

MAN Lion's City Hybrid

So grün fährt es sich auf der Linie wirklich

Die Erwartungen an das Sparpotenzial dieselektrischer Hybridantriebe haben sich zuletzt etwas relativiert. Dass dennoch bis zu 30 % möglich sind, wollte MAN mit seinem Lion's City Hybrid belegen. **BUSMAGAZIN** schickte den Probanden auf seine anspruchsvolle Teststrecke.

Dass MAN nun einen Hybridbus zum Testen freigab, ließ erahnen, wie sicher sich die Münchner ihrer Sache waren. Umso gespannter waren wir, wie sich der ausgelastete Lion's City Hybrid im Vergleich zum Dieselfahrzeug würde. Ein Referenzfahrzeug wurde zwar nicht mit auf

die Reise geschickt, doch wir konnten auf eigenen Datenbestand zurückgreifen. Denn ein ebenfalls ausgelasteter Lion's City NL 283 mit sauberm D20-Motor (EEV, 10,5 l, 206/280 kW/PS) hatte unseren Parcours ebenfalls schon einmal absolviert. Doch zunächst zum Testbus: MAN hat sich bei der Umset-

zung seines Hybridantriebs für das Elfa-System von Siemens als zentrale Basis entschieden. Hierbei wird die Antriebsenergie – im Gegensatz zu Bussen mit Radnabenmotoren – auf eine übliche Niederflurportalachse übertragen. Dies geschieht über ein Summiergetriebe, dass von zwei elektrischen

Asynchronmotoren (= Fahrmotoren) mit jeweils 75 kW Leistung angetrieben wird. Die scheinbar schwache Leistung relativiert das kräftige Drehmoment von 3 000 Nm. Die Beschleunigung erfolgt aus dem Stand ohne Zugkraftunterbrechung. Beim Bremsen wirken die beiden Fahrmotoren als Generatoren und rekuperieren die so entstandene Energie, um sie in einem so genannten Traktionsenergiespeicher auf dem Dach zuzuführen. Dessen Kern bilden im Testbus sechs Ultracap-Module. Fällt die gespeicherte Energie unter 50 %, schaltet sich automatisch der Dieselmotor zu, der im Heck in Fahrtrichtung links installiert ist. Es handelt sich um den kompakten Sechszylinder MAN D0836 LOH CR mit 6,9 l Hubraum und einer

Im Test: der
MAN Lion's City Hybrid





▲ Auffallende Optik mit schwungvollen Linien: Das „EfficiencyDesign“ des Daches verdeckt Speicher und Peripherie für den Elektroantrieb

Leistung von 184 kW bzw. 250 PS. Mittels Common-Rail-Einspritzung, Abgasrückführung und geregelter Partikelfilter erfüllt er den EEV-Abgasstandard.

Wie bei allen seriell ausgelegten Hybridbussen dient der Dieselmotor ausschließlich der Stromerzeugung mittels eines leistungsstarken Generators. Indem der Energiespeicher als Puffer verwendet wird, kann der Dieselmotor – abweichend von der benötigten Antriebsleistung – überwiegend im optimalen Drehzahlbereich arbeiten. Diese bewusst geregelte Reduzierung der Dynamik (Phlegmatisierung) trägt erheblich zu günstigen Verbrauchswerten und niedrigen Emissionen bei.

Besteht kein Bedarf für den Diesel, greift die Start-Stopp-Automatik für den temporären Elektrobetrieb, wodurch Wirtschaftlichkeit und Umweltfreundlichkeit des Antriebs einmal mehr gegeben sind. Das Zusammenspiel der mit dem Hybridsystem verbundenen Funktionen regelt das Energiemanagement, das im Laufe der Erprobungsphase ständig fortentwickelt wurde.

Soll ein Hybridbus so oft wie möglich elektrisch betrieben werden, ist die Elektrifizierung

von Nebenverbrauchern ein absolutes Muss. MAN hat dies bereits mit dem Klimakompressor umgesetzt, jedoch auch noch Optionen offen gelassen: Druckluftkompressor und Türen werden nämlich weiterhin herkömmlich betrieben.

