Veröffentlichung / Publication

Betriebskosten von Busverkehren schnell und genau ermitteln

Autoren / Authors:

Patrick Frank [1]

Markus Friedrich [2]

Johannes Schlaich [2]

[1] Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, ETH Zürich
e-mail: Patrick.Frank@ivt.baug.ethz.ch

[2] Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik, Universität Stuttgart
e-mail: markus.friedrich@isv.uni-stuttgart.de
johannes.schlaich@isv.uni-stuttgart.de

Veröffentlicht in / Published in:

Frank, P., Friedrich, M., Schlaich, J. (2008): Betriebskosten von Busverkehren schnell und genau ermitteln, Der Nahverkehr, Heft 11, Alba Fachverlag, Düsseldorf.

Universität Stuttgart
Institut für Straßen- und Verkehrswesen
Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik
www.uni-stuttgart.de/isv/vuv/

15-22_DNV11-08_Frank-ua:Layout 1 05.11.2008 14:14 Seite 15

Dipl.-Ing. Patrick Frank, Zürich; Prof. Dr.-Ing. Markus Friedrich, Dipl.-Ing., MBA (USQ) Johannes Schlaich, Stuttgart

Betriebskosten von Busverkehren schnell und genau ermitteln

Vereinfachtes Kostenmodell liefert belastbare Ergebnisse

Die Betriebskosten für den straßengebundenen ÖPNV werden für eine überschlägige Abschätzung häufig ausschließlich aus den Fahrplankilometern abgeleitet. Diese Vorgehensweise liefert jedoch keine verlässlichen Ergebnisse, da die Fahrgeschwindigkeit der Linien stark variiert und eine Regionalbuslinie im Gegensatz zu einer städtischen Buslinie in gleicher Zeit mehr Kilometer zurücklegen kann. Zudem bleiben begünstigende oder erschwerende Umstände bei der Umlaufbildung, zum Beispiel Standzeiten, unberücksichtigt.

Für eine belastbare Kostenermittlung werden Kenngrößen einbezogen, die sowohl die Einsatzkilometer (zum Beispiel Kraftstoffkosten, Reparaturkosten), die Einsatzstunden (zum Beispiel Personalkosten) und die Anzahl der erforderlichen Fahrzeuge (Abschreibungskosten, Versicherungskosten et cetera) berücksichtigen. Sie erfordern allerdings eine Umlaufbildung und zumindest eine vereinfachte Dienstbildung zur Ermittlung der notwendigen Fahrzeugzahl, der Ein- und Aussetzzeiten, der Anzahl der Dienste und der Pausenzeiten. Um diesen Aufwand für eine schnelle, aber doch möglichst genaue Kostenabschätzung zu vermeiden, wird in diesem Beitrag ein vereinfachtes Kostenmodell vorgestellt, das als Input für die Kostenberechnung im Wesentlichen nur die Fahrplankilometer und Fahrplanzeit sowie Aussagen zum Fahrplan und zur Fahrzeugflotte verwendet. Die Kostenbestandteile dieses Modells werden im Folgenden detailliert beschrieben und anschließend anhand einer Beispielrechnung mit konkreten Werten erläutert.

Kostenbestandteile

Für eine Unterteilung der verschiedenen Kosten wird in Anlehnung an Friedrich, Merkle und Mott [1] eine Einteilung in

- zeitabhängige Kosten,
- fahrzeuganzahlabhängige Kosten,
- kilometerabhängige Kosten und
- sonstige Kosten

gewählt.

Die Gesamtkosten eines Betreibers $K_{Betreiber}$ setzen sich damit aus den folgenden Bestandteilen zusammen:

$$K_{Betreiber} = \underbrace{K_{Fahrdienst}}_{\text{Zeitabhängige Kosten}} + \underbrace{K_{Fahrzeuge}}_{\text{Fahrzeuganzahl abhängige Kosten}} + \underbrace{K_{Antrieb} + K_{Instandhaltung} + K_{Reifen}}_{\text{Kilometerabhängige Kosten}} + \underbrace{K_{tägliche\ Versorgung} + K_{Overhead}}_{\text{Sonstige Kosten}}$$

Zeitabhängige Kosten

Der Kostenpunkt Fahrdienst ist im Busverkehr bezogen auf den Fahrplankilometer im Regelfall der größte Kostenfaktor. Bei einer detaillierten Kostenrechnung gehen der Grundstundenlohn zuzüglich Lohnnebenkosten, die Zuschläge für Nacht- und Sonntagsarbeit sowie die bezahlte Dienstzeit, die aus Fahrplan-, Leerfahrt- und bezahlten Standzeiten besteht, in die Berechnung ein. Für eine vereinfachte Kostenschätzung wird davon ausgegangen, dass nur die Kenngröße Fahrplanzeit ohne Unterscheidung von Werktags-, Sonntags- oder Nachtarbeit vorliegt. Die Fahrdienstkosten $K_{Fahrdienst}$ können mit der folgenden Formel berechnet werden.

$$K_{Fahrdienst} = k_{Fahrdienst} \cdot \frac{1}{\eta_{PW}} \cdot t_{Fahrplan} \cdot f_{Fahrdienstkosten}$$

mit

$K_{Fahrdienst}$	Jährliche Fahrdienstkosten [€/a]
$k_{Fahrdienst}$	Durchschnittlicher Kostensatz je Dienstplanstunde [€/h]
η_{PW}	Personalwirkungsgrad (Fahrplanzeit/Dienstzeit) [-]
$t_{Fahrplan}$	Jährliche Fahrplanzeit [h/a]
$f_{Fahrdienstkosten}$	Fahrplaneffizienzfaktor bezüglich Fahrdienstkosten [-]

Berechnung des durchschnittlichen Kostensatzes je Dienstplanstunde

Aus den Tarifverträgen der Bundesländer Bayern [2] und Berlin [3] ergibt sich beispielsweise ein Monatslohn von zirka 1750 Euro pro Monat für einen Busfahrer (Stufe 3). Ausgehend von einer Jahresarbeitszeit von rund 1650 Stunden (Tabelle 1) und unter Berücksichtigung eventueller Jahressonderzahlungen kann ein Grundstundenlohn berechnet werden.

Frank

Friedrich

Schlaich

DIE AUTOREN

Dipl.-Ing. Patrick Frank (25) ist seit Januar 2008 als wissenschaftlicher Assistent am Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT der ETH Zürich am Lehrstuhl Verkehrssysteme von Prof. Dr.-Ing. Ulrich Weidmann tätig. Von 2002 bis 2007 absolvierte er an der Universität Stuttgart das Studium zum Bauingenieur, welches er mit der Diplomarbeit über Kostenmodelle im Busverkehr am Lehrstuhl von Prof. Dr.-Ing. Markus Friedrich abschloss.

Prof. Dr.-Ing. Markus Friedrich (45) leitet seit Juli 2003 den Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik an der Universität Stuttgart. Von 1995 bis 2003 war er bei der PTV AG in Karlsruhe verantwortlich für den Bereich Planungssysteme Verkehr, in dem unter anderem das Softwaresystem Visum entwickelt wird. Von 1989 bis 1995 arbeitete Friedrich als wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Verkehrs- und Stadtplanung der TU München.

