

## Zum Ausnutzungsgrad im öffentlichen Personennahverkehr

VON DIPL.-MATH. SÖNKE PETERS, HAMBURG

## I. Der Ausnutzungsgrad in herkömmlicher Sicht

In der Literatur zur Verkehrsbetriebslehre wird zur Kontrolle einer erfolgreichen Anpassung des Verkehrsbetriebes an die ihm gegenüberstehende Nachfrage nach Verkehrsleistungen im allgemeinen die Kenngröße »Ausnutzungsgrad« verwendet.<sup>1)</sup> Der Ausnutzungsgrad wird allgemein als das Verhältnis Marktleistungen zu Betriebsleistungen definiert, wobei der Ermittlung beider Größen eine gemeinsame Bezugsgröße zugrunde zu legen ist. Ohne auf die Problematik einer Übertragung der von *Alfred Walther* stammenden Begriffe Betriebsleistung und Marktleistung auf die Verkehrsbetriebslehre einzugehen,<sup>2)</sup> kann der Ausnutzungsgrad in diesem Sinne als das Verhältnis der Menge der erstellten zur Menge derjenigen Verkehrsleistungen bezeichnet werden, die zu erstellen der Betrieb angeboten hat. Im Bereich des Personenverkehrs werden für diese beiden Maßgrößen üblicherweise die Größen Personenkilometer und Platzkilometer mit der Begründung verwendet, daß hier die Beförderung gleichartiger Objekte vorliege.<sup>3)</sup> Zumeist wird eine periodenbezogene Ermittlung des Ausnutzungsgrades vorgenommen. Die zu berücksichtigenden Platzkilometer ergeben sich dann als die Summe von statischer Kapazität mal gefahrener Kilometer für alle eingesetzten Verkehrsmittel, die entsprechenden Personenkilometer als die Summe der Beförderungsstrecken aller beförderten Personen in der betreffenden Periode.

Gegen den so definierten Ausnutzungsgrad sind aus zwei Gründen Einwände vorzubringen, die seine Verwendbarkeit als Kontrollinstrument im öffentlichen Personennahverkehr zweifelhaft erscheinen lassen:

1. Die zur rechnerischen Ermittlung des Ausnutzungsgrades notwendigen Maßgrößen sind kaum zu ermitteln. Während sich für eine gegebene Periode die zu berücksichtigenden Platzkilometer in aller Regel zwar noch ohne besondere Mühe aus dem Plan des Fahrzeugeinsatzes bestimmen lassen, mangelt es für die Zahl der Personenkilometer an einer entsprechenden Möglichkeit. Von jedem Fahrgast die gewünschte Beförderungsstrecke zu erfragen, würde zu einem nicht vertretbaren Aufwand der Kontrolle führen. In Anbetracht dieser Schwierigkeit wurde ein Verfahren entwickelt, das die Errechnung der Personenkilometer über andere Größen gestattet. Diese Größen sind Anzahl der Beförderungsfälle und mittlere Beförderungsweite, deren multiplikative Verknüpfung die Personenkilometer liefert.<sup>4)</sup> Bei diesem Vorgehen wird mit Größen gearbeitet, deren praktische Ermittlung möglich ist. Die Zahl der Beförderungsfälle läßt sich durch Ver-

<sup>1)</sup> Vgl. z. B. *Pirath, C.*, Die Grundlagen der Verkehrswirtschaft, 2. Aufl., Berlin-Göttingen-Heidelberg 1949, S. 186 f.; *Illetschko, L. L.*, Transport-Betriebswirtschaftslehre, 2. Aufl., Wien-New York 1966, S. 70 ff.; *Lechner, K.*, Verkehrsbetriebslehre, Stuttgart 1963, S. 37 ff.

<sup>2)</sup> Vgl. *Diederich, H.*, Zur Theorie des Verkehrsbetriebes, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 36. Jg. (1966), 1. Ergänzungsheft, S. 46.

