

Professur für Bahnverkehr, öffentlicher Stadt- und Regionalverkehr Technische Universität Dresden Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Institut für Bahnsysteme und Öffentlichen Verkehr	Betriebsprozesse und Betriebsplanung im ÖV (VI-308-1, VI-621-1) Betriebsprozesse und Betriebsplanung im ÖPV (VI-510) Betriebsplanung im ÖV (BSI-25)	Umdruck 2 Wintersemester 2015/16
		Doz. Dr.-Ing. habil. Bär

Das Skript ist als vorlesungsbegleitendes Material, nicht als selbstständiges Studienmaterial konzipiert.

2 Zeitelemente

2.1 Elemente der Reise- und Einsatzzeiten

2.2 Zeitelemente in verschiedenen Betrachtungsebenen

2.3 Fahr- und Haltezeiten (Beförderungszeiten)

2.3.1 Regelfahrzeiten

2.3.2 Regelhaltezeiten

2.3.3 Synchronisationszeiten

2.3.4 Wartezeiten

2.3.5 Behinderungszeiten

2.3.6 Ermittlung der planmäßigen Beförderungszeiten

2.4 Übergangszeiten

2.4.1 (Mindest-)Umsteigezeiten

2.4.2 (Mindest-)Wendezeiten

2.4.3 Übergangs-Pufferzeiten

2.5 Weitere Zeitelemente der Reise- und Einsatzzeiten

2.5.1 Vorbereitungs- und Abschlusszeiten

2.5.2 Wartezeiten der Fahrgäste

Weitere Literaturhinweise

- [DB 402] Deutsche Bahn AG: Richtlinie 402 „Trassenmanagement“, Modul 402.0301
- [HO 04] Hoffmann, F.: Die Zusammenarbeit bei der Zugabfertigung im Fernverkehr. In: BahnPraxis H. 7-8/2004, S. 83-84
- [LEH 03] Lehnhoff, N.; Janssen, S: Untersuchung und Optimierung der Fahrgastwechselzeit. In: Der Nahverkehr H. 7-8/2003, S. 14-20
- [REI 12] Reinhardt, W.: Öffentlicher Personennahverkehr. Vieweg+Teubner-Verlag Wiesbaden 2012
- [SCH 10] Schmidt, A.: Fahrzeiten im regionalen Busverkehr – (k)ein Problem? In: Der Nahverkehr H. 12/2010, S. 54-60
- [WEI 95] Weidmann, U.: Niederflurfahrzeuge im Linienbetrieb. In: Verkehr und Technik H. 8/1995, S. 291-296 und H. 9/1995, S. 350-354

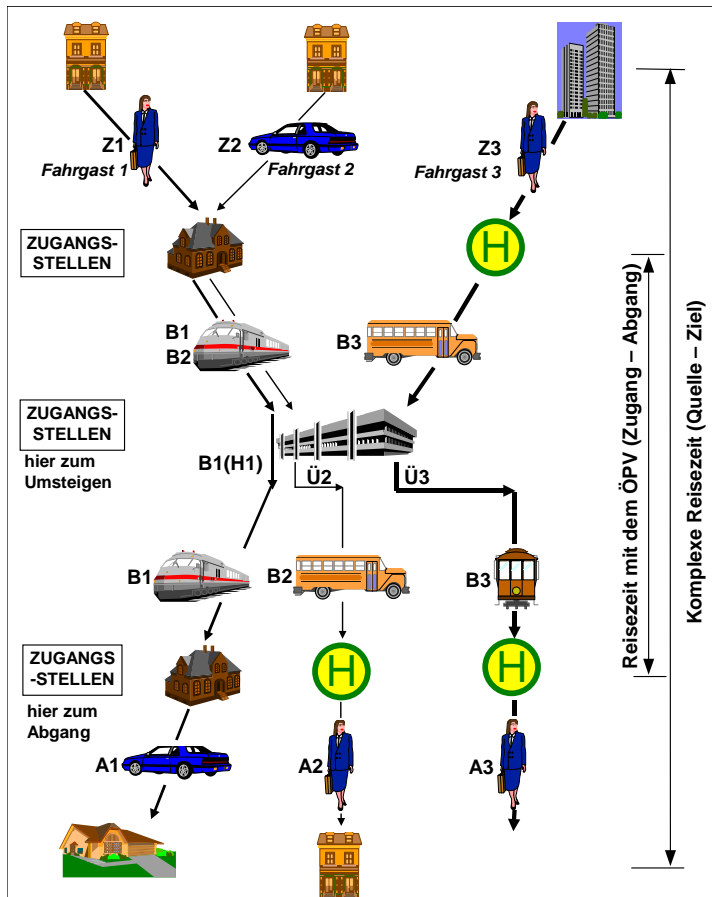
Wesentliche Formelzeichen

$T_{Ab,X,Zi}$	Zeitpunkt der Abfahrt der Fahrt Zi in X	$T_{An,X,Zi}$	Zeitpunkt der Ankunft der Fahrt Zi in X
t_{Bef}	Beförderungszeit	t_{Beh}	Behinderungszeit
$t_{F,X-Y,Zi}$	Fahrzeit der Fahrt Zi von X nach Y	t_{FR}	Regelfahrzeit
$t_{H,X,Zi}$	Haltezeit der Fahrt Zi in X	t_{HR}	Regelhaltezeit
t_P	Pufferzeit	t_{Sy}	Synchronisationszeit
$t_{Ü,X,Zi \rightarrow Zj}$	Übergangszeit zwischen den Fahrten Zi und Zj im Knoten X		
t_V	Verspätung	t_{VF}	Folgeverspätung
t_W	Wartezeit	t_{We}	Wendezeit

Allg. Indices: ...apl außerplanmäßig (abweichend vom Fahrplanwert)
 ...ist Istwert; realisierter Wert
 ...min Minimalwert; Mindestwert
 ...plm planmäßig; Fahrplanwert
 ...U im Umlauf

2.1 Elemente der Reise- und Einsatzzeiten

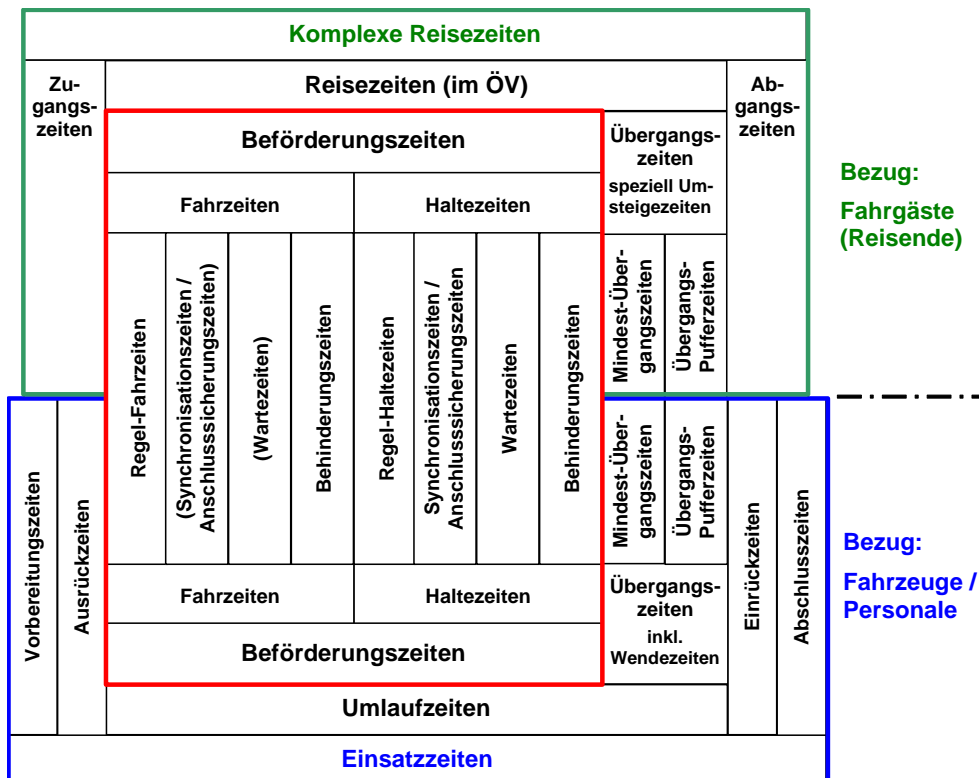
Abbildung 2.1-1: Zeitelemente aus Fahrgastsicht: Komplexe Reisezeit (Beispiel)



