



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

Schriftenreihe des  
Instituts für Verkehr  
ISSN 1614-9300

Fachgebiet  
Bahnsysteme  
und Bahntechnik

# **Ermittlung von wirtschaftlich und betrieblich optimalen Fahrzeugkonzepten für den Einsatz im Regionalverkehr**

can. wirtsch.-ing. Michael Frensch



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

Fachgebiet  
Bahnsysteme und Bahntechnik  
Petersenstr. 30  
64287 Darmstadt

Telefon: (+49 6151) 16-2146  
Telefon: (+49 6151) 16-6903  
eisenbahn@verkehr.tu-darmstadt.de  
<http://www.tu-darmstadt.de/verkehr/bs>

## **Ermittlung von wirtschaftlich und betrieblich optimalen Fahrzeugkonzepten für den Einsatz im Regionalverkehr**

**cand. wirtsch.-ing. Michael Frensch**

Darmstadt im Oktober 2005

Herausgeber

Fachgebiet Bahnsysteme und Bahntechnik der Technischen Universität Darmstadt

Petersenstraße 30

64287 Darmstadt

<http://www.tu-darmstadt.de/verkehr/bs>

[eisenbahn@verkehr.tu-darmstadt.de](mailto:eisenbahn@verkehr.tu-darmstadt.de)

Schriftenreihe des Instituts für Verkehr

Fachgebiet Bahnsysteme und Bahntechnik

Heft B7

ISSN 1614-9300

Darmstadt 2005

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	VI
Bildverzeichnis .....	VII
Tabellenverzeichnis .....	VIII
Abkürzungsverzeichnis .....	IX
1 Einleitung .....	1
2 Entwicklung einer Bewertungssystematik .....	5
2.1 Bewertungsrelevante Fahrzeuge .....	5
2.1.1 Lokomotiven .....	6
2.1.2 Einstöckige Wagen .....	8
2.1.3 Doppelstöckige Wagen .....	10
2.1.4 Einstöckige Triebzüge .....	12
2.1.5 Doppelstöckige Triebzüge .....	15
2.2 Bewertungsbedeutsame Einflussgrößen .....	17
2.2.1 Verkehrliche Einflussgrößen .....	19
2.2.2 Betriebliche Einflussgrößen .....	26
2.2.3 Wirtschaftliche Einflussgrößen .....	33
2.3 Bewertungskriterien .....	40
2.3.1 Verkehrliche Bewertungskriterien .....	40
2.3.2 Betriebliche Bewertungskriterien .....	50
2.3.3 Wirtschaftliche Bewertungskriterien .....	53
2.4 Bewertungssystematik und -prozedere .....	56
3 Anwendung der Bewertungssystematik .....	59
3.1 Allgemeingültige Anwendung der Bewertungssystematik .....	59
3.1.1 Zugbildung .....	59
3.1.2 Kennzahlenberechnung .....	64
3.1.3 Beurteilung der Berechnungsergebnisse .....	67
3.2 Beispielhafte Einzelfallanwendung der Bewertungssystematik .....	78
3.2.1 Rahmenbedingungen des Mittelhessen-Netzes .....	79
3.2.2 Zugbildung .....	84
3.2.3 Optimales Zugkonzept .....	90
4 Zusammenfassung und Ausblick .....	95
Literaturverzeichnis .....	103
Öffentlich verfügbare Quellen .....	103
Nicht öffentlich verfügbare Quellen .....	107
Expertengespräche und Experteninformationen .....	109
Anlagen .....	111

## Bildverzeichnis

<b>Bild 1</b>	Wirkungszusammenhang der bewertungsbedeutsamen Rahmenbedingungen auf die Eignung von Zugkonzepten. ....	18
<b>Bild 2</b>	Wirkungszusammenhang der Bewertungskennzahlen. ....	57
<b>Bild 3</b>	„Nutzlänge1“ in Abhängigkeit von der Sitzplatzkapazität. ....	69
<b>Bild 4</b>	Nutzlänge2 in Abhängigkeit von der Sitzplatzkapazität. ....	71
<b>Bild 5</b>	„Massespezifische Leistung“ in Abhängigkeit von der Sitzplatzkapazität. ....	73
<b>Bild 6</b>	Laufleistungsspezifische Projektkosten in Abhängigkeit von der Sitzplatzkapazität. ....	74
<b>Bild 7</b>	Querschnittsbelastungen des RegionalExpressverkehrs in Personenfahrten je Werktag (Summe aus Richtung und Gegenrichtung). ....	81
<b>Bild 8</b>	Geplante Linienführung des „MittelhessenExpresses“. ....	82
<b>Bild 9</b>	Anteilige Querschnittsbelastung „MittelhessenExpress“ in Personenfahrten pro Richtung in der maßgeblichen Spitzenstunde. ....	86
<b>Bild 10</b>	Vom „MittelhessenExpress“ in der Spitzenstunde bewältigtes maßgebliches Fahrgastaufkommen auf den Netzabschnitten und Nachfrage nach durchgebundenen Zügen. ....	87
<b>Bild 11</b>	„Nutzlänge1“ der Zugkonzepte auf dem Mittelhessen-Netz. ....	91
<b>Bild 12</b>	„Nutzlänge2“ der Zugkonzepte auf dem Mittelhessen-Netz. ....	91
<b>Bild 13</b>	„Massespezifische Leistung“ der Zugkonzepte auf dem Mittelhessen- Netz. ....	92
<b>Bild 14</b>	Laufleistungsspezifische Projektkosten der Zugkonzepte auf dem Mittelhessen-Netz. ....	93

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1</b>	Kennwerte der Baureihe BR146. ....	7
<b>Tabelle 2</b>	Kennwerte des ET425. ....	14
<b>Tabelle 3</b>	Kennwerte des RABe514.....	17
<b>Tabelle 4</b>	Standardsitzteiler der Modellzüge.....	61
<b>Tabelle 5</b>	Nutzlängen <sub>I</sub> und Sitzplatzkapazität der Fahrzeuge.....	63
<b>Tabelle 6</b>	Nutzlängen <sub>I</sub> , Nutzlängen <sub>II</sub> und Fahrzeuggesamtlängen.....	65
<b>Tabelle 7</b>	Gesamtmasse der Fahrzeuge. ....	66
<b>Tabelle 8</b>	Ränge der Zugkonzepte für Kennzahl „Nutzlänge1“.....	69
<b>Tabelle 9</b>	Ränge der Zugkonzepte für Kennzahl „Nutzlänge2“.....	70
<b>Tabelle 10</b>	Ränge der Zugkonzepte für Kennzahl „massespezifische Leistung“.....	73
<b>Tabelle 11</b>	Ränge der Zugkonzepte für die laufleistungsspezifischen Projektkosten.....	75
<b>Tabelle 12</b>	Mittlerer Rang der Attraktivitätskennzahlen .....	77
<b>Tabelle 13</b>	Mittlerer Gesamtrang der Zugkonzepte .....	78
<b>Tabelle 14</b>	Bahnsteiglängen und –höhen auf dem Mittelhessennetz. ....	83
<b>Tabelle 15</b>	Maßgebliche Bahnsteiglängen auf den Abschnitten des Mittelhessennetzes. ....	83
<b>Tabelle 16</b>	Maßgebliche Querschnittsbelastung auf den Streckenabschnitten des Mittelhessennetzes pro Richtung und Werktag. ....	87
<b>Tabelle 17</b>	Mögliche Zugkonfigurationen auf dem Mittelhessennetz – Fall 1 .....	89
<b>Tabelle 18</b>	Sitzteiler der Standardausstattung der betrachteten Zugkonzepte.....	xii
<b>Tabelle 19</b>	Länge und Größe der Mehrzweckräume. ....	xv
<b>Tabelle 20</b>	Längen der Toilettenzellen in den Fahrzeugstandardausführungen.....	xvi
<b>Tabelle 21</b>	Abschreibungsplan Lokomotive (BR146.2).....	xxiii
<b>Tabelle 22</b>	Abschreibungsplan DoSto-SW. ....	xxv
<b>Tabelle 23</b>	Abschreibungsplan DoSto-MW.....	xxvi
<b>Tabelle 24</b>	Abschreibungsplan SD-WZ-SW.....	xxvii
<b>Tabelle 25</b>	Abschreibungsplan SD-WZ-MW.....	xxviii
<b>Tabelle 26</b>	Abschreibungsplan Doppelstocktriebzuges. ....	xxix
<b>Tabelle 27</b>	Abschreibungsplan ET 425.....	xxx
<b>Tabelle 28</b>	Instandhaltungsdaten der Fahrzeuge .....	xxxI
<b>Tabelle 29</b>	Instandhaltungskosten der Fahrzeuge.....	xxxiii
<b>Tabelle 30</b>	Laufleistungsspezifische Projektkosten. ....	xxxiv
<b>Tabelle 31</b>	Laufleistungsspezifische Projektkosten der Fahrzeuge vergleichener Zugkonzepte. ....	xI
<b>Tabelle 32</b>	Laufleistungsspezifischen Projektkosten vergleichener Züge. ....	xI

## Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
BR	Baureihe
BTS	Bombardier Transportation Services
CHF	Schweizer Franken
ct	(Euro-) Cent
d	Tag
$d_i$	jährlicher Abschreibungsbetrag des Zugtyps i [EUR]
d.h.	das heißt
DB	Deutsche Bahn
Do-ET	Doppelstock-Elektrotriebzug
DoSto-MW	Doppelstockmittelwagen
DoSto-SW	Doppelstocksteuerwagen
DoSto-WZ	doppelstöckiger Wagenzug
€	Euro
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
ET	Elektrotriebzug
EUR	Euro
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
ggfs.	gegebenenfalls
h	Stunden
i.d.R.	in der Regel
$I_i$	Zugspezifischer jährlicher Investitionsbetrag [EUR]
j	Jahr
kg	Kilogramm
$K_i$	Investitionsbetrag des Zugtyps i [EUR]
km	Kilometer
km/h	Kilometer pro Stunde
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
LCC	Life Cycle Costs (Lebenszykluskosten) [EUR]
LNVG	Landesnahverkehrsgesellschaft Niedersachsen
LüP	Länge über Puffer [m]
MIV	Motorisierter Individualverkehr

$m_{\max}$	Gesamtgewicht des Zuges bei Ausnutzung der vollen Kapazität [t]
MVB	Multifunction Vehicle Bus
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
RMV	Rhein-Main-Verkehrsverbund
$PCC_{\text{relevant}}$	bewertungsrelevante Projektzykluskostenbestandteile [ct/km]
$P_i$	von den Triebseinheiten des Zugkonzeptes i dem Bahnstromnetz entzogenen Leistung [kW]
$PK_i$	laufleistungsspezifische Projektkosten des Zugtyps i
Pkm	Personenkilometer
$P_{\text{spez.,i}}$	massespezifische Leistung des Zukonzeptes i [kW/t]
$R_a$	Restwert des Zugtyps j nach a Jahren [EUR]
Rn	Randnummer
$s_i$	durchschnittliche Jahreslaufleistung des Zugtyps i [km]
SOK	Schienenoberkante
SD-ET	Singel-deck Elektrotriebzug (einstöckiger Elektrotriebzug)
SD-MW-AW	Single-deck- Anschlussmittelwagen (einstöckiger Anschlussmittelwagen)
SD-MW-EW	Single-deck-Ergänzungsmittelwagen (einstöckiger Ergänzungs-Mittelwagen)
SD-SW	Single-deck-Steuerwagen (einstöckiger Steuerwagen)
SD-MW-VW	Single-deck-Versorgungsmittelwagen (einstöckiger Versorgungsmitelwagen)
SD-WZ	Singel-Deck-Wagenzug (einstöckiger Wagenzug)
Tfz	Triebfahrzeug
WC	Wasserclosett
WTB	Wired-Train-Bus
WZ	Wagenzug
$z_{i,j}$	jährlicher zugspezifischer Zinsbetrag im Jahr j
ZMS	Zeitmultiplexe-Mehrfachtraktionssteuerung
ZWS	Zeitmultiplexe Wendezugsteuerung



# 1 Einleitung

Mit Übertragung der Verantwortung des Regionalverkehrs auf die Bundesländer als Besteller und Aufgabenträger des Regional- und Nahverkehrs und der durch europäische Richtlinien angestoßenen Öffnung des Schienenverkehrsdienstleistungsmarktes seit der Mitte der 1990er Jahre für den Wettbewerb kommen vorrangig bisher ausschließlich von der Deutschen Bahn (DB) betriebene Strecken des Regionalverkehrs zur Ausschreibung. Hierbei handelt es sich überwiegend um elektrifizierte Hauptstrecken.

In den Ausschreibungen steht sich eine Vielzahl unterschiedlicher neugegründeter oder etablierter Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) als Wettbewerber um den Betrieb einer ausgeschriebenen Linie gegenüber. Die Ausschreibungen verlangen i.d.R. ganzheitliche Konzepte, die in wirtschaftlicher, verkehrlicher, d.h. fahrgastbezogener, und betrieblicher Hinsicht überzeugen. Von wesentlicher Bedeutung für die Konzepte sind die für den Einsatz vorgesehenen Züge.

Das EVU kann unter einer Vielzahl an unterschiedlichen, für den Regionalverkehr grundsätzlich geeigneten Fahrzeugen auswählen, um sie zu einem Zug zusammenzustellen. Die dem Regionalverkehrsmarkt zur Verfügung stehenden Fahrzeuge lassen sich entsprechend der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung klassifizieren. An dieser Stelle soll der Fokus auf die Fahrzeuge gerichtet werden, die für die Personenbeförderung im Regelbetrieb relevant sind. Sie lassen sich differenzieren in Triebfahrzeuge und Wagen. Triebfahrzeuge können in Lokomotiven und Triebwagen eingeteilt werden. Sie sind mit einem Antrieb ausgerüstet, mit dem sie sich selbst und andere an sie gekuppelte Fahrzeuge bewegen können. Lokomotiven verfügen neben dem Antrieb über Einrichtungen zu ihrer Steuerung. Zu diesen Einrichtungen zählen der Führerraum und die zur Steuerung erforderliche Technik. Triebwagen sind Triebfahrzeuge, die zusätzlich zu den Funktionen einer Lokomotive die Funktion der Personenbeförderung übernehmen. Zu den Wagen zählen die Reisezugwagen. Sie dienen der Beförderung von Personen. Auf eine weitere Differenzierung der Wagen soll nicht eingegangen werden.<sup>1</sup>

Die mögliche Kombination der Fahrzeuge zu einem Zug ist begrenzt. Die Lösung einer Beförderungsaufgabe mittels eines Wagens erfordert stets den zusätzlichen Einsatz eines Triebfahrzeuges; umgekehrt erfordert der gewünschte Einsatz einer Lokomotive als Triebfahrzeug die Verwendung eines Wagens. Wird hingegen ein Triebwagen gewählt, kann die Beförderungsaufgabe ohne Einsatz eines Wagens gelöst werden.

Wird ein Zug aus einer Lokomotive und mindestens einem Wagen gebildet, dann wird ein solcher Zug als lokbespannter Zug bezeichnet. Wird hingegen ein Triebwagen als Triebfahrzeug gewählt, an das ein weiterer Triebwagen und/oder mindestens ein Wagen ge-

---

<sup>1</sup> Vgl. §18 EBO.

hängt werden, dann wird ein daraus gebildeter Zug als Triebzug bezeichnet. Die Wagen können ein- oder doppelstöckig sein.

Aus den benannten Fahrzeugen können vier Zugkonzepte gebildet werden, die Gegenstand dieser Arbeit sein werden:

- lokbespannte einstöckige Züge,
- lokbespannte doppelstöckige Züge,
- einstöckige Triebzüge und
- doppelstöckige Triebzüge

Die Züge können entweder elektrisch oder mit Diesel angetrieben werden. Auf Grund der großen Bedeutung der elektrischen Strecken im deutschen Nahverkehrsnetz soll im Rahmen dieser Arbeit der Fokus auf elektrisch angetriebene Züge gelegt werden. Dieseltriebfahrzeuge werden nicht weiter betrachtet.

Ein aus einem Triebfahrzeug und - sofern das Triebfahrzeug nicht zur Beförderung von Personen geeignet ist - mindestens einem Wagen zusammengesetzter Zug soll als Zügeinheit bezeichnet werden. Ein aus mindestens zwei Zügeinheiten bestehender Zug soll als Zugverband bezeichnet werden. Zugverbände werden mit dem Ziel gebildet, Züge regelmäßig an den Grenzen zwischen aufkommensstarken und –schwachen Gebieten zu stärken oder zu schwächen sowie bei Bedarf an durchgehenden Verbindungen diese Verbände in bestimmten Bahnhöfen für die Weiterfahrt auf Linienästen zu flügeln bzw. von den Ästen kommend, dort zusammenzukuppeln. Stärken und Schwächen sowie Flügel ist mit Triebzügen gängige Praxis. Der Stand der Technik erlaubt bei lokbespannten Zügen gleichermaßen ein Stärken und Schwächen.

Stärken und Schwächen des lokbespannten Zuges sowie Flügel ist durch den Einbau einer automatischen Kupplung, der Scharfenberg-Kupplung, an den beiden Enden des Zuges und durch den Einbau des sogenannten „Wired-Train-Bus“ (WTB) in die Wagen möglich. Der WTB ist ein Kommunikationssystem zur automatischen Erkennung der in einen Zug eingestellten Wagen und zur Kommunikation zwischen mehreren zu einem Zugverband zusammengeschlossener Zügeinheiten. Über den WTB werden Informationen, der Bordnetzversorgung, der Bremssteuerung, der Klimaanlage, des Fehlerdiagnosesystems und der Antriebssteuerung ausgetauscht.

Gängige Praxis bei Triebzügen ist der Zwei-Richtungsbetrieb: Der Triebzug verlässt den Endbahnhof in umgekehrter Richtung, ohne dass ein Triebfahrzeugwechsel erforderlich ist. Ein Zwei-Richtungsbetrieb ist bei lokbespannten Zügen möglich, indem ein Steuerwagen in die Zügeinheit eingestellt und dieser mit einer Zeitmultiplexen Wendezugsteuerung (ZWS) ausgestattet wird. Über die ZWS wird die Lokomotive von dem an der Spitze des Steuerwagens untergebrachten Führerraum gesteuert. Der WTB erlaubt den Wendezug-

betrieb von mehreren, zu einem Zugverband zusammengestellten Wendezügen in beliebiger Reihenfolge und Stellung. Ein Betrieb wie bei Triebzügen ist damit möglich.

Für diese Arbeit soll davon ausgegangen werden, dass die den potenziellen Betreibern zur Auswahl stehenden lokbespannten Züge über die ZWS und den WTB verfügen und im Rahmen der Ganzzug-Instandhaltung gewartet werden.

Der vom potenziellen Bewerber gewählte Zugtyp bestimmt im Wesentlichen seine Kosten, die er für die Erbringung der Verkehrsdienstleistung aufzuwenden hat. Sein Interesse liegt in der Wahl desjenigen Zugkonzeptes, das die geringsten Kosten verursacht. Mit geringeren Kosten ist es ihm möglich, dem Besteller der Verkehrsdienstleistung ein günstigeres Angebot zu unterbreiten und damit seine Chancen für den Zuschlag zu erhöhen. Die Betrachtung der Kostenseite erfordert auch die Betrachtung der Erlösseite.

