

## **Dimensionierung eines Richtungsbandes**

**Autoren / Authors:**

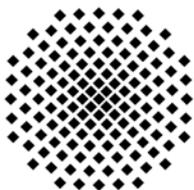
Markus Friedrich

Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik, Universität Stuttgart

e-mail: markus.friedrich@isv.uni-stuttgart.de

**Veröffentlicht in / Published in:**

Friedrich, M. (2004): Dimensionierung eines Richtungsbandes, Tagungsbericht Flexibilisierung im Öffentlichen Verkehr, Zukunftswerkstatt Darmstädter Dialog, Darmstadt.



**Universität Stuttgart**

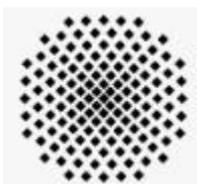
**Institut für Straßen- und Verkehrswesen**

**Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik**

**[www.isv.uni-stuttgart.de/vuv](http://www.isv.uni-stuttgart.de/vuv)**

# **Dimensionierung eines Richtungsbandes**

**September 2004**



**Universität Stuttgart  
Institut für Straßen- und Verkehrswesen  
Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik  
Prof. Dr.-Ing. Markus Friedrich**

**Inhalt**

<b>1</b>	<b>Betriebsformen im ÖPNV</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Dimensionierung eines Richtungsbandes</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Haltestellen eines Richtungsbandes</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Form eines Richtungsbandes</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Verfahren zur überschlägigen Bemessung</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>Genaue Berechnung der Kenngrößen</b>	<b>13</b>
<b>7</b>	<b>Literatur</b>	<b>15</b>

## 1 Betriebsformen im ÖPNV

In Erweiterung des Linienbetriebs existieren im straßengebundenen ÖV nach KIRCHHOFF [4] die vier in Bild 1 dargestellten Betriebsformen

- Linienbetrieb,
- Richtungsbandbetrieb,
- Flächenbetrieb und
- Tourenbetrieb.

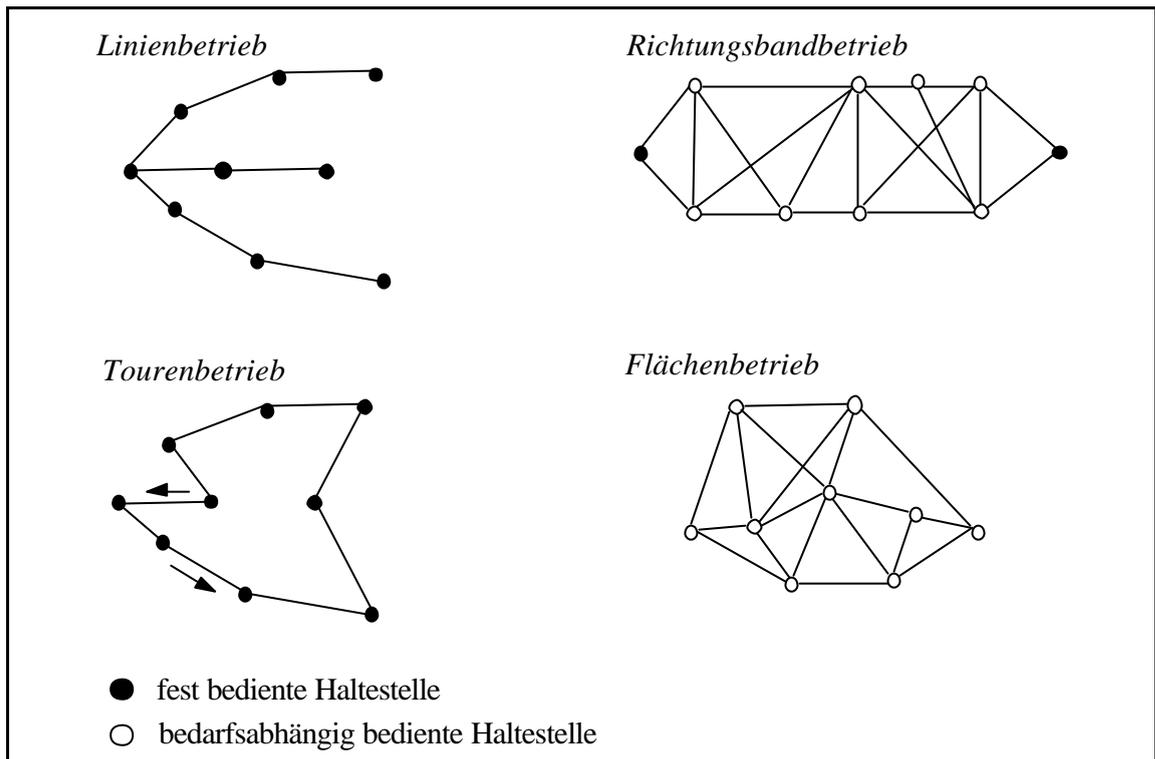


Bild 1: Betriebsformen nach KIRCHHOFF [4]

Für eine gebündelte Verkehrsnachfrage, wie sie entlang von Verkehrsachsen zwischen zentralen Orten auftritt, eignet sich der herkömmliche *Linienbetrieb*. Die Bedienung der Haltestellen erfolgt zu festen, im Fahrplan dokumentierten Abfahrtszeiten. Durch eine möglichst gestreckte Linienführung kann eine Minimierung der Fahrzeit erreicht werden.