<sup>3)</sup> Vgl. *Illetschko, L. L.*, Transport-Betriebswirtschaftslehre, a.a.O., S. 71.

<sup>4)</sup> Vgl. *Mroß, M.*, Kosten- und Erfolgsplanung der öffentlichen Verkehrsbetriebe, Hamburg-Stellingen 1956, S. 30.

kehrszählungen ermitteln. Die mittlere Beförderungswerte wird im allgemeinen mit Hilfe einer Stichprobenuntersuchung bestimmt. Es muß aber gefragt werden, welche Genauigkeit die statistische Größe mittlere Beförderungswerte (und damit auch die mit ihrer Hilfe errechnete Zahl der Personenkilometer) aufweisen kann. Die mangelnde Genauigkeit des Verfahrens ist erkannt und diskutiert worden und hat zu weiteren Vorschlägen zur Bestimmung des Ausnutzungsgrades geführt.<sup>5)</sup>

2. Ein besonderes Merkmal des öffentlichen Personennahverkehrs ist in der starken Unpaarigkeit der Verkehrsströme zu sehen. Dies führt dazu, daß zu bestimmten Zeiten (zum Beispiel im Berufsverkehr) die eingesetzten Verkehrsmittel in einer Verkehrsrichtung voll ausgelastet fahren, während in der Gegenrichtung fast keine Verkehrsleistungen erstellt werden. Wollte man hier den herkömmlich ermittelten Ausnutzungsgrad als Kontrollinstrument verwenden, so würden sich Schwierigkeiten ergeben. Wenn nämlich in einer Verkehrsrichtung Vollaustattung vorliegt, in der entsprechenden Gegenrichtung jedoch ausschließlich Leerfahrten durchgeführt werden, so errechnet sich ein Ausnutzungsgrad von 50%. Eine allein auf dieser Kenngröße aufbauende betriebpolitische Entscheidung würde zu einer Reduktion des Verkehrsleistungsangebotes auf die Hälfte führen müssen. Die Konsequenz dieser Entscheidung wäre aber nicht ein Ausnutzungsgrad von 100%, sondern wiederum nur ein Ausnutzungsgrad von 50%, und zusätzlich die Tatsache, daß in der verkehrsstarken Richtung nicht alle Beförderung nachfragenden Personen befriedigt werden könnten.

Beide Ansatzpunkte der Kritik am herkömmlichen Ausnutzungsgrad werden im allgemeinen gesehen und berücksichtigt. Beispielsweise läßt die Tatsache, daß man sich in Betrieben des öffentlichen Personennahverkehrs mit einem relativ geringen Ausnutzungsgrad zufrieden gibt, den Schluß zu, daß insbesondere der zweite Punkt der Kritik anerkannt wird. Unter diesen Umständen entsteht allerdings die Frage, warum der oben angegebene Ausnutzungsgrad weiterhin verwendet wird, um die Wirtschaftlichkeit des Fahrzeugeinsatzes zu kontrollieren,<sup>6)</sup> und nicht ein Ausnutzungsgrad definiert wird, der den gemachten Einwendungen Rechnung trägt. Ein Vorschlag in dieser Richtung wird im folgenden unterbreitet.

## II. Die Planung des Fahrzeugeinsatzes

Die Planung des Fahrzeugeinsatzes in Linienverkehrsbetrieben besteht in der Festlegung des Angebotes an Leistungserstellungsmöglichkeiten für eine Zeitperiode in allen seinen Merkmalen. In dieser Arbeit sollen nur zwei der Merkmale betrachtet werden, nämlich die Zugfolge, d. h. der zeitliche Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Verkehrsmitteln, und die Kapazität der eingesetzten Verkehrsmittel. Dabei wird unter Kapazität das maximale Fassungsvermögen eines Fahrzeuges verstanden, im Personenverkehr also die Maximalzahl von Personen, die gleichzeitig im Fahrzeug befördert werden können. Nicht betrachtet wird hier die Bestimmung der einzelnen Abfahrtszeitpunkte an den verschiedenen Stationen und damit die Festlegung der Fahr-, Halte- und Wartezeiten.