Außerdem bleibt die Lenkhilfe auch im Stand aktiv. Sparpotenzial bietet auch der Bremswiderstand, beim Blick in den Motorraum vom MAN-Team auch „Tauschieder“ genannt. Die Bezeichnung trifft zu, denn in dem rohrförmigen Teil wird überschüssige Bremsenergie – die beispielsweise mit vollen Speichern bergab entstehen kann – durch elektrisches Aufheizen von Kühlflüssigkeit dezimiert.

Allerdings springt in dieser Situation zusätzlich der Dieselmotor an, um die Motor-

kühlung in Gang zu setzen. Eine – mit Blick auf den Spareffekt – etwas widersprüchliche, jedoch funktionierende Lösung. Allerdings kommt der Kühlkreislauf auch der Heizung zugute, womit die „vernichtete“ Energie – je nach Jahreszeit – nicht grundsätzlich verpufft. Auf jeden Fall heißt es hier „Finger weg!“, denn das Ding kann heiß werden. Die Verbrauchsmessung auf



▲ Werbewirksam: Grün und mit lachenden Gesichtern schickt MAN seinen umweltfreundlichen Vorführer auf die Testrunde

unserer Testfahrt absolvierte ein Fahrer des MAN-Teams auf unsere Bitte hin und nach unseren Vorgaben. Denn: „Learning by Doing“ und gleichzeitig optimale Werte erzielen, das ist bei diesem Bus, zumindest wenn nur ein Tag Zeit

bleibt, kaum möglich. Also hieß es für unseren Autor volltanken – zum späteren Abgleich mit dem installierten Messgerät – und Kapitän statt Steuermann spielen. So hatten wir die Strecke samt Funktionsablauf des Hybridantriebs fest im Blick. Unsere Route führte über originale Buslinien von Bad Neuenahr im Ahrtal aus hinunter zum Rhein, durch die Städte Sinzig, Remagen und Bonn, einschließlich einem Abstecher zu den

Vororten auf den rechtsrheinischen Höhenzug Ennert, dem Ausläufer des Siebengebirges. Eine anspruchsvolle Kombination aus Überland- und Stadt-

verkehr. Wie stets stoppen wir an jeder Haltestelle und

betätigten die Türen. Der Testbus lief wie am Schnürchen, oft nur leise summend. Der Grund dafür: Fahrer und Energiemanagement sorgten dafür, dass sich der Dieselmotor so oft wie möglich ausschalten konnte. So absolvierten wir nicht nur die Haltestellenstopps im Elektrobetrieb, sondern oft auch zusammenhängende Streckenabschnitte zwischen 600 und 800 m, mitunter auch darüber. Wie gleichfalls aus anderen Testläufen berichtet

Die Effizienzanzeige hilft, spritsparend zu fahren

Die Elektrifizierung von Nebenverbrauchern ist im Hybridbus ein Muss



▲ Anstelle des Drehzahlmessers ist im MAN-Hybridbus eine Effizienzanzeige installiert (links). In der Mitte befindet sich zusätzlich die Ladekontrolle für die Supercaps

MAN Lion's City Hybrid Technische Daten

Motor und Getriebe

Antrieb: Serielles Vollhybridsystem mit MAN-eigenem Energiemanagement und Start-Stopp Funktion
 Dieselmotor: MAN D 0836 LOH Common Rail, aufgeladener Sechszylinder-Reihenmotor im Heck links in Turmbauweise stehend. Abgasstandard Euro 5/EEV, durch Abgasrückführung mit doppelter Turboaufladung (ohne Additiv) und Zwischenkühlung sowie MAN-Partikelfilter mit Sintermetalleinsatz. Hubraum 6 871 cm³, Nennleistung 184 kW (250 PS) bei 2 300 min⁻¹. Maximales Drehmoment 1 000 Nm bei 1 300 bis 1 750 min⁻¹

