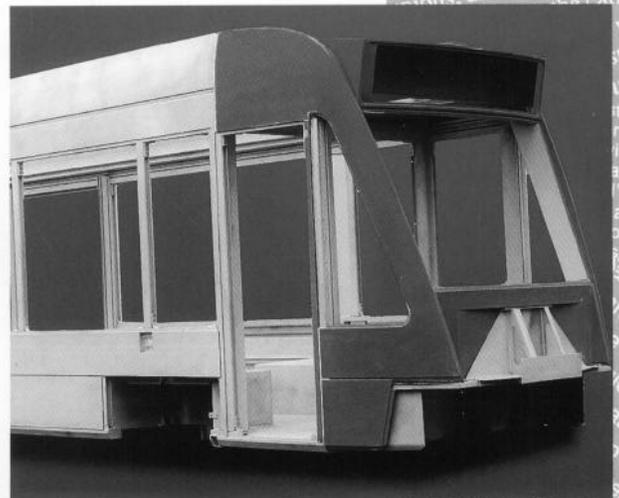
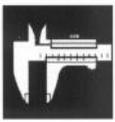


Sonderdruck aus DER NAHVERKEHR, Nr 4/97, Seiten 34-41

Reparaturfreundliche Fahrzeugkonstruktion Überlegungen am Beispiel des Combino

Autor:
Jürgen Schnaas





Dipl.-Ing. Jürgen Schnaas, Düsseldorf

Reparaturfreundliche Fahrzeugkonstruktion

Überlegungen am Beispiel des Combino

Straßen- und Stadtbahnfahrzeuge sind bis vor einigen Jahren fast ausschließlich in Stahlleichtbauweise hergestellt worden. Werkstoffe wie Aluminium oder glasfaserverstärkte Kunststoffe waren in der tragenden Wagenkastenstruktur bis auf wenige Ausnahmen nicht üblich. Der zunehmende Wettbewerb durch europaweite Ausschreibungen - seit Beginn des Jahres 1993 in der Europäischen Union vorgeschrieben -, sowie die Forderungen der Verkehrsbetriebe nach leichteren Fahrzeugen mit deutlich geringeren Lebenszykluskosten (LCC - Life-Cycle-Costs) zwingen die Bahnindustrie, neue Wege bei der Entwicklung künftiger Fahrzeuggenerationen zu beschreiten [1]

Siemens Verkehrstechnik hat gemeinsam mit seinem Düsseldorfer Tochterunternehmen DUEWAG AG mit dem Combino ein modulares und robustes Fahrzeugkonzept nach dem Design-to-cost Prinzip entwickelt. Es wurde Anfang Juli 1996 mit der Präsentation eines entsprechenden Prototyps der Öffentlichkeit vorgestellt (Abb. 1). Sowohl beim Aufbau der tragenden Wagenkastenstruktur als auch beim Montagekonzept wurden innovative Ansätze realisiert [2, 3, 4, 5, 6]

Alternative Materialien und Fügetechniken haben, vor allem wenn sie in der tragenden Wagenkastenstruktur Verwendung finden, häufig Auswirkungen auf die Infrastruktur und die Arbeitsabläufe in den Werkstätten eines Betreibers. Deshalb ist die Konstruk-

tion der Combino-Fahrzeugfamilie mit dem Ziel entwickelt worden, deutliche Vorteile sowohl bei der Herstellung als auch auf den Gebieten der Instandhaltung und Reparatur sowie bei den Life-Cycle-Costs zu schaffen. Dies betrifft im wesentlichen die Bereiche Wagenkastenrohbau, Lackierung / Isolierung, Innenausbau, Kabelverlegung und Fahrwerktechnik / Antriebstechnik.

Der folgende Beitrag beschäftigt sich mit der robusten und reparaturfreundlichen Fahrzeugkonstruktion der Combino-Fahrzeugfamilie und gibt Hinweise für Reparaturmöglichkeiten an der tragenden Wagenkastenstruktur.

Grundsätzliche Überlegungen

Die Herstellung von Straßen- und Stadtbahnen ist häufig in der Konstruktion und Fertigung auf eine kundenspezifische Fahrzeugproduktion abgestimmt. Deshalb müssen vor der Einführung neuer Ideen, Materialien und Produkte die vom Markt gestellten Anforderungen sorgfältig erfaßt und analysiert werden.

In Bezug auf die Wagenkastenreparatur wurden deshalb in Zusammenarbeit mit verschiedenen Verkehrsbetrieben vor Beginn der Konstruktionsarbeiten umfangreiche Untersuchungen im Hinblick auf Unfallhäufigkeiten, Unfallschäden und Beseitigung von



DER AUTOR

Dipl.-Ing. Jürgen Schnaas (32) ist seit Mitte 1994 als Projektleiter in der Entwicklungsabteilung des Bereichs Nahverkehrsfahrzeuge der DUEWAG AG, Düsseldorf, beschäftigt und insbesondere für die Rohbauentwicklung des Combino verantwortlich. Nach dem Studium des Maschinenbaus an der Ruhr-Universität Bochum und an der RWTH Aachen mit Schwerpunkt Schienenfahrzeugtechnik arbeitete er als Ingenieur bei der Siemens Duewag Corp., Sacramento/USA. Von 1990 bis 1994 war er als Entwicklungsingenieur und Projektleiter Schienenfahrzeuge bei der VAW aluminium AG, Bonn, tätig.

Unfallschäden durchgeführt. Aufbauend auf den Untersuchungsergebnissen und Diskussionen mit Verkehrsbetrieben hinsichtlich alternativer Werkstoffe und Fügetechniken ist die jetzige Fahrzeugfamilie entwickelt worden.

Die einzelnen Schritte, die zur reparaturfreundlichen Konstruktion des Combino geführt haben, sind:

- Analyse von Unfallschäden an Straßen- und Stadtbahnfahrzeugen, die ausschließlich bzw. überwiegend am Straßenverkehr teilnehmen.
- Analyse der Beseitigung von Unfallschäden an Fahrzeugen, die bei DUEWAG instandgesetzt wurden.
- Analyse möglicher Schwierigkeiten, die ein Verkehrsbetrieb mit neuen Wagenkastenwerkstoffen haben könnte.
- Umsetzung der Untersuchungsergebnisse bei der Konstruktion des Fahrzeuges.
- Entwicklung eines Reparaturkonzeptes.

Die konsequente Umsetzung dieses Reparaturkonzeptes beispielsweise in Form eines Handbuches sowie weitere, über die Lieferung der Fahrzeuge hinausgehende Serviceleistungen werden zukünftige Aufgaben sein.