<sup>5)</sup> Vgl. z. B. *Fiedler, J.*, Einfache Methode zur Bestimmung der Platzausnutzung als Grundlage für eine wirtschaftliche Fahrplangestaltung, in: *Stadtverkehr*, 10. Jg. (1965), S. 186 ff.

<sup>6)</sup> Vgl. *Mroß, M.*, Die Linienleistungs- und erfolgsrechnung der öffentlichen Verkehrsbetriebe mit einem Anhang über Verkehrszählungen, Hamburg-Stellingen 1951, S. 24.

Die Betrachtung der Fahrzeugkapazität bei der Planung des Fahrzeugeinsatzes ist bei einem gegebenen Fahrzeugbestand nur dann von Bedeutung, wenn diese Kapazität variabel, also die Möglichkeit der Zugbildung gegeben ist. In diesen Fällen ist nämlich eine simultane Festlegung von Zugfolge und einzusetzender Kapazität erforderlich, während sich bei Fehlen der Möglichkeit von Zugbildung die Aufgabe der Planung des Fahrzeugeinsatzes auf die alleinige Festlegung der Zugfolge reduziert.

Die Betriebe des öffentlichen Personennahverkehrs sind aufgrund rechtlicher Vorschriften bei der Planung des Fahrzeugeinsatzes in ihrer Entscheidungsfreiheit eingeengt. Insbesondere die Betriebs- und die Beförderungspflicht verlangen ein Angebot zu erstellen der Verkehrsleistungen, das ausreicht, die auftretenden Verkehrsbedürfnisse zu befriedigen. Daher kann die Aufgabe der Planung des Fahrzeugeinsatzes im öffentlichen Personennahverkehr auch in der Bestimmung des gerade noch zur Befriedigung der Verkehrsbedürfnisse ausreichenden Angebotes gesehen werden. Daß dieses minimale Angebot an Leistungserstellungsmöglichkeiten zu bestimmen ist, kann mit Hilfe des ökonomischen Prinzips begründet werden: Es soll ein gegebener Zweck (hier die Befriedigung der Verkehrsbedürfnisse) mit dem geringsten Mitteleinsatz (hier dem Angebot an Leistungserstellungsmöglichkeiten) erreicht werden.

Das Vorgehen zur Lösung der genannten Aufgabe wird an einem Sonderfall des öffentlichen Personennahverkehrs erläutert. Es handelt sich um den Verkehr einer Linie mit zwei Endpunkten und einer endlichen Anzahl von Zwischenstationen, der in beiden Richtungen mit Fahrzeugen betrieben wird, die eine Zugbildung nicht zulassen. Außerdem wird angenommen, daß die eingesetzten Fahrzeuge alle über dieselbe Kapazität verfügen. In diesem Falle gilt es also, lediglich die Zugfolge für eine Zeitperiode festzulegen. Bezüglich dieser Zeitperiode wird unterstellt, daß sie so klein gewählt ist, daß in ihr die Intensität der Nachfrage als Ausdruck der auftretenden Verkehrsbedürfnisse in jeder Verkehrsrichtung und an jeder Station konstant ist.

Das gesuchte minimale Angebot an Leistungserstellungsmöglichkeiten für diese Zeitperiode wird dann durch diejenige Zugfolge bestimmt, die gerade noch die Befriedigung der Nachfrage an allen Stationen der Linie ermöglicht. Da es sich bei der Nachfrage nach Beförderung quantitativ betrachtet an jeder Station um eine zufällige Variable handelt, die von Abfahrt zu Abfahrt unterschiedliche Werte annehmen kann, ist es unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht möglich, eine realisierbare Zugfolge anzugeben, die mit Sicherheit die Befriedigung jeder auftretenden Nachfragemenge ermöglicht. Es kann nur eine solche Zugfolge bestimmt werden, die diese Befriedigung mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit verspricht. Wird für diese Wahrscheinlichkeit beispielsweise ein Wert von 0,95 gewählt, so dürfte das eine Größe sein, die sich mit der Betriebs- und der Beförderungspflicht vereinbaren läßt.

