

Das Hybridfahrzeug hat durch die auf dem Dach angebrachten Batterien und insbesondere die Kühlergruppe auf dem hinteren Dachteil eine Höhe von 3,28 mtr (Herstellerangabe 3,25 mtr). Da in Münster nahezu alle ÖPNV-Hauptachsen unterhalb von Eisenbahnbrücken in Bogenbauweise mit teilweise max. Durchfahrthöhe von 3,30 mtr verlaufen (siehe Bild), kann gegenwärtig ein Solaris Hybridbus nur eingeschränkt im Linienbetrieb in Münster eingesetzt werden. Dieses Problem könnte konstruktionstechnisch dadurch gelöst werden, dass die hintere Kühlergruppe etwa 15 Ctm in den hinteren Innenraum versenkt wird oder aber zukünftig kleinere Aggregate verwendet werden.

Das Leergewicht des Fahrzeuges fällt bedingt durch die Hybridelemente um etwa eine halbe Tonne höher aus als vergleichbare Gelenkbusse. Die Elemente sind auf alle Achsen verteilt, so dass Nutzlastbeschränkungen hinsichtlich der Fahrgastaufnahme nicht gesehen werden.



Fahrgastkapazitäten

Die Mitarbeiter der Stadtwerke Münster haben sich in Ihrer Mittagspause freundlicherweise zur Verfügung gestellt, um die Fahrgastkapazität und das Beschleunigungsverhalten im schweren Stadtbusbetrieb zu testen. Der Solaris verfügt allgemein über eine geringere Anzahl von Sitzplätzen aufgrund des stehenden Motors. In der Ausführung als 4-Türer wirkt der hintere Bereich aber für den stehenden Fahrgast durchaus einladend, während beim 3-Türer Gelenkzug der Stehbereich hinter Tür 3 weitestgehend gemieden werden. Dadurch sind die Herstellerangaben bezüglich der Fahrgastplätze nicht Maßstab für die wirkliche Beförderungskapazität. Im durchgeführten Test wurden erwachsene Menschen (ohne Rucksäcke und sonstiges Gepäck, kein Rollstuhl usw.) so in den Bus hineingelassen, dass jeder einen Sitzplatz eingenommen hat, die stehenden Passagiere bis zur Hinterbank eng aufgerückt sind, allerdings ohne Körperberührung. Der Solaris hat im Vergleich in der normalen Ausführung 3-4 Sitzplätze weniger, bei etwa gleicher Anzahl von Stehplätzen. Insgesamt konnten 99 Erwachsene beim Solaris und 103 Erwachsene bei einem Citaro Gelenkbus befördert werden. Falls noch Gepäck, Rucksäcke und Kinderwagen oder Rollstühle hinzukommen, reduzieren sich diese Werte sogar noch. Mögliche Nutzlastbeschränkungen oder Achslastüberschreitungen durch die Zusatzgewichte erweisen sich somit als theoretisch und unbegründet.

Fahrerarbeitsplatz

Der Fahrerarbeitsplatz entspricht weitestgehend dem VDV Arbeitsplatz, die D-N-R Schaltung ist dem Fahrpersonal bekannt, lediglich die Erhöhung der Rekuperationsenergie durch zusätzlichen Pfeiltasten ist im Stadtbusbetrieb eher theoretisch. Das Fahrpersonal hat andere Aufgaben. Besonders eingewiesene und motivierte Fahrer könnten unter Nutzung dieser Möglichkeit ggf. zusätzliche Einsparungen erzielen. Für eine ebene Topographie, wie sie in Münster vorzufinden ist, spielt das aber ohnehin eine untergeordnete Rolle. Allgemein wird der Fahrerarbeitsplatz als vollkommen unproblematisch bewertet.

Beschleunigungsverhalten

In Münster wurde auf dem weitläufigen Betriebsgelände eine Testumfahrt eingerichtet mit Start und Zielpunkt sowie zwei weiteren Haltepunkten. Mit einem vergleichbaren Bus wurden hintereinander mit dem speziell hierfür eingewiesenen Fahrer jeweils drei Runden mit folgenden Bedingungen gefahren, wobei jede Runde für sich gemessen wurde:

1. Runde: 50 Fahrgäste, ruhige Fahrweise, ohne Absenkung
2. Runde: 50 Fahrgäste, schnelle Fahrweise, ohne Absenkung
3. Runde: 100 Fahrgäste, normale Fahrweise, mit Absenkung an allen Haltestellen.

Ergebnis: in der 1. Runde hatte der Solarisbus leichte Zeitnachteile, die im Fahrplan kompensierbar wären, die 2. Runde und 3. Runde hat jedoch gezeigt, dass das Fahrzeug in der Beschleunigung einem 220 kW Motor deutlich unterlegen ist. Als ein wesentliches Problem hat sich die Zeitspanne zwischen Absenkung-Türöffnung-Anhebung-Türschließung gezeigt. Die oben liegenden Gewichte verursachen offensichtlich stärkere Anstrengungen für die Auf- und Absenkung. Ggf. könnte aber auch die Türsteuerung noch optimiert werden. Der Zeitabstand beträgt bis durchschnittlich 10% auf die Gesamtfahrzeit. Im schweren Stadtbusbetrieb werden daher - abhängig von den Fahrzeit- und Streckenprofilen - zusätzliche Fahrzeiten benötigt.