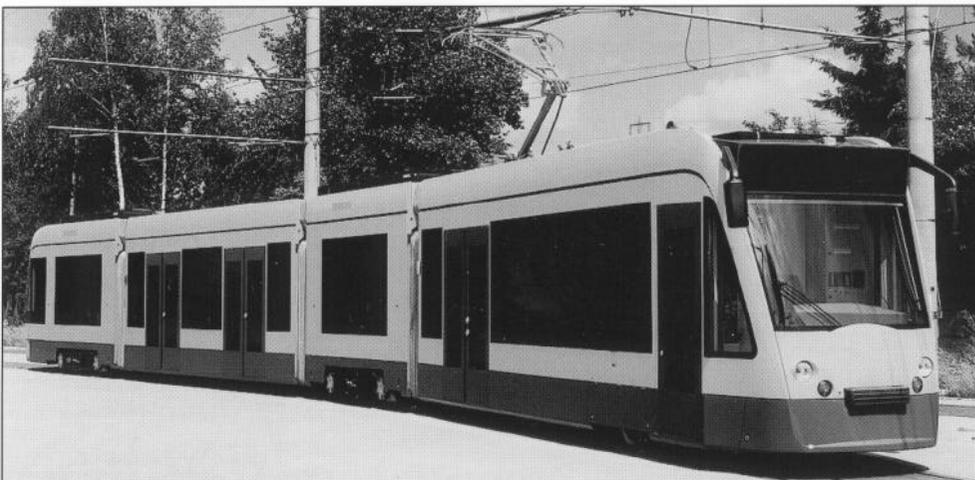
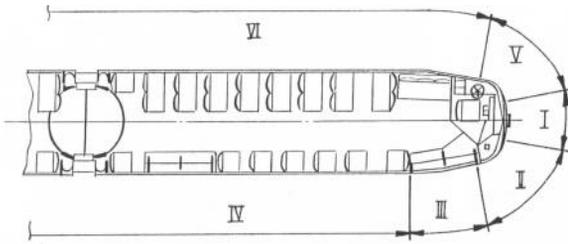


Abb. 1: Prototypfahrzeug Combino

(Foto: Siemens Verkehrstechnik)



Zone	Benennung	Lackschäden	Strukturschäden
Zone I	Bugbereich, mittig	14 (3,0%)	56 (12,2%)
Zone II	Bugbereich, rechts	91 (19,8%)	191 (41,5%)
Zone III	Türbereich, rechts *)	102 (22,2%)	60 (13,0%)
Zone IV	Seitenwand, rechts	31 (6,7%)	16 (3,5%)
Zone V	Bugbereich, links	22 (4,8%)	81 (17,6%)
Zone VI	Seitenwand, links	15 (3,3%)	26 (5,7%)
---	Gelenkbereich	---	3 (<1,0%)

*) inklusive Beschädigungen am Türblatt

Abb. 2: Prozentuale Verteilung der Schäden an Straßenbahnen nach Unfällen (Mehrfachnennungen möglich) (Zeichnung: DUEWAG AG)

Reparaturen an in konventioneller Stahl-Differentialbauweise hergestellten Straßen- und Stadtbahnfahrzeugen durchgeführt. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn Instandsetzungsarbeiten an der tragenden Wagenkastenstruktur, z. B. nach einer Kollision mit einem schweren LKW oder mit anderen Straßen- und Stadtbahnen, notwendig sind. Neben den klassischen Hochflurfahrzeugen – Stadtbahnwagen vom Typ B oder Typ U2 sowie MIN-Wagen – werden zunehmend auch Fahrzeuge mit niedrigen Bodenhöhen am Standort Düsseldorf repariert. Die bei diesen Instandsetzungsarbeiten gesammelten Erfahrungen fließen in die Konstruktion nachfolgender Fahrzeuggenerationen, so auch beim Combino, ein.

Eine Analyse des Aufwandes für die Instandsetzung des waggonbaulichen Teils ergab die in Abbildung 3 dargestellten, über die Anzahl der betrachteten Fahrzeuge gemittelten prozentualen Verteilungen. Arbeiten an den Fahrwerken sowie Austausch von E-Geräten oder Verkabelung wurden nicht berücksichtigt. Die Art des Unfalls – z. B. Frontalzusammenstoß zweier Fahrzeuge, außermittige Kollision mit einem LKW oder Flankenfahrt – konnte bei der Verteilung des Instandsetzungsaufwandes vernachlässigt werden.

Auffallend ist, daß sowohl bei den Niederflurstraßenbahnen als auch bei den Stadtbahnwagen der Anteil der Rohbauarbeiten inklusive der notwendigen Einzelteilanfertigung bei nur etwa 21% des Aufwandes liegt. Knapp die Hälfte (44% bzw. 47%) der Kosten werden durch Demontage, ggf. Austausch und Remontage des Innenausbaus, 13 bis 19% für Neulackierung der Außenhaut und Erneuerung der Isolierung verursacht. Kleinere sonstige Ausbesserungs- und Reinigungskosten nach erfolgter Reparatur sind unfallun-

Analyse von Straßenbahnunfällen

Straßenbahnen, die ausschließlich oder überwiegend am öffentlichen Straßenverkehr teilnehmen, sind häufiger in Unfälle verwickelt als Stadtbahnen. Die Untersuchung eines deutschen Verkehrsbetriebes veranschaulicht die Unfallhäufigkeiten und Schadensbereiche sowie die Schadensbilder. Bei den betrachteten Fahrzeugen handelt es sich um sechs- und achtsichtige Straßenbahnwagen, die in den Jahren 1955 bis 1975 beschafft und als Einrichtungsfahrzeuge ausschließlich im oberirdischen Betrieb eingesetzt wurden.

Die wesentlichen Schadenszonen liegen im Bereich der Fahrzeugfronten; Beschädigungen im Seitenwandbereich sind eher selten (Abb. 2). Der Untersuchung zufolge waren in etwa 28% der beobachteten Fälle ausschließlich Lackschäden auszubessern. In knapp 72% der Fälle war die Beblechung im Kopfbereich beschädigt und mußte ausgetauscht und gerichtet, bei größeren Deformationen ausgetauscht werden. Darüber hinaus waren in ca. 9% der Unfälle zusätzlich die unteren Seitenwandbereiche, in etwa 13% der Fälle die vorderen Tür- bzw. Ecksäulen oder die festen Trittstufen eingedrückt. Schäden am Kupplungs- bzw. Kopfträger oder im Gelenkbereich waren die Ausnahme (insgesamt nur etwa 2%). Diese Erfahrungen decken sich mit weiteren hausinternen Untersuchungen sowie mit Angaben aus [7].