Dipl.-Ing. Johannes Schlaich (29) ist seit Mai 2004 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik der Universität Stuttgart bei Prof. Dr.-Ing. Markus Friedrich und beschäftigt sich dort unter anderem mit der Kostenanalyse für Busunternehmen. Er studierte Bauingenieurwesen mit Vertiefung Verkehrswesen in Stuttgart und absolvierte den Studiengang Master of Business Administration an der University of Southern Queensland.

15-22_DNV11-08_Frank-ua:Layout 1 05.11.2008 14:14 Seite 16

Modellhafte Berechnung der Nettoarbeitszeit im Fahrdienst am Beispiel vom TV Berlin [3] — Tabelle 1

Bruttojahresarbeitszeit (§8)	2048 Stunden
– Urlaub (§15, mittlerer Wert 28 Tage)	– 218 Stunden
– Feiertage (z. B. 11 Tage)	– 86 Stunden
– Krankheit (§14)	– 82 Stunden[1)]
– Fortbildung (pauschal)	– 10 Stunden
Nettojahresarbeitszeit	**1652 Stunden**

1) Mittlerer Krankenstand 2004 in Deutschland: 3,4 Prozent [5]. Zur Berücksichtigung der besonderen Ansprüche im Fahrdienst wird in der Modellrechnung mit vier Prozent gerechnet.

Der Grundstundenlohn wird um die vom Arbeitnehmer zu zahlenden Lohnnebenkosten sowie Betriebsgenossenschaftsbeiträge (BG) erhöht. Außerdem wird ausgehend von durchschnittlichen Werten für Nacht- und Sonntagsdienstzeitanteilen der durchschnittliche Kostensatz um fünf bis zehn Prozent (je nach Tarifvertrag und dem Anteil der Nacht- und Sonntagsarbeit) angehoben, um die entsprechenden Zuschläge zu berücksichtigen. Damit ergibt sich der durchschnittliche Kostensatz je Dienstplanstunde:

$$k_{Fahrdienst} = \frac{K_{Fahrer,Jahr}}{A_{Nettojahresarbeitszeit}} \cdot Z_{Nacht\text{-}/Sonntagsarbeit} \cdot Z_{Lohnnebenkosten/BG}$$

mit

$k_{Fahrdienst}$	Durchschnittlicher Kostensatz je Dienstplanstunde [€/h]
$K_{Fahrer,Jahr}$	Jahreslohn eines durchschnittlichen Busfahrers [€/a]
$A_{Nettojahresarbeitszeit}$	Nettojahresarbeitszeit eines durchschnittlichen Busfahrers [h/a]
$Z_{Nacht\text{-}/Sonntagsarbeit}$	Zuschlag zur Berücksichtigung von Nacht- und Sonntagsarbeit [-]
$Z_{Lohnnebenkosten/BG}$	Zuschlag zur Berücksichtigung von Lohnneben- und BG-Kosten [-]

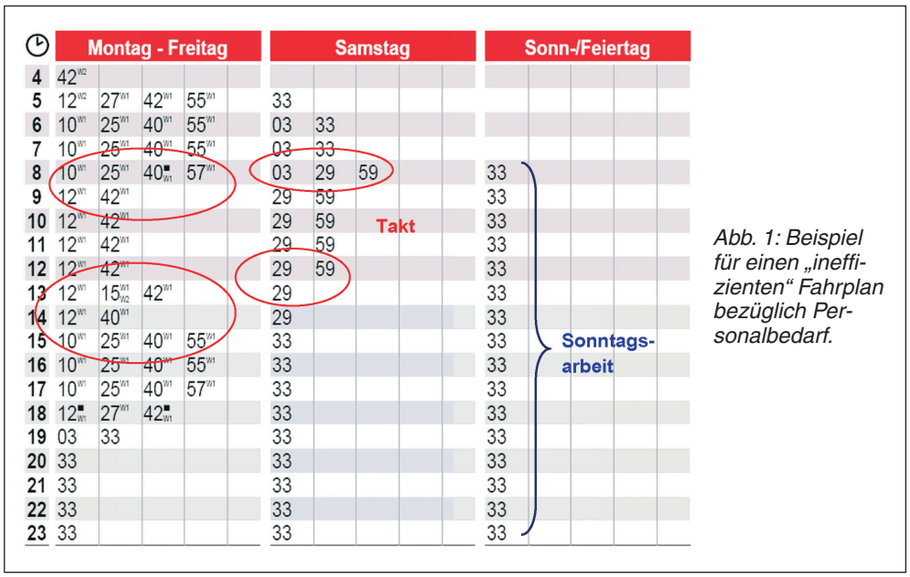


Abb. 1: Beispiel für einen „ineffizienten" Fahrplan bezüglich Personalbedarf.

Personalwirkungsgrad

Der Personalwirkungsgrad η_{PW} ergibt sich aus dem Quotienten von Fahrplanzeit und Dienstzeit. Hier sollte ein durchschnittlicher Wert verwendet werden, der sich aus eigenen oder vergleichbaren Untersuchungen [4] ergibt.

Faktor zur Berücksichtigung der Fahrplaneffizienz bezogen auf die Fahrdienstkosten

Der Faktor $f_{Fahrdienstkosten}$ beschreibt die Fahrplaneffizienz im Hinblick auf die Fahrdienstkosten. Er dient zur Korrektur pauschaler Annahmen für den Personalwirkungsgrad η_{PW} und berücksichtigt den Einfluss der zuschlagpflichtigen Dienstzeiten (Nachtfahrten, Sonntagsfahrten). So führen Fahrpläne mit häufigen Änderungen des Taktes in der Regel zu einem schlechteren Personalwirkungsgrad. Abbildung 1 zeigt einen solchen Fahrplan mit zusätzlichen Fahrten nach 21 Uhr (Nachtfahrten) und Sonntagsfahrten. Tabelle 2 dient als Hilfestellung für die Bestimmung des Faktors $f_{Fahrdienstkosten}$.

Kriterien zur Abgrenzung der Effizienz eines Fahrplanes bezüglich der Fahrdienstkosten — Tabelle 2

Fahrplan	Faktor $f_{Fahrdienstkosten}$	Kriterium Takt	Kriterium Wendezeit	Kriterium Nacht- bzw. Sonntagsarbeit
sehr effizient	0,8	Über den gesamten Tag denselben Takt, vereinzelte zusätzliche Fahrten	10–15 % der Fahrzeit pro Richtung	Keine Fahrten nachts und an Sonntagen
effizient	0,9		15–25 % der Fahrzeit pro Richtung	
normal	1,0		25–50 % der Fahrzeit pro Richtung	Vereinzelte Nacht- und Sonntagsfahrten
ineffizient	1,1	Mehrmaliger Taktsprung über den Tag	50–100 % der Fahrzeit pro Richtung	Viele Nacht- und Sonntagsfahrten
sehr ineffizient	1,2	Kein Takt, vereinzelte Fahrten	Über 100 % der Fahrzeit pro Richtung	

Fahrzeuganzahlabhängige Kosten

Die Fahrzeugkosten $K_{Fahrzeuge}$ ergeben sich aus den Fahrzeugkapitalkosten, den Kosten für die Versicherung $K_{Versicherung}$ und der Zahl der erforderlichen Fahrzeuge.