Legende:

- Zi: Zugangszeiten, inkl. Wartezeiten
- Bi: Beförderungszeiten (Fahrzeiten + Haltezeiten)
- Bi(Hi): Haltezeiten im Knoten (=Beförderungszeit-Anteil für weiterfahrende Fahrgäste)
- Üi: Übergangszeiten (Umsteigezeiten), inkl. Wartezeiten
- Ai: Abgangszeiten

Abbildung 2.1-2: Zusammenhänge Zeitelemente aus Fahrgastsicht und aus betrieblicher Sicht



Grundlegende Zeitelemente

a) Bezug Fahrgäste:

- Komplexe Reisezeit** - Zeitdifferenz zwischen Reiseende am Ziel und Reisebeginn an der Quelle
- Reisezeit (im ÖV)** - Zeitdifferenz zwischen der Ankunft oder Durchfahrt an einem Ort und der Ab- oder Durchfahrt an einem Ort davor innerhalb der Reise (*im allgemeinen Sinne*)
- Zeitdifferenz zwischen der Ankunft an der letzten und der Abfahrt an der ersten Zugangsstelle des ÖV (*für Gesamt-Reisezeit im ÖV*)
 - setzt sich aus Beförderungs- und Umsteigezeiten zusammen

b) Bezug Fahrzeuge / Fahrzeuge / Personale:

- Beförderungszeit** - Zeiteile der Reisezeit der Kunden, die sie in öffentlichen Verkehrsmitteln verbringen bzw. der Einsatzzeit der Verkehrsmittel, die der Beförderung von Fahrgästen dienen
- Zeitdifferenz zwischen der Ankunft oder Durchfahrt eines Zuges an einem Ort und der Ab- oder Durchfahrt desselben Zuges an einem Ort davor
 - setzt sich aus Fahrzeiten und Haltezeiten zusammen
- Fahrzeit** - Beförderungszeiteile, in denen mit den Verkehrsmitteln die Ortsveränderung der Fahrgäste realisiert wird
- Haltezeit** - Beförderungszeiteile, in denen die Verkehrsmittel halten.
- Übergangszeit** - Zeitdifferenz zwischen Abfahrt des Abbringerverkehrsmittels und Ankunft des Zubringerverkehrsmittels beim Übergang von Fahrgästen, Fahrzeugen oder Personalen. Die Übergangszeit kann Wartezeiten der Fahrgäste oder Verlustzeiten der Personalen beinhalten.

c) Bezug Fahrzeuge / Personale:

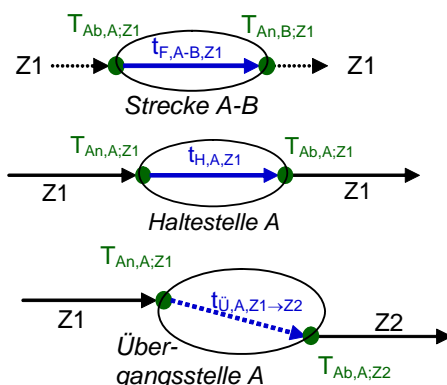
- Umlaufzeit** - Zeitdifferenz zwischen dem aufeinander folgenden Beginn zweier Fahrten, i.d.R. derselben Linie, am gleichen Ort, die mit demselben Fahrzeug bzw. Personal durchgeführt werden
- setzt sich aus Beförderungs- und Wendezeiten zusammen
- Einsatzzeit** - Zeitdifferenz zwischen dem Ende des Einrückens und dem Beginn des Ausrückens bzw. dem Ende der Abschlusszeit und dem Beginn der Vorbereitungszeit

2.2 Zeitelemente in verschiedenen Betrachtungsebenen

Wesentliche Zeitelemente des ÖV sind

- die **Zeitdauern t**
 - der Beförderungsprozesse (Fahren und Halten) sowie
 - der Übergänge zwischen den Verkehrsmitteln (Umsteigen, Personal- und Fahrzeugübergänge) und
- die **Zeitpunkte T** des Beginns und des Endes der o.g. Zeitdauern.

Beide Gruppen stehen in unmittelbarem Zusammenhang zueinander:



Für alle relevanten Zeitdauern (und auf deren Basis für die Abfahrts-, Ankunfts- und ggf. Durchfahrtszeitpunkte) ist **im Fahrplan 1 Planwert (Sollwert, planmäßiger Wert)** zu planen, d.h.

- für alle Fahrabschnitte / Halte jeder planmäßigen Fahrt bzw. jedes planmäßigen Überganges,
- bzw. einheitlich für Gruppen von Fahrten bzw. Übergängen, insbes. bei Taktfahrplänen.

In der Betriebsdurchführung über die Fahrplanperiode (mit n_F Betriebstagen) tritt jedes Zeitelement aber in **vielen Realisierungen (Istwerte, realisierte bzw. tatsächliche Werte)** auf, die sich aufgrund unterschiedlich einstellender Einflussfaktoren untereinander mehr oder weniger stark unterscheiden (schwanken):

Zu a) an jedem Betriebstag ein Wert (insgesamt n_F Realisierungen in der Fahrplanperiode),

Zu b) an jedem Betriebstag in jedem Takt ein Wert (insgesamt $n_F \cdot n_T$ Realisierungen in der

Fahrplanperiode, falls die Taktgruppe n_T Taktfahrten enthält).

(vgl. Abb. 2.2-1)

