

Fahrplangestaltung

Grundlagen

Hier kann vorausgesetzt werden, daß das Streckennetz und die Liniennetzpläne vorgegeben sind. Im folgenden werden der Fahrplanaufbau und der Fahrzeugbedarf erläutert.

Begriffsbestimmung Fahrplan

Man unterscheidet

- **Starre Fahrpläne**
- **Flexible Fahrpläne**
- **Teilflexible Fahrpläne**

Beim starren Fahrplan erhält der Fahrgast ganztägig ein gleichmäßiges Verkehrsangebot. Für den Fahrgast ist dieses Angebot gut merkbar; da sich die Nachfrage im Laufe eines Tages jedoch stark verändert, ist dieser wirtschaftlichen Gründen kaum durchführbar .

Beim flexiblen Fahrplan wird das Angebot voll der Nachfrage angepaßt. Dieses Verfahren ist zwar sehr wirtschaftlich, wegen der ständig variierenden Abfahrtszeiten für den Fahrgast jedoch nicht merkbar und daher kaum zumutbar. Lediglich bei sehr dichten Wagenfolgen (z. B. stark belasteten U-Bahn, Straßenbahn- oder Busstreckenabschnitten in Großstädten) oder im Überlandverkehr mit gezielten wenigen Fahrten des Berufs-, Schüler-, oder Einkaufsverkehrs sind laufende Veränderungen der Abfahrtszeiten relativ unproblematisch. Hierunter fallen auch Anschlußfahrten, z. B. an Bundesbahnzüge.

Der Kompromiß aus beiden Extremen ist der teilflexible Fahrplan. Er wird nahezu überall verwendet. Ober möglichst viele Tagesstunden wird ein starrer Grundtakt angeboten, der gezielt während der Verkehrsspitzen durch Einsatzwagen oder Zusatzlinien verstärkt wird. Zu Zeiten geringen Verkehrsaufkommens während der Früh- oder Spätstunden werden die Fahrten flexibel mit möglichst guten Anschlußverbindungen der Nachfrage angepaßt.

Zugfolgezeit (Taktzeit)

Im Regelfall ist das Fahrgastaufkommen auf einer Linie zeitlichen und örtlich Schwankungen unterworfen. Die zeitlichen Schwankungen ergeben sich aus den verschiedenen Verkehren:

- **Berufsverkehr**
- **Schülerverkehr**
- **Einkaufsverkehr**
- **Spätverkehr**
- **Samstagsverkehr (langer, kurzer Samstag)**
- **Sonntagsverkehr**
- **Feiertagsverkehr**
- **Sommerverkehr**
- **Winterverkehr**
- **Ferienverkehr**
- **Verkehr bei besonderen Veranstaltungen usw.**

Die örtlichen Schwankungen ergeben sich daraus, daß es kaum möglich ist, Linien durch homogen strukturierte Gebiete zu führen. Dies bedeutet, daß sich bei den betrieblich sinnvollen Radial- und Tangentiallinien starke und schwache Fahrgastaufkommen abwechseln, wobei insbesondere während der Hauptverkehrszeiten Hin- und Rückrichtungen unterschiedlich belegt sein können.

Ein optimal gestalteter Fahrplan versucht alle Einflußgrößen – unter der Maßgabe, attraktiv, übersichtlich und wirtschaftlich zu sein – zu berücksichtigen.

Zeitliche Schwankungen im Fahrgastaufkommen werden durch Variation der Zugfolgezeiten aufgefangen. Dies kann innerhalb einer Linie durch gezielte Einsatzwagen und durch die Überlagerung mit nur zu bestimmten Tageszeiten betriebenen Linien geschehen.

Örtliche Schwankungen im Fahrgastaufkommen werden dadurch aufgefangen, daß z. B. nur ein Teil der auf der Linie eingesetzten Fahrzeuge die gesamte Linie befährt, daß Verstärkungswagen nur in einer Richtung

fahren oder daß Überlagerungen mit anderen Linien nur in bestimmten Streckenabschnitten vorgenommen werden.

