

Dipl.-Ing. Dietmar Schmidt
Dipl.-Ing. Markus Würtz

Modul 4010

Öffentlicher Personennahverkehr

ÖPNV-Betrieb

Heft 1: Skript zur Vorlesung



Inhalt

1	Angebots- und Betriebsplanung im ÖPNV	4
1.1	Einstieg	4
1.2	Gesamtprozess der Planung	4
1.3	Fahr- und Dienstplangestaltung	5
2	Ermittlung des Verkehrsaufkommens	5
2.1	Analyse des Ist-Zustandes	5
2.2	Planung/Prognose des Aufkommens	6
3	Netzaufbau	7
3.1	Linienformen	7
3.2	Linienarten	8
3.3	Netztypen	8
3.4	Haltestellen	8
3.5	Grundsätze der Linienführung/Netzbildung	11
4	Angebotsplanung	12
4.1	Bemessung der Taktzeiten (Zugfolgezeiten)	12
4.2	Platzangebot	13
4.3	Anpassung an das Verkehrsaufkommen	15
5	Fahrplan	16
5.1	Aufgaben und Form	16
5.2	Umlaufzeit und Zugbedarf im starren Fahrplan	16
5.3	Fahrplanverknüpfungen	17
6	Wagenlaufplan (Kursplan/Umlaufplan)	18
6.1	Aufgaben und Inhalt	18
6.2	Bilden von Wagenläufen	18
6.3	Fahrplanwirkungsgrad	19
6.4	Fahrzeugbedarf	19
7	Dienstplan	20
7.1	Grundlagen	20
7.2	Begriffe und Randbedingungen	20
7.3	Pausengewährung	21
7.4	Abschätzung der Dienstanzahl	21
7.5	Dienstdurchlauf	22
7.6	Dienstplanwirkungsgrad	22
8	Dienstreihenfolgeplan (Turnus)	23
8.1	Bemessungsgrundlage	23
8.2	Dienstmassenausgleich	23
8.3	Turnusarten	24
8.4	Personalbedarf	26
8.5	Randbedingungen der Turnusbildung	26
8.6	Wochenrhythmus	27
8.7	Turnusbesetzung	28
9	Abschätzung des Aufwandes	29
10	Bewertung der Güte von Fahr- und Dienstplan	30
10.1	Fahrplanwirkungsgrad	30
10.2	Dienstplanwirkungsgrad	31
10.3	Wirkungsgrad des Personaleinsatzes	31
11	Fahr- und Dienstplanungssysteme	33
11.1	Aufgaben	33

11.2	Datenmodellierung und Versionshierarchie	33
11.3	Beispiele	34
11.4	Fahr- und Dienstplanschnittstellen	36
12	Intermodal Transport Control System (ITCS).....	37
12.1	Überblick	37
12.2	Komponenten eines ITCS und Kommunikation	38
12.3	ITCS-Leitstelle.....	39
12.4	Fahrzeugbordcomputer/IBIS	40
12.5	Ortungsverfahren	41
12.6	Lichtsignalbeeinflussung über Datenfunk	41
12.7	Dynamische (Echtzeit-)Fahrgastinformation (DFI)	42
12.8	ITCS-Schnittstellen	42
13	Maßnahmen zum Abbau externer Störquellen des Busbetriebes.....	45
14	Tarife	46
14.1	Kosten.....	46
14.2	Tarifgestaltung	46
14.3	Preisbildung	47
14.4	Politisch gesetzte Tarife und Preise	48
14.5	Tarifumsetzung/Vertrieb	49
	Literaturempfehlungen	50

© Dietmar Schmidt/Markus Würtz

Bildnachweis: alle Fotos und Grafiken von den Autoren (sofern nicht anders vermerkt)

Alle in dieser Schrift verwendeten Produkt- und Markennamen sind Eigentum der jeweiligen Inhaber und werden hier nur zu Informationszwecken genannt.

11., vollständig durchgesehene Ausgabe; Stand: 01.04.2024

1 Angebots- und Betriebsplanung im ÖPNV

1.1 Einstieg

"Der öffentliche (Personen-) Verkehr ist ein Leistungsangebot mit definierter örtlicher und zeitlicher Verfügbarkeit, das von jedermann aufgrund vorgegebener Beförderungsbestimmungen beansprucht werden kann, verschiedene Einzelnachfragen zusammenfasst und den Zwang zum Selbstfahren ausschließt." (Prof. H. Brändli, Zürich)

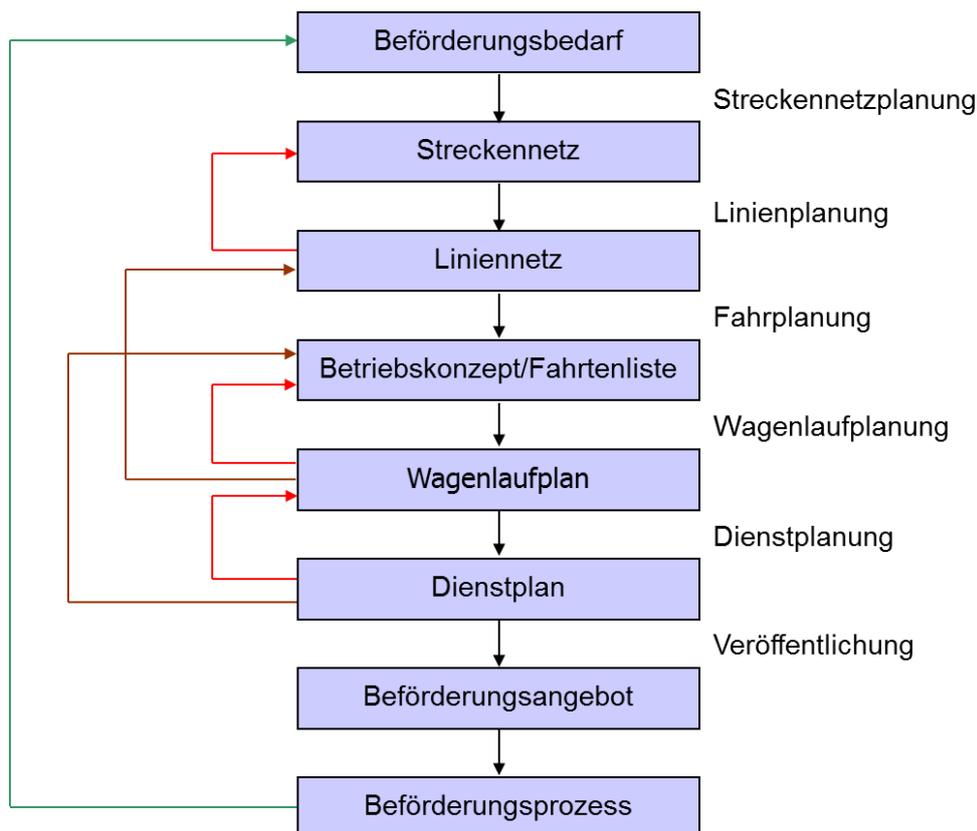
Qualitätsansprüche aus Fahrgastsicht:

- geringe Reisezeit bezogen auf die gesamte Strecke "von Haus zu Haus"
- dichte Fahrtenfolge
- hohe Zuverlässigkeit
- verständliches Angebot
- gute Information - auch im Störfall
- niedrige Tarife
- hohes Sicherheitsgefühl im Fahrzeug und an der Haltestelle

"Unser Fahrgast will

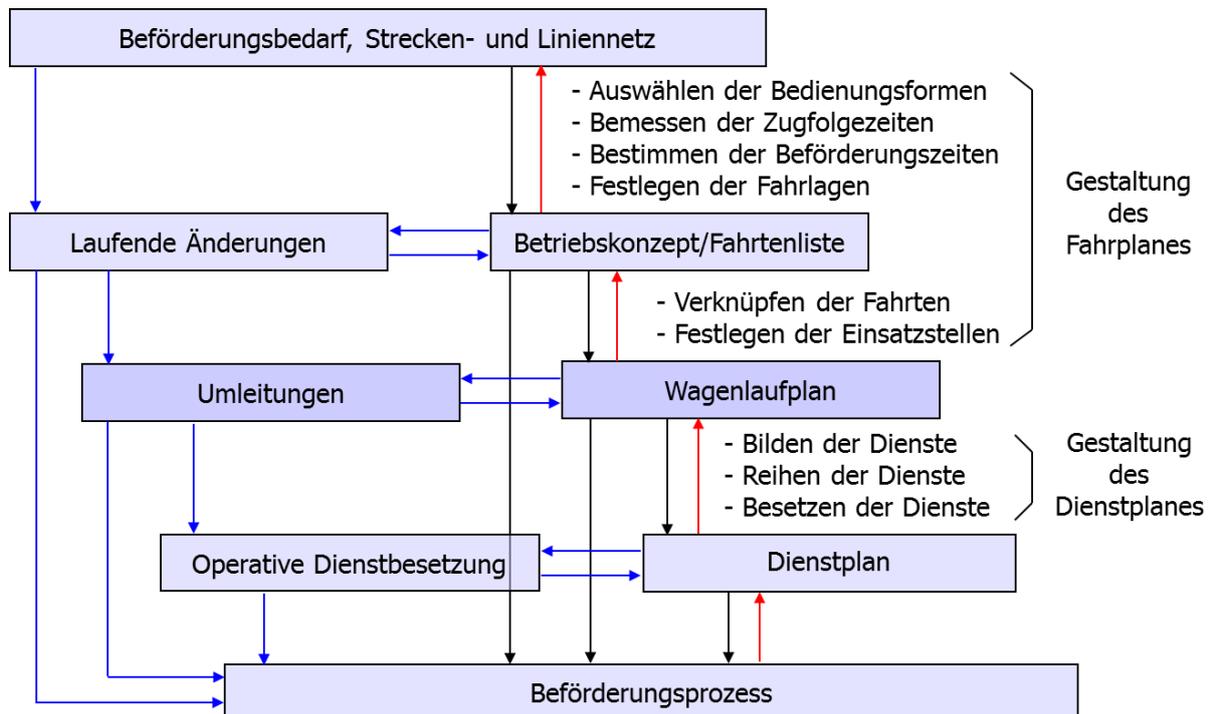
- schnell, billig, bequem und sicher
 - von einem selbst gewählten Ausgangspunkt
 - zu einem selbst gewählten Zeitpunkt
 - an ein selbst gewähltes Ziel gelangen und sonst rein gar nichts!"
- (Prof. H. Brändli, Zürich)

1.2 Gesamtprozess der Planung¹



¹ TU Dresden/Steffen Dutsch

1.3 Fahr- und Dienstplangestaltung²



2 Ermittlung des Verkehrsaufkommens

2.1 Analyse des Ist-Zustandes

(1) Beobachtung

(2) Querschnittszählung

- Auskunft über das Verhältnis von Platzangebot und Nachfrage, über zeitliche Schwankungen in der Besetzung und über die Pünktlichkeit an einem bestimmten Punkt.
- Vorteil: nicht sehr personalintensiv
- Nachteil: Für das Netz nicht repräsentativ, keine Auskünfte über Quelle-/Zielbeziehungen

(3) Streckenbelastungszählung

- Ein- und Aussteiger werden an jeder Haltestelle erfasst, Auskünfte wie oben, jedoch zusätzlich über die örtlichen Schwankungen innerhalb einer Linie
- Vorteil gegenüber (2): Aussagekraft über die Auslastung einer Linie / eines Streckenasts
- Nachteile: wesentlich personalintensiver – kann aber auch automatisiert werden (durch Zählgeräte), keine vollständige Auskünfte über die Quelle-/Zielbeziehungen

(4) Verkehrsstromzählungen (mündliche oder schriftliche Befragungen)

- Genaue Auskünfte über die Quelle-/Zielbeziehungen und die Verkehrsmittelwahl. Dient auch zur Ermittlung des Modal Splits („klassisch“: Verhältnis ÖV und MIV-Anteil, ansonsten Verhältnis aller Fortbewegungsformen [also auch Fußgänger Fahrrad, Motorrad, z.T. auch zusätzlich unterschieden nach Fahrer und Mitfahrer])
- Vorteil: Netzweite Betrachtung möglich
- Nachteil: sehr aufwendig, kosten- und personalintensiv

² TU Dresden/Steffen Dutsch

2.2 Planung/Prognose des Aufkommens

- Ansatz von Vergleichswerten
- Hochrechnung ermittelter Werte
- Berechnungsansätze nach bekannten Mobilitätsansätzen
 Typische Ansätze:
 - 3,6 Wege (Fuß, Rad, MIV und ÖV) pro Tag und Einwohner;
 - 0,4 ... 0,8 Fahrten/Einwohner täglich mit ÖV
 - 15 % des Fahrgastaufkommens fallen in Lastrichtung in der Spitzenstunde an

Beispiele für die Verkehrsmittelwahl in ausgewählten Städten
 (mittlerer Werktag, alle Wege):

Stadt/Einwohner	Wege- häufigk. [Wege/ P, d]	Verkehrsmittelanteile absolut [Wege/P, d]				Verkehrsmittelanteile relativ [%]			
		Fuß	Rad	MIV	ÖV	Fuß	Rad	MIV	ÖV
Berlin/3,6 Mio.	3,5	1,03	0,61	0,90	0,93	29,6	17,6	25,9	26,9
Frankfurt M/747.000	3,4	0,88	0,67	1,12	0,72	25,9	19,8	33,1	21,3
Bremen/568.000	3,4	0,84	0,85	1,21	0,50	24,8	25,0	35,6	14,7
Leipzig/582.000	3,6	0,97	0,67	1,30	0,63	27,3	18,7	36,5	17,5
Chemnitz/247.000	3,4	1,05	0,23	1,76	0,38	30,7	6,7	51,6	11,0
Kiel/248.000	3,6	1,07	0,79	1,38	0,37	29,6	21,9	38,3	10,1
Magdeburg/238.000	3,6	0,90	0,65	1,52	0,50	25,2	18,2	42,6	14,1
Erfurt/213.000	3,5	1,05	0,44	1,38	0,63	30,0	12,5	39,6	17,9
Jena/111.000	3,6	1,27	0,54	1,24	0,55	35,3	15,1	34,3	15,3
Gera/95.000	3,2	0,89	0,17	1,76	0,43	27,3	5,2	54,3	13,2

(Quelle: Mobilität in Städten - SrV (System repräsentativer Verkehrsverhaltensbefragungen), TU Dresden, Auswertung 2018)

Entwicklung in Erfurt und Jena:

Erfurt Jahr (Einwohner)	Wege- häufigk. [Wege/ P, d]	Verkehrsmittelanteile absolut [Wege/P, d]				Verkehrsmittelanteile relativ [%]			
		Fuß	Rad	MIV	ÖV	Fuß	Rad	MIV	ÖV
SrV 2008 (203.000)	3,1	0,86	0,25	1,20	0,72	28,5	8,3	39,5	23,8
SrV 2013 (205.000)	3,6	1,1	0,4	1,5	0,6	29,7	10,8	42,3	17,2
SrV 2018 (213.000)	3,5	1,05	0,44	1,38	0,63	30,0	12,5	39,6	17,9

Jena Jahr (Einwohner)	Wege- häufigk. [Wege/ P, d]	Verkehrsmittelanteile absolut [Wege/P, d]				Verkehrsmittelanteile relativ [%]			
		Fuß	Rad	MIV	ÖV	Fuß	Rad	MIV	ÖV
SrV 2008 (103.000)	3,2	1,26	0,33	1,10	0,52	39,3	10,3	34,2	16,2
SrV 2013 (108.000)	3,6	1,4	0,3	1,2	0,7	38,2	8,9	34,3	18,6
SrV 2018 (111.000)	3,6	1,27	0,54	1,24	0,55	35,3	15,1	34,3	15,3

3 Netzaufbau

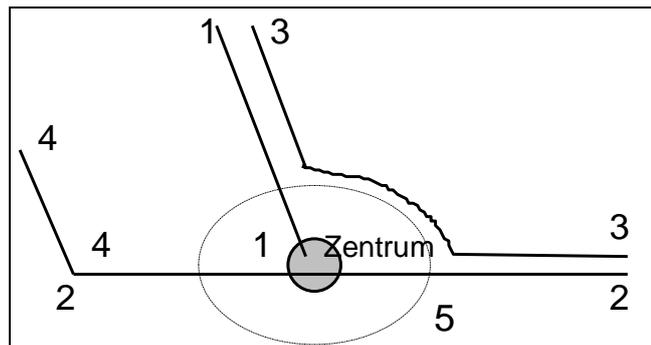
Ziele der Netzbildung:

- Reisezeit (Quelle → Ziel) minimieren,
- minimale Umsteigebeziehungen,
- leicht verständlicher Aufbau für den Fahrgast,
- Minimum an Arbeitskräften und Fahrzeugen.