Fahrzeuganzahl

Die Anzahl der für einen vorgegebenen Fahrplan benötigten Fahrzeuge kann nur mit einer Umlaufplanung ermittelt werden. Da diese für das vereinfachte Kostenmodell nicht durchgeführt werden soll, muss die Anzahl der Fahrzeuge aus den Eingangsgrößen Fahrplankilometer oder Fahrplanzeit ermittelt werden. Durch eine alleinige Berücksichtigung der Fahrplankilometer würde nicht ausreichend berücksichtigt werden, dass Fahrzeuge im Regionalverkehr üblicherweise eine höhere Laufleistung erreichen als im Stadtverkehr (vgl. Leuthardt [6]). Um die Berechnung möglichst transparent und einfach zu gestalten, wird darauf verzichtet, die Fahrplangeschwindigkeit als Indikator für das Verkehrsgebiet zusätzlich zu den Fahrplankilometern zu verwenden. Stattdessen wird ein Ansatz hergeleitet, der eine vereinfachte Kostenberechnung direkt aus der Fahrplanzeit ermöglicht.

Dafür wird ausgehend von den in [6] genannten Jahreslaufleistungen von 50 000 km im Stadtverkehr und 75 000 km im Regionalverkehr mit pauschalen Annahmen für die Fahrplan- und die Leerfahrtgeschwindigkeit sowie dem Anteil der Leerfahrtkilometer $\eta_{Fahrplan}$ (zirka 15 Prozent) eine Anzahl von Fahrplanstunden hergeleitet, für die jeweils ein Fahrzeug benötigt wird.

15-22_DNV11-08_Frank-ua:Layout 1 05.11.2008 14:14 Seite 17

Die Laufleistung $L_{Fahrzeug}$ eines Fahrzeuges kann dazu wie folgt berechnet werden:

$$L_{Fahrzeug} = v_{Fahrplan} \cdot t_{Fahrplan} + v_{Leerfahrt} \cdot t_{Fahrplan} \cdot \eta_{Fahrplan}$$

Nach der jährlichen Fahrplanzeit $t_{Fahrplan}$ aufgelöst ergibt sich daraus eine jährliche Fahrplanzeit eines durchschnittlichen Fahrzeuges $t_{Fahrplan,norm}$ in Höhe von

$$t_{Fahrplan,norm} = \frac{L_{Fahrzeug}}{v_{Fahrplan} + v_{Leerfahrt} \cdot \eta_{Fahrplan}}$$

mit

$t_{Fahrplan,\ norm}$	Jährliche Fahrplanzeit eines durchschnittlichen Fahrzeuges [h/a]
$L_{Fahrzeug}$	Jährliche Laufleistung eines Fahrzeuges [km/a]
$v_{Fahrplan}$	Fahrplangeschwindigkeit eines Betreibers [km/h]
$v_{Leerfahrt}$	Leerfahrtgeschwindigkeit eines Betreibers [km/h]
$\eta_{Fahrplan}$	Anteil der Leerfahrtkilometer an Fahrplankilometern [-]

Mit dieser Formel ergibt sich sowohl für den Stadtverkehr als auch für den Regionalverkehr pro Fahrzeug eine Fahrplanzeit von rund 2050 Stunden pro Jahr (Tabelle 3).

Die Anzahl der benötigten Fahrzeuge kann nun direkt aus der Fahrplanzeit ermittelt werden. Dabei wird neben der erforderlichen Fahrzeugreserve r auch noch ein Effizienzfaktor $f_{Fahrzeuge}$ berücksichtigt, der im Anschluss erläutert wird:

$$n_{Fzg} = \frac{t_{Fahrplan}}{t_{Fahrplan,\ norm}} \cdot f_{Fahrzeuge} \cdot (1 + r)$$

mit

n_{Fzg}	Anzahl Fahrzeuge [-]
$t_{Fahrplan}$	Jährliche Fahrplanzeit [h/a]
$t_{Fahrplan,norm}$	Jährliche Fahrplanzeit eines durchschnittlichen Fahrzeuges [h/a]
r	Faktor zur Berücksichtigung der Fahrzeugreserve [-]
$f_{Fahrzeuge}$	Fahrplaneffizienzfaktor bezüglich Fahrzeuganzahl [-]

Der Effizienzfaktor $f_{Fahrzeuge}$ nimmt dabei Werte größer als 1 an, wenn der Fahrplan keine effiziente Fahrzeugnutzung zulässt und Werte kleiner als 1, wenn eine effiziente Fahrzeugnutzung möglich ist. Tabelle 4 gibt verschiedene Kriterien vor, die eine Einstufung in fünf Effizienzkategorien ermöglichen.

Abbildung 2 zeigt beispielhaft einen Fahrplan, der bezüglich der Fahrzeuganzahl als effizient oder sehr effizient einzustufen ist.

Berechnung der jährlichen Laufleistung mit 2050 Fahrplanstunden pro Jahr — **Tabelle 3**

Verkehrsgebiet	Fahrplangeschwindigkeit [km/h]	Leerfahrtgeschwindigkeit [km/h]	Jährliche Fahrplanstunden [h/a]	Jährliche Leerfahrtstunden [h/a]	Jährliche Laufleistung [km]
Stadtverkehr	20	30	2050	307,5	50 225
Regionalverkehr	32				74 825

Kriterien zur Abgrenzung der Effizienz eines Fahrplanes bezüglich der Fahrzeuganzahl — **Tabelle 4**

Fahrplan	Faktor $f_{Fahrzeuge}$	Kriterium Takt	Kriterium Sonntagsarbeit
sehr effizient	0,8	Kein Taktsprung	Sonntags gleicher Takt wie an Werktagen
effizient	0,9	Kein Taktsprung über einen Großteil des Tages	Hoher Anteil an Sonntags-Fahrten
normal	1,0	Taktverdichtung nur morgendliche HVZ	Niedriger bis kein Anteil an Sonntags-Fahrten
ineffizient	1,1	Taktverdichtung morgendliche und abendliche HVZ	
sehr ineffizient	1,2	Einzelne Fahrten	

Die Takte sind während eines Tages sehr ausgeglichen. Außerdem sind die Fahrpläne am Wochenende vergleichsweise schwach ausgedünnt, so dass die Fahrzeuge kontinuierlich eingesetzt werden können.

Fahrzeugkapitalkosten

Mit der errechneten Anzahl von Fahrzeugen können nun die Fahrzeugkosten berechnet werden. Dabei werden für die Anschaffungskosten $K_{Anschaffung}$ mittlere Werte anhand der verwendeten Fahrzeugflotte berechnet. Unter Berücksichtigung eines mittleren Restwertes R nach der Nutzungsdauer ND ergeben sich die jährlichen Kapitalkosten $K_{Kapital}$ zu:

$$K_{Kapital} = n_{Fzg} \cdot \left(\frac{(K_{Anschaffung} - R) \cdot (1 + p)^{ND} \cdot p}{(1 + p)^{ND} - 1} + R \cdot p \right)$$

mit

$K_{Kapital}$	Jährliche Kapitalkosten [€/a]
n_{Fzg}	Anzahl Fahrzeuge [-]
$K_{Anschaffung}$	Mittlere Anschaffungskosten eines Fahrzeugs [€]

