

DIS-Projekt Nr. : 101800 DIS-Vertrags Nr.: 152217	lighTram3 Hybrid	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
--	------------------	--

Endbericht **Februar 2008**

lighTram3 Hybrid

Doppelgelenkhybridbus

ausgearbeitet durch
Hans-Jörg Gisler
Carrosserie HESS AG
Bielstr. 7, 4512 Bellach

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

1 Inhaltsverzeichnis:

Endbericht Februar 2008.....	1
1 Inhaltsverzeichnis:.....	2
2 Zusammenfassung und Beschreibung des Systems	3
2.1 Allgemeines (Deutsch)	3
2.1 General (English)	3
2.1 generale (francais)	3
2.2 Vorteile des Gesamtkonzepts	4
2.3 Technische Daten	6
3 Beschreibung der elektrischen Ausrüstung.....	8
3.1 Lage der elektrischen Komponenten im Fahrzeug	8
3.2 Aufgaben der elektrischen Komponenten	11
4 Beschreibung des Fahrzeuges	17
4.1 Lärmreduktion:	17
4.2 Gewichtsreduktion:.....	17
4.3 Antriebstechnologie.....	19
4.4 Karosserie-Leichtbau	20
4.5 Wirtschaftlichkeit:	21
4.6 Passagierfreundlichkeit, Behindertengerecht:.....	21
5 Beschreibung der Hybridtechnologie	21
5.1 Reduktion des Energieverbrauches und der CO2-Emissionen:.....	21
5.2 Die Lösung von Hess und Vossloh Kiepe	22
5.3 Das Hybrid-Funktionsprinzip	23
6 Einsatzplanung des lighTram Hybrid Fahrzeuges.....	24
7 Projekt-Endbericht (formal)	25
8 Nachkalkulation der Phasen Planung und Montage	26

		Ident.-Nr.
--	--	------------

2 Zusammenfassung und Beschreibung des Systems

2.1 Allgemeines (Deutsch)

Der lighTram3 Hybrid (Doppelgelenkhybridbus), gebaut nach dem Vorbild der Serie lighTram3 Doppelgelenktrolleybus der Verkehrsbetriebe Genf (TPG), Schweiz, ist ein modernes Fahrzeug, das höchsten Ansprüchen sowohl in Bezug auf die Fahrgast- als auch auf die Betreiberfreundlichkeit genügt.

Der Bus ist ein Technologieträger, an dem Weiterentwicklungen für die Hybridtechnik erforscht und getestet werden sollen. Er wird erstmalig mit einem Energiemanagement per Software ausgerüstet, das an diesem Fahrzeug erprobt und weiterentwickelt wird.

Das lighTram3 Hybris ist in moderner CO-BOLT Alu-Leichtbauweise hergestellt und integriert denn Zweiachs-Antrieb für Trolleybusse und Hybridbusse. So lässt sich anspruchsvolle Topographie auch unter winterlichen Bedingungen optimal bewältigen.

Gleichzeitig sinkt der Reifenverschleiss durch die im Vergleich zum Einachs- Antrieb reduzierten Fahr- und Bremsmomente auf den beiden Antriebsachsen.

Das 100 % Niederflurchassis ermöglicht durchgängig stufenlose Einstiegsbereiche.

Es konnten Einsparungen beim Energieverbrauch um ca. 20% -30 % gegenüber einem klassischen Fz. mit 39t Gesamtgewicht nachgewiesen werden.

2.1 General (English)

The lighTram3 hybrid (double joint hybrid bus), built after the model of the series of lighTram3 double joint trolley buses of the transporting enterprises Geneva (TPG), Switzerland, is a modern vehicle, which is sufficient for highest requirements both regarding the passenger and on the operator friendliness.

The bus is a technology carrier, at which advancements for the hybrid technology are to be investigated and tested. It is equipped for the first time with an energy management by software, which is tested and developed further at this vehicle.

The lighTram3 Hybris is manufactured and integrated in modern CO-BOLT aluminum lightweight construction way two-final drive for trolley buses and hybrid penalty. Thus fastidious topography can be mastered also under winter conditions optimally.

At the same time the tire wear sinks by the driving and brake torques on the two drive axles, reduced in the comparison to the Einachs drive.

100 % the Niederflurchassis makes possible constantly stepless entrance ranges.

Savings with the energy consumption could be reduced by proven with approx. 20% - 30 % opposite a classical vehicle with 39t total weight.

2.1 generale (français)

Le lighTram3 hybride (autobus hybride de joint double), construit selon le modèle de la série lighTram3 doppelgelenktrolleybus de joint double des entreprises de transport Genève (TPG), Suisse, est un véhicule moderne qui suffit aux exigences les plus élevées de passager aussi bien que sur l'amabilité d'opérateur.

L'autobus est un responsable de technologie, auquel des développements ultérieurs pour le hybridtechnik de technique hybride doivent être étudiés et expérimentés. Il est équipé pour la première fois de gestion énergétique par logiciel qui expérimente et est perfectionnée à ce véhicule.

		Ident.-Nr.
--	--	------------

Le lighTram3 Hybris est fabriqué dans CO-BOLT un Alu-Leichtbauweise moderne et intègre donc la transmission de deux pour des trolleybusse et peine hybride. Ainsi, la topographie exigeante peut aussi être maîtrisée de façon optimale dans des conditions winterlichen.

L'usure des pneus descend en même temps par ceux en comparaison de Einachs- commande a réduit des couples de freinage et de conduite sur les deux essieux moteur.

100% plancher bas permet constamment des secteurs d'entrée sans à-coups.

La consommation d'énergie pouvait être réduit prouvée entre 20% -30% en face un autobus standart avec 39t poids totaux.



Abbildung 1 Prototyp lighTram 3 Hybrid nach Assemblierung

2.2 Vorteile des Gesamtkonzepts

- Reduktion der CO₂-Emission (Kyoto-Protokoll) um ca. 20% -30 %
- Einsparung beim Energieverbrauch um ca. 20% -30 %
- Reduktion des Feinstaubausstosses
- Senkung des Lärmpegels
- Gewichts- und Platzersparnis durch kompakte, räumlich zusammengefasste Aggregate unter Einsatz modernster elektronischer Halbleiter (**IGBT**: Insulated Gate Bipolar Transistor);
- geringer Verkabelungsaufwand im Fahrzeug und am Gelenk durch die Anwendung eines hierarchisch übergeordneten elektrischen Datenbusses;
- leichte Zugänglichkeit der Geräte und damit einfache Wartung und Instandsetzung;
- wartungsfreie Drehstrom-Traktionsausrüstung;
- geringe Schadstoff-, Geruchs- und Geräuschemission
- passiver Schutz bei Verkehrsunfällen, da sich ein Grossteil der Fahrzeugausrüstung auf dem Dach befindet.

		Ident.-Nr.
--	--	------------



Abbildung 2 Gestaltungskonzept lighTram 3 Hybrid



Abbildung 3 Prototyp lighTram3 Hybrid

		Ident.-Nr.
--	--	------------

2.3 Technische Daten

Ausführung Vierachsiger Doppelgelenkhybridbus mit Zweiachsantrieb in 100 %-Niederflurtechnik Typ Kiepe PowerHybrid

Fahrzeughersteller (Chassis und Carrosserie) ist HESS, Schweiz

Der Hybridantrieb ist zusammen mit Vossloh Kiepe GmbH entwickelt worden

Höchstgeschwindigkeit 80 km/h

Beförderungskapazität ca. 200 Personen

Fahrzeuglänge/-breite 24.691 mm/2.550 mm

Wendekreis nach EWG und VTS, Innenradius 12 m, Aussenradius 25 m

Getriebeübersetzung 1 : 9,81

Max. Steigfähigkeit 14%

Einstiegshöhe 327 mm

Max. Achslast 11,5 t

Antriebsachse Achse 2+3

2.3.1 Fahrmotoren

Nennleistung 2 x 160 kW, 2 fremdbelüftete Drehstrom-Asynchronmotoren

Maximales Drehmoment 2 x 1800 Nm, einstellbar

Masse (Gewicht) je 560 kg

2.3.2 Antriebswechselrichter

Ausführung Kiepe IGBT-Direkt-Pulsumrichter Hybrid

Ausgangsleistung 160 kW

Kühlung Flüssigkeitskühlung

2.3.3 Traktionselektronik

Ausführung elektronischer Fahr-/Bremsregler

Fahr-/Bremsregler

Schleuder-Gleitschutz

Rückrollsicherung

Energiefluss-Steuerung

Betriebsdatenüberwachung

Diagnose

Traktionsmanagement

e-Speicher-Steuerung

		Ident.-Nr.
--	--	------------

2.3.4 Bordnetzumformer

Ausgangsspannung – DC 24 V / 8 kW

– AC 400 V / 230 V, 50 Hz, 30 kW

Merkmale – Separate Batterieladung nach Ladekennlinie

2.3.5 Klimageräteversorgung

Ausführung Statischer Klimageräteumrichter Typ KGU 103, Ausgang AC 400 V / 230 V, 50 Hz, 15 kVA Kühlung Forcierte Luftkühlung