Zur tatsächlichen Bestimmung der Zugfolge bietet sich die Verwendung eines mathematischen Modells an. Es bezeichnen  $i$  und  $j$  ( $i, j = 1, \dots, n$ ) die Stationen der betrachteten Linie,  $\lambda_i$  stelle die Nachfrageintensität an der Station  $i$  während der zugrundegelegten Zeitperiode dar und  $b_{ij}$  sei die Wahrscheinlichkeit, daß zu einer an der Abfahrtsstation  $i$  nachgefragten Verkehrsleistung die Zielstation  $j$  gehört. Weiter sei  $K$  die tatsächliche Kapazität der eingesetzten Fahrzeuge und  $K'$  die zu  $K$  gehörige fiktive Kapazität, die die Notwendigkeit der Befriedigung der Nachfrage auch bei Zufallsschwankungen nach oben mit der vorgegebenen Sicherheitswahrscheinlichkeit berücksichtigt. Die fiktive Kapazität  $K'$  wird verwendet, um Nachfrageschwankungen nach oben mit dem zu bestimmen-

den Angebot an Leistungserstellungsmöglichkeiten befriedigen zu können, und daher muß gelten:  $K' \leq K$ .

Dann lautet die Gleichung zur Bestimmung der Zugfolge, die für die Verkehrsrichtung von 1 nach n mit dem Symbol  $d_{1n}$  bezeichnet wird,

$$d_{1n} = \frac{K'}{\max_{1 \leq k \leq n-1} \left( \sum_{i=1}^k \sum_{j=k+1}^n \lambda_i b_{ij} \right)}$$

Zur Ableitung dieser Bestimmungsgleichung wurde eine erwartete Nachfrage an der Station  $i$  in der Verkehrsrichtung von 1 nach n in Höhe von  $\lambda_i \cdot d_{1n}$  bei einer Zugfolge von  $d_{1n}$  unterstellt.

Ebenso wie die Zugfolge  $d_{1n}$  für die Verkehrsrichtung von 1 nach n läßt sich mit Hilfe der angegebenen Formel auch die Zugfolge  $d_{n1}$  für die Gegenrichtung von n nach 1 bestimmen. Wenn angenommen wird, daß die Zugfolgen  $d_{1n}$  und  $d_{n1}$  gleich sein sollen, also in beiden Verkehrsrichtungen in derselben Fahrplandichte gefahren wird, dann muß die endgültige Zugfolge  $d$  für die Linie als die kleinere der beiden Richtungszugfolgen bestimmt werden, wenn die Befriedigung der Nachfrage an allen Stationen gewährleistet bleiben soll. Es ergibt sich damit formal für die Zugfolge  $d$

$$d = \min (d_{1n}, d_{n1}).$$

### III. Die Kontrolle des Fahrzeugeinsatzes

#### 1. Vorbemerkungen

Wenn nach dem angegebenen Verfahren der Fahrzeugeinsatz für eine bestimmte Zeitperiode geplant worden ist, dann ist mit der Planungsentscheidung ein Sollwert gesetzt worden. In einem oder mehreren sich anschließenden Realisationsprozessen gilt es, diesen Sollwert zu erreichen. Das Ergebnis eines Realisationsprozesses wird im Gegensatz zum Sollwert als dem gedachten Ergebnis in einer Entscheidung als Istwert bezeichnet. Der Prozeß des Vergleichens von Istwerten mit den ihnen entsprechenden Sollwerten und der Analyse möglicher festgestellter Abweichungen wird Kontrolle genannt. Es ist zu fragen, wie eine Kontrolle des Fahrzeugeinsatzes im öffentlichen Personennahverkehr zu erfolgen hat.

