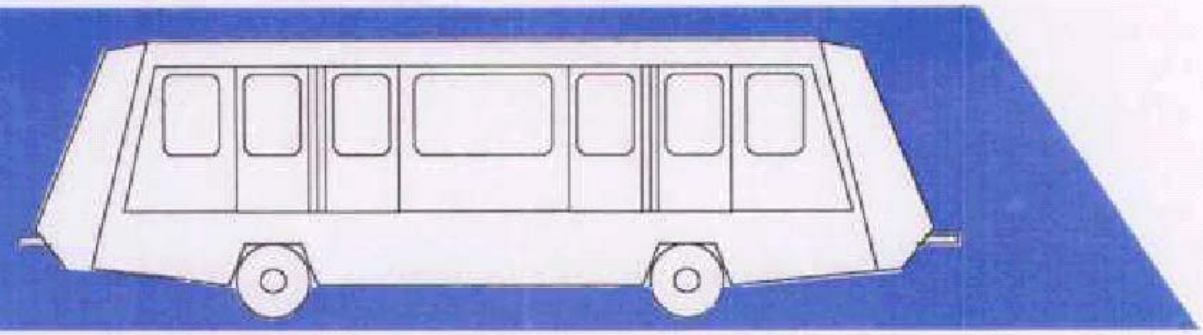
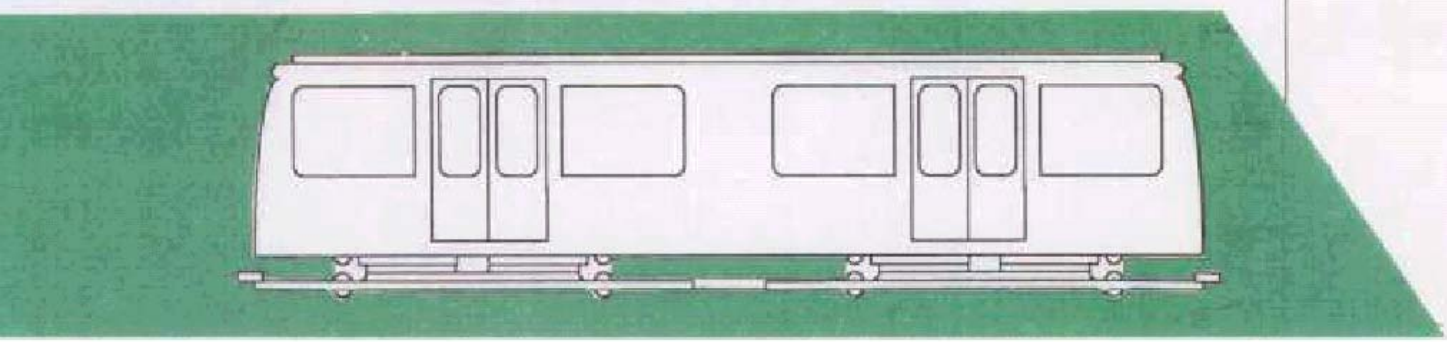
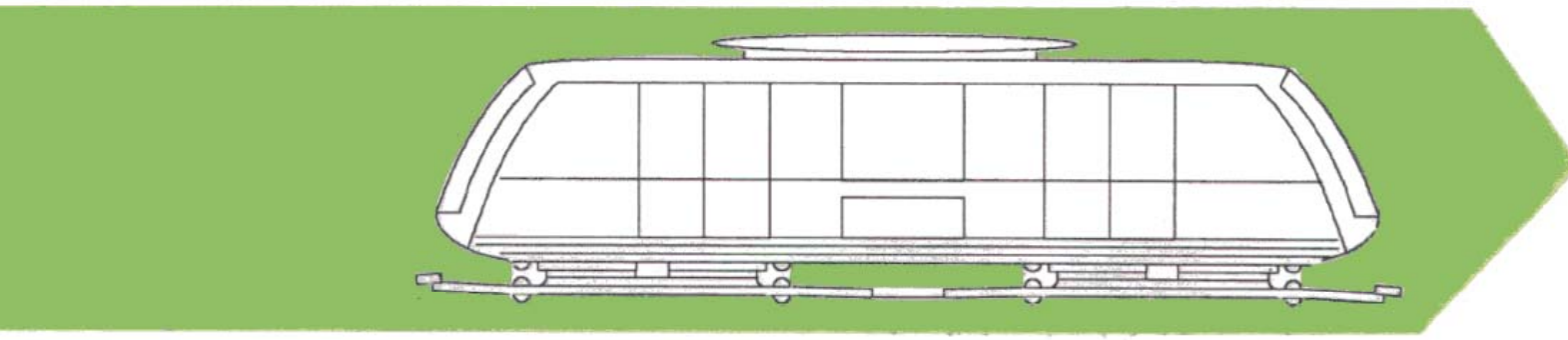
Komparative Konkurrenzvorteile des M-Bahn Systems

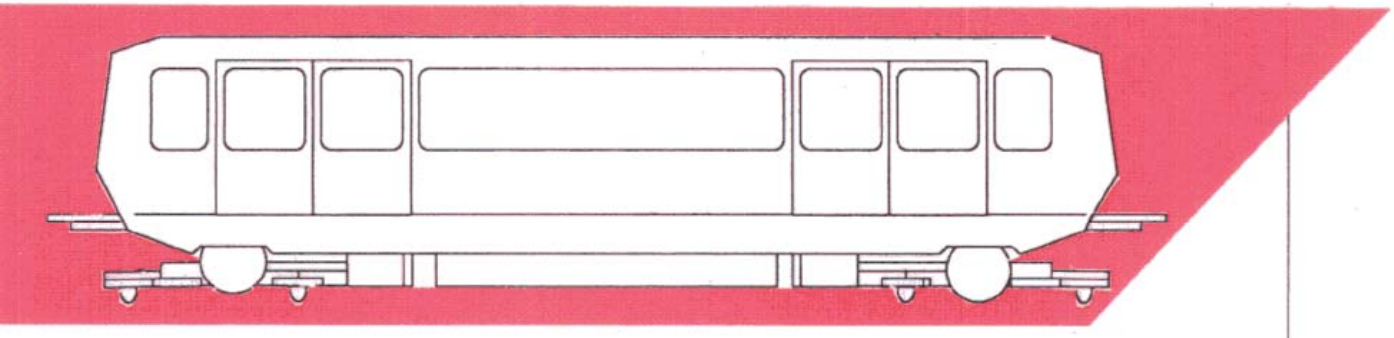
AEG

Einsatz für Flughäfen und ÖPNV









Komparative Konkurrenzvorteile des M-Bahn-Systems
Einsatz für Flughäfen und Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV)

Inhaltsverzeichnis:

	Seite
o **Aufgabenstellung**	2
o **Systemkurzbeschreibungen**	
-M-Bahn	3 - 5
-People Mover	6 - 7
-VAL	8 - 9
o **Systemdatengegenüberstellungen**	
-M-Bahn/People Mover für Flughafenanwendungen	10 - 12
-M-Bahn/VAL für ÖPNV-Anwendungen	13 - 15
o **Komparative Konkurrenzvorteile (KKVs)**	
-Fahrzeugabmessungen	16 - 17
-Fahrzeuggewichte	18 - 19
-Gewichtsverteilung	20 - 21
-Bewegungswiderstand	22 - 23
-Energieverbrauch	24 - 27
-Abrieb	28
-Geräusche	29
-Fahrwegausführungen	30 - 38
-Investitionskosten	39 - 44
o **Qualitative Konkurrenzvorteile**	45 - 46

Erstellt von MB/V2
unter Mitwirkung von MB/T

September 1990

Aufgabenstellung:

Vollautomatische, fahrerlose Personen-Transportsysteme haben sich auf Flughäfen und im öffentlichen Nahverkehr durchgesetzt. Ihre Anzahl hat eine stark steigende Tendenz.

Marktführer auf dem Einsatzgebiet Flughäfen ist AEG Westinghouse/USA mit seinem People Mover. Seit 1971 sind 13 Systeme in Betrieb gegangen, weitere 4 sind derzeit in der Planung oder im Bau.

Der Einsatz von vollautomatischen Systemen im öffentlichen Personennahverkehr begann 1983 mit dem VAL- System von MATRA in der nordfranzösischen Stadt Lille. Inzwischen sind über 26 km Strecke in Lille und Jacksonville/USA in Betrieb und weitere 41 km als ÖPNV-Anwendung weltweit im Bau. Weitere Anbieter vollautomatischer Systeme, wie z.B. UTDC/Kanada mit Skytrain, Siemens mit der H-Bahn oder OTIS Elevator/USA,haben jeweils nur 1 bis 3 Systeme in Betrieb.

Das innovative M-Bahn-System ist das neueste aller vollautomatischen Systeme. Seine Kundenvorteile, und damit seineKonkurrenzfähigkeit soll an den Systemen der Marktführer gespiegelt werden. Die vorliegende Studie vergleicht die infragekommenden Systeme für die beiden Anwendungsmöglichkeiten:

Airport-Anwendung
People Mover C100 - M-Bahn E01,

und

ÖPNV-Anwendung
VAL256 - M-Bahn M80/2

Neben einer kurzen Beschreibung der Technik der zu vergleichenden Systeme und der Gegenüberstellung der Systemdaten, werden die komparativen Konkurrenzvorteile des M-Bahn-Systems graphisch dargestellt. Wichtigste Voraussetzung dabei ist die Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit der Daten, deshalb werden die jeweiligen Parameter genannt. Zum Abschluß werden Unterschiede und Vorteile des M-Bahn-System schlagwortartig genannt, die entweder nicht quantitativ erfaßbar oder nicht generell gültig sind.

Bei der Bewertung der Aussagen, die sich aus den Vergleichen ergeben, muß berücksichtigt werden, daß M-Bahn im Gegensatz zu den Konkurrenzsystemen den Stand der Serienfertigung noch nicht erreicht hat. Eine Ausschöpfung des vorhandenen Entwicklungspotentials wird also in Zukunft Einsparungen, z.B. bei Gewicht und Kosten, ergeben.

Systemkurzbeschreibung M-Bahn

Tragen und Führen:

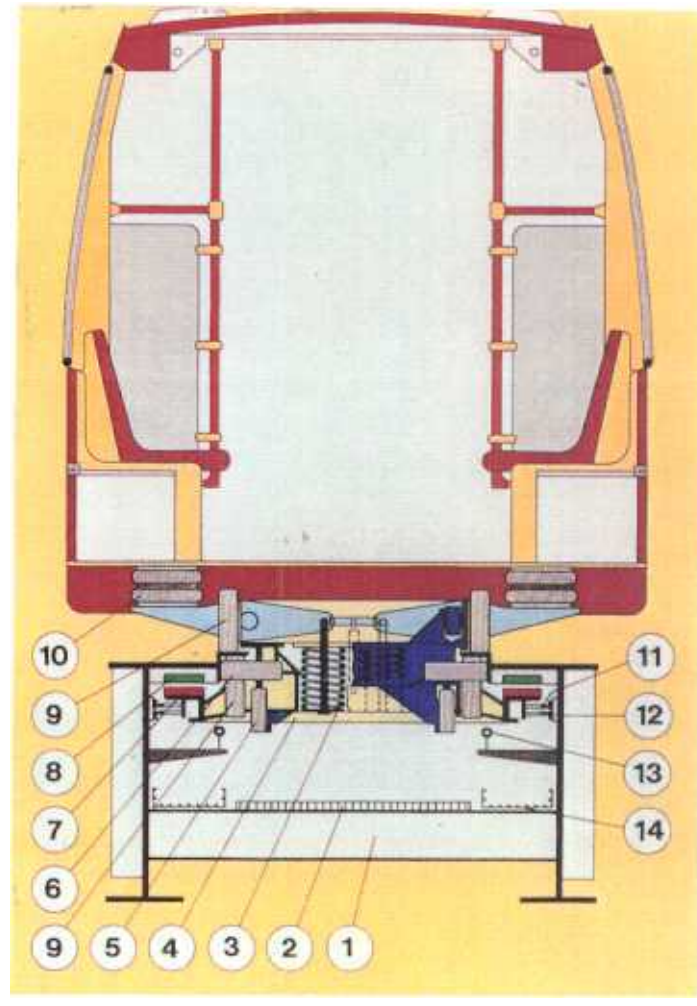
Das Gewicht des Fahrzeuges wird mittels anziehender Kräfte von Dauermagneten in den Schwebegestellen getragen. Horizontale und vertikale Führung erfolgt durch Rollen an beiden Enden und Seiten der Schwebegestelle. Die magnetischen Kräfte werden dem jeweiligen Fahrzeuggewicht mit einer mechanischen Luftspaltregulierung weitgehend angepaßt.

Automatischer Betrieb:

Automatischer Fahrzeugbetrieb und betriebliche Sicherung sind integrale Bestandteile des M-Bahn-Systems.Die Antriebsausrüstung mit passiven Fahrzeugen und aktiven stationären Einrichtungen prädestiniert das System für einen Zugbetrieb mit kurzen Zugfolgezeiten.

Fahrzeugantrieb:

Der Antrieb erfolgt durch ein elektromagnetisches Wanderfeld im Fahrweg im Zusammenwirken mit den Permanent-Magneten im Fahrzeug als "Langstator-Synchron-Linearmotor". Die Antriebsenergie zu den Motorabschnitten wird über Pulswechselrichter in den Unterstationen sowie Zuführungskabel und Schalter entlang der Strecke umgeformt und eingespeist. Die Längen der Motorabschnitte und die Motorschaltungen werden entsprechend den örtlichen Antriebs- und Geschwindigkeitsanforderungen festgelegt.



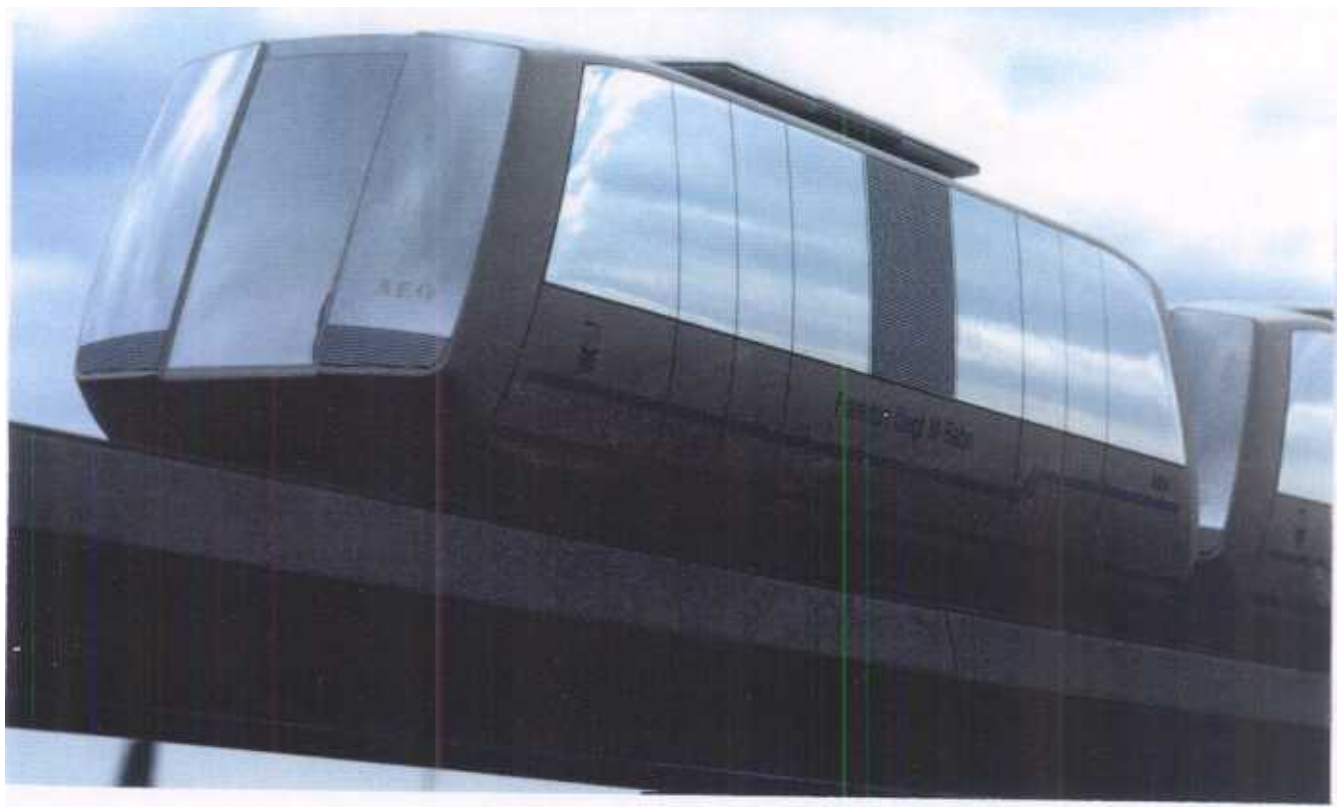
Fahrzeug M80/2

1 Fahrweg
2 Laufgitter
3 Primärfeder
4 Schwebegestellstruktur
5 Weichenlaufräder
6 Horizontalführungsrollen
7 Permanentmagnete
8 Wanderfeldstator
9 Vertikalführungsrollen
10 Luftfederung
11 Stromabnehmer
12 Stromschiene
13 Linienleiter
14 Kabelkanal

