

# "Skyline": Konzept einer neuen Generation von Meterspur-Panorama- und -Langstreckenwagen mit hohem Komfort

Autor(en): **Hess, Fritz / Auwärter, Wilhelm**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **107 (1989)**

Heft 33-34

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-77151>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# «Skyline»

Konzept einer neuen Generation von Meterspur-Panorama- und -Langstreckenwagen mit hohem Komfort

**Für den Bedarf von Panorama- und klassischen Langstreckenwagen der Privatbahnen FO (Furka-Oberalp-Bahn), MOB (Montreux-Oberland Bernois), RhB (Rhätische Bahn) und der BVZ (Brig-Visp-Zermatt-Bahn) legt das Konsortium zweier Schweizer Unternehmungen sein Konzept vor. Nach einer technischen Beschreibung wird dargestellt, wie die Entwürfe der Wagenaufbauten durch Modellierung einer Analyse nach der Methode der Finiten Elemente zugeführt werden.**

Die technologische und industrielle Aufgabe des Konzipierens einer neuen Generation von Panorama- und Lang-

VON FRITZ HESS,  
VEVEY  
WILHELM AUWÄRTER,  
BIEL

streckenwagen für schweizerische Privatbahnen erfordert eine wirtschaftlich sinnvolle Koordination spezifischer Anforderungen der einzelnen Bahnen und wird zudem durch Bedingungen der Finanzierungshilfe der öffentlichen Hand mitbestimmt.

## Finanzierung von Rollmaterial für Privatbahnen

Die Finanzierung von Rollmaterial und Anlagen durch den Bund und die Kantone für die schweizerischen Privatbahnen erfolgt mittels sogenannten Rahmenkrediten, welche sich über einen festen Zeitrahmen von ca. 5 Jahren erstrecken. Seit anfangs 1988 läuft der 7. Rahmenkredit bis Ende 1992. Damit der Umfang der durch Bund und Kantone zu tätigen Finanzierungen ermittelt und zeitlich koordiniert werden kann, werden vom Bundesamt für Verkehr (BAV) Befragungen bei den Bahnen durchgeführt. Bahnen mit gleichen Bedürfnissen bieten Hand zu Gruppenbildungen, so dass sie ihren Gesamtbedarf im eigenen Interesse über Serie-Einkäufe abdecken zu können, was schliesslich die einzige Möglichkeit ist, zu marktgerechten Bedingungen gegenüber anderen Transportsystemen einkaufen zu können. Für die Beschaffung dieser Fahrzeuge werden sogenannte Beschaffungsgruppen ins Leben gerufen, die normalerweise aus je einem Vertreter der betreffenden Bahn und einem Vertreter des BAV zusammengesetzt sind.

## Die Beschaffungsgruppe 29

Im laufenden Rahmenkredit bilden die Privatbahnen FO (Furka-Oberalp-Bahn), MOB (Montreux-Oberland Bernois), RhB (Rhätische Bahn) die Beschaffungsgruppe 29, Untergruppe B. Sie legt die Bedürfnisse der Bahnen für den Kauf von Panorama- und klassischen Langstreckenwagen mit hohem Komfort fest. Die BVZ (Brig-Visp-Zermatt-Bahn) sind dieser Gruppe – allerdings auf anderer Finanzierungsgrundlage – ebenfalls beigetreten (Tabelle 1).

Es galt für alle Beteiligten, sich auf einen einzigen Fahrzeugtyp zu einigen,

mit welchem sich jede Bahn schliesslich identifizieren kann. Diese neue Fahrzeuggeneration soll während mindestens zwei Beschaffungsperioden den Ansprüchen bezüglich Komfort, Design, Innenausbau usw. entsprechen.

Die technischen Dienste dieser Bahnen haben Ende 1988 das gemeinsam erarbeitete Pflichtenheft herausgegeben.

## Auszug aus dem Pflichtenheft

... Es ist eine Modulbauweise anzustreben, die im Bereich des Passagierraumes eine Bestuhlung verschiedener Wagenklassen zulässt. Trotz des gewünschten ansprechenden Aussehens und gefälligen Innenausbaues müssen die Wagen «bahnmässig robust» sowie unterhalts-, wartungs- und reinigungsfreundlich gebaut sein.