Abbildung 2.2-1: Die zwei Betrachtungsebenen der Zeitelemente

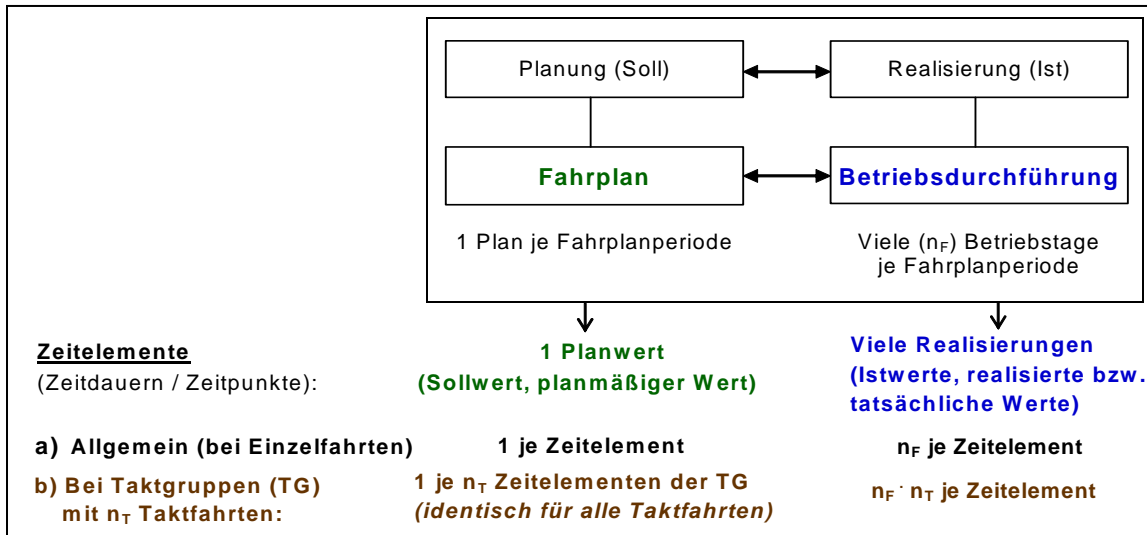
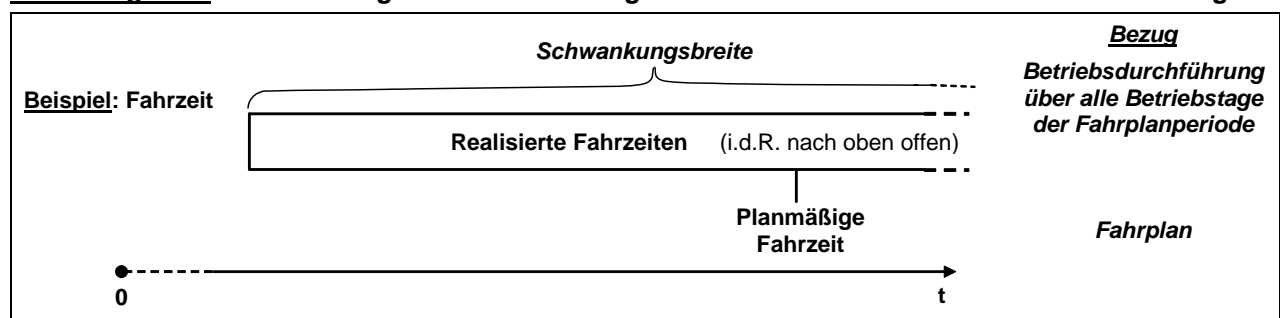


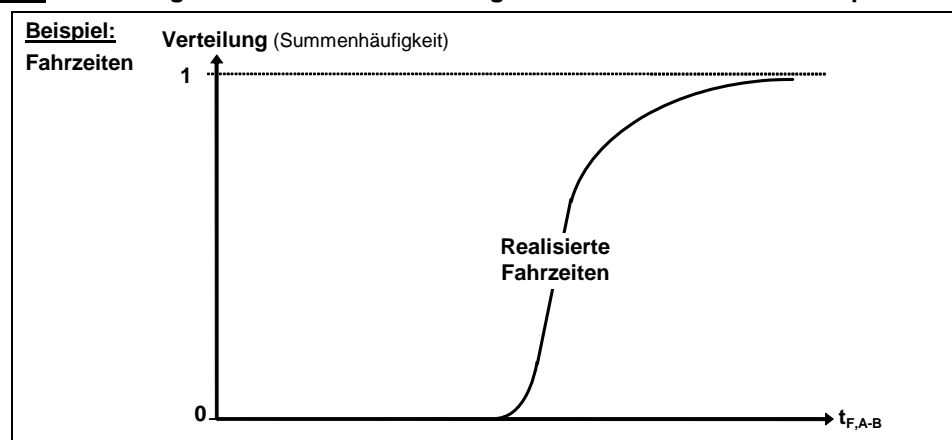
Abbildung 2.2-2: Schwankungen der Realisierungen der Zeitelemente zwischen den Betriebstagen



Beispiele für schwankende Einflussfaktoren der Zeitelemente in der Betriebsdurchführung		
Fahrzeiten	Haltezeiten	Übergangszeiten
<ul style="list-style-type: none"> witterungsbedingte Einflüsse Behinderungen durch andere Verkehre Fahrverhalten des Fahrzeugführers 	<ul style="list-style-type: none"> Anzahl aus- und einsteigender Fahrgäste; Verteilung im bzw. am Fahrzeug Aus- bzw. einsteigende Fahrgäste mit Kinderwagen, Fahrrädern etc. 	<ul style="list-style-type: none"> Anzahl umsteigender Fahrgäste im Kontext mit den Bedingungen der Umsteigewege

Die Mehrzahl der Schwankungen ist weder von ihrem Auftreten noch von ihrer Größenordnung detailliert vorhersehbar. Es ist deshalb sinnvoll und üblich, die **Menge der Realisierungen über die Fahrplanperiode** für die einzelnen Zeitelemente als **Zufallsgröße** aufzufassen (vgl. Abb. 2.2-3).

Abbildung 2.2-3: Verteilungsfunktion der Realisierungen eines Zeitelements am Bsp. einer Fahrzeit



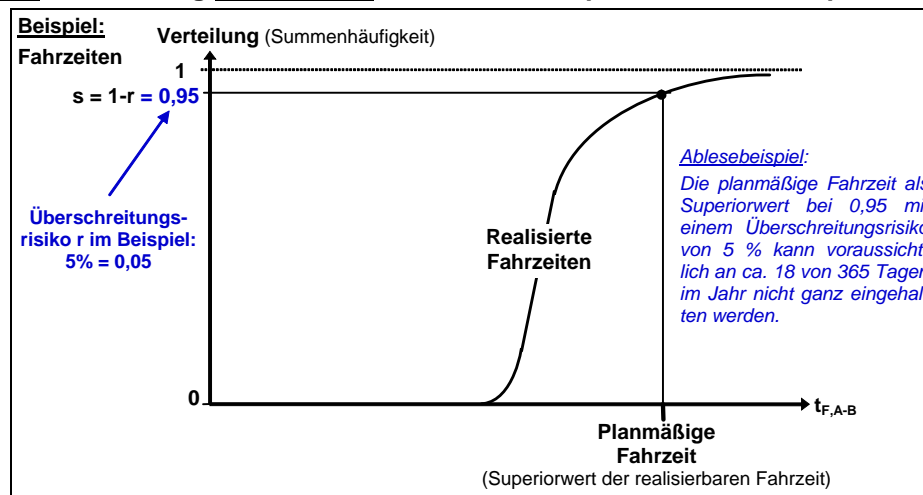
Im **Fahrplan** ist aber für alle Zeitanteile **ein geeigneter fester Wert** als **planmäßiger Wert (Plan-Wert)** festzulegen, d.h. ein Repräsentant der Zufallsgröße.

Damit der Fahrplan mit hoher Wahrscheinlichkeit eingehalten werden kann, ist jeder Plan-Wert so auszuwählen, dass die entsprechende Zeit in der Mehrzahl der Fälle im Betriebsablauf eingehalten werden kann. Das heißt, die Mehrzahl der Realisierungen der Zufallsgröße darf innerhalb der Fahrplanperiode den Plan-Wert nicht überschreiten.

Gegenüber oftmals unter typischen Randbedingungen ermittelten „Standardwerten“ für bestimmte Zeitanteile müssen die Plan-Werte der Zeitanteile also Reserven für Schwankungen im Betriebsablauf enthalten.

Kann man aus Berechnungen oder Statistiken eine Verteilungsfunktion oder empirische Häufigkeitsverteilung der zu erwartenden realisierten Zeiten aufstellen (siehe Abb. 2.2-3), kann der Plan-Wert als **Superiorwert** (mit einem geringen Überschreitungsrisiko r) abgeleitet werden (siehe Abb.2.2-4).