AEG

M-Bahn
Anlage Frankfurt

Fahrzeug E01
Design



AEG

M-Bahn
Anlage Berlin

Fahrzeug M80/2

Systemkurzbeschreibung People Mover (AWA)

Tragen und Führen:

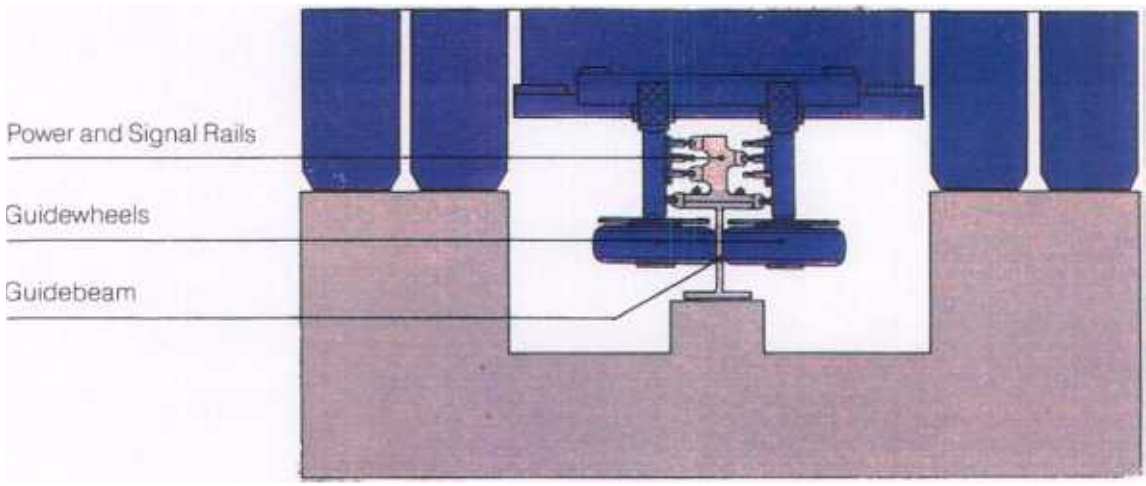
Die Tragfunktion erfolgt über Luftreifen. Jedes Drehgestell eines Fahrzeuges ist einachsig ausgeführt, wobei jeweils zwei Zwillingsreifen zu einer Einheit zusammengefaßt sind. Die Reifen enthalten Notlaufräder. Das Führen erfolgt mittels Rollen, die an einem mittig des Fahrbalkens angeordneten Doppel-T-Profil laufen

Automatischer Betrieb:

Das ATC-System arbeitet mit festgelegten Blockabschnitten, wobei die Signalübertragung zum und vom Fahrzeug über Stromschienen durchgeführt wird. Über eine dieser Stromschienen erfolgt auch die Fahrzeugerdung. Die Fahrzeuggeschwindigkeit wird mit Tachogeneratoren, deren Funktion sicher überwacht wird, geregelt.

Fahrzeugantrieb:

Ein in jedem Drehgestell befestigter Gleichstrom-Fahrmotor (70 kW) treibt über ein Getriebe das Fahrzeug an. Er wird aus einer halbgesteuerten Drehstrombrückenschaltung gespeist. Die Energiezufuhr hierfür erfolgt mit Drehstrom und Stromschienen, die oberhalb des o.g. Doppel-T-Profils angeordnet sind. Die elektrische Bremse arbeitet als reine Widerstandsbremse.



Innovatives Nahverkehrssystem
M-Bahn

AEG

People Mover
Miami Airport

Fahrzeug C100

Systemkurzbeschreibung VAL (MATRA)

Tragen und Führen

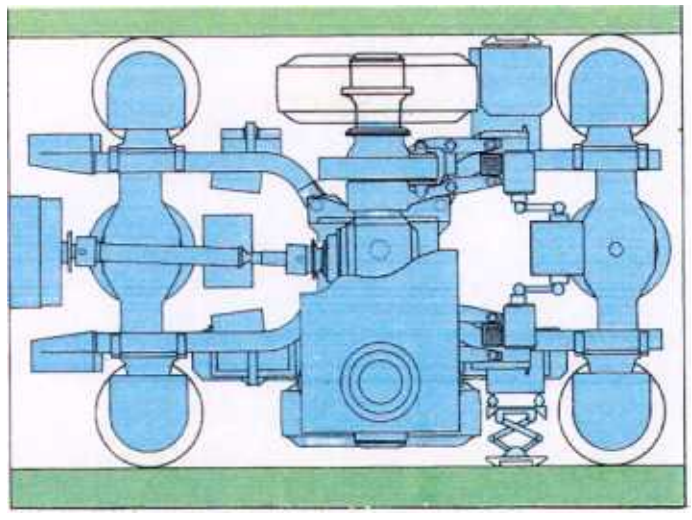
Das Tragen wird mittels Luftreifen vorgenommen. Die Drehgestelle sind einachsig ausgeführt. Die Führfunktion erfolgt durch 4 kleine Reifen in jedem Drehgestell, die an seitlich auf dem Fahrbalken angeordneten Führschienen laufen. Alle Reifen sind mit Notlaufvorrichtungen ausgestattet.

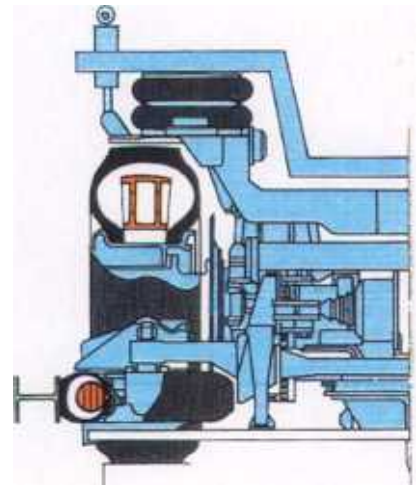
Automatischer Betrieb:

Das VAL-System wird vollautomatisch von einer zentralen Betriebsleitstelle gesteuert. Fahrzeuge und Haltestellen sind unbesetzt. Die Signale für die Betriebssteuerung und -lenkung werden über Kontakte in der Fahrbahn zum Fahrzeug übertragen. Die Zugsicherung arbeitet auf der Basis von Blockab-schnitten, wobei die Fahrzeuggrobortung mittels Ultraschallsensoren, die Feinortung über Linienleiter erfolgt. Zugfolgezeiten unter 60s werden erreicht.

Fahrzeugantrieb:

Die am Wagenkasten befestigten zwei Gleichstrom-Fahrmotoren (je 150 kW) treiben über Kardanwellen und Getriebe das Fahrzeug an. Beide in Reihe geschalteten Motoren werden über einen Zwei-Quadranten-Gleichstromsteller aus einer Gleichstrom-Stromschiene gespeist. Die Führschienen dienen gleichzeitig als Stromschienen. Die anfallende elektrische Bremsenergie wird in die Unterstation zurückgespeist.





VAL

Fahrzeug 256

Systemdatengegenüberstellung M-Bahn/People Mover für Flughafenanwendung

1. Systemdaten

	M-Bahn Fahrzeug E01	People Mover Fahrzeug C100
o Auslegungsgeschwindigkeit für das Fahrzeug	80 km/h	z.Zt.: 75 km/h
o Zugkonfiguration		
min/max Zahl der Fahrzeuge	1/2 | 3	1/3
Systemhöchstgeschwindigkeit	80 km/h | 60 km/h	z.Zt. 75 km/h
o Beschleunigung (Fahrzeug normal beladen)		
-bei Anfahrt	1,2 m/s^2	1,45 m/s^2
-im Mittel bis v max	0,8 m/s^2	0,39 m/s^2
o Verzögerung (Fahrzeug normal beladen)		
-betriebsmäßig	1,2 m/s^2	1,37 m/s^2
-im Notfall	1,2-2,5 m/s^2	3,13 m/s^2
o Breite des Fahrwegs (R=∞) (zweispurig)	5,62 m	7,04 m (1 Fluchtweg)
o Neigung (Betrieb mit voller Zuladung)	>10 %	>10 %
o Minimale Zugfolgezeit (ohne Haltezeit)	40 s	40 s
o Geräusche extern, L_{max} (bei v_{max} in 25m Abstand)	61 dB(A)	
o Min. horizontaler Kurvenradius	50 m	22,8 m
o Min. vertikaler Kurvenradius	600 m	107 m (Senke) 137 m (Kuppe)

Systemdatengegenüberstellung M-Bahn/People Mover für Flughafenanwendung

2. Fahrzeugdaten

		M-Bahn Fahrzeug E01	People Mover Fahrzeug C100	
o	Fahrzeuglänge			
	-über Kupplungen	12,00 m	12,00 m (C-Car)	
	-Wagenkasten	11,60 m	11,89 m (C-Car)	
o	Fahrzeugbreite	2,50 m	2,84 m	
o	Höhen (über Lauffläche)			
	-Fußboden	0,355 m	1,1 m	
	-Dach (mit AC), max	2,899 m	3,37 m	
	-Dach (ohne AC)	2,67 m	3,37 m	
o	Höhen über Grund			
	-Lauffläche	0,8 m	0,56 m	
	-Fußboden	1,155 m	1,66 m	
o	min. Stehplatzhöhe	1,95 m	2,08 m	
o	Fahrzeuggewicht			
	-Fahrzeug unbeladen	122,6 kN	136,2 kN (leer)	138,2 kN)* (8 Sitze)
	-Fahrzeug normal beladen, ca.4P/m²	172,0 kN (72 Pass.)		199,4 kN)* (92 Pass)
	-Fahrzeug beladen, 6P/m²	194,0 kN (104 Pass)		223,4 kN)* (124 Pass)
o	Türen			
	-Anzahl je Fahrzeug	2 x 2	2 x 2	
	-Türbreite	1,30 m	2,13 m	
	-Türhöhe	1,95 m	2,03 m	
o	Nottüren			
	-Anzahl je Fahrzeug	2		
	-lichte Türbreite	0,56 m		
	-Türhöhe	1,95 m		
o	Passagierkapazität			
	-Sitzplätze	8	0	8
	-Stehplatzfläche	16,05 m²	23,87 m²	0,42 m²/Sitzpl. 20,51 m²

)* : Angaben wurden von MB/V21 geschätzt

Systemdatengegenüberstellung M-Bahn/People Mover
für Flughafenanwendung

3. Traktionsausrüstung

\+ M-Bahn, Fahrzeug E01
Der Linearmotor im Fahrweg ist für den Antrieb von zwei Fahrzeugen dimensioniert. Die genannten Spannungs- und Leistungswerte beziehen sich auf die Daten in der Unterstation.

\+ People Mover, Fahrzeug C100
Jedes Fahrzeug enthält zwei Fahrmotoren. Die Spannungs- und Leistungswerte beziehen sich auf die Motordaten im Fahrzeug.

		M-Bahn Fahrzeug E01	People Mover Fahrzeug C100
o	Netzspannung	=,1000V	3~ ; 600V
o	Traktionsmotor	Linearmotor	GS-Reihenschlußmotor
	-Anzahl, bezogen auf 1 Fahrzeug	0.5	2
	-Motorspannung	3~,780V	DC,2 x 400V
	- Leistungsangaben	elektrische Leistung in Unterstation	Wellenleistung eines Motors
	Dauerleistung	325 kVA	75 kW
	Max. Anfahrleistung	740 kVA	ca. 200 kW
o	Elektrische Bremse	ja	ja
	-Widerstandsbremse	nein	ja
	-Netzbremse	ja	nein
	-Widerstandsbremse bei nicht aufnahmefähigem Netz	ja	---
o	Motorsteuerung	Wechselrichter	Gleichrichter
	-Frequenz	0...90Hz	
	-max. motorischer Strom	550A	ca. 480 A
	-max. generatorischer Strom	550A	ca. 320 A

Systemdatengegenüberstellung M-Bahn/VAL
für ÖPNV-Anwendung

1. Systemdaten

	M-Bahn Fahrzeug M80/2	VAL Fahrzeug 256
o Auslegungsgeschwindigkeit für das Fahrzeug	80 km/h	80 km/h
o Zugkonfiguration		
min/max Zahl der Fahrzeuge	1/2 | 3	1/6
Systemhöchstgeschwindigkeit	80 km/h | 60 km/h	80 km/h
o Beschleunigung		
-bei Anfahrt	1/2 m/s^2	1,30 m/s^2
-im Mittel bis v max	0,75 m/s^2	0,44 m/s^2
o Verzögerung		
-betriebsmäßig	1,2 m/s^2	1,35 m/s^2
-im Notfall	1,2 - 2,5 m/s^2	
o Breite des Fahrwegs (R=∞) (zweispurig)	5,128 m	7,40 m (2 Fluchtwege außen)
o Neigung (Betrieb mit voller Zuladung)	>10 %	>10 %
o Minimale Zugfolgezeit (ohne Haltezeit)	40 s	40 s
o Geräusche extern, L_{max} (bei v_{max} in 25m Abstand)	61 dB(A)	72,5 dB(A)
o Min. horizontaler Kurvenradius	50 m	30 m
o Min. vertikaler Kurvenradius	600 m	1050 m

Systemdatengegenüberstellung M-Bahn/VAL
für ÖPNV-Anwendung

2. Fahrzeugdaten

	M-Bahn Fahrzeug M80/2	VAL Fahrzeug 256	
o Fahrzeuglänge			
-über Kupplungen	12,00 m	13,78 m	
-Wagenkasten	11,72 m	(13,18 m)	
o Fahrzeugbreite	2,30 m	2,56 m	
o Höhen (über Lauffläche)			
-Fußboden	0,35 m	0,95 m	
-Dach (mit AC)	---	3,53 m	
-Dach (ohne AC)	2,605 m	(3,33 m)	
o Höhen (über Grund)			
-Lauffläche	0,58 m	0,50 m	
-Fußboden	0,93 m	1,45	
o Min. Stehplatzhöhe	2,074 m		
o Fahrzeuggewicht			
-Fahrzeug unbeladen	109,3 kN	162,8 kN (leer)	169,7 kN)* (28Sitze)
-Fahrzeug normal beladen, 4 P/m²	163,5 kN (79 Pass)		229,5 kN)* (87 Pass)
-Fahrzeug beladen, 6 P/m²	181,4 kN (105 Pass)		249,4 kN)* (116 Pass)
o Türen			
-Anzahl je Fahrzeug	2 x 2	2 x 2	
-Türbreite	1,30 m	2,13 m	
-Türhöhe	1,918 m	2,00 m	
o Nottüren			
-Anzahl je Fahrzeug	2	---	
-Türbreite	0,56 m	---	
-Türhöhe	1,95 m	---	
o Passagierkapazität			
-Sitzplätze	28	0	24
-Stehplatzfläche	12,75 m²	24,5 m²	14,5 m²

)* : Angaben wurden von MB/V21 geschätzt

Systemdatengegenüberstellung M-Bahn/VAL
für ÖPNV-Anwendung

3. Traktionsausrüstung

\+ M-Bahn, Fahrzeug M80/2
Der Linearmotor im Fahrweg ist für den Antrieb von zwei Fahrzeugen dimensioniert. Die genannten Spannungs- und Leistungswerte beziehen sich auf die Daten in der Unterstation.

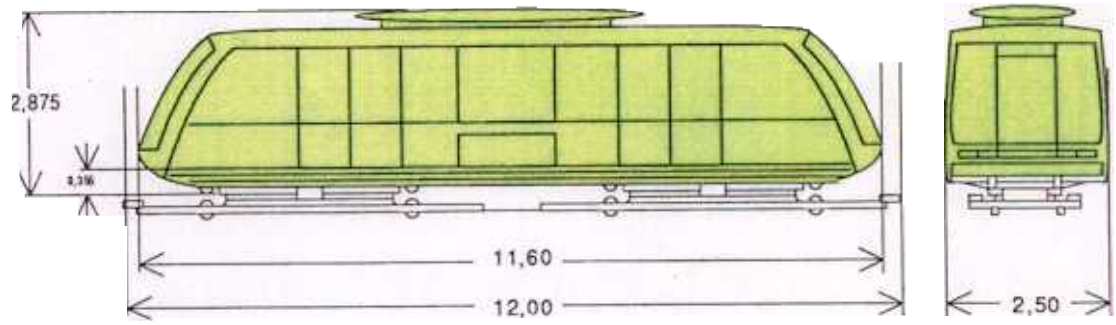
\+ VAL, Fahrzeug 256
Jedes Fahrzeug enthält zwei Fahrmotoren. Die Spannungs- und Leistungswerte beziehen sich auf die Motordaten im Fahrzeug.

