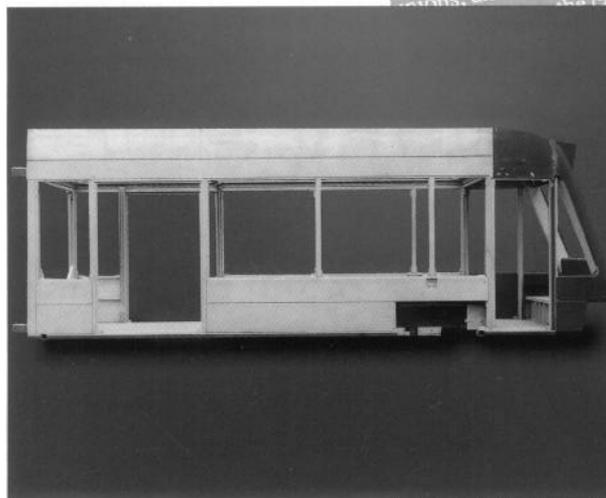
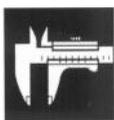


Sonderdruck aus DER NAHVERKEHR, Nr. 6/96, Seite 48-53

## Innovatives Rohbaukonzept für ein modulares Straßenbahnfahrzeug

**Autoren:**  
Jürgen Schnaas,  
Urs Meier





Dipl.-Ing. Jürgen Schnaas, Düsseldorf  
 Urs Meier, Zürich/Schweiz

## Innovatives Rohbaukonzept für ein modulares Straßenbahnfahrzeug

Combino bietet Einsparpotentiale in Gewicht und Fertigungszeit

Seit mehr als zehn Jahren hält der Trend zur Niederflurtechnik bei schienengebundenen Fahrzeugen des ÖPNV an. Er spiegelt sich in der Vielzahl von unterschiedlichen Fahrzeugkonzepten wider, die seit der Einführung der ersten modernen Niederflurstraßenbahnen im Jahre 1984 in Genf entwickelt wurden [1, 2, 3]. Aufgrund der gestiegenen Anforderungen hinsichtlich Komfort und Sicherheit aber auch durch die immer weitere Entwicklung neuer Fahrzeugtypen stiegen die Preise für diese modernen Schienenfahrzeuge im Vergleich zu Gelenkbussen, so daß 1994 die Frage gestellt wurde, wie vor dem Hintergrund immer knapper werdender (öffentlicher) Geldmittel die Bezahlbarkeit der Straßen- und Stadtbahnen verbessert werden könne [4].

Siemens Verkehrstechnik hat sich gemeinsam mit seinem Düsseldorfer Unternehmen DUEWAG dieser Frage angenommen und in knapp eineinhalb Jahren ein modulares und innovatives Fahrzeugkonzept entwickelt – den Combino [5]. Dieses Konzept sieht verschiedene Module vor, die nahezu beliebig miteinander kombiniert werden können. Dies sind im einzelnen (Abb. 1):

- Kopfmodul (Kopf mit Fahrgasttüre, Kopf ohne Türe, Kopf mit Fahrtüre).
- Fahrwerkmodul (zweiachsig mit Antrieb, zweiachsig ohne Antrieb, einachsig ohne Antrieb).
- Mittelmodul (Segment mit Türen rechts und links, Segment mit Fenster rechts und

links, Segment mit einer Türe und einem Fenster).

- Gelenkmodul.

Als wesentliche Ziele für die Entwicklung sind zu nennen:

- Drastische Reduzierung der Fertigungskosten.
- Erhebliche Senkung des Fahrzeuggewichtes.
- Entwicklung einer Standardbauweise für Niederflur-Gelenktriebwagen.
- Modularer Fahrzeugaufbau.
- Durchgehende Höhe des Fußbodens von 300 mm.
- Wegfall sämtlicher Podeste mit Ausnahme der Radkästen im Fahrwerkbereich.
- Standardisierung, von Einzelteilen und Baugruppen bzw. „Änderungen“ als Option zum Grundkonzept [6].
- Möglichst geringe Betriebs- und Anschaffungskosten bei allen Systemen, Baugruppen und Komponenten.

Das zu entwickelnde Rohbaukonzept für die Fahrzeugfamilie des Combino war darüber hinaus so zu gestalten, daß Wagenbreiten von 2200 mm bis 2650 mm, Einrichtungs- und Zweirichtungsbetrieb und eine Variabilität in der Tür- bzw. Fensteranordnung ohne zusätzlichen Konstruktions- und Berechnungsaufwand zu realisieren sind.

### Vorüberlegungen zum Konzept

Bei der Analyse des Fertigungsaufwandes bisheriger Niederflur-Fahrzeuge für den Wagenkasten-Rohbau einschließlich Lackaufbau wurde deutlich, daß ein zu entwickelndes Rohbaukonzept mit deutlich reduziertem Aufwand nur realisiert werden kann, wenn die im Schienenfahrzeugbau bislang nur in geringem Maße verwendeten „kalten“ Füge-techniken (z. B. Kleben, Schrauben, Nieten) eingesetzt sowie gänzlich neue Wege bei der Montage beschränkt werden würden.