2.3.6 Generator-Aggregat

Ausführung Permanent erregter Synchrongenerator, flüssigkeitsgekühlt

Leistung 190 kW

Drehzahlbereich 600 – 1800 min⁻¹

2.3.7 Energiespeicher

Typ Supercap

Kapazität 4 Module je 0,25 kWh; 240 kW 15 s

Merkmale – Start/Stop an Haltestellen ohne Dieselmotorgeräusch

Super-Kondensator

Reduzierung von Diesel-Verbrauch, 30% erwartet in städtischer

Betriebsart

3 Beschreibung der elektrischen Ausrüstung

3.1 Lage der elektrischen Komponenten im Fahrzeug

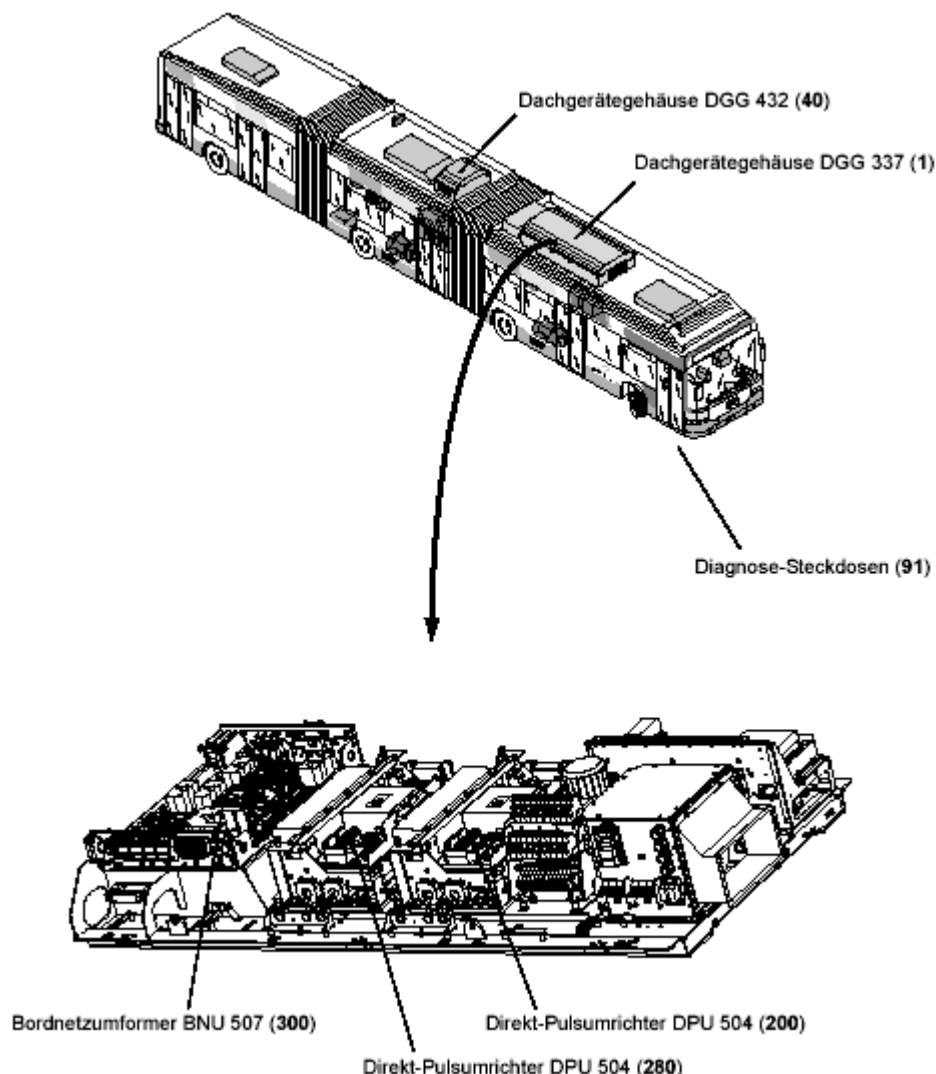


Abbildung 4 Lage der elektrischen Komponenten

Bei der Aufteilung der elektrischen Komponenten für den Doppelgelenkhybridbus wurde das "Elektrodach"-Konzept konsequent umgesetzt:

Fast die gesamte Elektroausrüstung ist in drei Dachgerätegehäusen und vier Kondensatorcontainern, dem DGG-2QS (20) und den Doppelschichtkondensatoren auf dem Mittelteil sowie dem DGG 337 (1) und dem DGG 432 (40) auf dem Vorderwagen, zusammengefasst.

Alle Dachgerätegehäuse sind für einfache Wartungs- und Reparaturarbeiten von beiden Seiten des Fahrzeugs zugänglich.

Im Innenraum des Trolleybusses befinden sich in einem Schaltschrank hinter dem Fahrerplatz die zentralen Diagnose-Steckdosen

Um den Innenraum des Trolleybusses frei von Leistungsverkabelung zu halten, sind sämtliche Leistungskabel (600 V-Netz- und Motorleitungen sowie 400 V-Drehstromleitungen) auf dem Fahrzeugdach verlegt und durch geschlossene Rohre in den Unterflurbereich geführt. Die 24V-

		Ident.-Nr.
--	--	------------

Leitungen sind in den Dachvouten des Fahrzeugs verlegt und werden durch Dachdurchführungen zu den Dachgeräten geführt. Auf diese Weise sind die Leitungen mit unterschiedlichem Stör- und Beeinflussungspotential weiträumig entkoppelt.

3.1.1 Komponenten der Leistungselektronik – Dachgerätegehäuse DGG 337

Das Dachgerätegehäuse DGG 337 (1) auf dem Dach des Vorderwagens beinhaltet die zwei Direkt-Pulsumrichter DPU 504 (200) und DPU 504 (280) (Antriebswechselrichter), den Bordnetzumformer BNU 507 (300) und die Ansteuerung der Hilfsbetriebe. Die Komponenten der Leistungselektronik sind luftgekühlt.

Durch den patentierten, beidseitig ohne Werkzeug zu öffnenden Gehäusedeckel ist ein einfacher und schneller Zugang zu den Komponenten für Wartungs- und Reparaturarbeiten möglich. Der ca. drei Meter lange Deckel kann problemlos von einer Person bewegt werden.

3.1.2 Weitere Komponenten

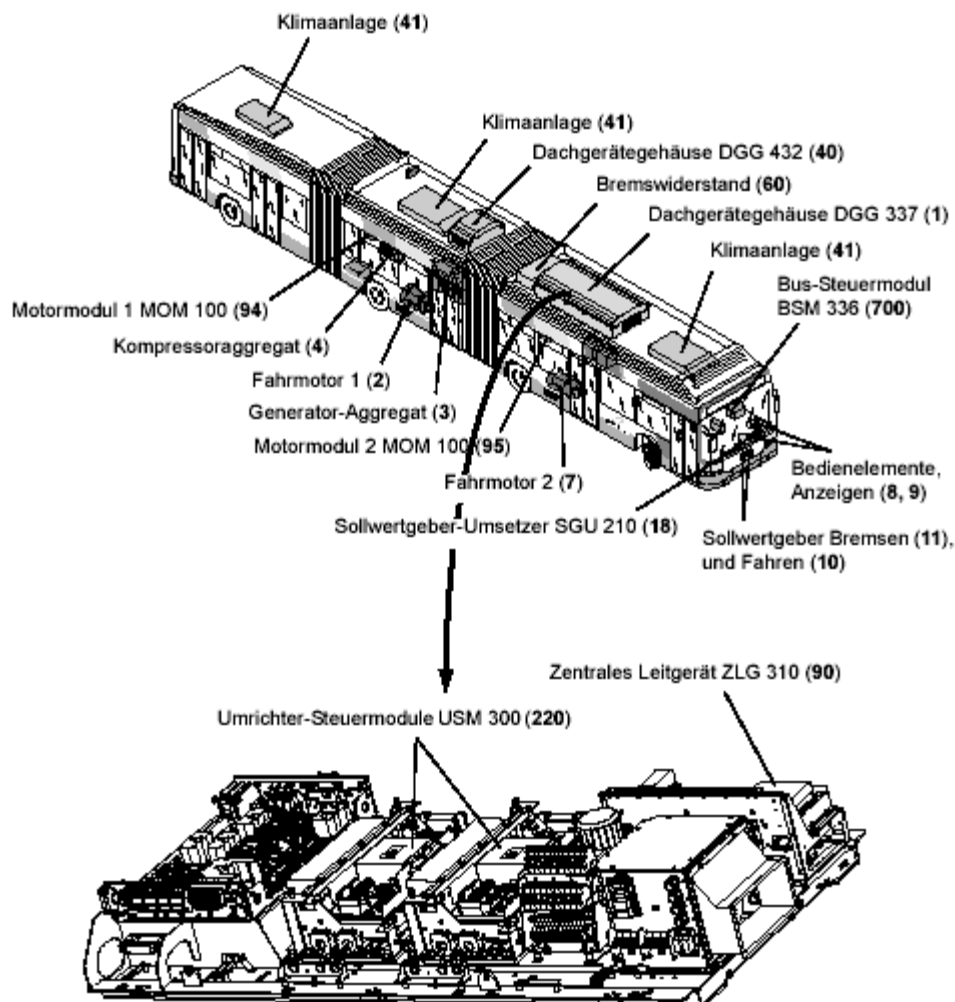


Abbildung 5 weitere Komponenten

Auf dem Fahrzeugmittelteil befindet sich der DGG-2QS und die in 4 Containern verpackten Doppelschichtkondensatoren.

Der DGG-2QS regelt die Ladung und Entladung der Energiespeicher zum Fahrzeugtraktionskreis.

		Ident.-Nr.
--	--	------------

Ein doppelter Hoch-Tiefsetzsteller wurde gewählt, da die Spannung der Speicher kleiner oder grösser als die des Fahrzeugzwischenkreises sein kann.

Als Energiespeicher befinden sich auf dem Dach des Mittelteils Doppelschichtkondensatoren mit einer Gesamtkapazität von 22,5 mF und einer maximalen Spannung von 720 V DC.

Als Antriebsausrüstung wurden zwei fremdbelüftete, vierpolige Drehstrom-Asynchron-Traktionsmotoren (**2, 7**) eingebaut. Sie sind seitlich im Untergestell des Fahrzeugs über

Gummi- und Isolationselemente elastisch am Rahmen des Fahrzeugs aufgehängt. Der Fahrmotor 1 (**2**) befindet sich im Mittelteil in Fahrtrichtung rechts, der Fahrmotor 2 (**7**) im Vorderwagen in Fahrtrichtung rechts.