Ein nachhaltiger Betrieb wird dem potenziellen Betreiber jedoch nur dann möglich sein, wenn eine ausreichend große Anzahl an Fahrgästen seine Züge nutzt und damit seinen Ertrag sichert. Für eine große Anzahl an Fahrgästen ist ein attraktives Angebot erforderlich. Die von den Fahrgästen empfundene Attraktivität wird zum einen von der für den vorgesehenen Zug gewählten Ausstattung und zum anderen davon beeinflusst, mit welcher Verlässlichkeit die Fahrgäste den von ihnen gewünschten Zielort zu der von ihnen gewünschten Zeit erreichen.

Die Verlässlichkeit des Verkehrssystems Regionalverkehr kann als gegeben angenommen werden, wenn der durch den Besteller vorgegebene Fahrplan tatsächlich eingehalten wird. Die Einhaltung des Fahrplans wird einerseits durch den Betreiber der Infrastruktur beeinflusst. In seinem Verantwortungsbereich liegt die Koordination der auf seiner Infrastruktur verkehrenden Züge; seine vorrangige Aufgabe ist zudem, die Infrastruktur in einem derartigen Zustand zu halten, dass ein planmäßiger und ordnungsmäßiger Betrieb möglich ist. Andererseits nimmt das EVU durch das von ihm gewählte Fahrzeugkonzept Einfluss auf die Einhaltung des Fahrplans. Das vom EVU vorgesehene Fahrzeugkonzept sollte geeignet sein, den vorgegebenen Fahrplan einzuhalten. Zudem sollte der Einsatz des Fahrzeugkonzeptes auf der Infrastruktur möglich sein.

Für die Wahl eines in wirtschaftlicher, verkehrlicher und betrieblicher Hinsicht geeigneten Zugkonzeptes sind keine Entscheidungshilfen bekannt. Die gängige Praxis der Auswahl eines Zugkonzeptes greift auf die etablierte Planungsregel zurück, nach der ab einer Kapazität von rund 300 Sitzplätzen ein lokbespannter Zug gegenüber einem Triebzug wirtschaftlicher ist.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, objektiv verkehrliche, betriebliche und wirtschaftliche Größen als Entscheidungshilfen, d.h. Beurteilungskriterien, für die Wahl eines für den Regionalverkehr geeigneten Zugkonzeptes darzustellen bzw. zu entwickeln, diese in einen systematischen Zusammenhang zu bringen und im Rahmen einer allgemein gültigen Anwendung die in der Praxis etablierte Planungsregel zu überprüfen. Anhand einer realen Strecke ist die Eignung der entwickelten Entscheidungssystematik für eine praktische Anwendung zu überprüfen.

Die Entwicklung einer Systematik aus verkehrlichen, betrieblichen und wirtschaftlichen Beurteilungskriterien erfolgt in Kapitel 2. Hierzu ist es zunächst erforderlich, für jeden der vier Zugkonzepte ein Modell auszuwählen, das einer Beurteilung hinsichtlich seiner Eignung unterzogen werden soll. Die begründete Auswahl wird in Kapitel 2.1 dargestellt. Anschließend werden in Kapitel 2.2 aus den Rahmenbedingungen Größen bestimmt, welche die Eignung der Zugkonzepte beeinflussen können; es werden die bewertungsbedeutsamen Einflussgrößen ermittelt. Die bewertungsbedeutsamen Einflussgrößen sind die Grundlage für die Festlegung der Beurteilungskriterien, anhand derer die Eignung der Zugkonzepte festzustellen ist. Die Beurteilungskriterien werden in Kapitel 2.3 festgelegt. Das Kapitel 2 wird mit Kapitel 2.4 abgeschlossen, in dem der systematische Zusammenhang der Beurteilungskriterien dargestellt wird und die Vorgehensweise beschrieben wird, der bei einer Beurteilung der Zugkonzepte gefolgt werden sollte.

In Kapitel 3 wird die durchgeführte Überprüfung der in der Praxis gängigen Planungsregel dokumentiert. In Kapitel 3.1 wird die entwickelte Bewertungssystematik allgemeingültig mit dem Ziel angewendet, die Planungsregel grundsätzlich zu überprüfen. In Kapitel 3.2 wird die Bewertungssystematik auf einen gewählten Einzelfall angewendet und darauf hin überprüft, ob zu erwarten ist, dass sie sich für praktische Anwendungsfälle eignet.

Die Arbeit schließt mit Kapitel 4, in dem die wesentlichen Ergebnisse zusammengefasst werden und ein Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf gegeben wird.

## **2 Entwicklung einer Bewertungssystematik**

Eine Bewertungssystematik dient der strukturierten Beurteilung eines Objektes. Eine Beurteilung lässt sich strukturiert durchführen, wenn Beurteilungskriterien definiert sind, anhand deren ein Objekt wiederholt oder mehrere Objekte auf gleiche Weise beurteilt werden können. Ergebnis einer solchen Beurteilung ist eine Aussage über die verhältnismäßige Güte des beurteilten Objekts im Vergleich entweder zu einem anderen Objekt oder, wenn lediglich ein Objekt beurteilt wird, zu einem festgelegten Maßstab. Die einzelnen Beurteilungsergebnisse werden damit vergleichbar.

Bewertungsobjekte im Kontext dieser Arbeit sind Züge, die sich einem der vier Zugkonzepte, ein- und doppelstöckiger lokbespannter Zug bzw. Triebzug, zuordnen lassen. Die Beurteilungskriterien ergeben sich aus verkehrlichen, betrieblichen und wirtschaftlichen Größen, welche die Eignung von Zügen für ein betrachtetes Netz beeinflussen.

Die Entwicklung einer Bewertungssystematik erfordert folglich, zunächst die Bewertungsobjekte, d.h. die für den Vergleich relevanten Zugtypen, festzulegen: In Kapitel 2.1 werden die für diese Arbeit maßgeblichen Bewertungsobjekte, d.h. die relevanten Zugtypen, die im Rahmen dieser Arbeit einer Bewertung zu unterziehen sind, ausgewählt und dargestellt. Anschließend werden in Kapitel 2.2 die hergeleiteten Größen, die auf die Eignung der Zugkonzepte wirken, genannt und erläutert. Sie ergaben sich aus den Anforderungen, welche die Fahrgäste, der Besteller und der Betreiber an die Züge stellen, sowie aus den Randbedingungen, die durch Züge zu erfüllen sind. Die Einflussgrößen stellen die Grundlage für die Festlegung der Beurteilungskriterien dar. Die Einflussgrößen werden in einen systematischen Zusammenhang gebracht. In Kapitel 2.3 schließlich werden die unter Berücksichtigung der in Kapitel 2.2 benannten Einflussgrößen definierten, für die Bewertungssystematik relevanten Beurteilungskriterien erläutert. In Kapitel 2.4 wird die entwickelte Bewertungssystematik und eine mögliche Vorgehensweise für die Durchführung einer Bewertung beschrieben.

### **2.1 Bewertungsrelevante Fahrzeuge**

Im Rahmen der zu entwickelnden Systematik können solche Züge einer Bewertung unterzogen werden, die sich einem der vier Zugkonzepte zuordnen lassen.<sup>2</sup> Dem Regionalverkehrsmarkt steht jedoch eine Vielzahl an unterschiedlichen Fahrzeugen zur Verfügung; daher sind zunächst die zur Auswahl stehenden Fahrzeuge einzugrenzen, bevor aus ihrer

---

<sup>2</sup> Vgl. Kapitel 1.

Menge eines für die weitere Bearbeitung des Themas ausgewählt und dargestellt wird. Eine solche Vorgehensweise wird für jeden der vier Zugkonzepte gewählt.

Es wird festgelegt, dass unabhängig vom gewählten Wagentyp der gleiche Lokomotiventyp an den Wagenzug gekuppelt wird. In den nachfolgenden Abschnitten dieses Kapitels werden daher nicht lokbespannte Zugkonzepte betrachtet, sondern zunächst im Abschnitt 2.1.1 die dem Regionalverkehrsmarkt zur Verfügung stehenden Lokomotiven und anschließend in den Abschnitten 2.1.2 und 2.1.3 ein- bzw. doppelstöckige Wagentypen abgegrenzt, ausgewählt und dargestellt. In den Abschnitten 2.1.4 und 2.1.5 werden schließlich ein- bzw. doppelstöckige Triebzüge betrachtet.

### **2.1.1 Lokomotiven**

Von der DB Regio werden vier unterschiedliche Elektrolok-Baureihen im Nah- und Regionalverkehr eingesetzt:

- Baureihe BR111
- Baureihe BR112
- Baureihe BR143
- Baureihe BR146

Während die Baureihen BR111 und BR143 in großen Stückzahlen eingesetzt werden, stellen die beiden anderen Baureihen den geringeren Anteil. Für die weitere Betrachtung scheiden die Baureihen BR111, BR112 und BR 143 aus. Sie verfügen mit ungefähr 3.700 – 3.800 kW über eine für den Einsatz auf hochbelasteten Linien zu geringe Leistung. Schwere Wagenzüge lassen sich fahrplanmäßig nur bei einer ausreichend hohen Leistung fahren. Hierfür ist die Baureihe BR146 mit einer Leistung von 5.600 kW geeignet.<sup>3</sup>

Das Triebfahrzeug der Baureihe BR146 ist aus der für den Einsatz im Güterverkehr entwickelten Baureihe BR185 abgeleitet. Sie ist mit einem Hohlwellenantrieb ausgerüstet. Die technischen Kenndaten sind in Tabelle 1 zusammengetragen.

---

<sup>3</sup> Vgl. DB (2003), S. 13-15.

Kennwert	
Länge über Puffer [m]	18,90
Gewicht [t]	84,0
Achsfolge	Bo'Bo'
Anfahrbeschleunigung [m/s <sup>2</sup> ]	0,58 <sup>4</sup>
Höchstgeschwindigkeit [km/h]	160
Anfahrzugkraft [kN]	300
Leistung [MW]	5,6

**Tabelle 1** Kennwerte der Baureihe BR146.  
Quelle Bombardier (2004), Folie 8.

Ferner ist die Baureihe BR146 mit einer zeitmultiplexen Wendezug- und Doppeltraktionssteuerung, einer seitenselektiven Türsteuerung und Fahrgastinformationssystemen ausgestattet und damit für den Wendezugbetrieb geeignet. Über die UIC-IS-Leitung können bis zu vier Triebfahrzeuge in einem Zugverband gesteuert werden.

Sie kann mit einer automatischen Kupplung und WTB ausgerüstet werden, mit dem mehrere aus einer Lokomotive und einem Wagenzug mit Steuerwagen gebildete Zugeinheiten in beliebiger Reihenfolge zu einem Zugverband zusammengekuppelt und betrieben werden können, sofern mindestens auch der Steuerwagen mit einem WTB ausgerüstet ist. Aus Gründen des wirtschaftlichen Betriebes sollten auch die Mittelwagen mit WTB ausgerüstet sein. Dadurch könnten betriebsnotwendige Maßnahmen wie beispielsweise Bremsproben nach dem Zusammenkuppeln mehrerer Einheiten effizient und ohne großen Zeitaufwand durchgeführt werden. Das Betriebskonzept „Flügeln“ lässt sich damit auch bei lokbespannten Zügen realisieren.

Ohne WTB ist die Bildung eines Zugverbandes auf zwei Zugeinheiten und auf die Kombination Lokomotive 1 – Mittelwagen 1/1-1/n – Steuerwagen 1 – Steuerwagen 2 – Mittelwagen 2/1-2/m – Lokomotive 2 beschränkt.<sup>5</sup> Der Wagenumlauf ist dann so zu planen, dass die beiden Zugeinheiten im Flügelbahnhof stets in dieser Anordnung einfahren. Eine solche Anordnung kann betrieblich gewährleistet werden, wenn beide Zugeinheiten an ihrem Endpunkt Kopf machen oder eine Dreiecksfahrt durchführen. Führt nur eine Zugeinheit eine Dreiecksfahrt durch, so kann die geforderte Stellung der Zugeinheiten im Flügelbahnhof nicht eingehalten werden. Der triebzugähnliche Betrieb ist dann nicht möglich.

<sup>4</sup> Bei einem 6-Wagenzug erreicht die Baureihe BR146 eine Anfahrbeschleunigung; vgl. Bombardier (2004), Folie 8.

<sup>5</sup> Vgl. Schätzer (2005a).

## 2.1.2 Einstöckige Wagen

Die im Regionalverkehr eingesetzten einstöckigen Fahrzeuge lassen sich in drei Gruppen einteilen:

- modernisierte n-Wagen, die sogenannten „Silberlinge“
- umgebaute Reisezugwagen (PumA/Modus-Wagen)
- die für den Einsatz auf der Marschbahn zwischen Hamburg und Westerland/Sylt neuentwickelten Reisezugwagen

Obwohl die modernisierten Silberlinge den Hauptteil der einstöckigen Reisezugwagen bei der DB Regio stellen, scheiden sie für die weitere Betrachtung aus. Sie entsprechen nicht den gängigen Anforderungen der Aufgabenträger. So verfügen sie beispielsweise über keine Klimaanlage, keine optischen Fahrgastinformationssysteme, kein Videoüberwachungssystem, schmale Türen und über im Fahrzeuginneren des Einstiegsbereiches befindliche Treppen.

Die PumA/Modus-Wagen werden nicht als relevantes Fahrzeugkonzept gewählt. Sie sind nämlich nur in geringen Stückzahlen gebaut worden, um die technische Machbarkeit eines grundlegenden Umbaus der Silberlinge zu untersuchen. Sie sind Erprobungsträger.<sup>6</sup> Informationen über ein umfangreiches Beschaffungsprogramm liegen nicht vor. Es wird davon ausgegangen, dass sie nur von geringer Bedeutung für Regionalverkehrsdienstleistungen sind.

Für die weitere Betrachtung werden die für den Einsatz auf der Marschbahn zwischen Hamburg und Westerland/Sylt entwickelten Reisezugwagen gewählt. Sie entsprechen den modernsten Anforderungen und werden als zukunftsfähig bewertet. Bei diesen Reisezugwagen handelt es sich um Niederflurfahrzeuge: Sie haben eine Einstiegshöhe von 800 mm über Schienenoberkante (SOK) und einen auf 860 mm über SOK durchgehenden Wagenboden. An Bahnsteigkanten mit 760 mm Höhe über SOK besteht damit ein stufenloser Zugang. Zur Spaltüberbrückung sind die Fahrzeuge mit einem Schiebetrittbrett ausgerüstet. Über diesen wird der Zugang von niedrigeren Bahnsteighöhen gewährleistet. Mobilitätseingeschränkten Fahrgästen steht bei Halt an Bahnsteigen mit 550 mm Höhe über SOK eine Rampe und bei Halt an Bahnsteigen mit 380 mm Höhe über SOK ein Hub-Schwenklift zur Verfügung.

Alle Wagen verfügen über zwei Türen je Wagenseite. Sie sind mit Klimaanlage ausgerüstet, die auf dem Dach untergebracht ist. Die Wagen werden untereinander kurzgekuppelt und lassen sich nur in der Werkstatt trennen.<sup>7</sup>

---

<sup>6</sup> Vgl. Fischer/Rühlmann (2000), S. 61.

<sup>7</sup> Der Trennvorgang dauert ungefähr eine Stunde; vgl. Scharf (2005).



Es lassen sich vier Fahrzeugtypen unterscheiden, aus denen der Wagenzug gebildet wird:

- Steuerwagen
- Ergänzungsmittelwagen
- Versorgungsmittelwagen
- Anschlusswagen

Im Steuerwagen sind der Führerraum, ein Mehrzweckraum in einer Größe von 9,40 m<sup>2</sup> und eine behindertenfreundliche Toilette untergebracht.<sup>8</sup> In der „Marschbahn“-Ausstattung stehen den Fahrgästen in diesem Wagen 58 vollwertige Sitze und 20 Klappsitze, die sich im Mehrzweckraum befinden, zur Verfügung. Am führerraumseitigen Einstieg lässt sich zudem ein Hubschwenklift installieren, mit dem mobilitätseingeschränkten Fahrgästen der Ein- und Ausstieg an Bahnsteigen mit einer Kantenhöhe von 38 cm ermöglicht wird. Abweichend von den anderen Wagen besitzt der Steuerwagen nur an einem Ende eine Kurzkupplung und einen geschlossenen Wagenübergang. Am Führerraumende besitzt er eine Zug- und Stoßeinrichtung sowie Seitenpuffer. Die Zug- und Stoßeinrichtung kann eine automatische Kupplung sein. Für diese Arbeit wird angenommen, dass der Steuerwagen mit einer solchen automatischen Kupplung ausgerüstet ist; mit ihr lassen sich mehrere einstöckige Zügeinheiten zu einem Zugverband zusammenkuppeln.

Der Ergänzungsmittelwagen in der „Marschbahn“-Ausstattung verfügt über einen Mehrzweckraum in einer Größe von ungefähr 10,50 m<sup>2</sup>, in dem 21 Klappsitze installiert sind. In diesem Wagen stehen den Fahrgästen 74 vollwertige 2.-Klasse-Sitze zur Verfügung.

Der Versorgungsmittelwagen verfügt wie der Steuerwagen ebenfalls über einen Mehrzweckraum in einer Größe von 9,40 m<sup>2</sup> und eine Toilettenzelle. Diese ist jedoch keine behindertenfreundliche Toilette; es handelt sich zwar um die gleiche Zelle, die im Steuerwagen eingebaut ist, sie verfügt jedoch nicht über Notrufeinrichtungen und Bedientasten in einer rollstuhlfahrgerechten Höhe. Der Versorgungsmittelwagen verfügt über 66 vollwertige Sitze und 20 Klappsitze im Mehrzweckraum.

Der Anschlusswagen bildet die Schnittstelle zum Triebfahrzeug. Er besitzt daher abweichend von den anderen Wagen wie der Steuerwagen lediglich an einem Wagenende eine Kurzkupplung und einen geschlossenen Wagenübergang. Am anderen, der Lokomotive zugewandten Seite ist der Anschlusswagen mit einer Zug- und Stoßeinrichtung und Seitenpuffer ausgerüstet. In den auf der Marschbahn eingesetzten Anschlusswagen befinden sich an dem der Lokomotive zugewandten Ende ein Dienstabteil für den Zugbegleiter und das 1.-Klasse-Abteil. Ein Teil des Wagens ist für 2.-Klasse vorgesehen. In diesem Wagen

---

<sup>8</sup> Eine behindertenfreundliche Toilette zeichnet sich dadurch aus, dass sie von einem Rollstuhlfahrer genutzt werden kann und erforderliche Notrufeinrichtungen installiert sind und Funktionstasten auf einer rollstuhlfahrgerechten Höhe angeordnet sind. Der Rollstuhlfahrer ist jedoch innerhalb der WC-Zelle in seiner Bewegungsfreiheit eingeschränkt; das Waschbecken ist nicht unterfahrbar.

stehen insgesamt 68 vollwertige Sitzplätze, von denen 26 2.-Klasse-Sitze und die übrigen 42 1.-Klasse-Sitze sind.

Steuer-, Ergänzungs- und Anschlussmittelwagen verfügen über keine eigene Energieversorgung und keine eigene Batterie; sie werden von je einem Versorgungsmittelwagen mit versorgt. In diesem sind der Hilfsbetriebeumrichter und die Batterie untergebracht.