		M-Bahn Fahrzeug M80/2	VAL Fahrzeug 256
o	Netzspannung	⎓,1000V	⎓,750V
o	Traktionsmotor	Linearmotor	GS-Reihenschlußmotor
	-Anzahl, bezogen auf 1 Fahrzeug	0,5	2
	-Motorspannung	3~,700 V	⎓, 2 x 375 V
	- Leistungsangaben	elektrische Leistung in Unterstation	Wellenleistung eines Motors
	Dauerleistung	325 kVA	150 kW
	Max. Anfahrleistung	740 kVA	ca.170 kW
o	Elektrische Bremse	ja	ja
	-Widerstandsbremse	nein	nein
	-Netzbremse	ja	ja
	-Widerstandsbremse bei nicht aufnahmefähigem Netz	ja	
o	Motorsteuerung	Wechselrichter	Chopper
	-Frequenz	0...90 Hz	?
	-max. motorischer Strom	550 A	ca. 530 A
	-max. generatorischer Strom	550 A	ca. 840 A

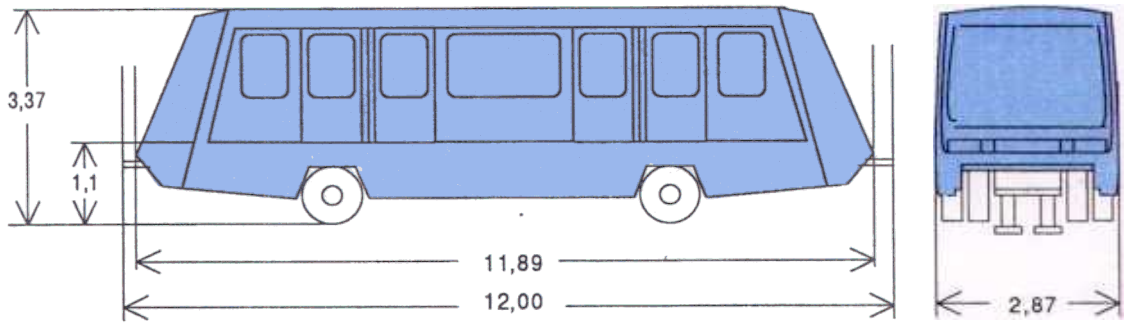
Vergleich M-Bahn (E01) / People Mover (C100)

Fahrzeugabmessungen

Außenmaße:
- Dachhöhe (mit Klimaanlage) und Fußbodenhöhe über Lauffläche
- Länge über Wagenkasten und über Kupplung
- Wagenkastenbreite



Fahrzeug E01

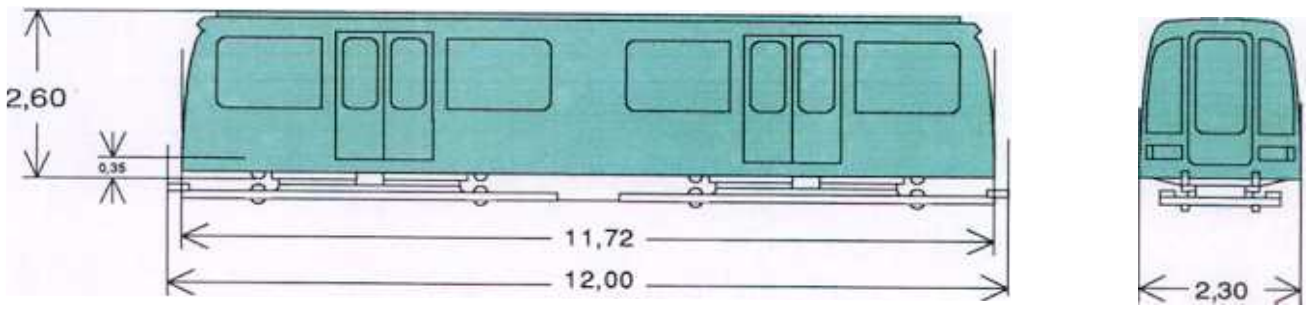


Fahrzeug C100

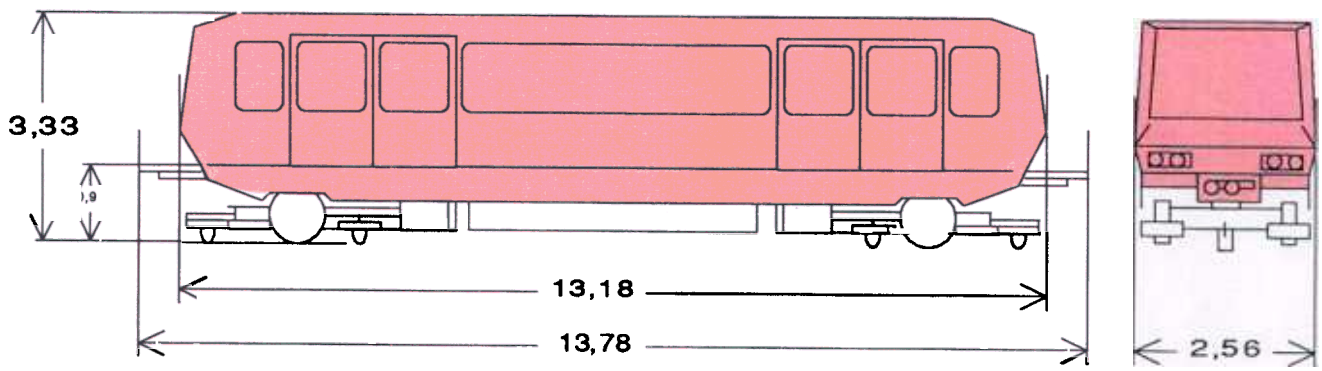
Vergleich M-Bahn (M80/2) / VAL (256)

Fahrzeugabmessungen

Außenmaße:
- Dachhöhe (ohne Klimaanlage) und Fußbodenhöhe über Lauffläche
- Länge über Wagenkasten und über Kupplung
- Wagenkastenbreite



Fahrzeug M80/2



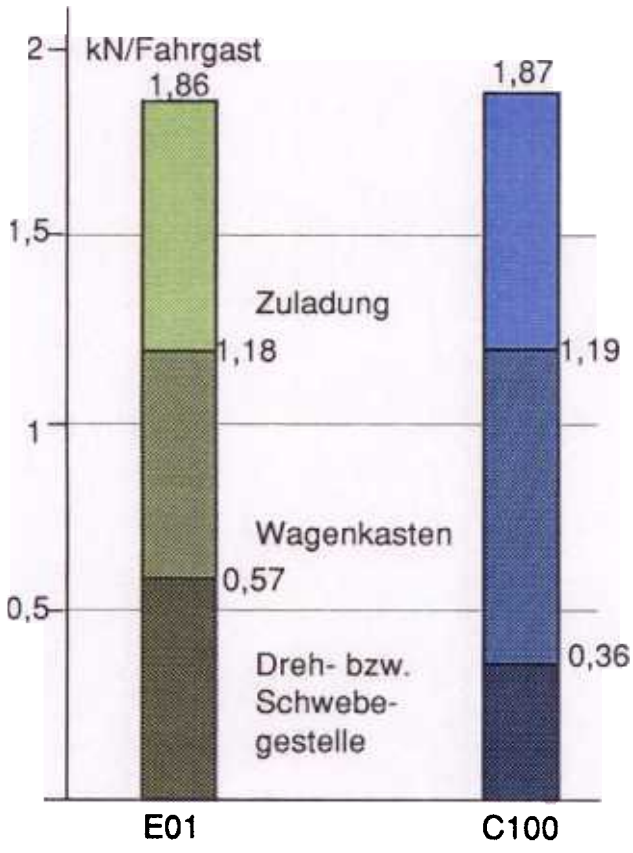
Fahrzeug 256

Vergleich
M-Bahn / People Mover

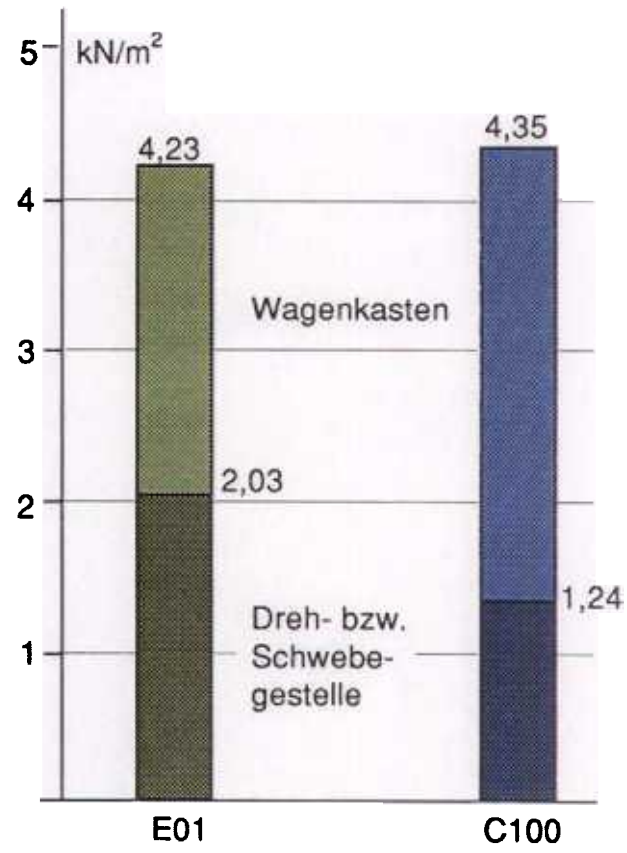
Fahrzeuggewichte

Die Fahrzeuge sind mit je 8 Sitzplätzen ausgestattet. Als Beladung für den Vergleich wird AW2-Last (6 Pers./m ^{2}) angesetzt. Die Fahrzeuge haben eine Klimaanlage.

	- Fahrzeug unbeladen	- Fahrzeug beladen:	- Wagenkastengrundfläche
MB: E01	: 122,6 kN (12,5 t)	194,0 kN(19,78 t), 104 Fahrgäste	11,60 * 2,50 m = 29,0 m^2
PM: C100	: 147,1 kN (15,0 t)	232,3 kN(23,68 t), 124 Fahrgäste	11,89 * 2,84 m = 33,8 m^2



Gesamtgewicht
auf Fahrgast bezogen



Leergewicht
auf Grundfläche bezogen

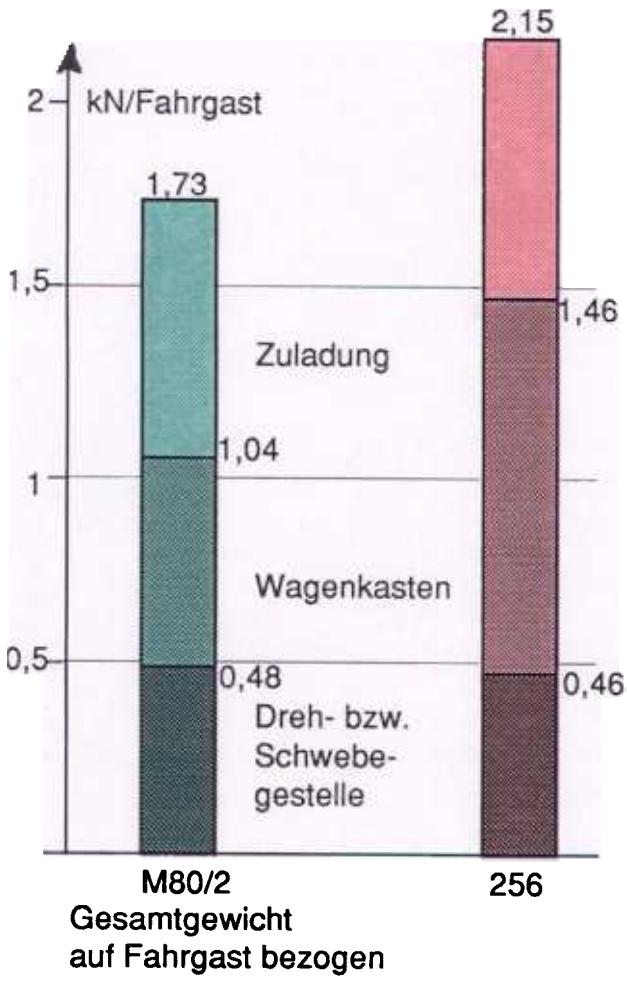
Die auf Fahrgäste und Wagenkastengrundfläche bezogenen Gewichte beider Fahrzeugtypen sind nahezu gleich

Vergleich M-Bahn / VAL

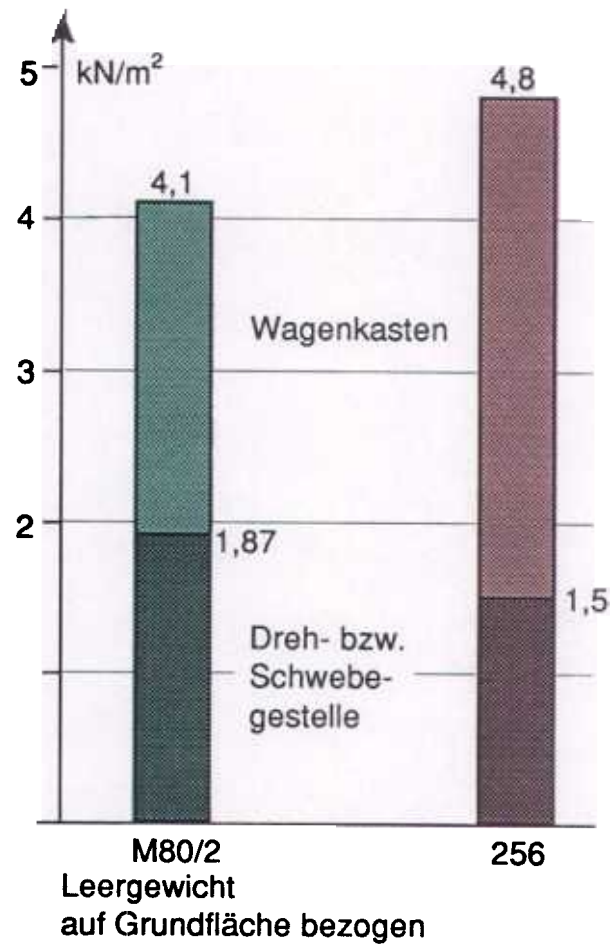
Fahrzeuggewichte

Die Fahrzeuge sind mit je 28 Sitzplätzen ausgestattet. Als Beladung für den Vergleich wird AW2-Last (6 Pers./m ^{2}) angesetzt. Die Fahrzeuge haben keine Klimaanlage.