Aus Gründen eines ansprechenden Designs sollte die lackierte Außenhaut des Combino die Qualität von bisher gefertigten Fahrzeu-

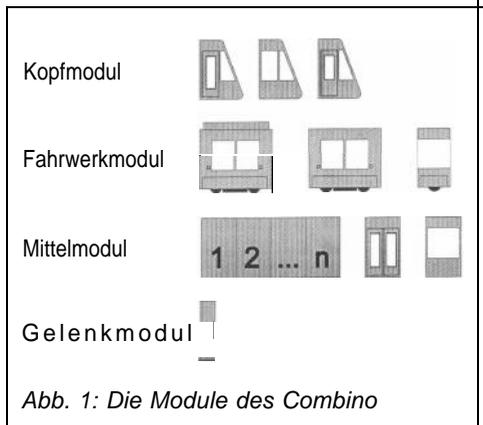
gen aufweisen – jedoch ohne das bislang übliche mechanische Richten sowie ohne eine aufwendige Oberflächenvorbehandlung (Spachteln, Schleifen, etc.). Darüber hinaus waren aus optischen Gründen in festgelegten Höhen Vertiefungen in der Außenhaut (*Designer-Fugen*) sowie ein durchgehendes Fensterband zu berücksichtigen. Letzteres war so zu gestalten, daß die Fenstersäulen vollständig, die Eck- und Türsäulen möglichst großflächig von den Fensterscheiben abgedeckt werden.

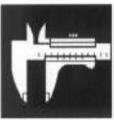
Mehrere Bauweisen wurden miteinander verglichen; bei der internen Entscheidungsanalyse wurde die Aluminium-Schweiß-Schraub-Bauweise sehr positiv bewertet. Die wichtigsten Vorteile dieser Wagenkastenkonstruktion in Aluminium sind:

- Einfach strukturierter Aufbau durch die Verwendung von komplexen Profilen ohne die Notwendigkeit von vielen Anschweißteilen (hohe Funktionsintegration) kombiniert mit einer leicht zu realisierenden Längen- und Breitenvariabilität.
- Hohe Montagefreundlichkeit aufgrund vorgefertigter Baugruppen, heller Arbeitsplätze im Inneren des Wagens vor dem Aufsetzen der Dächer sowie verteilter Montageorte.
- Richt- und spachtelfreier Wagenkasten-aufbau.
- Hohe Reproduzierbarkeit in der Rohbau-fertigung sowie in der Endmontage.
- Verwendung einfachster Vorrichtungen für den geschraubten Aufbau.
- Humanere, im Vergleich zur Stahlrohbaufertigung wesentlich sauberere und leisere Arbeitsplätze.
- Gute Recyclingfähigkeit von Aluminium.
- Erhebliche Gewichtsreduktion im Vergleich zu bisherigen Stahlrohbauten.

Das von DUEWAG entwickelte Rohbau- und Fertigungskonzept konnte in dem engen Zeitrahmen – zwischen Konstruktionsbeginn und Fertigstellung der vier Rohbau-Wagenkästen des Prototypfahrzeugs des Combino (Abb. 2) lagen achteinhalb Monate – nur mit einem Partner realisiert werden, der auf dem Gebiet des Aluminium-Schienenfahrzeugbaus sehr große Erfahrungen besitzt. Zudem war eine unabdingbare Voraussetzung für die Umsetzung des Vorhabens die Bereitschaft des Partners, die bereits vorgegebenen Wege in enger Abstimmung mit DUEWAG auszuarbeiten und für neue, unkonventionelle Lösungen offen zu sein.

DUEWAG fand als Partner die Aluisse Road & Rail AG, Zürich, die zur Realisierung dieses innovativen Rohbaukonzeptes das speziell für den Schienenfahrzeugbau ent-





wickelte Schraubensystem „Alugrip“ in die Konstruktion der Fahrzeugfamilie des Combino einbrachte.

## Der Rohbau

Die Wagenkästen des Combino bestehen aus einer im Bodenbereich geschweißten und im Aufbaubereich geschraubten Aluminiumkonstruktion; das Dach wird mit einer Sandwichplatte realisiert. Die Fahrzeugköpfe sind aus einer glasfaserverstärkten Kunststoff-Sandwich-Konstruktion hergestellt. Alle Baugruppen erfüllen die an sie gestellten Anforderungen hinsichtlich Schall- und Wärmeisolierung, Brandschutz und Reparaturfreundlichkeit.