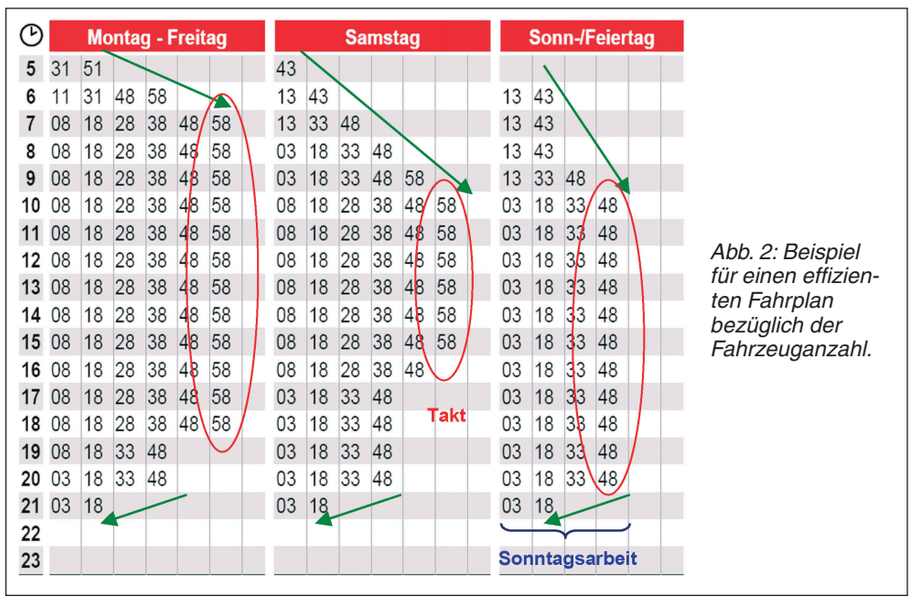


Abb. 2: Beispiel für einen effizienten Fahrplan bezüglich der Fahrzeuganzahl.

15-22_DNV11-08_Frank-ua:Layout 1 05.11.2008 14:14 Seite 18

R	Mittlerer Restwert eines Fahrzeugs nach der Nutzungsdauer [€]
p	Kalkulatorischer Zinssatz [%]
ND	Nutzungsdauer eines Fahrzeugs [a]

Versicherung und Steuern

Steuern fallen für Busse im Linienverkehr gemäß Kraftfahrzeugsteuergesetz [7] nicht an. Versicherungen werden gemäß den aktuellen Werten der Versicherer berücksichtigt. In Leuthardt [6] findet sich für einen Standard-Linienbus (12 m) für das Jahr 2005 ein Wert $K_{Versicherung}$ von 2000 Euro pro Jahr und Fahrzeug.

Kilometerabhängige Kosten

Antriebskosten

Antriebskosten werden durch den Verbrauch an Treib- und Schmierstoffen verursacht. Der Kostensatz je Liter Dieseltreibstoff variiert sehr stark, aktuelle Preise lassen sich unter *www.benzinpreise.de* ermitteln. Steuerentlastungen nach dem Energiesteuergesetz EnergieStG §56 müssen entsprechend berücksichtigt werden. Zur Berücksichtigung von Schmierstoffen wird der Kostensatz pauschal um zehn Prozent erhöht.

Der Verbrauch an Treib- und Schmierstoffen von Omnibussen hängt neben der Motorleistung im Wesentlichen von folgenden Einflussgrößen ab:

- Fahrzeugbesetzung,
- Topografie,
- Stetigkeit des Verkehrsflusses (Stau, Lichtsignalanlagen, Haltestellen).

In UITP [8] wird als maßgebende Einflussgröße des Kraftstoffverbrauchs die Fahrplangeschwindigkeit festgelegt, da sich darin die oben genannten Einflussgrößen widerspiegeln. Mit zunehmender Steigung, dichtem Stadtverkehr und engem Haltestellenabstand sinkt die Fahrplangeschwindigkeit, wohingegen ein flaches Verkehrsgebiet mit schwachem Verkehr und großem Haltestellenabstand zu einer hohen Fahrplangeschwindigkeit führt. Die Einteilung zwischen Stadt- und Regionalverkehr anhand der Fahrplangeschwindigkeit wird in Anlehnung an Leuthardt [6] getroffen. Für die durchschnittliche Fahrplangeschwindigkeit im Stadtverkehr werden 20 km/h angenommen, für den Regionalverkehr 32 km/h. Tabelle 5 zeigt für diese durchschnittlichen Geschwindigkeiten den Treibstoffverbrauch der gängigsten Fahrzeugtypen.

Verknüpft man die durchschnittlichen Fahrplangeschwindigkeiten mit den charakteristischen Kenngrößen für den Treibstoffverbrauch und dem Kostensatz Euro je Liter Treibstoff, ergeben sich für die repräsentativen Fahrzeugtypen Standard-, Gelenk- und Midibus folgende Funktionen zur Berechnung des Verbrauchs:

Durchschnittlicher Treibstoffverbrauch (nach VDV 2318) — Tabelle 5

Fahrzeugtyp	Treibstoffverbrauch [l/100 km] Regionalverkehr bei 32 km/h	Treibstoffverbrauch [l/100 km] Stadtverkehr bei 20 km/h
Midibus 10 m	30	35
Standardbus 12 m, 2-türig	–	42
Überlandbus 12 m, 2-türig	32	–
Gelenkbus 18 m	45	55

$$V_{Midi} = \max(30; 43{,}3 - 0{,}42 \cdot v_{Fahrplan})$$

$$V_{Standard} = \max(32; 58{,}7 - 0{,}83 \cdot v_{Fahrplan})$$

$$V_{Gelenk} = \max(45; 71{,}7 - 0{,}83 \cdot v_{Fahrplan})$$

Der durchschnittliche Verbrauch lässt sich anschließend über die Anteile der verschiedenen Fahrzeugtypen in der Fahrzeugflotte ermitteln:

$$V_{Mittel} = V_{Midi} \cdot A_{Midi} + V_{Standard} \cdot A_{Standard} + V_{Gelenk} \cdot A_{Gelenk}$$

Verknüpft man den mittleren Verbrauch mit den Kosten je Liter Treibstoff inklusive der Schmierstoffe, ergeben sich die Antriebskosten zu

$$K_{Antrieb} = \frac{V_{Mittel}}{100} \cdot l_{Fahrplan} \cdot k_{Antriebskosten}$$

mit

$K_{Antrieb}$	Antriebskosten [€/a]
V_{Midi}	Treibstoffverbrauch eines Midibusses [l/100km]
$V_{Standard}$	Treibstoffverbrauch eines Standardbusses [l/100km]
V_{Gelenk}	Treibstoffverbrauch eines Gelenkbusses [l/100km]
V_{Mittel}	Mittlerer Treibstoffverbrauch eines Fahrzeugflotte [l/100km]
$v_{Fahrplan}$	Fahrplangeschwindigkeit eines Betreibers [km/h]
A_{Midi}	Anteil von Midibussen [-]
$A_{Standard}$	Anteil von Standardbussen [-]
A_{Gelenk}	Anteil von Gelenkbussen [-]
$l_{Fahrplan}$	Jährliche Fahrplankilometer [km/a]
$k_{Antriebskosten}$	Kostensatz je Liter Diesel (inkl. Schmierstoffe) [€/l]

Instandhaltungskosten

Die Berechnung der Instandhaltungskosten basiert auf der VDV-Schrift 881 [9], die ein Verfahren zur Ermittlung von Personal-Kennzahlen für die Instandhaltung und Bereitstellung von Linienbussen zur Verfügung stellt. Darin werden der Personalbedarf für die technische Instandhaltung sowie die Werkstattverwaltung (Overhead) berücksichtigt. Aufwendungen für die Fahrzeugversorgung, -reinigung sowie das Reifenmanagement werden dagegen nicht berücksichtigt und daher getrennt betrachtet.