Die Analyse der seitenspezifischen Schadensverteilung zeigt deutlich, daß im Kopfbereich (ohne vordere Türe) in rund 62% aller Unfälle Beschädigungen auf der in Fahrtrichtung rechten Seite und in nur etwa 22% aller Fälle auf der linken Fahrzeugseite auftraten. Unter Berücksichtigung der Beschädigungen im Türbereich ist festzustellen, daß Straßenbahnen in den meisten Fällen im

Kopfbereich der rechten Fahrzeugseite mit dem Unfallgegner kollidieren.

Ein Vergleich des Schadensausmaßes nach Kollisionen von Fahrzeugen in konventioneller Stahlbauweise und Aluminium-Integralbauweise führt das unterschiedliche Verformungsverhalten der beiden Werkstoffe vor Augen: Während das Aluminiumfahrzeug einen deutlich kleineren, aber stärker deformierten Bereich aufweist, ist beim Stahlfahrzeug ein größerer Bereich bei entsprechend geringeren Deformationen vorzufinden [7, 8, 9, 10, 11]. Hierdurch wird die Lokalisierung des Schadens bei Aluminiumfahrzeugen wesentlich vereinfacht.

Aufwandsanalyse bei der Instandsetzung von Schäden

Seit mehreren Jahrzehnten werden bei DUEWAG im Auftrag der Verkehrsbetriebe

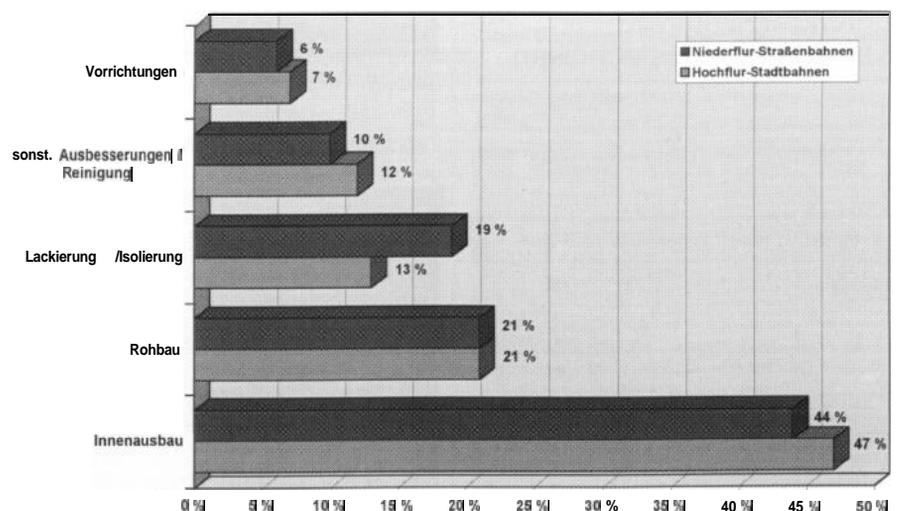
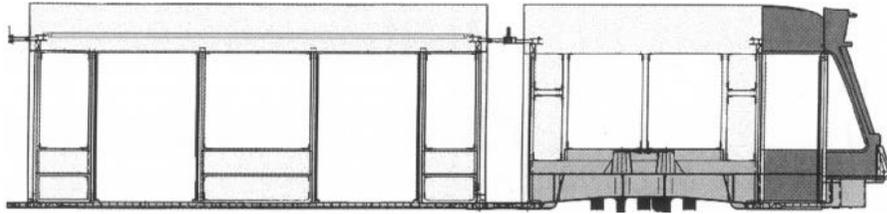


Abb. 3: Verteilung des Instandsetzungsaufwandes bei hochflurigen Stadtbahnwagen und niederflurigen Straßenbahnwagen (Zeichnung: DUEWAG AG)



- Aluminium-Untergestell, geschweißt
- Aluminium-Seitenwände, geschraubt
- Aluminium-Sandwichdach, geklebt
- GfK-Sandwichkopf, geklebt
- Stahlteile, genietet

Abb. 4: Prinzipieller Aufbau der tragenden Wagenkastenstruktur des Prototypfahrzeugs Combino (Zeichnung: DUEWAG AG)

abhängige Kosten, deren prozentualer Anteil je nach Gesamtschadenshöhe deutlich schwankt.

Die vorgenannten Daten wurden an Fahrzeugen ermittelt, die in konventioneller Stahlbauweise bei DUEWAG hergestellt wurden. Abgesehen von den U-Bahn-Fahrzeugen wurde in Deutschland bis vor einigen Jahren bei modernen, in Serie hergestellten Fahrzeugen für den städtischen Nahverkehr ausschließlich Stahl oder Edelstahl für die tragende Wagenkastenstruktur verwendet. Der von DUEWAG gebaute Stadtbahnwagen B80D (Alu) für die Rheinische Bahngesellschaft AG, Düsseldorf, stellt eine Ausnahme dar [9].

Die gesammelten Daten sind auf Straßen- und Stadtbahnfahrzeuge in Aluminium übertragbar; vor allem aus dem Bereich der Vollbahnen liegen hierzu ausführliche Informationen vor. Sie zeigen, daß der Aufwand für Rohbau-Reparaturen an konventionellen Stahlfahrzeugen und Fahrzeugen aus Aluminium annähernd gleich ist [7, 12, 13, 14, 15].

Einführung alternativer Werkstoffe und Fügeverfahren

Alternative Werkstoffe und Fügeverfahren können, vor allem wenn sie in der tragenden Wagenkastenstruktur Verwendung finden, Auswirkungen auf die Infrastruktur eines Betreibers sowie dessen Arbeitsabläufe bei der Instandhaltung bzw. Instandsetzung haben. Deshalb wurde anhand einer detaillierten Literaturrecherche sowie mit Hilfe von Gesprächen mit Verkehrsbetrieben festgestellt, wo mögliche Schwierigkeiten bei der Verwendung alternativer Werkstoffe – insbesondere Aluminium – liegen können. Die genannten Punkte betrafen vor allem die Bereiche:

- Lagerhaltung / Lieferzeiten von Spezialprofilen,
- Investitionen für neue aluminiumspezifische Arbeitsgeräte (Schweißgeräte) sowie

die Umschulung eines Teils des Werkstatt Personals,

- Reparaturen, Warm- bzw. Kaltrichtern (Ausbeulen kleiner Schäden),
- Korrosionsschutz,
- Schweißen (Verzug, Vorrichtungen, Festigkeitsverluste).