Die Wagen müssen «durchlaufwaschmaschinenfest» sein (Dichtigkeit, Korrosion).

Bauart und Materialwahl (Stahl oder Leichtmetall) sind im Prinzip freigestellt. Die Gewichtslimite von 15,5 t wird jedoch zu gewichtssparenden Lösungen zwingen. Es ist mit etwa 4,5 t

Hauptdaten der Streckennetze					
Spurweite	1000 mm				
kleinster Kurvenradius (Strecke)	45 m				
Höchstgeschwindigkeit (V max.)	100 km/h				
Aussentemperaturen	von +40 °C bis -35 °C				
Bahnspezifische Angaben					
	MOB	BVZ	FO	RhB Stam Bernina	
Stromsystem Nennspannung max. min.	900 V DC	11 kV/16⅔ Hz 13 kV 8,5 kV		1000 V 1400 V 750 V	
Heizleitung Nennspannung max. min.	900 V DC, 1500 V DC 1500 V/16⅔ Hz	325 V 16⅔ Hz	300 V 16⅔ Hz	1000 V +40% -25%	
Grösste Neigung	73‰  120‰ (Brünig)	30‰ Adhäsion  125‰ Zahnst.	40‰ Adhäsion  179‰ Zahnst.	70‰	
Zahnstangen-System	Riggenbach	Abt		Abt	

Tabelle 1. Beschaffungsgruppe der Privatbahnen FO, MOB, RhB und BVZ. Hauptdaten der Streckennetze und der Bahnen



Bild 1. Panoramawagen der Furka-Oberalp-Bahn (Ramseier + Jenzer Bus + Bahn)



Bild 2. Innenansicht eines zehnjährigen Panoramawagens der MOB (Montreux-Oberland Bernois) (Ramseier + Jenzer Bus + Bahn)

Gewichtsanteil der Drehgestelle zu rechnen.

Es muss eine Bauart gewählt werden, welche Reparaturen in den bahneigenen Werkstätten ohne Schwierigkeiten zulässt.

Trotz des gewünschten Panoramaeffektes (sehr grosse Fenster) müssen die Bestimmungen über den Schutz der Reisenden gemäss EBV voll ein gehalten werden. Die Konstruktion hat eine genügende Festigkeit aufzuweisen (Materialbeanspruchung, Elastizität, Schwingungsverhalten, etc.).

Für Panoramawagen sind generell Festfenster vorzusehen; für die klassischen Fahrzeuge Festfenster mit Klapp- oder Schiebeoberlicht und als Variante Senkfenster. Das Pflichtenheft gilt sowohl für den Panoramawagen als auch für den klassischen Langstreckenwagen mit hohem Komfort. Die beiden, wenigstens dem Aussehen nach ganz verschiedenen Wagentypen sollen in einem einzigen Kastenkonzept erstellt werden.

### Schweizer Unternehmen bilden Konsortium

Nachdem die Ausschreibung des Rollmaterialbedarfs der Beschaffungsgruppe 29 erfolgt war, entschlossen sich zwei Unternehmen, das eine aus Vevey, bisher Lieferant von Langstrecken-Schienenfahrzeugen mit hohem Komfort unter anderem an die FO und BOB (Berner Oberland-Bahnen), und das andere aus Biel, das die MOB und die FO mit Panoramawagen bediente, anfangs April 1989 zur Bildung eines Konsortiums. Aufgrund der gemeinsamen Erfahrungen arbeiteten sie das Konzept «Skyline» aus, das schon Ende April 1989 eingereicht werden konnte. Es erfüllt die an das neue Rollmaterial ge-

stellten hohen Anforderungen und wird jetzt, natürlich in Konkurrenz zu anderen, evaluiert.

### Das Konzept

Das Konzept beruht auf den Fahrzeugwagenkasten der bewährten Fahrzeugserie der Panoramawagen MOB und FO (Bild 1), wobei der umgearbeitete Rohkasten den Bau von Langstreckenwagen sowohl in klassischer oder auch in 2- oder 4türiger Panoramaausführung erlaubt. Ein Panoramawagen kann – z.B. für den Winterbetrieb – in einem ca. achtstündigen Werkstattaufenthalt durch den Einbau von Garderoben und Gepäckträgern in einen Langstreckenwagen umgebaut werden. Bodenhöhen von 930 und 1100 stehen zur Wahl.