In Räumen und Zeiten geringer Verkehrsnachfrage können die Haltestellen eines Korridors bzw. Sektors zu einer Bedienungseinheit zusammengefasst und im *Richtungsbandbetrieb* bedient werden. Das Richtungsband besteht aus fest bedienten Haltestellen in größeren Orten und aus Bedarfshaltestellen in kleineren Ortschaften, die nur bei entsprechender Nachfrage angefahren werden. Fahrgäste, die an einer Bedarfshaltestelle zusteigen wollen, müssen den Fahrtwunsch anmelden. Die Fahrzeuge des Richtungsbandes verkehren wie beim Linienbetrieb nach einem vorgegebenen Fahrplan, d.h. für jede Haltestelle sind die Abfahrtszeiten in einen Fahrplan festgelegt.

Infolge des nachfrageabhängigen Routenverlaufs schwanken die Abfahrtszeiten allerdings innerhalb bestimmter Bandbreiten. Für den Richtungsbandbetrieb gibt es die in der Bild 2 dargestellten unterschiedlichen Ausprägungen.

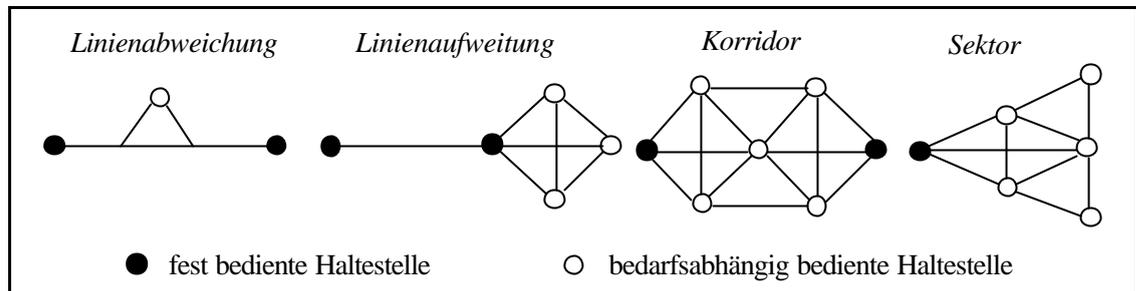


Bild 2: Ausprägungen des Richtungsbandbetriebes

Wenn die Verkehrsnachfrage gering ist und keine oder nur eine schwach ausgeprägte räumliche Struktur aufweist, kann die Bedienung im *Flächenbetrieb* erfolgen. Dabei bilden flächig über das Einsatzgebiet verteilte Haltestellen eine Bedienungseinheit. Eine feste Bedienungsreihenfolge wie beim Richtungsbandbetrieb gibt es nicht. Die Reihenfolge ist zufällig und richtet sich nach der räumlichen und zeitlichen Verteilung der Fahrtwünsche. Da die Verkehrsnachfrage fast immer auf einen zentralen Ort, einen Schulstandort oder einen Bahnhof gerichtet ist, kommt der Einsatz eines Flächenbetriebs nur in Ausnahmefällen in Frage.

## 2 Dimensionierung eines Richtungsbandes

Während beim Linienbetrieb alle im Fahrplan aufgeführten Haltestellen fest bedient werden, sieht der Richtungsbandbetrieb vor, dass es neben fest bedienten Haltestellen, z.B. der Anfangs- und der Endhaltestelle, Haltestellen gibt, die nur bei Bedarf angefahren werden. Das Auftreten eines Fahrtwunsches kann als Einzelereignis eines stochastischen Prozesses angesehen werden (GRESCHNER, [2]), so dass für jede Fahrt des Richtungsbandes die Fahrtroute, d.h. die Folge der angefahrenen Haltestellen, neu disponiert werden muss. Die Kenngrößen

- Fahrzeit,
- Fahrtweite,
- Umwegigkeit,
- Abfahrts- und Ankunftszeit an den Haltestellen

sind für ein Richtungsband dementsprechend innerhalb einer Bandbreite zufällig. Um ein Richtungsband entwerfen zu können, müssen die Häufigkeitsverteilungen dieser Kenngrößen ermittelt werden.

Die Kenngrößen des Richtungsbandes werden durch die Einflussgrößen

- Zahl der fest bedienten Haltestellen,
- Zahl der Bedarfshaltestellen,
- Bedienungshäufigkeit,
- räumliche Verteilung der Haltestellen,
- Verknüpfungsmöglichkeiten der Haltestellen durch das Straßennetz und
- Größe und Struktur der Verkehrsnachfrage,

bestimmt. Für die Dimensionierung eines Richtungsbandes sind das Straßennetz und die Verkehrsnachfrage vorgegeben. Da die Bedienungshäufigkeit i.d.R. durch vorge-schaltete Überlegungen für einen Takt ebenfalls eine feste Größe darstellt, wird bei der Dimensionierung vor allem über die Zahl und die Lage der Haltestellen entschieden, die ein Richtungsband erschließen kann.

Die wichtigste Kenngröße zur Beurteilung eines Richtungsbandes ist die Fahrzeit. Aus der Häufigkeitsverteilung der Fahrzeit und einer vorgegebenen Sicherheitswahrscheinlichkeit (z.B. 95%), mit der die dem Fahrplan zugrunde gelegten Fahrzeiten eingehalten werden sollen, ergibt sich die *Bemessungsfahrzeit* (Bild 3). Sie ist die Eingangsgröße für die Fahrplanbildung. Für die seltenen Fälle der Überschreitung der Bemessungsfahrzeit müssen Maßnahmen der Anschlusssicherung ergriffen werden. Die Bindung der Fahrzeit an Wahrscheinlichkeiten ist der Grund dafür, dass die Länge der Richtungsbander nicht zu groß sein darf.