	- Fahrzeug unbeladen	- Fahrzeug beladen:	- Wagenkastengrundfläche
MB: M80/2	: 109,3 kN (11,1 t)	181,4 kN(18,49 t), 105 Fahrgäste	11,60 * 2,30 m = 26,7 m^2
VAL: 256	: 169,7 kN (17,3 t)	249,4 kN(25,40 t), 116 Fahrgäste	13,80 * 2,56 m = 35,3 m^2



Gesamtgewicht
auf Fahrgast bezogen



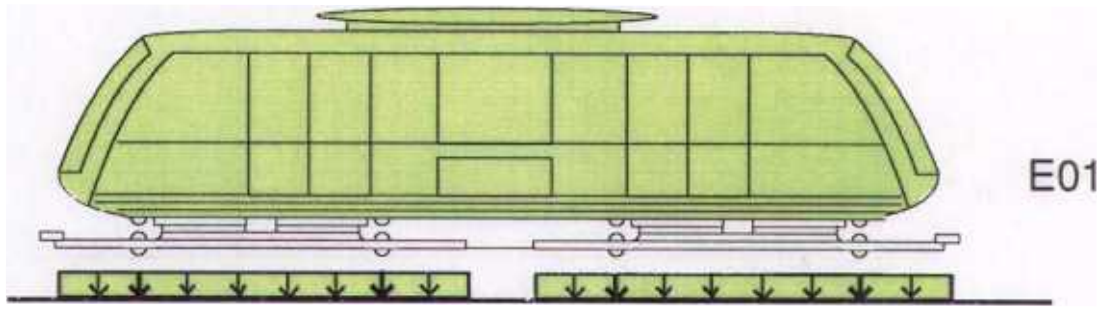
Leergewicht
auf Grundfläche bezogen

Die auf Fahrgast und Grundfläche bezogenen Gewichte des MB-Fahrzeuges sind niedriger als die des VAL-Fahrzeuges

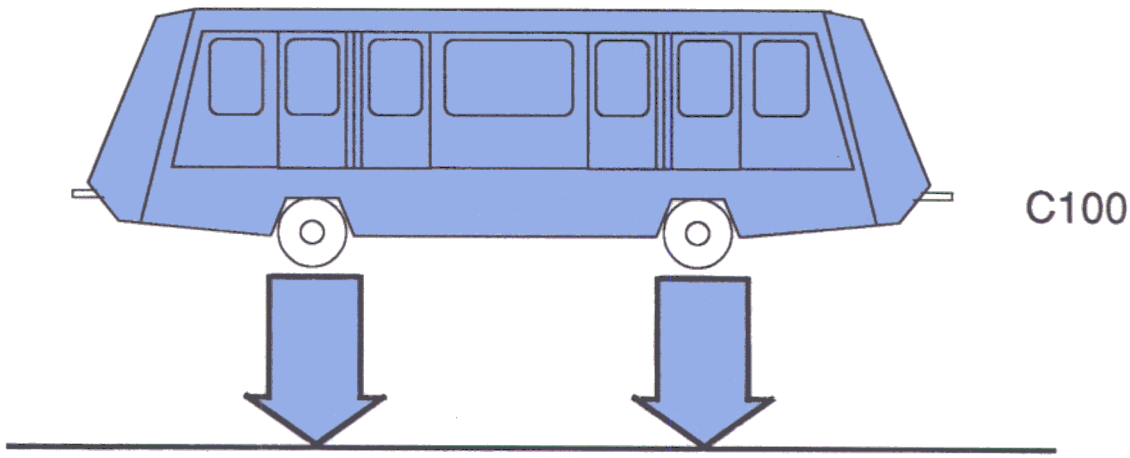
Vergleich M-Bahn (E01) / People Mover (C100)

Fahrzeug-gewichtsverteilung

- Fahrzeug beladen (6 P/m ^{2})	E01	194,0 kN
	C100	232,3 kN



Streckenlast und Rollenlasten je Seite:
8,0 kN/m + 4 x 4,85 kN

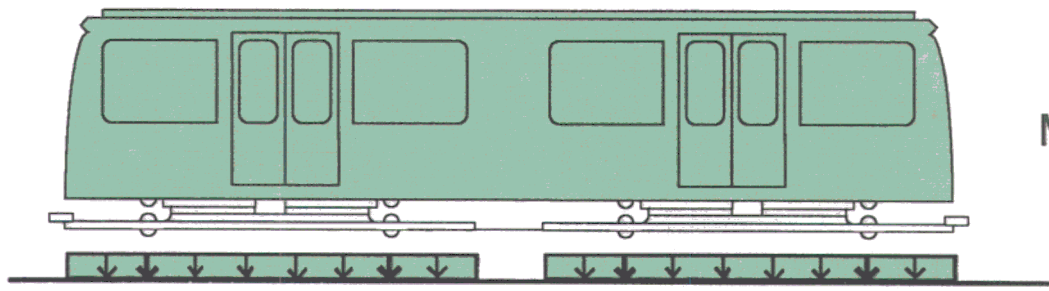


Radlasten je Seite:
116,2 kN (= 2 x 58,1 kN)

Vergleich M-Bahn (M80/2) / VAL (Typ 256)

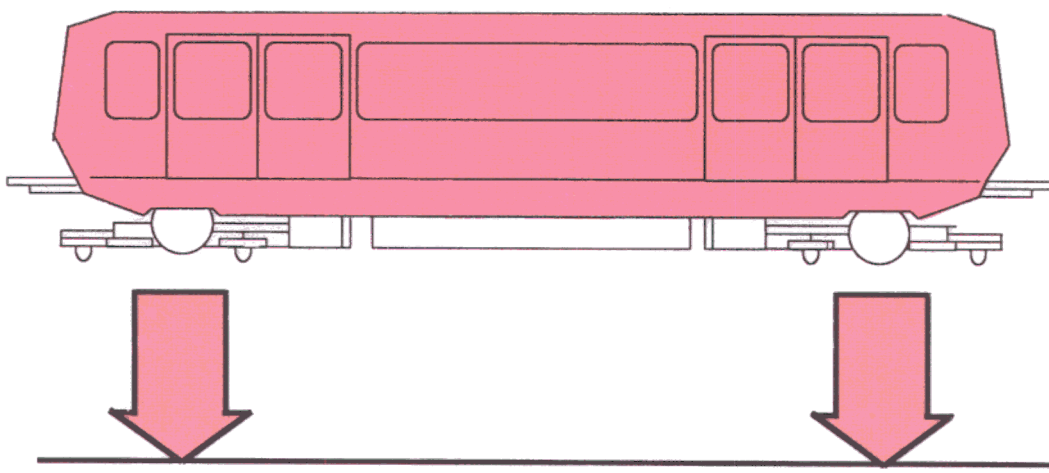
Fahrzeug-gewichtsverteilung

- Fahrzeug beladen (6 P/m ^{2}) M80/2: 181,4 kN
  256 : 249,4 kN



M80/2

Streckenlast und Rollenlasten je Seite:
7,5 kN/m + 4 x 4,5 kN



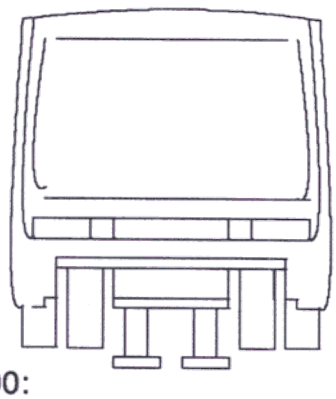
256

Radlasten je Seite:
124,7 kN (= 2 x 62,35 kN)

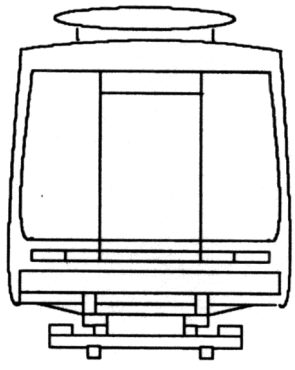
Vergleich M-Bahn (E01) / People Mover (C100)

Bewegungswiderstand

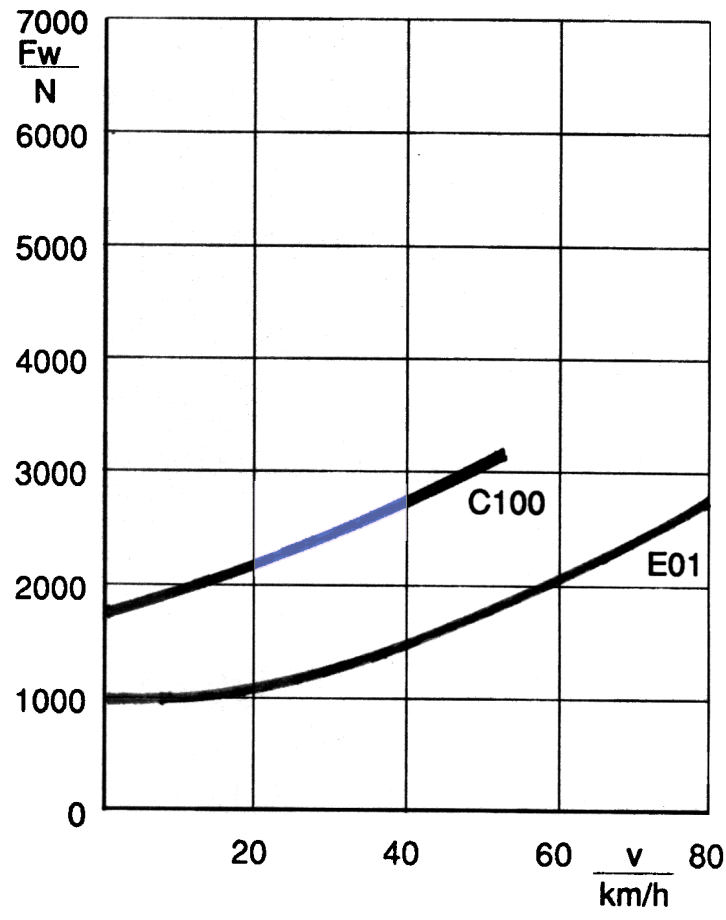
E01: Gesamtgewicht 194,0 kN (6 Pers./m²)
C100: Gesamtgewicht 232,3 kN (6 Pers./m²)



C100:
Windangriffsfläche: ca. 8,7 m²
Tragkraft je Reifen: ca. 29,0 kN



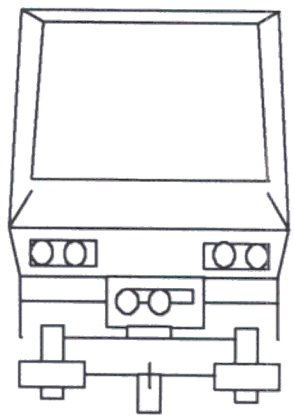
E01:
Windangriffsfläche: ca. 6,2 m²
Tragkraft je Rolle: ca. 4,85 kN



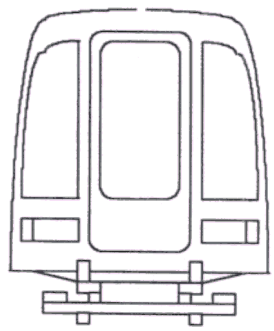
Vergleich M-Bahn (M80/2) / VAL (Typ 256)

Bewegungswiderstand

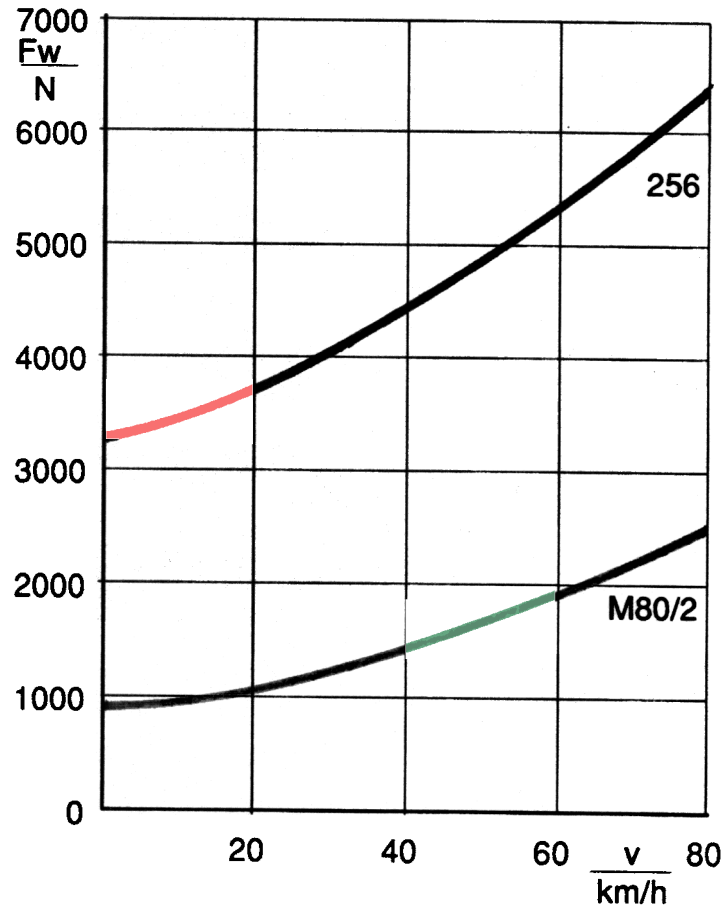
- M80/2: Gesamtgewicht 181,4 kN (6 Pers./m²)
- 256: Gesamtgewicht 249,4 kN (6 Pers./m²)



VAL 256:
Windangriffsfläche: ca. 7,5 m²
Tragkraft je Reifen: ca. 62,4 kN



M80/2:
Windangriffsfläche: ca. 5,7 m²
Tragkraft je Rolle: ca. 4,5 kN



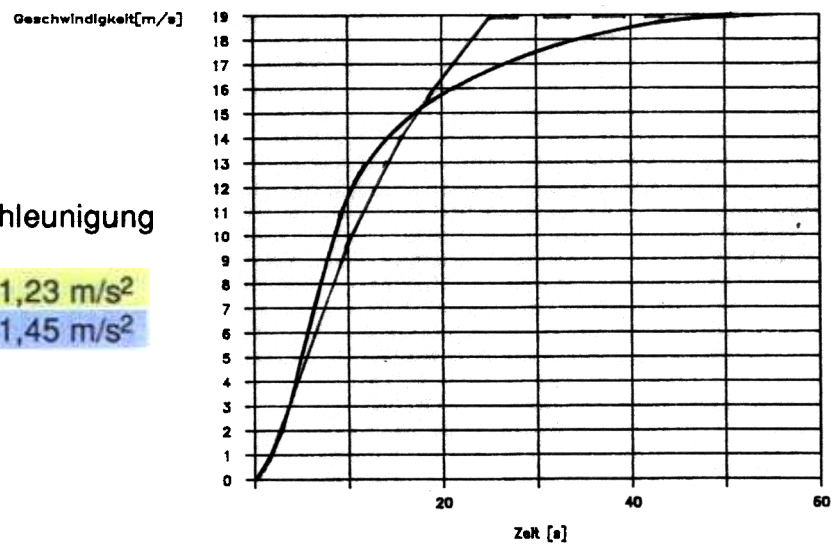
Vergleich M-Bahn (E01) / People Mover (C100)

Energieverbrauch Beschleunigungsphase

Beschleunigung vom Stillstand bis 68,4 km/h (19,0 m/s)
bei maximaler Leistung.
Fahrzeugbeladung mit 4,74 P/m ^{2}.
Gewicht: E01 175 kN; 84 Passagiere
C100 215,8 kN; 100 Passagiere

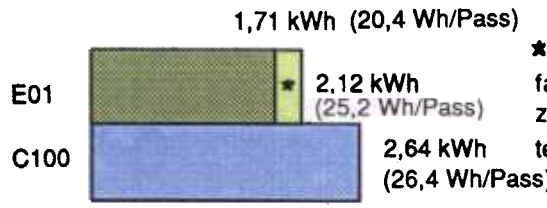
max. Beschleunigung

E01:	1,23 m/s^2
C100:	1,45 m/s^2



Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm

Energie-verbrauch



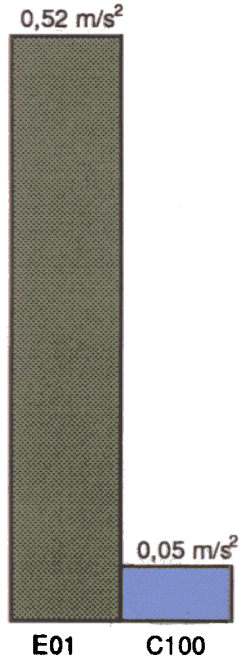
* Zusätzlicher Anteil für Beharrungsfahrt um die gleiche Strecke zurückzulegen, wie VAL 256 in der gesamten Beschleunigungsphase

Der Energieverbrauch bezieht sich auf die Traktion. Bei der M-Bahn werden die Verluste im Wechselrichter und im Langstatormotor berücksichtigt. Die Rechnung erfolgte für einen Zwei-Wagen-Zug. Die Energiewerte beziehen sich auf einen Wagen. Der relativ höhere Luftwiderstand wurde berücksichtigt.

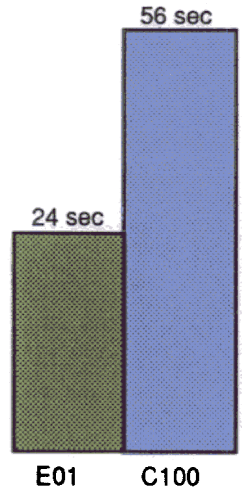
Vergleich M-Bahn (E01) / People Mover (C100)

Beschleunigungsphase Fahrdynamische Merkmale

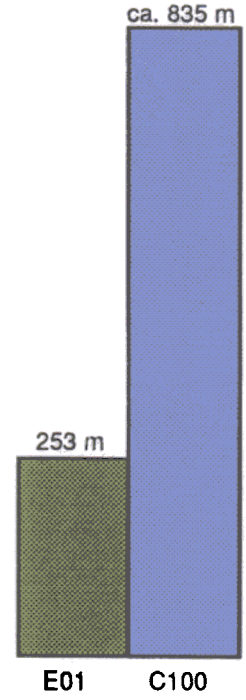
Beschleunigung vom Stillstand bis 68,4 km/h (19,0 m/s)
bei maximaler Leistung.
Fahrzeugbeladung mit 4,74 P/m ^{2}.
Gewicht: E01 175 kN; 84 Passagiere
C100 215,8 kN; 100 Passagiere



Restbeschleunigungs-
vermögen bei 68,4 km/h



Fahrzeit bis
68,4 km/h



Zurückgelegter Weg
bis 68,4 km/h

Die fahrdynamischen Daten der M-Bahn gelten für einen Zwei-Wagen-Zug.
Für einen Wagen sind noch günstigere Daten zu erwarten.