3.1 Linienformen

Kriterium: Lage zum Zentrum

- 1 Radiallinie
- 2 Durchmesserlinie
- 3 Tangentiallinie
- 4 Zubringerlinie
- 5 Ringlinie



Radial- und Durchmesserlinien

- erschließen das Zentrum
- bewältigen die stärksten Verkehrsströme
- stellen das Grundgerüst für das Liniennetz dar

Vorteile der Radiallinie	Vorteile der Durchmesserlinie
gute Anpassung an die zeitlichen und örtlichen Verkehrsschwankungen	Umsteigevorgänge in einer Relation werden vermieden
gute Verkehrssteuerung möglich	kein Flächenbedarf für Endpunkte im Stadtzentrum

Tangentiallinien

- erschließen nicht das Zentrum, sondern die peripheren Bereiche der Städte
- nur in großen Städten sinnvoll oder in Städten mit ungleichmäßiger Besiedlung

Zubringerlinien

- erschließen nicht das Zentrum
- besonders bei Übergang zu spurgebundenen Verkehrsmitteln
- + gute Anpassung an örtlich unterschiedliches Fahrgastaufkommen (Taktzeiten, Wagengröße)
- + unabhängig von Behinderungen durch überlastete Verkehrswege im Stadtzentrum
- Umsteigebeziehungen benötigen Zeit und mindern die Reisequalität

Ringlinien

- echte Ringlinien technologisch bedenklich
- beinhalten Funktionen der Tangential-, Zubringer- oder Radiallinien
- die Richtungen werden meist unterschiedlich bezeichnet
- + kein Flächenbedarf für Endpunkte
- ringförmiger Verkehrsstrom existiert nicht
- kein Verspätungsausgleich möglich

Vor- und Nachteile langer Linien

- + mehr Direktbeziehungen
- + weniger Wagenumläufe nötig (bezogen auf die Streckenlänge)
- Fahrplanabweichungen wahrscheinlicher

3.2 Linienarten

Kriterium: Einsatzzeit

- Stammlinie
- Tageslinie
- Nachtlinien
- Wochenendlinie
- Verstärkungslinie (Berufsverkehrslinie)
- Einsatzlinie

3.3 Netztypen

Achsennetz	Verästelungsnetz
unabhängigere Fahrplangestaltung	weniger Umsteigebeziehungen
unempfindlicher gegenüber Behinderungen	Verteilung der Störungen auf das Gesamtnetz

3.4 Haltestellen

Konfliktfeld Haltestellenabstände:
 Beförderungsgeschwindigkeit ↔ kurze Wege zur Haltestelle

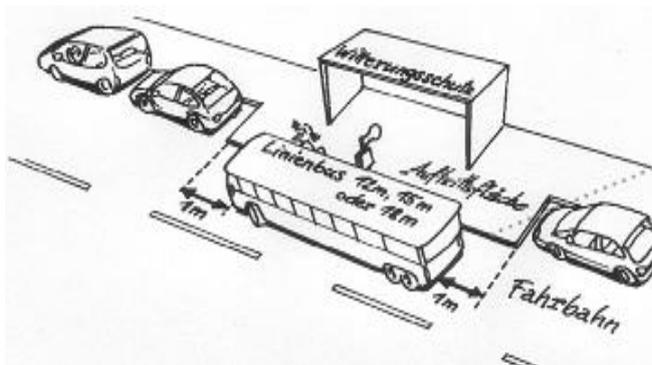
Haltestellenabstände:

Verkehrsmittel	Dicht bebautes Gebiet	Weitläufig bebautes Gebiet
Bus, Straßenbahn	300 ... 600 m	600 ... 800 m
U-Bahnen		
- mit Kurzstreckenverkehr	500 ... 900 m	nicht im Einsatz
- ohne Kurzstreckenverkehr	1200 ... 1800 m	nicht im Einsatz
S- und SV-Bahnen*	700 ... 1200 m	> 1200 m

* Stadt- und Vorortbahnen

Festlegung/Einordnung von Haltestellen

- Zentral von Siedlungsgebieten, Randlagen vermeiden
- Fahrzeuge müssen Haltestellenbereich zügig und sicher ein- und ausfahren sowie gerade zum Halten kommen können, Halt in Gefälle/Steigung vermeiden
- Behindertengerechter Ausbau (Niederflur, Blindenleitstreifen)
- Sichere und schnelle Erreichbarkeit der Haltestelle für Fahrgäste
- Mindeststandards sicheren (Witterungsschutz, Sitzgelegenheiten, ausreichende Warteflächen)
- bei einstreifiger Verkehrsführung soll Vorbeifahrt des MIV unterbunden werden, Busbuchten nur ausnahmsweise (aber: Möglichkeiten zum Abbau von Verfrühungen in bestimmten Abständen vorsehen)
- Mittellage von Straßenbahnhaltestellen vermeiden (ansonsten LSA-Schutz, „angehobene Fahrbahn“, Kaplösungen)
- Haltestellen sind Imageträger!



Ideale Anordnung einer Bushaltestelle hier als Kaplösung – rechts: Beispiel Erfurt, Häßlerstr. mit Kasseler Sonderbord (18 cm) zur Gewährleistung des barrierefreien Einstiegs



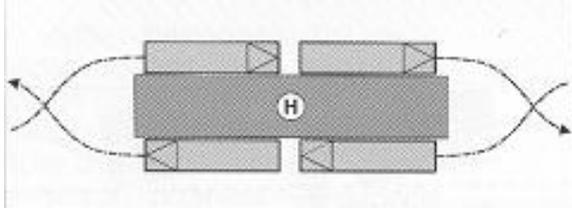
Optimale Haltestellenausstattung mit statischer und dynamischer Haltestellen-Information, Fahrscheinverkauf, Witterungsschutz, Sitzgelegenheiten, niederflurgerechter Ausbau mit Hochbord und Blindenleitstreifen (Beispiel: Erfurt, Anger)



Straßenbahn in Mittellage mit Signalschutz und „angehobener Fahrbahn“ (links: Erfurt, Boyneburgufer; rechts: Nordhausen, Theater)

Haltestellen als Verknüpfungspunkte

- Kurze Wege zwischen den Verkehrsmitteln, Vorzug „Tür an Tür“
- Fußgänger-LSA-Querungen beim Umsteigen vermeiden
- Wartezeiten für Fahrzeuge müssen möglich sein
- Hoher Anspruch an Ausstattung für Fahrgäste (Sitzgelegenheiten, Wetterschutz, Fahrgastinformation, Service)



Prinzip „Rendezvoushaltestelle“:
Typischer Verknüpfungspunkt für kleine Verkehrsknoten, kurze Umsteigewege im Tür-an-Tür-Prinzip, geringer Flächenbedarf
Beispiel: Wernigerode



Beispiel Erfurt, Marcel-Breuer-Ring für einen Verknüpfungspunkt zwischen Bus und Bahn, das Tür-an-Tür-Prinzip wird durch den Linksverkehr des Busses umgesetzt

Endpunkte

- Wendezeit darf zu keinen Behinderungen des übrigen Verkehrs führen
- Überhol-, Austausch- und Abstellmöglichkeiten
- Soziale Einrichtungen für Fahrpersonal
- Unterschied zwischen Wende- und Kehranlagen bei schienengebundenen Verkehrsmitteln (Rangierfahrten nur ausnahmsweise zulassen)



Beispiel Erfurt, Europaplatz für einen kombinierten Verknüpfungs- und Endpunkt, Überholmöglichkeit der Busse wird durch die sägezahnförmige Anordnung der Haltepunkte gewährleistet

3.5 Grundsätze der Linienführung/Netzbildung

- (1) Jeder Stadtteil ist mindestens durch eine Stamm- (oder Tages-)linie mit möglichst kleiner Taktzeit auf direktem Weg mit dem Stadtzentrum zu verbinden.
- (2) Durchmesserlinien sind - soweit es die örtlichen und zeitlichen Randbedingungen zulassen - zu bevorzugen.
- (3) Die Linien sollten immer von Knoten zu Knoten geführt werden, um maximale Beförderungsmöglichkeiten zuzulassen.
- (4) Das Verästelungsnetz ist nur dann sinnvoll, wenn alle Streckenabschnitte mit gleichen Taktzeiten bedient werden können und eine hohe Fahrplantreue erwartet werden kann. Das Achsenetz ist anzustreben, wenn der Bedarf unterschiedliche Taktzeiten auf den einzelnen Achsen erfordert oder erhebliche Fahrplanabweichungen das Netz bestimmen.
- (5) Zubringerlinien sind nur dort einzusetzen, wo eindeutige technische oder betriebswirtschaftliche Gründe gegen deren Weiterführung sprechen. Zubringerlinien werden nur dann angenommen, wenn die Qualitätsminderung durch das Umsteigen durch eine wesentliche Verkürzung der Reisezeit kompensiert wird. Eine hohe Wahrscheinlichkeit der Gewährleistung der Umsteigebeziehungen ist durch geeignete organisatorische und technische Maßnahmen zu gewährleisten.
- (6) Umwege im Zentrum dienen der besseren Erschließung - sind aber bei starkem Durchgangsverkehr zu vermeiden. Stichstrecken oder sonstige Umwege sind nur ausnahmsweise vorzusehen, besser durch gesonderte Linien abzudecken.
- (7) In den Abend- und frühen Nachtstunden sollte der Verkehr durch eine Mindestbedienung aufrecht erhalten werden. Nur aus wirtschaftlichen Gründen ist ein gesondertes Nachtnetz anzubieten.
- (8) Änderungen der Linienführung sollten nur dann erfolgen, wenn damit wesentliche Verbesserungen für die Fahrgäste entstehen oder harte wirtschaftliche Rahmenbedingungen dazu zwingen.

4 Angebotsplanung

Elementarwiderspruch:
 Attraktivitätsanspruch des ÖV ↔ Sicherung Wirtschaftlichkeit des ÖV

4.1 Bemessung der Taktzeiten (Zugfolgezeiten)³

Begriffsklärung:

$$\begin{aligned} & \text{Beförderungszeit} \\ & = \text{Fahrzeit} + \text{Haltestellenaufenthaltszeit} + \text{Behinderungszeit} \\ & \text{Reisezeit} \\ & = \text{Gehzeit zur/von Haltestelle} + \sum \text{Beförderungszeiten} + \sum \text{Wartezeiten} + \sum \text{Umsteigezeiten} \\ & \quad (+ \sum \text{Sicherheitszuschläge}) \end{aligned}$$

Einflussgrößen auf die Beförderungszeit:

- Fahrzeit (zulässige/mögliche Geschwindigkeiten, Anfahr- u. Bremsbeschleunigungen)
- Haltestellenaufenthaltszeit (Anzahl Türen/Türspuren, Einstiegsverhältnisse (Stufen/Niederflur), "Sackgassen" in den Fahrzeugen, ausreichend Stehplätze in den Türbereichen, Fahrgastaufkommen [angepasste Fahrzeuglängen bzw. Taktzeiten], Fahrscheinverkauf)
- Behinderungszeit (LSA-Wartezeiten, Behinderungen ÖV – IV sowie ÖV – ÖV)

Durchschnittliche Beförderungsgeschwindigkeiten:

- Stadtverkehr (Bus und Bahn): 16 ... 24 km/h
- Regional- und Vorortverkehr: 25 ... 30 km/h

Größte zumutbare Taktzeiten ($t_{z \max}$) [Mindestangebot] im Stadtverkehr (Richtwerte):

Tageszeit	Verkehrsmittel	Zentrumsbereich	Außenbereich dicht bebaut	Außenbereich weitläufig bebaut
Tagesverkehr (außer Wochenende früh)	Strab	10 min	15 min	20 min
	Bus	15 min	30 min	60 min
	U-Bahnen	7,5 min	10 min	kein Einsatz
	S-Bahnen	10 min	20 min	20 ... 60 min
Abendverkehr (auch Wochenende früh)	Strab	15 min	30 min	30 min
	Bus	30 min	60 min	60 min
	U-Bahnen	10 min	15 min	kein Einsatz
	S-Bahnen	20 min	20 min	30 ... 60 min
Nacht		60 ... 90 min	60 ... 90 min	60 ... 90 min

³ Die Begriffe „Taktzeit“ und „Zugfolgezeit“ (Bahnverkehr) werden hier synonym verwendet.

4.2 Platzangebot

$$\text{Grundzusammenhang: } f * P = \frac{Q}{\gamma_{\max}}$$

$$f = \frac{Q}{P * \gamma_{\max}}$$

Formelzeichen:

f	Bedienungshäufigkeit
P	Platzangebot pro Zug/Fahrzeug
Q	Verkehrstromstärke
γ_{\max}	maximale Platzausnutzung

Platzangebot pro Zug/Fahrzeug: Sitzplätze + Stehplätze (0,125 ... 0,25 m²/Pers.)
 maximale Platzausnutzung: 0,7 ... 0,8 Personen pro Platz für Straßenbahn/Bus

Beispiele für das Platzangebot P von Fahrzeugen des Nahverkehrs:

Straßenbahnen

Bezug: 4 Personen/m² Stehplatzfläche (Herstellerangaben)

Combino – 31 Meter (Erfurt, 2,30 m breit, ER) 180 Pl. – davon 60 Sitzplätze (33 %)
 Combino – 20 Meter (Erfurt, 2,30 m breit, ER) 105 Pl. – davon 37 Sitzplätze (35 %)

GT6M – 27 Meter (Jena, 2,30 m breit, ZR) 153 Pl. – davon 49 Sitzplätze (32 %)
 Tramlink – 32 Meter (Jena, 2,45 m breit, ZR) 180 Pl. – davon 58 Sitzplätze (32 %)

MGT – dreiteilig – 30 Meter (Heidelberg) 182 Pl. – davon 85 Sitzplätze (47 %)

Combino – 42 Meter (Basel, 2,30 m breit, ER) 253 Pl. – davon 90 Sitzplätze (36 %)
 Tramlink – 42 Meter (Erfurt, 2,30 m breit, ER) 248 Pl. – davon 92 Sitzplätze (37 %)
 Tramlink – 42 Meter (Jena, 2,45 m breit, ZR) 241 Pl. – davon 80 Sitzplätze (33 %)

Busse

Bezug: 8 Personen/m² Stehplatzfläche (lt. Zulassung)

Citaro, Mercedes, 12 Meter, 2 Türen, NF 103 Pl. – davon 32 Sitzplätze (31 %)
 Citaro, Mercedes, 15 Meter, 3 Türen, NF 133 Pl. – davon 42 Sitzplätze (32 %)
 Citaro, Mercedes, 18 Meter, 3 Türen, NF 147 Pl. – davon 48 Sitzplätze (33 %)

Integro, Mercedes, 12 Meter, 2 Türen 82 Pl. – davon 53 Sitzplätze (65 %)
 Integro, Mercedes, 15 Meter, 2 Türen 119 Pl. – davon 69 Sitzplätze (58 %)

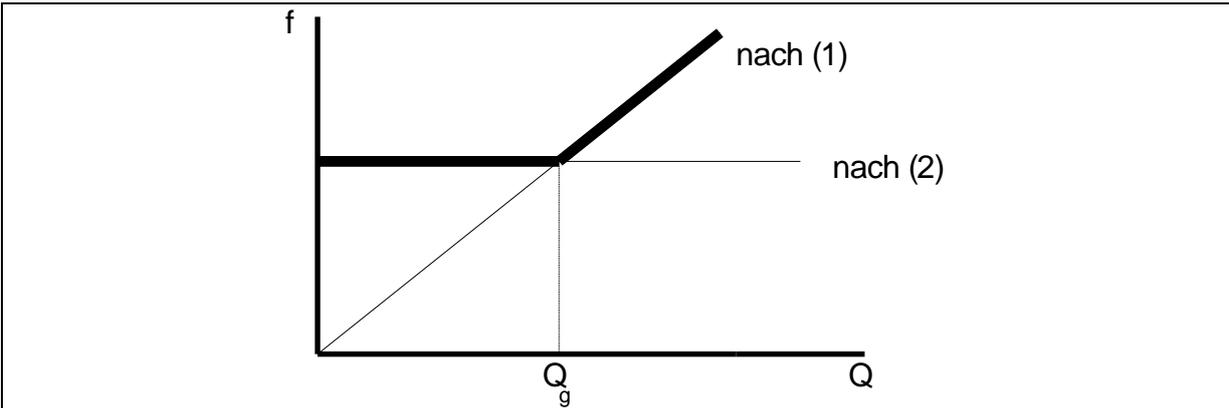
Travego, Mercedes, 12 Meter, Reisebus 49 Pl. – davon 49 Sitzplätze (100 %)
 Travego, Mercedes, 14 Meter, Reisebus 57 Pl. – davon 57 Sitzplätze (100 %)