Ein Versorgungsmittelwagen und ein Steuer-, Ergänzungs- oder Anschlusswagen bilden ein „married pair“. Hieraus ergeben sich zum einen die Mindestlänge des Wagenzuges und zum anderen die möglichen Kombinationen. Ein Wagenzug aus einstöckigen Fahrzeugen besteht aus mindestens vier Wagen, d.h. aus einem Steuerwagen, zwei Versorgungswagen und einem Anschlusswagen. Je einer der beiden Versorgungswagen liefert dem Steuerwagen und dem Anschlusswagen die erforderliche Energie.<sup>9</sup>

### 2.1.3 Doppelstöckige Wagen

Der deutsche Markt für doppelstöckige Wagen wird von den bei Bombardier Transportation, vormals Waggonbau Görlitz GmbH, gebauten Fahrzeugen dominiert.<sup>10</sup> Mit Doppelstockwagen anderer Hersteller gibt es auf dem deutschen Streckennetz keine Erfahrungen im Regionalverkehr. Die nachfolgende Betrachtung konzentriert sich daher auf die von Bombardier Transportation für den deutschen Markt gebauten Doppelstockwagen.

Ein aus Doppelstockwagen zusammengesetzter Wagenzug besteht aus einem Steuerwagen und einer beliebigen, nur durch die Leistungsfähigkeit der Lokomotive begrenzten Anzahl an Mittelwagen.

Die Steuer- und Mittelwagen sind bis zu einer Geschwindigkeit von 160 km/h zugelassen, wenn sie mit einer Magnetschienenbremse ausgestattet sind. Sie verfügen über jeweils zwei Türen je Wagenseite. Die Einstiegshöhe des Steuerwagens beträgt 600 mm. Je nach Bauart haben die Mittelwagen einen „Hocheinstieg“ auf 1.150 mm über SOK oder einen Tiefeinstieg auf 600 mm über SOK. Die Türen der Hocheinstiege sind über den Drehgestellen angeordnet, während bedingt durch die Höhe der Drehgestelle die Türen des Niederflureinstiegs zwischen den Drehgestellen angeordnet sind. Im weiteren sollen aus Gründen der Vereinfachung nur die Doppelstockmittelwagen mit Hocheinstieg betrachtet werden.

---

<sup>9</sup> Die Ausstattung des Steuerwagens mit einer eigenen Energieversorgung und Batterie ist in Vorbereitung. Aus einem Steuerwagen mit Versorgungseinrichtungen lässt sich ein kurzer Wagenzug bestehend aus einem Steuerwagen und einem Anschlusswagen bilden. Vgl. Scharf (2005).

<sup>10</sup> Anfang der 1990er Jahre galt die Waggonbau Görlitz GmbH zu den weltweitführenden Produzenten von Doppelstockwagen. (Vgl. Krüger/Dabbehl [1992].) Die in großen Stückzahlen im Regionalverkehrsbereich der DB Regio eingesetzten Doppelstockwagen oder der Verkauf dieser Wagen ins Ausland wie z.B. Israel, Luxemburg und Dänemark deuten darauf hin, dass der von Bombardier gebaute Doppelstockwagen weiterhin zu den weltweit führenden Produkten gezählt werden kann.

Jeder Wagen ist standardmäßig mit Klimaanlage ausgerüstet, die an einem Wagenende im Bereich des Drehgestells unter dem Dach installiert ist. Die Versorgungstechnik ist jeweils an einem Wagenende im Bereich der Drehgestelle untergebracht. Zur Versorgungstechnik gehören in der Hauptsache der Hilfsbetriebeumrichter und die Batterie.

Standardmäßig ist der Steuerwagen mit einem Mehrzweckraum für die Beförderung von Fahrgästen mit Kinderwagen, sperriger Freizeitausrüstung wie Surfbretter und Fahrräder oder viel Gepäck sowie von Fahrgästen, die auf einen Rollstuhl angewiesen sind, ausgestattet. Den Rollstuhlfahrern steht dem Mehrzweckraum angegliedert eine behindertengerechte Toilette zur Verfügung.<sup>11</sup> Dieser Fahrgastgruppe wird das Ein- und Aussteigen durch Überfahrampen ermöglicht. Diese befinden sich am Wagenende, das dem Führerraum am nächsten liegt. Die Rampe ermöglicht es den Rollstuhlfahrern, von Bahnsteigen mit einer Höhe von 38 cm bis 76 cm barrierefrei den Zug zu befahren und diesen wieder zu verlassen. In der DB-Standardausstattung ist im Steuerwagen neben dem Führerraum die 2.-Klasse mit 68 vollwertigen Sitzplätzen und 23 Klappsitzen untergebracht.

Die Steuerwagen sind mit einer Zeitmultiplexen Wendezugsteuerung (ZWS) ausgestattet. Mit dieser Technik wird das Triebfahrzeug vom Führerraum des Steuerwagens aus geführt; die Technik ermöglicht den Wendezugbetrieb. Das Wagenende, in dem der Führerraum untergebracht ist, ist für den Einbau einer automatischen Kupplung für die Umsetzung von Betriebskonzepten wie Mehrfachtraktion, Flügeln oder Stärken und Schwächen vorbereitet. Mehrfachtraktion wird über den Einbau des WTB realisiert. Mit ihm ist die beliebige Reihung und Stellung der einzelnen Zugeinheiten wie bei Triebzügen möglich.

Die Wagen sind abhängig von den Anforderungen des Bestellers ausgestattet.<sup>12</sup> In der DB-Standardausstattung gibt es doppelstöckige Mittelwagen mit 1.- und 2.-Klasse-Sitzen, Wagen nur mit 2.-Klasse-Sitzen, solche, die über einen Mehrzweckraum verfügen und solche, in denen Service-Automaten aufgestellt sind oder in denen Bistro-Bereiche vorgesehen sind. Die Anzahl der vollwertigen Sitzplätze eines Doppelstockwagens hängt entscheidend von der gewählten Ausstattung ab: Ein Doppelstock-Mittelwagen mit reiner 2.-Klasse-Bestuhlung ohne weiterer Sonderausstattung hat beispielsweise bei einem Sitzteiler von 1.870 mm für die vis-à-vis-Sitzgruppe und einem Sitzteiler von 850 mm für die in Reihe angeordneten Sitze eine Kapazität von 131 vollwertigen Sitzen; weitere drei Fahrgäste können auf einem Klappstuhl Platz nehmen. Ein Mittelwagen mit Tiefeinstieg, der über eine 1.- und eine 2.-Klasse-Bestuhlung sowie im Unterstock über einen Mehrzweckraum verfügt, hat bei einem Sitzteiler in der 1.-Klasse von 2.000 mm für die vis-à-vis-

---

<sup>11</sup> Eine behindertengerechte Toilette hingegen ist so groß, dass der Rollstuhlfahrer sich innerhalb der Zelle frei drehen und das Waschbecken mit seinem Rollstuhl unterfahren kann. Die Funktionstasten befinden sich in rollstuhlfahrergerechten Höhe. Zudem ist eine solche Toilette mit den vorgeschriebenen Notruffunktionen ausgestattet.

<sup>12</sup> Vgl. Garbe (1998), S. 58.

Sitzgruppe und 950 mm für die in Reihe angeordneten Sitze eine Kapazität von 67 vollwertigen Sitzen und 27 Klappsitzen.<sup>13</sup>

In der DB-Standardausstattung ist in jedem Mittelwagen eine WC-Zelle untergebracht, die für die Benutzung durch den nicht mobilitätseingeschränkten Fahrgast geeignet ist, für den mobilitätseingeschränkten Fahrgast auf Grund ihrer Größe und ihrer Lage über den Drehgestellen jedoch nicht geeignet ist.

Die Mittelwagen der neuesten Generation zeichnen sich durch eine geringe Breite der Flächen zwischen den Fenstern, der sog. Blindfelder, und einem erhöhten Sitzkomfort im Unter- und Oberstock aus. Mit der geringen Breite der Blindfelder erhöht sich die Anzahl der Fenster je Wagenseite; und damit die Flexibilität in der Sitzanordnung. Die konstruktive Möglichkeit der beliebigen Sitzanordnung, die durch die Verwendung von C-Profilen am Fahrzeugkasten ermöglicht wird, wird nun nicht mehr durch zu breite Blindfelder eingeschränkt. Ein erhöhter Sitzkomfort ließ sich durch die Anhebung des Wagenbodens von 340 mm auf 440 mm und eine Verbreiterung des Fahrzeugkastens um 10 mm erreichen. Durch die erste Maßnahme vergrößerte sich die Beinfreiheit im Unterstock; durch die zweite Maßnahme entfielen die Fußbodenschrägen im Oberstock.

Die Stärke der Doppelstockfahrzeuge liegt in einer im Vergleich zu einstöckigen Fahrzeugen um ungefähr 40% höheren Sitzplatzkapazität; damit lässt sich ein höheres Fahrgastaufkommen bewältigen, ohne Bahnsteige verlängern zu müssen. Das zur Verfügung stehende Umgrenzungsprofil wird weitestgehend ausgenutzt.<sup>14</sup>

#### **2.1.4 Einstöckige Triebzüge**

Während dem Regionalverkehrsmarkt zahlreiche dieselangetriebene Triebzüge zur Verfügung stehen, ist die Zahl der einstöckigen Elektrotriebzüge für den Regionalverkehr gering. Die folgenden Zugkonzepte konnten gefunden werden:

- Coradia Lirex (LHB),<sup>15</sup>
- Talent (Elektrotriebzug; Bombardier) und
- ET BR425 und 426 (Bombardier/Siemens).

Der Coradia Lirex befindet sich in der Einführungsphase; er ist für den Einsatz im Großraum Stockholm vorgesehen. Der Talent ist speziell für den Einsatz bei den Österreichischen Bundesbahnen entwickelt worden. Beide Zugkonzepte werden nicht gewählt, da benötigtes Datenmaterial nicht vorlag. Die ET's der Baureihe BR425 und der Baureihe BR426 werden in größerem Umfang bei der DB Regio im Regionalverkehr eingesetzt.<sup>16</sup>

<sup>13</sup> Vgl. z.B. Bombardier (2005i) und Bombardier (2005e).

<sup>14</sup> Vgl. Garbe/Ivanauskas/Sausner (1995), S. 204.

<sup>15</sup> Vgl. FAZ (2005b), Müller (2001), Fischer (2002).

<sup>16</sup> Vgl. DB (2003), S. 4 und 5.

Die Triebzüge der Baureihe BR425 (ET 425) und BR426 (ET 426) sind Teil der Triebzugfamilie der DB Regio AG, zu der auch die im S-Bahn-Verkehr eingesetzten Baureihen BR423 und BR424 gehören. ET 425 und ET 426 sind baugleich; sie unterscheiden sich in ihrer Länge.<sup>17</sup>

Auf Grund des gewählten Fokus der Arbeit, Fahrzeugtypen des Regionalverkehrs miteinander zu vergleichen, sind die für den ausschließlichen S-Bahnbetrieb konzipierten Baureihen BR423 und BR424 im Rahmen dieser Arbeit nicht relevant. Der zum ET 425 ergänzende Betrieb des ET 426 wird als nicht wirtschaftlich erachtet. Im ET 426 ist eine vom ET 425 abweichende elektrische Ausrüstung eingebaut, woraus dem Betreiber beispielsweise zusätzliche Bevorratungskosten entstünden.<sup>18</sup> Mit dem Einbau abweichender Komponenten entstehen dem Betreiber zudem höhere Wartungs- und Instandhaltungskosten.

Der ET 425 ist für den Betrieb auf Hauptbahnen im Mischverkehr mit dem schnellen Fernverkehr geeignet. Der ET 425 weist eine Fahrleistung von 2.352 kW, eine Anfangsbeschleunigung von 1,0 m/s<sup>2</sup> und eine Höchstgeschwindigkeit von 160 km/h auf.<sup>19</sup> Die Antriebsleistung wird über vier der fünf Drehgestelle auf die Schiene gebracht, wobei jedes der angetriebenen Drehgestelle über zwei angetriebene Achsen verfügt. Am Kopfende des Triebwagens wird ein herkömmliches Drehgestell verwendet, während die unter den Enden der benachbarten Wagen verwendeten Gestelle Jakobsdrehgestelle sind. Die Achsfolge ist Bo' (Bo') (2') (Bo') Bo'.<sup>20</sup> Mit den Jakobsdrehgestellen lassen sich breitere Fahrzeugkasten realisieren, ohne dass die Lichtraumprofile überschritten werden.<sup>21</sup>

Zu den konstruktiven Charakteristika des Fahrgastraumes des ET 425 zählen:<sup>22</sup>

- Einstiegshöhe von 798 mm über SOK, die bei niedrigeren Bahnsteighöhen über Trittstufen erreichbar ist;
- eine niveaugleiche Durchgängigkeit;
- Transparenz zwischen Fahrgast- und Führerraum;
- eine auf die Ansprüche des Regionalverkehrs ausgerichtete Anzahl von 2 Türen je Fahrzeug und Seite, d.h. acht Türen je Zügeinheit und Wagenseite;<sup>23</sup>

---

<sup>17</sup> Die in den jeweiligen Baureihen eingebauten Komponenten sind grundsätzlich die gleichen. Der bei den Baureihen BR424 bis BR426 zu realisierende niedrigere Wagenboden erfordert den Einbau von Komponenten, die auf Grund ihrer Abmessungen für niederflurige Fahrzeuge geeignet sind. Diese Komponenten sind teurer als die im ET423 eingebauten Komponenten. Vgl. Falk (2000), S. 166-167.

<sup>18</sup> Vgl. Falk (2000), S. 166.

<sup>19</sup> Falk (2000), S. 163.

<sup>20</sup> Vgl. Falk (2000), S. 165.

<sup>21</sup> Vgl. Engel (2003), S. 16.

<sup>22</sup> Vgl. Falk (2000), S. 163-167.

<sup>23</sup> Die Baureihe BR423 verfügt auf Grund des im S-Bahnverkehrs erforderlichen zügigen Fahrgastwechsels über 4 Türen mehr auf jeder Bahnsteigseite.

Zur DB-Standardausstattung des ET425 gehören:<sup>24</sup>

- eine behindertenfreundliche Toilette je Triebzugeinheit;<sup>25</sup>
- zwei Hub-Schwenklifte je Triebzugeinheit,
- zwei Mehrzweckräume von insgesamt 16 m<sup>2</sup>,
- Fahrgastinformationssysteme.

Mit dem für die DB-Standardausstattung gewählten Sitzteiler von 1.645 mm für die vis-à-vis-Sitzgruppe, der gewählten Anzahl und Größe der Mehrzweckräume und der eingebauten behindertenfreundlichen Toilette stehen in dieser Ausstattung 176 vollwertige Sitzplätze und 26 Klappsitze den Fahrgästen zur Verfügung. Der Zug bietet zudem weiteren 228 Fahrgästen Stehraum.<sup>26,27</sup>

Die wesentlichen Kennwerte des ET425 sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Kennwert	
Länge über Puffer [m]	67,5
Gewicht [t]	113,0
Achsfolge	Bo' (Bo') (2') (Bo') Bo'
Anfahrbeschleunigung [m/s <sup>2</sup> ]	1,0
Höchstgeschwindigkeit [km/h]	160
Anfahrzugkraft [kN]	k.A.
Leistung [MW]	2,35

**Tabelle 2** Kennwerte des ET425.  
Quelle Falk (2000), S. 165.

Die technischen Komponenten sind im Wesentlichen auf dem Dach und unter dem Wagenboden untergebracht. Auf dem Dach sind der Stromabnehmer, Oberspannungswandler und die Vakuum-Hauptschalter sowie Geräte für die Kühlung, Lüftung und Heizung. Unter dem Wagenboden ist die Traktions-, Hilfsbetriebe- und Druckluftausrüstung untergebracht. Weitere, im Fahrgastraum unterzubringende Komponenten wie beispielsweise die Ölausdehnungsgefäße sind unter den Sitzen untergebracht und reduzieren damit nicht den Fahrzeuginnenraum.<sup>28</sup>

<sup>24</sup> Vgl. Falk (2000), S. 165, und DB Region (2003a).

<sup>25</sup> Die Verwendung des Attributs „geeignet“ lässt darauf schließen, dass die Toilettenzelle nicht groß genug ist, damit sich ein Rollstuhlfahrer in ihr frei bewegen kann. Eine Behinderten geeignete Toilette wird damit im Sinne einer „behindertenfreundlichen“ Toilette verstanden.

<sup>26</sup> Vgl. DB Regio (2003a).

<sup>27</sup> Diese Kapazität lässt sich jedoch nur auf Grund des gewählten Sitzteilers und der gewählten Sitztypen realisieren. Der gewählte Sitztyp und Sitzteiler werden vom Fahrgastverband „ProBahn“ auf der Grundlage einer von ihm durchgeführten Fahrgastbefragung im Raum Bayern als ungeeignet für die im Regionalverkehr üblicherweise längeren Reiseweiten beurteilt. Ein erhöhter Sitz- und damit Reisekomfort ließe sich seiner Ansicht nach durch den Einbau eines anderen Sitztyps bei einem größeren Sitzteiler erreichen. Hierdurch müsste vom Betreiber eine um 20% geringere Sitzplatzkapazität hingenommen werden; es stünden dann noch lediglich 140 vollwertige Sitze zur Verfügung. Vgl. Wiegner/Moy (2003), S. 30.

<sup>28</sup> Vgl. Falk (2000), S. 168.

Eine Einheit des ET 425 setzt sich aus je zwei Triebwagen und zwei Mitteltriebwagen zusammen. Die Länge über Puffer dieser vierteiligen Einheit beträgt 67,50 m. Er kann in 4-fach-Traktion gefahren werden; wobei er auch mit Zügen der Baureihe BR426 gekuppelt werden kann. Während die vier Teile einer Einheit fest miteinander verbunden sind und sich nur in der Werkstatt voneinander trennen lassen, lassen sich die Einheiten über die an ihrem jeweiligen Ende angebrachten Scharfenberg-Kupplungen im Betrieb automatisch zusammenkuppeln und voneinander trennen.<sup>29</sup>

### 2.1.5 Doppelstöckige Triebzüge

Der Markt der doppelstöckigen Elektrotriebzüge ist nicht stark ausgeprägt. Vorrangig ist das begrenzte Angebot an doppelstöckigen Triebzügen auf konstruktive Grenzen zurückzuführen:

Abmessungen und Masse der notwendigen Technikkomponenten wie Antriebsanlagen und Hilfs- und Nebenbetriebe standen bisher den betrieblichen und wirtschaftlichen Anforderungen entgegen. Im Gegensatz zu einem lokbespannten Zug, in dem die gesamte Antriebstechnik kompakt in der Lokomotive untergebracht werden kann, ist der im Triebzug zur Verfügung stehende Raum auf die Bereiche für Technik und für Fahrgastbeförderung aufzuteilen; der Bedarf an Fläche für Installation der Technik steht dem Bedarf an Fläche für die Fahrgastbeförderung gegenüber.

Eine möglichst hohe Sitzplatzkapazität lässt sich realisieren, indem ein möglichst großer Teil der Fahrzeuglänge doppelstöckig konstruiert ist. Beim gegenwärtigen Stand der Drehgestelltechnik ist der doppelstöckige Bereich auf die Bereiche zwischen den Drehgestellen beschränkt.<sup>30</sup> Erfordert die vorhandene Bahnsteighöhe einen Hocheinstieg, so sind die Bereiche über den Drehgestellen auf die Einstiegsbereiche, die Treppen und die Technik zu verteilen. Mit der Weiterentwicklung der Antriebstechnik und Leistungselektronik wurde die Realisierung von Doppelstocktriebzügen möglich.<sup>31</sup>

Eine weitere Grenze ergibt sich aus dem für den doppelstöckigen Fahrzeugkasten geeigneten Materialien. Ein stabiler doppelstöckiger Fahrzeugkasten ließ sich bisher lediglich mit hohem Materialeinsatz realisieren, wodurch sich ein hohes Eigengewicht und damit ungünstigere Beschleunigungseigenschaften ergaben. Mit der Entwicklung von Leichtbau-techniken konnten diese Grenzen überwunden werden.