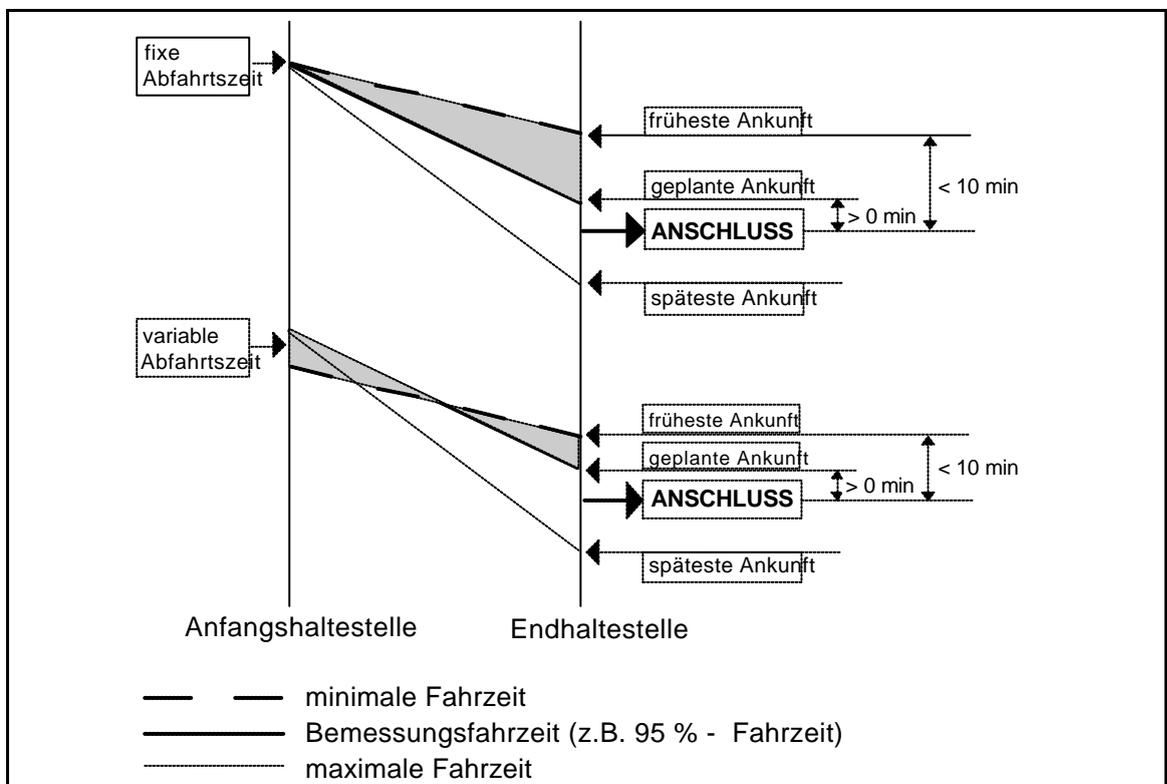


Bild 3: minimale Fahrzeit, Bemessungsfahrzeit und maximale Fahrzeit eines Richtungsbandes.

Beim Entwurf eines ÖPNV-Angebotes wird jede im Linienbetrieb betriebene Buslinie mit den rückgekoppelten Arbeitsschritten

- Festlegung der Linienführung,
- Berechnung der Kenngrößen der Linie,
- Erstellung eines Fahrplans,
- Fahrer- und Fahrzeugeinsatzplanung

entwickelt. Für die Dimensionierung eines Richtungsbandes müssen zusätzlich die Häufigkeitsverteilungen der Kenngrößen eines Richtungsbandes berechnet werden. Aus den Häufigkeitsverteilungen und der vorgegebenen Sicherheitswahrscheinlichkeit ergeben sich die *Bemessungskenngrößen*. Die Bemessungskenngrößen entsprechen den Kenngrößen einer Linie, so dass das Richtungsband bei der anschließenden Fahrplanbildung und bei der Wirkungsermittlung wie eine Linie behandelt werden kann. Es ergibt sich folgender Ablauf, der aus den Arbeitsschritten (Bild 4).

- Festlegung der räumlichen Ausprägung,
- Berechnung und Beurteilung der Häufigkeitsverteilungen für die Kenngrößen des Richtungsbandes,
- Festlegung der Bemessungskenngrößen für das Richtungsband,
- Erstellung eines Fahrplans mit Anschlüssen an den geplanten Umsteigehaltstellen,
- Fahrer- und Fahrzeugeinsatzplanung

besteht. Für die Fahrereinsatzplanung gibt es keine Hinweise darüber, ob bedarfsabhängige Standzeiten als Pause angerechnet werden dürfen.