Um den Fahrplan für den Benutzer möglichst leicht merkbar und übersichtlich zu gestalten, wird ein Grundliniennetz mit sogenannten Stammlinien mit gleichen Zugfolgezeiten betrieben. Dieser „Tagesgrundtakt“ wird den Verkehrsbedürfnissen entsprechend überlagert oder in Schwachverkehrszeiten verdünnt. Wesentlich ist, daß Anschlußlinien von geringerer Bedeutung ein Vielfaches der Zugfolgezeit aufweisen, damit der Anschluß in einer Richtung immer und in der anderen Richtung bei jedem zweiten oder dritten Wagen gegeben ist.

Die gebräuchlichen Zugfolgezeiten von Stammlinien im Tagesverkehr zwischen 5:00 Uhr und 19:00 Uhr sind 10, 12, 15 oder 20 Minuten. Anschließend bis Betriebschluß und an Sonntagvormittagen wird wegen des erheblich geringeren Fahrgastaufkommens bis auf eine Zugfolgezeit von 30 Minuten zurückgegangen. Zur Vermeidung von langen Wartezeiten für umsteigende Fahrgäste kann es zweckmäßig sein, an zentralen Punkten des Netzes die Wagen verschiedener Linien zu sammeln, um erst nach Beendigung des kontrollierten Umsteigevorganges den Abfahrtauftrag zu geben.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß auch durch den Wechsel der Zugeinheiten (Doppeltraktion - Einfachtraktion, Langzug - Kurzzug, An- und Abhängen von Beiwagen, Gelenkbus - Standardbus - Citybus) eine Anpassung an das jeweilige Fahrgastaufkommen möglich ist.

Reisegeschwindigkeit

Das zweite Element für den Aufbau eines Fahrplanes ist die Reisegeschwindigkeit. Da die Linienlängen und die Haltestellenabstände bekannt sind, dient sie zur Ermittlung der Fahrzeit. Die Reisegeschwindigkeit gibt an, wie groß die Durchschnittsgeschwindigkeit einschließlich der Brems-, Halte- und Anfahrverlustzeiten zwischen zwei Punkten ist.

Gebräuchliche Durchschnittswerte sind zur Zeit:

- **Bus- und Straßenbahnverkehr : 17 - 20 km/h**
- **U-Bahn- und Stadtbahnverkehr: 28 - 33 km/h.**

Je nach Art der Streckenführung können die Werte innerhalb eines Betriebsgebietes erheblich voneinander abweichen. Daher ist die Reisegeschwindigkeit durch entsprechende Fahrversuche auf einzelnen Abschnitten örtlich zu ermitteln.

Bei im Individualverkehr mitfahrenden Bussen und Straßenbahnen treten durch zeitabhängige Verkehrsschwankungen im Laufe des Tages unterschiedliche Geschwindigkeitswerte auf. Um zu späte bzw. zu frühe Abfahrten im Berufsverkehr oder Bummelfahrten während der verkehrsschwachen Zeiten zu vermeiden oder zu verringern, kann es zweckmäßig sein, mit verkürzten oder gedehnten Fahrzeiten zu arbeiten. Weil die Abfahrtszeiten dann an den Haltestellen variieren, sind sie für den Fahrgast schlechter merkbar. Andererseits können durch Fahrzeitverkürzungen in verkehrsrühigen Zeiten auch beachtliche wirtschaftliche Vorteile wegen des verminderten Fahrzeug- und Personaleinsatzes erzielt werden.