Eine große Hilfe bei der Einordnung der potentiellen Problempunkte bot das vorhandene Know-how der DUEWAG in Krefeld-Uerdingen aufgrund jahrzehntelanger Verarbeitung von Aluminium und Auswertung von Rückmeldungen in- und ausländischer Betreiber von Schienenfahrzeugen in Aluminium-Integralbauweise. Es ist festzustellen daß sich die meisten der vermeintlichen Pro

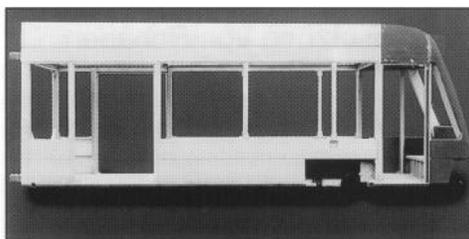


Abb. 5: Wagenkastenrohbau eines Mittelmoduls mit einachsigen Fahrwerkmodul und Kopfmodul (Fotos: Siemens Verkehrstechnik)

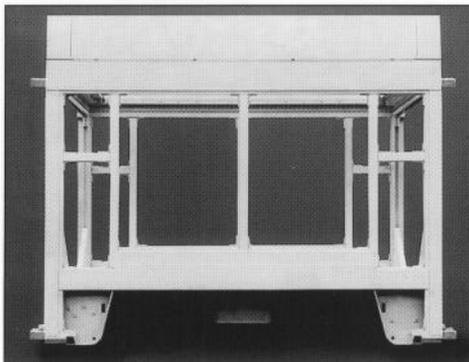


Abb. 6: Wagenkastenrohbau eines zweiachsigen Fahrwerkmoduls

bleme durch Berücksichtigung der material-spezifischen Eigenschaften und einer materialgerechten Konstruktion leicht lösen lassen. Eine gute und im Vergleich zu Stahlfahrzeugen mindestens kostenneutrale Reparatur ist ebenfalls möglich – zahlreiche Veröffentlichungen belegen dies [7, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18].

Die Problembereiche, die nicht oder nur unwesentlich mit konstruktiven Mitteln beeinflussbar sind, können mit einem aktiv geführten Reparaturmanagement gelöst werden.

Bei den Fügeverfahren hat sich das Schmelzschweißen im Waggonbau auch bei Aluminiumfahrzeugen seit vielen Jahrzehnten etabliert und durchgesetzt. Es wird im Reparaturfall auch von den Werkstätten der Verkehrsbetriebe sehr gut beherrscht [9,10]. Darüber hinaus sind in den vergangenen Jahren alternative Fügeverfahren weiterentwickelt worden. So ist z. B. das Einkleben von Fensterscheiben in die Wagenkastenstruktur – hier hat DUEWAG bei Straßenbahnen eine Vorreiterrolle gespielt – seit Ende der 80er Jahre im Straßen- und Stadtbahnwagenbau Stand der Technik; dies gilt insbesondere für statisch mittragende Scheiben. Schraub- und Nietverbindungen werden vor allem in hochbelasteten Bereichen wie z. B. der Verbindung von Wagenkasten zu Fahrwerk eingesetzt. Es gilt also, diese bekannten und bewährten Fügeverfahren, mit denen auch die Verkehrsbetriebe bereits vertraut sind, auf neue Anwendungsbereiche sicher zu übertragen.

Konstruktive Umsetzung

Die konsequente Berücksichtigung der Analysen hinsichtlich Schadenszonen bei Unfällen und der Beseitigung von Unfallschäden sowie die Diskussionen mit den Verkehrsbetrieben führten zu der in Abbildung 4 dargestellten tragenden Wagenkastenkonstruktion des Prototypfahrzeugs Combino.

Die Wagenkästen (Abb. 5, 6) bestehen aus einer im Bodenbereich geschweißten und im Aufbaubereich geschraubten Aluminiumkonstruktion; das Dach wird durch eine Sandwichplatte gebildet. Die auf die geschweißte Bodenkonstruktion aufgesetzten Fahrzeugköpfe sind aus einem glasfaserverstärkten Kunststoff-Hartschaum-Sandwich hergestellt. Eine detaillierte Beschreibung der tragenden Wagenkastenstrukturen der einzelnen Module ist in [5,6] nachzulesen.

Die wesentlichen Konstruktionsmerkmale der werkstoffgerechten und damit montage-, instandhaltungs- und reparaturfreundlichen Konstruktion des Gesamtfahrzeuges beim Combino sind:

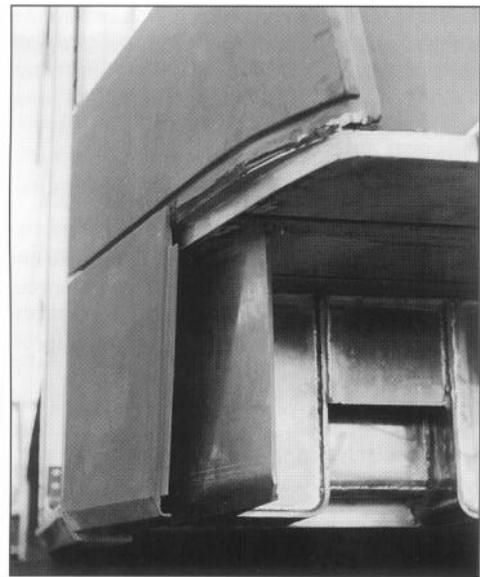
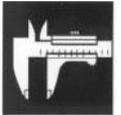


Abb. 7: Gegenüber dem GfK-Kopf „zurückgesetztes“ Aluminium-Untergestell zum Schutz vor Beschädigungen bei leichten Kollisionen (Foto: DUEWAG AG)

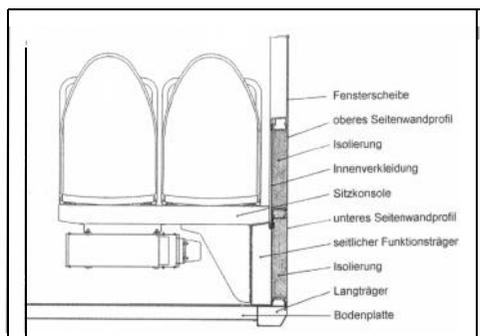


Abb. 8: Schnitt durch den unteren Seitenwandbereich des Mittelmoduls (Zeichnung: DUEWAG AG)