Als Aluminiumwerkstoffe kommen bei den Strangpreßprofilen mit AlMgSi0,7 und AlMgSi1 die im Schienenfahrzeug bewährten Legierungen zum Einsatz. Sie lassen zum einen nahezu keinen Wunsch an die Gestaltbarkeit offen und vereinigen zum anderen hervorragende Werkstoffeigenschaften wie Schweißbarkeit und Bearbeitbarkeit mit extrem gutem Verhalten gegen Korrosion. Im Bereich der Fahrwerke werden darüber hinaus Bleche und Platten der Legierungen AlMgSi1 und AlMg2,7Mn verwendet. Als Schweißzusatzwerkstoff wird SG-AlMg4,5Mn verwendet.

## Das Schraubensystem „Alugrip“

Beim Combino wird im Aufbaubereich ein neues, von Alusuisse Road & Rail AG entwickeltes Schraubensystem eingesetzt, wel-

ches sich vom bekannten System M 5438, das vor allem im Busbau, aber auch bei Straßen- und Stadtbahnkonstruktionen verwendet wird [7, 8, 9] unterscheidet.

Die wesentlichen Eigenschaften des neuen Systems sind:

- Kraftübertragung mittels mechanischer Klemmwirkung.
- Möglichkeit zur Übertragung sehr großer Kräfte und Biegemomente (acht- bis zehnmal höher im Vergleich zum alten Schraubensystem) – hierdurch war es möglich, bei der Combino-Rohbaustruktur mit nur einem einzigen Typ von Schraubset auszukommen und auf Stahlversteifungen wie z. B. beim VÖV-Prototypen ganz zu verzichten.
- Sehr gute elektrische Leitfähigkeit sowohl hinsichtlich Schutzerde als auch EMV-Erde, die eine Verwendung von Erdungskabeln, die bei früheren Konstruktionen die miteinander verschraubten Aluminiumprofile elektrisch miteinander verbanden, nicht mehr notwendig werden läßt.
- Geringe Teileanzahl trotz hoher Belastbarkeit.
- Erforderliche Profilbreite von 60 mm im Bereich des Schraubsets.

Die Schraubsets vom Typ *Alugrip* bestehen im wesentlichen aus Aluminium-Schmiedebzw. Strangpreßprodukten.

Die Einzelteile werden als vormontiertes Set angeliefert und in die positionierten Profile eingesetzt: anschließend können die Schrauben angezogen werden.

## Mittelmodul

### Bodengruppe

Die Bodengruppe des Mittelmoduls wird aus mehreren gleichen, querliegenden Bodenprofilen, den beiden Gelenkendträgern sowie zwei Langträgern zusammenschweißst.

Im Gegensatz zu bisherigen Fahrzeugen befinden sich im Untergestell keine Rampen mehr im Einstiegsbereich: dies ist eine unabdingbare Voraussetzung, um ohne Änderung der Untergestellkonstruktion die Position der Türen im Seitenwandaufbau zu variieren.

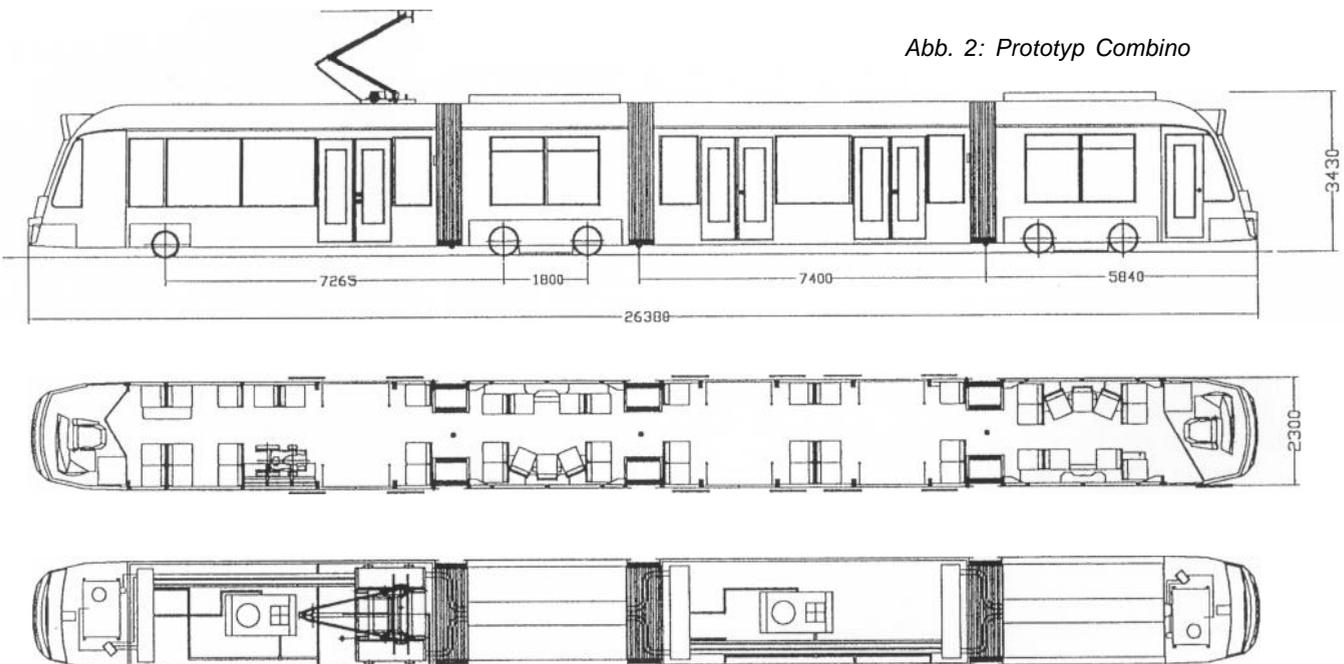
In den Gelenkendträgern dienen eingeschweißte Vierkantrohre zur seitlichen Aufnahme der Anhebebolzen für das werkstattseitige Anheben des Fahrzeugs.