Abbildung 2.2-4: Bemessung planmäßiger Zeitwerte als Superiorwert am Beispiel der Fahrzeit



Zahlenbeispiel für die Vorlesung:

Geg.: Fahrzeit A-B sei normalverteilt mit $\bar{t}_F = 18,17 \text{ min}$ und $s_{t_F} = 0,79 \text{ min}$; Ges.: $t_{F,95\%}$

Zur besseren Handhabbarkeit ist in der **Verkehrspraxis** jedoch eher ein **einfacheres Herangehen** üblich. Es wird hierbei meist unter typischen Randbedingungen ein „Standardwert“ ermittelt (nicht zwingend identisch mit dem kleinsten erreichbaren Wert oder dem Mittelwert). Zum Bilden des Plan-Wertes wird dieser oft um einen pauschalen Zuschlag (oft prozentualer oder konstanter Wert) erhöht.

2.3 Fahr- und Haltezeiten (Beförderungszeiten)

Planerisch ergeben sich die Fahr- und Haltezeiten **mindestens** aus den **Regelfahrzeiten** bzw. **Regelhaltezeiten**. Aufgrund von internen und externen Einflüssen **kann** es darüber hinaus erforderlich sein, **Synchronisations-, Warte- bzw. Behinderungszeiten** innerhalb der planmäßigen Fahr- und Haltezeiten zu berücksichtigen¹.

Beförderungszeiten			
Regelfahrzeiten	Wartezeiten	Synchronisationszeiten	Behinderungszeiten
Regelhaltezeiten			

2.3.1 Regelfahrzeiten

Regelfahrzeit = erforderliche Zeitdauer der Fahrzeit zwischen zwei planmäßigen Halten unter der Prämisse einer **unbehinderten Fahrt**. Sie ergibt sich aus dem Zusammenspiel

- der fahrdynamisch relevanten Eigenschaften der Fahrzeuge,
- der Fahrwege
- der Umweltbedingungen sowie
- der Fahrweise der Fahrzeugführer.

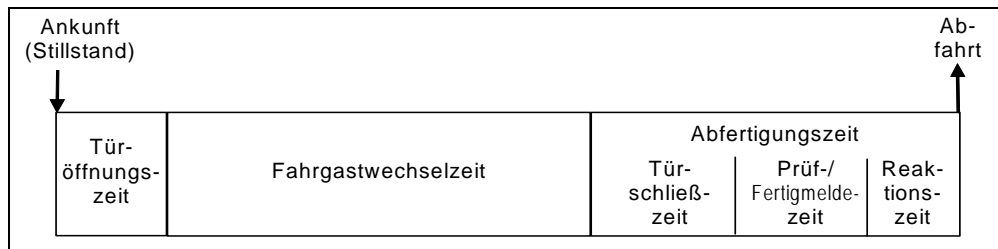
Damit die Regelfahrzeit mit hoher Wahrscheinlichkeit in der Betriebsdurchführung eingehalten werden kann, enthält ihr Planwert bereits Zeitanteile für allfällige Schwankungen dieser Einflussfaktoren (vgl. Abschn. 2.2).

¹ Die drei letztgenannten Zeitanteile würden keinesfalls auftreten, wenn die Fahrt das Netz allein beführe.

2.3.2 Regelhaltezeiten

Regelhaltezeit = erforderliche Zeitdauer eines für den Fahrgastwechsel (**Verkehrshalt**) bzw. für betriebliche Aufgaben, wie z.B. Fahrtrichtungswechsel (**Betriebshalt**) vorgesehenen Halts. Verkehrs- und Betriebshalt können kombiniert auftreten, die maximal erforderliche Zeitdauer ist dann maßgebend für die Regelhaltezeit. Damit die Regelhaltezeit mit hoher Wahrscheinlichkeit in der Betriebsdurchführung eingehalten werden kann, enthält ihr Planwert bereits Zeitanteile für allfällige Schwankungen ihrer Einflussfaktoren.

Abbildung 2.3-1: Elemente der Regelhaltezeit eines Verkehrshaltes



Es lassen sich dabei folgende Anteile unterscheiden:

- **fahrgastunabhängige**
- **fahrgastabhängige**

Die **Größe der fahrgastunabhängigen Anteile** ergibt sich vor allem aus der eingesetzten Technik und den beteiligten Personen, wie

- Technik und Bedienung der Türen,
- vorgesehene Abläufe, Beteiligte und deren Zusammenwirken bei der Abfertigung nach dem Fahrgastwechsel.

Die **Größe der fahrgastabhängigen Anteile (Fahrgastwechselzeit)** ergibt sich vor allem aus dem Zusammenspiel folgender Komponenten

- Eigenschaften der Fahrzeuge (z.B. Anzahl und Anordnung der Türspuren, Einstiegshöhe, Einstiegsräume),
- Eigenschaften der Stationen (z.B. Bahnsteige, deren Höhe und Zugänge),
- Korrelation zwischen Eigenschaften der Fahrzeuge und der Stationen
- Anzahl und Verteilung ein- und aussteigender Fahrgäste,
- ggf. Erfordernis und Abläufe der Fahrgeldkassierung oder Ticketentwertung beim Zustieg.

Spezialfälle: Bedarfshalt

Halt ohne Fahrgastwechsel

2.3.3 Synchronisationszeiten

= ein unter Berücksichtigung der zeitlichen Lage zweier Fahrten ggf. über die Regelbeförderungszeit hinaus notwendiger Zeitanteil zum Synchronisieren der zwei Fahrten, insbes. aus verkehrlichen Gründen;

Typischster Fall: Verlängerung eines Halts über die Regelhaltezeit hinaus, um **Übergänge** (Umsteiger, Fahrzeuge, Personale) von anderen Fahrten zu gewährleisten

- ergibt sich bei vorgesehenen Anschlüssen aus einer ungünstigen zeitlichen Lage der zu synchronisierenden Fahrten zueinander
- entsteht bei günstiger zeitlicher Lage der Fahrten zueinander nicht zwangsläufig

Abbildung 2.3-2:

Beispiel für das Entstehen einer Synchronisationszeit:

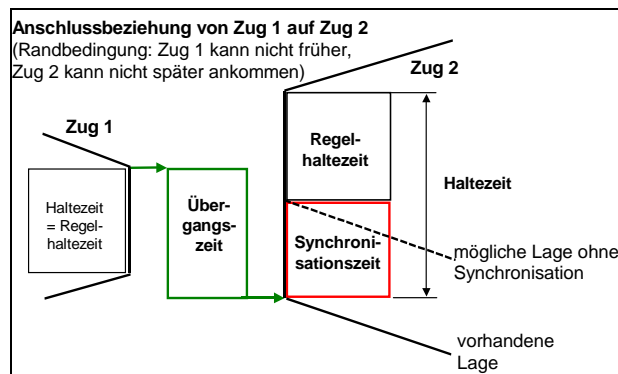
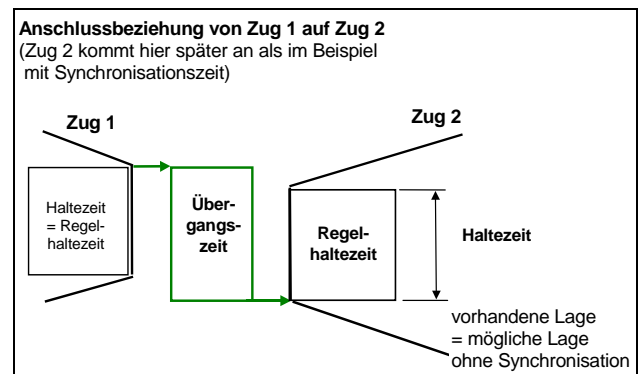


Abbildung 2.3-3:

Beispiel für das Vermeiden der Synchronisationszeit:



Synchronisationszeiten werden bei Erfordernis als **planmäßige Synchronisationszeiten** $t_{Sy,plm}$ in den Fahrplan eingebaut. Ein Ziel der Fahrplanoptimierung ist allerdings das Gewährleisten der erforderlichen bzw. gewünschten Übergänge bei **minimalem Umfang oder ohne** planmäßige Synchronisationszeiten.