---

<sup>29</sup> Vgl. Falk (2000), S. 167.

<sup>30</sup> Vgl. Zeevenhooven (1990), S. 16. Stand der Technik sind die beispielsweise in den von Bombardier Transportation in ihren einstöckigen Reisezugwagen eingebauten Drehgestelle, die es erlauben, den Wagenboden auf einer Höhe von 860 mm über SOK anzuordnen; mit dem in Europa weiterhin gültigen Lichtraumprofil ist damit ein doppelstöckiger Bereich über den Drehgestellen weiterhin nicht möglich. Bei Verwendung von Einzelradlaufwerken könnte sich ein über die gesamte Fahrzeuglänge doppelstöckiger Bereich realisieren lassen. Entsprechende Züge befinden sich in der Projektierungsphase und konnten sich noch nicht im betrieblichen Alltag beweisen; vgl. Arnold (2003), S. 23 und ProBahn (2005).

<sup>31</sup> Vgl. z.B. Banke et al. (2001), S. 181, oder Krüger/Dannehl (1992), S. 484-485.

Dem deutschen Regionalverkehrsmarkt stehen grundsätzlich vier Doppelstocktriebzug-Konzepte zur Verfügung:<sup>32</sup>

- Desiro-Doppelstocktriebzug RABe514 von Siemens,
- Coradia Duplex von Alstom,
- Doppelstocktriebzug Baureihe BR445 von Bombardier,
- Talgo 22 von Talgo.

Im Weiteren werden die Doppelstocktriebzüge von Alstom, Bombardier und Talgo nicht weiter betrachtet. Bezüglich des Doppelstocktriebzuges von Alstom liegen keine Erkenntnisse über seinen Realisierungsgrad vor. Entsprechende und tiefergehende, für den in dieser Arbeit durchzuführenden Vergleich der Zugkonzepte erforderliche Informationen konnten nicht beschafft werden.<sup>33</sup> Der von Bombardier entwickelte Triebzug existiert als Prototyp; eine Umsetzung ist nicht absehbar. Die für die Durchführung des Vergleichs erforderlichen Informationen standen nicht zur Verfügung.<sup>34</sup> Der Doppelstocktriebzug Talgo 22 von Talgo existiert bisher lediglich als Entwurf.<sup>35</sup> Der von Siemens entwickelte Doppelstocktriebzug hingegen befindet sich in der Realisierung. Eine Auslieferung ist für Ende 2005 vorgesehen. Er soll im S-Bahnnetz des Zürcher Verkehrsverbundes eingesetzt werden. Die Eignung für den Einsatz im Regionalverkehr wird angenommen.

Eine Einheit des Siemens-Doppelstocktriebzuges RABe 514 besteht aus vier Wagen mit einer Gesamtlänge von 100,00 m. In jedem Wagen befinden sich je Wagenseite zwei Türen. Die auf einer Einstiegshöhe von 600 mm angeordneten Türen verfügen über eine lichte Weite von 1.400 mm, die in Verbindung mit großzügigen Einstiegsbereichen einen zügigen Fahrgastwechsel erlauben. Die beiden Mittelwagen der Zürcher Ausstattung verfügen über je einen Mehrzweckraum; in einem ist eine behindertenfreundliche Toilette untergebracht. Der RABe514 hat in der für den Einsatz in der Schweiz vorgesehenen Ausstattung 304 vollwertige Sitze und 18 Klappsitze in der zweiten Klasse sowie 74 Sitze in der ersten Klasse. Für 613 Fahrgäste steht im Zug Stehraum zur Verfügung.<sup>36</sup>

Der RABe514 verfügt über eine Anfahrbeschleunigung von 1,1 m/s<sup>2</sup> und eine Anfahrzugkraft von 240 kN. Er erbringt eine Leistung von 3,2 MW. Der Triebzug erreicht in der für die Schweiz umgesetzten Variante eine Höchstgeschwindigkeit von 140 km/h. Für die

---

<sup>32</sup> Für die Niederländischen Eisenbahnen ist von Bombardier ein Doppelstocktriebzug entwickelt worden und bereits in der zweiten Generation dort im Betrieb. Der Zug ist jedoch auf die speziellen Bedürfnisse der Niederländischen Eisenbahnen hin entwickelt – beispielsweise Ausrichtung auf Gleichstrombetrieb – und damit nicht für den Einsatz im deutschen Schienennetz geeignet. Für eine Beschreibung dieses Zugkonzeptes: vgl. z.B. Venemans/Heinze/Hertkens (1995).

<sup>33</sup> Für eine Beschreibung des von Alstom entwickelten Doppelstock-Triebzugkonzeptes vgl. z.B. Knitter (2000).

<sup>34</sup> Eine ausführliche Beschreibung des Doppelstock-Triebzugkonzeptes findet sich z.B. in Banke et al. (2001).

<sup>35</sup> Vgl. ProBahn (2005).

<sup>36</sup> Vgl. Winzer/Hillmann (2004), S. 111. und Siemens (2002), Folie 6.



vorliegende Arbeit wird jedoch davon ausgegangen, dass er auf Grund der eingebauten ICE-Drehgestelle für eine Höchstgeschwindigkeit von 160 km/h geeignet ist.<sup>37</sup>

Die Kennwerte des RABe514 sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Kennwert	
Länge über Puffer [m]	100,00
Gewicht [t]	218,0
Achsfolge	Bo'Bo' 2'2' 2'2' Bo' Bo'
Anfahrbeschleunigung [m/s <sup>2</sup> ]	1,1
Höchstgeschwindigkeit [km/h]	160 <sup>38</sup>
Anfahrzugkraft [kN]	240
Leistung [MW]	3,2

**Tabelle 3** Kennwerte des RABe514.  
Quelle Winzer/Hillmann (2004), S. 111. und Siemens (2002), Folie 6.

Bis zu vier Zugeinheiten des RABe 514 lassen sich zu einem Zugverband zusammenstellen. Die Kommunikation innerhalb einer Zugeinheit wird über den „Multifunction Vehicle Bus“ (MVB) abgewickelt. Die Kommunikation zwischen den Zugeinheiten eines Zugverbandes erfolgt über den „Wired-Train-Bus“ (WTB). Über die Busse werden Informationen der Antriebssteuerung, der Bordnetzversorgung, der Bremssteuerung, der Klimaanlage und des Diagnosesystems ausgetauscht.

Die Energie wird über vier Transformatoren von der Oberleitung dem Antriebsstromrichter und dem Hilfsbetriebsrichter zugeführt. Die Transformatoren sind jeweils an einem Wagenende der Triebwagen untergebracht. Die Antriebsmotoren sind direkt am Drehgestell befestigt; alle vier Achsen eines Triebwagens sind angetrieben. Die Mittelwagen haben Laufachsen. Über den Hilfsbetriebsrichter werden z.B. das Batterieladegerät oder Steckdosen für Reinigungspersonal und Laptopsteckdosen versorgt.<sup>39</sup>

## 2.2 Bewertungsbedeutsame Einflussgrößen

Aus verkehrlichen, betrieblichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen lassen sich Größen ableiten, die Einfluss auf das Ausmaß der Eignung von Zugkonzepten für den Einsatz auf Strecken des Regionalverkehrs haben. All diese Größen können sich grundsätzlich für die Beurteilung von Zugkonzepten eignen; sie werden in diesem Kapitel erläutert. Entsprechend der Differenzierung der Rahmenbedingungen lassen sich die Einflussgrößen in verkehrliche, betriebliche und wirtschaftliche Einflussgrößen einteilen.

<sup>37</sup> Vgl. Winzer/Hillmann (2004), S. 111. und Siemens (2002), Folie 6.

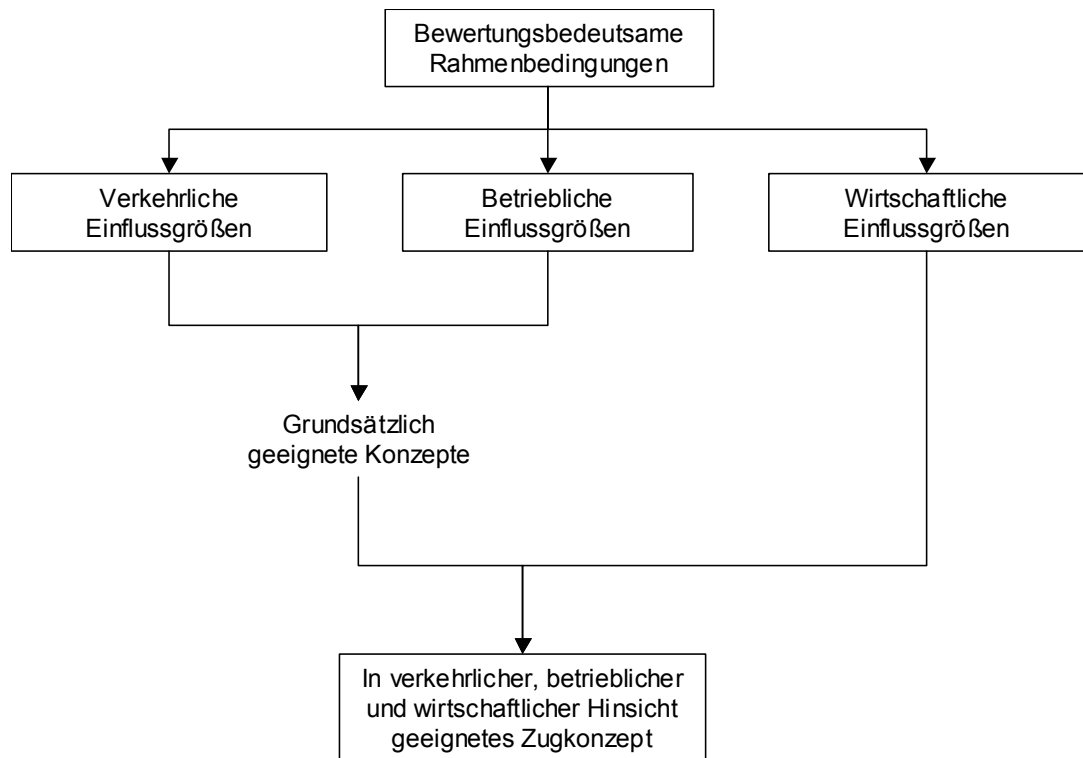
<sup>38</sup> In der Schweiz wird eine Höchstgeschwindigkeit von 140 km/h realisiert. Bei den eingebauten Drehgestellen handelt es sich um die Drehgestelle, die im ICE verwendet werden. Daher wird davon ausgegangen, dass der RABe514 für 160 km/h konstruktiv geeignet ist.

<sup>39</sup> Vgl. Winzer/Hillmann (2004), S. 110-112.

Während alle drei Gruppen an Einflussgrößen auf die Eignung eines Zugkonzeptes für den Einsatz auf einer Strecke wirken, bestimmen verkehrliche und betriebliche Rahmenbedingungen darüber, ob ein betrachtetes Zugkonzept für die vorgesehene Strecke grundsätzlich geeignet ist. Möglicherweise müssen konzeptionelle Änderungen vorgenommen werden.

Der beschriebene Wirkungszusammenhang zwischen den Rahmenbedingungen und der Eignung der Zugkonzepte ist in Bild 1 dargestellt.

Aus einer vergleichenden Gegenüberstellung der für jedes Zugkonzept ermittelten Eignung lässt sich das optimale Zugkonzept bestimmen.



**Bild 1** Wirkungszusammenhang der bewertungsbedeutsamen Rahmenbedingungen auf die Eignung von Zugkonzepten.  
Quelle Eigene Darstellung.

In diesem Kapitel werden im Abschnitt 2.2.1 die verkehrlichen, im Abschnitt 2.2.2 die betrieblichen und im Abschnitt 2.2.3 die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen analysiert und mögliche Einflussgrößen benannt.

Die nachfolgend erläuterten Einflussgrößen wurden in einen systematischen Zusammenhang gebracht. Dieser ist in Anlage 1 dargestellt.

### 2.2.1 Verkehrliche Einflussgrößen

Die verkehrlichen Einflussgrößen ergeben sich im Wesentlichen aus den von den Fahrgästen gestellten Anforderungen an die von ihnen benutzten Züge. Ein auf die Anforderungen der Kunden abgestimmtes Verkehrsdienstleistungsangebot stellt für sie eine attraktive Alternative zu anderen Verkehrsträger dar. Je attraktiver ein Verkehrsmittel für einen Fahrgast ist, desto eher wird er dieses nutzen. Ein auf die Kundenanforderungen ausgerichtetes Verkehrsdienstleistungsangebot beeinflusst damit positiv die Betriebseinnahmen des EVU.<sup>40</sup>

Kundenanforderungen können allgemeiner Art und fahrtzweckspezifisch sein. Übliche Fahrtzwecke im Regionalverkehr sind zum einen der Freizeitverkehr, der trotz einer Flexibilisierung der Arbeitszeiten zu einem großen Teil am Sonntag stattfindet und über verhältnismäßig große Distanzen erfolgt<sup>41</sup>. Der Freizeitverkehr zeichnet sich dadurch aus, dass die Fahrgäste des Freizeitverkehrs Fahrräder, Surfbretter oder Skier mit sich führen. Diese Gegenstände schränken die Fahrgäste in ihrer Bewegungsfreiheit beim Ein- und Aussteigen sowie innerhalb des Zuges ein.

Andere Fahrtzwecke sind der Berufs- und Schülerverkehr sowie der Einkaufsverkehr. Die Fahrt zu einem der drei letztgenannten Zwecke erfolgt in der Hauptsache werktags zwischen Montag und Freitag. Bei Reisen zu diesen Zwecken werden i.d.R. lediglich kleinere Taschen mit sich geführt, welche die Reisenden in ihrer Bewegungsfreiheit nicht einschränken.

Ein weiterer Fahrtzweck ist der Urlaubsverkehr. Fahrten zu solchen Zwecken zeichnen sich dadurch aus, dass auch größere und sperrigere Gepäckstücke mitgeführt werden, die es im Zug unterzubringen gilt. Solche Gegenstände schränken die Fahrgäste in ihrer Bewegungsfreiheit ein. Fahrten, die zu Urlaubszwecken durchgeführt werden, finden im Regionalverkehrsbereich in der Hauptsache nur als Zubringerverkehre zu den Fernreiseknoten statt.

Welche Anforderungen im Einzelnen von den Kunden an eine Verkehrsdienstleistung gestellt werden, war genauer zu untersuchen. Solche Anforderungen lassen sich zum einen direkt ermitteln, indem die Kunden des Regionalverkehrs befragt werden, und zum anderen indirekt durch eine Literaturrecherche. Der erste Ansatz scheidet aus Gründen des für die Erstellung dieser Arbeit vorgegebenen Zeitrahmens aus. Eine methodisch abgesicherte Kundenbefragung mit einem statistisch abgesicherten Ergebnis konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt werden.

Die Kundenanforderungen wurden hingegen auf der Grundlage einer Literaturrecherche herausgearbeitet. Hierzu wurden die Jahrgänge 1997 bis 2004 der Zeitschrift „DER NAH-

---

<sup>40</sup> Vgl. Wagener/Jahn (2000), S. 67.

<sup>41</sup> Vgl. Birgelen/Hammer (1999), S. 65.

VERKEHR“ analysiert. Im Rahmen dieser Analyse ließen sich jedoch keine Quellen finden, die einen direkten Hinweis auf die von den Fahrgästen an die Züge des Regionalverkehrs gestellten Anforderungen gaben. Jedoch konnten Quellen gefunden werden, welche die Kundenanforderungen an die Züge des städtischen Nah- sowie des Fernverkehrs diskutieren. Eine Auswertung und Systematisierung der identifizierten Anforderungen in Anforderungskategorien ist in Anlage 2 dargestellt. Die Anforderungskategorien wurden anschließend daraufhin beurteilt, inwiefern sie für eine Bewertung von Zugkonzepten bedeutsam sein könnten, um sie in einem weiteren Schritt in Kapitel 2.3 auf ihre Bewertungsrelevanz hin zu überprüfen.

Auf den Versuch, die als bewertungsbedeutsam eingestuften Anforderungskategorien hinsichtlich ihrer Bedeutung zu bewerten, wurde verzichtet. Zum einen waren die in den gefundenen Quellen dargestellten Anforderungen nicht immer in eine Rangfolge gebracht, die zu eigenen Auswertungszwecken hätte verwendet werden können, zum anderen ließ es der für diese Arbeit eingeplante Zeitrahmen nicht zu, alternativ Fahrgäste des Regionalverkehrs um eine Wertung der Bedeutung der Anforderungskriterien im Rahmen einer Umfrage zu bitten.

Ohne Wertung der Reihenfolge und ohne Berücksichtigung möglicher Interdependenzen können folgende bewertungsbedeutsame Anforderungskategorien der Fahrgäste des Regionalverkehrs benannt werden:

- Barrierefreiheit,
- Sitzplatzkapazität,
- Komfort und Ausstattung der Fahrzeuge,
- Fahrgastinformationen,
- Pünktlichkeit,
- Reisegeschwindigkeit,
- Fahrgastsicherheit und
- Fahrpreishöhe.

Die Anforderungskriterien werden nachfolgend erläutert.

### **Barrierefreiheit**

Barrierefreiheit bedeutet, dass jede Fahrgastgruppe ohne Hindernis in die Wagen einsteigen, sich in diesen bewegen und diese wieder verlassen kann. Zu den Hindernissen zählen Stufen im Einstiegsbereich und innerhalb des Wagens, ein großer Spalt zwischen Bahnsteigkante und Wagen sowie zu geringe lichte Türweiten.

Treppen im Einstiegsbereich von Zügen dienen der Überbrückung des Höhenunterschiedes zwischen Bahnsteigkante und Höhe des Wagenbodens.<sup>42</sup> Für mobilitätseinge-

---

<sup>42</sup> Vgl. hierzu auch Kapitel 2.2.2, „Bahnsteighöhen“.

schränkte Fahrgäste, d.h. gehbehinderte und ältere Fahrgäste sowie Fahrgäste mit sperrigem Gepäck, Fahrrädern oder anderen Freizeitgegenständen, ist der Zu- und Ausstieg aus Wagen mit Treppen beschwerlich. Sie sind ihnen eine Hürde. Gehbehinderte Fahrgäste, die auf einen Rollstuhl angewiesen sind, bedürfen fremder Hilfe: entweder durch andere Fahrgäste bzw. das Zugpersonal oder durch technische Hilfsmittel wie beispielsweise fest im Wagen montierte oder flexibel an beliebigen Türen auslegbare Überfahrampen oder Hub-Schwenklifte. Treppen sind Rollstuhlfahrern ein Hindernis.

Bei großem Andrang von mobilitätseingeschränkten Fahrgästen kann sich eine Verlängerung der Fahrgastwechselzeit ergeben. Der Einfluss auf die Haltezeit jedoch ist gering.<sup>43</sup> Dennoch ist ein Einfluss auf die Pünktlichkeit nicht auszuschließen.

Treppen innerhalb des Zuges stellen für Gehbehinderte eine Hürde und für Rollstuhlfahrer ein Hindernis dar. Treppen innerhalb eines Zuges tragen dazu bei, dass insbesondere mobilitätseingeschränkte ältere Fahrgäste weitere Angebote im Zug nicht annehmen werden, da sie ihren Platz nicht so schnell nach dem Einnehmen verlassen werden. Treppen schließen den Rollstuhlfahrer von der Nutzung anderer Zugbereiche, die nur über Treppen zugänglich sind, vollständig aus; er ist auf den Bereich angewiesen, den er von der Tür aus ohne weitere Hindernisse erreichen kann.