Maßgebendes Kriterium

$$f = \frac{Q}{P \cdot \gamma_{max}} \quad (1)$$

$$Q_g = \frac{P \cdot \gamma_{max}}{t_{z,max}} \quad (2)$$

Formelzeichen: Q_g Grenzverkehrsstromstärke
 $t_{z,max}$ größte zumutbare Taktzeit (Zugfolgezeit)
 (Mindestbedienung, zumeist im Nahverkehrsplan festgelegt)



Prinzipskizze "Maßgebendes Kriterium"

Zusammenhang Taktzeit – Bedienungshäufigkeit:

$$f = \frac{1}{t_z}$$

Formelzeichen: t_z Taktzeit (Zugfolgezeit)
 f Bedienungshäufigkeit

"Maßgebendes Kriterium" am Beispiel einer Fahrzeuggröße von $P = 180$ Personen
 (NF-Straßenbahn 30 m):

	Spitzenstunde	übriger Berufsverkehr	Tagesverkehr	Abendverkehr
Verkehrsstromstärke Q	1.000 Pers/h	800 Pers/h	400 Pers/h	200 Pers/h
größte zumutbare Taktzeit	10 min	10 min	10 min	15 min
Platzausnutzung (γ_{max})	0,8 Pers/Platz	0,6 Pers/Platz	0,4 Pers/Platz	0,4 Pers/Platz
Grenzverkehrsstromstärke	864 Pers/h	648 Pers/h	432 Pers/h	288 Pers/h
Bedienungshäufigkeit (f)	7 h ⁻¹	8 h ⁻¹	6 h ⁻¹	3 h ⁻¹
anzubietende Taktzeit (t_z)	7,5 min	7,5 min	10 min	15 min (wegen $t_{z,max}$)

4.3 Anpassung an das Verkehrsaufkommen

4.3.1 Örtliche Schwankungen

- Bedarf nimmt zumeist mit der Entfernung zum Zentrum ab
- Bedarf oftmals richtungsabhängig

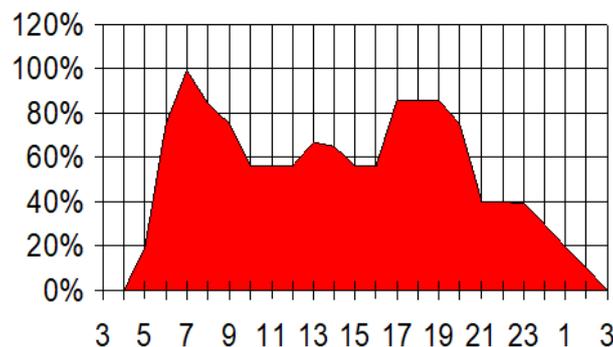
Möglichkeiten:

- Liniengestaltung mit Einkürzungen (aber Mindestangebot an den äußeren Endpunkten beachten) oder Verzweigungen
- Zuggrößen im Streckenverlauf anpassen (technologisch aufwendig und personalintensiv)
- schwache Streckenabschnitte durch kleinere Fahrzeuge als Zubringerlinien fahren (Zwang zum Umsteigen → Reisequalität sinkt)
- Fahrzeuge dezentral stationieren, sog "Außenstellen" nutzen (zumeist nur für Einzelfahrten in den Spitzenstunden)
- in bestimmten Gebieten mit äußerst schwachen Verkehrsaufkommen nur nach Bedarf fahren (z.B. "Anrufsammeltaxi", "Rufbus", „Ride on demand“)

4.3.2 Zeitliche Schwankungen

Bedarfsschwankungen treten auf:

- jährlich (Winter/Sommer/Ferien z. B. 1 : 0,9 : 0,7),
- wöchentlich (Werktag/Wochenende) und
- täglich (Berufs-, Tages- und Abendverkehr)



Typische Schwankung des Fahrzeugbedarfs über einen Verkehrstag (Mo – Fr)

Anpassungsmöglichkeiten:

- Sommer- oder Ferienfahrpläne
- ausgewählte Fahrten nur für bestimmte Zeiten (z. B. nur in der Schulzeit)
- Einsatzlinien oder Verstärkungsfahrten zur Deckung der Verkehrsspitzen
- Platzangebot variieren (Zuglänge, Fahrzeuggrößen)
- Betriebsform ändern (in Schwachzeiten nur auf Anforderung)

5 Fahrplan

5.1 Aufgaben und Form

Fahrplan → "Modell", idealisierter Betriebsablauf

Form:	tabellarisch oder grafisch
öffentliche Fahrpläne:	Fahrplanheft Aushangfahrpläne * <i>linienbezogen</i> * <i>haltestellenbezogen</i> Abfahrts- und Ankunftsfahrpläne
nichtöffentliche Fahrpläne:	Wagenlaufpläne Dienstlerläuterungen
Genauigkeit der Fahrplanung:	Strab/Bus: 1 min (innerbetrieblich auch z. T. kleiner) S-Bahn: 1/10 bis 1/4 min (6 ... 15 s)

5.2 Umlaufzeit und Zugbedarf im starren Fahrplan

Begriffe: starrer Fahrplan
wechselnd starrer Fahrplan
quasi starrer Fahrplan

Grundzusammenhänge:

$$t_U = t_{fAB} + t_{wB} + t_{fBA} + t_{wA}$$
$$t_U = t_{fU} + t_{wU}$$

Formelzeichen:	t_U	Umlaufzeit
	t_{fAB}	Beförderungszeit von A nach B
	t_{wB}	Wendezeit in B
	t_{fU}	Beförderungszeit im Umlauf
	t_{wU}	Wendezeit im Umlauf

$$\text{Anzahl benötigter Züge/Wagen: } N = \frac{t_U}{t_Z}$$

Umlaufgeschwindigkeit < Beförderungsgeschwindigkeit < Fahrgeschwindigkeit

Bemessen der Wendezeit:

- Vorbereitung des Zuges für die nächste Fahrt
- Verspätungsausgleich
- persönliche Bedürfnisse des Fahrers
- unter bestimmten Voraussetzungen auch Pausenzeit

$$\text{Minimale Wendezeit im Umlauf: } t_{wU_{min}} = \frac{t_{fU}}{6}$$

5.3 Fahrplanverknüpfungen

Problemfelder:

- Linienüberlagerungen
- Anschlusssicherung (Übergänge)
- unterschiedliche Taktzeiten
- Noniuseffekt

Noniuseffekt: Werden auf einem Streckenabschnitt unterschiedliche Taktzeiten angewandt, kommen extrem schwankende Fahrtfolgen zustande.

Es kommt u. U. sogar zur zeitlichen Überlagerung zweier Fahrten, die praktisch nicht realisiert werden können. Eine Fahrplanabweichung wird in diesen Fällen bewusst in Kauf genommen.

Die maximale Fahrtfolge entspricht der Taktzeit der Linie mit der größeren Bedienungshäufigkeit.

Noniuseffekt ist nur vertretbar, wenn:

- er auf einem relativ kleinem Streckenabschnitt auftritt
- die Fahrgäste die Linien nicht alternativ benutzen, sondern die wesentlichen Beförderungsströme linienweise zuzuordnen sind

Beispiel Noniuseffekt: Jena, Linien 1/4 und 5 (Montag – Freitag im Tagesverkehr)

- **Linie 1** Zwätzen – Lobeda-West: 20-Minuten-Takt
- **Linie 4** Zwätzen – Lobeda-West: 20-Minuten-Takt
- *Linie 5* Ernst-Abbe-Platz – Lobeda-Ost: 7/8-Minuten-Takt

Nonius-Effekt zwischen Paradiesbahnhof und Burgaupark:

Paradiesbahnhof ab 03 **09** 11 18 19 26 **29** 33 39 41 48 **49** 56 59

→ insgesamt 14 Fahrten/Stunde – durchschnittliche Zugfolge: 4,3 min

jedoch:

kürzeste Zugfolge: 1 min

längste Zugfolge: 7 min

→ Noniuseffekt hier vertretbar, da die Beförderungsströme auf die Linienäste Lobeda-Ost bzw. Lobeda-West ausgerichtet sind und nur geringer Binnenverkehr besteht

Durch einen quasi starren Fahrplan können die Nachteile des Noniuseffekts minimiert werden. Dabei werden einzelne Fahrten leicht aus dem Grundtakt verschoben, um auf dem Streckenabschnitt gleichmäßige Fahrtfolgen zu erreichen. Dadurch treten jedoch Nachteile in der Bedienungsqualität auf den verbleibenden Streckenabschnitten auf (längere Wartezeiten).

6 Wagenlaufplan (Kursplan/Umlaufplan)

6.1 Aufgaben und Inhalt

Der Wagenlaufplan ordnet jede Fahrt des Fahrplanes genau einem Fahrzeugumlauf (Kurs) zu.

Es ist ein technologisches Dokument, um den Fahrplan umzusetzen.

Ein Wagenlaufplan bildet den Betriebstag, der nicht mit dem Kalendertag identisch sein muss, ab (gilt auch für den Fahrplan).

- Angaben:
- Verkehrstag, Gültigkeitszeitraum
 - Fahrzeugtyp (u. U. sogar Fahrzeugnr.) oder notw. Platzangebot
 - Abfahrtszeiten nach Kursen geordnet
 - Dienstnummer^{*)}
 - Anfangs-, u. U. Zwischen-^{*)} und Endhaltestellen^{*)}
 - Fahrtwegbeschreibung oder Routennummer
 - Aufgabenart^{*)}
 - Dienstbeginn^{*)} und -ende^{*)}
 - Vorbereitungs-^{*)} und Abschlusszeit^{*)}
 - planmäßige Pausen^{*)}
 - Wartungs-^{*)} und Pflegezeiten^{*)}

^{)} Diese Angaben werden im Stadtverkehr nur ausnahmsweise im Wagenlaufplan eingeordnet; sie sind dort in separaten Dienstplänen oder -erläuterungen zu finden.*

- Formen:
- tabellarisch
 - grafisch

6.2 Bilden von Wagenläufen

Randbedingungen:

- Platzangebot beachten (Überschreitung aus ökonomischen Gründen möglichst vermeiden)
- Beachtung des Verbots bestimmter Fahrer oder Fahrzeuge für bestimmte Fahrten oder Strecken
- Technische Mindestwendezeit zum Wenden oder Kehren des Fahrzeuges sowie zum Zielfilmwechsel einhalten
- eventuelle Betriebshofbindungen der Fahrzeuge oder Ablösepunkte beachten
- Optimierung nach Zeit und Kilometerleistung durchführen

Bildung von Teilwagenläufen:

Bleiben Taktzeit und Beförderungszeitklasse unverändert, so können für diese Zeitabschnitte Teilwagenläufe gebildet werden (Anzahl der gleichzeitig eingesetzten Züge bleibt konstant).

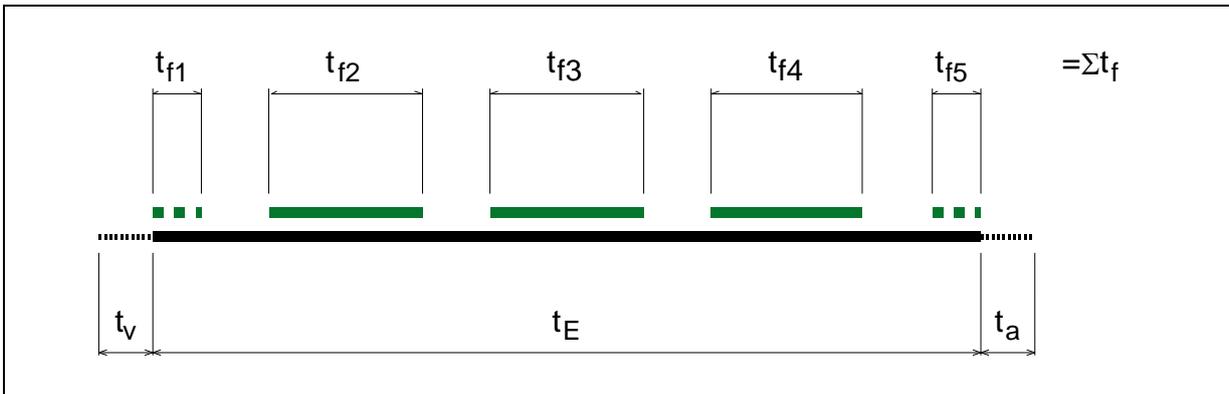
Vorteile dieses Hilfsmittels bei manueller Bearbeitung:

- Reduzierung des Problemumfangs
- Vereinfachung der Optimierung
- Einbau der Pausen u. U. leichter möglich
- Randbedingungen können leichter eingehalten werden

6.3 Fahrplanwirkungsgrad

Der Fahrplanwirkungsgrad η_v ist das Verhältnis der Zeitsumme der öffentlichen Fahrten t_f zur Summe der Einsatzzeiten t_E (Zeitdifferenzen zwischen Ein- und Ausrückzeiten).

$$\eta_v = \frac{\sum t_f}{\sum t_E}$$



Übliche Werte von η_v liegen im Bereich von 0,7 ... 0,9. Im Allgemeinen wirken sich lange Linien und kurze Taktzeiten günstiger auf den Fahrplanwirkungsgrad aus.

6.4 Fahrzeugbedarf

Die Anzahl notwendiger Fahrzeuge ergibt sich aus dem Fahrzeugbedarf in der Spitzenstunde zuzüglich einer Einsatzreserve für operative Fälle (Baustellen, Veranstaltungen etc.) und einer Werkstattreserve (nicht einsatzfähige Fahrzeuge für Reparatur und Wartung).

ökonomischer Einsatzkoeffizient:

$$E_{ök} = \frac{\text{max. Anzahl der gleichzeitig eingesetzten Fahrzeuge}}{\text{Fahrzeugbestand}}$$

technischer Einsatzkoeffizient:

$$E_{tech} = \frac{\text{Anzahl der einsatzfähigen Fahrzeuge}}{\text{Fahrzeugbestand}}$$

$$E_{ök} (0,80 \dots 0,85) < E_{tech} (0,85 \dots 0,9)$$

7 Dienstplan

7.1 Grundlagen

Vergleiche hierzu Heft 2: Arbeitszeit-/Sozialvorschriften!

- **Verordnung (EG) Nr. 561/2006** des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 15. März 2006 zur Harmonisierung bestimmter Sozialvorschriften im Straßenverkehr und zur Änderung der Verordnungen (EWG) Nr. 3821/85 und (EG) Nr. 2135/98 des Rates sowie zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 3820/85 des Rates, zuletzt geändert durch VO (EG) Nr. 2020/1054 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Juli 2020
- Arbeitszeitgesetz (**ArbZG**) vom 06.06.1994, zuletzt geändert durch Artikel 6 des Gesetzes vom 22.12.2020
- Gesetz über das Fahrpersonal von Kraftfahrzeugen und Straßenbahnen - Fahrpersonalgesetz (**FPersG**) vom 30.03.1971, i.d.F. der Bekanntmachung vom 19.02.1987, zuletzt geändert durch Artikel 19 des Gesetzes vom 02.03.2023
- Verordnung zur Durchführung des Fahrpersonalgesetzes - Fahrpersonalverordnung (**FPersV**) vom 27.06.2005, zuletzt geändert durch Artikel 13 des Gesetzes vom 28.06.2023
- Manteltarifverträge (z.B. **TV-N**, **TV-R**)
- Betriebliche oder einzelvertragliche Vereinbarungen auf der Basis von Tarifverträgen

7.2 Begriffe und Randbedingungen

Begriffe:

- *Schichtlänge*: Dauer von Dienstbeginn bis Dienstende
- *Dienstlänge (tägliche Arbeitszeit)*: bezahlter Teil der Schicht (Schichtlänge abzgl. unbezahlter Pausen/Zwischenzeiten)
- *Geteilter Dienst*: Dienst mit mindestens einer oder mehreren Unterbrechung(en), zwischen den Dienstteilen i. d. R. Freizeit, aber auch (geteilte) Ruhezeit
- *Vorbereitungs-/Abschlusszeit*:
 - technische V/A-Zeiten beim Aus- und Einrücken (an den Umlauf gebunden)
 - dienstbezogene V/A-Zeiten bei Dienstbeginn und -ende (an den Dienst gebunden)technische und dienstbezogene V/A-Zeiten können sich zeitlich decken
- *Lenkzeit*: "reiner Dienst am Steuer"; Dauer der Lenktätigkeit, die entweder durch Kontrollgeräte oder von Hand aufgezeichnet wird; kann durch Ruhepausen oder (anrechenbare) Fahrtunterbrechungen (z. B. Wendezeiten) unterbrochen werden
- *Lenkdauer*: „ununterbrochene Lenkzeit“; Gesamtlenkzeit zwischen Ende einer Ruhezeit/Fahrtunterbrechung und Beginn der nächsten Ruhezeit/Fahrtunterbrechung; kann anrechenbare Fahrtunterbrechungen (z. B. Wendezeiten) unterbrochen werden
- *Wendezeit/Haltezeit*: Zeit am Endpunkt/Zwischenpunkt der Linie
Als pausenverwertbar anrechenbar ist nur der Teil, der regelmäßig nicht für dienstliche Verrichtungen benutzt wird (Fahrtunterbrechung). Dienstliche Verrichtung ist bspw. Umsetzen, Beschilderung, Fahrzeugkontrolle, Auskunftserteilung, Fahrgastbedienung, Verspätungsausgleich.
- *Fahrtunterbrechung*: jeder Zeitraum, in dem der Fahrer keine Fahrtätigkeit ausüben und keine anderen Arbeiten ausführen darf und der ausschließlich zur Erholung genutzt wird
- *Ruhepause*: jeder ununterbrochene Zeitraum, in dem ein Fahrer frei über seine Zeit verfügen kann
- *Ruhezeit*: Zeit zwischen planmäßigem Dienstende und nächstem Dienstbeginn ("Nacht-ruhe") bzw. bei aufgeteilter Ruhezeit zwischen Dienstteilen
- *Lenkdauer*: Gesamtlenkzeit zwischen dem Zeitpunkt, zu dem ein Fahrer nach einer Ruhezeit oder einer Fahrtunterbrechung beginnt, ein Fahrzeug zu lenken, und dem Zeitpunkt, zu dem er eine Ruhezeit oder Fahrtunterbrechung einlegt, kann ununterbrochen oder unterbrochen sein

- Bestandteile eines Dienstes:
 - Vorbereitungs- und Abschlusszeiten (V/A)
 - Lenkzeiten
 - Wendezeiten
 - Haltezeiten
 - Pausen
 - Zwischenzeiten bei geteilten Diensten
 - Reservezeiten
 - Wegezeiten
 - ggf. Füllzeiten

7.3 Pausengewährung

Formen der Pausengewährung:

- Pausenablösung
- Anrechnung von Wendezeit als Pause (Pausengewährung ohne Ablösung)
- 1/6-Regelung

Möglichkeiten der Pausengewährung beim starren Fahrplan:

- mit Einfluss auf den Verkehrsmiteinsatz/Fahrplan
 - Ausfall einer oder mehrerer Fahrten
- mit Einfluss auf den Wagenlaufplan:
 - zusätzlicher Wagen übernimmt einen Umlauf
 - größere Wendezeit (Taktzeitwechsel!)
- ohne Einfluss auf Fahr- und Wagenlaufplan:
 - Einsatz eines Pausenspringers (Fahrer geht wieder auf "seinen" Wagen)
 - Einsatz einer Pausenablösung (Fahrer wechselt den Wagenlauf)

7.4 Abschätzung der Dienstanzahl

Grobschätzung:

Ergebnis ist umlaufbezogen auf halbe Dienste genau.

Feinschätzung:

Ergebnis ist die minimal notwendige Anzahl der Dienste (unterste Grenze).

$$n_D = \frac{\sum t_E + t_{VA}}{t_{Am}}$$

<i>Formelzeichen:</i>	n_D	Anzahl notwendiger Dienste
	t_E	Einsatzzeiten aller Umläufe
	t_{VA}	technische Vorbereitungs- und Abschlusszeiten aller Umläufe
	t_{Am}	mittlere mögliche tägliche Arbeitszeit (zulässige tägliche Arbeitszeit abzgl. dienstbezogener Vorbereitungs- und Abschlusszeiten sowie allgemeiner Dienstzeiten, bspw. Abschlag für Dienstunterricht)

Die mittels Grobschätzung ermittelte Dienstanzahl ist regelmäßig höher, als die nach Feinschätzung. Die Dienstanzahl entsprechend der Feinschätzung kann nicht unterschritten werden (außer bei planmäßiger Anordnung von Überstunden).

Ziel der Dienstbildung sollte es sein, dem Optimum der Feinschätzung so nahe wie möglich zu kommen. Der Wert der Grobschätzung stellt in der Regel eine gute Näherung der tatsächlich zu erwartenden Dienstanzahl dar.

7.5 Dienstdurchlauf

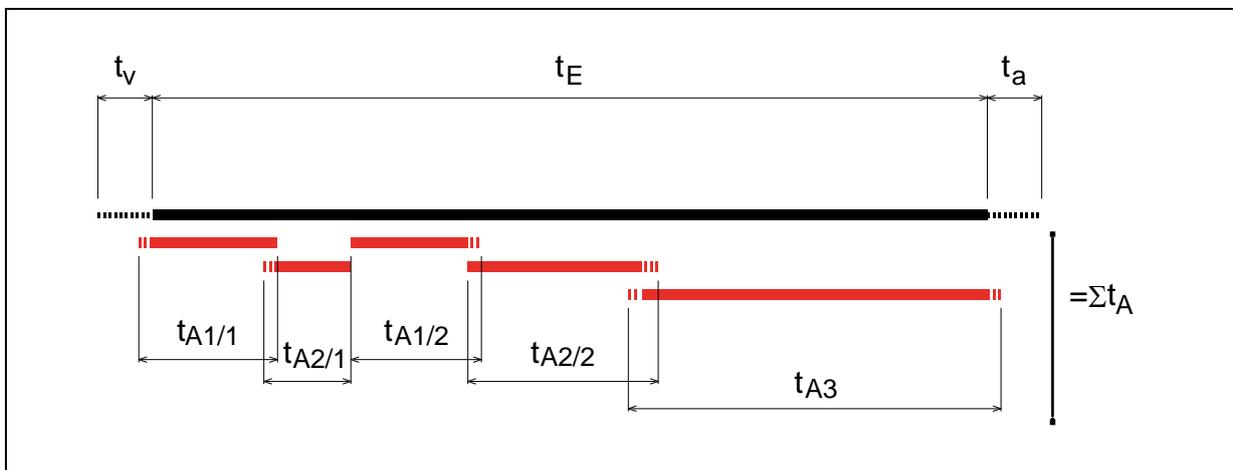
Die Wagenläufe (Umläufe) sind in Dienststücke zu "schneiden". Die Dienststücke werden dann zu Diensten zusammengefügt. Dabei sind die gesetzlichen und vereinbarten Kriterien hinsichtlich Arbeits-, Lenk- und Pausenzeiten einzuhalten.

Jeder Wagenlauf muss über die gesamte Einsatzzeit von einem und nur einem Dienstdurchlauf gleichzeitig erfasst werden.

7.6 Dienstplanwirkungsgrad

Der Dienstplanwirkungsgrad η_d ist das Verhältnis der Summe der Einsatzzeiten t_E aller Umläufe zur Summe aller Dienstlängen t_A .

$$\eta_d = \frac{\sum t_E}{\sum t_A}$$



Übliche Werte von η_d liegen bei 0,85 ... 0,95.

Ein hoher Dienstplanwirkungsgrad kann erreicht werden durch:

- Nichtbezahlen von Pausen
- angemessen hoher Anteil geteilter Dienste
- Teilbeschäftigte zur Abdeckung von Spitzen
- große Spanne zwischen maximal zulässiger und mittlerer Dienstlänge
- kurze Vorbereitungs- und Abschlusszeiten sowie Pauschalabschläge zur Dienstzeit
- Verzicht auf Fahrzeug- und/oder Linienbindung
- kurze verlustzeitarme Übergänge zwischen den Dienststücken

(scheinbares) Paradoxon: Bei Anrechnung von Wendezeiten als unbezahlte Pause ist die Einsatzzeit regelmäßig größer als die bezahlte Dienstzeit.

Mit $t_E > t_A$ ergibt sich dann ein Dienstplanwirkungsgrad $\eta_d > 1$!

8 Dienstreihenfolgeplan (Turnus)

8.1 Bemessungsgrundlage

Fahrdienste auf Grundlage der Wagenläufe gebildet
Reservedienste "Sitzreserven" zur Absicherung operativer Probleme
Ersatzdienste zur Absicherung von Urlaub, Krankheit etc.
(ca. 17... 20 % aller Dienste)
zu besetzende Dienste = n_D

Grundzusammenhang:

$$\frac{n_{FD} + n_{RES}}{1 - E} = \frac{n_E}{E}$$

Formelzeichen: n_{FD} Anzahl Fahrdienste
 n_{RES} Anzahl Reservedienste
 n_E Anzahl Ersatzdienste
 E Ersatzanteil

Anzahl Ersatzdienste:

$$n_E = \frac{(n_{FD} + n_{RES}) * E}{1 - E}$$

Dienste sind hierbei zu differenzieren nach:

- Tagesart (MF, SA, SO)
- Schichtlage (früh, spät)

8.2 Dienstmassenausgleich

Im Turnus muss der Mittelwert aller Dienstlängen gleich der zulässigen täglichen Arbeitszeit sein:

$$\frac{5 * \sum t_{AMF} + \sum t_{ASa} + \sum t_{ASo}}{5n_{DMF} + n_{DSa} + n_{DSo}} = \bar{t}_A$$

Ein erforderlicher Ausgleich ist über das Einfügen von Füllzeiten, Bezahlen von Pausen, Variieren der Länge von Reservediensten u. ä. möglich.

Die Länge von Ersatzdiensten ist generell mit der zulässigen täglichen Arbeitszeit anzusetzen.

8.3 Turnusarten

Im Dienstoffturnus werden die Dienste in eine zulässige Reihenfolge gebracht, die den planmäßigen Dienstdurchlauf darstellt. Dabei entspricht jede Turnuswoche einem benötigten Personal.

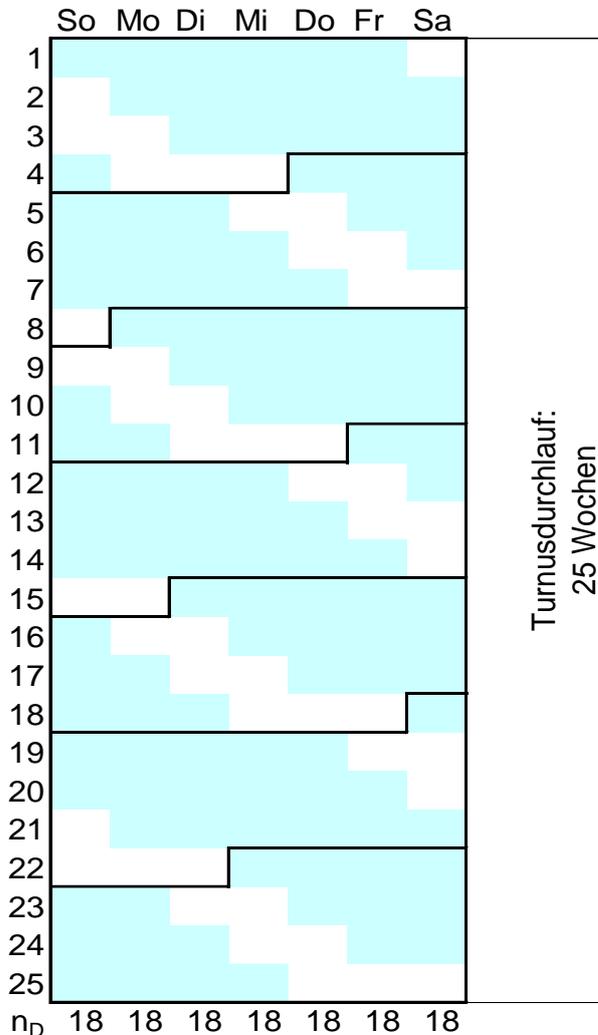
Ziel ist regelmäßig die möglichst genaue passgenaue Anordnung aller Dienste im Turnusraster mit Abbildung einer 5-Tage-Arbeitswoche (2 freie Tage : 5 Dienste = 0,4 frei je Dienst)

Dienstserie: Folge von Diensten inkl. der anschließenden freien Tage

Fester Rhythmus:

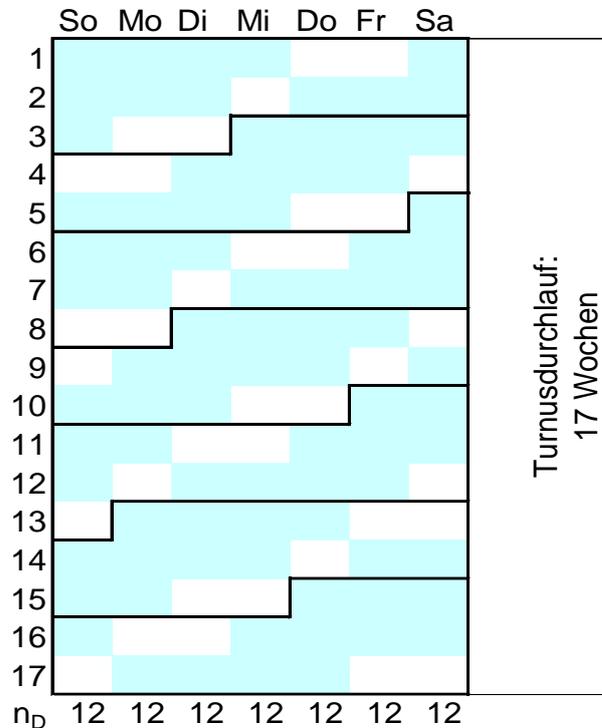
fixe Abfolge von definierten Dienstserien

6 - 2 - 6 - 2 - 6 - 3 Länge Dienstserie: 25 Tage
 Turnusdurchlauf: 25 Wochen
 frei : Dienst: 7:18 = 0,39 frei je Dienst
 zum Erreichen von 0,4 frei je Dienst nötig: **1 Zusatzfrei**



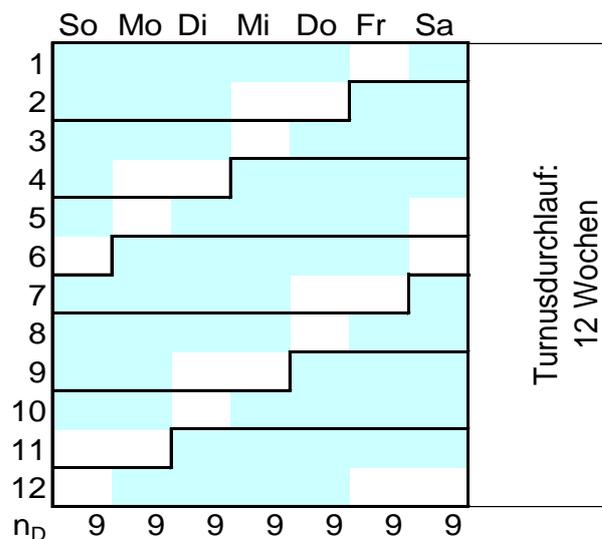
4 - 2 - 4 - 1 - 4 - 2

Länge: 17 Tage
 Turnusdurchlauf: 17 Wochen
 frei : Dienst: 5:12 = 0,42 frei je Dienst
 zum Erreichen von 0,4 frei je Dienst nötig: **1 Zusatzdienst**



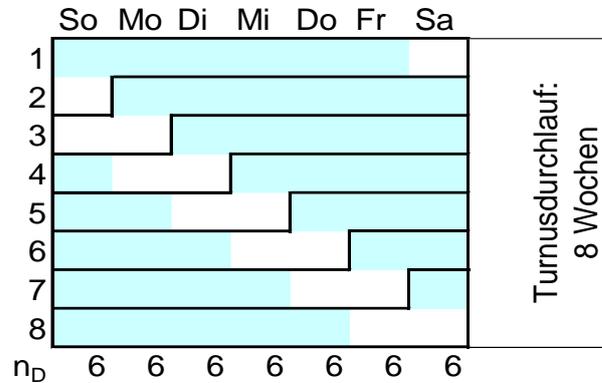
5 - 1 - 4 - 2

Länge: 12 Tage
 Turnusdurchlauf: 12 Wochen
 frei: Dienst: 3:9 = 0,33 frei je Dienst
 zum Erreichen von 0,4 frei je Dienst nötig: **3 Zusatzfrei**



6 - 2

Länge: 8 Tage
 Turnusdurchlauf: 8 Wochen
 frei : Dienst: 2:6 = 0,33 frei je Dienst
 zum Erreichen von 0,4 frei je Dienst nötig: **2 Zusatzfrei**



Nachteile fester Rhythmen:

- Ziel von 2:5 = 0,4 frei je Dienst (5-Tage-Woche) nur durch Nachbessern möglich
- gleichmäßige Verteilung der Dienste an allen Wochentagen
- Länge des Gesamtturnus ist immer Vielfaches des Turnusdurchlaufs

Wochenrhythmus:

- basiert auf frei kombinierbaren Basisgruppen (= Aufeinanderfolge einer oder mehrerer Dienstserien)
- exakte Verteilung der Dienste über die Wochentage
- exaktes Verhältnis 2:5 = 0,4 frei je Dienst

8.4 Personalbedarf

5-Tage-Woche: 5 Dienste, 2 frei → 1 Personal für 5 Dienste

Wochenrhythmus 5 Dienste, 2 frei → 1 Personal für 5 Dienste

daraus folgt:

- je zu besetzenden Dienst MF (tritt 5-mal je Woche auf) → 1 Personal
- je zu besetzenden Dienst SA/SO (tritt 1-mal je Woche auf) → 0,2 Personale

mit:

Personalbedarf = Gesamtlänge Dienstoffturnus GD:

$$GD = n_{DMF} + 0,2(n_{DSa} + n_{DSo})$$

$$GD = n_{DMF} + k \quad \text{mit: } k = \frac{n_{DSa} + n_{DSo}}{5}$$

GD und k müssen ganzzahlig sein (aufrunden!).