Der Einbau von Zwischenwänden, einer Toilette, Gepäck- und Kleiderablagen sind vorgesehen.

Das Wandkonzept erlaubt Festfenster oder Senkfenster. (Die Umfrage bei einer Bahn ergab, dass 90 Prozent der Befragten Senkfenster befürworten.) Der Sitzteiler ist den Wünschen jeder Bahn entsprechend wählbar. Für jene Bahnen, die dem Fahrgast selbst einen sehr schmalen Fensterposten vor dem Gesicht nicht zumuten wollen, kann der Fensterteiler den verschiedenen Sitzteilern angepasst werden.

Die Hauptdaten, die dem Konzept zugrunde liegen, sind in der Tabelle 2 zusammengestellt.

### Technische Beschreibung

#### Wagenkasten

Das Boden- und Seitenwandgerippe besteht hauptsächlich aus Stahlhohlprofi-

len verschiedener Dimensionen. Das Dach ist in einer Leichtbau-Alu-Sandwich-Konstruktion ausgeführt und in die tragenden Wagenkastenstruktur integriert. Diese Leichtverbundbauweise garantiert ein Höchstmass an Sicherheit bei optimalem Materialeinsatz bezüglich Gewicht und Festigkeit. Sie beruht auf jahrzehntelanger Erfahrung in der Anwendung von Stahlhohlprofilen, Sandwich-Konstruktionen und Klebverfahren.

Alle *Aussenbleche* (elektrolytisch verzinktes Stahlblech) sind durch Kleben mit dem Kastengerippe verbunden. Dieses Verfahren erlaubt, glatte Seitenflächen zu erreichen von einer Qualität, welche mit aufgeschweissten Blechen nie erreicht werden kann. Die Klebeschicht unterbricht alle Wärmebrücken zwischen Aussenhaut und Gerippe, so dass eine Verbesserung der Wärme- und Kälteisolierung erreicht wird. Zudem bewirkt sie eine vorzügliche Vibrationsdämpfung.

An den Ein- und Ausstiegen sind aussenbündige *Schwenk-Schiebetüren* mit Elektro- oder pneumatischem Antrieb eingebaut, während für die Stirnwand-Abteil-Schiebetüren und die Toilettentür GFK-Sandwichbauweise vorgesehen sind. Die *Einsteige* sind dreistufig. Rutschfester Kunststoff für Belag und Trittkanten der 290 mm hohen Stufen erhöhen Sicherheit und Bequemlichkeit.

In den Wagenkasten sind – nach Massgabe bahnspezifischer Ausführung – alle notwendigen *Leitungen, Überwachungs-, Bedienungs- und Kontrollapparate* zu integrieren. Hingegen entfallen am Wagenkasten, abgesehen von der *Handbremseinrichtung* im Wageninneren, die Brems-Vakuum- und Pneumatikausrüstungen, da diese, einschliesslich aller und den Bremszylindern für

die Adhäsions- und Zahnradbremse, in den Drehstellen integriert sind.

Faltenbälge, Zug- und Stossvorrichtung, Batterien und Ladegerät, LBT-Leitung (Lautsprecher, Beleuchtung, Türsteuerung) sowie Vielfachkabel für den Pendelzugbetrieb vervollständigen die technische Ausstattung des Wagenkastens.

### Bodengruppe

Die Bodengruppe besteht aus dickwandigen Stahlprofilen. Der Wagenboden aus gefalteten Alu-Sandwich-Segmenten, mit guter Wärme- und Schallisolation, ist fest mit der Bodengruppe verschraubt und verklebt.

Bei der Konstruktion berücksichtigt ist der Einbau der z.Z. bei den verschiedenen Bahngesellschaften (BVZ/FO/MOB/RhB) üblichen Drehgestelle sowie der entsprechenden Zug- und Stossvorrichtungen.

### Drehgestelle

Die Drehgestelle und deren Federcharakteristiken und Lauf-Eigenschaften tragen beträchtlich zum Komfort in den Fahrgasträumen bei. Sie werden von den Bahnen direkt beschafft und dem Kastenbauer zur Verfügung gestellt.