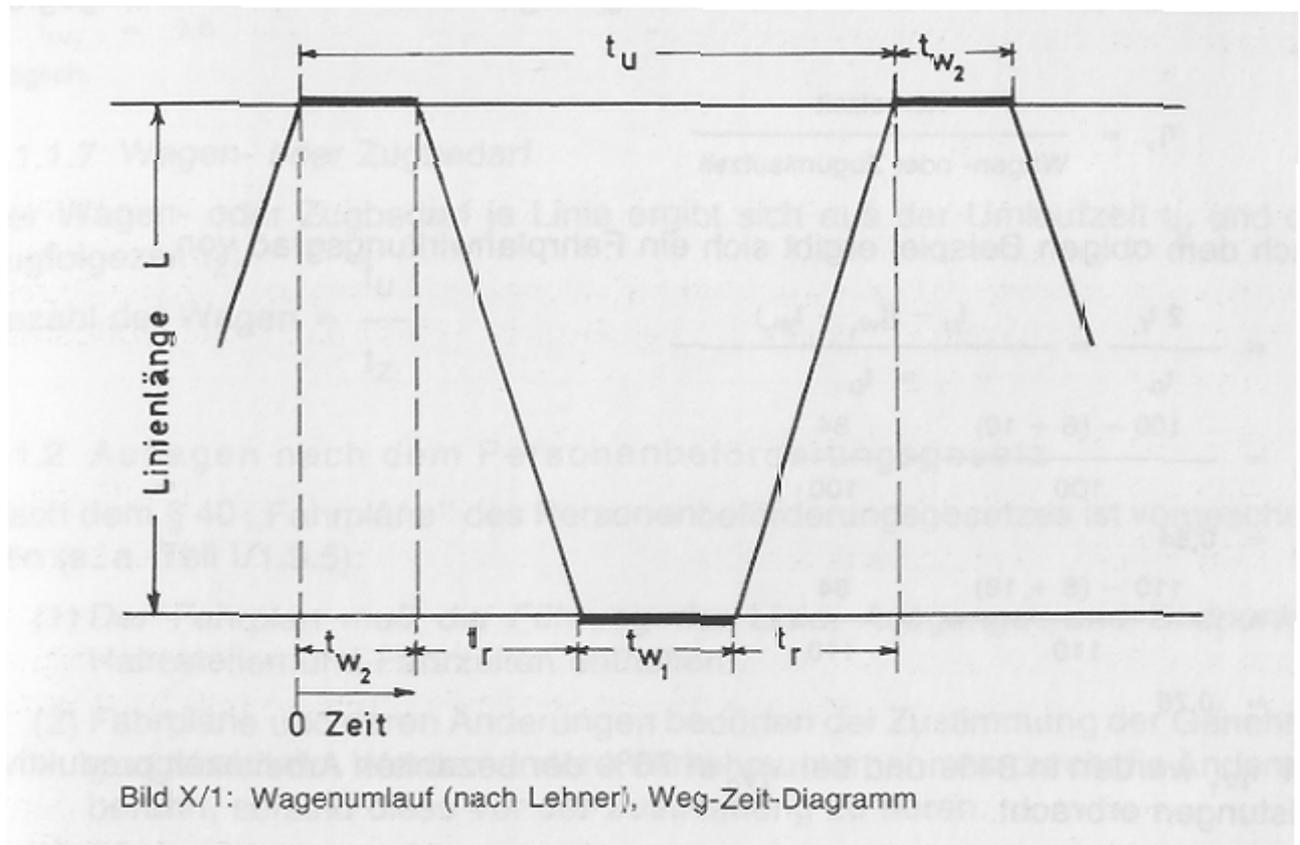
Wendezeiten

Wendezeiten sind die Aufenthaltszeiten an Endstellen, die zum Verspätungsausgleich oder für die notwendigen gesetzlichen Pausen des Fahrpersonals vorgesehen werden. Sie können auch als zwangsläufige Verlustzeiten bei der Ermittlung der Wagenturnierzeit entstehen.

Je anfälliger eine Linie für Verspätungen ist, um so nötiger sind ausreichende Wendezeiten vorzusehen. So wird vermieden, daß aufgelaufene Verspätungen wiederum auf die nächste Fahrt mitgenommen werden. Da die Wendezeit von der Zugfolgezeit und der Reisezeit unmittelbar abhängig ist, kann sie nur sprunghaft verändert werden.

Wagenturnierzeit

Die Turnierzeit gibt an, wieviel Zeit ein Wagen oder Zug für Hin- und Rückfahrt einschließlich der beiden Wendezeiten an den Endstellen benötigt. Im folgenden ist auf die Ausarbeitung „Der maximale Wirkungsgrad des Personaleinsatzes“ von Dr. Ing. Lehner (†) Bezug genommen worden.