Elektromotor: 2 x Asynchron Elektromotoren mit je 75 kW Nennleistung und Generatorbetrieb bei Rekuperation, maximales Drehmoment 3 000 Nm, Antrieb (stufenlos) über Summiergetriebe auf NF-Portalachse

Speichersystem: Hochleistungskondensatoren (Ultracaps) als Energiespeicher, 6 Module à 24 Zellen (luftgekühlt), Energieinhalt 0,4 kW/h, Maximalleistung 200 kW, wassergekühlter Pulswechselrichter

Fahrwerk

Vorderachse: Starre MAN-Komfort-Niederflurachse m. Stabilisator
 Hinterachse: ZF Portalachse HU-1330 mit nach links versetztem Mitteltrieb

Lenkung: ZF-Hydraulenlenkung Typ Servocom 8098, vertikal und horizontal verstellbar (nur bei eingelegerter Haltestellen- oder Feststellbremse)

Bremsanlage

Elektronisches Bremssystem mit ABS, ASR, EBS, Scheibenbremsen rundum, automatische Belagnachstellung mit Verschleißanzeige im Fahrerdisplay, Haltestellenbremse

Karosserie/Aufbau

Selbsttragende Bauweise, Bodenrahmen mit Vierkantprofilen, Pressteile und U-Profile verschweißt. Batterieraum und Radkästen aus Nirosta; Auffahrkufe unter Bugsäule rechts. Heck- und Bugverkleidung aus Kunststoff, Seitenwandklappen aus Aluminium. Druckluftgesteuerte Außenschwenktüren 1 200 mm (Bode), vorne doppeltbreit, automatische Rollstuhlrampe an Tür 2, Einstieg stufenlos. Rostvorsorge inklusive KTL-Tauchlackierung

Heizung/Lüftung/Klima

Fahrgastraum mit Seitenwandheizern (20 kW), elektrische Klimaanlage (17,5 kW), zwei elektrische Dachlüfter mit Entlüftungsschaltung im Heck. Fahrerplatzklimatisierung über separatem Verdampfer im Bugklimator; Beheizung über Luftkanal mit gelochter Seitenwand vor und hinter dem Fahrersitz gemäß VDV-Empfehlung

Maße/Gewichte:

Länge/Breite/Höhe: 11 980/2 500/3 300 mm

Innenstehhöhe: 2 318 mm

Radstand: 5 875 mm

Überhänge v/h: 2 700/3 405 mm

Böschungswinkel: v/h 7°

Wendekreis: 22,35 m

Einstiegshöhe: 320 mm

Bodenhöhe: 370 mm

Tankinhalt: 220 l, Betankung rechts über der Vorderachse

Leergewicht: 12 760 kg

Testgewicht: 16 690 kg

Zul. GG: 18 000 kg

Fahrgastkapazität: 28/49 Sitz-/Stehplätze



Fotos: Gogler

▲ Der Testbus war zum großen Teil auch elektrisch im Einsatz, hier scheinbar im Wettlauf mit der Bonner Stadtbahn. Der Fahrerarbeitsplatz entspricht bis auf die zentrale Anzeige der Dieselveariante

wird, kann der Elektrobetrieb zwischen 40 und 50 % Anteil erreichen.

Worauf kommt es denn nun an, will man so effektiv wie möglich fahren? Als wichtige Hilfe hat MAN in die ansonsten aus dem Dieselbus bekannten Armaturen anstelle des Drehzahlmessers eine Effizienzanzeige installiert. Dass „rot“ ungünstig und „grün“ besonders effektiv bedeutet, dürfte jedem klar sein.

Doch weshalb gibt es zwei getrennte grüne Bereiche?