Zur Energieeinsparung wird beim Bremsen die von den Fahrmotoren (**2, 7**) (als Generatoren) erzeugte elektrische Energie in die Doppelschichtkondensatoren rückgespeist.

Ist dies nicht oder nur teilweise möglich, wandelt der auf dem Vorderwagen platzierte Bremswiderstand (**60**) die beim Bremsen erzeugte generatorische Energie in Wärme um.

Das Generator-Aggregat (**3**) dient als erster Antrieb. Ein Dieselmotor erzeugt an der Welle mechanische Energie, die über eine Kupplung auf den Generator übertragen wird. In diesem permanentenregten Synchrongenerator wird die mechanische Energie in elektrische umgewandelt. Die dreiphasige Wechselspannung wird mittels eines wassergekühlten B6-Gleichrichters in Gleichspannung umgerichtet.

Das Kompressoraggregat (**4**) (Druckluftkompressor) wurde seitlich im Untergestell des Mittelteils eingebaut.

Die zwei Klimakompressoren der Dachklimaanlagen (Fa. Hess) (**41**) werden vom Klimageräteumrichter KGU 103 mit 400 V versorgt.

Der Klimageräteumrichter KGU 103 befindet sich mit dem dazu gehörenden Transformator im Dachgerätegehäuse DGG 432 (**40**).

Bei den analogen Sollwertgebern Fahren (**10**) und Bremsen (**11**) im Fussraum der Fahrerplätze handelt es sich um Pedalgeber, die einen Winkel bzw. Hub in ein dem Betätigungsweg des Pedals adäquates analoges Signal umwandeln. Aus den Signalen erzeugt der Sollwertgeber-Umsetzer SGU 210 (**18**), der im Frontbereich montiert ist, Werte zur Steuerung der Fahr- und Bremsfunktion des Fahrzeugs.

Dem Fahrer stehen eine Reihe von Bedienelementen und Anzeigen (**8, 9**) auf der vorderen und seitlichen Armaturentafel am Fahrerplatz zur Verfügung.

Die Komponenten der Fahrzeugsteuerung befinden sich an unterschiedlichen Stellen im Fahrzeug:

- das Zentrale Leitgerät ZLG 310 (**90**)
- die Bus-Steuermodule BSM 336 (**700**) und BSM 332
- die zwei Umrichter-Steuermodule USM 300 (**220**)
- die zwei Motormodule MOM 100 (**94, 95**)
- der Dieselsteuerrechner DSR
- das USM des Zweiquadrantenumrichters 2-QS und
- der Energiemanagementrechner EMG.

		Ident.-Nr.
--	--	------------

3.2 Aufgaben der elektrischen Komponenten

3.2.1 Antriebswechselrichter

Für den Fahrantrieb werden zwei autark arbeitende Direkt-Pulsumrichter DPU 504 (**200, 280**) in IGBT-Technik als Antriebswechselrichter eingesetzt. Die zwei Direkt-Pulsumrichter DPU 504 erzeugen aus der DC 600 V Gleichspannung ein Drehstromsystem für die als Asynchronmotor ausgebildeten Traktionsmotoren (Fahrmotoren (**2, 7**)).

Die zwei Direkt-Pulsumrichter DPU 504 (**200, 280**) zeichnen sich insbesondere durch folgende Merkmale aus:

- Einsatz beschaltungsfreier IGBT-Halbleiterschalter
- Realisierung einer Isolation durch potenzialgetrennte Treiberkartenversorgung und Ansteuerung der IGBTs über Lichtwellenleiter
- Hohe Schaltfrequenz, geringe Pendelmomente
- Geringer Verkabelungsaufwand durch niederinduktive Verschienung
- Wartungsfreundliche Modulbauweise
- Geringe Abmessungen und geringes Gewicht

Die zwei Direkt-Pulsumrichter DPU 504 (**200, 280**) speisen jeweils einen Fahrmotor (**2, 7**).

Die separate Regelung der beiden Fahrmotoren ermöglicht es, dass die Traktions- bzw. Bremsmomente der beiden Antriebsachsen (2. und 3. Achse des Fahrzeugs) gezielt eingestellt werden können. So kann mit Hilfe der hochdynamischen KIEPE Schleuder-Gleitschutz-Regelung der elektrische Antrieb schneller als das mechanische ABS reagieren, und das Fahrzeug bleibt vom Fahrer beherrschbar.

Aufgrund der zwei angetriebenen Achsen wird ausserdem die Nutzung der elektrischen Bremse erhöht und somit ein höherer Rückspeisegrad erreicht.

Für die Steuerung und Regelung verfügt jeder der beiden Direkt-Pulsumrichter DPU 504 (**200, 280**) über ein separates Umrichter- Steuermodul USM 300 (**220**). Ein Umrichter- Steuermodul USM 300 (**220**) besteht aus einem Zwei-Prozessor-System für die feldorientierte Regelung des Asynchronmotors.

Über Lichtwellenleiter werden die Treiberstufen und damit direkt die IGBTs angesteuert.

3.2.2 Fahrmotoren

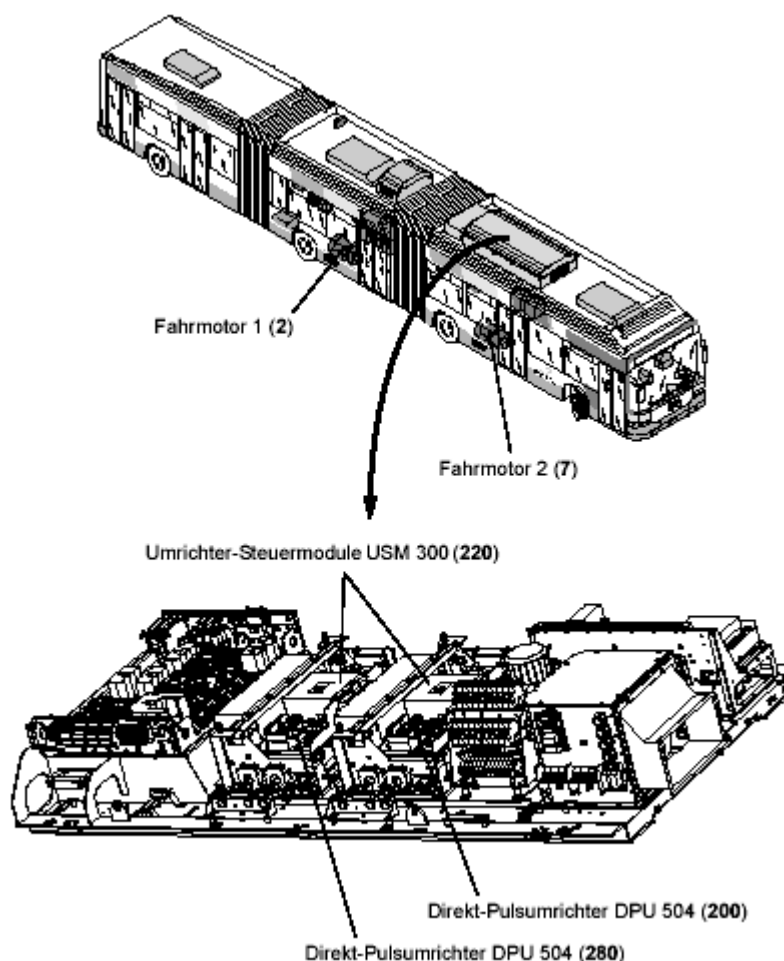


Abbildung 6 Fahrmotoren

Die Fahrmotoren (**2**, **7**) sind zwei leistungsstarke, fremdbelüftete, vierpolige Drehstrom-Asynchron-Traktionsmotoren mit einer elektrischen Dauerleistung von 160 kW.

Die Drehmomentübertragung zwischen Motor und Antriebsachse wird mittels einer Isolationskupplung und einer Kardanwelle realisiert.

Als Achse kommt eine angetriebene Portalachse der Firma ZF (ZF-Achse) mit einer Übersetzung von 9,817:1 zum Einsatz.

Hiermit kann der Trolleybus eine Geschwindigkeit von bis zu 80 km/h erreichen. Um eine Geräusch optimierte und gleichzeitig verlässliche Zwangsbelüftung zu realisieren, wird die Stator-Temperatur überwacht.

Am hinteren Fahrmotor wird über eine weitere Isolationskupplung die Haupt-Lenkhilfpumpe angetrieben. Für Rangierfahrten ist eine Hilfspumpe in 24V-Technik vorgesehen, die automatisch angesteuert wird.

Die im Bremsbetrieb von den Fahrmotoren (**2**, **7**) erzeugte Energie kann in den Energiespeicher bestehend aus Doppelschichtkondensatoren zurückgespeist werden. Falls diese Energie nicht oder nur teilweise vom Fahrleitungsnetz und den Nebenverbrauchern (Bordnetzumformer BNU 507 und Klimakompressoren) aufgenommen werden kann, wird sie in Form von Wärme über den Bremswiderstand (**60**) abgeführt. Die Bremsung erfolgt elektrisch bis zum Stillstand.

		Ident.-Nr.
--	--	------------

3.2.3 Bremswiderstand

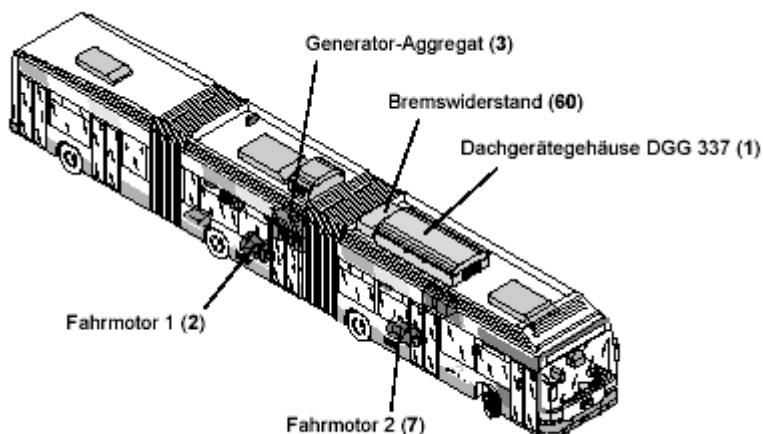


Abbildung 7 Bremswiderstand

Jeder der beiden Direkt-Pulsumrichter DPU 504 verfügt über einen eigenen Bremschopper und somit über einen eigenen Bremswiderstand (**60**). Die beiden Bremswiderstände sind in einem gemeinsamen Gehäuse in eigenbelüfteter Bauform ausgeführt, das isoliert auf dem Fahrzeugdach montiert und gegen dieses mit einem Wärmeschutzblech abgeschottet ist. Die Bremswiderstände (**60**) sind zwischen dem Dachgerätegehäuse DGG 337 (**1**) des Vorderwagens und dem Fahrzeug-Gelenk montiert.