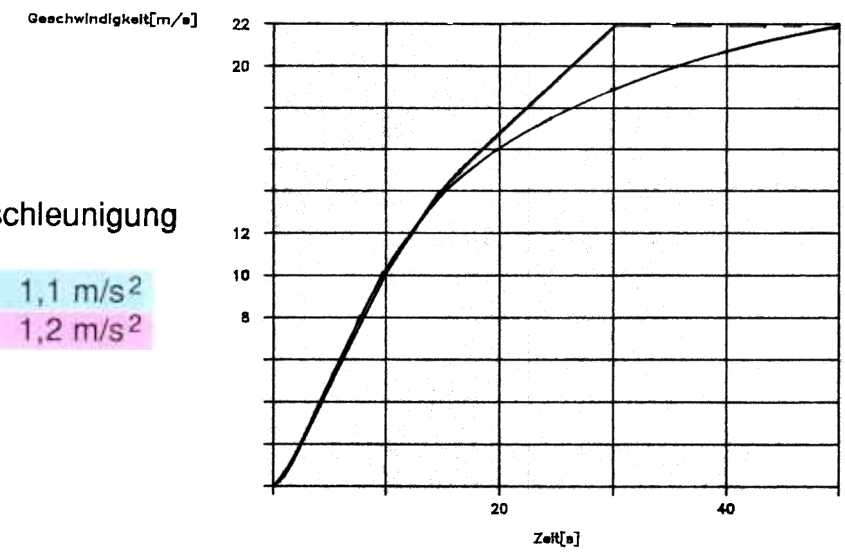
Vergleich M-Bahn (M80/2) / VAL (256)

Energieverbrauch Beschleunigungsphase

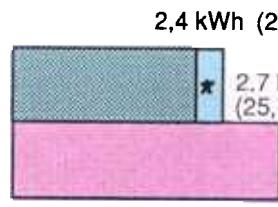
Beschleunigung vom Stillstand bis 78,3 km/h (21,75 m/s)
bei maximaler Leistung.
Fahrzeugbeladung mit 6 P/m ^{2}.
Gewicht: M80/2 181,4 kN; 105 Passagiere
256 249,4 kN; 116 Passagiere

max. Beschleunigung

M80/2:	1,1 m/s^2
256:	1,2 m/s^2



Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm



Energie-verbrauch

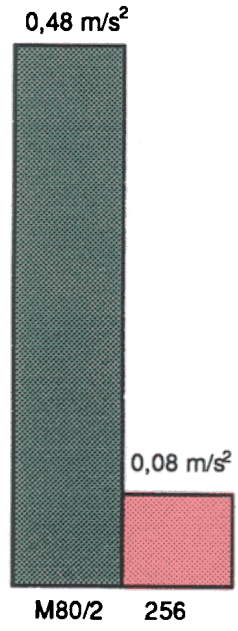
*Zusätzlicher Anteil für Beharrungsfahrt um die gleiche Strecke zurückzulegen, wie VAL 256 in der gesamten Beschleunigungsphase

Der Energieverbrauch bezieht sich auf die Traktion. Bei der M-Bahn werden die Verluste im Wechselrichter und im Langstatormotor berücksichtigt. Die Rechnung erfolgte für einen Zwei-Wagen-Zug. Die Energiewerte beziehen sich auf einen Wagen. Der relativ höhere Luftwiderstand wurde berücksichtigt.

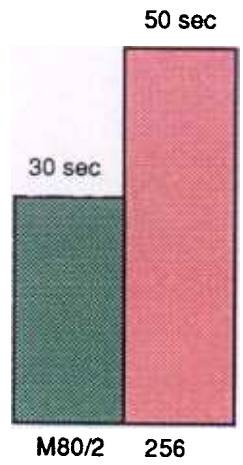
Vergleich M-Bahn (M80/2) / VAL (256)

Beschleunigungsphase Fahrdynamische Merkmale

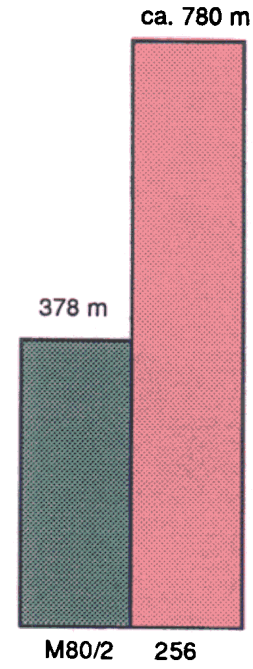
Beschleunigung vom Stillstand bis 78,3 km/h (21,75 m/s)
bei maximaler Leistung.
Fahrzeugbeladung mit 6 P/m^2.
Gewicht: M80/2 181,4 kN; 105 Passagiere
256 249,4 kN; 116 Passagiere



Restbeschleunigungs-
vermögen bei 78,3 km/h



Fahrzeit bis
78,3 km/h



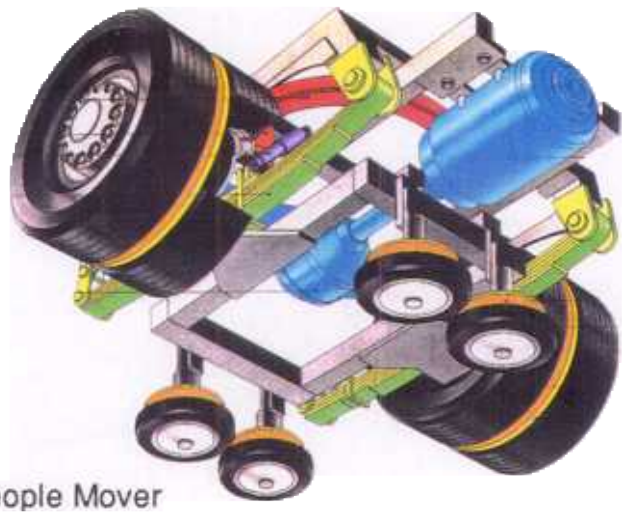
Zurückgelegter Weg
bis 78,3 km/h

Die fahrdynamischen Daten der M-Bahn gelten für einen Zwei-Wagen-Zug.
Für einen Wagen sind noch günstigere Daten zu erwarten.

AEG

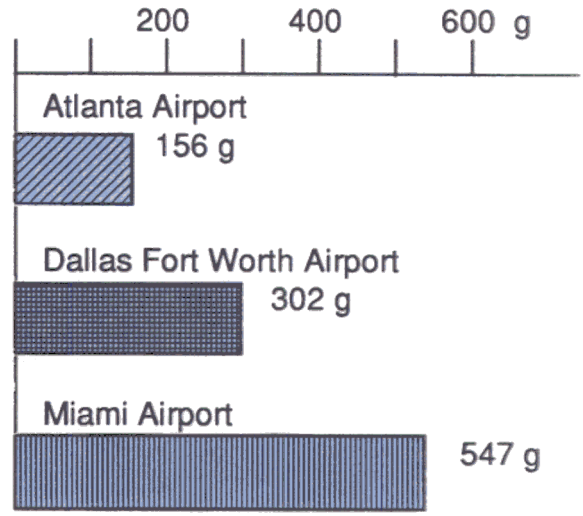
Vergleich
M-Bahn / People Mover

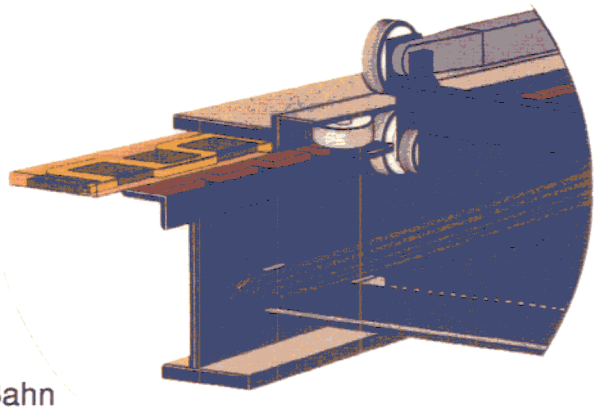
Angaben je Fahrzeug und 1000 km



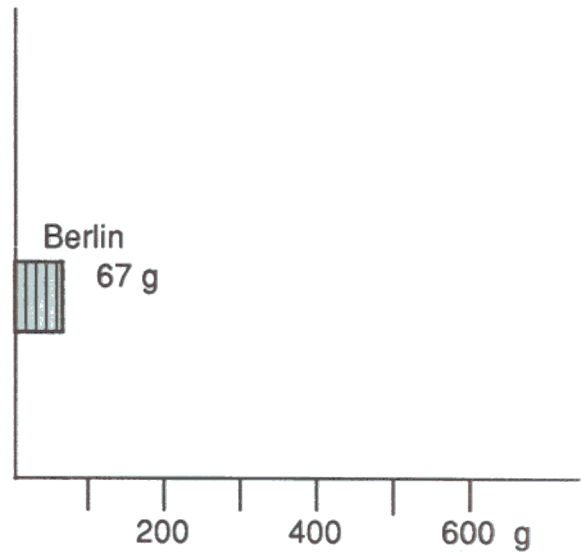
People Mover

Abrieb an Reifen, Steuer- und Führungsrollen





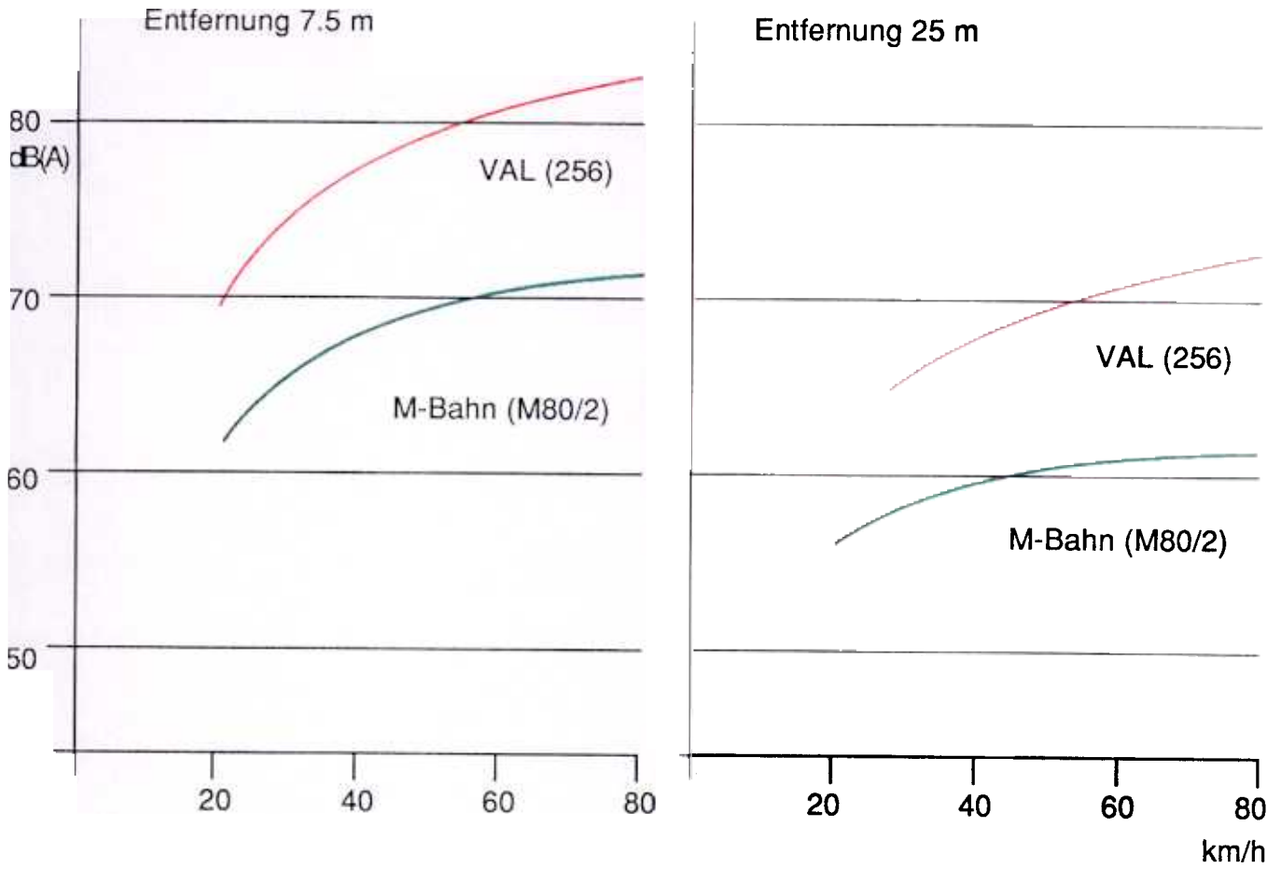
M-Bahn



Vergleich M-Bahn (M80/2) / VAL (Typ 256)

Außengeräusche L_{max}

Betrieb mit Einzelwagen, keine Klimaanlage,
keine zusätzlichen Lärmschutzmaßnahmen
(10 dB(A) entspricht Geräuschverdoppelung bzw -halbierung)

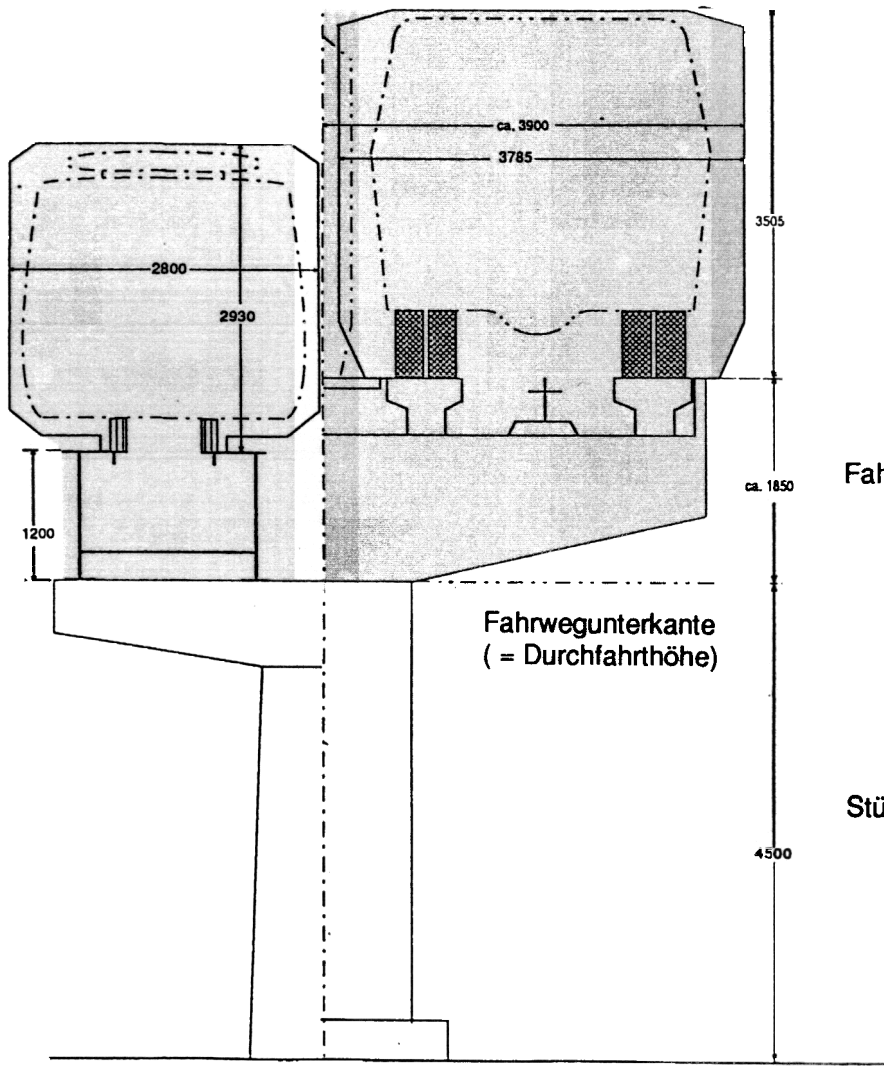


Beim VAL-System sind die Außengeräusche wegen Fahrmotor, Getriebe und Lüfteraggregat ca. 5 - 10 dB(A) höher als bei M-Bahn