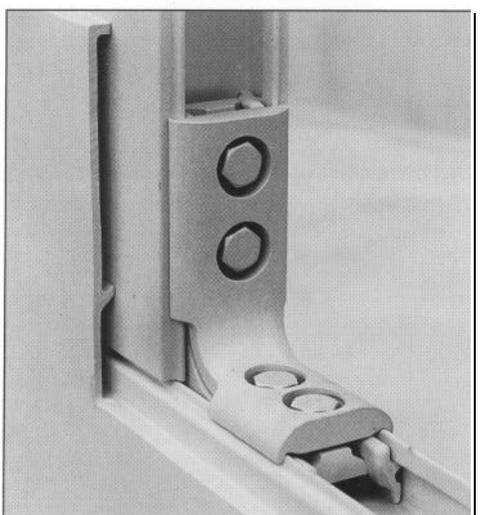


Abb. 9: Schraubset „Alugrip“ in der Seitenwand des zweiachsigen Fahrwerkmoduls (Foto: Siemens Verkehrstechnik)

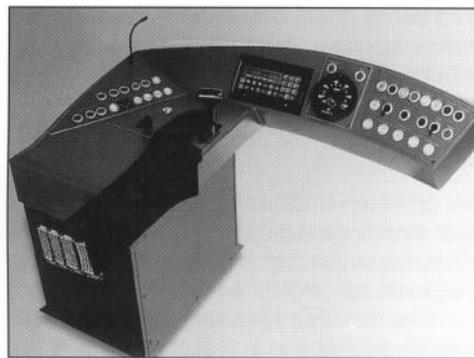


Abb. 10: Fahrerstand mit freistehendem Armaturenpult (unten) sowie Armaturenpult mit Unterschrank vor dem Einbau ins Fahrzeug (oben) (Fotos: Siemens Verkehrstechnik)

Verwendung von Aluminiumlegierungen, die im Schienenfahrzeugbau üblich sind und hervorragende Werkstoffeigenschaften wie Bearbeitbarkeit und Schweißbarkeit mit sehr gutem Verhalten gegen Korrosion vereinigen.

Verwendung von jederzeit verfügbaren (Standard-)Aluminium-Halbzeugen vor allem in den beschädigungskritischen Bereichen des Kopfes (Untergestell) – dies gilt insbesondere für die verwendeten Aluminiumprofile.

Verwendung hoher (bis ca. 700 mm über S.O.), leicht demontierbarer Schürzen im Seitenwandbereich der Fahrwerkmodule bei gleichzeitigem Verzicht auf durchgehende, unten liegende Langträger, so daß Schäden an der Struktur bei leichten Kollisionen weitestgehend vermieden werden können (Abb. 6).

Zurückgesetztes Untergestell im Kopfbereich zum Schutz vor Beschädigungen bei leichteren Kollisionen (Abb. 7).

Einsatz von schnell und leicht austauschbaren (GfK-)Schürzen im Kopfbereich.

Verwendung von „offenen“ Aluminiumprofilen im Seitenwandbereich der Mittelmodule, die ein Ausbeulen bei leichten Beschädigungen ermöglichen (Abb. 8).

Verwendung der bewährten Fügetechniken Schweißen, Schrauben, Nieten und Kle-

ben kombiniert mit einem standardisierten Fügeelement im Aufbaubereich (Schraubset Alugrip, Abb. 9).

Verwendung eines geschraubten Wagenkastenaufbaus; hierdurch Nutzung aller Vorteile, die eine geschraubte Seitenwand sowohl bei der Montage als auch im Reparaturfall mit sich bringt.

Einfache Zugänglichkeit zur beschädigten Struktur im Kopfbereich durch den Einsatz einbaufertiger und freistehender Baugruppen wie Fahrerpult oder Geschränk für E-Geräte (kein Hindurchgreifen durch das Fahrerraumgeschränk, keine Anpaßarbeiten) – dadurch auch sehr schnelle Demontage und Montage der gesamten Elektrik im Kopfbereich (Abb. 10).

Einfache Zugänglichkeit zu den beschädigten Bereichen in der Seitenwand durch die Verwendung eines leicht demontierbaren seitlichen Funktionsträgers, an dem wichtige Innenaussteile wie Sitze und Heizungen angeschraubt sind (Abb. 11).

Verwendung eines bewährten Lackaufbaus inklusive der dafür notwendigen, üblichen Oberflächenvorbereitungen [19].

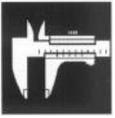
Berücksichtigung aller gängigen konstruktiven Maßnahmen für einen ausreichenden Schutz gegen Korrosion wie z. B. Vermeidung von Mikroklimazonen, Verwendung großzügiger Kantenradien sowie Verwendung geeigneter Materialpaarungen bei Schraub- und Nietverbindungen.

Reparaturmöglichkeiten

Die einen Unfallschaden bestimmenden Parameter (Geschwindigkeit, Aufprallrichtung, elastisch bzw. plastisch vernichtete Stoßenergie, Art des Unfallgegners, etc.) sind derart vielfältig und unterschiedlich, daß kein allgemeingültiges Rezept zur Fahrzeugreparatur vorgelegt werden kann. Bei größeren



Abb. 11: Fahrgastraum des Combino im Mittelmodul (Foto: Siemens Verkehrstechnik)



Schäden müssen Verkehrsbetrieb und Fahrzeughersteller gemeinsam festlegen, wie das Fahrzeug wieder instandzusetzen ist. Je nach Art, Größe und Ort der Beschädigung kann die tragende Wagenkastenstruktur für die Reparatur in drei unterschiedliche Bereiche eingeteilt werden [20]:

Bereich 1: Beschädigungen sind vom Verkehrsbetrieb uneingeschränkt instandsetzbar.

Bereich 2: Bei größeren Beschädigungen sollte vor der Instandsetzung mit dem Fahrzeughersteller Kontakt aufgenommen werden.

Bereich 3: Bei Beschädigungen ist grundsätzlich der Fahrzeughersteller zu kontaktieren.

Kopfbereich

Durch den Einsatz von Schürzen in den kritischsten Bereichen des Fahrzeugkopfes

wird bei leichten Zusammenstößen die dahinterliegende Wagenkastenstruktur geschützt. Die angeschraubten Schürzen können schnell ausgetauscht werden, so daß die Instandsetzung nicht am Fahrzeug stattfindet.