Um die Instandhaltungskosten berechnen zu können, werden als Eingangsgrößen die Fahrzeuganzahl, die Jahreslaufleistung, die durchschnittliche Fahrplangeschwindigkeit, das Durchschnittsalter der Fahrzeugflotte, Anzahl der Sonderausstattungsmerkmale sowie die Personalkosten für ein Mannjahr benötigt. Da es sich allerdings um ein vereinfachtes Kostenmodell handelt, dem keine Umlaufbildung vorangeht, stehen nicht alle Eingangsgrößen zur Verfügung. Die oben ermittelte Fahrzeuganzahl kann anhand von [9] und den Anteilen der zum Einsatz kommenden Fahrzeugtypen größennormiert werden, um deren Einflüsse auf den erhöhten oder verminderten Instandhaltungsaufwand zu berücksichtigen.

$$F_G = n_{Fzg} \cdot (A_{Standard} \cdot 1{,}0 + A_{Midi} \cdot 1{,}0 + A_{Gelenk} \cdot 1{,}3)$$

mit

F_G	Anzahl größennormierte Fahrzeuge [Fzg]
n_{Fzg}	Anzahl Fahrzeuge [-]
$A_{Standard}$	Anteil von Standardbussen [-]
A_{Midi}	Anteil von Midibussen [-]
A_{Gelenk}	Anteil von Gelenkbussen [-]

Stehen die Fahrzeuganzahl sowie die gesamte Jahreslaufleistung des Betreibers zur Verfügung, kann die Jahreslaufleistung N je Fahrzeug ermittelt werden.

Zur Berücksichtigung des erhöhten Instandhaltungsaufwandes im Stadtverkehr (häufigeres Anfahren und Abbremsen, verstärkter Fahrgastwechsel) wird nach [9] ein Faktor zur Berücksichtigung der Fahrplangeschwindigkeit mit folgendem Verlauf eingeführt:

$$f_g = 0{,}0002 \cdot v^2_{Fahrplan} - 0{,}03 \cdot v_{Fahrplan} + 1{,}52$$

mit

f_g	Faktor zur Berücksichtigung der Fahrplangeschwindigkeit
$v_{Fahrplan}$	Fahrplangeschwindigkeit eines Betreibers [km/h]

15-22_DNV11-08_Frank-ua:Layout 1 05.11.2008 14:14 Seite 19

Für die weiteren Eingangsgrößen Durchschnittsalter und Sonderausstattung werden konstante Annahmen getroffen. So wird das Durchschnittsalter mit 6,5 Jahren angenommen (→ f_a = 1,0), die Anzahl der Sonderausstattungsmerkmale richtet sich nach einem „durchschnittlichen" modernen Standardbus (Fahrzielanzeige, Fahrscheinverkauf, Funk, Klimatisierung, Kneeling), wodurch sich der Parameter a = 1,3 ergibt. Die Personalkosten der Instandhaltung gehen über einen Kostensatz $k_{Personal,Instandhaltung}$ für ein so genanntes Mannjahr ein, die nach VDV 881 [9] empfohlene Personal-Kennzahl wird mit w = 0,1 angesetzt. Somit ergeben sich für die Berechnung der Instandhaltungskosten folgende Kosten für die Instandhaltung pro Jahr:

$$K_{Instandhaltung} = w \cdot a \cdot k_{Personal,Instandhaltung} \cdot f_g \cdot F_G \cdot \left(0{,}35 + 0{,}65 \cdot \frac{N}{60\,000}\right)$$

mit

$K_{Instandhaltung}$	Jährliche Personalkosten für die Instandhaltung [€/a]
w	Personal-Kennzahl (nach VDV 881) [Mannjahr/Fzg/a]
a	Faktor zur Berücksichtigung von Sonderausstattungsmerkmalen [-]
$k_{Personal,Instandhaltung}$	Personalkostensatz je Mannjahr [€/Mannjahr]
f_g	Faktor zur Berücksichtigung der Fahrplangeschwindigkeit [-]
F_G	Anzahl größennormierte Fahrzeuge [Fzg]
N	Jahreslaufleistung je Fahrzeug [km/a]

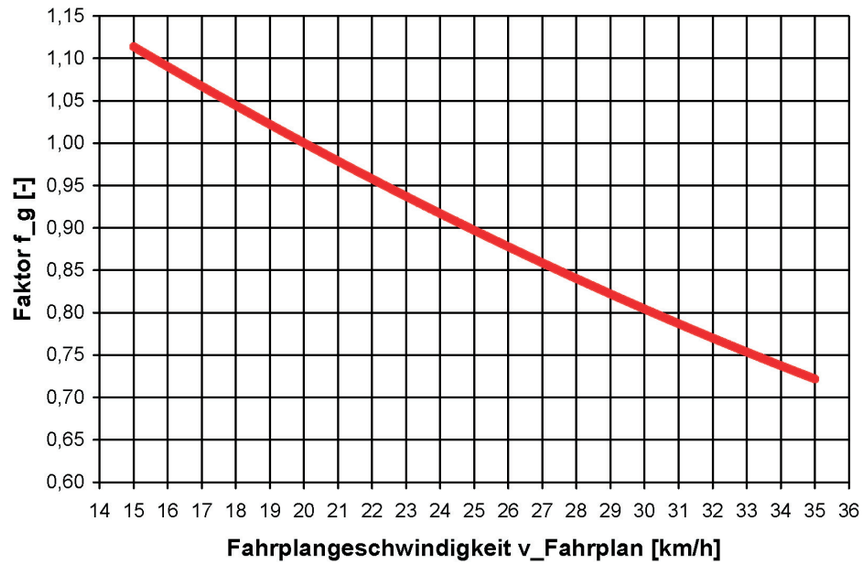


Abb. 3: Faktor zur Berücksichtigung der Fahrplangeschwindigkeit in der Instandhaltung, nach VDV 881 [9]

Reifenkosten

Da die Kosten für das Reifenmanagement in den Instandhaltungskosten nach VDV 881 [9] nicht berücksichtigt werden, allerdings einen nicht unerheblichen Anteil an den Betriebskosten darstellen, bedarf es einer getrennten Berechnung der Reifenkosten.

Nach VDV 881 [9] ist im Stadtverkehr der Reifenseitenwandverschleiß maßgebend, im Regionalverkehr der Lauffläche nverschleiß. Aufgrund der höheren Standfestigkeit der Reifen in der Lauffläche sind im Regionalverkehr somit geringere Kosten als im Stadtverkehr zu erwarten. Die Einteilung in die jeweilige Verkehrsart wird über die Fahrplangeschwindigkeit vorgenommen. Abbildung 4 zeigt die angenommenen Kostensätze Euro je Fahrplankilometer in Abhängigkeit von der Fahrplangeschwindigkeit, die sich aus der Analyse von Praxiswerten ergaben.