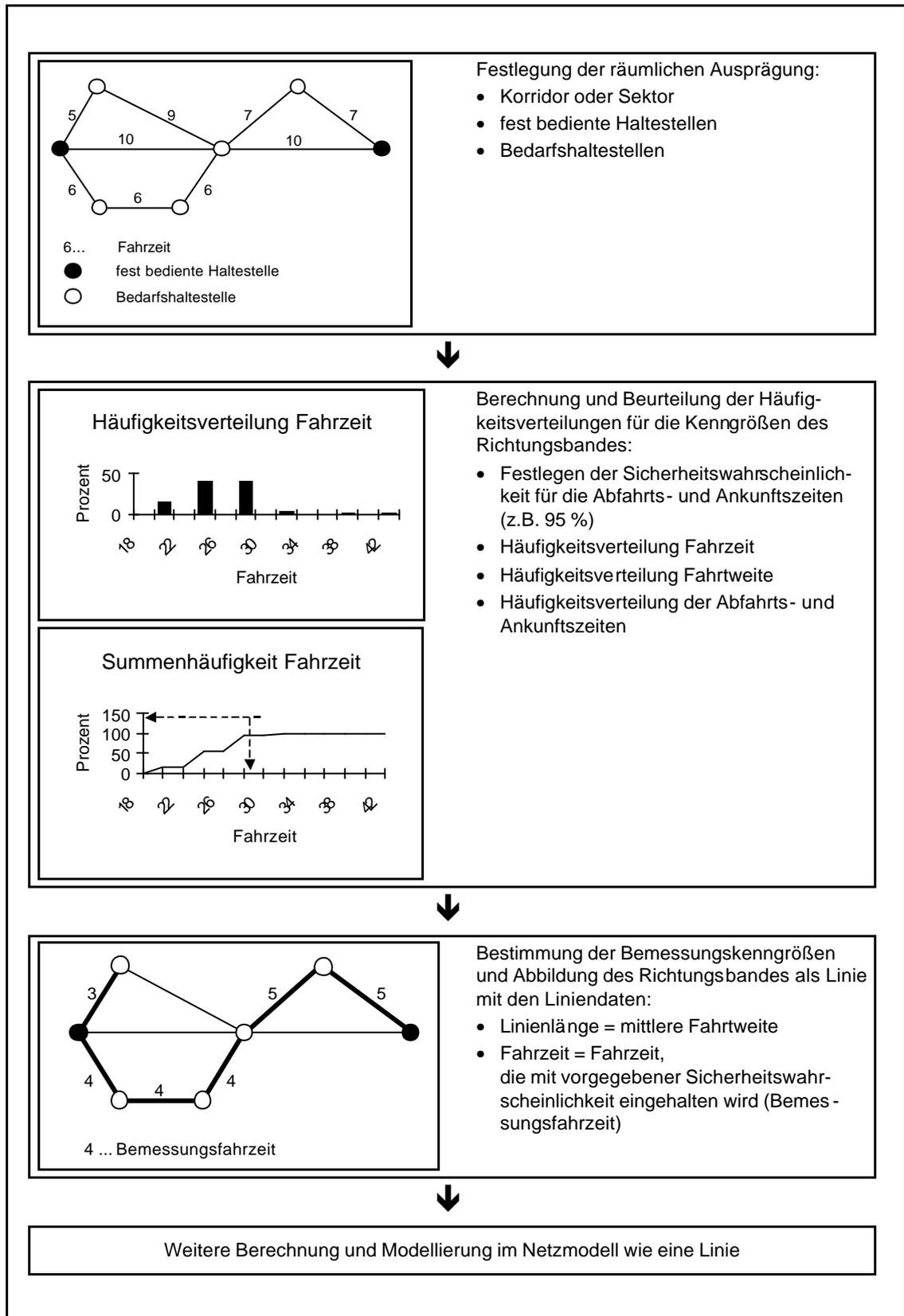


Bild 4: Entwurf eines Richtungsbandes.

### 3 Haltestellen eines Richtungsbandes

Bei den Haltestellen eines Richtungsbandes muss zwischen

- fest bedienten Haltestellen und
- Bedarfshaltestellen

unterschieden werden. Als Kriterium für die Klassifizierung einer Haltestelle dient die Anfahrwahrscheinlichkeit. Haltestellen mit einer hohen Anfahrwahrscheinlichkeit sollten zu fest bedienten Haltestellen erklärt werden, um die Disposition der Fahrzeuge zu erleichtern.

Um die Anfahrwahrscheinlichkeiten von Bedarfshaltestellen zu ermitteln, muss eine auf die Haltestellen des Richtungsbandes bezogene Matrix der Verkehrsnachfrage vorhanden sein. Diese Fahrtwunschmatrix beschreibt für ein gegebenes Zeitintervall die im Mittel zu erwartende Anzahl von Fahrtwünschen. Das Auftreten eines Fahrtwunsches  $F_{ij}$  zwischen einer Einstiegshaltestelle  $i$  und einer Ausstiegshaltestelle  $j$  ist ein seltenes Ereignis, so dass die Fahrtwünsche als Mittelwerte einer Poisson-Verteilung betrachtet werden können. Damit lässt sich die Wahrscheinlichkeit  $W_{ij}$  berechnen, mit der in dem Zeitintervall mindestens ein Fahrtwunsch von  $i$  nach  $j$  auftritt (GRESCHNER [2]):

$$W_{ij} = 1 - e^{-m}$$

mit

$W_{ij}$  Wahrscheinlichkeit für das Auftreten mindestens eines Fahrtwunsches von  $i$  nach  $j$  innerhalb eines Zeitintervalls.