Vorgesehen sind Drehgestelle mit den Hauptcharakteristiken und -Daten:

- Neues Meterspur-Drehgestell im SIG-Baukastensystem.
- Geschweisster Drehgestellrahmen in St 52-3.
- Kastenabstützung über Gummischichtfedern, Federtraverse und Stahlfedern auf dem Rahmen.
- Abfederung unterteilt in Primärfederung mit Achslenker und Sekundärfederung mit Federtraverse.
- Laufdrehgestell mit 8-Klotzbremse.
- Zahnrad Drehgestell mit 8-Klotzbremse und Bremszahnrad.
- Beide Varianten können mit Vakuum- oder Druckluftbremsen ausgerüstet werden, wobei die mechanische Bremsausrüstung und alle Betätigungszylinder sowie der Handbremsabzug in den Drehstellen integriert sind.
- Achsabstand 1800 mm
- Raddurchmesser 750/690 mm
- max. Fahrgeschwindigkeit für diesen Anwendungsfall 100 km/h
- Gewicht pro Satz für ein Fahrzeug (je nach Ausführungsart und Bremsensystem) ca. 4600-5500 kg

### Innenausbau

Boden- und Wandbeläge in Kunst- oder Textilbekleidung sind in den Farbkombinationen und mit computergestützter

### Hauptdaten der Bahnwagen

#### Abmessungen

Totale Wagenlänge über Puffer	18 500 mm
Wagenkastenlänge	17 740 mm
Wagenbreite über Seitenwandgerippe	2 650 mm
Wagenhöhe über SOK	3 700 mm
Wageninnenhöhe Passagierraum	2 350 mm
Wageninnenhöhe Vorräume	2 150 mm
Drehzapfenabstand	12 830 mm
Höhe der Kupplung	620-670 mm
Wagenbodenhöhe über Schienenoberkante (Tara)	930/1 100 mm
Unterste Einstiegstufe	350 mm
Raddurchmesser (Neuzustand)	max. 750 mm
Spurweite	1 000 mm

#### Gewicht

Je nach Ausstattung und Bahngesellschaft, ohne Klimaanlage, inkl. SIG-Drehgestelle der neuen Generation	etwa 15,2-16,5 t
Mehrgewicht für Klimaanlage je nach System	etwa 0,4-1,3 t

#### Fassungsvermögen

Personenwagen 2. Klasse, (Normallänge)	52-56 Sitzplätze
Personenwagen 2. Klasse, Berninawagen	46 Sitzplätze
Personenwagen 1. Klasse, (Normallänge) Dreier-Bestuhlung	36 Sitzplätze
4reihige Bestuhlung	48 Sitzplätze
Berninawagen, Dreier-Bestuhlung	30 Sitzplätze

### Klima- und Heizungsanlagen

	Klimaanlage mit Konvektionsheizung	Heizungsanlage mit Ganzjahreslüftung für Wagen mit Festfenstern	für Wagen mit Senkfenstern oder Oberlichtern
Zuluftmenge (keine Umluft)	2 x 1200-1400 m <sup>3</sup> /h		
max (Sommer)		2 x 3500 m <sup>3</sup> /h	2 x 1200 m <sup>3</sup> /h
min (Winter)		2 x 1600 m <sup>3</sup> /h	2 x 360 m <sup>3</sup> /h
Kühlleistung	2 x 9,8 kW (= 2 x 8400 kcal/h)	-	-
Lufterhitzer	2 x 12 kW	2 x 10 kW	2 x 6,9 kW
Heizgrundlast mit Konvektionsheizkörpern	bis 26 kW	bis 26 kW	bis 26 kW
Automatische Steuerung	über Prozessrechner	über Prozessrechner	über Prozessrechner

Tabelle 2. Daten der vorgesehenen Bahnwagen und deren Klima- oder Heizungsanlagen

Farbgestaltung frei wählbar, so dass dem Fahrgast eine intime Atmosphäre oder eine betont elegante Note geboten werden kann.

Die Sitze sind nach ergonomischen Gesichtspunkten gestaltet und entsprechen einem Luxus-Reisewagen (Bild 2).