Oberstes Ziel bei der Planung des Fahrzeugeinsatzes im öffentlichen Personennahverkehr ist die Befriedigung der auftretenden Nachfrage nach Verkehrsleistungen. Auswahlkriterium bei Vorliegen alternativer Möglichkeiten zur Erreichung dieses Zieles ist das Prinzip der Wirtschaftlichkeit, das – wie dargestellt wurde – im minimalen Leistungsangebot gegenüber einer bestimmten Nachfrage verkörpert gesehen werden kann. Mit Leistungsangebot wird hier in einer etwas unscharfen Ausdrucksweise das Angebot an Leistungserstellungsmöglichkeiten bezeichnet, womit nicht die Tatsache ignoriert werden soll, daß ein Verkehrsbetrieb keine Leistungen, sondern nur Leistungsversprechen anbieten kann. Entsprechend den beiden Zielsetzungen bei der Planung des Fahrzeugeinsatzes ergeben sich zwei Sollwerte der Entscheidung: die Befriedigung der auftretenden Nachfrage und das wirtschaftlichste (minimale) Leistungsangebot, die beide Gegenstand von

Kontrollen sein können. An dieser Stelle wird deutlich, daß, wenn von der Kontrolle des Fahrzeugeinsatzes gesprochen wird, damit nicht die Prüfung gemeint ist, ob die Fahrzeuge tatsächlich nach dem aufgestellten Plan des Fahrzeugeinsatzes eingesetzt worden sind.

Im weiteren Verlauf der Untersuchung soll stets von der Annahme ausgegangen werden, daß jede Entscheidung über den Fahrzeugeinsatz der obersten Zielsetzung gerecht wird. Diese Annahme bedeutet, daß in jedem Falle im Rahmen der vorgegebenen Sicherheitswahrscheinlichkeit die dem Verkehrsbetrieb gegenüber auftretende Nachfrage mit Hilfe des geplanten Fahrzeugeinsatzes befriedigt werden kann. Damit verbleibt als Gegenstand der Kontrolle im Bereich des Fahrzeugeinsatzes im öffentlichen Personennahverkehr lediglich die Wirtschaftlichkeit des Fahrzeugeinsatzes. Um diese Kontrolle rational durchführen zu können, ist es notwendig, über ein Instrument zu verfügen, das den Grad der Wirtschaftlichkeit des Fahrzeugeinsatzes sichtbar werden läßt. Ein solches Instrument wird durch den Ausnutzungsgrad gegeben.

## 2. Der Ausnutzungsgrad als Instrument zur Kontrolle der Wirtschaftlichkeit des Fahrzeugeinsatzes

In dem jetzt zu entwickelnden Konzept des Ausnutzungsgrades wird sich der erste Punkt der oben genannten beiden Punkte der Kritik nicht vollständig beseitigen lassen. Es wird sich aber zeigen, daß der zweite Punkt dieser Kritik ohne bedeutende Mühe ausgeräumt werden kann. Die formale Begründung dieses Konzeptes baut auf dem dargestellten mathematischen Modell der Planung des Fahrzeugeinsatzes im öffentlichen Personennahverkehr auf.

Die geltend gemachte Kritik knüpfte an der Tatsache an, daß während der zugrundegelegten Zeitperiode bei Betrachtung einer Linie zwischen zwei Endpunkten sowohl der Verkehr von der Station 1 nach der Station n als auch der Verkehr von der Station n nach der Station 1 in die Bestimmung des Ausnutzungsgrades eingeht. Im öffentlichen Personennahverkehr weicht jedoch die Nachfrage nach Verkehrsleistungen in der einen Verkehrsrichtung im allgemeinen mengenmäßig von der Nachfrage nach Verkehrsleistungen in der entsprechenden Gegenrichtung ab. Nach dem angegebenen Verfahren zur Planung des Fahrzeugeinsatzes muß deshalb die Verkehrsrichtung mit der stärkeren Nachfrage die Zugfolge für beide Richtungen bestimmen. Unter Berücksichtigung dieser Gegebenheit hat es aber auch nur Sinn, lediglich den Ausnutzungsgrad der nachfragestärkeren Verkehrsrichtung als Maßgröße zur Kontrolle der Qualität des Fahrzeugeinsatzes heranzuziehen.