Hierbei bedeuten:

- t_u = Umlaufzeit [Min]
- t_r = Reise- oder Kurbelzeit [Min]
- t_{w1}, t_{w2} = Wendezeit [Min]

Damit beträgt die Umlaufzeit t_u :

$$t_u = 2 * t_r + t_{w1} + t_{w2} \text{ [Min]}$$

Die Wagenumlaufzeit muß stets ein Vielfaches der Zugfolgezeit (t_z) sein.

Beispiel:

- t_r = 42 Min
- t_{w1} = 8 Min
- t_{w2} = 10 Min
- t_z = 10 Min
- t_u = $2 * 42 + 8 + 10$
- $= 84 + 18$
- t_u = 102 Min

Ein Vielfaches der Zugfolgezeit $t_z = 10$ Min wäre 100 Min oder 110 Min. Im obigen Beispiel ist daher entweder $t_{w1} + t_{w2}$ um 2 Min zu kürzen oder um 8 Min zu verlängern.

Fahrplanwirkungsgrad

Eine produktive und verkaufbare Leistung (= Beförderung von Fahrgästen) wird in der Umlaufzeit t_u nur während der Reise- oder Kurbelzeit t_r erstellt. Unabhängig davon, ob die Wendezeiten als Ruhezeiten angerechnet werden, sind sie in der Regel als Arbeitszeit zu bezahlen. Je größer der Anteil der Wendezeiten an der Umlaufzeit ist, um so geringer ist der Fahrplanwirkungsgrad η_v .

$$\eta_v = \frac{\text{Kurbelzeit}}{\text{Wagen- oder Zugumlaufzeit}}$$

Nach dem obigen Beispiel ergibt sich ein Fahrplanwirkungsgrad von

$$\begin{aligned}\eta_{IV} &= \frac{2 t_r}{t_u} = \frac{t_u - (t_{w_1} + t_{w_2})}{t_u} \\ \eta_{IV_1} &= \frac{100 - (6 + 10)}{100} = \frac{84}{100} \\ \eta_{IV_1} &= 0,84 \\ \eta_{IV_2} &= \frac{110 - (8 + 18)}{110} = \frac{84}{110} \\ \eta_{IV_2} &= 0,76\end{aligned}$$

Bei 'IV₁' werden in 84% und bei 'IV₂' in 76% der bezahlten Arbeitszeit produktive Leistungen erbracht.

Insbesondere bei langen Zugfolgezeiten ($t_z = 15, 20, 30$ Min) sollte in kritischen Fällen versucht werden, durch Kürzung der Reisezeiten mittels Beschleunigungsmaßnahmen (besondere Bahnkörper, Vorrangschaltungen an Lichtzeichenanlagen usw.) unwirtschaftliche lange Wendezeiten zu vermeiden.

Beispiel:

$$\begin{aligned}t_r &= 38 \text{ Min} \\ t_{w_1} &= 8 \text{ Min} \\ t_{w_2} &= 10 \text{ Min} \\ t_z &= 30 \text{ Min} \\ t_u &= 2 \cdot 38 + 8 + 10 = 94 \text{ Min}\end{aligned}$$

Da t_u ein Vielfaches von $t_z = 30$ sein muß, und zum Verspätungsausgleich sowie zur Gewährleistung einer anrechenbaren Wendezeit (i. d. R. ≥ 10 Min) auf die Ruhezeit weder t_{w_1} noch t_{w_2} verkürzt werden können, ergibt sich eine Umlaufzeit von

$$t_{u_1} = 4 \cdot 30 = 120 \text{ Min}$$

und ein Fahrplanwirkungsgrad von nur

$$\eta_{IV} = \frac{2 \cdot 38}{120}$$

$$\eta_{IV} = 0,63$$

Wird es möglich, die Reisezeiten t_r um jeweils 2 Minuten zu kürzen, so ist eine Umlaufzeit

$$t_{u_2} = 3 \cdot 30 = 90 \text{ Min}$$

und ein Fahrplanwirkungsgrad von

$$\tau_{iv_2} = \frac{2 \cdot 36}{90}$$

$$\tau_{iv_2} = 0,8$$

möglich.