Für die Bestuhlungsanordnung sind für jede Bahn verschiedene Varianten möglich, z.B. bei 2. Klasse Wagen mit Gruppenbestuhlung ein Sitzabstand von 1750 mm, bei Reihenbestuhlung von 880 mm. Insgesamt nimmt der B-Wagen bei einer Wagenlänge von 18,5 m bis 56 Sitzplätze (vier pro Reihe) auf. Bei der 1. Klasse-Dreier-Bestuhlung werden 36 Sitzplätze angeboten.

Die Toilette wird als «offenes System» ausgeführt, kann aber später - ohne Änderungen an der Kabine mit pflegeleichten Wänden - auch als «geschlossenes System» eingebaut werden.

Alle Fenster (ohne Stirnwandtürscheiben) erhalten Doppelverglasung mit getönt/bedampften äusseren Scheiben, um durch Rückstrahlung beste Wärmeisolation gegen innen und aussen zu erzielen.

### Heizung/Lüftung/Klimatisierung

Für Heizung/Lüftung/Klimatisierung wurden mit den Bahnen Richtlinien aufgestellt (Tabelle 2).

Panoramawagen und eigentlich auch Langstreckenwagen mit Festfenstern erfordern für den heutigen Komfortanspruch eine Klimaanlage. Die Gewichtslimiten der einzelnen Bahnen können jedoch einem Einbau entgegenstehen, da eine Klimaanlage gegenüber einer Heizungsanlage (nur mit Lüftung) je nach System bis ca. 1300 kg schwerer wird. In diesem Fall ist eine verstärkte Lüftung vorzusehen. Da Kli-

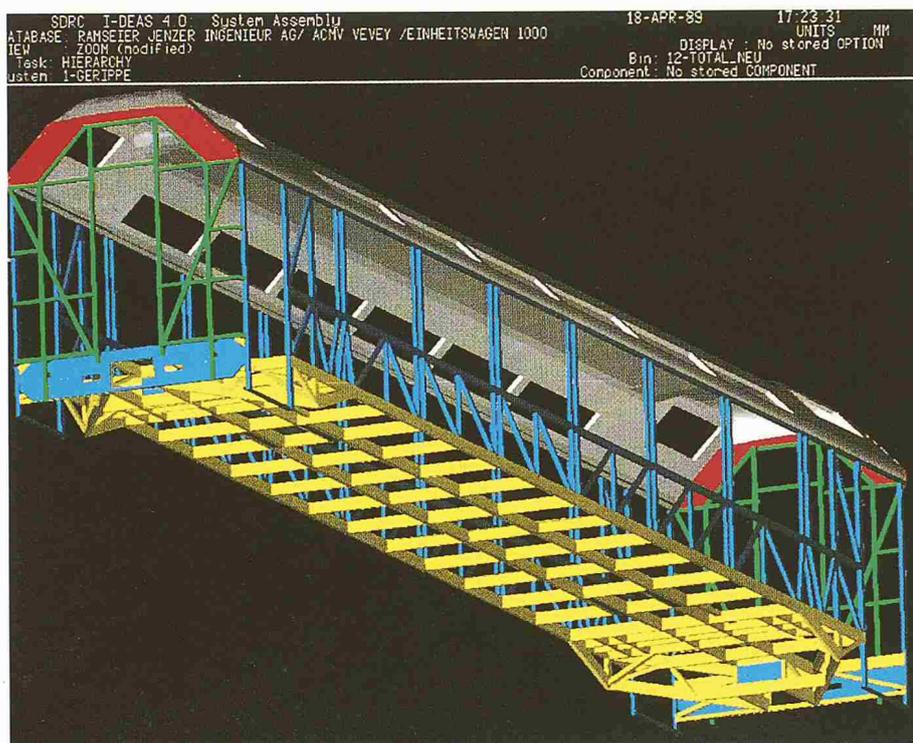


Bild 3. Geometrisches Modell des Systemgerippes des Wagenkastens im I-DEAS 4.0-Display als Basis der globalen Statik-Berechnung (VEVEY und Ramseier + Jenzer Ingenieure AG)

maanlagen nur für geschlossene Räume sinnvoll sind, wäre für Langstreckenzüge mit Oberlichtern oder mit Senkfenstern einer Heizungsanlage mit Ganzjahreslüftung der Vorzug zu geben.