Die Kosten K_{Reifen} können anschließend durch Multiplikation mit den Fahrplankilometern ermittelt werden:

$$K_{Reifen} = k_{Reifen} \cdot l_{Fahrplan}$$

mit

K_{Reifen}	Jährliche Kosten für das Reifenmanagement [€/a]
k_{Reifen}	Kosten für das Reifenmanagement je Fahrplankilometer [€/km]
$l_{Fahrplan}$	Jährliche Fahrplankilometer [km/a]

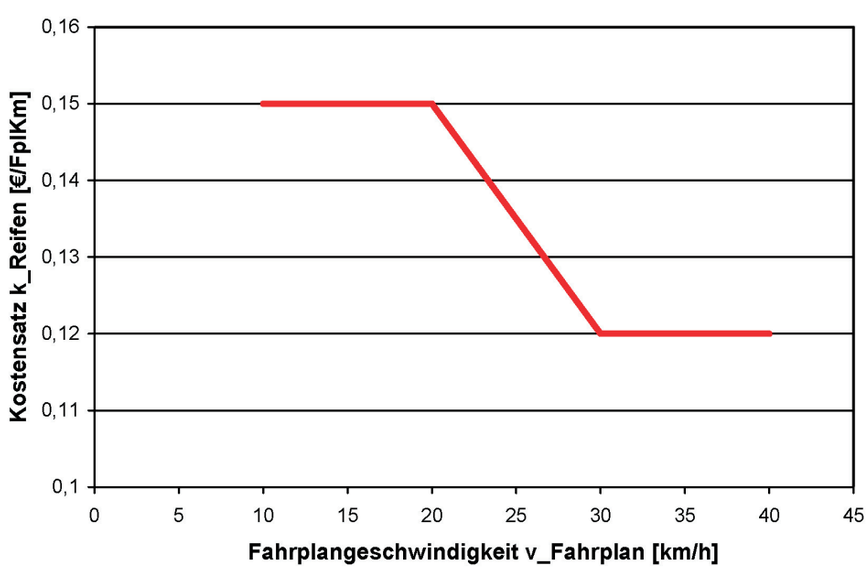


Abb. 4: Kosten für das Reifenmanagement in Abhängigkeit des Verkehrsgebiets

Sonstige Kosten

Tägliche Versorgung

Die Kosten für die tägliche Versorgung beinhalten die Innen- und Außenreinigung, die Betankung, Rangierarbeiten auf dem

15-22_DNV11-08_Frank-ua:Layout 1 05.11.2008 14:14 Seite 20

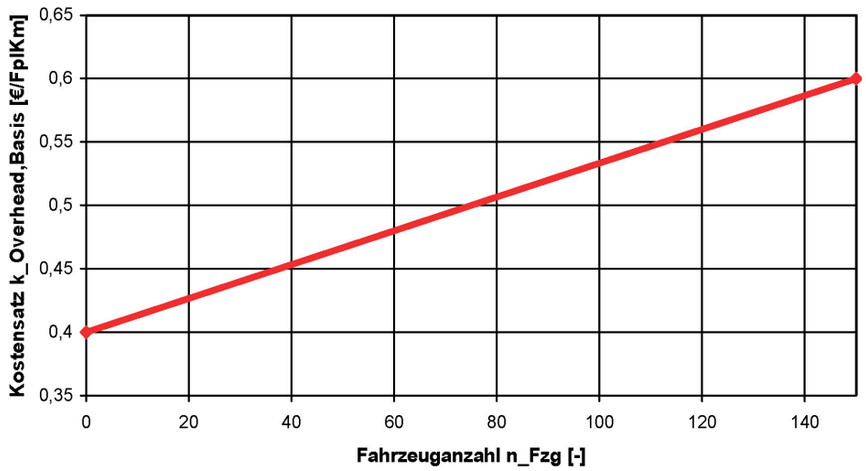


Abb. 5: Basis-Kostensatz $k_{Overhead,Basis}$ zur Berechnung der Sonstigen Kosten

Betriebshof sowie das Auswechseln von schadhaften oder gestörten Fahrzeugen auf der Strecke. In detaillierten Kostenbetrachtungen wird der Kostenbestandteil *Tägliche Versorgung* in Abhängigkeit von der Anzahl an Diensten berechnet. Vor dem Hintergrund eines möglichst vereinfachten Kostenmodells ist die Berechnung der Anzahl an Diensten zu aufwändig, und deshalb wird ein konstanter Kostensatz $k_{tägliche\ Versorgung}$ zwischen 0,08 € und 0,12 € je Fahrplankilometer angesetzt. Die Kosten $k_{tägliche\ Versorgung}$ ergeben sich dann wie folgt:

$$K_{tägliche\ Versorgung} = k_{tägliche\ Versorgung} \cdot l_{Fahrplan}$$

mit

$K_{tägliche\ Versorgung}$	Jährliche Kosten für die tägliche Versorgung [€/a]
$k_{tägliche\ Versorgung}$	Kostensatz für die tägliche Versorgung je Fahrplankilometer [€/km]
$l_{Fahrplan}$	Jährliche Fahrplankilometer [km/a]

Overhead

Der Kostenbestandteil *Overhead* beinhaltet die Kostenkomponenten der Verwaltung (Einkauf, Buchhaltung, Personalwesen), des Kostenmanagements (Marketing, Vertrieb, Fahrgastinformation), des Betriebsmanagements (Fahr- und Dienstplanung, Leitstelle, Aus- und Fortbildung) und der Infrastruktur (Haltestellen, Strecken).

Neben der Abhängigkeit von der Unternehmensgröße spielt das Verkehrsgebiet, in dem das Unternehmen tätig ist, eine Rolle. Höhere Ansprüche an das Betriebsmanagement aufgrund von dichtem Stadtverkehr und eine gegenüber dem ländlichen Raum größere Anzahl an Haltestellen mit der zugehörigen Haltestellenausstattung sind nur zwei Beispiele für die erhöhten Aufwendungen eines im Stadtverkehr tätigen Verkehrsunternehmens.

Um die Kosten für den Overhead berechnen zu können, werden Angaben über die Größe des Verkehrsunternehmens, über die Anzahl der Fahrzeuge, sowie über das Verkehrsgebiet, ergo die Fahrplangeschwindigkeit, benötigt.

$$K_{Overhead} = k_{Overhead,Basis} \cdot f_v \cdot l_{Fahrplan}$$

mit

$K_{Overhead}$	Jährliche Kosten für den Overhead [€/a]
$k_{Overhead,Basis}$	Basiskostensatz für den Overhead [€/km]
f_v	Faktor zur Berücksichtigung des Verkehrsgebietes [-]
$l_{Fahrplan}$	Jährliche Fahrplankilometer [km/a]

Der Basiskostensatz $k_{Overhead,Basis}$ ist dabei abhängig von der Unternehmensgröße, die anhand der benötigen Fahrzeuge n_{Fzg} bestimmt wird. Abbildung 5 zeigt den Verlauf.

Dieser wird, um den Einfluss des Verkehrsgebietes zu berücksichtigen, mit einem von der Fahrplangeschwindigkeit abhängigen Faktor f_v multipliziert, der den in Abbildung 6 dargestellten Verlauf aufweist.