Für die Rekuperation von Bedeutung ist

die linke Seite, denn sie zeigt an, dass der Fahrer ausschließlich elektrisch bremst, was bis zu einem 25-prozentigen Pedalweg gegeben ist. Wird zu stark gebremst – was im normalen Linienbetrieb nicht nötig sein sollte –, springt zusätzlich die Betriebsbremse ein: Der Zeiger wandert sofort nach unten in den roten Bereich, auch wenn weiterhin eine Rekuperation erfolgt.

Geschieht dies nämlich mehrmals hintereinander, kann es sein, dass der Motor allein zum Aufbau des Luftdrucksystems anspringen muss.

Ab der Mitte rechts steht grün für ökonomisches Fahren, wobei der Dieselmotor – wenn er aktiv ist – sich im günstigen Bereich zwischen 1 000 und 1 400 Touren bewegt, was der Fahrer allerdings nur erahnen kann. „Grün“ funktioniert beim Anfahren und in der Ebene, solange der Fahrer stets nur so viel Gas gibt, wie nötig, um den Bus ausreichend zügig zu beschleunigen. Ein Quäntchen zu viel Gas lässt

den Zeiger sofort in den roten Bereich wandern, und der Motor

springt ungewollt an, falls gerade elektrisch gefahren wird.

Andererseits gilt: „Am Berg kann nicht gespart werden, daher so schnell wie möglich raus aus der Situation“, wie es Heinrich Degenhart erläutert, der als Ausbilder der MAN-Fahrerschulung „Profi-Drive“ mit dem Hybridbus bestens vertraut ist. Was bedeutet, an Steigungen den roten Bereich mittels Boostfunktion – praktisch eine Art Kickdown – bewusst in Kauf zu nehmen. Dann nämlich springt der Dieselmotor sofort an und dreht 300 Tou-

Der Fahrer muss wissen, wie die Start-/Stoppfunktion programmiert ist



▲ Hochspannung auf dem Dach des Hybridbusses: Supercap-Module (insgesamt 6, Reihe ganz vorn) und Leistungselektronik



▲ Blick in den Motorraum des Lion's City Hybrid, der zum großen Teil mit Elektrotechnik gefüllt ist – darunter auch der „Tauchsieder“ (Pfeil), ein Widerstand zum Abbau von überschüssiger Bremsenergie

ren mehr als gewöhnlich – damit dem Elektroantrieb volle Power zur Verfügung steht und der Bus in Schwung bleibt.

Die Power hat allerdings ihre Grenzen, wie unser Abstecher in den höher gelegenen Bonner Stadtteil Heiderhof zeigte. Während unser Testbus sonst munter mithalten konnten, rauschte auf der teilweise 12-prozentigen Steigung die städtische Konkurrenz an uns vorbei – wir kamen nicht über 20 bis 25 km/h hinaus. Das Energiemanagement des Testbusses hat hier offenbar so eingegriffen, dass sich Drehzahlen und Verbrauch in Grenzen hielten. Zudem waren die Bonner Busse in diesem Streckenabschnitt nur gering besetzt.

Anzumerken ist darüber hinaus, dass es je nach Ladezustand passieren kann, dass der Dieselmotor unmittelbar vor roten Ampeln oder im Bereich von Haltestellen anspringt, was ja eigentlich niemand will. Doch eine grundsätzlich streckenbezogene Regelung des Energie-

managements ist derzeit nicht vorgesehen. Dagegen hat MAN bei der Programmierung berücksichtigt, dass die Steuerung sich selbstlernend und flexibel auf unterschiedliche Streckenprofile einstellen kann.

Ansonsten gilt für den Fahrer: Rekuperation nutzen, so oft es nur geht. Selbst wenn vorausschauendes Fahren mitunter eine völlig andere Bedeutung als im Dieselfeld hat.

Ein Beispiel: Liegt zwischen Haltestelle und nächstem Stopp eine überschaubare Strecke von mehreren hundert Metern, kann es effektiv sein, nach dem elektrischen Anfahren sehr zügig Tempo aufzunehmen, um auf den letzten 50 m die Rekuperation intensiv zu nutzen.