Vergleich
M-Bahn (E01) /
People Mover (C100)

Aufgeständerter Fahrweg
Typische Ausführung
Stützenweite ca. 25 m

Fahrzeug
E01



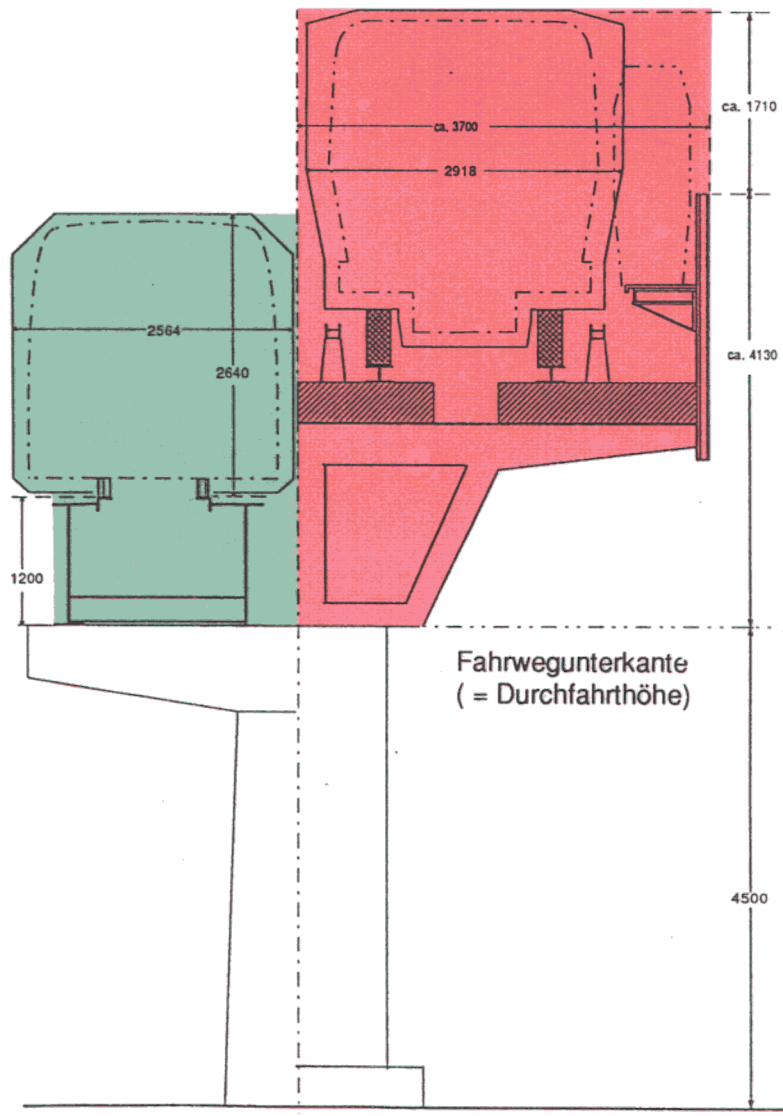
Fahrzeug
C100

Beim M-Bahn System ist der Fluchtweg im Fahrweg integriert,
beim People Mover ist er normalerweise mittig angeordnet

AEG

Vergleich M-Bahn (M80/2) / VAL (256)

Aufgeständerter Fahrweg
Typische Ausführung
Stützenweite ca. 25 m



Fahrzeug M80/2

Fahrzeug 256

Fahrweg

Fahrwegunterkante
(= Durchfahrthöhe)

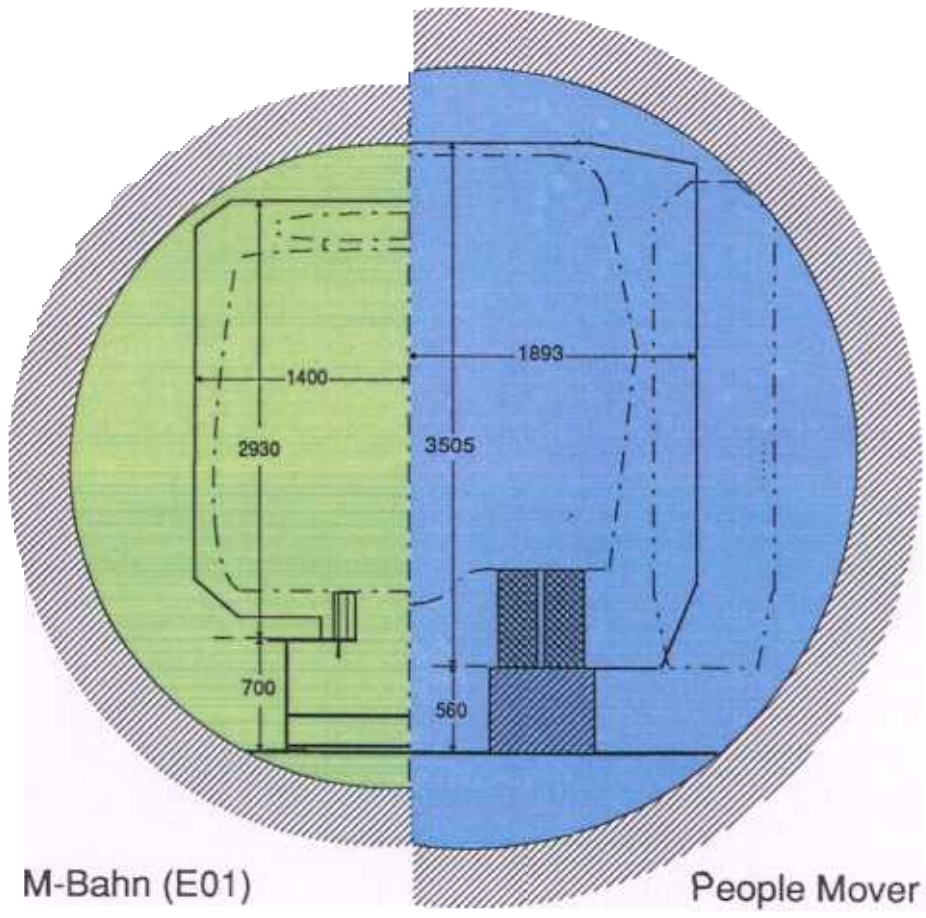
Stütze

Beim M-Bahn System ist der Fluchtweg im Fahrweg integriert,
beim VAL System ist er normalerweise an den Seiten angeordnet

Vergleich
M-Bahn (E01) / People Mover (C100)

Einfachfahrweg im Tunnel
Geschlossene Bauweise
Typische Ausführung

Tunneldurchmesser
- E01 : ca. 4,30 m (Querschnittsfläche = 14,5 m² = 100 %)
- C100 : ca. 5,03 m (Querschnittsfläche = 19,9 m² = 137 %)

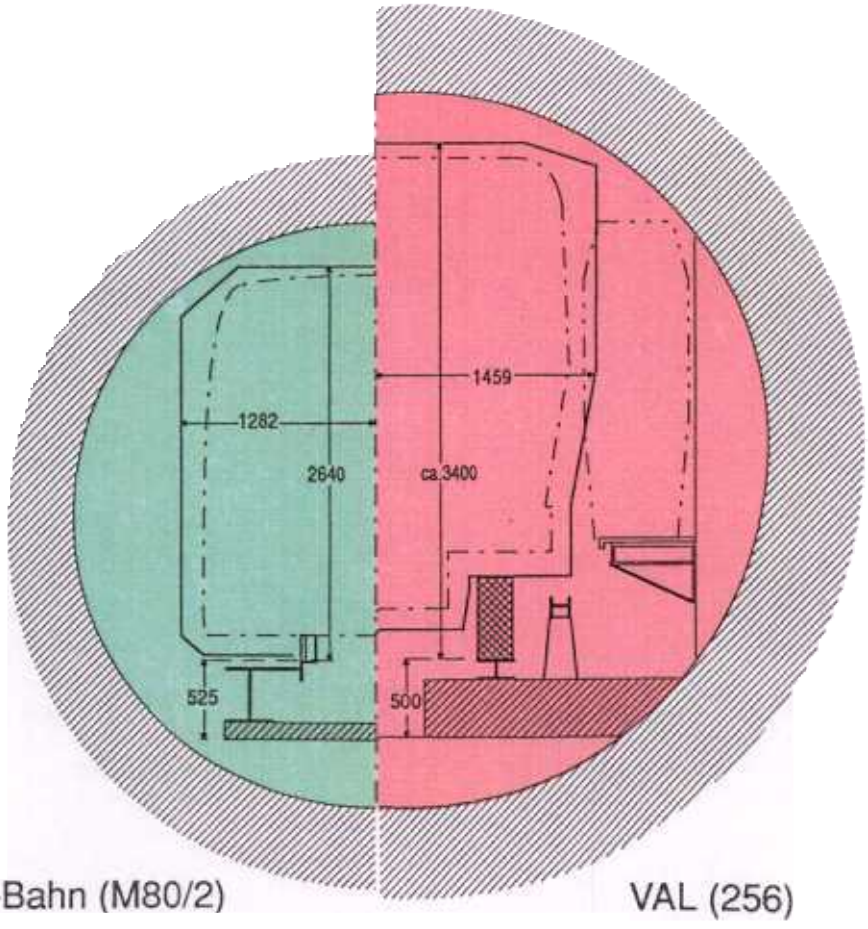


Beim M-Bahn System ist der Fluchtweg im Fahrweg integriert,
beim People Mover System normalerweise Seitlich des Fahrweges angeordnet

Vergleich
M-Bahn (M80/2) / VAL 256

Einfachfahrweg im Tunnel
Geschlossene Bauweise
Typische Ausführung

Tunneldurchmesser
- M80/2 : ca. 3,90 m (Querschnittsfläche = 11,9 m² = 100 %)
- 256 : ca. 4,70 m (Querschnittsfläche = 17,3 m² = 145 %)

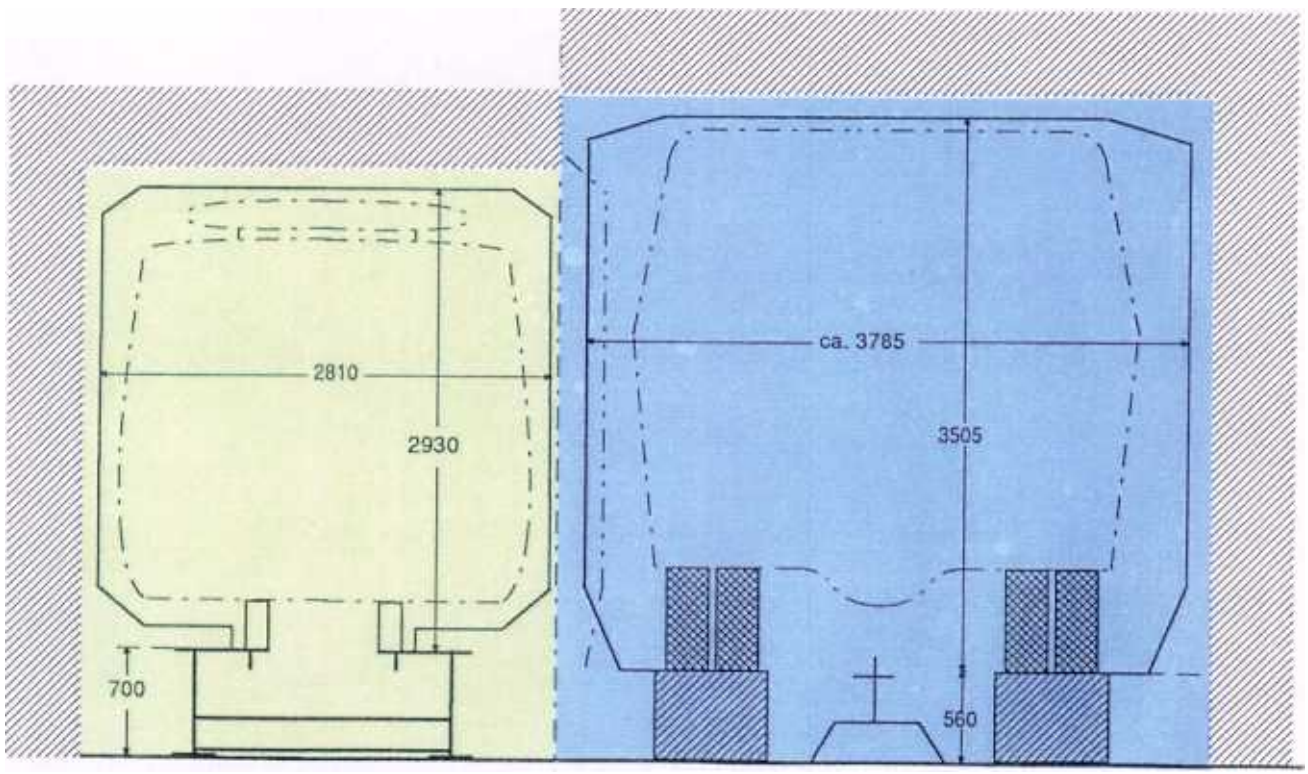


Beim M-Bahn System ist der Fluchtweg im Fahrweg integriert,
beim VAL System ist er seitlich angeordnet

Vergleich
M-Bahn (E01) / People Mover (C100)

Doppelfahrweg im Tunnel
Offene Bauweise
Typische Ausführung

Tunnelquerschnitte für zweispurigen Fahrweg:
- E01 : ca. 21,7 m^2 (= 100 %)
- C100 : ca. 33,3 m^2 (= 153 %)



M-Bahn (E01)

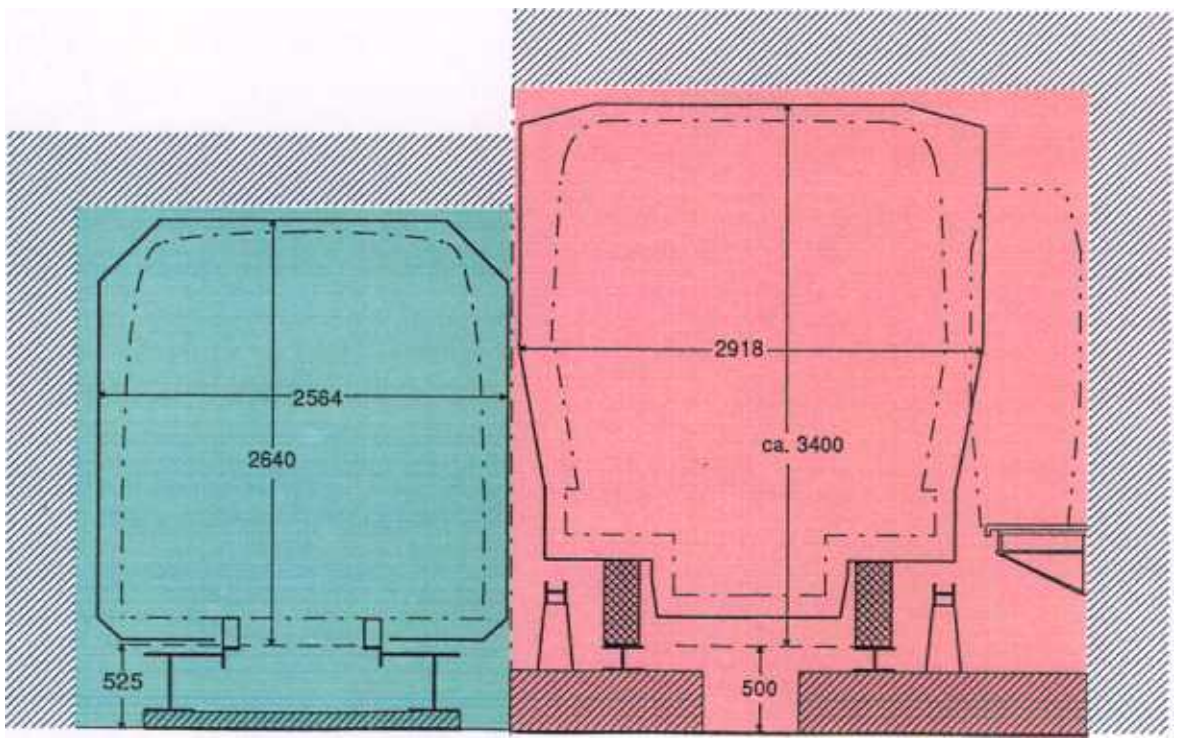
People Mover (C100)