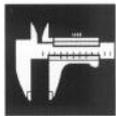
### Seitenwand

Die Basis für eine Seitenwand bildet ein Säulengerippe, welches sich aus zwei Ecksäulen und zwischen diesen angeordneten Tür- und Fenstersäulen zusammensetzt. Die Seitenwandbeblechung besteht aus zwei in Längsrichtung integral versteiften Aluminiumprofilen, die mit den Säulen mittels Schraubsets verschraubt sind. Um vor allem bei Einrichtungsfahrzeugen das durchgehende Fensterband optisch zu unterstützen, sind die Säulen gegenüber der Fahrzeugaußenkante um 10 mm zurückversetzt; dort laufen auch die Seitenwandprofile auf der ganzen Wagenkastenlänge durch.

Durch eine einheitliche Säulenbreite sowie eine einheitliche Breite der Fenster- und Tür-

Abb. 2: Prototyp Combino





Segmente ist es möglich, die Türanordnung zu flexibilisieren.

Den oberen Abschluß einer Seitenwand bildet ein aus zwei Profilen automatisch verschweißter Obergurt, in dem unterschiedlichste Funktionen wie z. B. Regenrinne, Befestigungsmöglichkeiten für Türantriebe und Kabelkanäle sowie Abdichtflächen für das Dachsandwich integriert sind.

Nach dem Verschrauben der einzelnen Profile wird die Seitenwand als vormontierte Einheit auf die Bodengruppe aufgesetzt und mit dieser unter Zuhilfenahme der Schraubsets verbunden. Zwischen den beiden aufgesetzten Seitenwänden sind zum Endportal hin Endspriegel eingeschraubt, an denen die oberen Gelenkkonsolen befestigt werden.

Die Obergurte und die beiden Endspriegel bilden den tragenden Rahmen für die aufzulebende Dachkonstruktion.

Sämtliche Stoßstellen zwischen den einzelnen Profilen sind sorgfältig bearbeitet und mit einem viskoelastischen Dichtmittel abgedichtet.

### *Dachkonstruktion*

Das Dach des Mittelmoduls bildet eine Sandwichplatte, die aus zwei Aluminiumdeckschichten sowie einem dazwischenliegenden Hartschaumkern besteht und von einem Randprofil eingefaßt wird.

In dieser Sandwichplatte sind alle Befestigungspunkte für die großen Dachaufbauten (z. B. Dachheizgerät) und die Innenausstattung (z. B. Deckenkanal) sowie sämtliche Kabeldurchbrüche integriert. Die Verklebung der Dachplatte mit den Obergurten und Endspriegeln ist so ausgeführt und angeordnet, daß sie UV-geschützt liegt.

### *Zweiachsiges Fahrwerkmodul*

Das zweiachsige Fahrwerkmodul gibt es in Verbindung mit einem Kopfmodul und einem Gelenkmodul oder mit zwei Gelenkmodulen (Abb. 3), die jeweils stirnseitig angeordnet sind.

### *Bodengruppe*

Zwischen die unteren Gelenkendträger und den mittigen, horizontal verlaufenden Boden werden zwei Aluminiumplatten als Anrampung eingeschweißt und mit den aus gebogenen bzw. gekanteten Blechen hergestellten Radkästen verschweißt. Unter den Aluminiumplatten sind die Anlenk- und Kraftübertragungspunkte des Fahrwerkes angeordnet.

Zwecks -Erleichterung bei der Wartung bzw. beim Austausch eines kompletten Antriebs ohne Anheben des Wagenkastens ist auf

den Einsatz von durchgehenden Langträgern verzichtet worden; statt dessen wird unterhalb der Fensterbrüstung ein kräftiges Brüstungsgurtprofil eingeschweißt.

In den vier Ecken der Bodengruppe ist darüber hinaus ausreichend Platz vorgesehen, um z. B. den Ölbehälter der Spurkranzschmieranlage oder das Hydrogerät an Aggregateplatten unterzubringen. Diese Bereiche sind mit Hilfe eines Bleches vom eigentlichen Radkasten abgetrennt und somit vor direktem Spritzwasser und vom Fahrwerk aufgewirbeltem Staub geschützt.