An höhengleichen Bahnsteigen stellt ein zu großer Spalt zwischen Bahnsteigkante und Fahrzeug eine Gefahrenquelle für Rollstuhlfahrer dar: Die Vorderräder des Rollstuhls können sich zwischen Bahnsteigkante und Fahrzeug verdrehen; der Rollstuhl kann ins Kippen geraten. In Kombination mit einer Treppe im Einstiegsbereich des Fahrzeuges stellen Spalte zwischen Bahnsteigkante und Wagen auch für mobilitätseingeschränkte Fahrgäste eine Gefahrenquelle dar, wenn die unterste Treppe des Fahrzeugeinstiegs unter dem Niveau der Bahnsteigkante liegt. Gehbehinderte und ältere Fahrgäste haben oftmals keine ausreichend große Schrittweite, um mit einem Schritt von der Bahnsteigkante auf die nächst höhere Treppenstufe innerhalb des Fahrzeuges zu gelangen.

Die lichte Türweite ist bei Falttüren die Breite zwischen geöffneter Tür und Türrahmen und bei Schiebeschwenktüren die Breite zwischen den geöffneten Türen. Die lichte Weite sollte ausreichend groß sein, damit ein Rollstuhlfahrer zu- bzw. aussteigen kann. Ist die lichte Weite zu gering, kann der Rollstuhlfahrer von der Nutzung des Zuges ausgeschlossen werden. Dies ist in jedem Fall zu vermeiden. Fahrgästen mit sperrigem Gepäck sind zu enge Türweiten eine Hürde, die den Ein- bzw. Ausstieg beschwerlich und damit langwierig machen. Es kann zu einer verlängerten Fahrgastwechselzeit an der Haltestelle kommen. Der Einfluss auf die Haltezeit ist gering.<sup>44</sup> Dennoch ist ein Einfluss auf die Pünktlichkeit nicht auszuschließen.

---

<sup>43</sup> Vgl. Künzel/Flunkert (2003), S. 53.

<sup>44</sup> Vgl. Künzel/Flunkert (2003), S. 53.

Je weniger Barrieren dem Fahrgast beim Ein- und Aussteigen sowie bei der Fortbewegung im Zug entgegenstehen, desto positiver wird ein Zugkonzept von ihm bewertet.

### **Sitzplatzkapazität**

Die Sitzplatzkapazität eines Zuges ist die Menge der Sitzplätze in einem Zug. Hierbei kann es sich um vollwertige fest installierte und in jedem Fall als Sitzplatz zur Verfügung stehende Sitze oder um Klappsitze handeln.

Die Sitzplatzkapazität eines Zuges ergibt sich zum einen aus der Größe der Bereiche innerhalb eines Zuges, die nicht für die Unterbringung der Technik oder für die Aufrechterhaltung des Fahrgastflusses in den und aus dem Zug sowie innerhalb des Zuges benötigt werden. Die Größe des Fahrgastbereiches hängt von der Länge des Zuges, insbesondere von dem Teil der Zuglänge, die für die Montage von Sitzen genutzt werden kann, und von der Fahrzeuginnenbreite ab. Zum anderen bestimmen der gewählte Sitztyp mit seiner Sitzflächentiefe und Lehnenneigung sowie der gewählte Sitzabstand die Anzahl der innerhalb eines Zuges möglichen Sitze.<sup>45</sup>

Ferner hängt die Sitzplatzkapazität von den im Einzelfall geforderten anderen Nutzungsarten im Zug wie, z.B. Mehrzweckräumen, Bereiche für Fahrgastservice, Toilettenzellen und Dienstabteilen, ab.

Durch Mehrzweckräume wird zwar einerseits die Menge der vollwertigen Sitze reduziert, andererseits aber die Menge der Klappsitze erhöht. Eine grundsätzliche Aussage zur Mengensbilanz der Sitzplätze durch die Einrichtung eines Mehrzweckraumes ist an dieser Stelle nicht möglich. In jedem Fall sind sie für eine komfortable Abwicklung des Freizeitverkehrs mit seinen mitgeführten, i.d.R. großvolumigeren Gegenständen wie Fahrräder, Surfbretter oder Kinderwagen unabdingbar. Sie sollten ausreichend groß sein, um insbesondere den am Wochenende verstärkt auftretenden Freizeitverkehr bewältigen zu können.

Bereiche für Catering, Automaten für den Verkauf von Snacks, Getränken und Fahrkarten, eingebaute WC-Zellen und Dienstabteile reduzieren in jedem Fall die Sitzplatzkapazität.

Inbesondere bei längeren Reisewegen, sollte in jedem Fall eine ausreichend hohe Anzahl an Sitzplätzen bereitgestellt werden. Grundsätzlich sollte im Regionalverkehr auf Grund der dort üblichen längeren Reisewege möglichst jedem Fahrgast ein Sitzplatz zur Verfügung stehen. Die tatsächlich erforderliche Sitzplatzmenge ergibt sich einerseits aus den vom Aufgabenträger und/oder EVU gewünschten oder akzeptierten Komfortniveau

---

<sup>45</sup> Die im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Zugkonzepte sind im Wageninneren an den Wänden mit Schienen und in der Wagenmitte mit einem verstärkten Wagenboden ausgerüstet, die es erlauben, Sitze an jeder beliebigen Stelle im Wagen einzubauen. Dadurch ist es möglich, flexibel auf die Aufgabenträgerwünsche zu reagieren.

während der maßgeblichen Spitzenstunde der Strecke, auf welcher das Zugkonzept eingesetzt wird, und dem in dieser Spitzenstunde auftretenden Fahrgastaufkommen.

Je höher die Wahrscheinlichkeit, einen Sitzplatz zu erhalten, desto höher wird die Attraktivität des Zugkonzeptes von den Fahrgästen beurteilt.

### **Komfort und Ausstattung der Fahrzeuge**

Der im Zug angebotene Komfort und die dort vorhandene Ausstattung sind bedeutsam für die Beurteilung der Attraktivität des Angebotes durch die Fahrgäste. Ein Fahrgast möchte in jedem Fall angenehm reisen und vergleicht i.d.R. den Komfort einer Autofahrt und die in diesem vorhandene Ausstattung mit dem bei einer Zugreise angebotenen Komfort und der dort vorhandenen Ausstattung.<sup>46</sup>

Grundsätzlich wird ein Fahrgast, insbesondere auf längeren Strecken, einen hohen Sitzkomfort verlangen. Dieser lässt sich durch den gewählten Sitzabstand und den eingebauten Sitztyp beeinflussen. Kriterien für die Beurteilung des Sitzkomforts sind Lehnenneigung, Sitzflächentiefe und Sitzflächenbreite. Die Wahl des Sitztyps kann im Einzelfall durch die für den Wagentyp spezifische Innenraumbreite, zumindest durch die Querschnittsform des Wagenkastens, eingeschränkt werden.<sup>47</sup>

Die in einem Zug vorhandenen Ausstattungen tragen zu der vom Fahrgast empfundenen Attraktivität bei, da sie den Komfort beeinflussen. Bedeutendes Ausstattungsmerkmal ist die Klimaanlage.<sup>48</sup> Die Klimaanlage sollte ausreichend stark dimensioniert sein; insbesondere sollte sie derart ausgelegt sein, dass sie ausreichend leistungsfähig ist, um bei voller Besetzung auch an Tagen mit höherer Luftfeuchtigkeit für ein angenehmes Klima zu sorgen.

Der Fahrkomfort wird zudem von der Laufruhe und dem Innenschallpegel beeinflusst. Dem Fahrgast wird es nur schwer möglich sein, sich zu entspannen, wenn er auf Grund einer mangelhaften Laufruhe „gerüttelt“ wird und der Innenschallpegel zu hoch ist. Laufruhe ist auch von Bedeutung, wenn der Fahrgast arbeiten möchte.

Den Fahrgästen wird das Arbeiten während ihrer Reise ermöglicht, wenn die Fahrzeuge beispielsweise mit Leseleuchten, Notebooksteckdosen und Tischen ausgestattet sind. Versorgungsautomaten oder Restaurationsbereiche erhöhen für diejenigen Fahrgäste die Attraktivität, die beispielsweise vor der Reise keine Zeit hatten, sich zu verpflegen.

---

<sup>46</sup> Vgl. TEWET (2005b), S. 14.

<sup>47</sup> Ein Beispiel dafür, wie durch einen veränderten Wagenkastenquerschnitt Innenraumbreite gewonnen werden kann, ist der von Bombardier Transportation entwickelte Elektrotriebzug „Talent“. Vgl. Engel (2003), S. 16.

<sup>48</sup> Es kann davon ausgegangen werden, dass Wagen ohne Klimaanlage auf dem Verkehrsmarkt nicht mehr nachgefragt werden; vgl. TEWET (2005b), S. 14.

Je besser der angebotene Komfort zu den persönlichen Anforderungen des einzelnen Fahrgastes passt, desto höher wird die Attraktivität des Verkehrsangebotes von ihm eingeschätzt.

### **Fahrgastinformationen**

Um ihr Handeln planen zu können, benötigen die Fahrgäste aktuelle Informationen über ihre Fahrt. Beispielsweise soll beim Einsteigen erkennbar sein, in welchen Zug mit welchem Ziel und welchen Unterwegshalten die Fahrgäste einsteigen; innerhalb des Zuges sind sie an Informationen über die Einhaltung des Fahrplanes, bevorstehende Halte und Anschlussmöglichkeiten, sowie im Zug zusätzlich angebotene Dienstleistungen interessiert. Je besser der Fahrgast sich mit Hilfe eines installierten Fahrgastinformationssystems orientieren kann, desto höher wird die Attraktivität beurteilt.

Die Informationen sollten dynamisch sein, d.h. stets den aktuellen Stand wiedergeben. Sie sollten optisch und akustisch vermittelt werden. Dies stellt sicher, dass behinderte Fahrgäste gleichfalls das Informationsangebot wahrnehmen können.

### **Pünktlichkeit**

Pünktlichkeit bedeutet, dass der auf einer Strecke eingesetzte Zug den vorgegebenen Fahrplan auch unter ungünstigen Witterungsbedingungen und bei voller Ausnutzung der Kapazität im Bereich schwieriger topographischer Verhältnisse einhalten kann. Verspätete Züge können besonders bei integralen Taktfahrplänen weitreichende negative Auswirkungen auf die Pünktlichkeit anderer Züge haben. Der Fahrgast möchte stets pünktlich sein, da er z.B. Anschlussverbindungen erreichen oder wichtige Termine verabredungsgemäß wahrnehmen möchte.

Mit dem Grad der Pünktlichkeit steigt die Attraktivität des Verkehrsangebotes. Bei kurzen Haltestellenabständen wird die Fähigkeit des Zuges, den Fahrplan einzuhalten, durch sein Beschleunigungs- und Bremsvermögen bestimmt;<sup>49</sup> während bei längeren Haltestellenabständen die erreichbare Höchstgeschwindigkeit des Zuges bzw. die zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit von größerem Einfluss ist.<sup>50</sup>

### **Reisegeschwindigkeit**

Die Reisegeschwindigkeit ergibt sich aus der auf die Gesamtfahrzeit zwischen Start- und Zielort bezogenen Entfernung zwischen diesen beiden Orten. Der Fahrgast möchte so kurz wie möglich unterwegs sein. Je höher die Reisegeschwindigkeit ist, desto attraktiver ist das Verkehrsangebot für den Fahrgast.

---

<sup>49</sup> Auf die Einflussfaktoren des Beschleunigungs- und Bremsvermögens wird in Kapitel 2.2.2, "Betriebsablaufbedingte Einflussgrößen" näher eingegangen.

<sup>50</sup> Vgl. TEWET (2005a), S. 26.



Eine hohe Reisegeschwindigkeit lässt sich bei kurzen Haltestellenabständen durch ein hohes Beschleunigungs- und Bremsvermögen erreichen. Bei größeren Haltestellenentfernungen ist die vom Zug erreichbare Höchstgeschwindigkeit bzw. die zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit von Bedeutung.<sup>51</sup>

### **Fahrgastsicherheit**

Die Fahrgastsicherheit ist hinsichtlich ihres empfundenen Ausmaßes von der Einzelperson abhängig. Das Sicherheitsempfinden wird beispielsweise durch Nötigung und Bedrohung, Raub, Körperverletzung, Sachbeschädigung oder Taschendiebstahl beeinflusst.<sup>52</sup> Diese Taten beschränken sich nicht alleine auf die Fahrzeuge, sondern können auch an den Haltestellen registriert werden.

Der Fahrgast möchte nach Möglichkeit nicht belästigt werden oder durch beschädigte Ausstattung den Eindruck vermittelt bekommen, nicht sicher zu sein.<sup>53</sup> Je sicherer der Fahrgast sich fühlt, desto attraktiver wird er das Verkehrsangebot beurteilen. In welchem Ausmaß sich die empfundene Sicherheit durch diese Maßnahmen erhöht, kann nicht beurteilt werden.

Maßnahmen zur Erhöhung der empfundenen Sicherheit sind beispielsweise der Einbau von Videokameras, Notruffunktionen und einer gegen Vandalismus resistenten Ausstattung sowie eine Erhöhung der Transparenz in den Fahrzeugen. In ihnen kann eine erhöhte Transparenz erreicht werden, indem der Führerraum mit einer Glaswand vom Fahrgastraum getrennt wird und der Zug sich von jedem Platz aus überblicken lässt.<sup>54</sup>

### **Fahrpreishöhe**

Der vom Fahrgast zu entrichtende Fahrpreis wird im Regionalverkehr i.d.R. durch Tarifbestimmungen des Verkehrsverbundes festgelegt, in dessen Netz die Züge verkehren. Der für eine Strecke festgelegte Fahrpreis kann mit den Kosten konfliktieren, die dem EVU durch den Einsatz eines bestimmten Zugkonzeptes auf der Strecke entstehen. Diese Einsatzkosten enthalten nicht nur die Kosten des Betriebes, sondern auch die Kosten, die dem EVU dadurch entstehen, dass es die Fahrzeuge während der gesamten Projektlaufzeit einsetzen kann. Die auf eine Laufleistungseinheit umgerechneten Kosten des Zuges, die über die gesamte Vertragslaufzeit entstehen, sollten nicht höher sein als der pro Laufleistungseinheit erzielte Fahrpreis.

Die Fahrpreishöhe kann als bedeutende Einflussgröße auf die Attraktivität eines Verkehrsangebotes bewertet werden. Fahrgäste wägen i.d.R. ab zwischen dem für eine

---

<sup>51</sup> Vgl. TEWET (2005a), S. 26.

<sup>52</sup> Vgl. Meyer (1999), S. 8.

<sup>53</sup> Auf den Zusammenhang zwischen Vandalismus und kriminellen Delikten wie z.B. Nötigung, Bedrohung oder Raub weist Meyer (1999), S. 8, hin.

<sup>54</sup> Vgl. Meyer (1999), S. 9-11.

Bahnfahrt zu zahlenden Fahrpreis und dem Nutzen, den sie daraus im Vergleich zum Auto als alternatives Fortbewegungsmittel ziehen. Ist der Nutzen insgesamt größer, den sie aus der Nutzung des Zuges ziehen, so werden die Fahrgäste auch einen Fahrpreis akzeptieren, der über den Kosten einer Autofahrt liegt. Vergleichskriterien für die Feststellung des Nutzengewinns durch eine Zugfahrt sind zum Beispiel der angebotene Sitzkomfort, die Möglichkeit zu arbeiten, zu entspannen und zu kommunizieren.

Aus Sicht des Fahrgastes sollte der Fahrpreis so niedrig wie möglich sein, wobei Fahrgäste natürlich bei zusätzlichem Service bereit sind, einen höheren Fahrpreis zu entrichten.

Je besser das Verhältnis von Fahrpreis zu zusätzlichem Nutzen ist, desto besser wird ein Fahrgast ein Verkehrsangebot hinsichtlich seiner Attraktivität beurteilen.

### **2.2.2 Betriebliche Einflussgrößen**

Die Abwicklung des Eisenbahnbetriebes hat zur Voraussetzung, dass sich das vorgesehene Zugkonzept auf der vorhandenen Infrastruktur überhaupt einsetzen lässt und der Betriebsablauf auf die gewünschte Weise möglich ist und nicht den Betriebsablauf anderer Züge stört. Das Zugkonzept muss zu den infrastrukturellen Rahmenbedingungen und den Rahmenbedingungen des betrieblichen Ablaufes passen. Im Folgenden soll daher auch von „Infrastruktureller Passfähigkeit“ und von „Betrieblicher Passfähigkeit“ gesprochen werden. Aus den infrastrukturellen Rahmenbedingungen und den Rahmenbedingungen des Betriebsablaufes konnten die infrastruktur- und betriebsablaufbedingten Einflussgrößen abgeleitet werden. Beide Gruppen an Einflussgrößen werden nachfolgend erläutert.

#### **Infrastrukturbedingte Einflussgrößen**

Die infrastrukturbedingten Einflussgrößen spiegeln die sich aus der vorhandenen Infrastruktur ergebenden Rahmenbedingungen wider, die von dem für den Einsatz vorgesehenen Zugkonzept einzuhalten sind. Werden diese Rahmenbedingungen nicht eingehalten, dann ist der Einsatz des vorgesehenen Zugkonzeptes nicht möglich.

Die Einsatzfähigkeit eines Zugkonzeptes, d.h. seine infrastrukturelle Passfähigkeit, auf einer Strecke ist gegeben, wenn:

- die Versorgung des Triebfahrzeuges mit der benötigten Energie möglich ist,
- die aufgrund der Streckenklasse zulässigen Radsatz- und Meterlasten nicht von der maximalen Radsatz- und Meterlast des eingesetzten Zuges überschritten wird,
- das auf dem maßgeblichen Streckenabschnitt vorhandene Lichtraumprofil nicht überschritten wird,

- die vorhandene maßgebliche Bahnsteiglänge an der Strecke nicht kürzer als der Zug ist und
- die Einstiegshöhe über SOK und die Bahnsteigkantenhöhe über SOK zueinander passen.<sup>55</sup>

### Energie

Triebfahrzeuge können grundsätzlich entweder mit Diesel oder mit elektrischer Energie versorgt werden. Während ein mit Diesel angetriebener Zug auch auf elektrifizierten Strecken betrieben werden kann, ist es nicht möglich, einen elektrisch angetriebenen Zug auf einer nicht elektrifizierten Strecke zu fahren. Wird ein dieselangetriebener Zug eingesetzt, dann müssen entsprechende Infrastruktureinrichtungen, das sind in der Hauptsache Befüllungsanlagen, an der Strecke vorhanden sein.

### Streckenklasse

Die Streckenklasse ist eine Kategorisierung der auf einzelnen Strecken oder Streckenabschnitten zulässigen Belastbarkeit des Oberbaus. Kenngrößen der Belastbarkeit sind die Radsatzlast als der auf einen Radsatz entfallende Anteil der Gesamtlast und die Meterlast als Quotient aus Zuggesamtmasse und Zuggesamtlänge über Puffer. Jede Streckenklasse repräsentiert folglich eine auf einer Strecke oder einem Streckenabschnitt maximal zulässige Radsatzlast und eine zulässige Meterlast. Es lassen sich vier Radsatzlastklassen A bis D und vier Meterlastklassen 1 bis 4 unterscheiden. Insgesamt gibt es neun unterschiedliche Klassen.<sup>56</sup>

Die Radsatz- und Meterlast eines auf einer bestimmten Strecke eingesetzten Zuges darf nicht größer sein als die zulässige Radsatz- und Meterlast des maßgeblichen Streckenabschnittes.