Jeder Bremswiderstand besteht aus einem zusammenhängend gefertigten Widerstandsband aus hitzebeständigem Widerstandsmaterial.

Die Bänder werden in Keramikbuchsen aufgenommen und mittels Spannstäben in seitlichen Stützen befestigt.

Die Bremswiderstände (**60**) sind entsprechend der Topographie einer Stadtbusanwendung ausgelegt und können die gesamte Bremsleistung des Fahrzeugs aufnehmen, falls der Energiespeicher einmal nicht aufnahmefähig sein sollte.

		Ident.-Nr.
--	--	------------

3.2.4 Generator-Aggregat

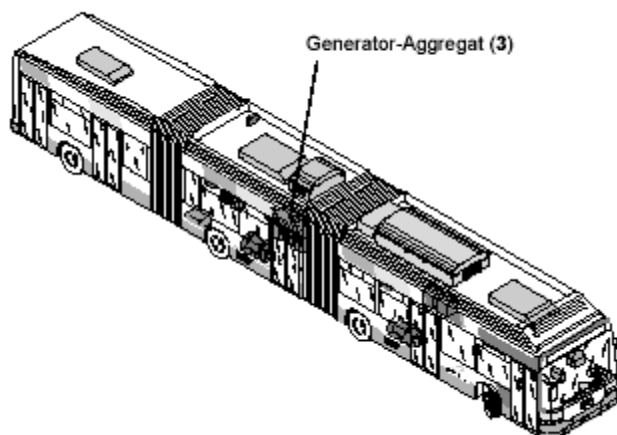


Abbildung 8 Generator-Aggregat

Der Doppelgelenkhybridbus wird gewöhnlich im Hybridbetrieb, d. h. in der Betriebsart Dieselaggregat, gefahren.

Das Fahrzeug kann auch mit ausgeschaltetem Dieselmotor in der Betriebsart Batterie betrieben werden. Diese Betriebsart ermöglicht mit Doppelschichtkondensatoren eine abgasfreie Fahrt von ca. 800 m. Für regelmässigen "zero-emission"-Betrieb wird zu einem späteren Zeitpunkt ein Batteriesystem getestet, was einen Batteriebetrieb über mehrere Kilometer ermöglichen soll. Der Einbauraum für die galvanische Batterie ist vorgesehen, der Speicherumrichter 2-QS kann eine Batterie regeln.

Das Generator-Aggregat (3) besteht aus einem Dieselmotor mit einem angeflanschten, permanent-erregten Synchrongenerator. Die elektrische Leistung dieses diesel-elektrischen Aggregats beträgt 190 kW.

Zwischen den beiden Betriebsarten Dieselfahrt und Batterie kann der Fahrer mithilfe eines Betriebsartenwahlschalters im Fahrerpult wählen. Schaltet der Fahrer auf Dieselfahrt und betätigt den Anlassertaster des Dieselmotors, fährt das Fahrzeug aus 2 Quellen (Hybrid) gespeist. Beim Beschleunigen bezieht der Bus aus dem Generator-Aggregat und dem Energiespeicher Leistung, beim Bremsen wird der Speicher automatisch nachgeladen.

Weitere Bedienhandlungen sind nicht notwendig.

In der Betriebsart Batterie wird der Dieselmotor nicht eingeschaltet, und wenn nur Kondensatorspeicher an Bord ist, wird die Leistung reduziert. Später mit der zusätzlichen Traktionsbatterie kann das Fahrzeug eine vorgegebene Strecke mit voller Traktionsleistung betrieben werden.

Als Dieselmotor wird ein moderner 4-Zylinder-Dieselmotor mit 8,9 l Hubraum eingesetzt.

Der Dieselmotor erfüllt die Abgasnorm EURO 4. Die Drehzahleinstellung erfolgt über einen CAN-Bus stufenlos entsprechend der benötigten Leistung. Bei Fehlern wird das Generator-Aggregat (3) durch die im Dieselsteuerrechner DSR integrierte Steuerung automatisch stillgesetzt.

Die Umsetzung der mechanischen Energie des 228 kW starken Dieselmotors in eine variable Gleichspannung von 400 V bis 800 V erfolgt durch einen vielpoligen permanent-erregten Synchrongenerator mit nachgeschalteter Gleichrichterbrücke. Der Generator ist flüssigkeitsgekühlt und vollgekapselt. Die Anbindung an den Dieselmotor erfolgt über eine elastische Kupplung.

		Ident.-Nr.
--	--	------------

Das kompakte Generator-Aggregat (3) ist in das Heck des Fahrzeuges identisch den Stadtbussen der Firma SCANIA eingebaut.

Sämtliche notwendigen Komponenten wie Luftfilter, Kühlanlage, etc. sind identisch den Dieselstadtbussen von Scania in das Fahrzeug integriert. Anstelle des Automatikgetriebes und eines Umlenkgetriebes wurde der Generator mit Kupplung installiert.

3.2.5 Bordnetzversorgung

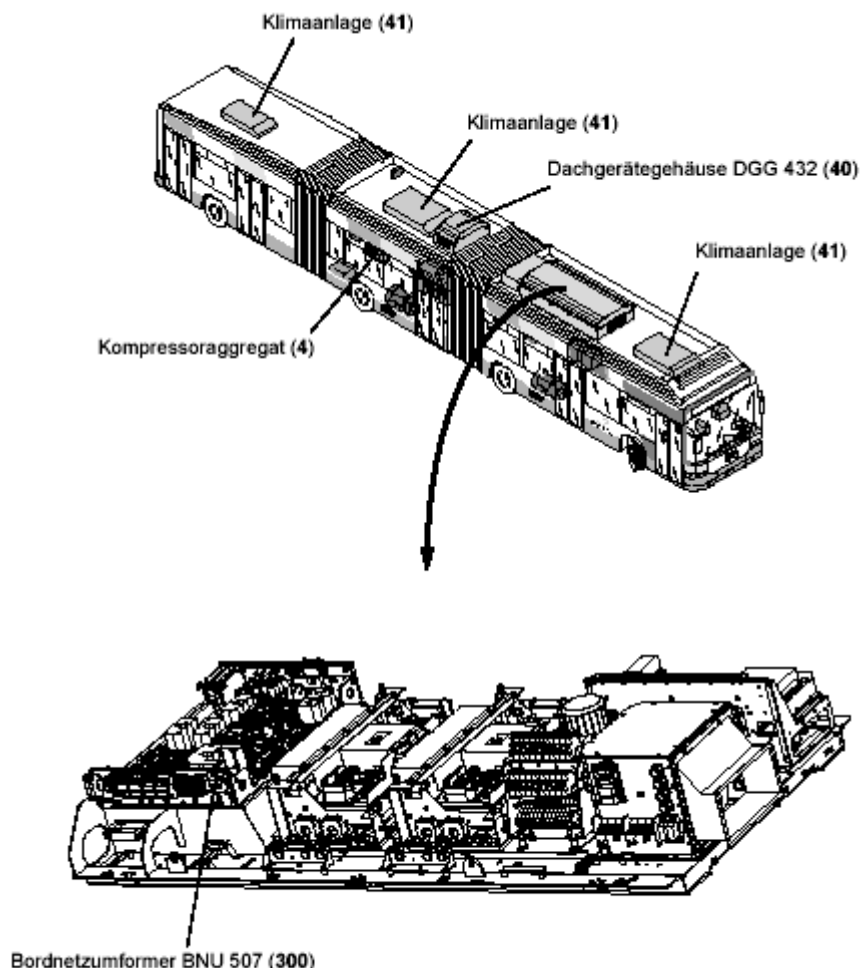


Abbildung 9 Bordnetzversorgung

Der IGBT-Bordnetzumformer BNU 507 (300) erzeugt aus der DC 600 V-Fahrzeugspannung das DC 24 V- und das AC 400 V / 230 V-Bordnetz und übernimmt die Ladung der 24 V-Batterien. Die Bordnetze sind galvanisch von dem 600 V-Fahrzeugnetz getrennt.

Das 400 V-Drehstromnetz ist dreiphasig mit herausgeführtem Sternpunkt. Die Nennspannung beträgt 400 V / 230 V bei einer Frequenz von 50 Hz und einer maximalen Dauerausgangsleistung von 20 kVA. Der Drehstromausgang ist schiefastfähig, d. h., es können einphasige Verbraucher zwischen einer Phase und dem Nullleiter oder auch zwischen zwei Phasen angeschlossen werden, die bis zu einem Drittel der 400 V-Drehstrom-Gesamtausgangsleistung aufnehmen dürfen.

Ein integriertes Sinusfilter sorgt für einen geringen Klirrfaktor.

Die Versorgung des DC 24 V-Bordnetzes erfolgt mithilfe eines leistungsfähigen Gleichspannungsausgangs mit einem maximalen Strom von 280 A.

		Ident.-Nr.
--	--	------------

Die Ladung der Bordnetzbatteie in Blei-Gel-Technologie, die auch für den Start des Dieselaggregates verwendet wird, erfolgt über einen separaten Ladeausgang mit IU-Kennlinie.