Auch hier sind in den Gelenkendträgern Vierkantrohre zur seitlichen Aufnahme der Anhebelbolzen für das werkstattseitige Anheben eingeschweißt.

### *Seitenwand*

Beim zweiachsigen Fahrwerkmodul werden je Seite zwei Ecksäulen sowie zwei äußere und eine mittige Fenstersäule einzeln mit der Bodengruppe verschraubt. Auf dieses Säulengerippe wird anschließend ein vormontierter Dachrahmen geschraubt; das Abdichtungsprinzip ist mit dem im Mittelmodul im Bereich des Dachsandwiches verwendeten identisch. Zur Erhöhung der Schubsteifigkeit der Seitenwandstruktur wird zwischen Eckssäule und außenliegender Fenstersäule jeweils ein Aluminiumblech eingeklebt.

Die an den Obergurten und den Endspriegeln angeschraubten Ausgleichprofile bilden den tragenden Rahmen, auf dem der Standard-Dachcontainer befestigt wird. Zur einfachen Wartung der Geräte im Dachcontainer können die Oberteile der Obergurte im mittleren Bereich abgenommen werden (Abb. 4).

### *Dachkonstruktion*

Da der Dachcontainer gleichzeitig die Funktionen des Fahrzeugdaches übernimmt, existiert rohauseitig keine Dachkonstruktion.

### *Einachsiges Fahrwerkmodul*

Das einachsige Fahrwerkmodul tritt als eine Baueinheit mit einem (ggf. verkürzten) Mittelmodul sowie einem Kopfmodul auf. Aus diesem Grund beschränkt sich die Beschreibung des Wagenkastenrohbaus lediglich auf den Teil des Wagenkastens, der sich vom Mittelmodul unterscheidet.

### *Bodengruppe*

Die Bodengruppe des Mittelmoduls wird zum einachsigen Fahrwerkmodul hin mit einem Bodenquerträger abgeschlossen. Der sich anschließende Boden des einachsigen Fahrwerkmoduls wird mit einer Aluminiumplatte realisiert; die Fußbodenhöhe beträgt, wie im Mittelmodul auch, 300 mm über SOK. Die Radkästen sowie die Aggregateplatten zur



Abb. 3: Zweiachsiges Fahrwerkmodul nach dem Grundieren

Aufnahme des Hydrogerätes, etc. sind analog zum zweiachsigen Fahrwerkmodul in einer geschweißten Blechkonstruktion ausgeführt.

Zur einfacheren Wartung werden keine durchgehenden Langträger eingebaut. Statt dessen wird unterhalb des Fensterbandes auf beiden Seiten ein Brüstungsgurt an die Radkästen geschweißt, der gemeinsam mit der Bodenplatte die Längskräfte durch den Wagenkasten leitet.

### *Seitenwand*

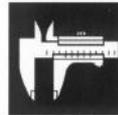
Die Seitenwandstruktur ist prinzipiell mit der des Mittelmoduls identisch. Aufgrund des Radkastens und der damit verbundenen Vertikalkräfte ist mittig in der Seitenwand des einachsigen Fahrwerkmoduls zwischen Brüstungsgurt und Obergurt eine Fenstersäule eingeschraubt.

### *Dachkonstruktion*

Die Dachkonstruktion entspricht der des Mittelmoduls.

### *Kopfmodul*

Das Kopfmodul besteht – unabhängig, ob als Fahrerstand oder Fahrgastraum gestaltet – im Bodenbereich aus einer geschweißten Aluminiumkonstruktion, die mit der Bodengruppe des einachsigen bzw. zweiachsigen Fahrwerkmoduls verschweißt wird. Auf dieses Untergestell wird der aus einer glasfaserverstärkten Kunststoff-Sandwich-Kon-



struktur bestehende Fahrzeugkopf aufgesetzt und mit diesem sowie dem Endportal viskoelastisch verklebt. Die Köpfe sind mittragend in die gesamte Rohbaustruktur integriert; vor allem die bei einem Auflaufstoß sowie beim kopfseitigen Anheben des Wagens auftretenden Kräfte werden gleichsam vom Aluminiumboden, der Kopfstruktur sowie einer auf dem vorderen Bereich der Fahrerraumbodenplatte aufgenieteten Querversteifung aufgenommen (Abb. 5).

Der GfK-Kopf ist so aufgebaut, daß alle genannten Fahrzeugbreiten problemlos hergestellt werden können, ohne daß eine komplett neue Form hergestellt werden muß. Durch die Verwendung von leicht demontierbaren Blenden und Schürzen im Kopfbereich ist im Reparaturfall ein Austausch von beschädigten Teilen problemlos möglich.

### Gelenkmodul

Die unteren, sphärisch beweglichen Fahrzeuggelenke sind über Konsolen mit dem eigentlichen Wagenkastenrohbau starr verbunden. Aus Festigkeitsgründen werden diese Konsolen aus einer etwa 100 mm starken Aluminiumplatte mittels spanender Bearbeitung hergestellt.