8.5 Randbedingungen der Turnusbildung

- Anzahl freier Tage: mindestens 52 Tage (6-Tage-Woche)
- Ruhezeiten (vgl. Übersicht)
- Arbeitszeitausgleich über den Turnus

8.6 Wochenrhythmus

Basisgruppen:

Basisgruppe	Wo.	Lage	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	
I B_f	1	f		f	f	f	f	f		einwö. Basisgr., früh
II B_s	1	s		s	s	s	s	s		einwö. Basisgr., spät
III $B_{f\ s/f\ s\ (So)}$	1	f		f	f	f	f		s	dreiwöchige Basisgr., früh beginnend mit frei am Sonntag
	2	s/f	s	s	s			f	f	
	3	s	f	↓		s	s	s	s	
IV $B_{f\ s/f\ s\ (Sa)}$	1	f	f	f	f	f			s	dreiwöchige Basisgr., früh beginnend mit frei am Samstag
	2	s/f	s	s	s			f	f	
	3	s	f			s	s	s		
V $B_{s\ f/s\ f\ (So)}$	1	s		s	s	s			f	dreiwöchige Basisgr., spät beginnend mit frei am Sonntag
	2	f/s	f	f	f		s	s	s	
	3	f	s			f	f	f	f	
VI $B_{s\ f/s\ f\ (Sa)}$	1	s	s	s	s				f	dreiwöchige Basisgr., spät beginnend mit frei am Samstag
	2	f/s	f	f	f		s	s	s	
	3	f	s			f	f	f		

↓ ... wenn in der Folgewoche am selben Wochentag früh und davor frei ist, dann werden früh und frei getauscht. Ziel: f - s und s - - f

Randbedingungen:

$$\begin{aligned}
 n_{f_{MF}} &\geq k \\
 n_{s_{MF}} &\geq k \\
 k &\leq n_{f_{Sa}} \leq 2k \\
 k &\leq n_{f_{So}} \leq 2k \\
 k &\leq n_{s_{Sa}} \leq 2k \\
 k &\leq n_{s_{So}} \leq 2k
 \end{aligned}$$

Wenn diese Randbedingungen nicht eingehalten sind, müssen die Ausgangswerte verändert werden (z.B. "Umtaufen" von Diensten).

Beziehungen zum Ermitteln der benötigten Basisgruppen:

$$\begin{aligned}
 \text{I.} \quad n_{B_f} &= n_{f_{MF}} - k \\
 \text{II.} \quad n_{B_s} &= n_{s_{MF}} - k \\
 \text{III.} \quad n_{B_{f\ s/f\ s\ So}} &= n_{s_{Sa}} - k \\
 \text{IV.} \quad n_{B_{f\ s/f\ s\ Sa}} &= n_{f_{So}} - k \\
 \text{V.} \quad n_{B_{s\ f/s\ f\ So}} &= n_{f_{Sa}} - k \\
 \text{VI.} \quad n_{B_{s\ f/s\ f\ Sa}} &= n_{s_{So}} - k
 \end{aligned}$$

Die nach den o. a. Regeln ermittelten Basisgruppen werden abschließend zum Turnus zusammengesetzt. Dabei sollte möglichst in der Schichtlage ein ständiger Wechsel zwischen Früh- und Spätlagen erfolgen.

8.7 Turnusbesetzung

Die Besetzung des Turnus erfolgt unter Beachtung der Ruhezeiten zwischen den Diensten bzw. über Frei.

Insbesondere bei großen Turnussen ist es zweckmäßig, eine Dienstausschlussmatrix aufzustellen. Diese definiert für alle möglichen Dienstübergänge die Zulässigkeit. Dabei werden die Dienstbeginne im Kopf, die Dienstenden in der ersten Spalte dargestellt. Es ist zweckmäßig, hierbei nicht nach Dienstnummern, sondern aufsteigend nach der Zeit zu sortieren. Die Dienstausschlussmatrix kann auch in der operativen Diensterteilung benutzt werden.

Prinzip-Beispiel Dienstausschlussmatrix

Dienst		1	3	4	2	5
	Ende\Beginn	04:00	05:35	07:31	12:03	22:00
3	13:58					
4	15:02					
1	17:23					
2	21:16	x	(x)			
5	05:45	x	x	x	x	

Legende: x ... Dienstübergang nicht zulässig
 (x) ... Dienstübergang nur über Frei im Ausnahmefall zulässig

9 Abschätzung des Aufwandes

In Anwendungen der in den vorherigen Abschnitten dargestellten Methoden lassen sich zuverlässige Aufwandsabschätzungen treffen:

- (1) Ermittlung des Bedarfes (Fahrtenanzahl, Takt etc.) – Ableitung des nötigen Angebotes
- (2) Ermittlung der notwendigen Anzahl Umläufe je Takt
- (3) Ermittlung der Einsatzzeiten der Umläufe sowie der Einsatzzeitsumme
- (4) Abschätzung der Dienstanzahl
- (5) Festlegung der Anzahl Reservedienste (Sitzreserven)
- (6) Festlegung des Anteiles Ersatz für Urlauber, Kranke etc.
- (7) Ermittlung der Anzahl zu besetzender Dienste
- (8) Ermittlung der Anzahl benötigter Personale

Beispiel

Ausgangslage:

- Eine Linie mit $t_z = 20$ min, $t_U = 60$ min, Einsatzzeit: täglich 6:00 – 21:00 Uhr.
- Täglich sind 2 Sitzreserven (1 früh, 1 spät) vorzusehen (Festlegung).
- Der Ersatzanteil soll 20% aller Personale betragen.
- Die tägliche Arbeitszeit beträgt $t_A = 8:00$ Std.

Aufgabe:

Wie viele Fahrzeuge und wie viele Personale werden benötigt?

Lösung:

Anzahl Fahrzeuge

$$n = t_U / t_z \cong \underline{\underline{3}}$$

Anzahl Personale

$$t_E = 15:00 \text{ Std.}$$

$$\Sigma t_E = 45:00 \text{ Std. (täglich)}$$

Feinschätzung: $45:00 / 8:00 = 6$ → 6 Dienste sind mindestens nötig.

Grobschätzung: $15:00 / 8:00 = 2$ → 2 Dienste je Umlauf

2 Dienste x 3 Umläufe → 6 Dienste sind zu erwarten.

→ Es sind täglich 6 Fahrdienste zu erwarten.

$$n_{D MF} = 6 + 2 R = 8$$

$$n_E = 8 * 0,2 / 0,8 = 2$$

$$\rightarrow n_{D MF} = 10$$

$$n_{D Sa} = 6 + 2 = 8$$

$$n_E = 8 * 0,2 / 0,8 = 2$$

$$n_{D Sa} = 10$$

$$n_{D So} = 6 + 2 = 8$$

$$n_E = 8 * 0,2 / 0,8 = 2$$

$$n_{D So} = 10$$

$$k = 0,2 (10 + 10) = 4$$

$$\mathbf{GD} = 10 + 4 = \underline{\underline{14}}$$

Zur Realisierung des vorgesehenen Angebotes werden 3 Umläufe (Fahrzeuge) und 14 Personale benötigt.

10 Bewertung der Güte von Fahr- und Dienstplan

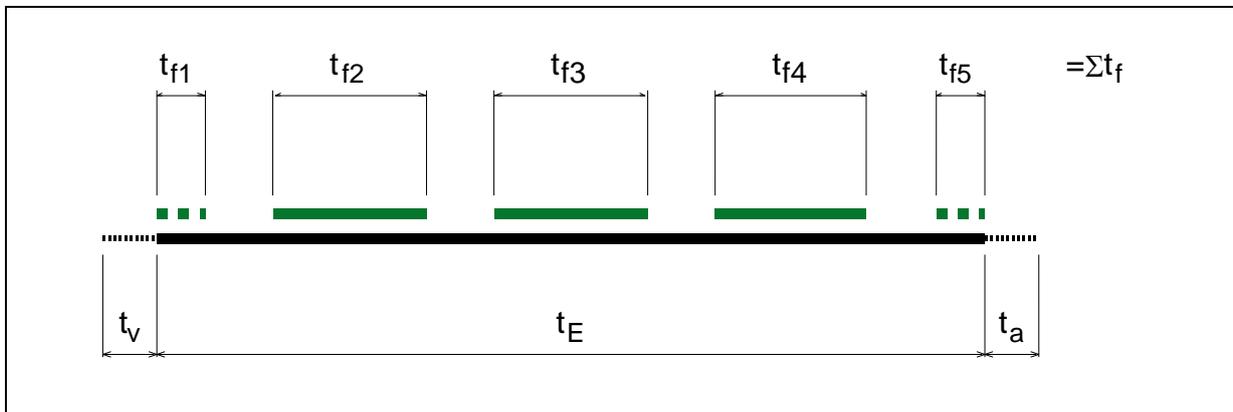
10.1 Fahrplanwirkungsgrad

Verhältnis von reiner (fahrplanmäßiger) Fahrzeit zur Gesamteinsatzzeit aller Züge, gibt Auskunft über die Güte von Fahr- und Wagenlaufplanung.

Die im Fahrplanwirkungsgrad berücksichtigte Fahrzeit umfasst alle im öffentlichen Fahrplan ausgewiesenen Beförderungszeiten, nicht jedoch Leer- und Betriebsfahrten. Aus- und Einrückfahrten zählen nur zur Fahrzeit, wenn sie öffentlich sind.

Nicht zur Einsatzzeitsumme zählen technische Vorbereitungs- und Abschlusszeiten.

$$\eta_v = \frac{\sum t_f}{\sum t_E}$$



Durchschnittlicher Fahrplanwirkungsgrad über alle Wochentage:

$$\eta_v = \frac{5\eta_{VMF} * \sum t_{EMF} + \eta_{vSa} * \sum t_{ESa} + \eta_{vSo} * \sum t_{ESo}}{5\sum t_{EMF} + \sum t_{ESa} + \sum t_{ESo}}$$

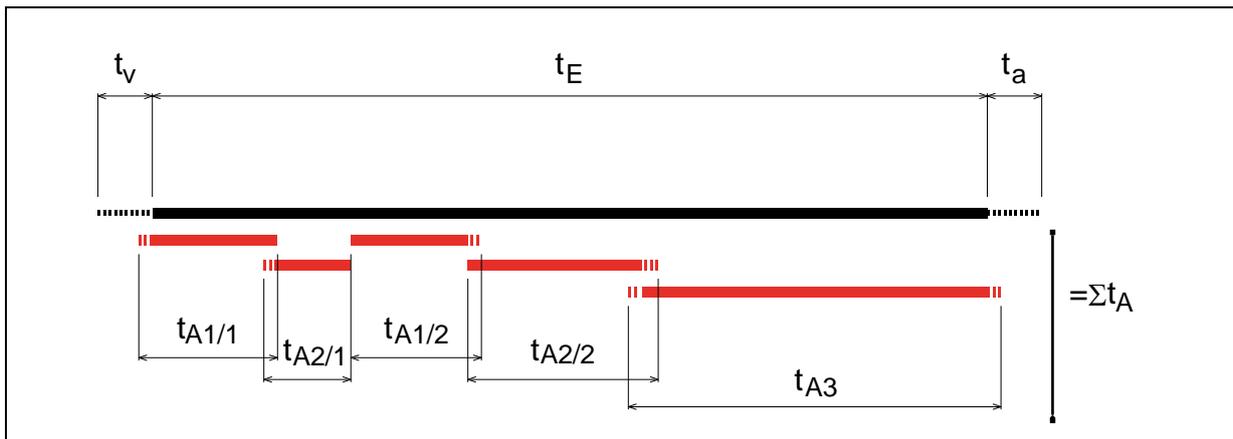
übliche Werte: 0,7 ... 0,9

10.2 Dienstplanwirkungsgrad

Verhältnis von Gesamteinsatzzeit aller Züge zur (bezahlten) Dienstzeitsumme, gibt Auskunft über die Güte der Dienstplanung.

Der Dienstplanwirkungsgrad umfasst alle planmäßig zu besetzenden Dienste, also Fahr- und Reservedienste.

$$\eta_d = \frac{\sum t_E}{\sum t_A}$$



Durchschnittlicher Dienstplanwirkungsgrad über alle Wochentage:

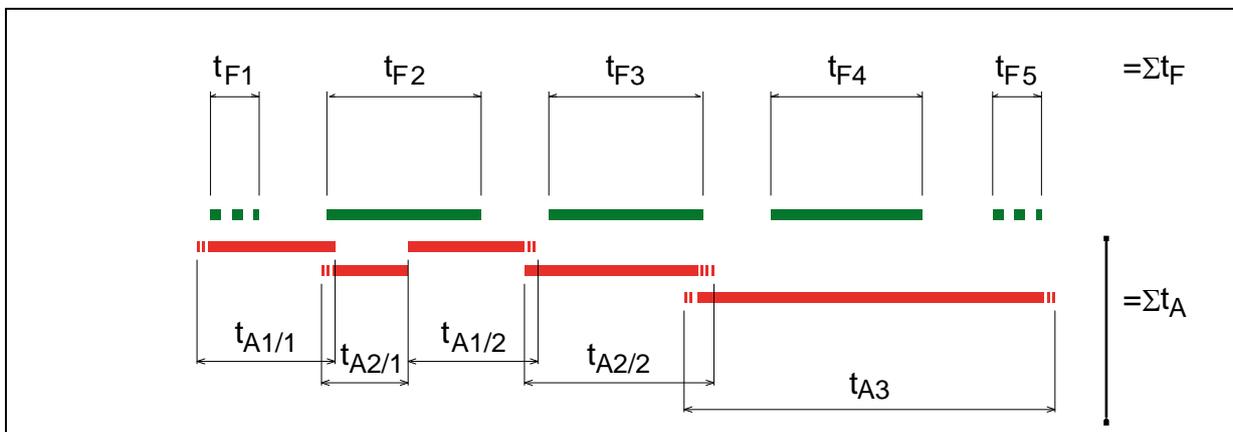
$$\eta_d = \frac{5\eta_{dMF} * \sum t_{AMF} + \eta_{dSa} * \sum t_{ASa} + \eta_{dSo} * \sum t_{ASo}}{5\sum t_{AMF} + \sum t_{ASa} + \sum t_{ASo}}$$

übliche Werte: 0,85 ... 0,95

10.3 Wirkungsgrad des Personaleinsatzes

Eine überschlägige Bewertung ist durch das Produkt aus Fahrplan- und Dienstplanwirkungsgrad möglich (auch ohne Bildung eines Turnus). Dies ist das Verhältnis von reiner Fahrzeit zur (bezahlten) Dienstzeitsumme aller Fahrdienstbeschäftigten.

übliche Werte für $\eta_v * \eta_d$: 0,6 ... 0,85



Der Wirkungsgrad des Personaleinsatzes umfasst alle planmäßig (d. h. im Dienstturnus) und außer Plan zu besetzenden Dienste, also Fahr- und Reservedienste sowie den Anteil der Ersatzdienste im Verhältnis zum geleisteten Fahrplan.

Er sagt aus, welcher Anteil der bezahlten Dienstzeit aller Fahrdienstbeschäftigten in tatsächliche produktive Fahrleistung umgesetzt wird.