Ändern sich in der Betriebsdurchführung die zeitlichen Lagen der Fahrten zueinander (z.B. durch Verspätungen), können ggf.

- Synchronisationszeiten kürzer ausfallen als geplant oder ganz entfallen ($t_{Sy,ist} < t_{Sy,plm}$; $t_{Sy,apl} < 0$) (sie stellen daher ein **Potential zur Verspätungsreduktion** dar!) bzw.
- Synchronisationszeiten länger ausfallen als geplant oder überhaupt erst entstehen (→ zusätzliche **außerplanmäßige Synchronisationszeiten** $t_{Sy,apl} (>0)$, die zu **Folgeverspätungen** t_{VF} führen).

$$t_{Sy,ist} = t_{Sy,plm} + t_{Sy,apl}$$

(2.3/2)

Abbildung 2.3-4:

Beispiel für verkürzte Synchronisationszeit im Betrieb mit Verspätungsreduktion:

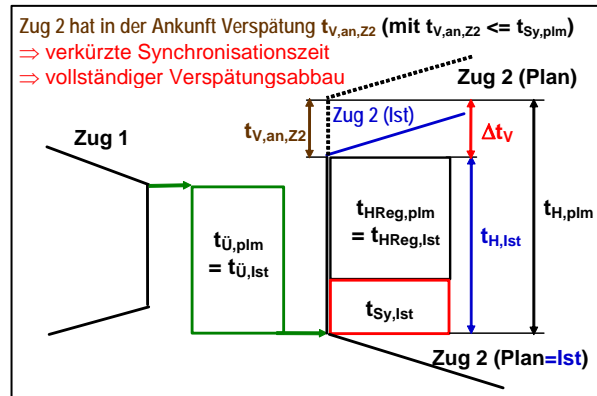
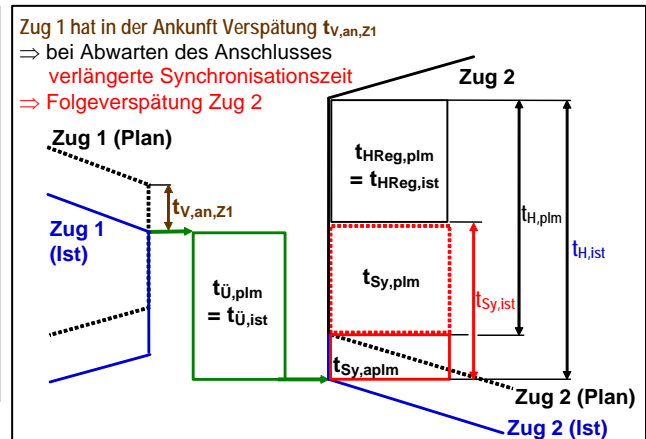


Abbildung 2.3-5:

Beispiel für verlängerte Synchronisationszeit im Betrieb mit Folgeverspätung:



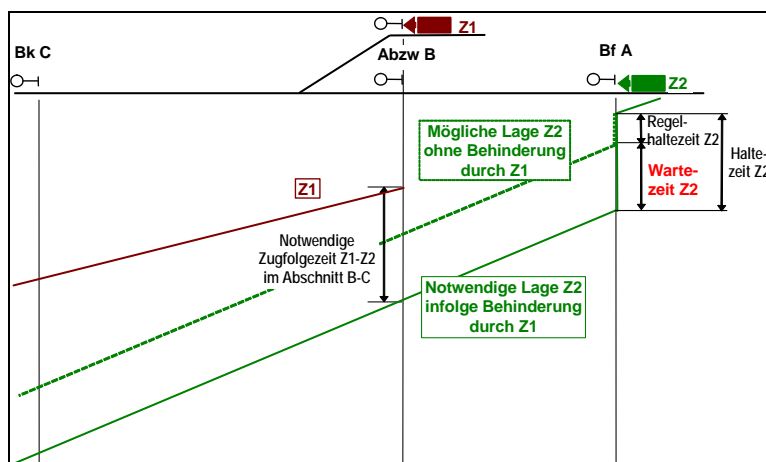
2.3.4 Wartezeiten

- = ein unter Berücksichtigung der zeitlichen Lage von Fahrten zueinander über die Regelhaltezeit und die Synchronisationszeit hinaus notwendiger Anteil der Beförderungszeit wegen **interner Behinderung** der Fahrten untereinander auf der Infrastruktur

Typischster Fall: Wartezeiten infolge des **Fahrens im Raumabstand bei Bahnen**

- entsteht bei günstiger zeitlicher Lage der Fahrten zueinander nicht zwangsläufig

Abbildung 2.3-6: Beispiel für das Entstehen einer Wartezeit:



Analog der Synchronisationszeiten sind auch bei den Wartezeiten zu unterscheiden:

- **planmäßige Wartezeiten** $t_{W,plm}$ im Fahrplan
- **Ist-Wartezeiten** $t_{W,ist}$ sowie **außerplanmäßige Wartezeiten** $t_{W,apl}$ in der Betriebsdurchführung

$$t_{W,ist} = t_{W,plm} + t_{W,apl}$$

(2.3/6)

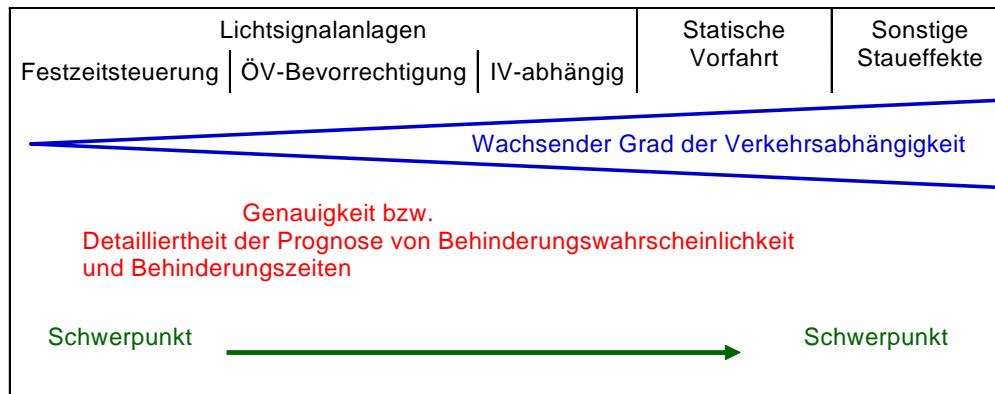
2.3.5 Behinderungszeiten

- = sind Anteile der Halte- oder Fahrzeit, die durch **externe Behinderungen** (insbesondere im öffentlichen Verkehrsraum bei Straßenverkehrsmitteln) entstehen.