Die oberen Gelenke, die lediglich eine Wendebewegung des Wagenkastens um die Hochachse (z-Achse) zulassen (beim Prototypen sind diese Gelenke zwischen dem Mittelmodul und den beiden zweiachsigen Fahrwerkmodulen angeordnet), sind über eine



Abb. 5: Aluminium-Rohbau mit aufgeklebtem Kopf in Kunststoff-Sandwich-Bauweise und aufgenieteter Querversteifung

Aluminium-Schweißkonstruktion mit den jeweiligen Modulen verschraubt.

Die zweite Ausführung des oberen Gelenkes (beim Prototypen zwischen Mittelmodul mit einachsigem Fahrwerkmodul und dem mittigen zweiachsigen Fahrwerkmodul abgeordnet) erlaubt dem Fahrzeug beim Durchfahren einer Mulde bzw. Kuppe auch eine Nick-Bewegung um die Querachse (y-Achse). Die beiden Wagenkästen sind über einen Querlenker verbunden, der über die an den jeweiligen Endspriegeln angeschraubten Konsolen befestigt ist.

### FE-Berechnungen der Rohbauten

Die Rohbaustrukturen der vier zum Einsatz kommenden Wagenkästen des Prototypenfahrzeugs wurden nach ersten analytischen Vordimensionierungen, bei denen die Kraftflüsse in den einzelnen Modulen verifiziert wurden, mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM) berechnet. Dabei war es aufgrund der eng gesetzten Zeitvorgaben notwendig, möglichst genaue Rechenergebnisse zu erzielen, was nur im Sinne eines „simultaneous engineering“ erreicht werden konnte.

Für die Berechnung der einzelnen Wagenkästen wurden die Lastfälle gemäß VDV-Schrift 152 zugrunde gelegt. Darüber hinaus waren u. a. zu berechnen:

- die Begehrbarkeit des Daches mit zwei Personen.

- die Beanspruchungen des Dachsandwiches bei ausschließlich in der Decke befestigten Haltestangen (sogenannten „Hooligan“-Lastfall) sowie

- die ersten Haupteigenformen und die dazugehörigen Eigenfrequenzen.

Die FE-Modelle der einzelnen Wagenteile bestehen im wesentlichen aus einer Kombination von Stab-, Balken- und Schalenelementen. Die Klebenähte wurden ebenso wie die „Alugrip“-Schraubverbindungen mit speziell für diese Zwecke entwickelten Elementen realisiert. Bei den statischen Lastfällen wurden die eingeklebten Fensterscheiben als mittragend berücksichtigt. Aufgrund der weitgehenden Symmetrie der einzelnen Module konnten die meisten Lastfälle mit einem Viertel- bzw. Halbmodell berechnet werden (Abb. 6).

Die Dimensionierung der Gesamtkonstruktion im allgemeinen sowie der Strangpreßprofile im besonderen erfolgte grundsätzlich für die mit diesem standardisierten Modulkonzept größte zu realisierende Fahrzeugbreite von 2650 mm. Darüber hinaus fanden alle eventuell bei einer Serie zum Einsatz kommenden Ausstattungsvarianten (Zusatzgewicht, größere Ausschnitte in Baugruppen wie z. B. Fahrerraumboden, etc.) ihre Berücksichtigung in den Berechnungen.

Trotz dieser Vorgehensweise konnte ein Wagenkastenrohbau entwickelt werden, der gerade auch für kleinere Fahrzeugbreiten ein Optimum zwischen niedrigem Rohbaugewicht und geringstmöglichen Fertigungskosten bildet.

Die bei den Berechnungen ermittelten Spannungen waren wie bei den meisten Aluminiumkonstruktionen sehr gering. Die höchsten Werte traten erwartungsgemäß in den Kräfteinleitungsbereichen wie den Gelenkkonsolen, den Federtopfkonstruktionen im zweiachsigen Fahrwerkmodul und der Kuppelanbindung auf; sie lagen jedoch immer unterhalb der maximal zulässigen Festigkeitswerte.

### Ergebnis

Der Terminplan war für alle Beteiligten eine große Herausforderung: Nur vierzehn Wochen nach Beginn der konstruktiven Umsetzung des Rohbaukonzeptes wurden im Juli 1995 alle Profilquerschnitte für den Rohbau des Combino zur Produktion freigegeben. Auch die Konturen der GfK-Köpfe wurden bis Juli 1995 definitiv festgelegt, damit die aufwendigen Werkzeuge für die im Vakuum-Injektionsverfahren günstig herzustellenden Köpfe rechtzeitig gefertigt werden konnten.