Die Steuerung und Regelung des Bordnetzumformers BNU 507 erfolgt durch mehrere Steuerbaugruppen in Mikroprozessortechnik.

Hierbei wird jede Unterbaugruppe (Eingangswchselrichter, Drehrichter, Batterieladegleichrichter) durch eine separate, unabhängig arbeitende Steuerung geregelt und überwacht.

Die Kommunikation erfolgt über einen CAN-Datenbus, der auf jeder Steuerbaugruppe über eine hochspannungsfeste galvanische Trennung verfügt.

3.2.6 Druckluftversorgung

Die Druckluftversorgung des Fahrzeugs übernimmt ein Schraubenkompressor (4), der durch einen 400 V-Drehstrom-Asynchronmotor angesteuert wird. Das Kompressoraggregat (4) besteht aus einem Verdichter mit Öleinspritzkühlung und sorgt dafür, dass ölarme Druckluft für die Luftfederung, die Bremsen, die Türsteuerungen und das Absenken der Stromabnehmer zur Verfügung steht.

Die Ansteuerung des Kompressoraggregats (4) erfolgt mithilfe eines analogen Drucksensors, der den Vorratsdruck erfasst.

3.2.7 Klimageräteversorgung

Die Versorgung und Steuerung der drei Klimakompressoren der Dachklimaanlagen (41) erfolgt über den Klimageräteumrichter KGU 103 im Dachgerätegehäuse DGG 432 (40). Die Ansteuerbefehle erfolgen über den CAN-Datenbus.

4 Beschreibung des Fahrzeuges

Das technische Fahrzeugangebots-Layout, so wie es heute für den Markt aussieht:

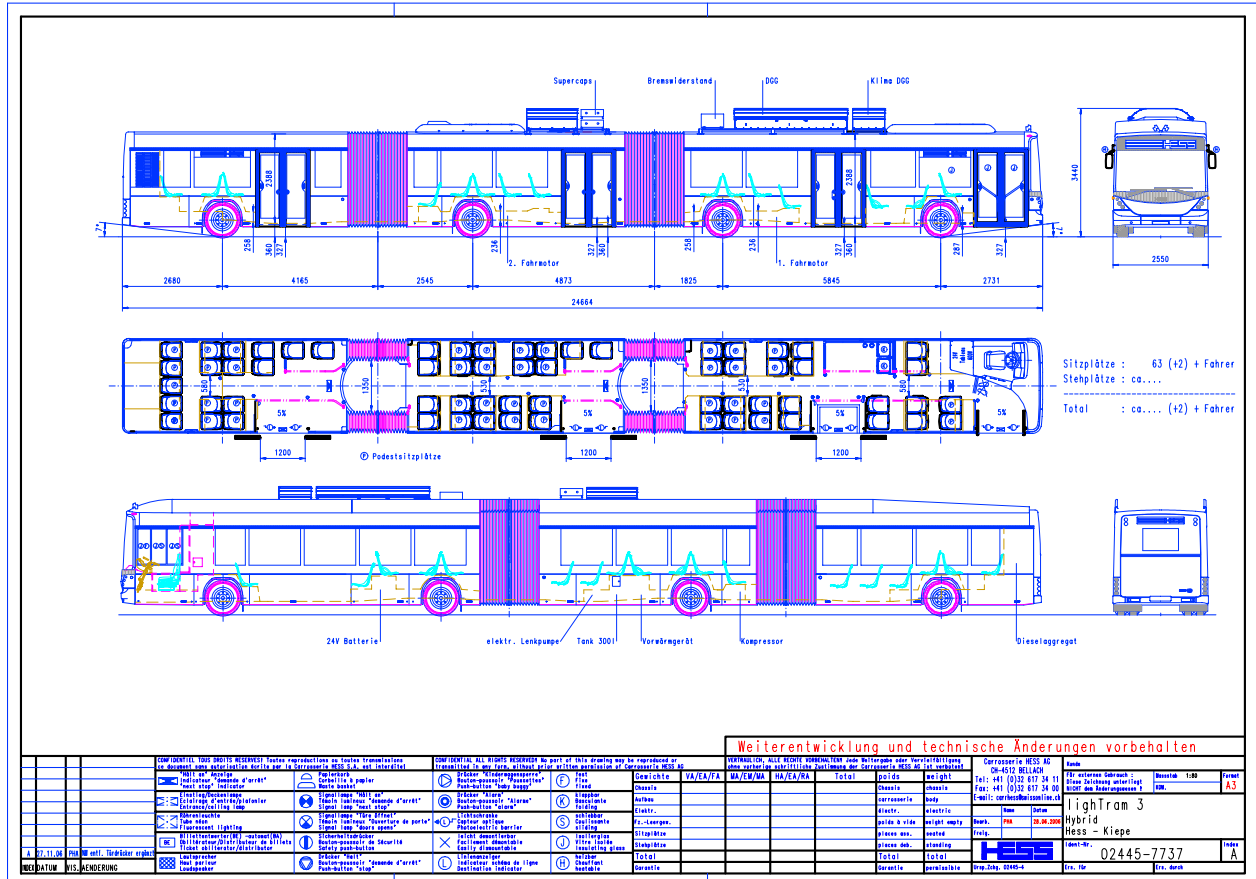


Abbildung 10 Fahrzeug-Layout

In der Phase **Planung** wurde speziell auf die folgenden Ziele hin konzipiert:

4.1 Lärmreduktion:

Durch Einsatz im Vergleich zu normalem Dieselsbus kleineren Dieselgeneratoraggregat und einer guten Motorkapselung soll die Lärmreduktion wesentlich sein.

Die Gesamtlärmreduktion kann leider erst am ersten fertigen Fahrzeug gemessen werden

4.2 Gewichtsreduktion:

Die folgende Gewichtsbilanz zeigt den heutigen Planungsstatus an:

Siehe Achslastberechnung, Kapazitätsberechnung im Anhang

Dabei konnte in der Planungsphase gesamthaft **ca. 1340 kg** gegenüber einer konventionellen Lösung eingespart werden.

Folgende Massnahmen sind dabei eingeleitet worden:

		Ident.-Nr.
--	--	------------

4.2.1 Chassisleichtbau

Dies wird durch Voll-Niederflurbauweise und Einsatz einer bereits im Swisstrolley3 eingesetzten Gelenkkomponente zwischen Vorderwagen, Mittelwagen und Nachläufer erreicht.

Folgende Gewichtsvergleich zeigt das Sparpotential auf:

Komponente	Konventionelle Bauart	SWISSTROLLEY 3
Niederflurgelenk HÜBNER 16.5	750 kg	450 kg ($\Delta 300$ kg)
Optimierte Bodenrahmenstruktur	2450 kg	2250 kg ($\Delta 200$ kg)

Abbildung 11 Komponentenvergleich

Einsparpotential: 500 kg

Vergleiche neues Gelenk HNG 16.5 mit konventionellem Gelenk HNGK 9.2

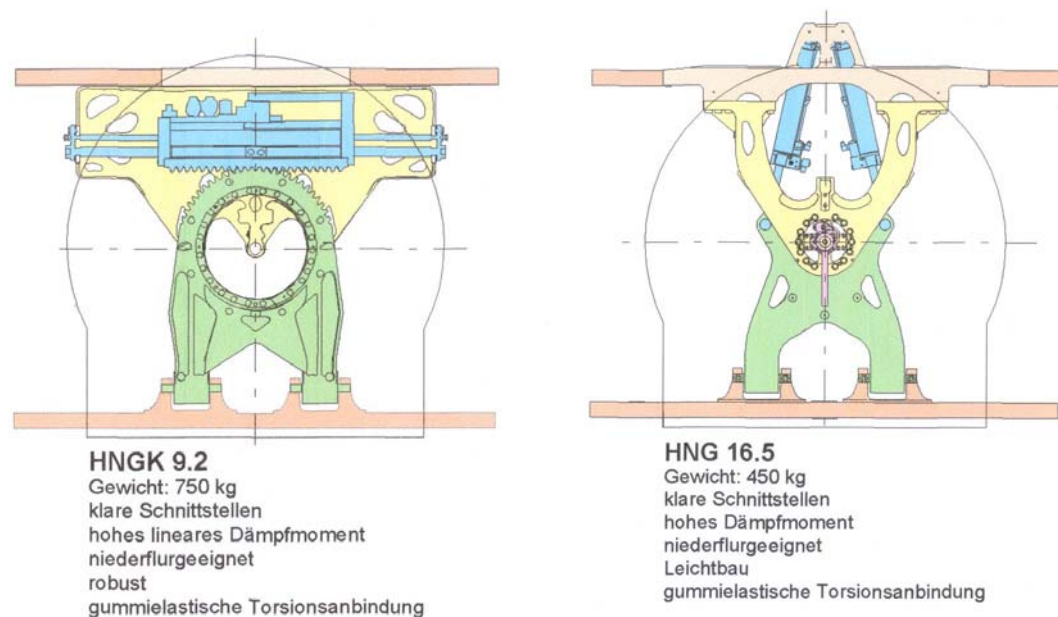


Abbildung 12 Gelenksysteme

		Ident.-Nr.
--	--	------------

4.3 Antriebstechnologie

Durch die Wahl von 2 bereits im Swisstrolley3 eingesetzten 600V-E-Motoren speziell für den Trolleybus-Einsatz für 2-achsigem Antrieb mit Standard-Portal-Achsen aus dem Dieselbusbereich.

Anstelle eines 320 kW-Dieselstromagregates wird eines mit „nur“ 228 kW vorgesehen.