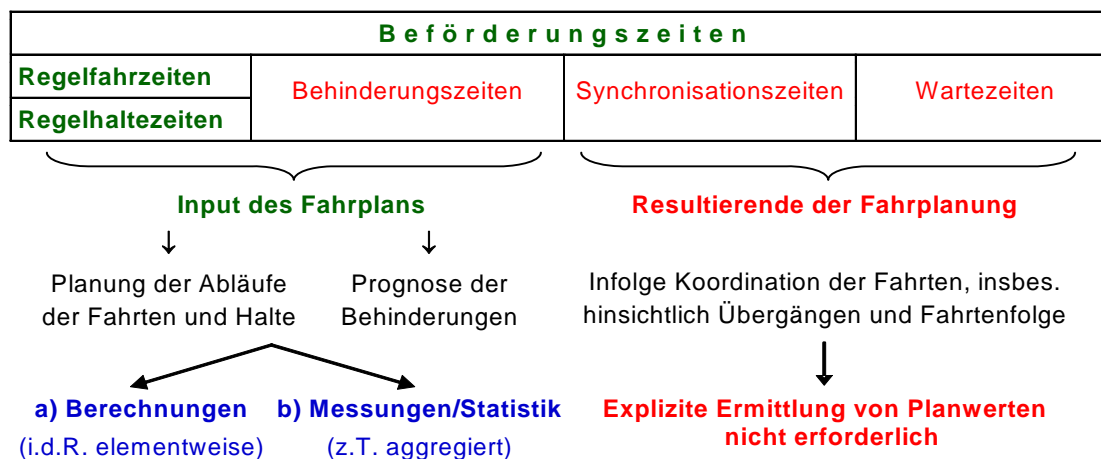
Behinderungszeiten treten bei Verkehrsmitteln mit ausschließlich internen (eigenen, nichtöffentlichen) Verkehrswegen nicht auf (z.B. Eisenbahn, weitgehend Luftverkehr).

Es existieren verschiedene Gruppen von Ursachen der Behinderungen mit einem unterschiedlichen Grad der Verkehrsabhängigkeit, woraus sich unterschiedliche Möglichkeiten hinsichtlich der Genauigkeit bzw. Detailliertheit ihrer Prognose ergeben.

Abbildung 2.3.7: Beispiele für verschiedene Gruppen von Ursachen der Behinderungen (unvollständig)



2.3.6 Ermittlung der planmäßigen Beförderungszeiten



a) Berechnung von Elementen der planmäßigen Beförderungszeit (Beispiele)

a1) Regelfahrzeiten Eisenbahn:

- Berechnung eines Wertes der Fahrzeit bei typischen Randbedingungen (= „**Reine Fahrzeit**“) mittels fahrdynamischer Algorithmen unter Einbeziehung detaillierter fahr- und bremsdynamisch relevanter Daten der Infrastruktur und des Zuges (s.a. *Module VI-106 bzw. BSI-26*)
- Ergänzung durch Fahrzeitzuschläge als Ausgleich für Schwankungen der Randbedingungen (DB Netz AG: Regelzuschlag und Bauzuschlag) (s.a. *Modul VI-307 bzw. BSI-70*)
- Automatische Berechnung im Rahmen der Fahrplansoftware RUT-K

a2) Regelfahrzeiten Stadt- und Regionalverkehr:

- i.d.R. überschlägige Berechnungen mit konstanten Anfahr- und Bremsverzögerungen der Anfahr- und Bremsvorgänge (oft pauschal durch Fahrzeitzuschläge ersetzt) sowie dazwischen Annahme von Beharrungsfahrt (gleichförmige Bewegung) mit mittlerer Geschwindigkeit unter Vernachlässigung von Auslaufvorgängen (s.a. *Kapitel „Leistungsfähigkeit und Leistungsverhalten“*)

$$t_{\text{FReg}, X \rightarrow Y} \approx \frac{v_0}{2 \cdot a_A} + \frac{l_{X \rightarrow Y}}{v_0} + \frac{v_0}{2 \cdot a_B} \quad (2.3/6)$$

a_A = Anfahrbeschleunigung;
 a_B = Bremsverzögerung
 $l_{X \rightarrow Y}$ = Länge der Strecke $X \rightarrow Y$
 v_0 = Geschwindigkeit des ÖV-mittels

a3) Regelhaltezeiten:

$$t_{\text{HReg}} = t_{\text{Tö}} + t_{\text{Fw}} + t_{\text{Abf}} = t_{\text{Tö}} + n_{\text{AE}} \cdot \frac{\psi}{S} \cdot t_{\text{Ff}} + t_{\text{Abf}} \quad (2.3/7)$$

Quelle: [RÜG 86]

$t_{\text{Tö}}$ = Türöffnungszeit
 t_{Fw} = Fahrgastwechselzeit
 t_{Abf} = Abfertigungszeit
 t_{Ff} = Fahrgastfolgezeit zweier Aus- bzw. Einsteiger
 n_{AE} = Anzahl Aus- und Einsteiger
 S = Anzahl Türspuren
 ψ = Korrekturfaktor für ungleiche Aus- und Einsteigerverteilung an den Türen

Wichtiger Hinweis: In [RÜG 86], das sich auf den öffentlichen Stadtverkehr fokussiert, ist die Türöffnungszeit nicht explizit enthalten, sondern wird als Bestandteil der Abfertigungszeit aufgefasst, d.h. die Abfertigungszeit wird synonym für den fahrgastunabhängigen Anteil der Haltezeit verwendet. RÜGER erläutert zudem seine Formel unter der Prämisse, „...wenn die Türen so rechtzeitig geöffnet werden, daß der Fahrgastwechsel mit dem Stillstand des Fahrzeuges beginnt...“. Moderne Fahrzeuge lassen einen Beginn des Öffnens der Türen i.d.R. erst (nahezu) mit dem Stillstand zu und benötigen oft deutlich länger zu diesem Vorgang als vormals per Hand zu öffnende Türen. Der Fahrgastwechsel kann dann erst signifikant später beginnen als der Stillstand des Fahrzeuges erfolgt. Deshalb wird hier der u.a. bei der Eisenbahn übliche Ansatz, die Türöffnungszeit als separates Zeitelement der Haltezeit zu betrachten, gewählt.

Zudem arbeitet RÜGER nicht mit dem Absolutwert der Aus- und Einsteiger, sondern mit dem Platzangebot des Zuges und dem Anteil des Fahrgastwechsels am Platzangebot, was auf dasselbe hinausläuft.

a4) Behinderungszeiten an festzeitgesteuerten Lichtsignalanlagen:

$$t_{\text{Beh,LSA}} = \frac{t_s}{t_{\text{Per}}} \cdot \left(\frac{t_s}{2} + t_{\text{Az}} \right) \quad (2.3/8)$$

Quelle: [RÜG 86]

t_s = Sperrzeit der LSA für das ÖV-mittel
 t_{Per} = Periodendauer der LSA
 t_{Az} = mittlerer Anfahrzeitzuschlag nach Behinderung

Gl. (2.3/8) gilt nur unter der Prämisse, dass kein Rückstau über mehr als eine Periodendauer auftritt! (erweiterte Gleichung für den Fall, dass dies nicht gilt, siehe [RÜG 86] bzw. Kap. Leistungsfähigkeit und Leistungsverhalten)

b) Messungen / Statistik von Elementen der planmäßigen Beförderungszeit (Bsp.'e / Besonderheiten)

b1) Beispiel Regelhaltezeiten:

Regelhaltezeiten werden oft auf Basis pauschaler Schätzungen bzw. Messungen bestimmt.