Beim M-Bahn System ist der Fluchtweg im Fahrweg integriert,
beim People Mover System normalerweise zwischen den Fahrwegen angeordnet

Vergleich
M-Bahn (M80/2) / VAL (256)

Doppelfahrweg im Tunnel
Offene Bauweise
Typische Ausführung

Tunnelquerschnitte für zweispurigen Fahrweg:
- M80/2 : ca. 17,4 m^2 (= 100 %)
- 256 : ca. 28,1 m^2 (= 161 %)

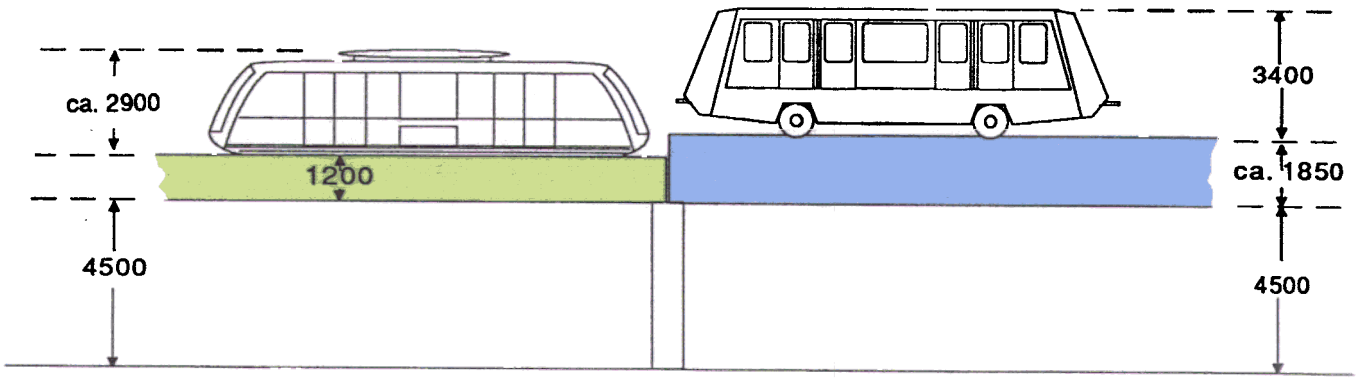


M-Bahn (M80/2) VAL (256)

Beim M-Bahn System ist der Fluchtweg im Fahrweg integriert,
beim VAL System ist er normalerweise an den Seiten angeordnet

Vergleich
M-Bahn (E01) /
People Mover (C100)

Fahrwegseitenansicht
Typische Ausführung
Stützenweite ca. 25 m



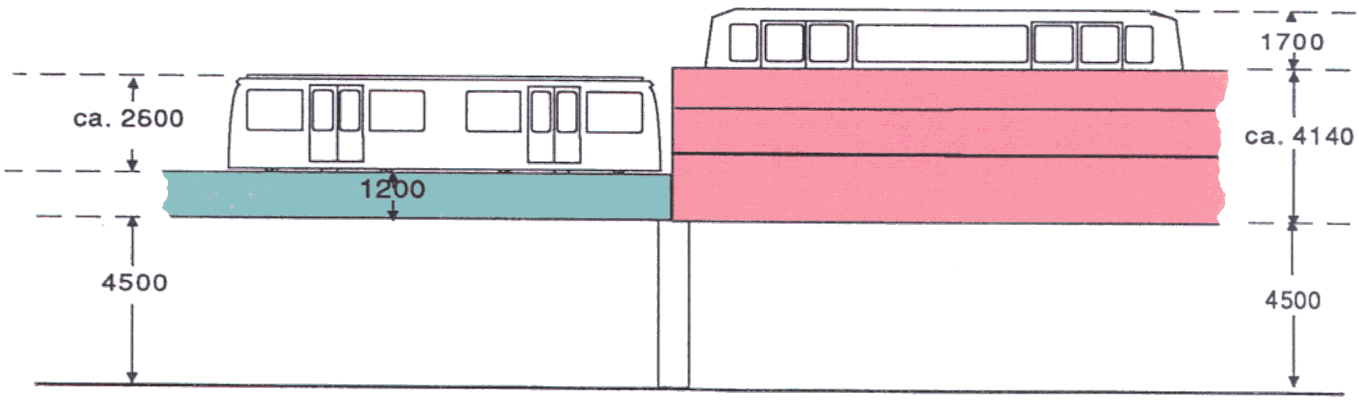
E01 C100

M-Bahn (E01)
Es sind keine Sicht- und Schallschutzwände erforderlich, da die Trag- und Führelemente innerhalb des Fahrweges laufen

People Mover (C100)
Im Fahrwegträger ist eine Sichtblende integriert

Vergleich M-Bahn (M80/2) / VAL 256

Fahrwegseitenansicht
Typische Ausführung
Stützenweite ca. 25 m



M-Bahn (M80/2)

VAL (256)

M-Bahn (M80/2)
Es sind keine Sicht- und Schallschluckwände erforderlich, da die Trag- und Führelemente innerhalb des Fahrweges laufen

VAL (256)
Üblicherweise werden am Fahrwegträger Sicht- und Schallschluckwände angebracht, die gleichzeitig als Abgrenzung des außenliegenden Notlaufweges dienen.

Fahrweg in Lille

Vergleich der Investitionskosten

Die Kostenvergleiche werden für zwei verschiedene Anwendungsfälle durchgeführt. Basis war ein vergleichbares Beförderungsangebot. Dies führt wegen der unterschiedlichen Baugrößen der Wagenkästen und damit ungleichen Fassungsvermögen zu unterschiedlichen Zugfolgezeiten.

1.) Airport-Anwendung

Linienlänge 3 km; 4 Haltestellen
zweispurige aufgeständerte Ausführung,
Beförderungsvolumen 4000 pphpd (3,7 P/m^2)
Betrieb mit Zwei-Wagen-Zügen, Kurzkehren

M-Bahn (E01):

Sitz-/Stehplätze: 8 + 59 = 67 Passagiere/Fahrzeug

minimale rechnerische Umlaufzeit:	590 s
praktische Umlaufzeit:	600 s

Zugfolgezeit: 120 s; Betriebsfahrzeuge: 2 x 5=10 Fahrzeuge

mittlere Umlaufgeschwindigkeit:	36 km/h
Reisegeschwindigkeit:	37 km/h
Beförderungsvolumen:	4020 ppdph
Gesamtzahl Fahrzeuge:	12 Fahrzeuge

People Mover (C 100):

Sitz-/Stehplätze: 8 + 76 = 84 Passagiere/Fahrzeug

minimale rechnerische Umlaufzeit :	590 s
praktische Umlaufzeit:	600 s

Zugfolgezeit 150 s; Betriebsfahrzeuge: 2 x 4 = 8 Fahrzeuge

mittlere Umlaufgeschwindigkeit:	36 km/h
Reisegeschwindigkeit:	37 km/h
Beförderungsvolumen:	4032 pphpd
Gesamtzahl Fahrzeuge:	10 Fahrzeuge

2.) ÖPNV-Anwendung

Linienlänge 12 km; 20 Haltestellen
zweispurige Ausführung; 2/3 untertunnelt; 1/3 aufgeständert
Beförderungskapazität: > 4500 pphpd (4 P/m^2)
Betrieb mit Zwei-Wagen-Zügen , Langkehren

M-Bahn M80/2

Sitz-/Stehplätze: 28 + 51 = 79 Passagiere/Fahrzeug
minimale rechnerische Umlaufzeit: 2544 s
praktische Umlaufzeit : 2640 s
Zugfolgezeit: 120 s; Betriebsfahrzeuge: 2 x 22 = 44 Fahrzeuge
mittlere Umlaufgeschwindigkeit: 32,7 km/h
Reisegeschwindigkeit: 36,0 km/h
Beförderungsvolumen: 4740 pphpd
Gesamtzahl Fahrzeuge: 50 Fahrzeuge

VAL (Typ 256)

Sitz-/Stehplätze: 28 + 56 = 84 Passagiere/Fahrzeug
minimale rechnerische Umlaufzeit: 2544 s
praktische Umlaufzeit: 2625 s
Zugfolgezeit: 125 s; Betriebsfahrzeuge: 2 x 21 = 42 Fahrzeuge
mittlere Umlaufgeschwindigkeit: 32,9 km/h
Reisegeschwindigkeit: 36,0 km/h
Beförderungsvolumen: 4838 pphpd
Gesamtzahl Fahrzeuge: 48 Fahrzeuge

In den einzelnen Subsystemen sind nachstehende Baugruppen enthalten:

1 Energieversorgung mit
Mittelspannungsschaltfeldern und Übergabestationen
Traktionstransformatoren, Verkabelung
Unterbrechungsfreie Stromversorgungen, Eigenbedarfs-
versorgungen

2. Antrieb mit
Traktionsmotor/Linearmotor, Antriebsstromrichter,
Antriebsregelung bzw. -steuerung, Verkabelung

3. Fahrzeuge
Gesamtausrüstung abzüglich Antrieb und Aufwand für Betriebsleittechnik.
Klimaanlage nur bei Anwendungsfall 1.

4. Betriebsleittechnik mit
Betriebs- und Sicherungstechnik,
Betriebsleitzentrale, Ausrüstung in Fahrzeugen, Strecke und Haltestellen
inklusive Kommunikation/Fahrgast-Information

5. Fahrweg mit
Stützen , Trägerbauwerke incl. Ausrüstung, Tunnel,
Gleisverbinder und Weichen,
Fahrweganlage im Depot

6. Infrastruktur mit
Gebäuden für Haltestellen, Unterstationen,
Betriebshof, Betriebsleitzentrale,
Fahrweggründungen

7. Betriebsausrüstung mit
Bahnsteigtüranlagen, Stationsausrüstungen,
Betriebshof-und Werkstattausrüstung, Betriebsfahrzeug
Sonderbetriebsmittel, Test- und Prüfgeräte

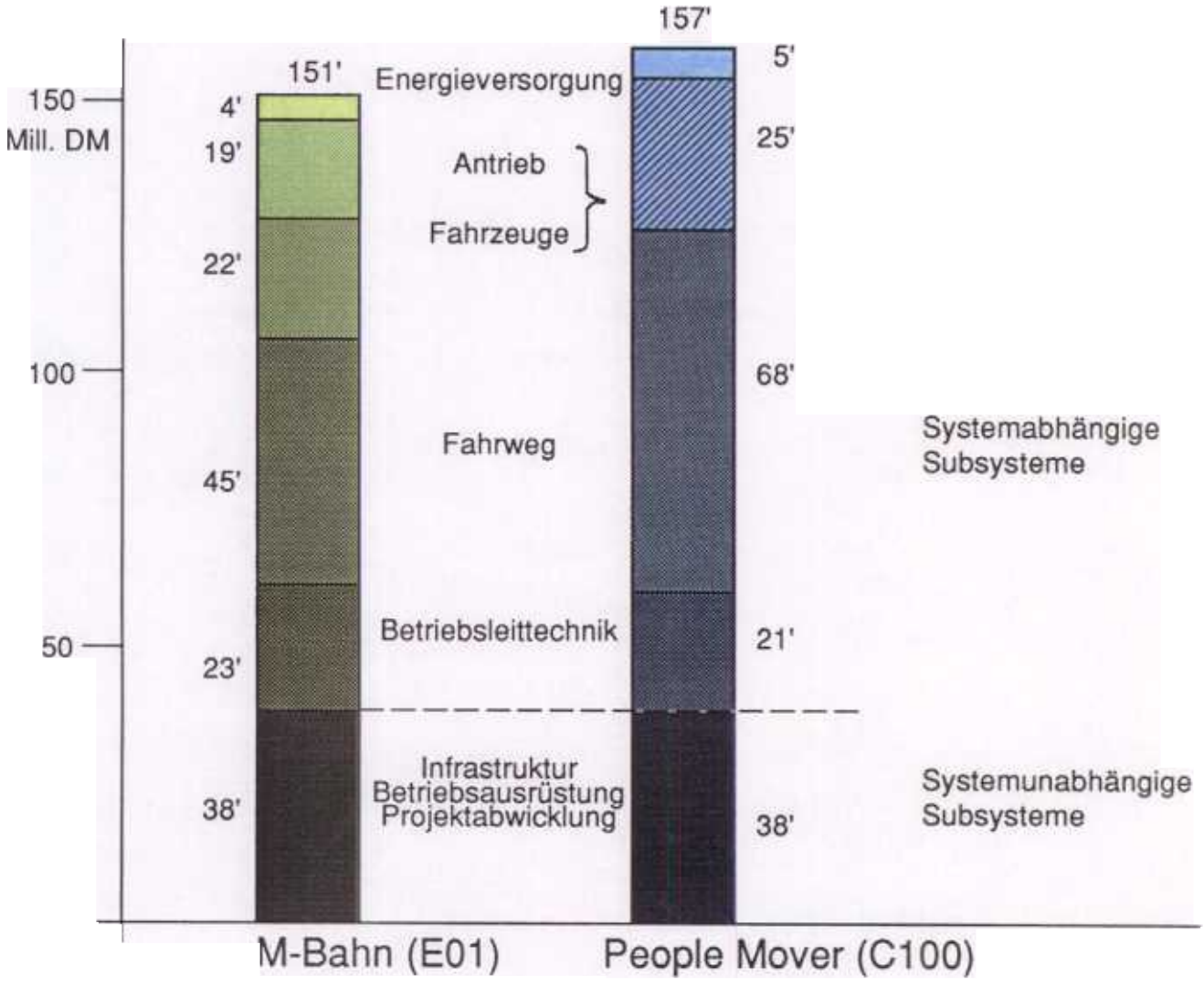
8. Projektabwicklung mit
Projektkernteam, Systemengineering, Logistik,
Baustelleneinrichtung und -managment, Systemintegration
Zulassungen und Genehmigungen

Die angegebenen Kosten beinhalten Herstell- und Gemeinkosten einschließlich Qualitätssicherung und Sondereinzelkosten. Sie basieren auf dem Kostenstand 1990.

Vergleich M-Bahn / People Mover Airport-Anwendung

Investitionskosten
(Kostenstand 1990)

Systemdaten: Linienlänge 3 km; zweispurige Strecke; 4 Haltestellen;
12 (M-Bahn) bzw. 10 (PM) Fahrzeuge; Zugfolgezeit 120 sec



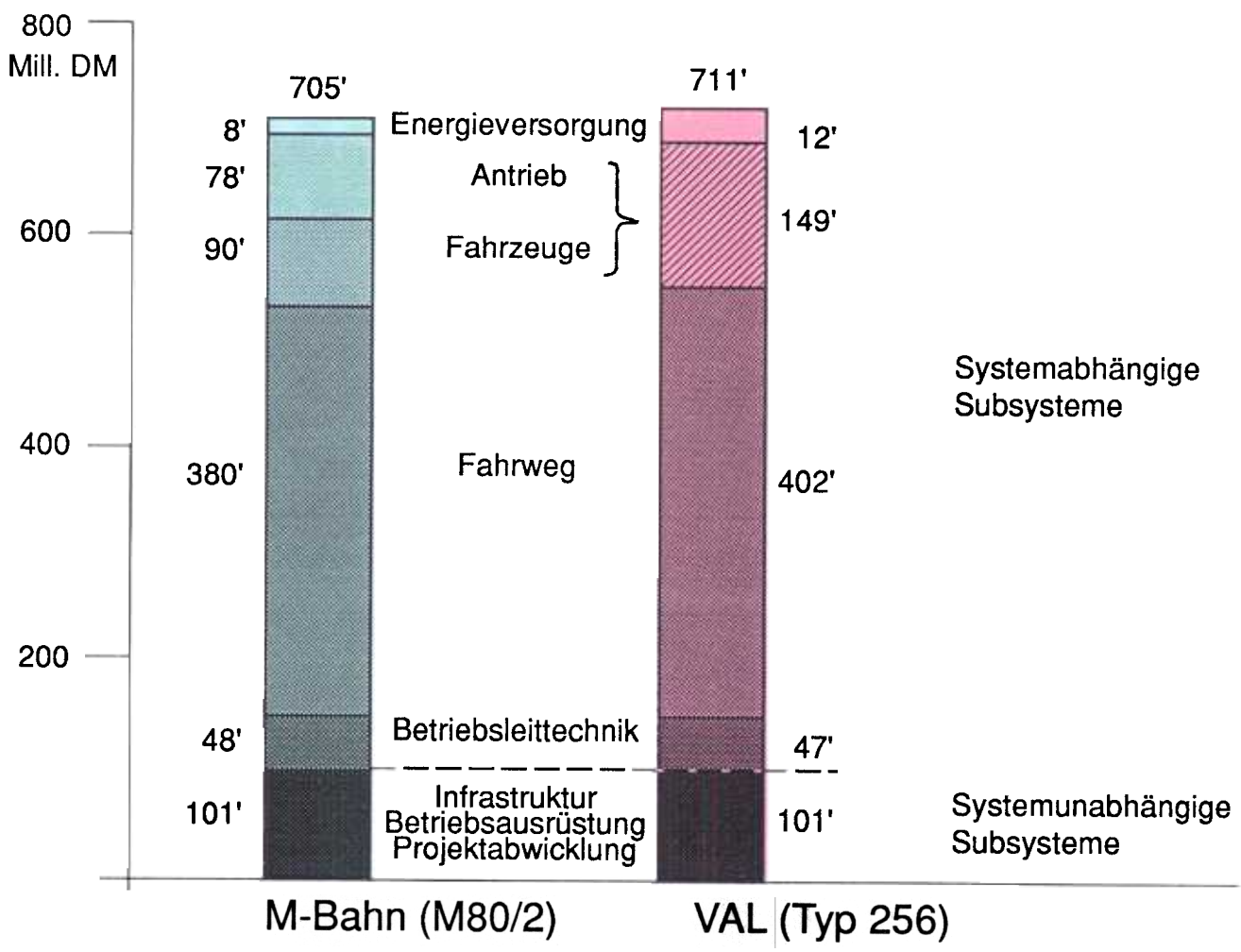
Die systemunabhängigen Kosten betragen etwa 25%. Vorteile beim M-Bahn System gibt es beim Fahrweg und bei der Energieversorgung.