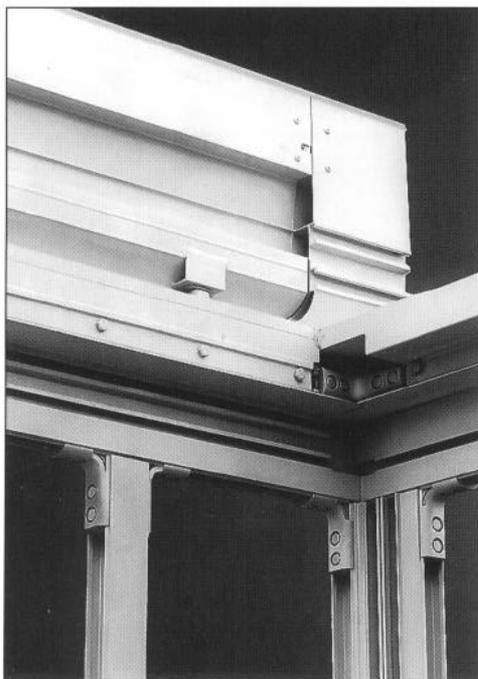


Abb. 4: Dachrahmen des zweiachsigen Fahrwerkmoduls mit abnehmbarer Blende im Obergurtbereich

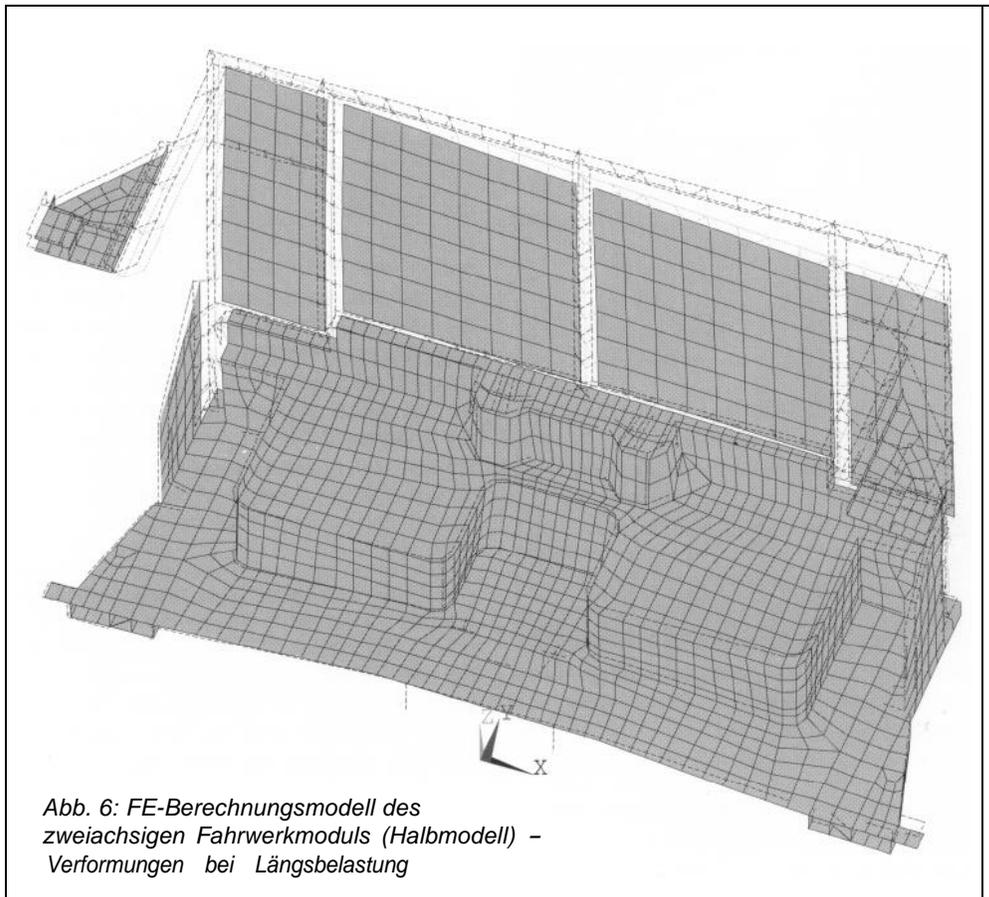


Abb. 6: FE-Berechnungsmodell des zweiachsigen Fahrwerkmoduls (Halbmodell) - Verformungen bei Längsbelastung

Da bis zu diesem Termin alle wesentlichen Bauräume für Fahrwerke und E-Geräte sowie der prinzipielle Aufbau der Innenverkleidung feststehen mußten, war eine enge Zusammenarbeit zwischen allen Partnern zwingend erforderlich.

Die Erwartungen, die DUEWAG in das neue Rohbau- und Montagekonzept gesetzt hatte, wurden bei weitem übertroffen.

Aufgrund der Verwendung der verzugsfreien Schraubtechnik sowie der hervorragenden Oberflächenqualität der Aluminiumprofile konnte auf das zeitintensive Richten sowie auf den Einsatz von Spachtelmaterial vollkommen verzichtet werden.

Das Rohbaugewicht für den Prototypen konnte im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen um etwa 30% gesenkt werden.