Der Wirkungsgrad des Personaleinsatzes gibt Auskunft über die Güte der gesamten Fahr- und Dienstplanung unter Berücksichtigung betrieblicher Parameter der Personaldisposition.

$$\eta_p = \eta_v * \eta_d * \eta_s$$

Formelzeichen: η_p Wirkungsgrad des Personaleinsatzes
 η_v Fahrplanwirkungsgrad
 η_d Dienstplanwirkungsgrad
 η_s Wirkungsgrad des Ersatzanteils
($\eta_s = 1 - E$; übliche Werte: 0,75 ... 0,83)

übliche Werte: 0,45 ... 0,71

11 Fahr- und Dienstplanungssysteme

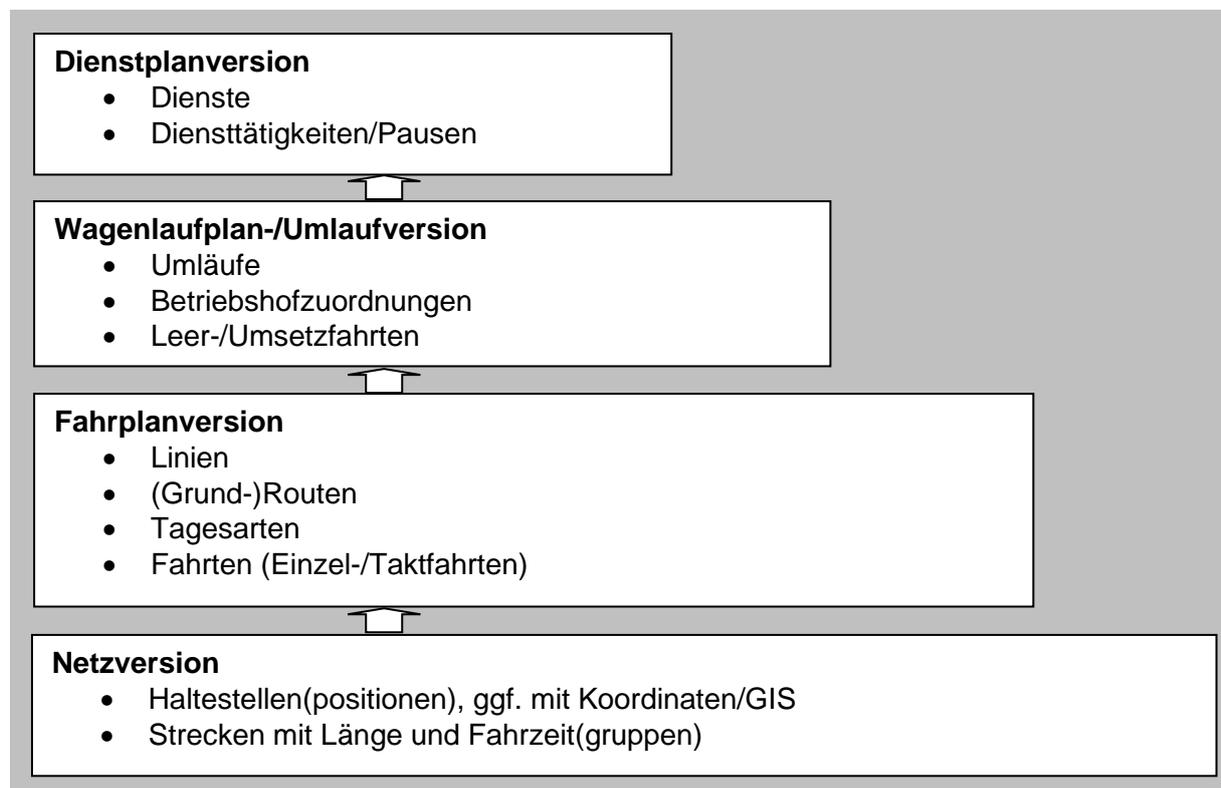
11.1 Aufgaben

- Erfassung von Daten zur Fahr-, Wagenlauf- und Dienstplanung
- Optimierung durch (halb-)automatische Werkzeuge zur Umlauf- und Dienstbildung
- Bereitstellung von Daten für Folgesysteme:
 - Fahrzeugbordrechner/IBIS
 - RBL/ITCS-Leitstellen
 - DFI-Systeme
 - Fahrplanauskunftssysteme
 - Personaldispositionssysteme
- Ausgabe von Printmedien:
 - Fahrplanaushänge
 - Fahrplantabellen/-hefte
 - Fahrer-/Dienstkarten
- Statistiken
- Grafische Planungshilfen und Netzdarstellung (GIS)

11.2 Datenmodellierung und Versionshierarchie

Ziel: Systematisierung und Strukturierung des Datenmodells zur Vermeidung von Redundanzen (Minimierung von Fehlerquellen durch Doppelversorgung, Vereinfachung von Änderungen, Minimierung der Speicherkapazität)

Prinzip: hierarchischer Aufbau von Netzmodell, Fahrplan, Wagenlaufplan und Dienstplan
Dabei kann jede Version mehrere aufbauende Versionen der nächsten Ebene enthalten, z. B. kann ein Netz mehrere Fahrpläne und jede dieser Fahrplanversionen wiederum mehrere alternative Umlaufversionen enthalten usw.



Beispiel für ein hierarchisches Versionsmodell

Regionale Planungssysteme arbeiten überwiegend tabellarisch:

- gut geeignet bei unregelmäßigen Fahrfolgen und Ausnahmen (z. B. verschiedene Verkehrstage)
- übersichtlich auch bei mehreren Linienwegvarianten

Kürzel;Kurzname	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
Grundroute	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Route	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Fahrzeitart	NV	AV	AV	AV	AV	AV							
Tagesarten	SaSo												
Fahrzeugtyp	GLN	SLN	SLN	SLN	SLN	SLN							
Meter	8240	8240	8240	8240	8240	8240	8240	8240	8240	8240	8240	8240	8240
1 N;Wohngebiet Nord	17:05	17:25	17:45	18:05	18:25	18:45	19:05	19:25	19:43	20:13	20:43	21:13	21:43
2 an Z,Zentrum	17:20	17:40	18:00	18:20	18:40	19:00	19:20	19:40	19:58	20:28	20:58	21:28	21:58
3 ab Z,Zentrum	17:20	17:40	18:00	18:20	18:40	19:00	19:20	19:40	20:00	20:30	21:00	21:30	22:00
4 B;Betriebshof	17:27	17:47	18:07	18:27	18:47	19:07	19:27	19:47	20:07	20:37	21:07	21:37	22:07
5 S;Südvorstadt	17:30	17:50	18:10	18:30	18:50	19:10	19:30	19:50	20:10	20:40	21:10	21:40	22:10

Tabellarische Fahrplanbearbeitung (INIT/MOBILE Plan)

Wagenlaufplanung und Dienstbildung

Wagenläufe/Umläufe und Dienste werden üblicherweise grafisch bearbeitet. Die klassische ("städtische") Planung geht stufenweise Fahrplan – Wagenlaufplan – Dienstplan vor, während regional ausgeprägte Planungssysteme Wagenlauf- und Dienstplanung auch in einem Schritt vornehmen (1 Dienst = 1 Umlauf).

Umlauf	Linie	Rtg.	17	18	19	20	21	22	23
193	23	1					N 1 5 43 10		
194	12	2					S 2 6 48 10		
195	22	1					S 1 30 09 30		
196	11	2					G 2 5 09 25		
197	21	1					N 1 5 13 40		
198	23	2					S 2 6 18 40		

Umla	Abfahrt	Ankunft	17	18	19	20	21	22	23
1	11 04:43:00	23:29:00	N 1 SE 5 1 NE 1 HS 1 10 12 37	N 1 SE 5 1 NE 1 HS 1 10 12 37	N 1 SE 5 1 NE 1 HS 1 10 12 37	N 1 SE 5 1 NE 1 HS 1 10 12 37	N 1 SE 5 1 NE 1 HS 1 10 12 37	N 1 SE 5 1 NE 1 HS 1 10 12 37	N 1 SE 5 1 NE 1 HS 1 10 12 37
2	12 05:03:00	23:15:00	NE 1 30 B2 1 57 D5 1 30 B2 1 57	NE 1 30 B2 1 57 D5 1 30 B2 1 57	NE 1 30 B2 1 57 D5 1 30 B2 1 57	NE 1 30 B2 1 57 D5 1 30 B2 1 57	NE 1 30 B2 1 57 D5 1 30 B2 1 57	NE 1 30 B2 1 57 D5 1 30 B2 1 57	NE 1 30 B2 1 57 D5 1 30 B2 1 57
3	13 04:47:00	19:55:00	SE 5 1 N 1 B2 1 17						
4	21 04:41:00	23:32:00	D 2 20 00 20						
5	22 05:01:00	23:30:00	G 2 2 00 00						
6	23 04:57:00	23:02:00	D 2 20 00 20						

Umlaufplanung (INIT/MOBILE Plan)

In der Umlauf- und Dienstbildung werden meist (halb-)automatische Optimierungstools angeboten. Neueste Entwicklungen lassen dabei in definiertem Umfang auch Rückgriffe auf den Fahrplan zu.

11.4 Fahr- und Dienstplanschnittstellen

Aus jedem Fahr- und Dienstplanungssystem können Daten über verschiedene Schnittstellen exportiert werden. Dabei werden projektspezifische (singuläre) Schnittstellen und normierte bzw. allgemeine Schnittstellenformate unterschieden.

Beispiele für projektspezifische Schnittstellen:

- Excel-Export (*.csv oder *.xls)
- XML-Formate (z. B. für Satzsysteme)
- Exporte zu Fahrzeugbordrechnern
- Exporte zu Personaldispositionssystemen

Beispiele für normierte und allgemeine Schnittstellen:

- VDV 462 (Soll-Daten-Schnittstelle, EU: CEN-TS 16614 'NeTeX'),
EU-weit abgestimmte Nachfolge-Schnittstelle für VDV 452 (VDV-Datenmodell 5.0)
 - hierarchisches Datenmodell (Haltepositionen, Strecken, Fahrzeitgruppen, Routen/Linienfahrwege, Fahrten, Betriebstagekalender, Umläufe)
 - geeignet für Solldatenaustausch mit DFI-, Fahrplanauskunfts-, ITCS- und anderen Planungssystemen
- HAFAS-Rohdatenformat
 - einzelfahrtbezogenes Datenmodell (Haltestellen, Fahrten mit einzelnen Ankunfts-/Abfahrtszeiten, Fahrtenkalender)
 - geeignet für Versorgung von Fahrplanauskunftssystemen und Verkehrsplanungstools
 - Standardformat für die HAFAS-Auskunft der DB
- GTFS ("General Transit Feed Specification", Google Transit)
 - strukturiertes Datenmodell (Haltestellen, Linien, Fahrten, Fahrtenkalender)
 - auch Ist-Daten möglich
 - geeignet für Versorgung von Fahrplanauskunftssystemen (z. B. Google Transit)
 - häufiger Standard für Open-Data-Projekte

12 Intermodal Transport Control System (ITCS)

12.1 Überblick

Das ITCS, auch: "*Rechnergesteuertes Betriebsleitsystem*" (RBL) oder auch international üblich: "*Computer Aided Dispatch/Automatic Vehicle Location*" (CAD/AVL), organisiert die gesamte Kommunikation innerhalb eines Verkehrsunternehmens oder eines Unternehmens- und Verkehrsverbundes bei der Verkehrsdurchführung schwerpunktmäßig zwischen Leitstelle und Fahrzeug, aber auch mit weiteren technischen Systemen/Komponenten – insbesondere zur Fahrgastinformation, zur Beeinflussung von Lichtsignalanlagen sowie zum Fahrscheinverkauf und zur Zugangskontrolle.

Zielsetzungen eines ITCS

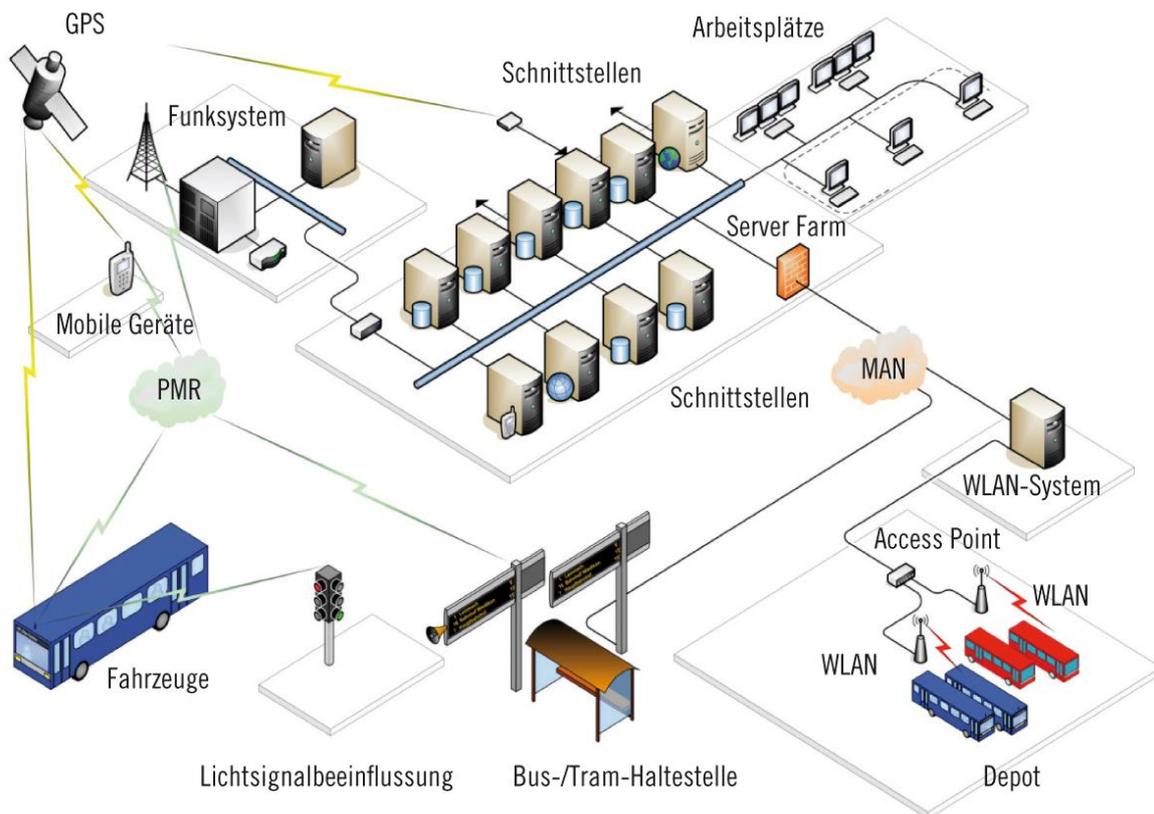
- Gewährleistung der Betriebsüberwachung- und -steuerung
 - Dynamische Fahrgastinformation (DFI) in und an Fahrzeugen, an Haltestellen sowie zu privaten Endgeräten (Handy, Internet)
 - Bevorrechtigung der Verkehrsmittel des ÖV an Lichtsignalanlagen zur Gewährleistung von Pünktlichkeit und Zuverlässigkeit und Verkürzung von Beförderungszeiten
 - Unterstützung der Angebots- und Wagenlaufplanung durch Fahrdatenanalyse und Auswertung von Fahrgastzahlen
 - Unterstützung/Kopplung von Vertriebssystemen (Fahrschein drucker und -automaten, elektronische Absatz- und Kontrollsysteme)
 - Kopplung zu weiteren Systemen, z. B. Datendrehscheiben, Echtzeit-Auskunftssystemen, Betriebshofmanagementsystemen und Verkehrsleitrechnern zur LSA-Steuerung
- **Attraktivitätssteigerung des Öffentlichen Personennahverkehrs und Sicherung einer wirtschaftlichen Betriebsdurchführung**

Aufgaben eines ITCS

- Erfassung von Zustand und Standort der Fahrzeuge
- Ständiger Fahrplan-Soll-Ist-Vergleich
- Abwicklung des Sprechfunkverkehrs zum Fahr- und Überwachungspersonal sowie Datenkommunikation mit den Fahrzeugen und Streckenausrüstungen
- Steuerung des Verkehrsablaufs
- Erfassung und Meldung betrieblicher und technischer Störfälle
- Bereitstellung von Entscheidungshilfen im Störfall (Störungsmanagement)
- Anschlusssicherung
- Fahrt- und Fahrgastzähl datenerfassung einschließlich Aufbereitung und Auswertung
- Steuerung der optischen und akustischen Fahrgastinformation im Streckennetz, in den Fahrzeugen sowie für Datendrehscheiben/Echtzeit-Auskunftssysteme
- Informationsbereitstellung für Peripheriesysteme im Fahrzeug (Vertriebstechnik etc.)

12.2 Komponenten eines ITCS und Kommunikation

Die Grundbausteine eines Betriebsleitsystems bilden die Leitstellentechnik und die Fahrzeugbordrechner. Das ITCS organisiert sowohl die Sprach- (Funkgespräche) als auch die Datenkommunikation. Vielfach werden hierfür noch analoge Betriebs- und Bündelfunksysteme verwendet. Aktuell werden aber auch digitale Funksysteme (z.B. TETRA oder Tetrapol) und zunehmend öffentliche Mobilfunksysteme (GSM, GPRS, LTE) genutzt.