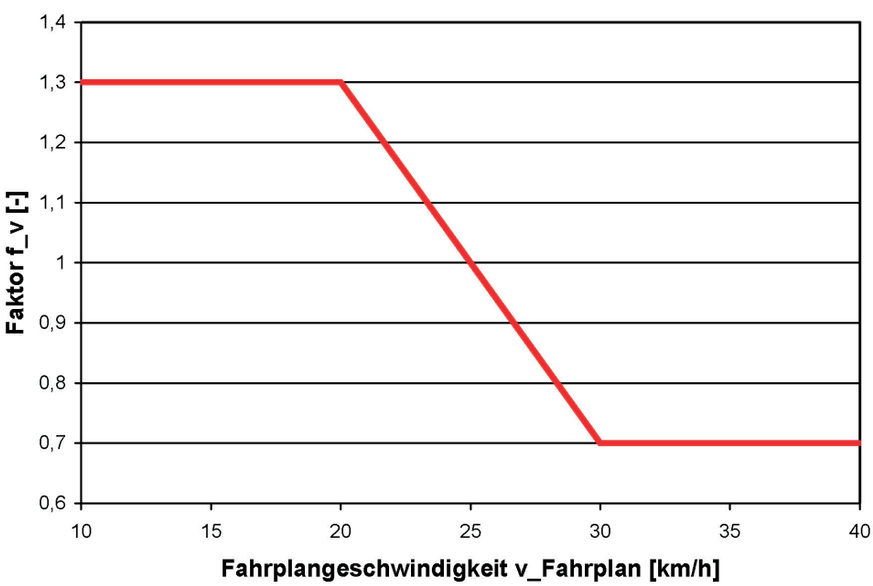


Abb. 6: Faktor f_v zur Berücksichtigung des Verkehrsgebiets

Beispielberechnung

Das oben vorgestellte vereinfachte Kostenmodell wird im Folgenden am Beispiel zweier fiktiver Unternehmen verdeutlicht, die Linien im Stadtverkehr beziehungsweise im Regionalverkehr betreiben. Dazu werden die in Tabelle 6 beschriebenen Parameter verwendet. Diese müssen gegebenenfalls an aktuelle Entwicklungen (zum Beispiel Dieselpreisentwicklung) oder regionale Gegebenheiten (beispielsweise Personalkosten) angepasst werden.

Die Eingangsdaten für die Kostenrechnung sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse der Berechnung sowie die Anteile der einzelnen Kostenbestandteile. Insbesondere aufgrund der niedrigeren Fahrplangeschwindigkeit ergibt sich für das städtische Unternehmen ein deutlich höherer Kilometerpreis als für das im Regionalverkehr tätige Unternehmen.

15-22_DNV11-08_Frank-ua:Layout 1 05.11.2008 14:14 Seite 21

Gewählte Parameter für die Beispielberechnung — Tabelle 6

Variable	Wert	Quelle
Kosten		
Personalkostensatz $k_{Fahrdienst}$	20 €/h	Abgeleitet aus Bayern (2003) und Berlin (2005)
Anschaffungskosten $K_{Anschaffung,Standardbus}$	230 000 €	in Anlehnung an Leuthardt, 2005
Anschaffungskosten $K_{Anschaffung,Gelenkbus}$	330 000 €	
Anschaffungskosten $K_{Anschaffung,Midibus}$	210 000 €	
Versicherungskosten $K_{Versicherung,\ Standard}$	2000 €/a	
Versicherungskosten $K_{Versicherung,Gelenk}$	2200 €/a	
Versicherungskosten $K_{Versicherung,Midi}$	1800 €/a	
Personalkostensatz $k_{Personal,Instandhaltung}$	40 000 €/ Mann u. Jahr	in Anlehnung an Leuthardt, 2005
Kostensatz $k_{Antriebskosten}$	1 €/Liter	www.benzinpreis.de
Kostensatz $K_{tägliche\ Versorgung}$	0,09 €/km	Eigene Erhebungen
Sonstige Parameter		
Personalwirkungsgrad η_{PW}	70 %	Eigene Untersuchungen, BSL 2002
Anteil der Leerfahrtkilometer an Fahrplankilometern $\eta_{Fahrplan}$	15 %	Eigene Untersuchungen
Restwert R_i	5 %	in Anlehnung an Leuthardt, 2005
Zinssatz p	5 %	
Nutzungsdauer ND_i	12 Jahre	
Fahrzeugreserve r	7 %	

Das Berechnungsverfahren ist in Microsoft Excel umgesetzt. Abbildung 7 zeigt die Oberfläche des Ein- und Ausgabeblattes. In den weiß hinterlegten Feldern können die Werte des Mengengerüstes aus Tabelle 7 eingetragen werden. Die Parameter aus Tabelle 6 können in einem zweiten Tabellenblatt angepasst werden. Die Berechnung erfolgt automatisch über ein Visual Basic Makro. Die Excel-Datei kann auf der Website des Lehrstuhls für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik der Universität Stuttgart *(www.isv.uni-stuttgart.de/vuv)* unter dem Punkt *Veröffentlichungen* heruntergeladen werden.

Zusammenfassung

In der täglichen Praxis stehen Aufgabenträger immer wieder vor dem Problem, die Kosten für zusätzliche Busverkehre vor einer Vergabe abzuschätzen oder die Kosten für ein vorhandenes Verkehrsangebot zu bewerten. Eine genaue Kostenberechnung, wie sie zum Beispiel Friedrich et al. [10] beschreiben, ist aufwändig. Sie erfordert eine Umlaufplanung und eine Dienstplanung mit spezieller Software, die den Aufgabenträgern so in der Regel nicht zur Verfügung steht. Die häufig gewählte einfache Alternative, die Kosten aus bekannten Kilometersätzen abzuleiten, genügt jedoch nicht den Anforderungen an eine belastbare Kostenschätzung, da zu viele Einflussgrößen unberücksichtigt bleiben. Hier kann das vorgestellte vereinfachte Kostenmodell eine Lücke schließen. Es bezieht die Ausprägung des Fahrplans und die Fahrplangeschwindigkeit ebenso ein, wie die eingesetzten Fahrzeugtypen und eignet sich damit sowohl für den Stadt- als auch für den Regionalverkehr.

ANZEIGE

15-22_DNV11-08_Frank-ua:Layout 1 05.11.2008 14:14 Seite 22

Annahmen für das Mengengerüst von zwei Beispielunternehmen — Tabelle 7

	Unternehmen Stadtverkehr	Unternehmen Regionalverkehr
Fahrplankilometer	200 000 km/a	240 000 km/a
Fahrplanstunden	9000 h/a	8000 h/a
Fahrplangeschwindigkeit	22,2 km/h	30,0 km/h
Fahrzeugtyp	100 % Standardbus	100 % Standardbus
Fahrplanqualität (bzgl. Personalbedarf)	ineffizient	normal
Fahrplanqualität (bzgl. Fahrzeugbedarf)	normal	normal

Ergebnisse der Beispielrechnung — Tabelle 8

	Unternehmen Stadtverkehr		Unternehmen Regionalverkehr	
	Kosten/FahrplanKm	Anteil	Kosten/FahrplanKm	Anteil
Fahrdienstkosten	1,41 €	43 %	0,95 €	41 %
Fahrzeugkosten	0,64 €	20 %	0,47 €	20 %
Antriebskosten	0,40 €	12 %	0,34 €	15 %
Instandhaltungskosten	0,09 €	3 %	0,07 €	3 %
Reifenkosten	0,14 €	4 %	0,12 €	5 %
Kosten für die tägliche Versorgung	0,09 €	3 %	0,09 €	4 %
Overheadkosten	0,47 €	15 %	0,28 €	12 %
Gesamt	**3,26 €**	**100 %**	**2,33 €**	**100 %**

Literatur

[1] Friedrich, M., Merkle, E., Mott, P.: Prognosefähige Linienerfolgsrechnung, Tagungsbericht, Tagungsband Heureka 1999, S. 249–262.