Unter der Berücksichtigung, daß bei der Fertigung des Prototypen nur wenige einfache Vorrichtungen eingesetzt wurden - im wesentlichen handelte es sich hierbei um Schweißvorrichtungen -, waren die Montagezeiten für den gesamten Rohbau extrem niedrig. Besonders im geschraubten Aufbaubereich konnten die Fertigungszeiten deutlich reduziert werden: So wurden beispielsweise die beiden Seitenwände des Mittelmoduls innerhalb eines Tages vormontiert und

am darauffolgenden Tag innerhalb weniger Stunden auf die Bodengruppe aufgeschraubt.

Durch die getrennte Fertigung von Wagenkasten und Dach sowie aufgrund des intelligenten Montagekonzeptes (Kabelwege, etc.) konnte die Montage der Inneneinrichtung sch

wie die Verkabelung räumlich aufgeteilt werden, so daß sich das Personal nicht gegenseitig im Wege war. Das Arbeiten im oben offenen Wagenkasten wurde als sehr angenehm empfunden, da viel Licht in das Fahrzeug gelangen konnte.

## Ausblick

Bei der Fertigung des Fahrzeuges wurden sowohl das Rohbau- als auch das Montagekonzept bestätigt; weitere Einsparpotentiale hinsichtlich Gewicht und Fertigungszeit wurden während der Montage aufgezeigt und fließen nun sukzessive in die sich anschließende Serienkonstruktion mit ein.

Das Prototypfahrzeug des Combino nähert sich nach eineinhalb Entwicklungsjahren seiner Fertigstellung; Anfang Juli 1996 wird es in Düsseldorf der Öffentlichkeit vorgestellt (Abb. 7). Daran anschließend werden auf dem DUEWAG-eigenen Testgleis die notwendigen Inbetriebsetzungs- und Abnahmefahrten durchgeführt, bevor das Fahrzeug in Europa zu Testfahrten aufbricht.

Das Ziel zur Herstellung eines kostengünstigen und aufwandsarmen Niederflur-Straßenbahnfahrzeuges hat die Siemens Verkehrstechnik mit seinem Düsseldorfer Unternehmen DUEWAG eindrucksvoll erreicht. Zahlreiche Verkehrsbetriebe im In- und Ausland haben deutliches Interesse an diesem Fahrzeugkonzept gezeigt, so daß schon bald die ersten Serienfahrzeuge in Produktion gehen dürften.

Die bei der Prototypenfertigung des Combino gesammelten positiven Erfahrungen mit der neuen Bauweise fließen schon jetzt in



Abb. 7: Prototypfahrzeug des Combino nach dem Kuppeln der Wagenkästen



die neueste Bestellung der Rheinische Bahngesellschaft AG, Düsseldorf, ein: 15 Beiwagen mit einer Option auf weitere 43 Wagen in Schweiß-Sehraub-Bauweise wurden bei DUEWAG in Auftrag gegeben.

## Literatur

[1] Ahlbrecht, H.; Müller-Hellmann, A.; Renaissance der Niederflur-Fahrzeuge bei Straßen- und Stadtbahnen; DER NAHVERKEHR 5/87, Seite 32-40

[2] Hondius, H.; ÖPNV-Niederflurfahrzeuge im Kommen (1) – (10); Der Stadtverkehr 2/89, 5/90, 3/92, 4/92, 9/92, 2/93, 5/93, 11-12/93, 6/94, 2/95, 3/95, 1/96, 2-3/96

[3] Müller-Hellmann, A.; Kostengünstige Schienenfahrzeuge für den Regionalverkehr; DER NAHVERKEHR 4/95, Seite 9-20

[4] Hondius, H.; Wie kann man die Bezahlbarkeit der Straßen- und Stadtbahnen verbessern?; UITP - Orientation des Metros Legers 94

[5] Kortemeyer, A.; Osterhus, W.; Siemens kommt mit dem Combino; DER NAHVERKEHR 10/95, Seite 79-82

[6] Giesen, U.; Standardisierung als Möglichkeit einer kostengünstigen Stadtbahn; DER NAHVERKEHR 11/94, Seite 44-46

[7] Püttner, G.; Die Prototypen des VÖV-Leichtbau-Niederflur Stadtbahnwagens; ZEV+DET Glasers Annalen 115 (1991), Nr. 1/2, Seite 22-36

[8] Hondius, H.; Brüssel entschied sich für eine 100%+ Niederflur-Straßenbahn; DER NAHVERKEHR 12/93, Seite 54-63

[9] Hondius, H.; Lille baut VAL-System aus und erneuert seine Straßenbahn; DER NAHVERKEHR 10/94, Seite 66-75

Siemens AG  
Bereich Verkehrstechnik  
Fahrzeuge Nahverkehr  
91050 Erlangen  
Tel. 09131/7-0  
Fax 09131/7-20505



Sie fahren besser.  
Mit Siemens  
Verkehrstechnik