Folgende Gewichtsvergleich zeigt das Sparpotential auf:

Komponente	Konventionelle Bauart	lighTram3 Hybrid
Kleiner Fahrmotor 160kW à 645 kg (2 Aggregate)	1610 kg	1290 Kg (Δ 320 kg)
Kleiner Dieselgenerator mit max. 228kW anstelle 320kW	1560 kg	1340 Kg (Δ 120 kg)

Abbildung 13 Komponentenvergleich

Einsparpotential: 440 kg

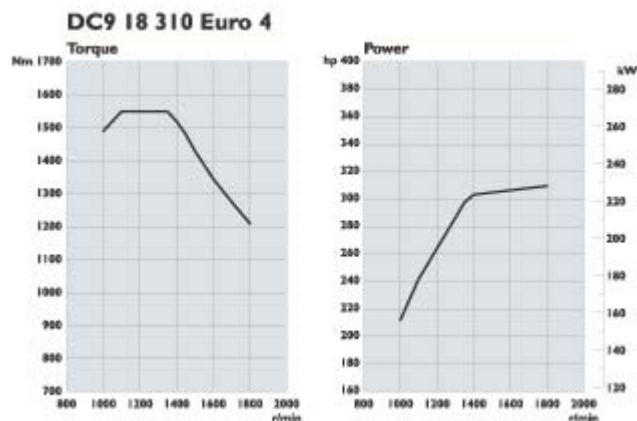


Abbildung 14 Motordiagramm Abbildung 15 Motor SCANIA DC 9 18

4.3.1 Motordaten:

Engine type	DC9 18 310
Make	SCANIA
Exhaust gas after-treatment	EGR, without Ad Blue
Particle Filter	PMFC-Filter
Displacement	8.9 Liter
Diesel injection	SCANIA PDE
Output kW/HP at min -1	228 / 310 at 1800
Torque Nm at min -1	1550 at 1100-1350
Spec. fuel consumption g/kWh	204
Exhaust values Euro 4-values	
g/kWh	PM 0.02
	0.02
	0.01 (with filter)
	0.0
	0.1
	3.3
	0.02
	0.0
	0.1
	3.3

4.4 Karosserie-Leichtbau

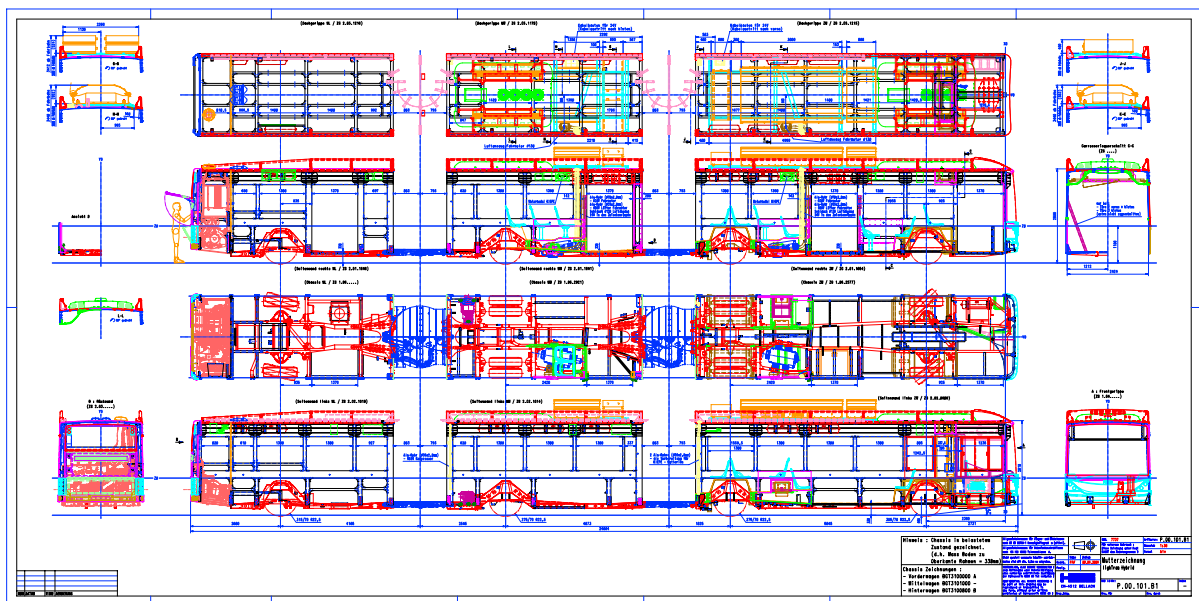


Abbildung 16 Masterdrawing

Das CO-BOLT N System mit optimierten, intelligenteren Baugruppen bietet ein Einsparpotential von 400 kg.



Abbildung 17 Masterdrawing

		Ident.-Nr.
--	--	------------

4.5 Wirtschaftlichkeit:

Durch Evaluierung von teilweise neuen kreativen Material-Zulieferanten
Miteinbezug der System-Zulieferanten bereits in der frühen Entwicklungsphase
Durch Einsatz von Roboterschweissung im Chassisrahmenbereich
Durch Einsatz des CO-BOLT N Schraubsystems im Aufbaubereich
Durch optimierten Einsatz von Mengen wie auch optimierten
Produktionsprozessen von Materialien wie Elektro- und Elektronik-Kabel,
Heizungsleitungsverlegung mit Kunststoff-Rohren, Kleb- und Dichtstoff-Einsatz
Planung einer funktionalen Logistik für die Produktionsprozesse (adaptierte „just in time“-
Lieferungen als Kompromisslösung zwischen Materialverfügbarkeit, Transportkosten sowie
minimalen Losgrößen von Sub-Komponenten.
Integrationsmeetings zwischen Entwicklung, Logistik und Produktion (wöchentlich)
Finanzcontrolling-Planung mittels Analysewerkzeugen für die Auswertung jedes einzelnen
produzierten Fahrzeuges. (Soll-Ist-Vergleich im Bereich Materialkosten sowie Produktionszeit
und Durchlaufzeit)

4.6 Passagierfreundlichkeit, Behindertengerecht:

Einhaltung der Verordnung über die behindertengerechte Gestaltung des öffentlichen
Verkehr (VböV), welche ab 1.01.2004 in Kraft tritt und sich auf das
Behindertengleichstellungsgesetz vom 13.12.2003 stützt.

Berücksichtigung der Vorschläge der Schweizerischen Fachstelle für Behinderte im ÖV
(Olten)

siehe auch „der Rollstuhl als Hilfsmittel für gehbehinderte Personen“ im Anhang.

Vollniederflurkonzeption für optimierten Fahrgastfluss, sowie einfachere Einstiegsmöglichkeit
für Behinderte im Rollstuhl und Kinderwagen.

Drucktaster auch für taktilen Erspüren der Funktionstasten und Schalter

Vorschläge für Passagierinformationssysteme visueller wie auch akustischer Art.

Helles Inneraumkonzept für einladendes ÖV-Fahren

Optional: Passagierklimaanlage für wohltemperiertes Reisen nach VDV-Richtlinien.

5 Beschreibung der Hybridtechnologie

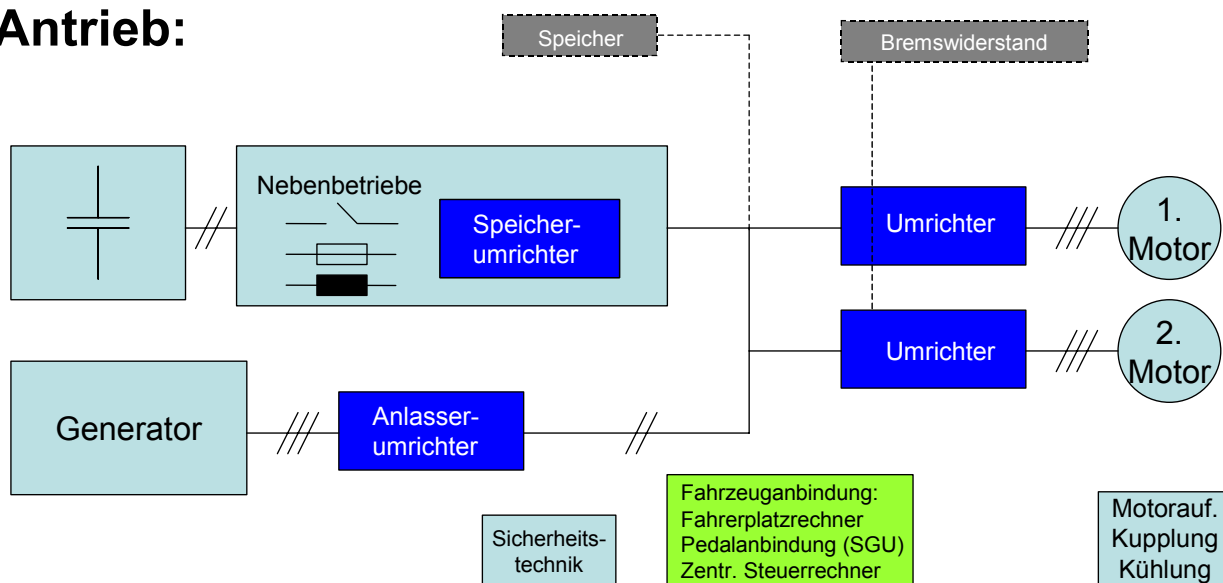
5.1 Reduktion des Energieverbrauches und der CO2-Emissionen:

Die aktuellen Ölpreiserhöhungen, die Feinstaubbelastungen in den Innenstadtstraßen, die
gesundheitsgefährdende Grenzwerte überschreiten, lassen den Ruf laut werden nach neuen
Fahrzeugkonzepten. Diese sollten einen deutlich niedrigeren Verbrauch an fossilen
Brennstoffen, Abgasreduktion bis hin zu streckenweiser Abgasfreiheit, niedrigeren
Feinstaubemissionen bei akzeptablen Preisen aufweisen. Die Carrosserie HESS-AG Bellach
entwickelte gemeinsam mit der Vossloh Kiepe GmbH einen Doppelgelenkbus, der diesen
Anforderungen gerecht werden wird.