Beispielhafter Aufbau eines ITCS

12.3 ITCS-Leitstelle

In der Leitstelle werden die zentralen Funktionen des ITCS umgesetzt. Dies erfolgt zum großen Teil automatisiert auf der Grundlage der versorgten Solldaten (Fahrpläne, Wagenläufe, Anschlüsse etc.) Die Disponenten steuern darüber hinaus die Betriebsdurchführung mittels dispositiver Maßnahmen, reagieren auf besondere betriebliche Situationen, realisieren die zusätzliche Fahrgastinformation über die angeschlossenen Systeme und wickeln den Sprechfunkverkehr ab.



Leitstelle der Erfurter Verkehrsbetriebe

Hauptaufgaben der ITCS-Leitstelle:

- An- und Abmeldung der Fahrzeuge
- Darstellung der aktuellen Fahrzeugstandorte und Fahrplanlage in Bezug zu den Sollstandorten
- Signalisierung von Schwellwertüberschreitungen (z. B. Fahrplanabweichungen)
- Störungsmanagement mit dispositiven Maßnahmen (z. B. Kurz- und Langewende, Fahrten im Versatz, Umleitungsdisposition)
- Abwicklung des Sprechfunks zwischen Fahrzeugen und Leitstelle (Einzelgespräche, Gruppen- und Sammeldurchsagen, Notrufe)
- Absetzen von Weisungen der Leitstelle an die Fahrzeuge
- Verarbeitung (technischer) Meldungen der Fahrzeuge an die Leitstelle
- Anschlusssicherung und -überwachung
- Anzeige des Besetztgrades der Fahrzeuge
- Steuerung der optischen und akustischen Fahrgastinformation (Haltestellen, Fahrzeuge, Fahrplanauskunftssysteme, soziale Medien)
- Aufzeichnung aller relevanten Daten für Reports/Statistiken

12.4 Fahrzeugbordcomputer/IBIS

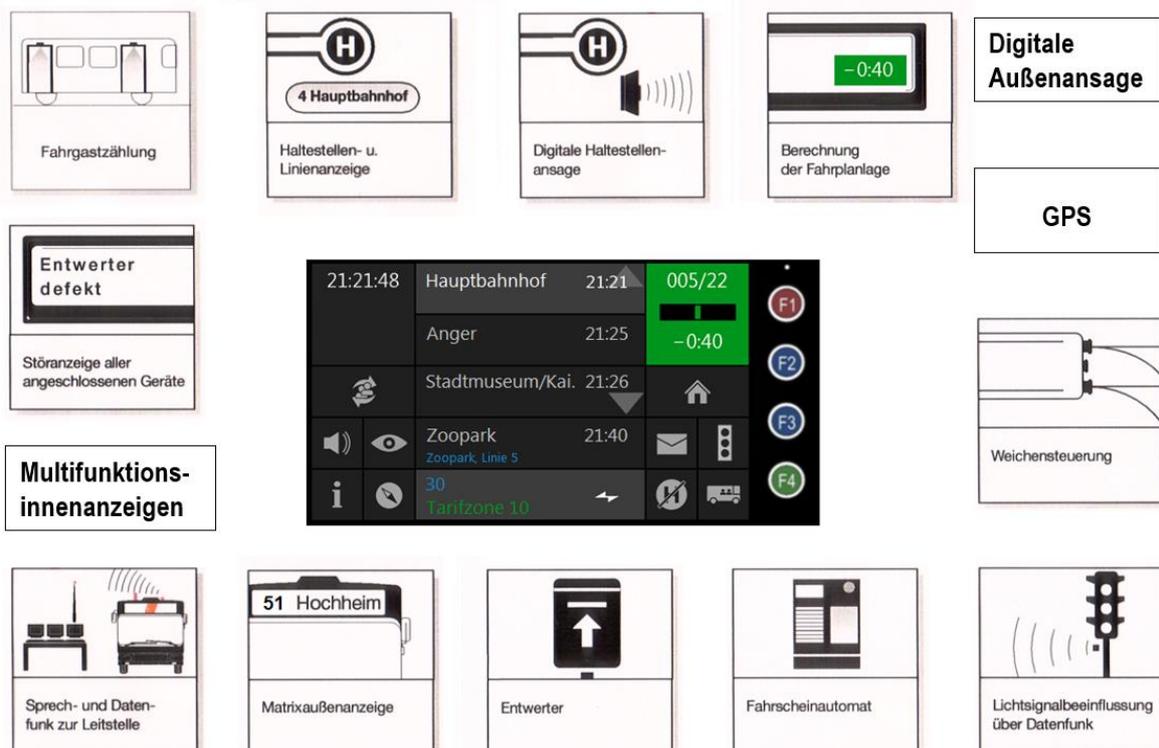
Das Integrierte **Bord-Information-System** IBIS ist die wichtigste fahrzeugseitige Komponente des Leitsystems.



Bordrechner "ITT" (Trapeze ITS GmbH)

Hauptaufgaben des IBIS-Bordrechners:

- Ermittlung der aktuellen Fahrplanlage durch ständige Auswertung von Fahr- und Streckendaten
- Permanente Übertragung des Fahrzeugstandortes über betrieblichen Datenfunk oder kommerzielle Übertragungswege wie GSM, GPRS oder UMTS zur Leitstelle und zu Systemen der dynamischen Fahrgastinformation (DFI)
- Entlastung der Fahrer bei Routineaufgaben
- Steuerung von Weichen, Entwertern, Haltestellenansagen, Vertriebs- und Kontrolltechnik, Außen- und Innenanzeigen, Bildschirmen
- Beeinflussung von Lichtsignalanlagen (LSA) über Datenfunk
- Erfassung und Weitergabe von Fahrt-, Stör- und Fahrgastzählern
- Navigationsunterstützung



Steuerungsfunktionen des Fahrzeugbordcomputers (Erfurter Verkehrsbetriebe AG)

12.5 Ortungsverfahren

12.5.1 Logische Ortung

Öffentlicher Personennahverkehr ist als Linienverkehr über fest vorgegebene Fahrtrouten organisiert. Das heißt, ausgehend von einem definierten Anfangspunkt wird eine fest vorgegebene – im Bordrechner versorgte – Strecke abgefahren. Durch eine permanente Auswertung des am IBIS angeschlossenen (Fahrzeug-)Wegimpulsgebers wird ein Abgleich der versorgten zur geleisteten Wegstrecke realisiert, der eine Standortermittlung ermöglicht.

Die Genauigkeit wird durch den Abgleich mit Signalen bei Haltestellenaufenthalten (Auswertung Türsignal) erhöht. Mit diesem Verfahren ist es jedoch nicht möglich, operative, nicht versorgte Abweichungen vom Linienweg zu erfassen.

12.5.2 Physikalische Ortung

Die Fahrzeuge erhalten Informationen anhand eines öffentlichen Positionierungssystems wie GPS oder über Ortsbaken (per Infrarot oder induktiv über Koppelspulen) im Streckenverlauf. Sind die dadurch ermittelten Daten in der Datenversorgung erfasst, werden eventuelle Fehler in der logischen Ortung berichtigt. Die physikalische Ortung unterstützt im ITCS üblicherweise die logische Ortung, ersetzt sie aber nicht.

Eine rein physikalische Ortung ohne logische Ortung wird nur ausnahmsweise eingesetzt, da einerseits Schaltbefehle zur Fahrgastinformation (z. B. Haltestellenfortschaltung) u. ä. meist in der Datenversorgung der logischen Ortung gekoppelt werden und andererseits GPS-Signale bedingt durch topografische Besonderheiten (Tunnel, enge städtische Bebauung) nicht durchgängig verfügbar sind.

Mit ITCS-Systemen können durch Nutzung von GPS und Karten operativ Umleitungsrouten angelegt und diese wie planmäßige Routen geortet werden. Somit werden die Funktionen im ITCS, wie Fahrplan-Soll-Ist-Vergleich und Fahrgastinformation (auch in weiteren angeschlossenen Systemen), auch im Umleitungsfall gewährleistet.

12.6 Lichtsignalbeeinflussung über Datenfunk

Die entscheidende Voraussetzung, um Verkehrsmittel des ÖPNV wirkungsvoll an lichtsignalgeregelten Knoten zu priorisieren, ist die zuverlässige und vom übrigen Individualverkehr eindeutig abgegrenzte Anmeldung. Diese wird üblicherweise vom IBIS-Bordrechner veranlasst und erfolgt über analogen und digitalen Funk direkt vom Fahrzeug zum Steuerungsrechner der LSA.

Die sogenannten Anforderungstelegramme müssen möglichst ortsgenau zum Zwecke der Vor- und Hauptanmeldung sowie der Abmeldung an die Lichtsignalanlage gesendet werden. Die Telegramme sind normiert und enthalten u. a. Linien-, Richtungs- und Prioritätsinformationen sowie Angaben zur Fahrplanlage.

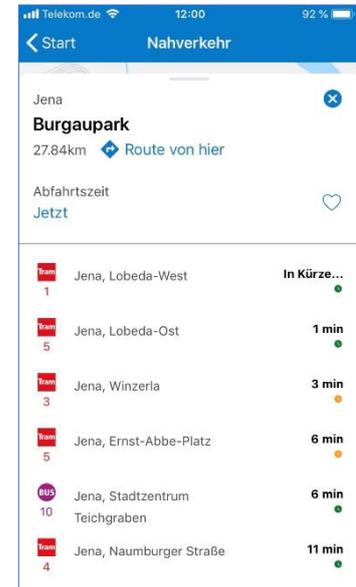
Die konkreten Meldepunkte sind entweder in der Datenversorgung des Bordrechners (zentrale Versorgung) abgelegt.

Derzeit wird in ersten Anwendungen erprobt, durch die direkte Verknüpfung des ITCS-Leitrechners mit dem LSA-Verkehrsleitreechner die Beschleunigung des ÖPNV weiter zu verbessern.

12.7 Dynamische (Echtzeit-)Fahrgastinformation (DFI)

Mögliche Ausbauförmn:

- Optische und akustische Fahrgastinformationen an Haltestellen
- Optische und akustische Fahrgastinformationen in Fahrzeugen
- Online Abfahrtszeit- und Fahrplanauskünfte über Handy
- Online Abfahrtszeit- und Fahrplanauskünfte über Internet



Dynamische Abfahrtsinformationen an der Haltestelle und auf dem Smartphone

12.8 ITCS-Schnittstellen

ITCS können über Schnittstellen im Wesentlichen mit Daten versorgt, untereinander sowie mit anderen Systemen gekoppelt werden.

12.8.1 VDV-Echtzeit-Schnittstellen

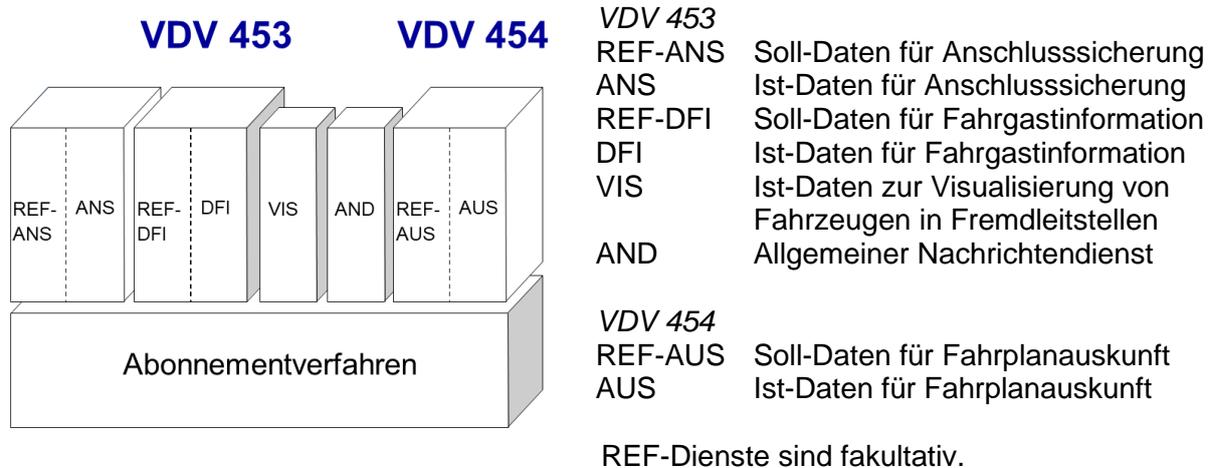
Zum Austausch von Echtzeit-Daten werden in Deutschland überwiegend die VDV-Schnittstellen 453 und 454 eingesetzt. Diese VDV-Schnittstellen sind gut eingeföhrt und werden von der Industrie auch internationalen Projekten verwendet.

Die *Schnittstelle VDV 453* dient dem Echtzeit-Datenaustausch von **ortsbezogenen Daten** zwischen verschiedenen Leitstellen. Damit werden z. B. die unternehmensübergreifende Anschlussicherung oder die Anzeige von Echtzeit-Daten mehrerer Betreiber auf einem gemeinsamen DFI-Anzeiger möglich.

Die *Schnittstelle VDV 454* ermöglicht darüber hinaus die Versorgung von Fahrplanauskunftssystemen mit **fahrtbezogenen Echtzeit-Daten**.

Die Daten werden zwischen den Leitsystemen bzw. mit Datendrehscheiben auf Basis vereinbarter Abonnements ausgetauscht. Damit lässt sich konfigurieren, welche Datenumfänge jeweils geliefert werden.

Die folgenden Dienste sind in diesen VDV-Schnittstellen definiert:



Ortsbezogene Daten analog VDV 453 können auch aus VDV-454-Daten abgeleitet werden.

12.8.2 SIRI-Schnittstelle

Die europäische *SIRI-Schnittstelle* ("Service Interface for Real Time Information relating to Public Transport Operations", EU: CEN/TS 15531) ist eine EU-Norm, die Erfahrungen und Entwicklungen u.a. der britischen, französischen, skandinavischen und deutschen Schnittstellen vereint.

Folgende SIRI-Dienste sind definiert:

- *Connection Service* (SIRI-CT, -CM: entspricht VDV 453 REF-ANS, ANS)
Anschlussicherung
- *Stop Service* (SIRI-ST, SM: entspricht VDV 453 REF-DFI, DFI)
ortsbezogene Fahrplan- und Echtzeit-Daten
- *Vehicle Monitoring Service* (SIRI-VM: entspricht VDV 453 VIS)
Fahrzeug-Positionen und -Bewegung zur Visualisierung in Fremdsystemen
- *General Message Service* (SIRI-GM: entspricht VDV 453 AND)
codierte oder textuelle Nachrichten zwischen Leitsystemen
- *Timetable Service* (SIRI-ET, -PT: entspricht VDV 454 REF-AUS, AUS)
fahrtbezogene Fahrplan- und Echtzeit-Daten
- *Facility Monitoring Service* (SIRI-FM)
Verfügbarkeit und Servicezeiten von Einrichtungen (z. B. Fahrstühle, Rolltreppen, ...)
- *Situation Exchange Service* (SIRI-SX: entspricht VDV 736-2)
Datenaustausch mit Traffic Message Channel (TMC) zur automatischen Verarbeitung von Verkehrs- und Wetter-Daten
Der Dienst SIRI-SX hat auch im deutschsprachigen Raum eine gewisse Bedeutung erreicht und wurde mit der VDV 736-2 übernommen. Über diesen Dienst ist es möglich, Meldungen aus Leit- oder Ereignismanagementsystemen automatisiert und unter Berücksichtigung der Reichweite des Ereignisses an unterschiedliche Medien zu verteilen.