Wäre diese Strecke behutsam absolviert worden, hätte der Dieselmotor ggf. am Haltepunkt wieder nachladen müssen.

Als Fahrer muss man also genau wissen, wie die Start- und Stoppfunktion programmiert ist: Der Verbrennungsmotor schaltet sich ab, wenn die Supercaps mindestens zu 70 % gefüllt sind oder die Geschwindigkeit unter 10 km/h fällt (vorausgesetzt, Speicher und Luftpresser haben genug Vorrat). Unabhängig von der Verkehrssituation wird der Motor vom Generator wieder aktiviert bzw. angeschleppt, wenn der Ladezustand unter 50 % gesunken ist – oder 30 km/h überschritten werden (was künftig entfallen soll, da die bisherigen Praxiserfahrungen zeigen, dass die Speicher auch für höhere Geschwindigkeiten reichen). Hilfreich ist es in diesem

Zusammenhang, über die Effizienzanzeige hinaus auch auf die Ladeanzeige zu achten.

Unsere Gesamtstrecke betrug 123,2 km mit insgesamt 192 Haltestellenstopps und einem Durchschnittstempo von 19,9 km/h. Nach absolviertem Nachtanken – auf gleicher Position wie vor dem Start – und Abgleich mit dem Kraftstoffdurchfluss-Messgerät kamen wir auf einen Dieselverbrauch von \emptyset 31,7 l.

Um zwischen Überland- und Vorortverkehr sowie dem Stadtbereich Bonn zu differenzieren, hatten wir kurz vor der Stadtgrenze eine Zwischenmessung notiert. Doch die Differenz war erstaunlicherweise nicht so erheblich, wie vermutet, und ergab einen nur geringfügig besseren Wert von \emptyset 31,5 l. Durch zunehmende Außentemperaturen (bis 27°) war die Klimaanlage etwa auf der Hälfte der Strecke aktiv.

Unser Referenzfahrzeug, der ebenfalls auf 16,5 t beladenen Lion's City EEV (10,5-l-D20-Motor, 280 PS, Voith-Automat), erzielte 2008 auf gleicher Strecke einen Schnitt von 43,8 l. Die Differenz beträgt satte 28,08 % zugunsten des aktuellen Hybridbusses, womit dessen Effizienz aus unserer Sicht belegt ist. MAN entwickelt seit 1975

alternative Antriebe und seit Mitte der 1990er-Jahre diesel-elektrische Hybridbusse. Bereits 2001 erfolgte der Schwenk zum Hochleistungskondensator (Ultracap), der auch im Vergleich zu modernen Lithium-Ionen-Systemen schneller be- und entladen werden kann.

Handfeste Vorteile bezüglich Ultracaps sieht MAN in deren Leistungsfähigkeit bei niedrigen Temperaturen

sowie der Lebensdauer von etwa zehn Jahren – was doppelt so hoch wie bei Akkus ist. Der aktuelle Hybridbus wird in Serie gefertigt, wovon allein 2011 bereits 57 Einheiten gebaut worden sind. Das Fahrzeug präsentiert sich weitgehend ausgereift, wobei der Entwicklungsprozess durch Praxiserfahrungen kontinuierlich fortgesetzt wird. Wichtig: Der richtige Umgang mit der Technik will intensiv gelernt sein. Deshalb sind die angebotenen Schulungen – die im Rahmen der BKF-Weiterbildung anerkannt werden – unverzichtbar. Der Aufpreis von 120 000 € im Vergleich zur Dieseldiagnose – wozu die teuren Speicher erheblich beitragen – bedeutet allerdings, dass Anschaffungen in der Regel nur über Förderprogramme machbar sind.

Jürgen Görgler ■



▲ Heinrich Degenhart, Ausbilder von MAN-Profidrive, empfiehlt für den Hybridbus eine zweitägige Fahrerschulung

Die Hybridtechnik präsentiert sich weitgehend ausgereift