### Lichtraumprofil

Lichtraumprofile sichern einen ausreichenden Abstand zwischen einem fahrenden Zug und Gegenständen, Einrichtungen und Personen im unmittelbaren Umfeld. Damit werden die Gefahren reduziert, die von einem fahrenden Zug auf diese Gegenstände, Einrichtungen und Personen ausgehen. Die Lichtraumprofile sind in der EBO<sup>57</sup> definiert. Je nach Einsatzgebiet der Züge gelten unterschiedliche Lichtraumprofile. In keinem Fall darf ein Fahrzeug größer als das maßgebliche Lichtraumprofil sein.

---

<sup>55</sup> Vgl. TEWET (2005a), S. 28 u. 33.

<sup>56</sup> Vgl. DB Cargo AG (2001), S. 14, und §19 EBO.

<sup>57</sup> Vgl. §22 EBO.

### Bahnsteiglänge

Um einen reibungslosen Betrieb sicherzustellen, sollten Züge nicht länger als die kürzeste nutzbare Gleislänge, d.h. die Länge des Gleises zwischen Ausfahr-, Zwischensignal oder Halttafel einerseits und dem zurückliegenden Grenzzeichen oder Isoliersignal andererseits, in den bedienten Bahnhöfen und nicht länger als der kürzeste von ihnen bediente Bahnsteig sein.<sup>58</sup>

Die Länge eines Zuges lässt sich in verschiedene Bereiche einteilen:

- Bereiche, die für den Betrieb des Zuges erforderlich sind („Betriebsbereiche“);
- Bereiche, von denen eine Gefährdung der Fahrgäste ausgeht und deren Nutzung durch Fahrgäste aus Sicherheitsgründen daher nicht zulässig ist („nicht nutzbare Verkehrsfläche“);
- Bereiche, die den Fahrgästen während der Nutzung zur Verfügung stehen („Nutzfläche“).

Die Länge des Zuges berechnet sich entsprechend:

$$\text{(Formel 2-1) } \mathit{L\ddot{a}nge}_{\text{Zug}} = \mathit{L\ddot{a}nge}_{\text{Betriebsbereiche}} + \mathit{L\ddot{a}nge}_{\text{Verkehrsfläche, nicht nutzbar}} + \mathit{L\ddot{a}nge}_{\text{Nutzfläche}} \text{ [m]}$$

Die Betriebsbereiche können in:

- Führerraumbereich,
- Bereiche für Einrichtungen der Technik und
- Maschinenraumbereiche

eingeteilt werden.

Führerraumbereiche finden sich beispielsweise beim Triebzug an den beiden Enden, beim Lok bespannten Zug zum einen im Steuerwagen und zum anderen auf dem Triebfahrzeug. Bereiche für Technik enthalten die Einrichtungen zur Stromversorgung des Fahrzeuges, d.h. z.B. den Hilfsbetriebeumrichter und die Batterie. Maschinenräume können bei Triebzügen im Zug verteilt sein oder bei ausreichendem Platz unter oder über dem Fahrgastraumbereich verteilt unter dem Wagenboden bzw. auf dem Wagendach befestigt sein. Bei lokbespannten Zügen ist die gesamte Antriebstechnik im Triebfahrzeug untergebracht. Die Maschinenräume enthalten die notwendige Antriebstechnik.

Zu den nicht nutzbaren Verkehrsbereichen zählen die

- Wagenübergangsbereiche und
- Treppenbereiche.

Diese Bereiche ermöglichen den Fahrgastfluss innerhalb des Zuges.

---

<sup>58</sup> Vgl. Pätzold et al. (2001), §34 EBO, Rn 16.

Die Nutzflächen können für die Montage von Sitzen, für Mehrzweckräume, für WC-Zellen oder Bereiche für Catering, verwendet werden.

Ist der Zug länger als die kürzeste nutzbare Gleislänge eines von ihm bedienten Bahnhofes, dann ist sicherzustellen, dass die zurückliegende Fahrstraße auf keinen Fall aufgelöst wird, solange der Zug am Bahnsteig hält. Die Sicherheit des Betriebes ist zu gewährleisten.

Züge des Personenverkehrs können regelmäßig länger als die Bahnsteige sein, „(...)wenn die Sicherheit der Reisenden durch betriebliche Anweisungen gewährleistet ist.“<sup>59</sup> Mittels der betrieblichen Anweisungen ist sicherzustellen, dass die Fahrgäste nur im Bereich der Bahnsteige aus- und einsteigen. Für die Übermittlung der Weisungen eignet sich örtliches und Zugpersonal.<sup>60,61</sup>

Alternativ bietet es sich insbesondere bei lokbespannten Zügen an, die Lokomotive außerhalb des Bahnsteiges zum Halten zu bringen. Wird der lokbespannte Zug gezogen und befindet sich das Ausfahrtsignal unmittelbar am Bahnsteigende, so ist die dem Bahnsteig nachfolgende Fahrstraße bereits freizugeben, damit die Lokomotive das Ausfahrtsignal überfahren kann. Wird der lokbespannte Zug geschoben, so ist die zurückliegende Fahrstraße erst nach Verlassen des Bahnhofes aufzulösen. In keinem Fall darf es zu betrieblichen Konflikten mit anderen Zügen kommen.

Eine andere Lösung stellt die Verlängerung des Bahnsteiges dar. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass die betrieblichen Rahmenbedingungen dies zulassen. Eine Bahnsteigverlängerung kann die Verlegung von Weichen und Fahrstraßenzugschlussstellen notwendig machen. Es ist im Einzelfall zu überprüfen, ob diese Maßnahmen sich realisieren lassen.

Ungeachtet der technischen Realisierbarkeit ist die Frage der Übernahme der Kosten aus einer Bahnsteigverlängerung zu klären. Denkbar ist die Kostenübernahme durch das EVU, dem beispielsweise ein wirtschaftliches, jedoch für die vorgesehene Strecke zu langes Zugkonzept zur Verfügung steht. Der Betreiber wird bereit sein, die Kosten einer Bahnsteigverlängerung zu übernehmen, wenn nach Einrechnung dieser zusätzlichen Kosten die Gesamtkosten seines Zugkonzeptes niedriger bleiben als die Gesamtkosten eines anderen Zugkonzeptes.

---

<sup>59</sup> §34, Abs. 8 EBO.

<sup>60</sup> Vgl. Pätzold et al. (2001), §34, Rn 16.

<sup>61</sup> Ein Beschluss des Verwaltungsgerichtes Köln vom 3. Juni 1998 lässt offen, auf welche Art betriebliche Anweisungen zum Aus- und Einstieg im Bereich des Bahnsteiges zu übermitteln sind. In jedem Fall muss sichergestellt sein, dass die Anweisungen die ein- und aussteigenden Fahrgäste erreichen. Lautsprecherdurchsagen zur Übermittlung der Anweisungen werden vom Verwaltungsgericht in jedem Fall ausdrücklich verneint. Nach seiner Auffassung funktionieren Lautsprecheranlagen nicht zuverlässig; es ist folglich nicht gewährleistet, dass die Anweisungen die ein- und aussteigenden Fahrgäste auch erreichen. Vgl. Pätzold et al. (2001), §34 EBO, Rn 16a.

### Bahnsteighöhe

Im deutschen Regionalverkehrsnetz existieren Bahnsteige mit unterschiedlichen Höhen; selbst innerhalb eines Teilnetzes oder auf einer Strecke variiert die Bahnsteighöhe. Übliche Bahnsteighöhen im deutschen Regionalverkehrsnetz sind 380 mm, 550 mm und 760 mm.<sup>62,63</sup> Eine umfassende Abstimmung der Wageneinstiegshöhe auf die vorhandenen Bahnsteighöhen ist folglich nicht möglich. Es ist jedoch möglich, eine Einstiegshöhe zu wählen, die so häufig wie möglich der vorhandenen Bahnsteigkantenhöhen entspricht. Dennoch wird es sich nicht vermeiden lassen, dass ein Zug an einem Bahnsteig hält, dessen Kante unter oder über dem des Wagenbodens liegt.

Liegt die Bahnsteigkantenhöhe unterhalb des Wagenbodens, so ist der Zugang zum Zug über Treppen herzustellen, die entweder als Klapptrittstufen oder Schiebetrittbretter außerhalb des Wagens bzw. als feste Stufen innerhalb des Wagens ausgeführt sind. Treppen zwischen Bahnsteigkante und Wagenboden verlängern die Fahrgastwechselzeit.<sup>64</sup> Sie stellen zudem für mobilitätseingeschränkte Fahrgäste eine Barriere dar.<sup>65</sup>

Der Fall, dass die Bahnsteigkante oberhalb des Wagenbodens liegt, tritt nur bei Wagen mit Tiefeinstieg, d.h. mit Einstiegshöhen, die auf 600 mm über SOK liegen, ein, wenn diese an Bahnsteigen mit einer Kantenhöhe von 760 mm halten. Dieser Fall sollte vermieden werden, da es zu längeren Fahrgasteinsteigerzeiten und damit zu längeren Fahrgastwechselzeiten kommt. Das Ergebnis einer von Westphal (1976) durchgeführten empirischen Studie über die Fahrgastwechselzeiten bei Fernreisezügen der Deutschen Bahn, die zu diesem Zeitpunkt über Stufen im Wageninneren des Einstiegsbereiches verfügten, lässt sich auf die beschriebene Konstellation übertragen. Längere Aussteigerzeiten werden mit einer größeren Unsicherheit der aussteigenden Fahrgäste erklärt.<sup>66</sup> Übertragen auf die beschriebene Konstellation muss es dann heißen: Eine größere Unsicherheit der aussteigenden Fahrgäste führt zu längeren Einsteigerzeiten und damit zu längeren Fahrgastwechselzeiten.

Eine von der DB Regionalbahn Rhein-Ruhr GmbH durchgeführte empirische Untersuchung des Regionalverkehrs im Rhein-Ruhr-Gebiet zeigte jedoch, dass die Fahrgastwechselzeit lediglich einen geringen Einfluss auf die Haltezeit im Bahnhof hat.<sup>67</sup>

---

<sup>62</sup> Vgl. Bitterberg (1996), S. 18.

<sup>63</sup> Vgl. z.B. Bitterberg (1996) für eine Diskussion über die im deutschen Bahnnetz optimale Bahnsteighöhe.

<sup>64</sup> Vgl. Schuren (2002), S. 29.

<sup>65</sup> Vgl. Kapitel 2.2.1, „Barrierefreiheit“.

<sup>66</sup> Vgl. Westphal (1976), S. 423.

<sup>67</sup> Vgl. Künzel/Flunkert (2003), S. 53.

### **Betriebsablaufbedingte Einflussfaktoren**

Die betriebsablaufbedingten Einflussgrößen spiegeln die an den Fahrbetrieb gestellten Anforderungen wider. Einerseits muss das vorgesehene Zugkonzept auf die vorgesehene Art und Weise eingesetzt werden können. Mögliche Betriebsweisen sind z.B.

- Wenden,
- Stärken und Schwächen sowie
- Flügeln.

Ferner sollte das Zugkonzept geeignet sein, die Verkehrsnachfrage zu bewältigen. Eine Bewältigung der Nachfrage wird dann möglich sein, wenn der Zug über eine ausreichende Sitzplatzkapazität verfügt. Auf die Sitzplatzproblematik ist bereits in Kapitel 2.1.1, „Sitzplatzkapazität“ eingegangen worden.

Andererseits darf der Zug den Betriebsablauf anderer Züge nicht stören. Anderen Zügen muss es möglich sein, die Strecke zu dem von ihnen gewünschten Zeitpunkt für die von ihnen gewünschte Zeitspanne zu nutzen. Eine Störung des Betriebsablaufes der anderen Züge wird hervorgerufen, wenn ein Zug nicht den vorgegebenen Fahrplan einhält. Gründe hierfür können darin liegen, dass:

- der Haltevorgang oder
- die Fahrzeit zwischen zwei Punkten

länger als geplant dauern.

Auf die möglichen Betriebskonzepte und Störeinflüsse wird nachfolgend eingegangen.

#### Wenden

Das Betriebskonzept „Wenden“ bedeutet, dass ein Zug in umgekehrter Richtung aus dem Bahnhof ausfährt, in den er eingefahren ist. Ein Wechsel der Lokomotive ist nicht erforderlich. Der Zug wird i.d.R. von einem Steuerwagen aus geführt. Voraussetzung für dieses Konzept ist die ZWS.

Mit dem Betriebskonzept „Wenden“ kann die Zugumlaufhäufigkeit erhöht werden, wodurch sich die Anzahl der für die Bedienung einer Linie benötigten Fahrzeuge reduziert. Dadurch können die Investitionskosten und damit der Gesamtaufwand reduziert werden; schließlich wird die Wirtschaftlichkeit günstig beeinflusst.

#### Stärken und Schwächen

Das Stärken und Schwächen dient der bedarfsgerechten Anpassung der Sitzplatzkapazitäten an die über die Strecke schwankende Nachfrage. Beim Stärken wird eine zusätzliche Einheit an der Grenze des hohen Aufkommens in den Zugverband eingestellt. Schwächen hingegen ist der umgekehrte Fall; hierbei wird eine Einheit des Zugverbandes

an der Grenze des hohen Aufkommens abgekuppelt. Die bedarfsgerechte Anpassung reduziert die Anzahl der auf einer Linie benötigten Fahrzeuge und damit über die Investitionskosten die Gesamtkosten die Wirtschaftlichkeit.

### Flügeln

Das Betriebskonzept „Flügeln“ bezeichnet das Trennen eines Zugverbandes in mindestens zwei eigenständige Einheiten in einem Punkt auf der Strecke. Die voneinander getrennten Einheiten fahren in unterschiedliche Richtungen weiter. Von diesen Richtungen kommend werden die Einheiten in ihrem Trennpunkt auch wieder zu einem Zugverband zusammengekuppelt.

Die Bedeutung dieses Konzeptes liegt in einer erhöhten Anzahl umsteigefreier Verbindungen zwischen Zentren und entlegenen ländlichen Gebieten mit geringerem Fahrgastaufkommen. Für die Fahrgäste erhöht sich die Taktfrequenz.

Voraussetzung insbesondere bei lokbespannten Zügen ist der WTB und eine automatische Kupplung.

### Haltevorgang

Der Haltevorgang wird maßgeblich durch eine verspätete Ankunft beeinflusst. Die Ein- und Ausstiegsverhältnisse an der Schnittstelle Bahnsteig/Wagen und damit die Fahrgastwechselzeiten sowie das praktizierte Abfertungsverfahren beeinflussen in nur unwesentlichem Ausmaß die Haltezeit.<sup>68</sup> Folglich ist es von Bedeutung, dass es zu keinen Verspätungen kommt, sondern die festgelegte Fahrzeit zwischen zwei Punkten auch eingehalten wird und der Zug damit pünktlich ist.<sup>69</sup>

### Fahrzeit

Wie bereits festgestellt, wird die Fahrzeit zwischen zwei Punkten wesentlich durch die Anfahrbeschleunigung und die mögliche Bremsverzögerung bestimmt, wenn die Haltestellenabstände gering sind. Bei größeren Haltestellenabständen hingegen verlieren Beschleunigungs- und Bremsvermögen an Bedeutung; vielmehr wird die erreichbare Höchstgeschwindigkeit maßgeblich.<sup>70</sup>

Das Beschleunigungs- und Bremsvermögen werden durch die zu bewegende Gesamtmasse des Zuges und den Haftwert zwischen angetriebenem Rad und der Schiene beeinflusst. Ist der Haftwert hoch, so kann ein großer Teil der aufgebrachten Leistung als Zugkraft auf die Schiene gebracht werden und damit ein hohes Beschleunigungs- und Bremsvermögen erreicht werden. Der Haftwert wiederum hängt beispielsweise von den

<sup>68</sup> Vgl. Künzel/Flunkert (2003), S. 50 und 53.

<sup>69</sup> Vgl. Kapitel 2.2.1, „Pünktlichkeit“, für die Einflussgrößen auf die Pünktlichkeit.

<sup>70</sup> Vgl. Kapitel 2.2.1, Gliederungspunkt „Pünktlichkeit“, sowie TEWET (2005a), S. 26-27.



Witterungsbedingungen ab: Auf trockenen und sauberen Schienen ist der Haftwert am größten, während er beispielsweise unmittelbar nach Regenbeginn nach länger anhaltender Trockenzeit besonders niedrig ist.<sup>71</sup> Weitere Einflussfaktoren sind beispielsweise die Fahrgeschwindigkeit und die Triebfahrzeugeigenschaften.<sup>72</sup>

Die vom Zug erreichbare Höchstgeschwindigkeit hängt zum einen von der Leistungsfähigkeit des Fahrmotors ab und zum anderen von der aufbringbaren Zugkraft, die wiederum vom Haftwert und der zu bewegenden Gewichtsmasse des Zuges abhängt.

Auf die formelmäßigen Zusammenhänge kann an dieser Stelle nicht eingegangen werden. Hierzu sei auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen.<sup>73</sup>

In jedem Fall sollten die auf einer Strecke eingesetzten Züge über ein ausreichendes Beschleunigungs-, Brems- und Leistungsvermögen verfügen, so dass sie auch unter klimatisch widrigen Bedingungen in topografisch schwierigen Verhältnissen bei einer hohen Zuggesamtmasse in der Lage sind, den vorgegebenen Fahrplan einzuhalten.

### 2.2.3 Wirtschaftliche Einflussgrößen

Wirtschaftliche Einflussgrößen bestimmen die Wirtschaftlichkeit von Zugkonzepten. Wirtschaftlichkeit ist ein ökonomisches Prinzip, welches das Handeln von Entscheidungsträgern – in diesem Fall das sich um den Betrieb einer ausgeschriebenen Strecke bewerbende EVU – bestimmt. Das Wirtschaftlichkeitsprinzip kann wie folgt definiert werden:<sup>74</sup>

$$\text{Wirtschaftlichkeit} = \frac{\text{Ertrag}}{\text{Aufwand}}$$

(Formel 2-2)

Aufgrund zahlreicher Vorgaben in Ausschreibungsunterlagen bestimmt sich die Wirtschaftlichkeit eines Angebotes im Wesentlichen aus dem gewählten Zugkonzept. Das EVU wird das Zugkonzept wählen, mit dem es eine möglichst hohe Wirtschaftlichkeit erreicht. Hohe Wirtschaftlichkeit eines Zugkonzeptes ist gegeben, wenn der aus dem Einsatz des gewählten Zugkonzeptes erzielbare Ertrag in einem möglichst günstigen Verhältnis zu dem durch dieses Zugkonzept verursachten Aufwand steht. Im Idealfall wird das EVU so handeln, dass es einen maximalen Ertrag mit minimalem Aufwand erzielt, d.h., es wird nach dem Prinzip handeln: Maximiere die Wirtschaftlichkeit!<sup>75</sup>

Bei der Forderung nach einem möglichst günstigen – im Idealfall optimalen – Verhältnis aus Aufwand und Ertrag handelt es sich um das sogenannte „allgemeine Extremumprinzip“ als eine von drei Ausprägungsformen des Wirtschaftlichkeitsprinzips. Die beiden an-

<sup>71</sup> Moderne Steuerungstechnik erlaubt es auch bei schlechten Witterungsverhältnissen, das maximale Beschleunigungs- und Bremsvermögen auszunutzen. Vgl. Schätzer (2005a).