Die Überlegungen, die zur Ausschaltung der nachfrageärmeren Verkehrsrichtung bei der Bestimmung des Ausnutzungsgrades führen, können aber auch für die verbleibende Verkehrsrichtung angestellt werden. In der Regel wird nämlich der Ausnutzungsgrad für die verschiedenen Abschnitte der Strecke verschieden hoch sein, was sich aus der verschiedenen hohen Nachfrageintensität an den einzelnen Stationen samt den ihnen zugehörigen Beförderungsweiten ergibt. Der Ausnutzungsgrad von zwei aufeinander folgenden Streckenabschnitten kann nur dann gleich sein, wenn an der Zwischenstation die Zahl der aussteigenden Fahrgäste gleich der Zahl der zusteigenden Fahrgäste ist.

Die Länge des für die Bestimmung des Ausnutzungsgrades entscheidenden Streckenabschnittes ist nicht von Bedeutung. Dies will Pirath allerdings in dieser Form nur für den

großstädtischen Verkehr zulassen. Er sagt: »Nur bei den großstädtischen Verkehrsbetrieben kann wegen der kurzen Transportwege das Verhältnis von Platzbesetzung zum Platzangebot für den Ausnutzungsgrad zugrundegelegt werden.«<sup>7)</sup> Es soll an dieser Stelle nicht erörtert werden, ob diese Tatsache nur für den großstädtischen Verkehr gilt und allein auf die kurzen Transportwege zurückzuführen ist; denn die bereits genannte Betriebs- und Beförderungspflicht spielen hier ohne Zweifel auch eine wesentliche Rolle. Die Definition *Pirath's* kann nur auf den Ausnutzungsgrad eines Streckenabschnittes bezogen werden. Es kommt nämlich nicht auf die Mengen der genutzten und der angebotenen Verkehrsleistungen allein an, sondern in Verbindung mit ihnen auch auf den Weg, der der Ermittlung des Ausnutzungsgrades zugrundegelegt wird. In Bezug auf den zu betrachtenden Weg muß im Bereich des öffentlichen großstädtischen Personenverkehrs so vorgegangen werden, daß man alle Streckenabschnitte als gleich lang betrachtet und ihnen das Längenmaß 1 zuordnet. Für die folgenden Untersuchungen soll als Ausnutzungsgrad des Verkehrsmittels auf dem Streckenabschnitt von  $k$  nach  $k+1$  während einer Fahrt in der betrachteten Zeitperiode definiert werden:

$$a_{k,k+1} = \frac{\text{Anzahl der während der Fahrt von Station } k \text{ nach Station } k+1 \text{ im Verkehrsmittel befindlichen Personen}}{\text{Kapazität des Verkehrsmittels}}$$

Mit diesem Vorgehen erhält man möglicherweise für alle Fahrten von der Station  $k$  nach der Station  $k+1$  in der betrachteten Zeitperiode einen verschiedenen Ausnutzungsgrad; denn die Anzahl der im Verkehrsmittel befindlichen Personen ist eine zufällige Variable. War gegen den aus der Literatur bekannten Ausnutzungsgrad in herkömmlicher Sicht kritisch vorgebracht worden, daß er eine zu globale Größe darstellt, so verkörpert der Ausnutzungsgrad der einzelnen Fahrt von der Station  $k$  nach der Station  $k+1$  eine zu lokale, d. h. nur punktuelle Größe. Er ist sowohl örtlich als auch zeitlich zu lokal, und es soll eine der beiden Komponenten im Umfang vergrößert werden, um eine stärkere Aussagefähigkeit der Maßgröße für Kontrollzwecke zu gewinnen. Die örtliche Komponente kann dazu nicht herangezogen werden, wie sich aus den oben bereits gemachten Bemerkungen folgern läßt. Also muß von der zeitlichen Punkt Betrachtung einer einzigen Fahrt abgegangen werden. Es bietet sich an, statt einer Fahrt alle Fahrten der betrachteten Zeitperiode heranzuziehen. Es sei bemerkt, daß dieses Vorgehen zulässig ist; denn es war vorausgesetzt worden, daß die Intensität der Nachfrage in der betrachteten Zeitperiode keinen Änderungen unterliegt. Diese Zeitperiode darf keinesfalls mit der Betriebsperiode eines Tages gleichgesetzt werden, denn sie wird allein durch die Konstanz der Nachfrageintensität abgegrenzt.