Statistische Untersuchungen haben ergeben, dass sich die Verteilung einer Haltezeit, beobachtet über eine statistisch relevante Menge an Betriebstagen, häufig durch folgende Verteilungsfunktionen gut abbilden lässt:

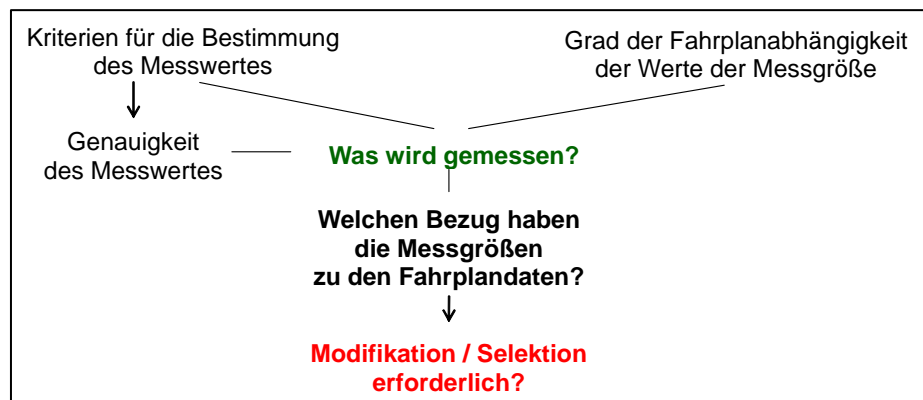
- **Normalverteilung:** bei stark frequentierten Haltestellen (maßgeblicher Anteil der Fahrgastwechselzeit an der Größe und Schwankungsbreite der Werte)
- **Erlang-k-Verteilung:** bei gering frequentierten Haltestellen (maßgeblicher Anteil der Abfertigungszeit an der Größe und der Fahrgastwechselzeit an der Schwankungsbreite der Werte)

b2) Nutzung von kontinuierlich / regelmäßig (automatisch) erfassten Daten:

Stand der Technik: In vielen Verkehrsunternehmen automatische Erfassungssysteme, i.d.R. vornehmlich für die Betriebssteuerung und Fahrgastinformation

- Nahverkehrsunternehmen: **RBL**
- Eisenbahn: **Zuglaufüberwachung** im Rahmen der BZ-Systeme

Abb. 2.3-8:
Probleme der Nutzung von Daten der RBL bzw. Zuglaufüberwachung zur Bemessung von planmäßigen Beförderungszeiten



b3) Aggregation von Zeitelementen in der Betriebsdurchführung (bei Messungen) und im Fahrplan

Alle definierten Zeitelemente treten in der Betriebsdurchführung mit Ist-Werten auf,

- die annähernd den Planwerten entsprechen können (und sollten),
- aber auch signifikant negativ oder positiv von ihnen abweichen können (auch Zeitelemente, die gar nicht geplant waren, z.B. für einen außerplanmäßigen Halt).

Dennoch sind die auftretenden **Zeitelemente nicht immer separat messbar** (überhaupt oder mit angemessenem Aufwand).

Typische Beispiele:

- Messung der Fahrzeit im straßengebundenen ÖPNV zwischen 2 Haltestellen: beinhaltet i.d.R. schwer trennbar die Ist-Regelfahrzeit und die Ist-Behinderungszeit.
- Messung der Fahrzeit eines Zuges zwischen 2 Bahnhöfen mit Behinderung durch einen vorausfahrenden Zug (mehrfaches Stutzen vor Blocksignalen): beinhaltet i.d.R. schwer trennbar die Ist-Regelfahrzeit und die Ist-Wartezeit.

Für die Flexibilität bei der Umsetzung des Fahrplanes im Betrieb wäre es oft günstig, wenn auch **Fahrplanangaben nur auf einer aggregierten Ebene veröffentlicht** würden:

Beispiele:

- Veröffentlichung nur der Abfahrtszeit bei Halten → Die Nutzung von Reserven in Fahr- und Haltezeit kann gemeinsam erfolgen und untereinander ausgeglichen werden.
- Veröffentlichung nur der Abfahrtszeit ausgewählter Halte: Die Ankunfts- und Abfahrtszeit dazwischen liegender Halte kann der Fahrgast nur interpolieren, definitive Zeitpunkte werden nicht mit dem Fahrplan versprochen → Im gesamten Abschnitt zwischen zwei veröffentlichten Halten können die Fahr- und Haltezeitreserven gemeinsam genutzt und untereinander ausgeglichen werden. An Zwischenhaltestellen kann im Vergleich zum Betriebs-Fahrplan verfrüht abgefahren werden.

2.4 Übergangszeiten

Allgemeine Definition → S. 3

2.4.1 (Mindest-)Umsteigezeiten

- spezielle Form der Übergangszeit mit Bezug auf den Übergang der Fahrgäste von Verkehrsmittel zu Verkehrsmittel; ihr Planwert sollte (z.B. analog der Regelhaltezeiten) bereits Zeitanteile für allfällige Schwankungen ihrer Einflussfaktoren enthalten.
- beinhaltet Anteile der Haltezeit von Zu- und Abbringer und setzt sich wie folgt zusammen (**Abb. 2.4-1**):



2.4.2 (Mindest-)Wendezeiten

- spezielle Form der Übergangszeit von Fahrzeugen und Personal, wenn am Übergangspunkt (hier Wendepunkt) die Fahrt des einen Zuges definitionsgemäß endet und die Fahrt des nächsten Zuges (oft des sog. Gegenzuges) definitionsgemäß beginnt
- dient insgesamt folgenden Teilaufgaben:
 - a) Vorbereitung auf die nächste Fahrt (z.B. Rangieren, Wechsel des Führerstandes, Beschildern, Prüfen der Fahrzeuge auf Verkehrs- und Betriebssicherheit, u.a.)
 - b) persönliche Bedürfnisse des Personals, ggf. Pause des Personals
- Entsprechend der konkreten Bedingungen der Verkehrsmittel und Wendestellen unterscheidet sich die Größenordnung der erforderlichen Wendezeiten z.T. deutlich. Bei begrenzten bis teilweise völlig entfallenden Teilaufgaben a) und b), wie häufig im Stadt- und Regionalverkehr anzutreffen, können die Wendezeiten zwischen einzelnen Fahrten sehr klein gehalten werden, im Einzelfall ggf. sogar ganz entfallen.

- Sollen jedoch die Wendezeiten bzw. Teile davon als Pausen des Personals dienen, müssen die entsprechenden gesetzlichen und betrieblichen Regelungen eingehalten werden (vgl. *Kapitel Dienstplanung*). Für Untersuchungen, die nicht dienstplangenau erfolgen, kann in diesem Falle bei der Fahrplanung zunächst mit folgendem Pauschalansatz für die Mindest-Wendezeiten (hier inkl. Übergangs-Pufferzeiten, vgl. *Abschn. 2.4.3*) im Umlauf gearbeitet werden:

$$t_{We,U,min} = -\frac{t_{Bef,U}^2}{3000} + \frac{t_{Bef,U}}{6} + 2 \quad \text{Zugeschnittene Gleichung, alle Zeiten in Minuten!} \quad \text{Überschlägig:} \quad t_{We,U,min} \approx \frac{t_{Bef,U}}{6} \quad (2.4/1a/b)$$

mit $t_{We,U,min}$... Mindest-Wendezeit im Umlauf $t_{Bef,U}$... Beförderungszeit im Umlauf

Zahlenbeispiele für die Vorlesung:

Geg.: $t_{Bef,U}$ a) 36 min; b) 74 min; c) 98 min

2.4.3 Übergangs-Pufferzeiten

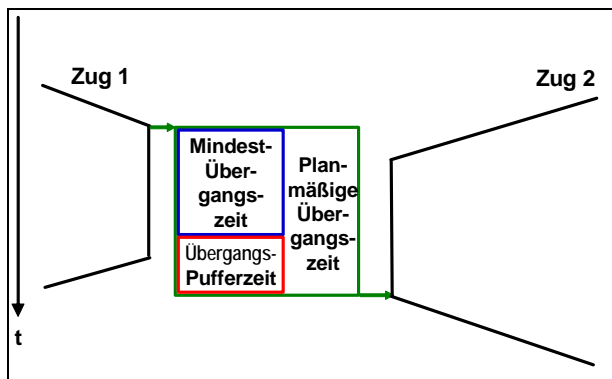
Neben Zeitanteilen für den Ausgleich natürlicher Schwankungen und Ungenauigkeiten der Ermittlung der Höhe der Übergangszeiten (analog der Fahr- und Haltezeiten) sollte die planmäßige Übergangszeit darüber hinaus einen Zeitpuffer enthalten, der in der Betriebsdurchführung die Übertragung von Verspätungen des Zubringerverkehrsmittels auf das Abbringerverkehrsmittel bzw. Anschlussverluste verhindert bzw. reduziert.

Die Höhe der Übergangs-Pufferzeit sollte vor allem abhängig gemacht werden von

- den voraussichtlich zu erwartenden Verspätungsdifferenzen zwischen Zu- und Abbringer im Betrieb (Höhe und Verteilung),
- den zu erwartenden Folgen einer Verspätungsübertragung bzw. eines Anschlussverlustes (Berücksichtigung ggf. vorhandener Alternativen, z.B. Ersatzfahrzeuge, adäquate Verkehrsverbindungen).

Praktisch wird der Zeitpuffer beim Übergang dennoch häufig nicht explizit als Übergangs-Pufferzeit, sondern implizit als Bestandteil der Mindest-Umsteigezeit bzw. Mindest-Wendezeit ausgewiesen.

Abbildung 2.4-2: Planmäßige Übergangszeit mit Übergangs-Pufferzeit



Wirkungen der Übergangs-Pufferzeit (Beispiele)

Abbildung 2.4-3:

Wirkung der Übergangs-Pufferzeit bei kleiner Verspätung des Zubringers Z1

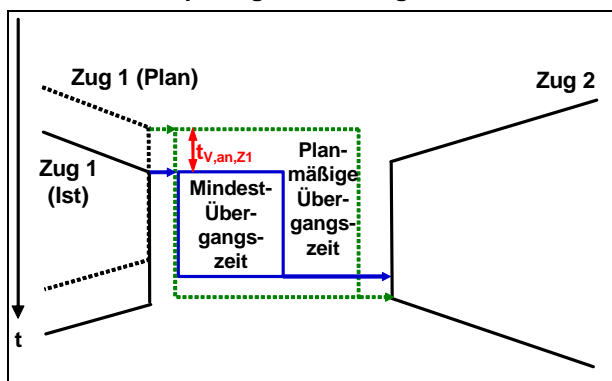
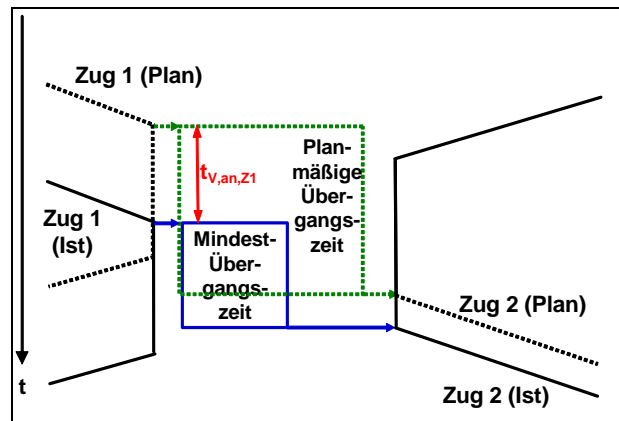


Abbildung 2.4-4:

Wirkung der Übergangs-Pufferzeit bei größerer Verspätung des Zubringers Z1 und Abwarten des Anschlusses



2.5 Weitere Zeitelemente der Reise- und Einsatzzeiten

2.5.1 Vorbereitungs- und Abschlusszeiten

Teilweise unterschiedliche Größenordnungen in Bezug auf Fahrzeuge einerseits und Personale andererseits, Letzteres auch abhängig von tariflichen Regelungen (vgl. auch Abschnitte zur Wagenlaufplanung und Dienstplanung).

Durchführung	Vorbereitungszeit	Abschlusszeit
im Depot	<ul style="list-style-type: none"> • Wegezeiten im Depot • Auffüllen / Prüfen von Betriebsstoffen • Herstellen / Prüfen der Verkehrs- und Betriebssicherheit (bes. Bremsen, Kontroll- und Anzeigeelemente) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pauschales Abgelden von Verspätungen • Kassenabrechnung
	10 ... 30 min weniger, falls Depot-Mitarbeiter dafür zuständig	5 ... 15 min
im Netz	<ul style="list-style-type: none"> • technische Wechselzeit • teilweise Tätigkeiten analog der Durchführung im Depot 	
	0 ... 10 min, ggf. zzgl. Anrechnung von An- und Abreisezeiten	

2.5.2 Wartezeiten der Fahrgäste

Ebenso wie es für die einzelnen Prozesse (z.B. Fahren, Halten) infolge von Behinderungen und Synchronisationen oftmals eine Differenz zwischen den geplanten bzw. realisierten Werten einerseits und den für die Prozesse mindestens erforderlichen (Regel-) Werten andererseits gibt, existiert eine analoge Differenz auch bezogen auf die Reise der Fahrgäste (Reisenden).

Alle derartigen Zeitanteile, die über das für die eigene Ortsveränderung notwendige bzw. notwendig erscheinende Maß hinausgehen, werden als **Wartezeiten der Fahrgäste** empfunden. Derartige Wartezeiten können nahezu in allen Zeitanteilen der komplexen Reisezeit enthalten sein, z.B.

- Wartezeiten beim Übergang an der ersten Zugangsstelle, beim Umsteigen und beim Abgang,
- Wartezeiten als Zwischenhaltezeiten und der damit verbundenen Fahrzeitverlängerungen der Verkehrsmittel.

Psychologisch besonders ungünstig sind derartige Wartezeiten innerhalb solcher Zeitanteile, die der Ortsveränderung offenkundig nicht dienen.

Beispiele

Abb. 2.5-1: Wartezeit der Fahrgäste bei fahrplanunabhängigem Zugang
(bei Taktverkehr mit kleinen Taktperioden)

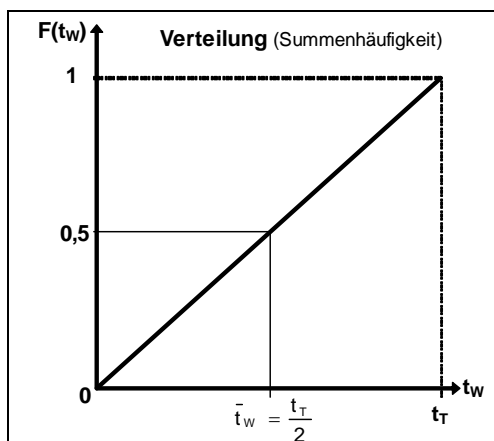


Abb. 2.5-2: Wartezeit der Fahrgäste beim Umsteigen