$m$  mittlerer Erwartungswert für das Auftreten eines Fahrtwunsches  $F_{ij}$  von  $i$  nach  $j$  innerhalb eines Zeitintervalls.

Die Anfahrwahrscheinlichkeit  $A_i$  einer Haltestelle ist dementsprechend abhängig von der Zahl der Ein- und Aussteiger und der Bedienungshäufigkeit der Haltestelle. Unter der Annahme einer konstanten Ganglinie der Verkehrsnachfrage innerhalb des betrachteten Zeitintervalls und einer getakteten Bedienung ergibt sich folgende Formel für die Anfahrwahrscheinlichkeit  $A_i$ :

$$A_i = 1 - e^{-\frac{(EIN_i + AUS_i)}{B_i}}$$

mit

$A_i$  Anfahrwahrscheinlichkeit der Haltestelle  $i$  innerhalb eines Zeitintervalls.

$EIN_i$  mittlerer Erwartungswert für das Auftreten eines Fahrtwunsches, der an der Haltestelle  $i$  beginnt, d.h. einsteigt.

$AUS_i$  mittlerer Erwartungswert für das Auftreten eines Fahrtwunsches, der an der Haltestelle  $i$  endet, d.h. aussteigt.

$B_i$  Zahl der Bedienungen an der Haltestelle  $i$  innerhalb eines Zeitintervalls.

Wird bei der Berechnung der Anfahrwahrscheinlichkeit eines Korridor-Richtungsbandes nur eine Richtung betrachtet, gehen nur die Fahrtwünsche und die Bedienungshäufigkeit dieser Richtung ein. Bei einer innerhalb des betrachteten Zeitintervalls symmetrischen Fahrtwunschmatrix können die Berechnungen für beide Richtungen zusammengefasst werden. Als Bedienungshäufigkeit wird dann die Summe der Bedienungen beider Richtungen gesetzt. Bei sektoralen Richtungsbandern, bei denen Anfangs- und Endhaltestelle identisch sind, muss allerdings beachtet werden, dass es nur eine Richtung gibt (Bild 5).

Korridor-Richtungsband		Sektor-Richtungsband
Anfahrwahrscheinlichkeit Haltestelle j		Anfahrwahrscheinlichkeit Haltestelle j
Richtung 1:	Richtung 2:	
$A_j = 1 - e^{-\frac{1(1+1)}{2}}$	$A_j = 1 - e^{-\frac{-(2+1)}{2}}$	$A_j = 1 - e^{-\frac{-(3+2)}{2}}$
$A_j = 0.632$	$A_j = 0.777$	$A_j = 0.918$
Verkehrsnachfrage:		Bedienungshäufigkeit pro Richtung:
$F_{ij} = 1$	$F_{ji} = 2$	$B_j = 2$
$F_{jk} = 1$	$F_{kj} = 1$	
fest bediente Haltestelle	Bedarfshaltestelle	

Bild 5: Anfahrwahrscheinlichkeit einer Haltestelle für ein Korridor- und ein Sektor-Richtungsband bei gleicher Verkehrsnachfrage und gleicher Bedienungshäufigkeit.

Die in Bild 6 berechneten Anfahrwahrscheinlichkeiten zeigen den Zusammenhang zwischen der Anfahrwahrscheinlichkeit und der Zahl der Einwohner im Einzugsbereich einer Bedarfshaltestelle. Die Anfahrwahrscheinlichkeit sinkt mit steigender Bedienungshäufigkeit und abnehmender Einwohnerzahl. Die Zahl der Einwohner, die mit einer Bedarfshaltestelle erschlossen werden können, hängt vom einwohnerspezifischen Verkehrsaufkommen und der Bedienungshäufigkeit ab. Das Berechnungsbeispiel geht von einer konstanten und symmetrischen Verkehrsnachfrage innerhalb des betrachteten Zeitraumes aus, d.h. jeder Einsteiger (erzeugte Personenfahrt) be-

lastet die Bedarfshaltestelle auf dem Rückweg als Aussteiger (angezogene Personenfahrt). Außerdem wird angenommen, dass für alle Fahrwünsche entweder die Einstiegshaltestelle oder die Ausstiegshaltestelle fest bedient wird, d.h. es wird eine strukturierte Verkehrsnachfrage z.B. zu einem zentralen Ort unterstellt. Bei einem Verkehrsaufkommen von 0,05 (0,10) erzeugten Fahrten in der Normalverkehrszeit (8 Uhr bis 16 Uhr) und einer Anfahrscheinlichkeit von 70 % können dann mit einem 120-Minutentakt (= 4 Bedienungen) Orte mit 50 (100) Einwohnern durch Bedarfshaltestellen erschlossen werden. Das Verkehrsaufkommen von 0,05 bis 0,10 erzeugten Fahrten pro Einwohner liegt dabei im Bereich der Werte, die SCHUSTER [5] für den Einkaufs- und Erledigungsverkehr aus verschiedenen Untersuchungen zusammengetragen hat. Haltestellen mit einer Anfahrscheinlichkeit von mehr als 70 % bis 80 % sollten als fest bediente Haltestellen geplant werden.