Bei größeren Unfällen kann der beschädigte, aus einem glasfaserverstärkten Kunststoff-Hartschaum-Sandwich hergestellte Fahrzeugkopf mit einfachen Mitteln instandgesetzt werden. Wie bei der Aluminiumstruktur werden die Reparaturmaßnahmen nach Art, Größe und Ort des Schadens bestimmt: die Reparaturmethoden sind hinreichend bekannt. An dieser Stelle sollen deshalb nur die wichtigsten Schritte einer werkstoffgerechten Reparatur anhand eines mittelgroßen Schadens nach einer Kollision (lokaler Laminatbruch, Abb. 12a|12b) noch einmal genannt werden:

1. den Schadensbereich durch Entfernung der Lackierung abgrenzen,

2. den beschädigten Bereich heraustrennen bis gesundes Material zum Vorschein kommt (Abb. 12c),

3. die Laminat- bzw. Schaumschichten stufenweise ausschleifen (Abb. 12d)|

4. ein Hilfsnegativ an einem intakten Bauteil - z. B. am anderen Kopf - herstellen,

5. das Hilfsnegativ an den beschädigten Bereich ansetzen,

6. die Außenhaut laminieren (Abb. 12e)|

7. die äußere Schaumlage nach dem Aushärten der Außenhaut einpassen und verkleben (Abb. 12f),

8. die Zwischenlage laminieren,

9. je nach Sandwichtaufbau die Schritte 7 und 8 wiederholen,

10. die Innenhaut laminieren (Abb. 12g)|

11. das Hilfsnegativ entfernen (Abb. 12h)|

12. die Außenhaut glätten und lackieren (Abb. 12i)|

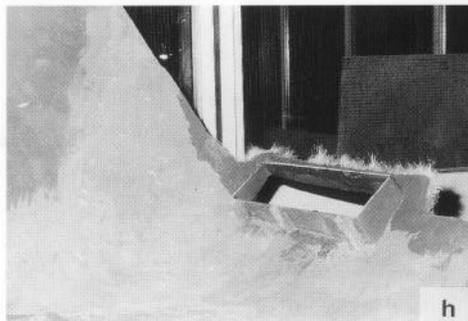
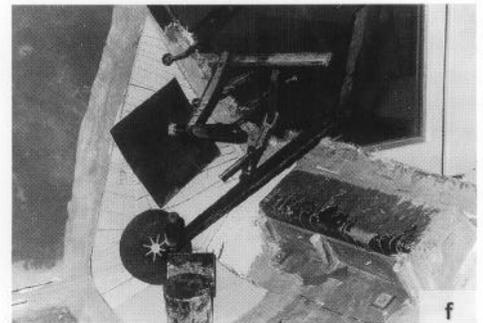
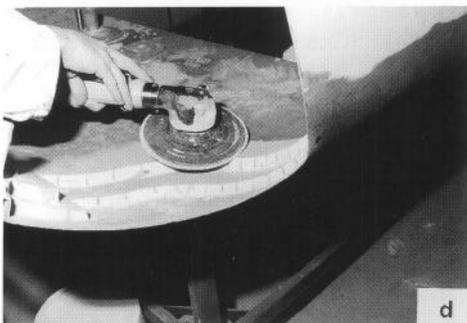
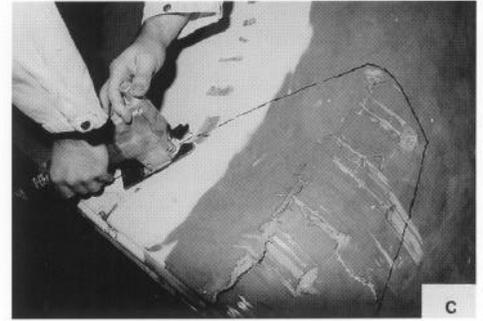
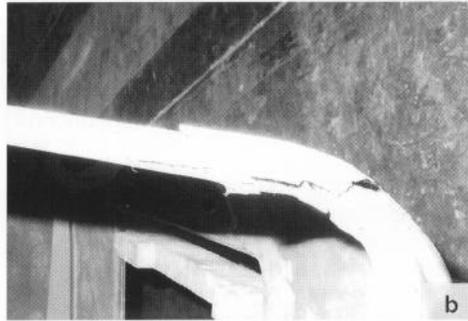
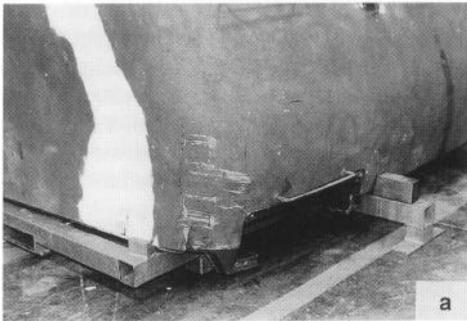
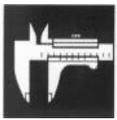


Abb. 12: Prinzipielle Vorgehensweise zur werkstoffgerechten Reparatur eines beschädigten Fahrzeugkopfes aus einem glasfaserverstärkten Kunststoff-Hartschaum-Sandwich (Fotos: Aluisse AIREX Composites)



Um eine optimale Zugänglichkeit der beschädigten Stelle zu ermöglichen, können die im Fahrerstand montierten Komponenten wie E-Schrank, Fahrerpult und Fahrersitz schnell ausgebaut und nach erfolgter Reparatur wieder eingebaut werden.

Sollte es bei sehr großen Beschädigungen erforderlich sein, den GfK-Kopf auszutauschen, kann dieser komplett an den dafür vorgesehenen Anhebeösen von der Aluminiumstruktur abgehoben werden. Der neue Kopf kann anschließend, falls keine Arbeiten am Untergestell auszuführen sind, nach der Vorbehandlung der Klebestellen sofort wieder auf die Aluminiumstruktur geklebt werden.

Seitenwandbereich

Leichte Beschädigungen wie Kratzer und lokale Beulen sind, ggf. nach dem Freilegen der Fahrzeuginnenseite, durch übliche Karosseriearbeiten (Richten, Ausbeulen und Verspachteln) einfach zu beseitigen. Selbstverständlich sind die aluminiumspezifischen Materialeigenschaften zu berücksichtigen – dies gilt insbesondere für das Warmrichten [21].

Bei größeren Beschädigungen, z. B. bei einer aufgeschlitzten Seitenwand mit eingedrückten Säulen (Abb. 13) sind die entsprechenden Profile auszutauschen. Hierzu werden nach dem Ausbau der jeweiligen Bereiche der Inneneinrichtung die betreffenden Schraubecken gelöst und die deformierten Profile herausgenommen. Anschließend können die neuen Profile eingesetzt und verschraubt werden (Abb. 14). Nach dem Verfugen und dem Einbau der Inneneinrichtung ist das Fahrzeug wieder fahrbereit. Diese Vorgehensweise ist bei zahlreichen Stadt- und Überlandbussen, die mit dem Schraubsystem M5438 von Alusuisse oder dem CO-BOLT-Schraubsystem vom Schweizer Bushersteller Carrosserie HESS AG, Belach, aufgebaut wurden, erfolgreich angewendet worden [22].