Wagen- oder Zugbedarf

Der Wagen- oder Zugbedarf je Linie ergibt sich aus der Umlaufzeit t_u und der Zugfolgezeit t_z :

$$\text{Anzahl der Wagen} = \frac{t_u}{t_z}$$

Auflagen nach dem Personenbeförderungsgesetz

Nach dem § 40 "Fahrpläne" des Personenbeförderungsgesetzes ist vorgeschrieben :

- ① Der Fahrplan muß die Führung der Linie, Ausgangs- und Endpunkte, Haltestellen und Fahrzeiten enthalten.
- ② Fahrpläne und deren Änderungen bedürfen der Zustimmung der Genehmigungsbehörde. Werden andere Verkehrsunternehmen durch die Änderung berührt, so sind diese vor der Zustimmung zu hören.
- ③ Die Genehmigungsbehörde kann Änderungen verlangen.
- ④ Fahrpläne und Änderungen sind ortsüblich bekannt zu machen. An Haltestellen sind mindestens die Abfahrtszeiten, in Aufenthaltsräumen (keine Schutzdächer und Fahrzeuge) die Fahrpläne auszuhängen.

Aufstellung des Fahrplanes

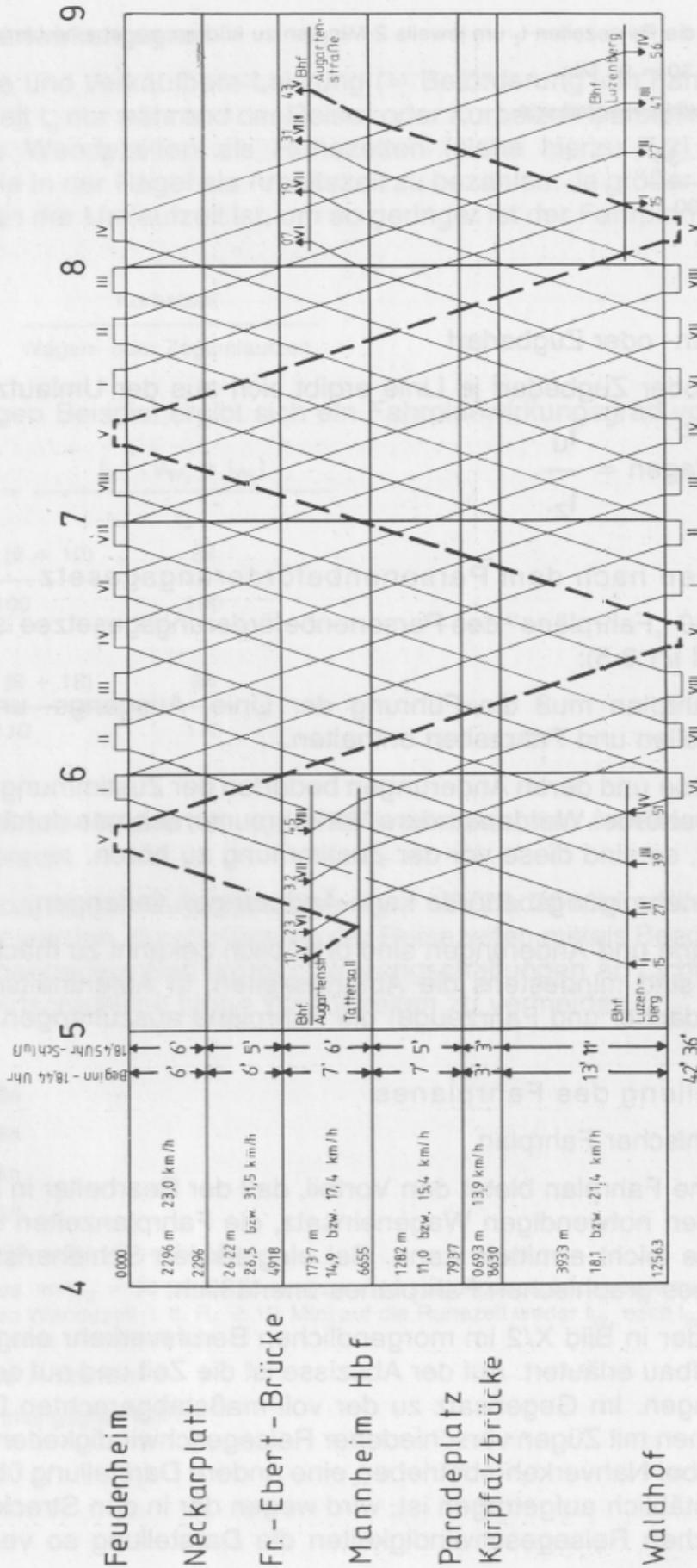
Graphischer Fahrplan

Der graphische Fahrplan bietet den Vorteil, daß der Bearbeiter in übersichtlicher Darstellung den notwendigen Wageneinsatz, die Fahrplanzeiten und eventuelle Zwangspunkte leicht ermitteln kann. Bei eingleisigen Schienenstrecken ist die Erstellung eines graphischen Fahrplanes unerlässlich.