<sup>72</sup> Vgl. Filipović (2005), S. 33-34.

<sup>73</sup> Vgl. z.B. Filipović (2005) oder Kraus (1986).

<sup>74</sup> Vgl. Wöhe (2000), S. 48.

<sup>75</sup> Vgl. Domschke und Scholl (2000), S. 3.

deren Formen des Wirtschaftlichkeitsprinzips lassen sich differenzieren in das Maximumprinzip, nach dem mit gegebenem Aufwand ein maximaler Ertrag zu erwirtschaften ist, und das Minimumprinzip, nach dem ein angestrebter oder erwünschter Ertrag mit minimalem Aufwand erreicht wird.<sup>76</sup>

Die Ertragsseite wird im Wesentlichen durch die Inanspruchnahme des Verkehrsangebotes durch potentielle Fahrgäste bestimmt wird. Sie werden das Verkehrsangebot annehmen, wenn es ihren Anforderungen entspricht, die sie daran stellen; wenn das Verkehrsangebot also ausreichend attraktiv für sie ist. Wie sich unterschiedliche Ausprägungen der Attraktivität auf den erzielbaren Ertrag auswirken, lässt sich nicht sicher beurteilen. Im Nachfolgenden soll die Ertragsseite daher nicht näher betrachtet werden.

Die Aufwandsseite wird im Wesentlichen durch das gewählte Zugkonzept beeinflusst: Mit der Wahl des kostengünstigsten Zugkonzeptes minimiert der Betreiber seinen Aufwand und ermöglicht damit eine möglichst hohe Wirtschaftlichkeit.

Werden Zugkonzepte an dem Aufwand, den sie verursachen, miteinander verglichen, ist es von Bedeutung, nicht ausschließlich die Kosten des regelmäßigen Betriebs und die Kosten zur Aufrechterhaltung der Betriebsfähigkeit zu berücksichtigen. Es sind sämtliche über die Lebenszeit des Produktes anfallenden Kosten, d.h. auch Einmalkosten, zu berücksichtigen. Ist die Lebenszeit des Produktes länger als seine geplante Nutzung, so genügt es, lediglich die während der geplanten Nutzungsdauer anfallenden Kosten zu berücksichtigen.

Ein Produkt wird sich nur rentieren, wenn alle während der Lebenszeit oder Nutzungsdauer entstehenden regelmäßigen und einmaligen Kosten durch mindestens genauso hohe Einnahmen während des Produktlebens bzw. der Nutzungsdauer verdient werden können.

Im Kontext dieser Arbeit ergibt sich die Nutzungsdauer aus der Vertragslaufzeit zwischen Aufgabenträger und EVU. Synonym zum Begriff Vertragslaufzeit soll der Begriff „Projektdauer“ sein. Im weiteren soll von der Projektdauer als Zeitraum, innerhalb dessen sämtliche Kosten zu verdienen sind, ausgegangen werden.

Aus der Sicht des EVU fallen innerhalb der Projektdauer eines Zuges die folgenden Kosten an:

- Investitionskosten,
- Betriebskosten,
- Wartungs- und Instandhaltungskosten,
- Restwert (negative Kosten),
- Entsorgungskosten.

---

<sup>76</sup> Vgl. Domschke und Scholl (2000), S. 3.

## Investitionskosten

Die Investitionskosten umfassen alle Kosten, die der Betreiber aufzuwenden hat, um den Betrieb durchführen zu können. Die Investitionskosten setzen sich aus den Kosten für die Anschaffung der Züge selbst und dem Bau von betriebsnotwendiger Infrastruktur zusammen.

Entsprechend der Vergabepraxis haben Eisenbahnverkehrsunternehmen mit der Übernahme des Betriebes neue oder zumindest neuwertige Fahrzeuge auf dem von ihm zu betreibenden Netz einzusetzen. Diese Tatsache erfordert in aller Regel die Investition in neue Fahrzeuge; hiervon sind insbesondere Eisenbahnverkehrsunternehmen betroffen, die anlässlich von Nahverkehrsnetzausschreibungen gegründet werden.<sup>77</sup>

Zu den Kosten der betriebsnotwendigen Infrastruktur zählen beispielsweise Kosten notwendiger und realisierbarer Bahnsteigverlängerungen oder der Bau einer Wartungs- und Instandhaltungswerkstatt. Kosten aus dem Bau der Infrastruktur sind projektspezifisch; zudem hängt es vom Einzelfall ab, welche Partei die aus der Infrastrukturanpassung entstehenden Kosten übernimmt.

Der hohe Kaufpreis für neue Fahrzeuge sowie die aus den im Einzelfall notwendigen Infrastrukturmaßnahmen entstehenden, zum Teil hohen Kosten erfordern eine Vorfinanzierung.<sup>78</sup> Die Rückführung des Finanzierungsbetrages erfolgt in Teilbeträgen in vereinbarter Höhe über eine festgelegte Dauer aus den regelmäßigen Betriebseinnahmen. Finanzmathematisch handelt es sich dabei um eine Abschreibung, deren Höhe sich aus der gewählten Abschreibungsmethode, der gewählten Abschreibungsdauer und dem angestrebten Restwert bestimmt.

Zusätzlich zum Abschreibungsbetrag entstehen weitere Kosten aus der Finanzierung selbst, die in einen projektdauerbezogenen Vergleich mit einzustellen sind: Für den noch nicht durch die Abschreibung zurückgeführten Betrag sind Zinsen zu entrichten. Der im Jahr  $j$  zu entrichtende Zins ergibt sich aus dem am Ende eines Jahres noch nicht zurückgeführten Betrag und dem zwischen EVU als Investor und Kreditgeber vereinbarten Zins. Der vom EVU während des Projektzeitraumes zu erzielende Erlös muss folglich den Kaufpreis für den Zug, im Einzelfall die aus der Durchführung von Infrastrukturmaßnahmen anfallenden Kosten sowie den insgesamt bis zur vollständigen Rückführung des vorfinanzierten Investitionsbetrages zu entrichtenden Zinsbetrag decken. Auf ein Jahr bezogen erhöht sich der vom Betreiber aufzubringende Betrag für Abschreibung um die jährliche Zinslast.

<sup>77</sup> Just (2005a); vgl. auch z.B. VMV (2005), S. 63.

<sup>78</sup> Bundesland- und aufgabenträgerspezifische Vorgaben können den vorzufinanzierenden Betrag reduzieren, wenn öffentliche Fördergelder bereitgestellt werden: Die ab 2005 im S-Bahnbetrieb Halle-Leipzig eingesetzten Doppelstockfahrzeuge wurden beispielsweise vom Freistaat Sachsen mit 50% gefördert, während beispielsweise der VMV als Aufgabenträger im Teilnetz Ostseeküste ausdrücklich den Einsatz von geförderten Fahrzeugen nicht akzeptiert. Vgl. Regierungspräsidium Leipzig (2004) und VMV (2005), S. 63.

### **Betriebskosten**

Die vom Betreiber aufzuwendenden Kosten für die Durchführung des Zugbetriebs setzen sich aus den auf das einzelne Projekt umgelegten Gemeinkosten, den Personalkosten und Kosten für Strom als Energieträger für die Traktionsleistung zusammen.

Gemeinkosten fallen beispielsweise durch die Verwaltungs- und Managementorganisation des EVU an; Personalkosten fallen für den Triebfahrzeugführer und bei Bedarf für Zugbegleitpersonal an.

Die Kosten für Strom ergeben sich aus der tatsächlich durch jedes einzelne Triebfahrzeug netto dem Stromnetz entnommenen Menge an elektrischer Energie oder aus der vertraglich vereinbarten Abnahmemenge sowie dem zwischen EVU und Stromlieferanten vereinbarten Preis für eine Mengeneinheit elektrischer Energie.

Die dem Stromnetz entnommene elektrische Energie wird in Traktionsenergie umgewandelt. Im physikalischen Sinne handelt es sich bei der entnommenen Energie um „Arbeit“, gemessen in Kilowattstunden oder Megawattstunden (kWh bzw. MWh). Wird die für die Erzeugung von Traktionsenergie zur Verfügung gestellte Energie auf einen in der Einheit „Stunden“ ausgedrückten Zeitraum bezogen, so handelt es sich hierbei im physikalischen Sinne um „Leistung“, gemessen in Kilowatt oder Megawatt (kW bzw. MW). Unter der Annahme eines geschlossenen Systems und eines Wirkungsgrades der Antriebseinheit von eins und der Vernachlässigung der über die Zugsammelschiene verbrauchten Energie wird die gesamte, der Antriebseinheit innerhalb eines Zeitraumes zur Verfügung gestellte Energie in Traktionsenergie umgewandelt. Die innerhalb dieses Zeitraumes auf die Schiene gebrachte Traktionsenergie entspricht damit der innerhalb dieses Zeitraumes dem Stromnetz entnommenen Energie.

Energiebedarf entsteht während des Beschleunigungsvorganges und der Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit. Um eine möglichst geringe Beschleunigungszeit zu realisieren, werden die Triebfahrzeuge während des Beschleunigungsvorganges mit Nennleistung betrieben. Sofern die Anhängelast verhältnismäßig gering ist, d.h. die Widerstandskennlinie des Zuges die  $z_v$ -Kennlinie nicht schneidet, wird bei Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit nicht die Nennleistung abgenommen. Der Energiebedarf ist dann deutlich niedriger als während der Beschleunigungsphase. Während des Bremsvorganges erzeugt das Triebfahrzeug seinerseits Strom, der an das Stromnetz zurückgegeben werden kann. Die zurückgespeiste Energie wird dem EVU durch den Stromlieferanten vergütet. Stromrückspeisung ist Stand der Technik.

## **Wartungs- und Instandhaltungskosten**

Wartungs- und Instandhaltungskosten entstehen aus der Durchführung von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten. Aus Gründen der Vereinfachung wird nachfolgend auch von Instandhaltung gesprochen. Der Kurzbegriff „Instandhaltung“ soll auch die Wartung meinen. Im Zuge der Instandhaltung fallen Kosten für das Personal, das die Wartung durchführt, und für Material an. Bei dem Material handelt es sich zum einen um Ersatzteile und zum anderen um Betriebsstoffe.

Die Instandhaltung wird präventiv, d.h. vorbeugend, oder korrektiv, d.h. nach der Entstehung eines Schadens, der den weiteren Betrieb des Fahrzeuges ausschließt, vorgenommen.<sup>79</sup> Am Beispiel des von Bombardier Transportation Services (BTS) für die Landesnahverkehrsgesellschaft Niedersachsen (LNVG) ausgearbeiteten Konzeptes für die Instandhaltung der von dieser Gesellschaft betriebenen doppelstöckigen Wagenzüge werden nachfolgend ohne Anspruch auf eine Gültigkeit für die Instandhaltung von Triebzügen die grundsätzlichen Schritte der präventiven und der korrektiven Instandhaltung dargestellt.<sup>80</sup>

### Präventive Instandhaltung<sup>81</sup>

Die präventive Instandhaltung wird in aller Regel nach Ablauf entweder einer zeitlichen oder einer durch die erbrachte Laufleistung bedingten Frist fällig. Sie dient der Sicherstellung einer jederzeitigen Einsatzbereitschaft der Fahrzeuge. Für Lokomotiven und Wagen gelten unterschiedliche Fristen. Der Forderung nach Ganzzuginstandhaltung kann damit nur dann entsprochen werden, wenn die Fristenpläne entweder bereits herstellerseitig aufeinander abgestimmt werden oder der Instandhalter einen gemeinsamen Fristenplan für Wagen und Lokomotiven aufstellt, der die herstellerseitig vorgegebenen Fristen berücksichtigt.

Entsprechend eines beispielhaften Fristenplanes für eine Lokomotive der Baureihe BR 146.2 wird diese in regelmäßigen Abständen, d.h. ungefähr alle 15.000 km, einer Instandhaltung unterzogen. Der Umfang der durchgeführten Arbeiten hängt von der anstehenden Frist ab. Die Arbeiten reichen von reinen Sichtkontrollen an Fahrwerk und Traktionsausrüstung sowie einer Funktionsüberprüfung der Betriebsleittechnik in der kleinen Nachschau, die alle 15.000 km oder durchschnittlich alle 15 Tage anfällt, wenn nicht eine der anderen Fristen durchzuführen sind, bis hin zum Austausch von Komponenten des Hohlwellenantriebs, der Energieversorgung, der Traktionsausrüstung und des Bremssystems

---

<sup>79</sup> Vgl. BTS (2004).

<sup>80</sup> Vgl. BTS (2004).

<sup>81</sup> Theis (2005).

in der Revision 2, die alle 2,4 Mio. km oder ungefähr alle 8 Jahre fällig wird. Zudem sind alle 400.000 km die Radsatzwellen einer Ultraschallüberprüfung zu unterziehen.<sup>82</sup>

Doppelstockwagen sind alle 30.000 km in die Instandhaltung zu überführen. Die Arbeiten reichen auch hier von einfachen Sichtinspektionen beispielsweise an der Zug- und Stoßeinrichtung, den mechanischen Teilen der Bremse oder einer Funktionskontrolle der Bremsanlage in der alle 30.000 km durchzuführenden Frist F1, wenn keine der anderen Fristen durchzuführen ist, bis hin zu Teilerneuerungen der Zug- und Stoßeinrichtung, der Drehgestelle oder dem Austausch von Türen, Tritten, des Gummiwulstes am Wagenübergang im Rahmen der Revision 1. Bei Bedarf erfolgt eine Erneuerung der Innenausstattung.<sup>83</sup>

Der für die Instandhaltung zuständige Manager überwacht die in seinem Verantwortungsbereich unterstellten Fahrzeuge auf ihre Fristen hin und schlägt dem Fahrzeugdisponenten des Betreibers einen Instandhaltungstermin vor. Wird der Terminvorschlag nicht bestätigt und liegt die tatsächliche Laufleistung außerhalb einer zugelassenen Toleranz, wird das Fahrzeug außer Betrieb gesetzt. Liegt die Laufleistung innerhalb der Toleranz, so wird ein neuer Instandhaltungstermin vorgeschlagen. Wird der Termin bestätigt, dann wird das Fahrzeug zum vorgeschlagenen Termin der Instandhaltung zugeführt. Bis zu dem Instandhaltungstermin sind die erforderlichen Arbeitsvorbereitungen in der Werkstatt getroffen worden und die Instandhaltung beginnt mit Überstellung des Fahrzeuges in die Werkstatt. Nach der Durchführung der erforderlichen Arbeiten und einer abschließenden Kontrolle durch den für Instandhaltung verantwortlichen Manager wird dem Fahrzeugdisponenten des Betreibers der Bereitstellungsort mitgeteilt und die Bereitstellung vorbereitet.

#### Korrektive Instandhaltung<sup>84</sup>

Eine korrektive Instandhaltung wird fällig, wenn eine Störung am Fahrzeug festgestellt wird. Die Störung ist einer der vier Schadensklassen A, B, C, D zuzuordnen.

Störungen wie z.B. der Ausfall des Magnetventils an der Bremsanlage oder der Ausfall von Bremsanlagenmodulen im Führertisch sind der Schadensklasse A zuzuordnen. Eine Weiterfahrt ist nicht möglich. Die Störung ist der Betriebsüberwachung, dem Fahrzeugdisponenten des EVU und dem für Instandhaltung verantwortlichen Manager zu melden. Eventuell ist das Fahrzeug mit fremder Traktionshilfe abzuschleppen. Das abgestellte Fahrzeug ist daraufhin zu überprüfen, ob eine Instandsetzung direkt am Abstellort möglich ist. Ist sie dort möglich, dann ist sie dort auszuführen. Nach Instandsetzung ist die Funktionsfähigkeit des Fahrzeuges vom mobilen Reparaturdienst zu überprüfen und die Repa-

---

<sup>82</sup> Vgl. Bombardier (2005j).

<sup>83</sup> Vgl. Schätzer (2005c).

<sup>84</sup> Vgl. Theis (2005).

ratur als beendet zu melden. Das Fahrzeug kann wieder in den Betriebsdienst übergehen. Ist eine mobile Instandsetzung nicht möglich, so ist ein Instandsetzungstermin in der Werkstatt festzulegen und das Fahrzeug gegebenenfalls mit fremder Traktion termingerecht in die Werkstatt zu überführen.

Störungen im Türsystem oder in der Klimaanlage beispielsweise sind der Schadensklasse B zuzuordnen. Diese Störungen sind ins Bordbuch einzutragen. Bei einer Störung der Schadensklasse B kann die Fahrt bis zum nächsten Streckenendpunkt fortgesetzt werden und das Fahrzeug der Werkstatt zugeführt werden.

Störungen des Fahrgastinformationssystems beispielsweise sind der Schadensklasse C zuzuordnen. Diese Störungen sind ins Bordbuch einzutragen. Die letzte planmäßige Fahrt kann noch durchgeführt werden. Anschließend ist das Fahrzeug der Werkstatt zuzuführen.

Störungen wie z.B. Risse an den Fensterscheiben oder defekte Anzeigen sind der Schadensklasse D zuzuordnen. Diese sind ins Bordbuch einzutragen. Eine Instandsetzung solcher Schäden erfolgt während des nächsten planmäßigen Aufenthaltes in der Werkstatt.

### **Restwert**

Die Kosten des Projektes können sich durch den aus der Veräußerung des eingesetzten Zuges am Projektende erzielten Erlös reduzieren. Technische Entwicklung und der Anspruch des Aufgabenträgers, nur neue oder neuwertige Fahrzeuge in seinem Netz zu akzeptieren, lassen einen Verkaufserlös am Projektende als ungewiss erscheinen. Aus Gründen der Vorsicht sollte daher von einem Verkaufserlös und damit von einem Restwert von Null ausgegangen werden. Die Anschaffungskosten des Zuges sind daher vollständig aus dem Projekt zu finanzieren.

### **Entsorgungskosten**

Bei der Bestimmung der vom Betreiber zu verdienenden Projektkosten brauchen Entsorgungskosten nicht zu berücksichtigt werden. Es wird davon ausgegangen, dass diese nicht auf der Seite des Betreibers anfallen. Es ist zu erwarten, dass der Hersteller von Schienenfahrzeugen in Zukunft analog zur Altautoverordnung für die Entsorgung der von ihm auch in der Vergangenheit hergestellten Produkte verantwortlich ist und er die daraus entstehenden Kosten zu übernehmen hat. Herstellerseitige Kosten werden dann in den Kaufpreis einfließen.

## 2.3 Bewertungskriterien

Die im vorhergehenden Kapitel 2.2 benannten Einflussgrößen werden in diesem Kapitel hinsichtlich ihrer Bewertungsrelevanz beurteilt. Für die als bewertungsrelevant eingestufte Einflussgrößen sind Kennzahlen zu definieren. Sie übernehmen die Funktion der Bewertungskriterien.

In Kapitel 2.3.1 werden die in Kapitel 2.2.1 identifizierten verkehrlichen, in Kapitel 2.3.2 die in Kapitel 2.2.2 identifizierten betrieblichen Einflussgrößen und schließlich in Kapitel 2.3.3 die in Kapitel 2.2.3 identifizierten wirtschaftlichen Einflussgrößen auf ihre Bewertungsrelevanz hin überprüft. Für die als bewertungsrelevant beurteilten Einflussgrößen werden Kennzahlen definiert.

Im Zuge der Beurteilung der Bewertungsrelevanz ist zu beachten, dass die Kriterien objektiv messbar und zugtypspezifisch sind. Ferner verbietet eine systematische Vorgehensweise, Bewertungskriterien für einen allgemeingültigen Vergleich auszuschließen, in der Einzelfallbetrachtung jedoch zu berücksichtigen.