Betrachtet man alle Fahrten der zugrundegelegten Zeitperiode, dann kann nicht mehr von der Zahl der im Verkehrsmittel befindlichen Personen gesprochen werden, sondern es muß ein Durchschnittswert zugrundegelegt werden. Das geschieht durch die folgende Definition, die sich an die in der Theorie der Wartesysteme übliche Definition des Ausnutzungsgrades eines Wartesystems anschließt:

$$a_{k,k+1} = \frac{\text{durchschnittliche Anzahl der in der betrachteten Zeitperiode während der Fahrt von Station } k \text{ nach Station } k+1 \text{ im Verkehrsmittel befindlichen Personen}}{\text{Kapazität des Verkehrsmittels}}$$

<sup>7)</sup> *Pirath, C.*, Die Grundlagen der Verkehrswirtschaft, a.a.O., S. 187.

Analog zu den Betrachtungen über die Bestimmung der Kapazität einer Strecke bestimmt derjenige Streckenabschnitt den Ausnutzungsgrad einer Linie, für den der Erwartungswert der Zahl der durchschnittlich im Fahrzeug befindlichen Fahrgäste am höchsten ist. Wenn vorher oder nachher die Kapazität des Verkehrsmittels im Vergleich zur durchschnittlichen Nachfrage unter Berücksichtigung der Zugfolge zu groß ist, dann ist das unvermeidlich, wenn für den nachfragestärksten Streckenabschnitt eine ausreichende Kapazität vorgehalten werden soll. Demzufolge ergibt sich für den Ausnutzungsgrad während der betrachteten Zeitperiode in der Verkehrsrichtung von der Station 1 nach der Station n:

$$a_{1n} = \max_{1 \leq k \leq n-1} a_{k, k+1}$$

In den meisten Fällen der Realität wird weder die nachfragestärkere Verkehrsrichtung noch der nachfragestärkste Streckenabschnitt bekannt sein. Daher ist es notwendig, für beide Verkehrsrichtungen der Linie den Ausnutzungsgrad zu bestimmen. Entsprechend dem Vorgehen zur Bestimmung der Zugfolge  $d$  bei der Planung des Fahrzeugeinsatzes wird in dem vorgeschlagenen Konzept der Ausnutzungsgrad der Linie zwischen der Station 1 und der Station n bestimmt durch die Vorschrift

$$a = \max(a_{1n}, a_{n1}).$$

Die hier angestellten Überlegungen zur Bestimmung des Ausnutzungsgrades lassen sich direkt aus den in der Industriebetriebslehre bezüglich der Rüstzeiten gebräuchlichen ableiten. Unter Rüstzeit wird dort der Teil der Fertigungszeit verstanden, der nicht Ausführungszeit ist. »Zwischen den Rüstzeiten zu Beginn und am Ende der Arbeitsoperationen liegt die Zeit, in der am Gegenstand gearbeitet wird, in der also eine Zustands-, Form-, Lage- oder Ortsveränderung an ihm vorgenommen wird.«<sup>8)</sup>

Will man im Industriebetrieb bei Vorliegen von Rüstzeiten den Ausnutzungsgrad eines Aggregates bestimmen, so wird die Rüstzeit stets mit in den genutzten Anteil der möglichen Nutzungszeit einbezogen.