Einwohner Ew im Einzugsbereich der Haltestelle		erzeugte Fahrten	angezogene Fahrten	Belastung der Haltestelle	Anfahrscheinlichkeit		
erzeugte Fahrten pro Ew 0,10 Fahrten	0,05 Fahrten				Bedienungshäufigkeit / Richtung		
					4	8	16
10 Ew	20 Ew	1	1	2	0.221	0.118	0.061
20 Ew	40 Ew	2	2	4	0.393	0.221	0.118
30 Ew	60 Ew	3	3	6	0.528	0.313	0.171
40 Ew	80 Ew	4	4	8	0.632	0.393	0.221
50 Ew	100 Ew	5	5	10	0.713	0.465	0.268
60 Ew	120 Ew	6	6	12	0.777	0.528	0.313
70 Ew	140 Ew	7	7	14	0.826	0.583	0.354
80 Ew	160 Ew	8	8	16	0.865	0.632	0.393
90 Ew	180 Ew	9	9	18	0.895	0.675	0.430
100 Ew	200 Ew	10	10	20	0.918	0.713	0.465

Bild 6: Einwohnereinzugsbereich einer Bedarfshaltestelle in Abhängigkeit von der Bedienungshäufigkeit und dem Verkehrsaufkommen für einen Zeitraum.

Die stärkere Verkehrsnachfrage im Berufs- und Schülerverkehr kann durch eine höhere Bedienungshäufigkeit ausgeglichen werden. Sinnvoller ist es jedoch, in der Hauptverkehrszeit mehr Haltestellen fest zu bedienen.

## 4 Form eines Richtungsbandes

Die Kenngrößen des Richtungsbandes werden nicht nur durch die Bedienungshäufigkeit und die Verkehrsnachfrage beeinflusst, sondern auch durch die Form, d.h. durch die Lage der Haltestellen im Raum und durch die Verknüpfungsmöglichkeiten, die vom Straßennetz vorgegeben sind. Jede nachgefragte Haltestelle, die nicht auf dem direkten Weg von der Anfangshaltestelle zur Endhaltestelle liegt, verlängert die Fahrzeit. Bei  $n$  Bedarfshaltestellen gibt es  $2^n$  Haltestellenkombinationen, die für eine Fahrt des Richtungsbandes nachgefragt werden können. Für jede Haltestellenkombination  $K$  gibt es eine optimale Route, die die nachgefragten Haltestellen auf dem kürzesten Weg in der Fahrzeit  $T(K)$  bedient. Die Wahrscheinlichkeit  $P(K)$  für das Auftreten einer Haltestellenkombination  $K$  beträgt:

$$P(K) = \prod_{i \in H} A_i \cdot \prod_{j \notin H} (1 - A_j)$$

mit

$H$  Menge der nachgefragten Bedarfshaltestellen

$i, j$  Indizes der Bedarfshaltestellen

In dieser Formel beschreibt  $A_i$  die Anfahrwahrscheinlichkeit der Haltestellen, die in der betrachteten Haltestellenkombination enthalten sind.  $1 - A_j$  drückt die Wahrscheinlichkeit aus, dass eine Haltestelle nicht angefahren werden muss, d.h. nicht in der Haltestellenkombination enthalten ist. Aus der Häufigkeitsverteilung der Fahrzeit, die sich aus der nicht stetigen Funktion  $T(K)$  ergibt, leitet sich dann die Bemessungsfahrzeit ab. Für jede Route einer Haltestellenkombination können außerdem die Länge der Route und die Ankunftszeiten an den Haltestellen bestimmt werden. Um ein Richtungsband genau zu bemessen, müssen die Kenngrößen der Route jeder Haltestellenkombination ermittelt werden.

Da die Zahl der zu untersuchenden Haltestellenkombinationen mit jeder zusätzlichen Bedarfshaltestelle exponentiell wächst, wird die genaue Kenngrößenberechnung selbst bei Rechneinsatz schnell sehr aufwendig. Es ergeben sich Rechenzeiten, die für einen interaktiven Entwurf zu lang sind. Aus diesem Grund wird im folgenden ein überschlägiges Verfahren zur Abschätzung der Bemessungsgeschwindigkeit eines Richtungsbandes vorgeschlagen. Das überschlägige Verfahren eignet sich vor allem für den Entwurfsprozess, wenn unterschiedliche Formen eines Richtungsbandes getestet werden sollen und die Kenntnis der Bemessungsgeschwindigkeit ausreicht. Nach Abschluss des Entwurfs sollte das genaue Verfahren einmal angewendet werden, um alle Kenngrößen des Richtungsbandes exakt zu ermitteln.

## 5 Verfahren zur überschlägigen Bemessung

Das Verfahren zur überschlägigen Bemessung eines Richtungsbandes beruht auf drei Annahmen:

1. Die Anfahrwahrscheinlichkeit ist für alle Bedarfshaltestellen in etwa gleich groß.
2. Die Fahrzeit von der Anfangs- zur Endhaltestelle ist für jede Haltestellenkombination annähernd gleich, wenn die Zahl der nachgefragten Haltestellen gleich ist.
3. Die Fahrzeit  $T$  einer Haltestellenkombination kann in Abhängigkeit von der Zahl der nachgefragten Haltestellen  $h$  durch die lineare Interpolation zwischen der minimalen und der maximalen Fahrzeit ermittelt werden:

$$T(h) = \min T + (\max T - \min T) \cdot \frac{h}{n}$$

mit

$\min T$  Fahrzeit auf dem direkten Weg von der Anfangs- zur Endhaltestelle

$\max T$  Fahrzeit auf dem Weg, der alle Haltestellen bedient

$n$  Zahl der Bedarfshaltestellen

$h$  Zahl der nachgefragten Bedarfshaltestellen

Mit diesen Annahmen ist eine Abschätzung der Bemessungsfahrzeit möglich. Als Eingangsdaten müssen bekannt sein:

- der Untersuchungszeitraum.
- die fest bedienten Haltestellen und die Bedarfshaltestellen.
- die Bedienungshäufigkeit im Untersuchungszeitraum.
- die haltestellenbezogene Verkehrsnachfrage bzw. die Zahl der Ein- und Aussteiger pro Haltestelle im Untersuchungszeitraum.
- die Fahrzeit auf dem kürzesten Weg von der Anfangshaltestelle zur Endhaltestelle. Der kürzeste Weg muss alle fest bedienten Haltestellen umfassen.
- die Fahrzeit auf dem längsten Weg von der Anfangshaltestelle zur Endhaltestelle, der alle Haltestellen erfasst.

Mit diesen Eingangsdaten ergibt sich folgender Ablauf zur Abschätzung der Bemessungsfahrzeit:

1. Berechne die mittlere Zahl der Ein- und Aussteiger aller  $n$  Bedarfshaltestellen.

$$\overline{EIN + AUS} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (EIN_i + AUS_i)$$

2. Berechne die mittlere Anfahrwahrscheinlichkeit aller  $n$  Bedarfshaltestellen.

$$\bar{A} = 1 - e^{-\frac{\overline{EIN+AUS}}{B}}$$

3. Ermittle die Fahrzeiten für 1 bis n nachgefragte Haltestellen durch lineare Interpolation zwischen der minimalen und der maximalen Fahrzeit.

$$T(h) = \min T + (\max T - \min T) \cdot \frac{h}{n}, \quad \text{für } h = 1, n$$

4. Ermittle die Häufigkeitsverteilung der Fahrzeit. Dazu muss für alle h von 1 bis n die Größe  $P(h)$  berechnet werden, die die Wahrscheinlichkeit angibt, dass von n vorhandenen Bedarfshaltestellen mit gleicher Anfahrwahrscheinlichkeit A genau h Haltestellen angefahren werden müssen.

$$P(h) = \left[ \bar{A}^h \cdot (1 - \bar{A})^{(n-h)} \right] \binom{n}{h}, \quad \text{für } h = 1, n$$

5. Erstelle den Verlauf der Summenhäufigkeit und lese den Wert der Bemessungsfahrzeit ab. Die Bemessungsfahrzeit ist die Fahrzeit, die eine vorgegebene Sicherheitswahrscheinlichkeit einhält.

Eine Bedarfshaltestelle, deren Anfahrwahrscheinlichkeit deutlich über der mittleren Anfahrwahrscheinlichkeit liegt, sollte bei diesem Verfahren in den kürzesten Weg integriert und damit als fest bediente Haltestelle angenommen werden.

## 6 Genauere Berechnung der Kenngrößen

Folgender Ablauf (vgl. HAMBURG-CONSULT et al., [3]) erlaubt die exakte Berechnung der wahrscheinlichkeitsbehafteten Kenngrößen des Richtungsbandes, der i.d.R. nur mit EDV-Einsatz durchführbar ist:

- Die Haltestellen des Richtungsbandes werden festgelegt.
- Das relevante Straßennetz zwischen den Haltestellen wird eingegeben.
- Erzeugung aller Verbindungsrouten von der Anfangs- zur Endhaltestelle und Ablage im Routenspeicher. Die Zahl der Verbindungsrouten hängt vom Straßennetz, seinem Verknüpfungsgrad und der Haltestellenzahl ab. Sie liegt i.d.R. deutlich unter der Zahl der  $2^n$  Haltestellenkombinationen.
- Vorgabe einer haltestellenbezogenen Fahrtwunschmatrix.
- Festlegung der Bedienungshäufigkeit.
- Aus den im Mittel zu erwartenden Ein- und Aussteigern einer Haltestelle wird unter Annahme einer Poisson-Verteilung die Anfahrwahrscheinlichkeit jeder Bedarfshaltestelle berechnet.
- Für alle  $2^n$  Haltestellenkombinationen werden die Kenngrößen berechnet und gewichtet aufsummiert. Dazu sind folgende Schritte notwendig:
  - Die Auftretenswahrscheinlichkeit einer Haltestellenkombination wird berechnet.

- Für die betrachtete Haltestellenkombination wird eine Route aus dem Routenspeicher ausgewählt. Auswahlkriterium ist dabei die kürzeste Gesamtfahrzeit.
- Die Kennwerte der gewählten Route werden nun mit der Auftretenswahrscheinlichkeit der Haltestellenkombination gewichtet und aufsummiert.

Nach Abarbeitung aller Haltestellenkombinationen erhält man die Kennwerte des Richtungsbandes als Häufigkeitsverteilungen der Kenngrößen Fahrzeit, Fahrtweite, haltestellenbezogene Abfahrts- und Ankunftszeit.