12.8.3 Beispiele für Schnittstellen in ITCS-Systemen

Beispiele für projektspezifische Schnittstellen:

- Importe von Fahr- und Dienstplanungssystemen
- Excel-Export (*.csv oder *.xls) von Berichten und Statistiken

Beispiele für normierte Schnittstellen:

- VDV 462 (Soll-Daten-Schnittstelle, EU: CEN-TS 16614 'NeTEx'),
EU-weit abgestimmte Nachfolge-Schnittstelle für VDV 452 (VDV-Datenmodell 5.0)
 - Import vom Fahr- und Dienstplanungssystem
 - Soll-Daten-Austausch mit anderen ITCS, DFI und Datendrehscheiben als Grundlage für Ist-Daten
- VDV 453 (Ist-Daten-Schnittstelle)
auf Basis der Solldaten aus den Referenzdiensten oder entsprechend VDV454
 - Anschlusssicherung
 - Dynamische Fahrgastinformation
 - Visualisierung
 - Allgemeiner Nachrichtendienst
- VDV 454 (Ist-Daten-Schnittstelle)
auf Basis der Daten aus dem Referenzdienst
 - Fahrplanauskunft
- VDV 461 (Ist-Daten-Schnittstelle)
 - Betriebshofmanagement-Systeme (BMS)
- VDV 736-2 (Austausch von Störungsmeldungen, EU: CEN/TS 15531-5 'SIRI')
 - Datenaustausch nach SIRI-SX
- SIRI (Ist-Daten-Schnittstelle, EU: CEN/TS 15531)
 - Dienste analog VDV 453 und 454
 - Monitoring von Einrichtungen
 - Austausch/Verteilung von Meldungen, u. a. analog VDV 736-2
- GTFS Realtime ("General Transit Feed Specification Realtime", Google Transit)
 - Erweiterung des GTFS-Formats um Echtzeit-Daten
 - häufiger Standard für Open-Data-Projekte

13 Maßnahmen zum Abbau externer Störquellen des Busbetriebes⁴

1. **Verflüssigung des MIV**, in dem der Bus mitschwimmt
 - Vorfahrt entsprechend dem Linienverlauf (auch abknickende Vorfahrt)
 - Halteverbote, damit gesamte Fahrbahn für fließenden Verkehr verfügbar ist
 - Abbiegespuren für MIV, damit Abbiegestau Geradeausfahrer nicht behindert.
 - LSA Räumerschaltungen, damit ankommender Bus ohne von aufgestauten Fahrzeugen verursachten Halt vor LSA durchfahren kann

2. **Keine Tempo-30-Zone** (wenn doch: siehe unten),
kein verkehrsberuhigter Bereich,
keine Rechts-vor-Links-Regelung und
keine Kreisverkehrsplätze auf Straßen mit Linienverkehr

3. **Einschränkungen für den MIV**, um Störungen des Busses auszuschließen
 - Halteverbote, damit die Fahrbahn nicht eingeeengt wird,
 - Abbiegeverbote, damit keine den Geradeaus-Verkehr behindernden Staus von Abbiegern entstehen.

4. **Ausnahme des Busses von Regelungen für den MIV**,
 - damit der Linienweg nicht verlängert wird,
 - Ausnahme von Abbiegeverboten,
 - Ausnahme von Einbahnstraßenregelungen,
 - Ausnahmegenehmigung zum Durchfahren von Fußgängerbereichen,
 - Durchlass durch gesperrte Strecken für den Bus (Schleuse, vom Bus betätigte Schranke, versenkbare Poller, gelöste Sperrkette),

 - damit die Reisegeschwindigkeit nicht reduziert wird,
 - Ausnahme vom Fahrtrichtungsgebot auf Sortierspuren, damit der Bus einen weniger belasteten Fahrstreifen benutzen kann,
 - Ausnahme von Tempo-30-Regelung.

5. **Bevorrechtigung für den Bus**
 - Haltestellenkap anstatt Haltestellentasche,
 - vorgezogene Haltelinie an LSA, damit sich Bus an die Spitze des Fahrzeugpulks setzen kann,
 - signalgesicherter Spurwechsel „Busschleuse“,
 - reservierte Sonderfahrstreifen für den Bus (Busspur); Busstraße,
 - Abwehr von Falschparkern an Haltestellen und auf Sonderfahrstreifen,
 - Schaltung von Fahrsignalen nach BO Strab an LSA,
 - LSA-Beeinflussung
 - dauernd tätige LSA, wenn Bus aus Nebenrichtung
 - ohne Bus dunkel geschaltete LSA (Fangampeln/Lückenampeln),
 - dynamische Straßenraum-Freischaltung,
 - Pfortnerung/Zuflussdosierung mit Bus-Bevorrechtigung und Stau-Umfahrung.

⁴ nach Bernd E. Nickel: Shared Space und ÖPNV, DER NAHVERKEHR 10/2009, Seite 23

14 Tarife

14.1 Kosten

Die Beförderung von Personen im ÖPNV verursacht Kosten beim Unternehmer. Diese lassen sich im Wesentlichen gliedern nach:

- Kostenarten, z. B.: Personal, Treibstoff/Fahrstrom, Material/Sachkosten, Abschreibungen und Zinsen
- Kostenblöcke, z. B.: Fahrdienst, Betriebshöfe/Anlagen, Instandhaltung, Verwaltung

Die Deckung der Kosten erfolgt aus verschiedenen Quellen:

- Fahrgeld (deckt ca. 30 ... 60 % der Kosten)
- gesetzliche Ausgleichsleistungen (z. B. § 45 a PBefG, §§ 228 ff SGB IX)
- Zuschüsse (Allgemeine Vorschrift, öffentlicher Dienstleistungsauftrag, Ausgleich durch Gesellschafter/Stadtwerke etc.)
- Vertragliche Entgelte

Der Fahrpreis ist der sichtbare Preis für die Dienstleistungen des ÖPNV.

14.2 Tarifgestaltung

Die Bepreisung der ÖPNV-Angebote erfolgt im Tarif. Der Tarif definiert im ÖPNV neben den Beförderungsbedingungen Leistungen, Gruppen von Personen und die Bedingungen für das Zustandekommen eines Vertrages zwischen dem Fahrgast und dem Verkehrsunternehmen. Der Tarif ist genehmigungspflichtig und muss angewendet werden (§ 39 PBefG).

Die Tarifgestaltung steht im Spannungsfeld folgender drei Ziele:

- **Ergiebigkeit:** Der Tarif soll die Kosten des Angebotes möglichst vollständig decken
- **Gerechtigkeit:** Der Tarif soll so ausdifferenziert sein, dass jeder Fahrgast die von ihm genutzte Leistung möglichst genau bezahlt.
- **Praktikabilität:** Der Tarif soll so einfach wie möglich sein, um für den Fahrgast möglichst keine Zugangsbarriere zu sein sowie einfachen Vertrieb und Kontrolle zu ermöglichen.

Diese drei Ziele widersprechen sich, deshalb ist Tarifgestaltung immer ein Kompromiss.

Mögliche Merkmale zur Gliederung eines Tarifs sind:

- pauschal: Einheitspreis
- Reiseweite: Kilometertarif, Haltestellentarif, Zonentarif
- Reisezeit
- Personenkreis: Kinder, Schüler/Auszubildende, Studenten, Erwachsene, Arbeitnehmer, Arbeitssuchende, Senioren...
- Fahrten-/Personenanzahl: Einzelfahrt, mehrere einzelne Fahrten, tägliche Fahrten, Gruppenfahrten
- zeitliche Steuerung: ganztags, ab 9:00 Uhr, an Wochenenden und Feiertagen
- Zusatzleistungen: Zuschläge, Mitnahme von Personen, Tieren, Sachen

Eine plausible Preisdifferenzierung und Tarifgestaltung bedeutet, dass:

- die Tarifsegmente des Verkehrsmarktes klar voneinander abgrenzt sind.
- das Tarifsysteem über einen längeren Zeitraum konstant bleibt
- die Preisdifferenzierung verständlich ist

Erwartungen an das Tarifsystem aus Sicht

- des Fahrgastes: leistungsgerecht, marktgerecht, transparent und einheitlich
- des Verkehrsunternehmens: ergiebig, leicht handhabbar und kontrollierbar, entwicklungs-fähig

→ **Wie fein soll der Tarif gegliedert sein?**

- ausdifferenziert mit vielen Tarifgruppen
- schlank mit wenigen Tarifgruppen
- nutzerfinanziert (Fahrgelddeckungsbeitrag steigt)
- steuer-/abgabenfinanziert (Fahrgelddeckungsbeitrag sinkt)

Tarifangebot

Einzelfahrt	Gruppenkarte mini
Einzelfahrt ab 9 Uhr	Gruppenkarte groß
Kinder-Einzelfahrt	Monatskarte
4-Fahrtenkarte	Seniorenkarte
10-Fahrtenkarte	Abo-Karte
Touristenkarte	Schüler-Karte



Tarifangebot

Einzelfahrt
Monatskarte

14.3 Preisbildung

Die Preisbildung bestimmt die Ergiebigkeit des Tarifs. Gleichzeitig sind die Preise und das Tarifsortiment entscheidend für die Akzeptanz beim Kunden.

Fahrpreise und Tarife müssen die wirtschaftliche Lage des Unternehmens beachten. Sie müssen eine ausreichende Verzinsung und Tilgung des Anlagekapitals gewährleisten (Fahrzeuge, Gebäude, Grundstücke, Gleisanlagen usw.) Sie müssen die Bildung von Rücklagen zur technischen Erneuerung der Betriebseinrichtungen ermöglichen. Schließlich müssen sie eine Anpassung an die technische Entwicklung zulassen

Dabei stellen sich u. a. folgende Fragen:

- Welchen Preis muss man festlegen, um die Kosten zu decken – welcher Kostendeckungsgrad wird angestrebt?
- Welche Produkte/Dienstleistungen biete ich am Markt an?
- Welchen Preis ist der Kunde bereit für welche Leistung zu zahlen? Gibt es Preisschwellen im Markt?
- Welche Menge des Produktes/der Dienstleistung kann man zusätzlich absetzen, wenn der Preis gesenkt wird?
- Wie wird sich die nachgefragte Menge verändern, wenn der Preis erhöht wird?
- Wie ist das Wettbewerbsumfeld vs. Anzahl der Marktteilnehmer/Konkurrenten?

Insbesondere ist zu beachten, wie sich die Nachfrage bei Preisänderungen verändert. Dies bildet die **Preiselastizität** ϵ_p ab:

$$\epsilon_p = \frac{\text{prozentuale Änderung der nachgefragten Menge}}{\text{prozentuale Änderung des Preises}}$$

Die Preiselastizität stellt die Sensibilität der Kunden auf Preisveränderungen dar:

- elastische Nachfrage: starke Reaktion der Kunden auf Preisänderungen
- unelastische Nachfrage: schwache Reaktion der Kunden auf Preisänderungen

Im ÖPNV wird davon ausgegangen, dass im Bereich bis zu etwa 15 % Preiserhöhung ein unelastisches Verhalten vorliegt. Im Mittel wird hier von Preiselastizitätswerten von -0,3 ausgegangen – d. h. bei einer Preissteigerung von 10 % entsteht ein Nachfragerückgang von 3 %. Bei Preissenkungen ist dagegen von einem deutlich geringeren Wert auszugehen.

14.4 Politisch gesetzte Tarife und Preise

Innerhalb der Regularien der VO 1370/2007 (EG) ist es möglich, dass zuständige Behörden (in Deutschland: Aufgabenträger) neben der Definition des Nahverkehrsangebotes auch tarifliche Vorgaben (sog. Festsetzung von Höchsttarifen) machen können. Hierfür ist den Verkehrsunternehmen ein Nachteilsausgleich zu gewähren.

Zur Abmilderung der Corona-Folgen führte die Bundesregierung im Sommer 2022 für drei Monate die sog. "Benzinpreis-Bremse" und für ÖPNV-Nutzer das sog. "9-Euro-Ticket" ein. Mit diesem frei verkäuflichen Ticket war die deutschlandweite Nutzung des ÖPNV für pauschal 9 € pro Monat möglich. Der Nachteilsausgleich erfolgte im Rahmen der Corona-Beihilfen auf die zum aktuellen Tarif hochgerechneten Verkäufe des Jahres 2019.

Seit Mai 2023 wird – zunächst direkt durch das Regionalisierungsgesetz (RegG), seit Oktober 2023 durch Landesvorgaben und entsprechende Umsetzung durch die jeweiligen Aufgabenträger – das Deutschlandticket als Jedermann- und als Jobticket im monatlich(!) kündbaren Abo angeboten. Das Ticket darf ausschließlich digital ausgegeben werden (als Handyticket oder eTicket auf Chipkarten). Zusätzlich ist für Semesterticketinhaber das Upgrade auf das Deutschlandticket durch Zahlung des Differenzbetrages möglich. Seit dem Sommersemester 2024 ist auch die Ausgabe als Semesterticket im Solidarmodell zulässig.

Für alle Arten des Deutschlandtickets gelten bundesweit einheitliche Preise. Das Deutschlandticket muss von allen Verkehrsunternehmen (nach Vorgabe ihrer Aufgabenträger) anerkannt werden. Der Verkauf der einzelnen Deutschlandticket-Sortimente ist jedem Verkehrsunternehmen freigestellt.

Der Ausgleich der durch das Deutschlandticket begründeten Einnahmeausfälle erfolgt weiterhin auf die hochgerechneten Verkäufe des Jahres 2019. Die gemeinsame Finanzierung durch Bund und Länder ist im RegG bis einschließlich 2025 festgelegt. Diese Art des Nachteilsausgleichs erlaubt keine Fortschreibung in Relation zu den sich im Vergleich zu 2019 weiter verändernden Verkehrsbedingungen und Nachfragesituationen. Die Höhe der Unternehmenserlöse (Fahrgeld + Ausgleich) wird neben den (feststehenden) Verkaufszahlen 2019 nur durch die fortgeschriebenen Normaltarife bestimmt. Es gibt daher kaum einen Anreiz für die Entwicklung des Angebotes und der Nachfrage oder zur konsequenten Kontrolle der Fahrausweise, weil sich dies nicht im Ergebnis niederschlägt.

Um die Haushaltsaufwendungen für den Ausgleich zu begrenzen, werden teils willkürlich erscheinende Parameter (z. B. zur Höhe der anerkannten Tarifsteigerungen) definiert.

Unzweifelhaft hat die Einführung deutschlandweit gültiger Tarife die ÖPNV-Nutzung für sehr viele Fahrgäste deutlich preiswerter und ohne Hürden nutzbar gemacht. Ebenso wurde die Umsetzung digitaler Tickets stark vorangetrieben.

Gleichzeitig zeigen sich die systemischen Schwächen politisch motivierter Eingriffe in die unternehmerischen Belange. Dabei wird auch deutlich, dass es zum Erreichen der gesetzten Erwartungen in die Verkehrswende vor allem an der Finanzierung von Investitionen mangelt.

14.5 Tarifumsetzung/Vertrieb

Die Abfertigung der Fahrgäste erfordert ein Medium, welches die Fahrtberechtigung, also die korrekte Entrichtung des Fahrpreises, nachweist. Dies ist klassisch ein Fahrausweis, der in verschiedensten Formen herausgegeben wird:

- Papierfahrtschein ("Zettelfahrtschein") auf (Fahrausweis-/Urkunden-) Papier
- Edmondsonsche Fahrkarte (1836)
- Fahrmarken, meist in Metro- oder Straßenbahnbetrieben
- Zeitkarten auf Fahrausweispapier, teils mit persönlichen Angaben und Lichtbild
- Online-Tickets auf Normalpapier ("print at home"; statische Berechtigung nach UIC-Standard, VDV-KA oder proprietärem Format)
- Chipkarten für Abos/Zeitkarten, Fahrtguthaben, teils mit Bezahlungsfunktion (VDV-KA, Myfair/Desfire, ...)
- Handyticket (Barcode oder eTicket im Speicher; UIC-Standard, VDV-KA oder proprietäre Formate)

Der Vertrieb und die Abrechnung erfolgen

- durch persönlichen, Online- oder Automatenverkauf (Vorverkauf oder zum sofortigen Fahrtantritt)
- durch Ausgabe von Abonnementkarten (Papier, Chipkarte, Handyticket)
- mittels (vom Kunden mitgebrachten) Handy/Smartphone

Bei der Nutzung einzelner Fahrten außerhalb von Zeitkarten und Abos treten neben den klassischen Vertrieb von Fahrausweisen für vorab bestimmte Relationen zunehmend Systeme zur automatischen Erfassung der gefahrenen Strecke: Check-In/Check-Out (CiCo), Check-In/Be-Out (CiBo) oder Be-In/Be-Out (BiBo).



FAIRTIQ-Handyticket im VMT (CiCo; VDV-KA-Barcode)

Literaturempfehlungen

- **Rüger, Siegfried: Transporttechnologie städtischer öffentlicher Personenverkehr**
3. Auflage, transpress Verlag für das Verkehrswesen, Berlin 1986
- **Schnieder, Lars: Betriebsplanung im öffentlichen Personennahverkehr**
Ziele, Methoden, Konzepte
2. Auflage, Springer Vieweg, Berlin 2018
- **Dittmann, Willy/Eiden, Jörg: Lenk- und Ruhezeiten**
16. Auflage, Verlag Günter Hendrich GmbH & Co. KG, Wegberg 2020
- **Backmann, Renate: Straßenbahnen, Stadtbahnen und U-Bahnen – Grundlagen der Fahrzeugtechnik und Infrastruktur des ÖPNV in Deutschland**
6. Auflage, Huss-Verlag, München 2024
- **Die Fachkraft im Fahrbetrieb – Lehrbuch und Nachschlagewerk für die betriebliche und schulische Ausbildung**
7. Auflage, Verlag Heinrich Vogel, München 2023
- **Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab)**
- **Verordnung über den Betrieb von Kraftfahrunternehmen im Personenverkehr (BOKraft)**
- **FGSV: Hinweise für den Entwurf von Verknüpfungsanlagen des öffentlichen Personennahverkehrs (H VÖ) (FGSV 236)**
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2009
- **FGSV: Hinweise zur Fahrgastinformation im öffentlichen Verkehr (FGSV 151)**
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2009