Dieses Vorgehen wird damit begründet, daß die Rüstzeit unverzichtbar und ohne sie ein Nutzen des Aggregates für die Leistungserstellung nicht möglich ist. Diese Argumentation gilt entsprechend auch für die Auslastung auf nachfragestarken und nachfrage-schwachen Strecken im Linienverkehr: Wenn auf dem nachfragestärksten Streckenabschnitt alle Nachfrager befriedigt werden sollen, dann muß die Fahrzeugkapazität auf den anderen Streckenabschnitten überdimensioniert sein. Die dort dann niedrigere Auslastung ist aber kein Zeichen von Fehldispositionen. Die teilweise nicht genutzte Kapazität wird gleichsam als Rüstkapazität für diejenige Verkehrsrichtung oder für denjenigen Streckenabschnitt angesehen, wo sie tatsächlich genutzt wird.

Betrachtet man den nach diesem Konzept bestimmten Ausnutzungsgrad, so ist dabei zu beachten, daß es sich um eine Durchschnittsgröße für die betrachtete Zeitperiode handelt. Theoretisch ist ihre Bestimmung unter Verwendung des Verfahrens zur Planung des Fahrzeugeinsatzes im öffentlichen Personennahverkehr möglich. Aufgrund der bei diesem Verfahren zu berücksichtigenden Sicherheitswahrscheinlichkeit ist dieser Wert kleiner als 1, und zwar ergibt er sich aus dem Verhältnis von  $K' : K$ . Wird der Ausnutzungsgrad

<sup>8)</sup> Gutenberg, E., Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, 1. Band, Die Produktion, 13. Aufl., Berlin-Heidelberg-New York 1967, S. 59.

jedoch empirisch durch Beobachtungen in der Realität ermittelt, so wird man feststellen können, daß es Fälle gibt, in denen der tatsächliche Ausnutzungsgrad den so ermittelten theoretischen Wert übersteigt.

Hierbei handelt es sich um diejenigen Fälle, in denen die tatsächliche Nachfrage nach Beförderung auf der betrachteten Linie an mindestens einer, meist aber an mehreren Stationen ihren Erwartungswert in der Weise übersteigt, daß ein anderer als der bei der Planung des Fahrzeugeinsatzes verwendete Streckenabschnitt zum nachfragestärksten wird. Wie sich leicht erkennen läßt, wird damit ein anderer als der in der Planung zugrundegelegte Streckenabschnitt zum den Ausnutzungsgrad bestimmenden. In Extremfällen ist es sogar möglich, daß eine andere als die in der Rechnung verwendete Verkehrsrichtung den Ausnutzungsgrad bestimmt.

Die Bestimmung des Ausnutzungsgrades einer Linie kann auch bei Anwendung des vorgeschlagenen Verfahrens für eine Zeitperiode zu Werten führen, die eine Überprüfung der Planung des Fahrzeugeinsatzes notwendig erscheinen lassen. Dennoch wird möglicherweise auf Änderungen des Fahrzeugeinsatzes verzichtet werden, weil der Aufwand für einen veränderten Fahrzeugeinsatz in keinem Verhältnis zu dem damit verbundenen Nutzen steht. Dieser Fall liegt insbesondere dann vor, wenn die für die Planung des Fahrzeugeinsatzes gesetzte Prämisse der konstanten Nachfrageintensität für alle Stationen in der Zeitperiode in der Realität nicht erfüllt ist, eine Verkleinerung der gebildeten Zeitperioden jedoch aus dem oben genannten Grund nicht vorgenommen wird. Dann ist es aber erforderlich, zur Bestimmung des Ausnutzungsgrades auch nur diejenigen Fahrten der Zeitperiode heranzuziehen, deren zugehörige Nachfrageintensitäten zur Planung des Fahrzeugeinsatzes verwendet worden sind.