Am Beispiel der in Bild X/2 im morgendlichen Berufsverkehr eingesetzten Linie 21 sei der Aufbau erläutert. Auf der Abszisse ist die Zeit und auf der Ordinate der Weg aufgetragen. Im Gegensatz zu der voll maßstabgerechten Darstellungsart bei Eisenbahnen mit Zügen verschiedener Reisegeschwindigkeiten und Zugüberholungen, ist bei Nahverkehrsbetrieben eine andere Darstellung üblich. Während die Zeit maßstäblich aufgetragen ist, wird wegen der in den Streckenabschnitten unterschiedlichen Reisegeschwindigkeiten die Darstellung so verzerrt, daß die Fahrshaulinie des jeweiligen Wagens oder Zuges von Endstelle zu Endstelle eine Gerade bildet. Durch einfache Parallelverschiebung sind im Taktabstand alle Wagen- bzw. Zugläufe aufzutragen.

Verbunden über die Wendezeiten lassen sich die Züge I bis VIII leicht verfolgen (s. Zug V). Der Zug V rückt um 05.17 Uhr im Betriebshof Augartenstr. aus, fährt zur Haltestelle Tattersall und setzt dann auf dem Linienweg mit normaler in Richtung Endstelle Feudenheim ein. Dort hat der Zug Wendezeit von 05.42 Uhr bis 05.48 Uhr, fährt dann nach Waldhof (Wendezeit 06.30 Uhr bis 06.36 Uhr) usw., um dann um 08.43 Uhr wieder im Betriebshof Augartenstraße einzurücken.

Linie 21 : Montag - Freitag



Gesamt: 12563 m 17,9 km/h bzw. 20,9 km/h

Bild X/2: Graphischer Fahrplan (Mannheimer Verkehrs AG)