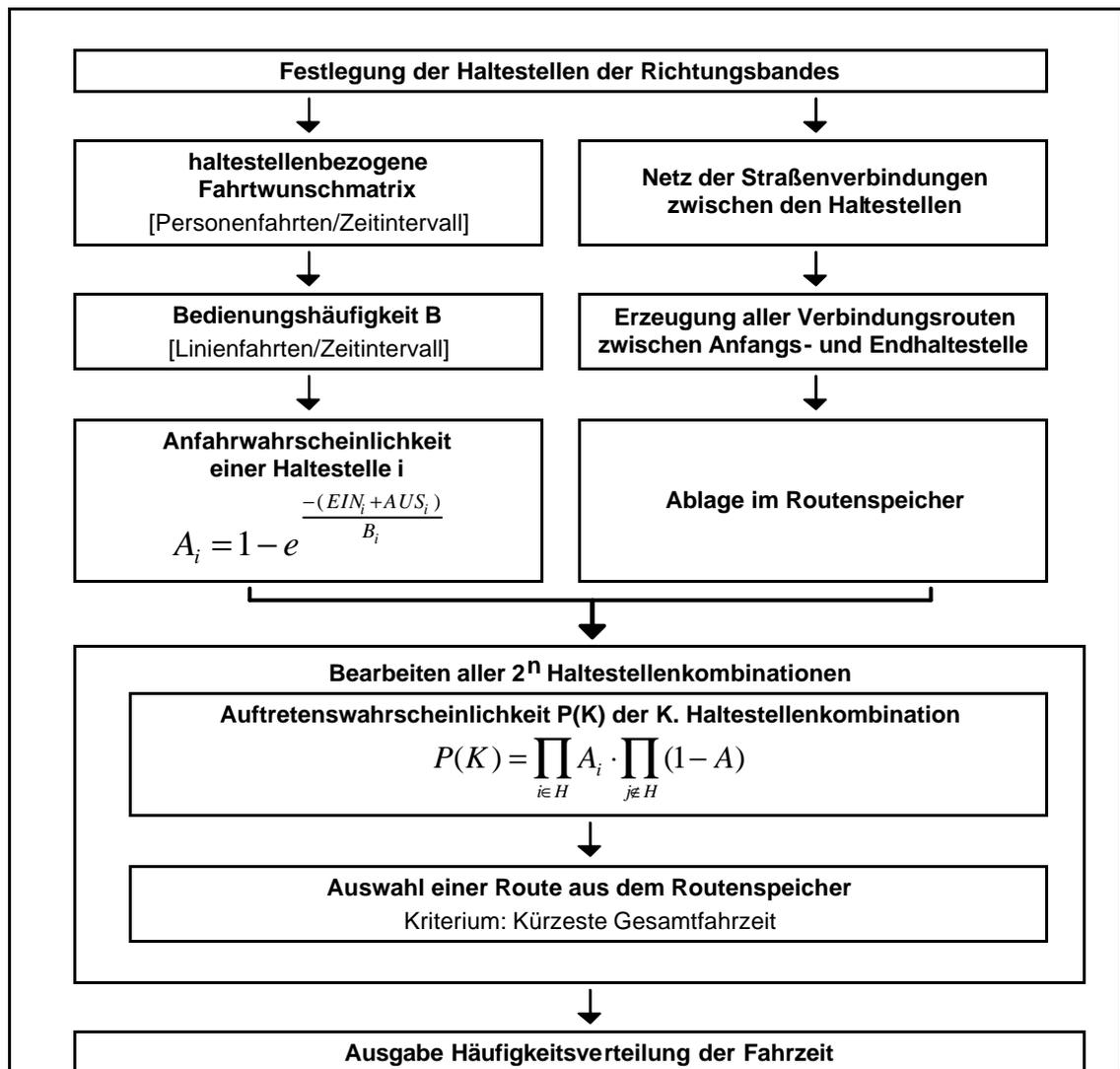


Bild 7: Ermittlung der Bemessungsfahrzeit bzw. der Häufigkeitsverteilung der Fahrzeiten bei einem Richtungsband

Da die Zahl der Haltestellenkombinationen mit jeder zusätzlichen Bedarfshaltestelle exponentiell wächst, sind die Einsatzmöglichkeiten dieses Verfahrens begrenzt. Die Grenze liegt bei etwa 20 Bedarfshaltestellen. Nachdem die Fahrzeitschwankungen eines Richtungsbandes, die mit jeder weiteren Bedarfshaltestelle zunehmen, begrenzt werden müssen, stellt diese Grenze jedoch für die Planungspraxis keine Einschränkung dar. Die Zahl der fest bedienten Haltestellen muss nicht beschränkt werden.

## 7 Literatur

- [1] Friedrich, M.:  
Rechnergestütztes Entwurfsverfahren für den ÖPNV im ländlichen Raum.  
Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrs- und Stadtplanung, Heft 5, Technische  
Universität München, 1994.
- [2] Greschner G.:  
Bedarfsgesteuerte Bussysteme, Innovative Informatikanwendungen in  
Transport-, Verkehrs- und Leitsystemen GmbH (INIT), Schriftenreihe, Heft 1,  
Karlsruhe, 1984.
- [3] Hamburg-Consult, IAGB, Dornier, MBB, IKA, ITV:  
Grundlagenuntersuchung zu flexiblen Betriebsweisen von Bussystemen,  
Hamburg, 1981.
- [4] Kirchhoff, P.,  
Verbesserung des ÖPNV im ländlichen Raum durch planerische und technische  
Maßnahmen, Der Nahverkehr, Heft 6, 1987.
- [5] Schuster, B.:  
Flexible Betriebsweisen des ÖPNV im ländlichen Raum, Schriftenreihe des  
Lehrstuhls für Verkehrs- und Stadtplanung, Heft 2, Technische Universität  
München, 1992.