AEG

Vergleich M-Bahn / VAL ÖPNV-Anwendung

Investitionskosten (Kostenstand 1990)

Systemdaten: Linienlänge 12 km; zweispurige Strecke; 20 Haltestellen;
50 (M-Bahn) bzw. 48 (VAL) Fahrzeuge; Zugfolgezeit 120 sec



Die Kosten für die systemunabhängigen Subsysteme betragen etwa 15 %.
Das M-Bahn System bietet Vorteile speziell bei den Fahrwegkosten

Investitionskosten-Wertung

Beim Vergleich der Investitionskosten sind für das M-Bahn System die systemabhängigen Subsysteme einzeln dargestellt. Beim People Mover und beim VAL-System sind die Kosten der Antriebsausrüstung und der Fahrzeugkosten zusammengefaßt. Zu beachten ist dabei die größere Anzahl von M-Bahn-Fahrzeugen, die sich aus den geringeren Abmessungen der Wagenkästen ergibt. Die sich daraus ergebende kürzere Zugfolgezeit erhöht die Attraktivität des M-Bahn Systems.

Bei den betrachteten typischen Anwendungsfällen liegen die ermittelten Investitionskosten der vergleichbaren Systeme in der gleichen Größenordnung. Erhebliche Kostensenkungen lassen sich beim M-Bahn System bei den Subsystemen Antrieb (ca. 10 %), Fahrzeug (ca. 20 %) und Fahrweg (ca. 30 %) erwarten, wenn die Serienreife erreicht sein wird. Dies gilt ganz besonders für den Hybridfahrweg für Tunnelstrecken.

Vergleich der Investitionskosten nach Erreichen der Serienreife

Nach Erreichen der Serienreife des M-Bahn-Systems können bei folgenden Subsystemen Einsparungen durch Kostendegression prognostiziert werden:

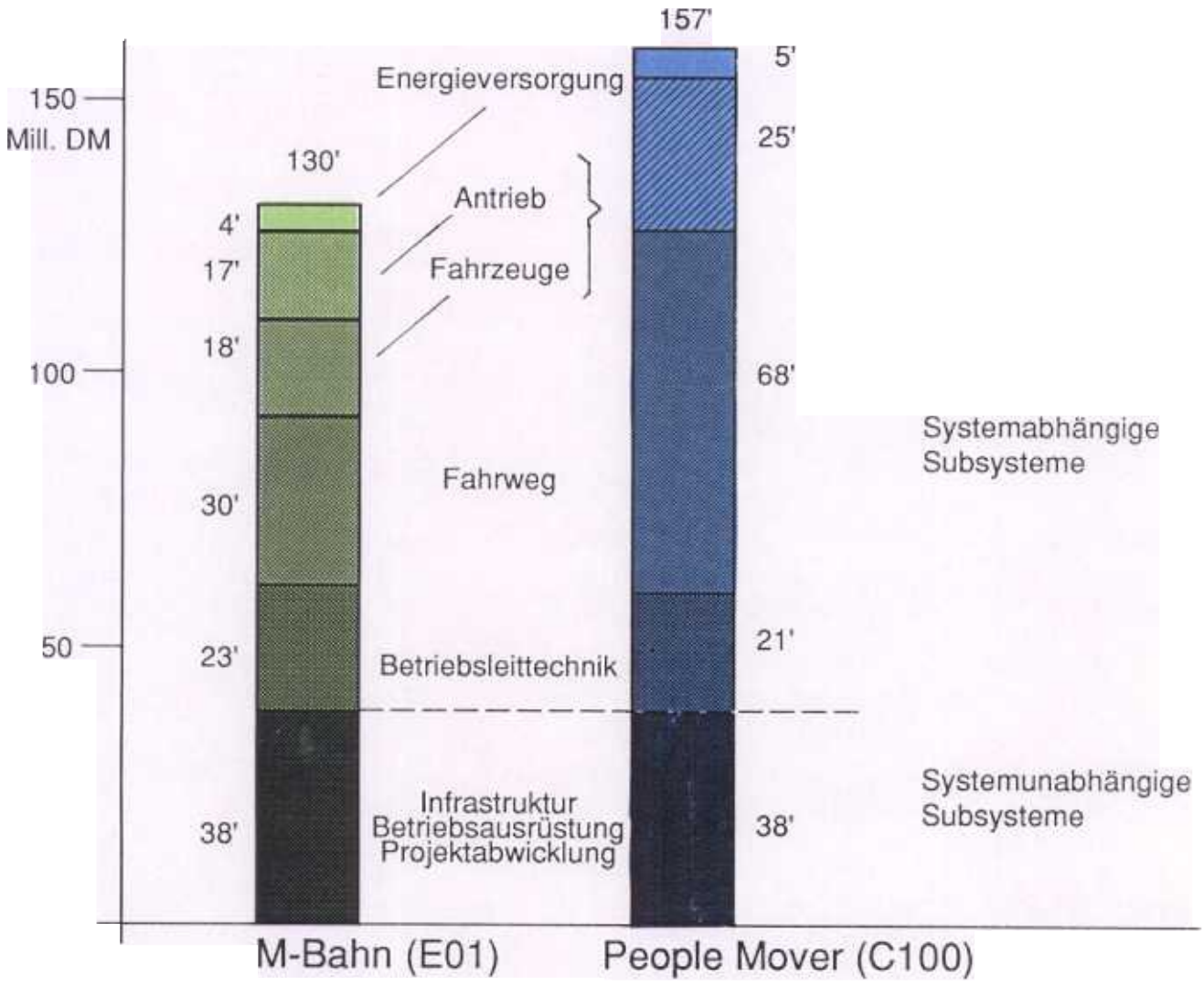
Antrieb	ca. 10%
Fahrzeuge	ca. 20%
Fahrweg	ca. 30% (M-Bahn spezifischer Anteil)

Die Kosteneinsparungen beim Fahrweg im Tunnel könnten durch die Entwicklung und Einsatz eines Hybridfahrweges verstärkt werden.

Vergleich M-Bahn / People Mover Airport-Anwendung

Investitionskosten bei Serienreife

Systemdaten: Linienlänge 3 km; zweispurige Strecke; 4 Haltestellen;
12 (M-Bahn) bzw. 10 (PM) Fahrzeuge; Zugfolgezeit 120 sec

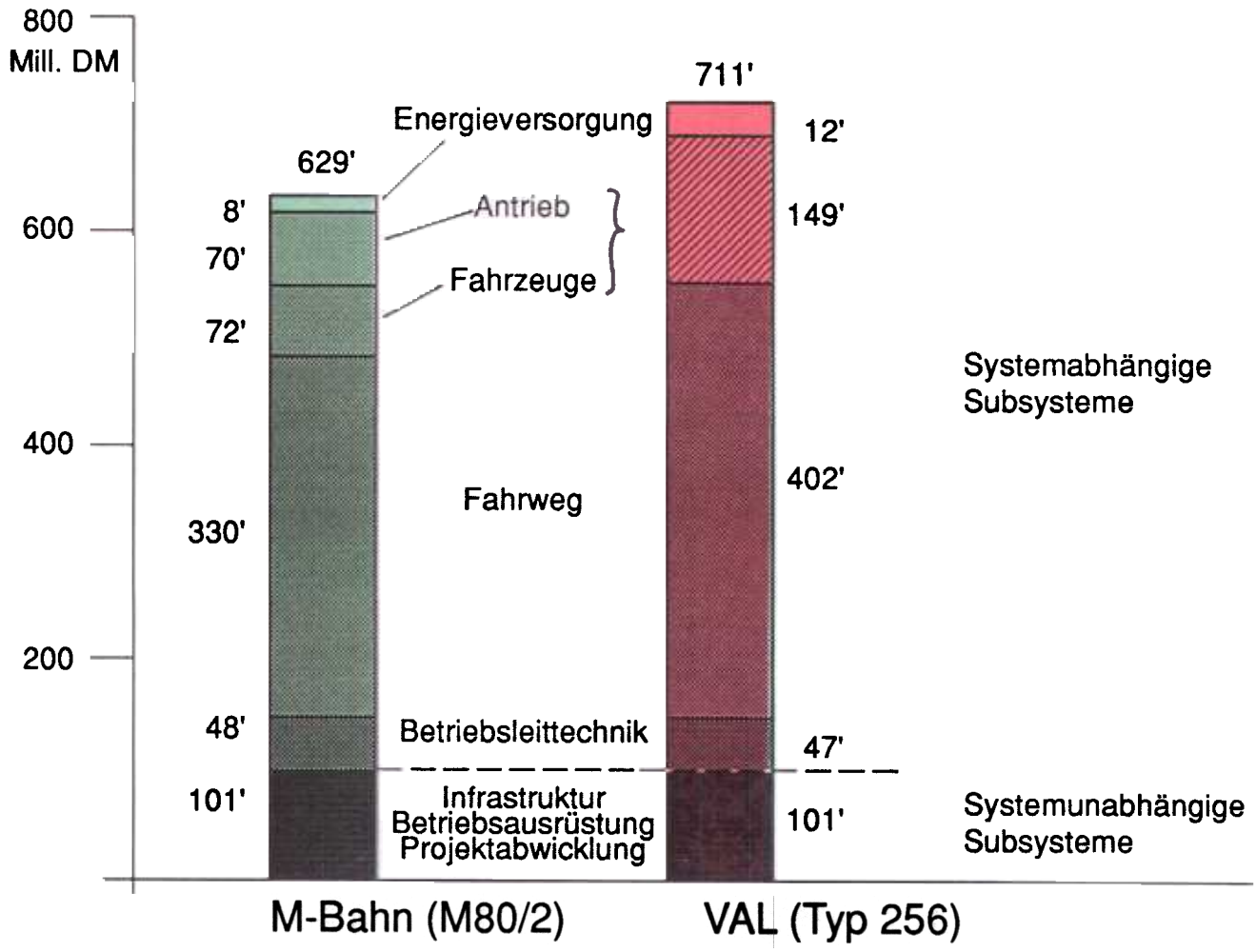


Die systemunabhängigen Kosten betragen 25% bis 33%. Vorteile beim M-Bahn System gibt es beim Fahrweg und bei der Energieversorgung.

Vergleich M-Bahn / VAL ÖPNV-Anwendung

Investitionskosten bei Serienreife

Systemdaten: Linienlänge 12 km; zweispurige Strecke; 20 Haltestellen;
50 (M-Bahn) bzw. 48 (VAL) Fahrzeuge; Zugfolgezeit 120 sec



Die Kosten für die systemunabhängigen Subsysteme betragen etwa 15 %.
Das M-Bahn System bietet Vorteile speziell bei den Fahrwegkosten

Qualitative Konkurrenzvorteile

Nachfolgend sollen die qualitativen Vorteile des M-Bahn-Systems schlagwortartig aufgelistet werden. Diese Vorteile treten bei bestimmten Konfigurationen und Streckenauslegungen auf.

Keine Aufheizung des Tunnels durch Walkarbeit von Reifen.

Kein Abrieb von Reifen, dadurch umweltfreundlicher und wirtschaftlicher Einsatz im Tunnel und in Gebäuden.

Keine Heizung des Fahrwegs für M-Bahn-System bei Winterbetrieb notwendig, da der Antrieb mit synchronem Langstator Linearmotor nicht auf die Reibung zwischen Rad und Fahrbahn angewiesen ist. Geringer Verbrauch elektrischer Energie und damit geringere Umweltbelastung, bessere Wirtschaftlichkeit und erhöhte Sicherheit sind als Vorteil zu nennen. Der Energieverbrauch für die Fahrwegheizung bei den Konkurrenzsystemen ist größer als der Energieverbrauch für die gesamte Traktion.

Einsatz der elektrischen Bremse als Betriebsbremse bis zum Stillstand, dadurch kein Abrieb von Bremsbelägen.

Nutzung und Wiederverwendung der anfallenden Bremsenergie im M-Bahn-System (gilt nur im Vergleich zum People Mover), dadurch geringerer Energieverbrauch und geringere Tunnelaufheizung und damit Erhöhung der Wirtschaftlichkeit.

Flexible Fahrweggestaltung in Stahl, dadurch verbesserte Integrationsfähigkeit , der Fortfall von Schallschutzwänden verbessert den optischen Gesamteindruck der Trasse.

Die innovative Trag- und Antriebstechnik der M-Bahn erhöht das Image der Anlage und das des Betreibers.

Neuartiges und genehmigungsfähiges Rettungskonzept durch Nutzung des Fahrweges als Notlaufweg, dadurch verkleinerter Systemquerschnitt.

Bei der M-Bahn beträgt die Kurzschlußleistung auf dem Fahrzeug weniger als 10 % im Vergleich zu den anderen Systemen, da nur die Hilfsbetriebe versorgt werden. Die Gefahr eines Brandes verringert sich erheblich.

Durch die Anordnung des Trag- und Führsystems der M-Bahn im Fahrweg ist ein Entgleisen ausgeschlossen.

Erhöhte Sicherheit des M-Bahn Fahrzeugs durch Entkoppelung der Aufprallkräfte vom Wagenkasten (Kupplung bei M-Bahn am Schwebegestell).

Qualitative Konkurrenzvorteile

Zusammenfassende Darstellung

Kriterien	Vergleich E01 zu C100 Airport	Vergleich M80/2 zu 256 ÖPNV
a) Systemdaten		
Höchstgeschwindigkeit	+	=
Beschleunigung	=	=
Verzögerung	=	=
Kürzeste Fahrzeit	++	++
Steigfähigkeit	=	=
Zugfolgezeit	=	=
Min. horizontaler Radius	-	-
Min. vertikaler Radius	-	+
Fahrzeugleergewicht	=	+
Zuladung	-	-
Anzahl Türen	=	=
Türbreite	-	-
Querschnitt runder Tunnel	++	++
Querschnitt rechteckiger Tunnel	++	++
Querschnitt Aufständerung	++	++
Visuelles Erscheinungsbild	+	++
b) Betriebsdaten		
Winterbetrieb	++	++
Außengeräusche	++	++
Innengeräusche	++	++
Energieverbrauch (Traktion)	+	+
Regenerative Bremse	++	=
Umweltfreundlichkeit (Verschmutzung)	++	++
Fahrzeuggestaltung	++	=
Entgleisungssicherheit	++	+
Brandgefahr Fahrzeug	++	++
Fahrzeugkomfort	++	=
Fahrkomfort	++	+
Investitionskosten	=	=
Kostenreduktionspotential	+	++

Legende: viel besser: ++ besser: + gleich: = schlechter: -

AEG Aktiengesellschaft
Theodor-Stern-Kai 1
D-6000 Frankfurt(Main) 70
Postfach 700 220
Tel. (069) 600-1
Telefax (069) 600-54 00
Telex 411 076

Magnetbahn GmbH

Emslander Str.3
D-8130 Starnberg
Tel. (08151) 773-0
Telefax (08151) 1 57 49
Telex 8151813=MBahn

Projekt Berlin
Hohenzollerndamm 150
D-1000 Berlin 33
Tel. (030) 828-1
Telefax (030) 8 24 81 05
Telex 18 35 81

Projekte und Vertrieb
Nonnendammallee 15-21
D-1000 Berlin 20
Tel. (030) 3305-0
Telefax (030) 3305-21 69
Telex 18 54 98