Zug 2 1 0 1		Zug 2 1 0 2		Zug 2 1 0 3		Zug 2 1 0 4		Zug 2 1 0 6		Zug 2 1 0 7		Zug 2 1 0 8		Zug 2 1 0 5	
Hbf.	Wa.	Hbf.	Wa.	Hbf.	Wa.	Hbf.	Wa.	Feu.	Hbf.	Feu.	Hbf.	Feu.	Hbf.	Moltk.	Wa.
ab		ab		ab		ab		ab		ab		ab		ab	
5.35		5.47		5.59		6.11			5.31		5.40		5.53	5.25	
Feu.		Feu.		Feu.		Feu.			Wa.		Wa.		Wa.	Feu.	6.36
6.00	6.48	6.12	7.00	6.24	7.12	6.36	7.24	6.48	6.00	7.00	6.12	7.48	7.12	8.00	7.24
7.36		7.48		8.02		8.17		7.36		7.48		8.00	8.00	7.24	8.12
über Nationalth. Hbf. Mannheim Universität Marktplatz nach Bhf. Luzenberg an 8.15		über Nationalth. Hbf. Mannheim Universität Marktplatz nach Bhf. Luzenberg an 8.27		über Nationalth. Hbf. Mannheim Universität Marktplatz nach Bhf. Luzenberg an 8.41		über Nationalth. Hbf. Mannheim Universität Marktplatz nach Bhf. Luzenberg an 8.56		über Marktplatz Universität Hbf. Mannheim nach Bhf. Augartenstr. an 8.07		über Marktplatz Universität Hbf. Mannheim nach Bhf. Augartenstr. an 8.19		über Marktplatz Universität Hbf. Mannheim nach Bhf. Augartenstr. an 8.31		über Marktplatz Universität Hbf. Mannheim nach Bhf. Augartenstr. an 8.43	
Zug 2 1 0 1		Zug 2 1 0 2		Zug 2 1 0 3		Zug 2 1 0 4		Zug 2 1 0 6		Zug 2 1 0 7		Zug 2 1 0 8		Zug 2 1 0 5	
Hbf.	Wa.	Hbf.	Wa.	Feu.	Wa.	Feu.	Hbf.	Feu.	Hbf.	Moltk.	Wa.	Moltk.	Wa.	Moltk.	Wa.
ab		ab		ab		ab		ab		ab		ab		ab	
15.44		15.59			15.46		15.26		15.38	15.08		15.20		15.32	
Feu.		Feu.			15.46		Wa.		Wa.	Feu.	16.24	Feu.	16.36	Feu.	16.48
16.12	17.00	16.24	17.12	16.36	17.24	16.48	17.36	17.00	17.48	15.33	18.00	15.48	18.12	16.00	16.48
17.48	18.36	18.00	18.48	18.12	19.00	18.24		18.36		17.12	18.00	17.24	18.12	17.36	18.24
										18.48		19.03		19.16	
über Marktplatz Universität Hbf. Mannheim Friedr. Ring nach Bhf. Luzenberg an 19.16		nach Bhf. Luzenberg an 18.53		nach Bhf. Luzenberg an 19.10		über Nationalth. Hbf. Mannheim Universität Marktplatz nach Bhf. Luzenberg an 19.03		über Nationalth. Tattersall nach Bhf. Augartenstr. an 19.01		über Nationalth. Tattersall nach Bhf. Augartenstr. an 19.11		über Nationalth. Tattersall nach Bhf. Augartenstr. an 19.26		über Nationalth. Tattersall nach Bhf. Augartenstr. an 19.39	

Feu. = Feudenheim, Wa. = Waldhof, Hbf. = Hauptbahnhof Mannheim, Moltk. = Moltkestraße,

Fahrzeiten:		Beginn - 18.44	18.45 - Schluß
Feudenheim	bis Neckarplatt	6'	6'
Neckarplatt	bis Friedrich-Ebert-Brücke	6'	5'
Friedrich-Ebert-Brücke	bis Moltkestraße	5'	5'
Moltkestraße	bis Hauptbahnhof Mannheim	2'	1'
Hauptbahnhof Mannheim	über Universität		
über Universität	bis Paradeplatz	7'	5'
Paradeplatz	bis Kurpfalzbrücke	3'	3'
Kurpfalzbrücke	bis Waldhof	13'	11'
Betriebshof Luzenberg	bis Waldhof	6'	5'
Betriebshof Luzenberg	bis Kurpfalzbrücke	10'	9'
Kurpfalzbrücke	über Friedrichsring		
über Friedrichsring	bis Hauptbahnhof Mannheim	7'	6'
Betriebshof Augartenstraße	bis Tattersall	7'	7'
Tattersall	bis Moltkestraße	1'	0'

Bild X/3: Wagenlaufplan (Mannheimer Verkehrs AG)

Bild X/3 : Wagenlaufplan (Mannheimer Verkehrs AG)

Wagenlaufplan

Um dem Fahrer des jeweiligen Zuges oder Wagens einen von allen für notwendigen Angaben entlasteten Einsatzplan zu geben, erhält er die "Wagenlaufplan" bezeichnete tabellarische und auf den Zug bezogene Zusammenstellung (s. Bild X/3). Für den entsprechenden Zug sind dem Fahrer die Ausrück- und Einrückzeiten, die Abfahrtszeiten an den Endstellen, die Fahrzeiten auf bestimmten Streckenabschnitten sowie die Fahrwege vorgegeben

Fahrplanbuch

Ebenfalls aus dem graphischen Fahrplan wird das dem Fahrgast zur Verfügung gestellte Fahrplanbuch bzw. der Taschenfahrplan entwickelt. Da in der Regel aus Platzmangel nicht alle Haltestellen aufgeführt werden können, begnügt man sich häufig mit Haupt- und Umsteigehaltestellen sowie bei Teilstrecken- oder Zonentarifen mit den Grenzhaltstellen (s. Bild X/4).