Durch die Verwendung der Schraubtechnik an den unfallgefährdeten Stellen des Aluminium-Aufbaus ergeben sich viele Vorteile, die eine Reparatur im Vergleich zur Schweißtechnik deutlich vereinfachen und kostengünstiger werden lassen können:

- kein Schweißverzug wegen kalter Füge-techniken,
- keine Schweißvorrichtungen,
- keine aufwendigen Schweißnahtvorbereitungen,
- keine Schweißnahtprüfungen,
- kein nachträgliches Richten und Spachteln,
- Einsatz von geringer qualifiziertem Personal möglich,

- maximale Ausnutzung der Materialeigenschaften (z. B. Festigkeit),
- Einbau vorlackierter Profile möglich,
- kürzere Wagenstillstandszeiten.

Untergestellbereich

In den beschädigungskritischen Bereichen ist die geschweißte Aluminiumkonstruktion im wesentlichen aus Standardprofilen und -blechen hergestellt und demnach unter Berücksichtigung der aluminiumspezifischen Materialeigenschaften leicht und schnell zu reparieren. Grundsätzliche Verarbeitungsrichtlinien und Hinweise können den Merkblätter der Aluminiumindustrie und den DIN-Normen und DVS-Merkblättern entnommen werden.

Da die Reparatur von geschweißten Profilkonstruktionen mittlerweile auch im Schienenfahrzeugbau Stand der Technik ist, soll an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen werden. Die wichtigsten Aspekte und Reparaturprinzipien sind in [20] erläutert und dargestellt.

Reparaturstrategien

Im Hinblick auf die Weiterentwicklung der Fahrzeugkonstruktion und des Instandsetzungskonzepts ist ein Rückfluß der gesammelten Erfahrungen vom Verkehrsbetrieb zum Fahrzeughersteller sehr wichtig [18, 23]. Das gemeinsame Ziel von Verkehrsbetrieb und Hersteller sollte deshalb eine umfassende Sammlung reparaturrelevanter Informationen sein, die bei nachfolgenden Fahrzeugserien ihre Berücksichtigung finden und somit deren Erfolg nachhaltig positiv beeinflussen.

Eine weitergehende, individuelle Unterstützung auf dem Gebiet der Instandsetzung von Fahrzeugen kann mit dem jeweiligen Verkehrsbetrieb vereinbart werden. Zu den Leistungen aus diesem Zusatzpaket eines aktiven Reparaturmanagements zählen unter anderem:

- die Durchführung von Ersts Schulungen des Werkstattpersonals im Hinblick auf die Verarbeitung von Aluminium – insbesondere Schweißen,
- die regelmäßige Durchführung von Auffrischkursen,
- die Durchführung von (großen) Reparaturen in den Werkstätten des jeweiligen Verkehrsbetriebes oder bei DUEWAG,
- die Unterstützung bei Reparaturen durch speziell ausgebildete Instandsetzungstrupps (*Bereitschaftstrupp*),
- die Durchführung aller Service- und Reparaturtätigkeiten (*DBM-Verfahren - Design, Build and Maintain*) [24].
- das Aufbewahren von standardisiertem, d. h. von den jeweiligen Verkehrsbetrieben unabhängigem Reservematerial in einem Zentrallager [25].

Die Standardisierung der wesentlichen Baugruppen (Wagenkastenrohbau, Fahrwerke, Gerätecontainer) ermöglicht die Einlagerung der Ersatzteile in einem zentral geführten Lager, da diese dann für einen Pool von Verkehrsbetrieben vorgehalten werden können. Darüber hinaus sind unter Umständen weitere Einsparungen bei einer zentralen Beschaffung von Ersatzteilen – insbesondere bei Aluminium-Strangpreßprofilen – zu erzielen, weil Mindermengenzuschläge, Sondertransportkosten, usw. aufgrund der Materialmenge wegfallen können.



Abb. 13: Beschädigte Seitenwand eines Busses mit geschraubtem Aluminium-Aufbau, System CO-BOLT (Foto: Carrosserie HESS AG)

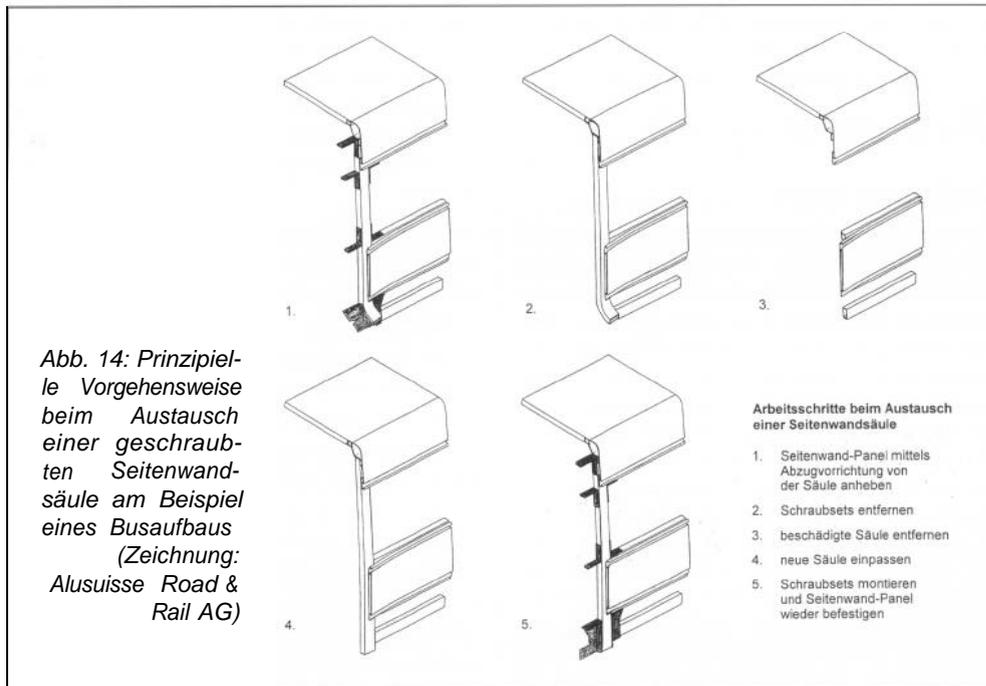


Abb. 14: Prinzipielle Vorgehensweise beim Austausch einer geschraubten Seitenwand säule am Beispiel eines Busaufbaus (Zeichnung: Aluisse Road & Rail AG)

Zusammenfassung

Die Weichen für die Entwicklung eines reparaturfreundlichen Fahrzeuges werden lange vor Beginn der Konstruktionsarbeiten an der tragenden Wagenkastenstruktur gestellt. Wichtigstes Instrument bei der Konzeptfindung sind umfangreiche Untersuchungen im Hinblick auf Unfallhäufigkeiten, Unfallschäden und Beseitigung von Unfallschäden. Auf dieser Basis und daran anschließenden Diskussionen mit Verkehrsbetrieben hinsichtlich alternativer Werkstoffe und Fügetechniken ist die jetzige Wagenkastenkonstruktion der Combino-Fahrzeugfamilie entwickelt worden. Die allgemeinen Ausführungen sowie die Reparaturhinweise zeigen, daß es möglich ist, den Combino unter Berücksichtigung der werkstoffspezifischen Eigenschaften schnell, sicher und kostengünstig instanzzusetzen.