Durch das serielle Hybridantriebskonzept erreicht man generell die Senkung des
Primärenergiebedarfs sowie Reduktion der ausgestoßenen Schadstoffe, wie NOx,
Feinstäube und die CO2-Emissionen.

5.2 Die Lösung von Hess und Vossloh Kiepe

Antrieb:



Elektrisch auf Achsen 2 + 3 !!!

Abbildung 18 Antriebssystem

Ausgehend von den Erfahrungen des 24,7m Doppelgelenk-Trolleybusses (lightTram3) für Genf haben sich HESS und Vossloh Kiepe entschieden, für den ersten gemeinsamen Doppelgelenkbus ohne Trolleysystem ein Serienhybridantriebssystem zu wählen. Damit kann der knapp 25m lange Hybridbus problemlos an 2 Achsen mit Elektromotoren angetrieben werden.

Ein 25m-Bus bringt voll beladen mit 200 Fahrgästen ein Gewicht von ca. 39t auf die Waage. Dieses Fahrzeug mit nur einer Achse anzutreiben, ergibt eine Fahrdynamik die deutlich hinter der eines Standard-Dieselmotors zurückfällt. Zudem wird bei winterlichen Straßen mit Nässe, Laub oder gar Schnee auf dieser einen angetriebenen Achse der Schleuder- und Gleitschutz häufig im Eingriff sein und somit zu einem inakzeptablen Fahrkomfort führen. Deshalb haben sich Hess und Vossloh Kiepe zu einem Zweiachsantrieb entschlossen. Die Fahrdynamik erreicht damit das Niveau eines Dieselmotors.

Mittels des Energiemanagements eines optimalen Speicherkonzeptes wird die gesamte elektrische Bremsenergie zwischengespeichert und beim nächsten Beschleunigungsvorgang dem Antrieb zu Verfügung gestellt. Dieses führt dazu, dass der Dieselmotor nicht auf die Spitzenleistung des Fahrzeuges ausgelegt wird, sondern reduziert um die aus dem Speicher zur Verfügung gestellte Leistung. Die Speicher sind so dimensioniert, dass eventuell eine bestimmte Strecke mit diesem Fahrzeug in einem reinen „zero-emission“ Betrieb befahren werden kann.

5.3 Das Hybrid-Funktionsprinzip

Streckenprofil und Verkehrsfluss ergeben das Potential für die Energierückgewinnung!

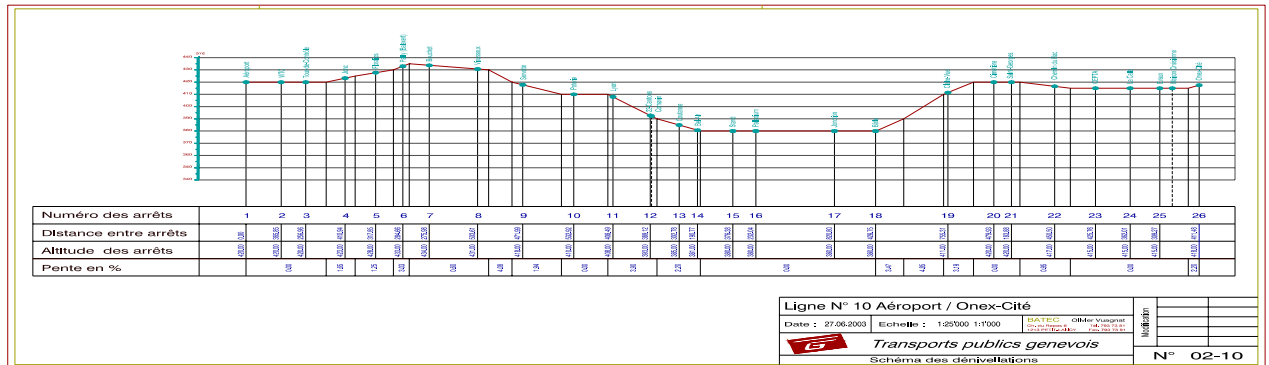


Abbildung 19 Streckenprofil

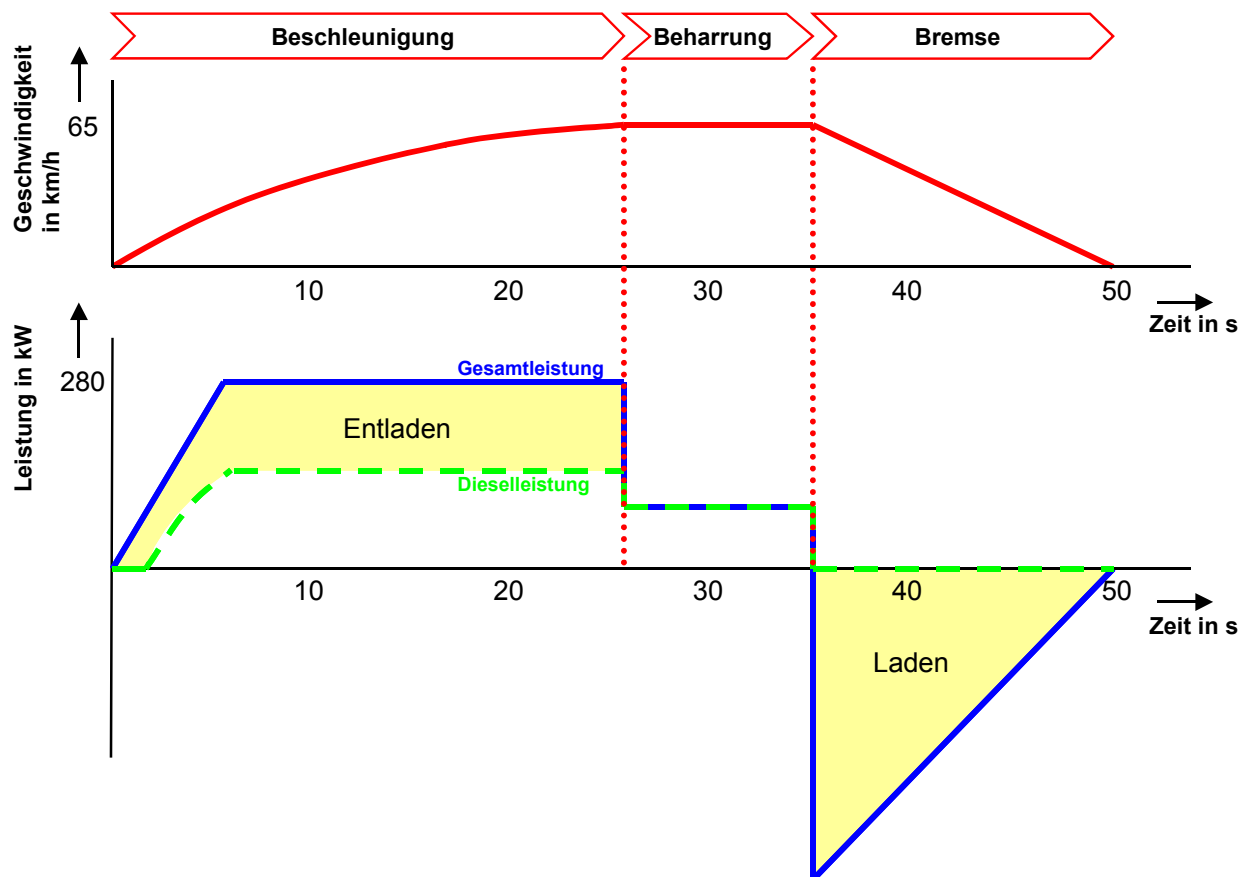


Abbildung 20 Hybrid-Funktionsprinzip

Mit unserer Lösung konnten Einsparungen im Bereich von 20 – 30% erreicht werden.

D.h. in absoluten Messgrößen gehen wir mit einem Fahrzeug von 39t Gesamtgewicht von einem Verbrauch (klassisches Fz. ohne Hybridtechnik) von ca. 95 – 110 l aus.

Wir erreichen je nach Einsatzort und Linienwahl Werte von 65 – 90l.

		Ident.-Nr.
--	--	------------

6 Einsatzplanung des lighTram Hybrid Fahrzeuges

An folgenden Orten wurde und wird das lighTram Hybrid eingesetzt:

Testfahrten, Einstellungen Phase 2, Kiepe bei HESS	14t	Mo 02.07.07	So 15.07.07
Testfahrten Schweiz (Zug, VBSG)	40t	Mo 16.07.07	Fr 24.08.07
Orientierung Lokalpresse	1t	Mi 18.07.07	Mi 18.07.07
Überführung FZ nach LU	1t	Mo 23.07.07	Mo 23.07.07
Hybridtagung Luzern	1t	Di 24.07.07	Di 24.07.07
Presseorientierung und Fahrzeugpräsentation in Schwyz	1t	Fr 10.08.07	Fr 10.08.07
Präsentation FZ der HH Hochbahn AG in Schwyz	1t	Fr 10.08.07	Fr 10.08.07
Morgen, Medienanlass, Abschluss Probebetrieb	1t	Mi 22.08.07	Mi 22.08.07
Nachmittag, Überführung zu Hess	1t	Mi 22.08.07	Mi 22.08.07
Nacharbeiten bei Hess	3t	Do 23.08.07	Sa 25.08.07
Nacharbeiten bei Hess	3t	Mo 27.08.07	Mi 29.08.07
Ausstellung 125-Jahr Jubiläum	4t	Do 30.08.07	So 02.09.07
Vorfürhrungen in der Schweiz (SG, ZH, GE, LU etc)	10t	Mo 03.09.07	Mi 12.09.07
Nacharbeiten bei Hess	2t	Mo 03.09.07	Di 04.09.07
Überführung FZ nach SG	1t	Mi 05.09.07	Mi 05.09.07
Vorfürhrungen in SG	1t	Do 06.09.07	Do 06.09.07
Fahrzeug bei Hess für Optimierungen	6t	Fr 07.09.07	Mi 12.09.07
Überführung des Fahrzeuges nach Lux	1t	Do 13.09.07	Do 13.09.07
Weber Luxemburg	7t	Fr 14.09.07	Do 20.09.07
Vorführung in Trier 13:00 - 15:00 Uhr	1t	Do 20.09.07	Do 20.09.07
Überführung und Einsatzvorbereitung Tübingen	1t	Do 20.09.07	Do 20.09.07
Präsentation des FZ im Einsatz (25-Jahr Jubil. Verkehrsbetriebe, Autofreier Sonntag)	3t	Fr 21.09.07	So 23.09.07
Überführung und Einsatzvorbereitung Düsseldorf	1t	Mo 24.09.07	Mo 24.09.07
Testfahrten in Düsseldorf	19t	Di 25.09.07	Sa 13.10.07
Überführung nach Bocksberg	1t	So 14.10.07	So 14.10.07
Bremstests TÜV in Bocksberg	3t	Mo 15.10.07	Mi 17.10.07
Überführung nach Düsseldorf	1t	Do 18.10.07	Do 18.10.07
Testfahrten in Düsseldorf	23t	Fr 19.10.07	Sa 10.11.07
Überführung und Messevorbereitung	1t	So 11.11.07	So 11.11.07
Rail-Tec , Dortmund (14.11. abends Überführung nach Stuttgart)	3t	Mo 12.11.07	Mi 14.11.07
Ausstellung in Stuttgart	2t	Do 15.11.07	Fr 16.11.07
Einsatzvorbereitung St. Gallen	12t	So 18.11.07	Do 29.11.07
Überführung nach St. Gallen	1t	Fr 30.11.07	Fr 30.11.07
Fahrgastbetrieb in St. Gallen	4t	Do 24.01.08	So 27.01.08
Überführung zu Hess	1t?	Mo 28.01.08	Mo 28.01.08
Reserve	3t	Di 29.01.08	Do 31.01.08
Schlussabnahme BAV	1t	Fr 01.02.08	Fr 01.02.08
Überführung nach Jena	2t	Sa 02.02.08	So 03.02.08
Testbetrieb in Jena	12t	Mo 04.02.08	Fr 15.02.08
Überführung nach Oberhausen	2t	Sa 16.02.08	So 17.02.08
Fahrgastbetrieb in Oberhausen	26t	Mo 18.02.08	Fr 14.03.08
Reserve	11t	Sa 15.03.08	Di 25.03.08
Überführung nach Zürich	1t	Mi 26.03.08	Mi 26.03.08
Testbetrieb VBZ Zürich	2t	Do 27.03.08	Fr 28.03.08
Überführung nach Bellach/Genf	2t	Sa 29.03.08	So 30.03.08
VÖV-Tagung Genf	3t	Di 01.04.08	Do 03.04.08
Testbetrieb in Genf	15t	Fr 04.04.08	Fr 18.04.08
Überführung nach Bellach	2t	Sa 19.04.08	So 20.04.08
Interpack Düsseldorf	4t	Do 24.04.08	So 27.04.08
Reserve	12t	Mo 21.04.08	Fr 02.05.08
Überführung nach Milano	2t	Sa 03.05.08	So 04.05.08
Präsentation div. Ital. Verkehrsbetriebe (Milano)	5t	Mo 05.05.08	Fr 09.05.08
Überführung nach Hamburg / ev. Stop in Bellach	7t	Sa 10.05.08	Fr 16.05.08
Fahrgastbetrieb in Hamburg	30t	Sa 17.05.08	So 15.06.08
Drupa Düsseldorf	14t	Do 29.05.08	Mi 11.06.08
Überführung nach Wolfsburg	1t	Mo 16.06.08	Mo 16.06.08
Wolfsburg Testbetrieb	5t	Di 17.06.08	Sa 21.06.08
Überführung nach Enschede, NL	1t	So 22.06.08	So 22.06.08
Testbetrieb in Enschede, NL	5t	Mo 23.06.08	Fr 27.06.08
Diverse Umbauten in Bellach	33t	Mo 28.07.08	Fr 29.08.08
Überführung nach Polen	2t	Sa 30.08.08	So 31.08.08
Testbetrieb in Krakau und div. Städte, Polen	21t	Mo 01.09.08	So 21.09.08
Überführung nach Berlin	2t	Mo 22.09.08	Di 23.09.08
Messe Innotrans, Berlin	6t	Mi 24.09.08	Mo 29.09.08
Testbetrieb in Berlin	7t	Di 30.09.08	Mo 06.10.08
Überführung nach Leipzig	1t?	Di 07.10.08	Di 07.10.08
Testbetrieb in Leipzig	17t	Mi 08.10.08	Fr 24.10.08
Fahrgastbetrieb in Israel und Dubai	92t	Mo 01.12.08	Mo 02.03.09

		Ident.-Nr.
--	--	------------

7 Projekt-Endbericht (formal)

Projektname:		Entwicklung Hybridbus-Generation lighTram3®		
Projektnummer:		<input checked="" type="checkbox"/> 7737	<input type="checkbox"/> keine	PrL:.....HJG.....
Bericht Pflichtenhefteinhaltung / Diverses:				
Zielsetzungen erreicht?		erreicht		
Zielsetzungen noch korrekt?		ja		
Beitrag des Projektes an den gesamtunternehmerischen Zweck		PR, Referenztechnologie → weist in die Zukunft		
Klarheit und Einfachheit der Lösung		Fz.-Leergewicht noch zu schwer		
Strategische Konformität der Lösung		Weist in die korekte Richtung		
Stellen sich Anforderungen an die Schulung der MA		nein		
Konformität zu bestehenden Vorgaben		ja		
Ergebnisse der vollzogenen Phase besondere Probleme		Optimierung Elektrospeicher-Management		
Pendenzen aus er vollzogenen Phase		Je nach Einsatzzweck, andere Energie-		
Vorziehen von Aktivitäten aus nachfolgender Phase		Speichermodule oder höhere Diesel-Generatorleistungen.		
Bericht Termineinhaltung und - situation:		Termin Fertigstellung eingehalten – Fz. auf Testfahrten in ganz Europa und zukünftig ev. auch Israel oder Dubai.		
Bericht Kosteneinhaltung:		Material	Stunden	Honorare UA.
Bewilligtes Budget: CHF: 1'604'355.20	geplant	710'000.-	5880	894'355.-
Aufgelaufene Kosten: CHF: 2'120'465.-	Nachkalk.	609'756.-	7295	894'355.-
	BFE-Anteil	431'571.-		
Prognose Wirtschaftlichkeit/Erfolgsaussichten:		Bis jetzt ist die Reaktion des Marktes auf dieses Grossraum-Fahrzeugkonzept mit Hybridantriebstechnologie sehr positiv. Diverse globale Märkte zeigen auch Interesse daran.		
Massnahmen:		Kostendachüberschreitung von GL HESS freigegeben. Die Treibstoffeinsparung im Bereich von 20 – 30% ist realisiert.		
Massnahmenplan erforderlich?		<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Nein		

Datum / Visum PrL: 28.02.2008 Hans-Jörg Gisler

Entscheid GL/Projektaufsicht: ☒ Projekt beendet

Datum/Unterschrift:

Laufweg: PrL ⇒ GL/Projektaufsicht ⇒ PrL ⇒ b.B. Projektteam

		Ident.-Nr.
--	--	------------

8 Nachkalkulation der Phasen Planung und Montage

Diese wurden wie folgt neu gegliedert:

Projektleiter: Anton Spycher (ANS)

A-Zeit

Datum

Projektaufsicht: Hans-Jörg Gisler (HJG); Alex Naef (ALN)

Projekttitel: lighTram3 Hybrid

Institution: Carrosserie HESS AG

Details zur Zeitplanung für Projekte

Zeitaufwand für die einzelnen Teilaufgaben	Mann-Tage	
Etappe 1: Projekt-Planung		
Teilaufgabe 1: Projektspezifikation	5.00	25.11.2005
Teilaufgabe 2: Terminplanung	2.00	16.12.2005
Teilaufgabe 3: Kostenplanung	3.00	16.12.2005
Etappe 2: Entwicklung & Konstruktion		
Teilaufgabe 1: Entwicklung MZ	60.00	22.12.2006
Teilaufgabe 2: Konstruktion Mechanik Phase 1 - 2	100.00	30.03.2007
Teilaufgabe 3: Entwicklung E-Traktionsantrieb	80.00	22.12.2006
Teilaufgabe 2: Konstruktion E-Traktionsantrieb	120.00	27.04.2007
Etappe 3: Montage Fahrzeug		
Teilaufgabe 1: Chassisanlieferung	100.00	16.02.2007
Rohbau	180.00	20.03.2007
Malerei	30.00	27.03.2007
Endmontage 1	100.00	08.05.2007
Endmontage 2 (nach Teilaufgabe 2)	50.00	26.06.2007
Teilaufgabe 2: Montage E-Traktionsantrieb		12.06.2007
Teilaufgabe 3: Kontrolle; Fahrbereitschaft	70.00	02.07.2007
Teilaufgabe 4: Feldversuche		
Etappe 4: Auswertung der Fahrmessungen		
Teilaufgabe 1: Auswertung Nr. 1	5 ab	30.07.2007
Teilaufgabe 2: Auswertung Nr. 2	5 bis	11.02.2008
Zwischenbericht, Jahresbericht 2006, Zwischenabrechnung	1	31.12.2006
Zwischenbericht, Fortschrittskontrolle 2007, Zwischenabrechnung	1	30.06.2007
Zwischenbericht, Jahresbericht 2007, Zwischenabrechnung	1	31.12.2007
Schlussberichtsentswurf	3	14.02.2008
Schlussbericht, Schlussabrechnung	2	28.02.2008
Total Tage	385.00	
Total Stunden nachkalkuliert	7295.00	
Total Stunden geplant ursprünglich	5880.00	

Abbildung 21 Planung