### Solaranlage

Auf dem mittleren Teil des Wagendaches können Solargeneratoren montiert werden. Die gewonnene Sonnenenergie dient der anschlussunabhängigen Stromversorgung der Lüftung, so dass abgestellte Züge durch stetiges Belüften ohne die Gefahr der Batterieerschöpfung von der Stillstands-Aufwärmung geschützt werden können.

Mit 18 Solargeneratoren (Abmessung je 1219×330 mm) ergibt sich eine elektrische Leistung bis zu 900 W, welche parallel zur üblichen Batterieladung aus der Zugsammelschiene eingespeist wird.

### Dimensionierung der tragenden Wagenkastenstruktur

#### Ausgangslage

Mit den Erfahrungswerten aus dem Schienenfahrzeug- und Omnibusbau ist eine Wagenkastenstruktur entworfen worden, welche den Bedürfnissen nach einer leichten, steifen und betriebssicheren Bauart gerecht werden kann. Als Basis für die globale Statik-Berechnung diente das im Bild 3 dargestellte geometrische Modell.

Wesentlich ist, dass die Unterstützung

mit diesen Mitteln (FEM-Analyse) im frühestmöglichen Stadium des Konstruktions-Entwurfes zum Tragen kommt, wo Korrekturen in der Gestaltung des Baukörpers nicht schon in ausgeführte Detailuntersuchungen hineingreifen. Die Geometrie des Entwurfes konnte vom Berechnungs-Ingenieur direkt von der Arbeitsstation des Konstrukteurs via Datenleitung übernommen werden. Die nachfolgend angezeigten Arbeiten sind Ausschnitte aus der Entwicklung und entsprechen noch nicht in jedem Falle den Resultaten eines abschliessenden Leistungsnachweises.

#### Aufgabenstellung

Um den Erfordernissen des praktischen Einsatzes gerecht zu werden, sind alle bekannten Belastungsarten so zu simulieren, dass eine Überprüfung der Beanspruchung sämtlicher an der Tragstruktur beteiligten Elemente möglich ist.

Mit dem erstellten Ersatzmodell soll auch die tiefste Biegeeigenfrequenz als erste Beurteilung ermittelt werden.

Als Lastannahmen sind für das vorliegende Objekt definiert worden:

#### Tara:

Belastung der Struktur unter Eigengewicht (Überprüfung des Modelles).

#### Brutto:

Belastung der Struktur unter Eigengewicht und Nutzlast.

#### Pufferlast:

Durchleitung einer Kraft von 800 kN in Fahrzeughrichtung über die Puffer.

#### Aufgleisen:

##### symmetrisch (4-Punkt-Auflage)

Beidseitige Abstützung des Kastens auf den dafür vorgesehenen Stellen im Bereich des einen Drehgestelles.

##### asymmetrisch (3-Punkt-Auflage)

Einseitige Abstützung des Kastens auf einer dafür vorgesehenen Stelle im Bereich des einen Drehgestelles; Abstützung der Reaktionskräfte auf dem zweiten Drehgestell.

#### Berechnungsmethode/ Erforderliche Mittel

Für die Durchführung sämtlicher Festigkeitsuntersuchungen (Modellierung der Struktur, Berechnung mit Computereinsatz, Auswertung) kam die Methode der Finiten Elemente (FEM) zur Anwendung, ausgeführt durch die Firma *Helbling Technik*, Aarau. Sie basiert auf der Lösung linearer Gleichungssysteme hoher Ordnung mit Hilfe leistungsfähiger Rechner. Das zu berechnende System, Struktur genannt, wird in passende Elemente (Stab-, Balken-, Scheiben-, Platten-, Ring-, Schalen-, Volumenelemente) aufgeteilt, die über Knotenpunkte miteinander verknüpft sind.

#### Eingesetzte Rechner und Peripherien:

- Rechner «APOLLO DN3500» für die Modellerzeugung.
- Rechner «APOLLO DN10000» für die Berechnungen.
- Trommeldrucker «DATA GENERAL 600LPM» für die Ausgabe der Ergebnisse in Zahlen- oder Diagrammform.
- Mehrfarbenplotter «HEWLETT-PACKARD HP-7580 A»
- Farbhardkopierer «Tektronix-4693 DX» für die Visualisierung der Resultate (Kräfte/Momente/Spannungen/Verformungen).