Literatur

[1] Müller-Hellmann, A.: Von der Pferdebahn zur Niederflurstraßenbahn und Stadtbahn; in: Busse + Bahnen, Mobilität für Menschen und Güter, 1895-1995; Alba-Verlag Düsseldorf (1995) Seite 125-146

- [2] Feldhusen, J.: Combino - Kundennutzen durch DEH sign-to-tost; ZEV+DET Glasers Annalen 121 (1997) 2-3, Seite 181-186
- [3] Kortemeyer, A.; Osterhus, W.: Siemens kommt mit dem COMBINO; DER NAHVERKEHR (1995) 10| Seite 79-82
- [4] Kortemeyer, A.; Osterhus, W.: Mit Combino in die Zukunft; Nahverkehrspraxis (1996) 6, Seite 14-19
- [5] Schnaas, J., Meier, U.: Innovatives Rohbaukonzept für ein modulares Straßenbahnfahrzeug; DER NAHVERKEHR (1996) 6, Seite 48-53
- [6] Schnaas, J.: Aluminium-Wagenkästen für das modulare Konzept der Niederflur-Straßenbahn Combino; ALUMINIUM 73 (1997) 4, Seite 241-245
- [7] Lengenfeld, H.: Technisch-wirtschaftlicher Vergleich von Straßenbahnbauweisen in Stahl und Aluminium in Bezug auf Reparatur nach Unfällen; Diplomarbeit FH Nürnberg (1996), unveröffentlicht
- [8] Bayer, O.: Erfahrungen bei der Instandhaltung und Schadensbeseitigung an Nahverkehrswagen in Stahlleichtbauweise; ZEV-Glasers Annalen 111 (1987) 3, Seite 74-83
- [9] Schöber, J.: Aluminium-Stadtbahnwagen für Düsseldorf - Konstruktion und Bewährung; in: Aluminium-Schienenfahrzeuge - Entwicklungen, Technologien, Projekte; Hestra-Verlag Darmstadt (1992) Seite 149-153
- [10] Lehotzky, P.: Langzeit-Betriebserfahrungen mit dem Aluminium-Fahrzeugen der U-Bahn in Wien; in: Aluminium-schienenfahrzeuge - Entwicklungen, Technologien, Projekte; Hestra-Verlag Darmstadt (1992) Seite 145-148

- [11] Fischer, H., Schraut, R.: Dieseltriebzüge BM/BS 92 - Ihre Konstruktion und Bewahrung unter extremen klimatischen Bedingungen; in: Aluminium-Schienenfahrzeuge - Entwicklungen, Technologien, Projekte; Hestra-Verlag Darmstadt (1992), Seite 86-92
- [12] Bott, H.: Erfahrungen in der Unterhaltung von Nahverkehrswagen aus Aluminium; Leichtbau der Verkehrsfahrzeuge 21 (1977) 4-5, Seite 91
- [13] Große, W.: Erfahrungen bei der Unterhaltung und Reparatur von Aluminium-Fahrzeugen neuer Bauart; Leichtbau der Verkehrsfahrzeuge 21 (1977) 4-5, Seite 92-94
- [14] Schott: Die S-Bahn-Triebzüge 420 der DB nach 10| jähriger Einsatzzeit; Vortrag auf dem Symposium „Konstruktion und Instandhaltung von Aluminium-Schienenfahrzeugen für den Personenverkehr“; Zusammenfassung in ZEV-Glasers Annalen 106 (1982) 10| Seite 373-374
- [15] Schuhholz, E.: Instandsetzung schwerbeschädigter Aluminium-Triebwagen; Schweizer Aluminium Rundschau (1983) 1, Seite 13-16
- [16] Montadert, J.: Instandsetzung eines Unfallwagens aus Aluminium der R.A.T.P. in Paris; ZEV-Glasers Annalen 111 (1987) 9, Seite 294-297
- [17] Hassel, H.: Neue und grundsätzliche Erkenntnisse bei der Konstruktion und Fertigung von Schienenfahrzeugen für den Personenverkehr in Aluminium-Bauweise; ZEV-Glasers Annalen 111 (1987) 3, Seite 87-90
- [18] Weiss, T.: Von Pneuwagen zum Intercity 2000 - Leichte Wagen für schnelle Züge auf Schweizer Bahnen; in: Aluminium-Schienenfahrzeuge - Entwicklungen, Technologien, Projekte; Hestra-Verlag Darmstadt (1992), Seite 53-55
- [19] N.N.: Abschlußbericht des ICE-Projektbegleiteams; Herausgeber: Aluminium-Zentrale e.V., Düsseldorf, Juli 1988
- [20] Bönsch, M.: Schienenfahrzeuge in Aluminium-Integralbauweise - Hinweise für eine werkstoffgerechte Reparaturinstandhaltung; Eisenbahntechnische Rundschau 42 (1993) 10, Seite 633-640
- [21] Damschen, K.: Audi Space Frame - Reparatur von Aluminium-Karosserien; Fahrzeug + Karosserie (1994) 1, Seite 16-18
- [22] N.N.: Informationsunterlagen der Fa. Carrosserie HESS AG, Bellach
- [23] Cabos, H.-P.: Werkstoffanwendung bei Hochgeschwindigkeits-Reisezugwagen im Spannungsfeld zwischen Anspruch und Realisierbarkeit; in: Aluminium-Schienenfahrzeuge - Entwicklungen, Technologien, Projekte; Hestra-Verlag Darmstadt (1992), Seite 25-28
- [24] Pester, W.: Züge, Service und Wartung aus einer Hand - Gespräch mit Siemens-Verkehrstechnikchef Wolfram O. Martensen; VDI-Nachrichten Nr. 25 vom 21. Juni 1996, Seite 23
- [25] Scheffer, W.: Neun Verkehrsbetriebe teilen sich ein zentrales Ersatzteillager für Trambahnen; Bus & Bahn (1996) 7-8, Seite 8-9

Siemens AG
Bereich Verkehrstechnik
Fahrzeuge Nahverkehr
91050 Erlangen
Tel. 09131/7-0
Fax 0 9131/7-2 05 05

Mob i l i t y for a moving world.
Siemens Verkehrstechnik