[2] Lohntarifvertrag Nr. 23, Lohntarifvertrag für die gewerblichen Arbeitnehmer/innen des privaten Omnibusgewerbes in Bayern, gültig ab 1.11.2003.

[3] TV Nahverkehr Berlin 2005, Tarifvertrag zur Regelung der Arbeitsbedingungen bei den Nahverkehrsbetrieben im Land Berlin (TV-N Berlin) vom 31.8.2005 i.d.F. des 2. ÄTV vom 9. Mai 2006, online verfügbar unter *www.dbb-berlin.de/*, heruntergeladen am 16. Juli 2007.

[4] BSL Management Consultants, Anlage 2 zur Vorlage Restrukturierungsvereinbarung VER (Stand 25.6. 2002), online verfügbar unter *www.en-kreis.de/html/politik/sitzungen/2002/vorlagen/ver_restrukturierungsziel.pdf*, heruntergeladen am 27.9.2007.

[5] Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung der Bundesagentur für Arbeit (IAB), Daten zur kurzfristigen Entwicklung von Wirtschaft und Arbeitsmarkt, Nr. 12/2005.

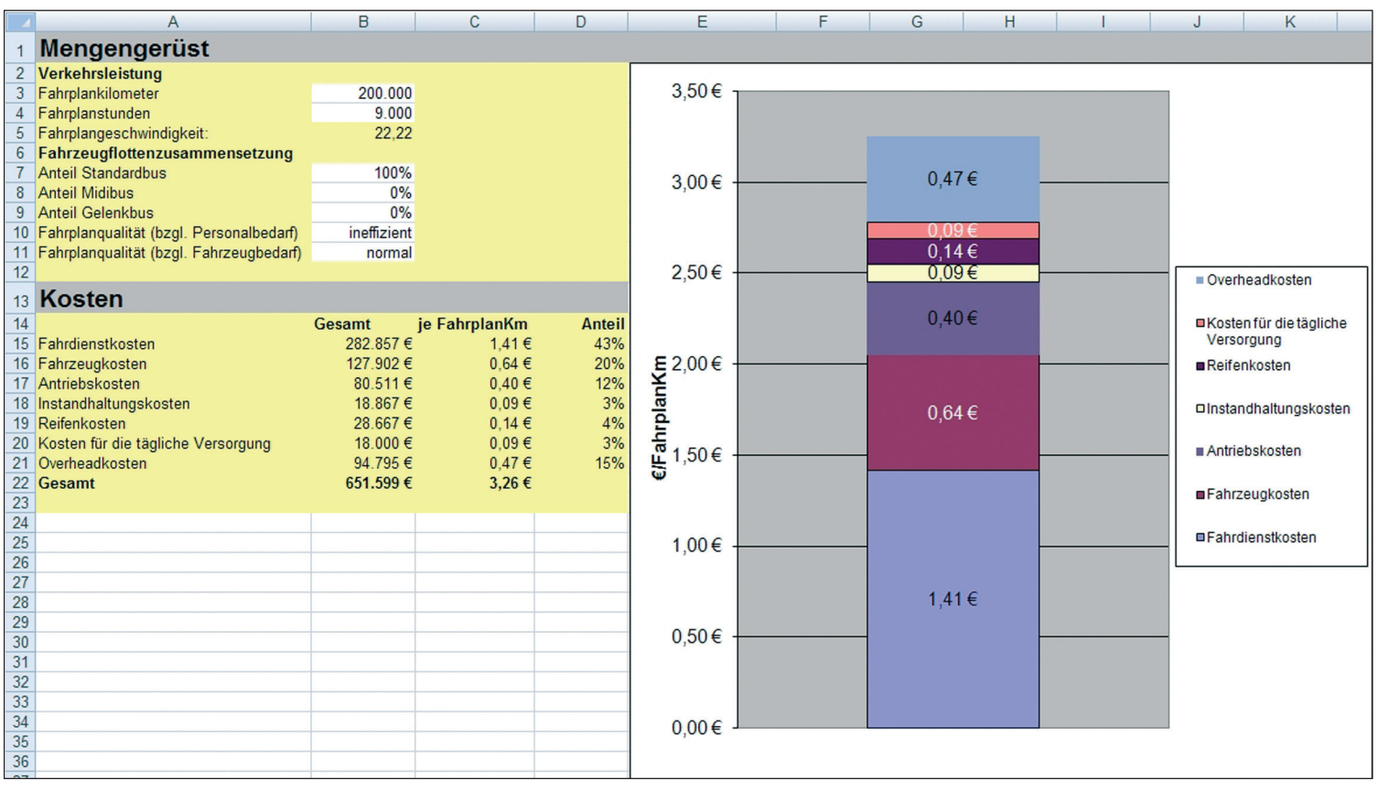
[6] Leuthardt, H.: Betriebskosten von Linienbussen im systematischen Vergleich; DER NAHVERKEHR 11/2005.

[7] Bundesministerium der Justiz, Kraftfahrzeugsteuergesetz, online verfügbar unter *www.gesetze-im-internet.de/kraftstg*, heruntergeladen am 18.7.2007.

[8] UITP: SORT – Standardised On-Road-Tests Cycles, Standardisierte Zyklen für Straßentests, Brüssel 2003

[9] VDV-Schrift 881: Verfahren zur Ermittlung von Personal-Kennzahlen für die Instandhaltung und Bereitstellung von Linienbussen; VDV-Schriften; 05/2006

[10] Friedrich, M., Schlaich, J., Schleupen, G.: Modell zur Ermittlung der Betriebsleistung und der Betriebskosten für Busverkehre, Tagungsband der 21. Verkehrswissenschaftlichen Tage 2007, Dresden 2007.



Mengengerüst	
Verkehrsleistung	
Fahrplankilometer	200.000
Fahrplanstunden	9.000
Fahrplangeschwindigkeit:	22,22
Fahrzeugflottenzusammensetzung	
Anteil Standardbus	100%
Anteil Midibus	0%
Anteil Gelenkbus	0%
Fahrplanqualität (bzgl. Personalbedarf)	ineffizient
Fahrplanqualität (bzgl. Fahrzeugbedarf)	normal

Kosten	Gesamt	je FahrplanKm	Anteil
Fahrdienstkosten	282.857 €	1,41 €	43%
Fahrzeugkosten	127.902 €	0,64 €	20%
Antriebskosten	80.511 €	0,40 €	12%
Instandhaltungskosten	18.867 €	0,09 €	3%
Reifenkosten	28.667 €	0,14 €	4%
Kosten für die tägliche Versorgung	18.000 €	0,09 €	3%
Overheadkosten	94.795 €	0,47 €	15%
Gesamt	**651.599 €**	**3,26 €**	

Abb. 7: Eingabe- und Ergebnistabellen für die Kostenberechnung