#### Eingesetzte Software

- «I-DEAS» komplettes Mechanical Computer-Aided Engineering System (MCAE-System)
- «I-DEAS Geomod» Modul, das die Erzeugung eines Volumenmodells zur Geometriebeschreibung ermöglicht.
- «SUBERTAB+» Modul, das (als Preprocessor) die 3D-Modellierung, die Netzgenerierung, die Datenvorbereitung und (als Postprocessor) die Ausgabe der Ergebnisse ermöglicht.
- «TPS10» FEM-System, das über ein Interfaceprogramm die FE-Analyse von ebenen, rotationssymmetrischen und räumlichen Strukturen erlaubt.
- «I-DEAS Geodraw» Modul für die Zeichnungserstellung.

**Lösungsweg**

Grundsätzlich versucht der Berechnungsingenieur, auch bei optimalen Infrastruktural-Voraussetzungen, sein der Wirklichkeit nachempfundenen Modell so weit wie sinnvoll zu vereinfachen. Diese Auslegung ergibt, auch bei Einhaltung der geforderten Resultatgenauigkeit, kürzere Berechnungszeiten und vor allem mehr und schnellere Modifikationsmöglichkeiten. Im vorliegenden Fall wurde diesem Wunsche in dem Sinne entsprochen, dass durch Schaffung geeigneter Symmetriebedingungen mit nur einem Viertel des Gesamtmodelles gearbeitet werden konnte. Um dabei nicht günstigere Annahmen als ein tatsächliches Modell zu schaffen, werden dafür spiegelbildlich einfach die statisch schlechteren Anordnungen verwendet.

Zur Erhaltung einer übersichtlichen Auswertbarkeit der Resultate wird das Modell von Beginn an in Teilnetzen aufgebaut. Beim Wagenkasten sind dies in der Regel

- Stirnwände  
(Stab- und Flächenelemente)
- Seitenwände  
(Stab- und Flächenelemente getrennt)
- Unterbau  
(Stab- und Flächenelemente, Plattform und Versteifungen getrennt)
- Dach Mittelteil  
(Stab- und Sandwichelemente getrennt)
- Dach Endstück  
(Stab- und Sandwichelemente getrennt)
- Klebstellen  
Stäbe mit exzentrischem Anschluss
- Der generierte Modell-Viertel erreicht dabei folgende Struktur-Daten:

- 1653 Knoten
  - 2253 Elemente
  - 9587 Freiheitsgrade (Unbekannte)
- Für den asymmetrischen Aufgleisungsfall (Verwindung) musste durch Spiegelung der Viertelstruktur ein Gesamtmodell erzeugt werden, welches für die Berechnung erforderlich war.

**Resultat-Auswertung**

Die heutige Soft- und Hardwareleistungen sind derart stark, dass eine der Aufgaben darin besteht, aus der Informationsfülle die wesentlichen Daten herauszufinden. Selbstverständlich bieten aber auch hier gute Systeme die entsprechende Hilfe an. Vor allem mehrfarbige graphische Darstellungen lösen in vielen Fällen die unübersichtliche numerische Auswertung ab. Qualitativ gute Aussagen können gemacht werden bezüglich:

- Eigengewicht der Struktur
- Knotenverschiebungen in 3 Richtungen

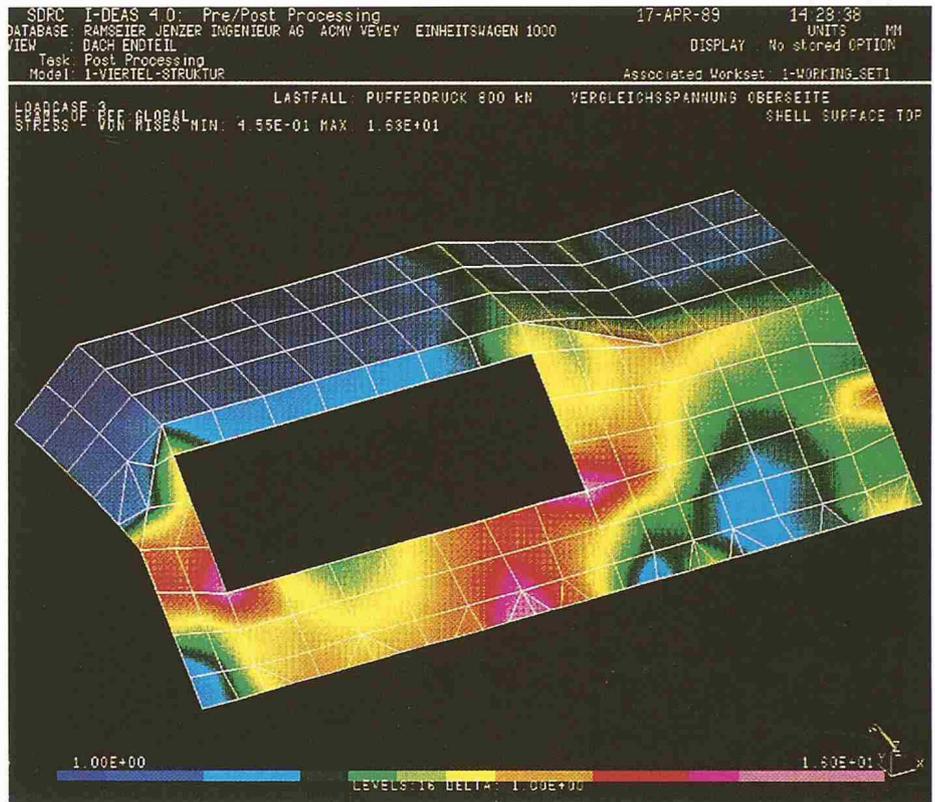


Bild 4. Vergleichsspannung an der Wagenkasten-Oberseite im Lastfall Pufferdruck 800 kN

- Knotendrehungen um 3 Achsen und Stützkräfte in 3 Richtungen
- Einspannmomente in 3 Achsen
- Schnittkräfte und -momente an Stab- und Flächenelementen
- Spannungen an Stabelementen (an maximal 4 Eckpunkten) und an Flächenelementen (an den oberen und unteren Flächen)
- Knotenmittelspannungen
- Formänderungsarbeiten an Stab- und Flächenelementen
- Eigenfrequenzen.

Normalerweise werden in der Auswertung zuerst die Deformationen dargestellt und beurteilt. So können für den Lastfall «Brutto» aus der Kastendurchbiegung erste Schlüsse über das Schwingungsverhalten und damit über den Fahrkomfort gemacht werden.

In der folgenden Phase interessieren die aus der Verformung resultierenden Spannungen (Vergleichsspannungen). Hier besteht unter anderem die Möglichkeit, über ein Balkendiagramm die Ausgewogenheit einer Konstruktion zu beurteilen, da von jedem Element die maximale Vergleichsspannung als Balkenlänge vorliegt. Damit kann sehr rasch und eindrucklich nachgewiesen werden, wie gut der eingesetzte Werkstoff (Gewicht) ausgenutzt wird. Schlecht genutzte Bauteile können ebensogut angepasst werden wie überbeanspruchte Partien.

Mit der weiteren Vertiefung kann die Spannungsverteilung am Element

selbst durch Strichgraphiken für Stäbe oder Farbdarstellungen für Flächenelemente sichtbar gemacht werden (Bild 4). Hier kommen dann auch die Möglichkeiten der Strukturzerlegung in «Netze» zur Geltung.

Bei der Beurteilung von «Knicken» und «Beulen» müssen Werte für Kräfte und Momente herangezogen und visualisiert werden. Dies geschieht in ähnlicher Form wie bei der Spannungsdarstellung.

**Zusammenfassung**

Die Dimensionierung und Beurteilung eines Wagenkastens für die Personenbeförderung mittels der Finite-Elemente-Methode entspricht dem Stand der Technik.

Wesentliche Elemente dabei sind:

- Eine Verkürzung der Entwicklungszeit durch Früherkennung von Schwachstellen
- Erlangung von besserem Sachverständnis für die Detail-Konstruktion; gezielte Gewichts-/Kosten-Optimierung
- Vermeidung von Überlastschäden
- Gute Beurteilungsmöglichkeiten für das Langzeitverhalten
- Gute Vergleichsmöglichkeiten beim Einsatz neuer Werkstoffe/Technologien.

Adresse der Verfasser: Fritz Hess, Ing. ETS, Maschinenfabrik Vevey AG; Wilhelm Auwärter, Ing. STV, Ramseier & Jenzer Ingenieur AG, Biel.