Je nach den Unterschieden im Verkehrsaufkommen wird der Fahrplanwechsel jährlich oder saisonal (zum Sommer und Winter) durchgeführt. Dabei kann es zweckmäßig sein, die Änderungstermine mit denen der Deutschen Bundesbahn abzustimmen, in Verbundräumen ist dies unabdingbar.

21  Waldhof		— Kurpfalzbrücke — Schloß — Hbf. Mannheim — Nationaltheater — Fr.-Ebert-Brücke —				Feudenheim	
km	Montag bis Freitag:	5	6	7	8		
0,0	Bf. Waldhof	— — — —	00 12 24 36 48	00 12 24 36 48	00 12		
1,1	Luzenberg	— * * *	* 03 15 27 39 51	03 15 27 39 51	03 15		
3,9	Kurpfalzbrücke	— 25 37 49	01 13 25 37 49	01 13 25 37 49	01 13 25		
4,6	Paradeplatz	— 28 40 52	04 16 28 40 52	04 16 28 40 52	04 16 28		
5,4	Universität	— 31 43 55	07 19 31 43 55	07 19 31 43 55	07 19 31		
5,9	Hbf. Mannheim	+ 35 47 59	11 23 35 47 59	11 23 35 47 59	11 23 35		
6,5	Rosengarten	26 38 50	02 14 26 38 50	02 14 26 38 50	+	+ + +	
7,6	Fr.-Ebert-Br.	30 42 54	06 18 30 42 54	06 18 30 42 54	—	— — —	
12,5	Feudenheim	42 54	06 18 30 42 54	06 18 30 42 54	06	— — —	

Feudenheim		— Fr.-Ebert-Brücke — Nationaltheater — Hbf. Mannheim — Schloß — Kurpfalzbrücke —				Waldhof  21	
km	Montag bis Freitag:	5	6	7	8		
0,0	Feudenheim	— — — 48	00 12 24 36 48	00 12 24 36 48	02 17		
4,9	Fr.-Ebert-Br.	— — —	00 12 24 36 48	00 12 24 36 48	00 14 29		
6,0	Rosengarten	+ + +	04 16 28 40 52	04 16 28 40 52	04 18 33		
6,6	Hbf. Mannheim	31 40 53	07 19 31 43 55	07 19 31 43 55	07 21 36		
7,1	Universität	35 44 57	11 23 35 47 59	11 23 35 47 59	11 25 40		
7,9	Paradeplatz	38 47 00	14 26 38 50	02 14 26 38 50	02 14 28 43		
8,6	Kurpfalzbrücke	41 50 03	17 29 41 53	05 17 29 41 53	05 17 31 46		
11,4	Luzenberg	51 00 13	27 39 51	03 15 27 39 51	03 * * * *		
12,5	Bf. Waldhof	54 03 16	30 42 54	06 18 30 42 54	06	— — —	

Bild X/4: Darstellung im Fahrplanbuch (Mannheimer Verkehrs AG)

Bild X/4. Darstellung im Fahrplanbuch (Mannheimer Verkehrs AG)

Aushangfahrplan

Für die an den Haltestellen vorgeschriebenen Aushangfahrpläne werden Fahrplanbuchseiten (u. U. vergrößern), computergesteuerte Ausdrucke, sonstige Drucke oder in Einzelfällen handschriftliche oder mit Schreibmaschinen geschriebene Blätter verwendet. Es ist auf eine möglichst leicht lesbare und Zerstörungen widerstehende Ausführung zu achten.

(...)