Geräuschemmissionen

Während der Testfahrten wurden Geräuschpegelmessungen in beiden Vergleichsfahrzeugen in vereinfachter Form durchgeführt. Die Messungen außen wurden in 3 mtr Abstand vom Fahrzeug durchgeführt. Es wurde der Aufenthalt in der Haltestelle als auch die Anfahrt aus der Haltestelle gemessen. Innen im Fahrzeug wurde im vorderen Teil 1,50 mtr hinter der Fahrerkabine und im Nachläufer 1,50 mtr vor der letzten Sitzbank gemessen. Darüber hinaus wurden die Fahrgäste gebeten, ihr subjektives Empfinden in der Form mitzuteilen, welches Fahrzeug als lauter empfunden wird.

Die objektiven Messungen ergaben ein klares Bild. Der Solaris hat in den Außengeräuschen einen deutlichen Vorteil gegenüber dem Citaro, innen ist er sowohl hinten (stehender Motor) als auch vorne vergleichsweise lauter. Die Fahrgasteinschätzung ergab jedoch ein anderes Ergebnis: Die Fahrgäste, die in jeweils beiden Fahrzeugen hinten gesessen haben, empfanden den Citaro als lauter. Offensichtlich werden die höheren Drehzahlen und die größere Leistung beim Anfahren des deutlich stärkeren Citaro Motors subjektiv als lauter eingeschätzt. Der stehende Motor beim Hybridbus emittiert zwar stärker nach innen, der kleine Motor mit konstanter Drehzahl ist aber bezüglich der Geräuschemmissionen nach Auswertung der Ergebnisse nicht mehr als Nachteil heranzuziehen. Für die Stadtwerke Münster war das ein wichtiger Aspekt bei der zukünftigen Ausschreibung von Linienbussen. (Die Messergebnisse sind im Anhang als Tabelle verfügbar).

Dieselpartikel

Bei den beiden Vergleichsbussen sowie einem herkömmlichen LKW ohne DPF wurde der sogenannten "Taschentuchtest" gemacht. Dabei wird bei Vollgas für einen kurzen Zeitraum ein weißes Vliestuch hinter dem Auspuffendrohr gehalten. Während der LKW ohne DPF entsprechende dunkelgraue Ergebnisse lieferte, hatte der Solaris Hybrid Euro V leichte graue Verfärbungen geliefert. Beim Citaro bluetec EEV waren keine Verfärbungen feststellbar. (Die drei jeweiligen Ergebnisse wurden im Bild festgehalten und sind als Anhang verfügbar)

Dieselvebrauch

Da das Fahrzeug nur für einen sehr begrenzten Zeitraum zur Verfügung stand, können keine gesicherten Aussagen zu den letztlich zu realisierenden Dieseleinsparungen gemacht werden. Die Topographie des Stadtgebietes ist durchgehend eben, die Reisegeschwindigkeit beträgt 17 km/h im Durchschnitt. Bezogen auf die Auswertungen des Fraunhofer Instituts, welches den Dieselvebrauch eines Solaris-Hybrid der ersten Generation mit großvolumigeren Motor untersucht hat, dürfte die zurück gewonnene Bremsenergie im Verhältnis zum Testbus in Dresden unterdurchschnittlich sein. In Verbindung mit dem kleineren Motor werden für Münster dennoch 13-15 % Dieseleinsparungen geschätzt.

Fazit

Das Fahrzeug hat die Erwartungen hinsichtlich der Verarbeitungsqualität und hinsichtlich des Fahrkomforts weit übertroffen. In dieser Form wäre es – mit Ausnahme der Höhenbeschränkung – in Münster im Linienverkehr einsetzbar. Bezüglich des Beschleunigungsverhaltens im schweren Stadtbusverkehr einschließlich der Dauerabsenkung muss die Zeitspanne zwischen Absenkung und Anfahrt aus der Haltestelle reduziert und die Prozesse der Türsteuerung optimiert werden. Im allgemeinen Fahrbetrieb ist das Fahrzeug ohne nennenswerte Probleme integrierbar, der stehende Motor ist in dieser Konstellation unter Beachtung aller Aspekte eher als vorteilhaft einzustufen. Der Solaris HybridBus ist gegenwärtig nur mit einer Zusatzförderung ökonomisch zu vertreten. Steigende Dieselpreise und sinkende Kosten der Serienfertigung verkürzen zukünftig die Amortisationszeit, der Nutzen eines verminderten CO₂ Ausstoßes ist ggf. ebenfalls zu bepreisen. Sofern eine Optimierung der Hybrid-Technologie mit Verbrauchsvorteilen von 25-30 % gelingen sollte, ist ein vergleichsweise wirtschaftlicher Betrieb darstellbar. Der ausschließliche E-Betrieb in der Innenstadt wäre wünschenswert, aber nicht zwingende Voraussetzung in den nächsten Jahren. Langfristig sollte das aber das Ziel sein, weshalb die serielle Hybridtechnologie langfristig bevorzugt wird.