### 2.3.1 Verkehrliche Bewertungskriterien

Die identifizierten bewertungsbedeutsamen verkehrlichen Einflussgrößen sind auf ihre Bewertungsrelevanz hin zu beurteilen. Zunächst werden die als nicht bewertungsrelevant eingestufte Einflussgrößen begründet dargestellt; anschließend die bewertungsrelevanten Größen.

#### Nicht bewertungsrelevante Einflussgrößen

Die folgenden verkehrlichen Einflussgrößen werden als nicht bewertungsrelevant eingestuft:

- Barrierefreiheit:
  - o Spalt zwischen Bahnsteigkante und Wagen,
  - o Lichte Türweite,
  - o Höhendifferenz zwischen Bahnsteig und Wagenboden im Einstiegsbereich;
- Sitzplatzkapazität sowie Komfort und Ausstattung:
  - o Sitztyp,
  - o Sitzteiler,
  - o Ausstattungselemente (z.B. Klimaanlage, Tische, Notebooksteckdosen),
  - o Nutzungsarten,
  - o Innenbreite des Wagenkastens,
  - o Innenschallpegel und Laufruhe;



- Pünktlichkeit und Reisegeschwindigkeit:
  - o Höchstgeschwindigkeit,
  - o Bremsvermögen;
- Fahrgastinformation und Fahrgastsicherheit:
  - o Fahrgastinformationssysteme,
  - o vandalismusresistente Ausstattung,
  - o Transparenz der Züge,
  - o Videokamera und Notruffunktionen;
- Fahrpreishöhe:
  - o Tarifbestimmungen.

### Barrierefreiheit

Die Einflussfaktoren des Kriteriums „Barrierefreiheit“ werden als nicht bewertungsrelevant eingestuft. Der Faktor „Spalt zwischen Bahnsteigkante und Wagen“ ist nicht relevant, da die betrachteten Züge allesamt mit Schiebetrittbrettern oder Klapptrittstufen ausgerüstet sind, die an höhengleichen Bahnsteigen den Spalt zwischen Bahnsteigkante und Wagen schließen.

Der Faktor „Lichte Weite“ unterscheidet sich zwar zwischen den einzelnen im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Zugkonzepte. Keines dieser Zugkonzepte verfügt jedoch über eine derart geringe lichte Türweite, dass sie eine Barriere, insbesondere für Rollstuhlfahrer, darstellt. In ihrer Wertigkeit werden die lichten Türweiten der betrachteten Zugkonzepte als gleich angenommen.

Der Faktor „Höhendifferenz zwischen Bahnsteig und Wagenboden im Einstiegsbereich“ eignet sich nicht für einen allgemeingültigen Vergleich von Zugkonzepten. Es steht der Prämisse der Allgemeingültigkeit entgegen. In welchem Ausmaß dieser Faktor mobilitäts eingeschränkten Fahrgästen eine Barriere ist, hängt von den im Einzelfall vorhandenen Bahnsteighöhen im Netz ab. Eine grundsätzliche Aussage, um welches Maß ein niedrigerer Wagenboden im Einstiegsbereich im Vergleich zu einem höheren Boden besser ist, ist nicht möglich. Ungeachtet davon sollten bei Einzelfallbetrachtung natürlich die Höhe des Wagenbodens im Einstiegsbereich und die Bahnsteighöhe möglichst selten voneinander abweichen oder zumindest möglichst häufig annähernd gleich sein. Kleinere Differenzen im niedrigen Zentimeterbereich werden nicht als Barriere gesehen. Eine systematische Vorgehensweise verbietet, Bewertungskriterien für einen allgemeingültigen Vergleich auszuschließen, in der Einzelfallbetrachtung jedoch zu berücksichtigen.

### Sitzplatzkapazität sowie Komfort und Ausstattung

Die Einflussfaktoren Sitztyp, Sitzteiler, Ausstattungselemente und besondere Nutzungsarten sowie der Einbau einer Klimaanlage, von Tischen und Notebooksteckdosen werden in der Regel vom Besteller des Verkehrsangebotes vorgegeben und müssen bei jedem Zugkonzept erreicht bzw. eingebaut werden. Sie sind nicht zugtypspezifisch, sondern in allen Zugkonzepten gleichermaßen zu finden, sofern diese die Anforderungen des Bestellers erfüllen. Insbesondere bei den Ausstattungselementen kann sogar davon ausgegangen werden, dass sie von den Fahrgästen als selbstverständlich wahrgenommen werden, solange sie vorhanden sind oder funktionieren. Erst wenn sie fehlen oder nicht funktionieren, wird ihre Bedeutung wahrgenommen.

Die Innenbreite der im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Zugkonzepte weichen zwar voneinander ab. Die Abweichung ist jedoch gering. Keines der betrachteten Zugkonzepte ist ausreichend breit, um beispielsweise in der zweiten Klasse eine 2+3-Bestuhlung und in der ersten Klasse eine 2+2-Bestuhlung aufzunehmen, beziehungsweise so schmal, dass sich nur sehr schmale Sitze realisieren lassen, die von den Fahrgästen als unkomfortabel beurteilt werden. Es kann angenommen werden, dass die unterschiedlichen Wagenkastenbreiten lediglich die realisierbare Gangbreite zwischen den Stühlen beeinflussen. Die Schwankungsbreite der in den einzelnen Zugkonzepten bei vorgegebener Bestuhlungsart realisierten Gangbreiten wird jedoch als vernachlässigbar gering angenommen; die Innenbreite hat damit keinen Einfluss auf die Sitzplatzkapazität und einen zu vernachlässigenden Einfluss auf den Komfort. Die Sitzplatzkapazität wird damit maßgeblich von der Zuglänge und der Länge der für den Fahrgastraum verwendbaren Bereiche bestimmt.

Die Faktoren „Innenschallpegel“ und „Laufruhe“ lassen sich theoretisch exakt messen. Die Wirkungsrichtung ihrer Auswirkung ist auch bekannt. Das Ausmaß ihrer Auswirkung auf die Attraktivität und damit auf den Ertrag hängt jedoch von der subjektiven Einschätzung des einzelnen Fahrgastes ab. Ein daraus abgeleitetes Bewertungskriterium wäre nicht objektiv zu beurteilen.

### Pünktlichkeit und Reisegeschwindigkeit

Der Einflussfaktor „Höchstgeschwindigkeit“ wird als eine nicht bewertungsrelevante Einflussgröße eingestuft, da sie für alle im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Zugkonzepte gleich ist.

Das Bremsvermögen wird im Wesentlichen durch den Haftwert sowie die Art der verwendeten Bremse und der Bremsart beeinflusst. Der Haftwert ergibt sich aus den Witterungsbedingungen. Für alle betrachteten Zugkonzepte werden Magnetschienenbremsen und

die gleiche Bremsart angenommen. Zudem wird im Regelbetrieb nicht das volle Bremsvermögen ausgenutzt, um Gefährdungen der Fahrgäste zu vermeiden.<sup>85</sup>

#### Fahrgastinformation und Fahrgastsicherheit

Der Einflussfaktor „Fahrgastinformationssysteme“ und die Einflussfaktoren der Fahrgastsicherheit werden als nicht bewertungsrelevant eingestuft. Mit Ausnahme der Einflussgröße „Transparenz des Zuges“ lassen sie sich auf die Vorgaben des Bestellers zurückführen. Diese Vorgaben gelten einheitlich für alle Zugkonzepte und sind daher zu erfüllen.

Die Erfüllung der Einflussgröße „Transparenz des Zuges“ kann zwar gemessen werden; auch ihre Wirkungsrichtung auf die Attraktivität ist bekannt. In welchem Ausmaß sie jedoch die Attraktivität eines Verkehrsangebotes beeinflusst und darüber wiederum den durch den Betreiber erzielbaren Ertrag, hängt von einer individuell subjektiven Beurteilung ab. Dieser Faktor wird als nicht objektiv betrachtet.

#### Fahrpreishöhe

Die Fahrpreishöhe wird als nicht relevant beurteilt. Der Aufgabenträger gibt den auf der Strecke geltenden Tarif für die Fahrkarten vor. Die Fahrpreishöhe ist damit unabhängig vom eingesetzten Zugkonzept. Ungeachtet dessen sollten die auf den einzelnen Laufkilometer umgelegten Projektzykluskosten den pro Kilometer erzielbaren Fahrpreis nicht übersteigen. Eine Möglichkeit zur Anpassung des Fahrpreises aus der Notwendigkeit heraus, die durch das eingesetzte Zugkonzept entstehenden Kosten zu decken, besteht nicht.

#### **Bewertungsrelevante Einflussgrößen**

Als zugtypspezifisch und damit bewertungsrelevant werden die folgenden verkehrlichen Einflussgrößen eingestuft:

- Sitzplatzkapazität:
  - o Zuglänge;
- Pünktlichkeit und Reisegeschwindigkeit:
  - o Beschleunigungsvermögen;

#### Zuglänge

Die Zuglänge setzt sich aus den Betriebsbereichen, den nicht durch die Fahrgäste nutzbaren Bereichen sowie den für verschiedene Nutzungsarten zur Verfügung stehenden Bereichen zusammen.<sup>86</sup>

---

<sup>85</sup> Vgl. Kraus (1986), S. 26-27.

<sup>86</sup> Vgl. Kap. 2.2.2, Gliederungspunkt „Infrastrukturbedingte Einflussgrößen“, „Bahnsteiglänge“.

Die „Betriebsbereiche“ und die „nicht nutzbare Verkehrsfläche“ werden als nicht geeignet für einen Vergleich der Zugkonzepte bewertet. Die Nutzfläche hingegen wird als bewertungsrelevant eingestuft und nachfolgend näher erläutert. Es werden geeignete Kennzahlen definiert.

Voneinander abweichende Anforderungen unterschiedlicher Aufgabenträger beispielsweise an die Abstände zwischen den Sitzen oder an die Ausstattung mit anderen Nutzungsarten, wie z.B. Mehrzweckraum oder Bereiche für Catering, führen zu einer unterschiedlichen Sitzplatzkapazität in den Zügen. Zudem beeinflussen Dienstabteile und Toilettenzellen die Größe der Bereiche, die für die Unterbringung von Sitzplätzen verwendet werden könnten. Die standardmäßige Sitzplatzkapazität der gewählten Zugkonzepte eignet sich daher nicht für einen Vergleich. Als Bewertungskriterium ist daher eine Größe zu wählen, die nicht individuell beeinflusst werden kann.

Als Bewertungskriterium bietet sich vorrangig die Größe der Bereiche an, die für die Beförderung von Fahrgästen zur Verfügung stehen. Diese schließen auch die Bereiche für andere vom Aufgabenträger oder Besteller als notwendig erachtete Nutzungsarten ein. Eine Größenbetrachtung kann auf die Betrachtung von Längen beschränkt werden. Die Betrachtung der Flächen ist nicht erforderlich, da sich die Breiten der unterschiedlichen Fahrzeuge auf Grund der einzuhaltenden Lichtraumprofile nicht wesentlich voneinander unterscheiden. In keinem der Zugkonzepte sind andere Bestuhlungen als 2+2 Bestuhlung in der 2. Klasse und 1+2 Bestuhlung in der 1. Klasse ohne wesentliche Komforteinbußen für den Fahrgast möglich.<sup>87</sup>

Die Länge, die insgesamt zur Beförderung von Fahrgästen genutzt werden kann, soll als Nutzlänge<sub>II</sub> bezeichnet werden. Sie schließt die Einstiegsbereiche und die anderen für fahrgastbezogene Zwecke nutzbaren Bereiche – kurz: Fahrgastbereiche – des Zuges ein. Die Einstiegsbereiche sind neben den Gängen zwischen den Sitzen zusätzlich für Stehplätze nutzbar. In den Fahrgastbereichen können den Fahrgästen z.B. Sitzplätze oder andere Ausstattungen, wie z.B. Mehrzweckräume, Toiletten, zur Verfügung gestellt werden. Die Nutzlänge<sub>II</sub> lässt sich wie folgt definieren:

(Formel 2-3) 
$$\text{Nutzlänge}_{II} = l_{\text{Einstiegsbereiche}} + l_{\text{Fahrgastbereich}}$$

Im Hinblick auf die Bewertung von Doppelstockzügen erscheint die Nutzlänge<sub>II</sub> nicht für einen aussagekräftigen Vergleich geeignet. Die Nutzlänge<sub>II</sub> soll vielmehr auf die Zuggesamtlänge, d.h. die Länge über Puffer (LüP), bezogen werden. Es lässt sich die zugge-

---

<sup>87</sup> Vgl. Scharf (2005).

samtlängenbezogene Nutzlänge<sub>II</sub> – kurz „Nutzlänge2“ – als Bewertungskriterium definieren:

$$(Formel\ 2-4) \quad Nutzlänge2 = \frac{Nutzlänge_{II}}{LüP} [-]$$

Gemäß Formel 2-4 ist die Nutzlänge2 das Verhältnis des Längenparameters „Nutzlänge<sub>II</sub>“ als Summe der Länge der Einstiegsbereiche und der Länge der Nutzbereiche zur Zuggesamtlänge. Die Nutzlänge2 drückt damit den Anteil der Zuglänge aus, die der Fahrgastbeförderung zur Verfügung steht.

Die Kennzahl „Nutzlänge2“ erhält ihre Bedeutung, wenn durch den Auftraggeber z.B. für die Hauptverkehrszeit in Reichweite des Zielbahnhofs einer Linie eine unter der maßgeblichen Spitzenbelastung liegende Sitzplatzkapazität zugelassen wird. In einem solchen Fall bemisst sich die Eignung eines Zuges nach der maximalen Fahrgastkapazität, d.h. der Sitzplatz- und der Stehraumkapazität.

Ein Zug mit einem im Vergleich zu einem anderen Zugkonzept höheren Kennzahlenwert ist als günstiger zu bewerten. Durch den Einsatz des Zugkonzeptes mit dem höheren Kennzahlenwert ist im Idealfall eine geringere Anzahl an Fahrzeugen erforderlich, um die geforderte Fahrgastkapazität vorzuhalten. Eine geringere Anzahl an Fahrzeugen reduziert die Investitions- sowie die Wartungs- und Instandhaltungskosten. Folglich ist ein EVU an einem möglichst hohen Wert der Kennzahl „Nutzlänge2“ interessiert, wenn Stehplätze in der Kapazitätsberechnung berücksichtigt werden dürfen.

Bei gegebener Zuggesamtlänge impliziert die Forderung nach einem möglichst hohen Wert der Kennzahl „Nutzlänge2“ die Forderung nach einem möglichst hohen Wert des Längenparameters „Nutzlänge<sub>II</sub>“.<sup>88</sup>

Zum Teil strenge Anforderungen der Aufgabenträger an die erforderliche Sitzplatzkapazität und i.d.R. unterschiedliche Ansprüche an die Ausstattungen führen dazu, die Größe der Fahrgastbereiche, d.h. die für fahrgastbezogene Zwecke nutzbaren Bereiche, als Bewertungskriterium heranzuziehen. Analog zur Betrachtung der gesamten, für Fahrgäste zur Verfügung stehenden Bereiche soll bei der Betrachtung der Fahrgastbereiche ebenfalls die Länge als Maßeinheit gewählt werden. Diese Länge soll als „Nutzlänge<sub>I</sub>“ bezeichnet werden. Bestandteile der Nutzlänge<sub>I</sub> sind die Längen der Bereiche für:

- Bestuhlung,
- WC-Zellen,
- Mehrzweckraum,

<sup>88</sup> Die Bedeutung der Nutzlänge2 ist in Anlage 10 verdeutlicht. Dort werden beispielhaft die monetären Auswirkungen betrachtet, die sich aus einer Veränderung des Kennzahlenwertes ergeben.

- Catering und
- Dienstabteil.

Die Nutzlänge<sub>l</sub> lässt sich damit wie folgt definieren:

$$(Formel 2-5) \quad Nutzlänge_l = l_{Sitzspur} + l_{Toilette} + l_{Mehrzweckraum} + l_{Catering-Bereich} + l_{Dienstabteil}$$

mit:

$$(Formel 2-6) \quad l_{Sitzspur} = \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 PAX_{maßgeb.} a_j * a_{j,k} * \frac{1}{n_{j,k}} * t_{j,k}$$

wobei:

$PAX_{maßgeb.}$ : maßgebliche Anzahl an Fahrgästen;

$a_j$ : Anteil der j-ten Klasse; mit  $j = 1,2$ ;

$a_{j,k}$ : Anteil der in der j-ten Klasse in k angeordneten Sitze; mit  $k=1$  für Reihenanordnung, 2 für vis-à-vis-Sitzgruppenanordnung;

$n_{j,k}$ : Anzahl Sitze pro Reihe oder vis-à-vis-Sitzgruppenanordnung in der j-ten Klasse (Betrachtung über die gesamte Wagenbreite);

$t_{j,k}$ : Sitzteiler in k-Anordnung in der j-ten Klasse.

$$(Formel 2-7) \quad l_{Toilette} = l_{B-Toilette} + n_{Toilette,klein} * \frac{1}{2} l_{Toilette,klein}$$

wobei:

$l_{B-Toilette}$ : Länge der behindertengerechten Toilettenzelle;

$n_{Toilette,klein}$ : Anzahl der „kleinen“ Toilettenzellen;

$l_{Toilette,klein}$ : Länge der „kleinen“ Toilettenzelle.

Die auf den Einbau von Toiletten entfallende erforderliche Nutzlänge ergibt sich aus der Länge der „kleinen“ und der behindertengerechte Toilettenzelle sowie der jeweils erforderlichen Anzahl der einzubauenden Toiletten. Die erforderliche Anzahl der „kleinen“ Toilette hängt von der Anzahl der in einer Zugeinheit beförderten Fahrgäste ab. Nach dem Einbau der „kleinen“ Toilettenzelle verbleibt eine Fahrzeughälfte für andere Nutzungsarten; daher ist die auf die „kleine“ Toilettenzelle entfallende Nutzlänge mit dem Faktor  $\frac{1}{2}$  zu korrigieren. Nach dem Einbau der behindertengerechten Toilette verbleibt lediglich eine Gangbreite, sodass die auf die behindertengerechte Toilette entfallende Nutzlänge vollständig in die Nutzlänge<sub>l</sub> eingeht.

(Formel 2-8) 
$$l_{\text{Mehrzweckraum}} = \frac{A_{\text{Mehrzweckraum}}}{b_{\text{Fz,nutzbar}}}$$

wobei:

$A_{\text{Mehrzweckraum}}$ : geforderte Fläche des Mehrzweckraumes

$b_{\text{Fz,nutzbar}}$ : nutzbare Innenbreite des Fahrzeuges

(Formel 2-9) 
$$l_{\text{Catering-Bereich}} = \frac{A_{\text{Catering-Bereich}}}{b_{\text{Fz,innen}}}$$

wobei:

$A_{\text{Catering-Bereich}}$ : geforderte Fläche des Catering-Bereichs

$b_{\text{Fz,innen}}$ : Fahrzeuginnenbreite

Deckt der Catering-Bereich lediglich die halbe Fahrzeugbreite ab, so ist die für seine Unterbringung erforderliche Länge mit dem Faktor  $\frac{1}{2}$  zu modifizieren. In der Realität würde der Catering-Bereich zwar weiterhin die volle Länge beanspruchen, jedoch nur auf einer Fahrzeughälfte; die andere für seine Unterbringung nicht beanspruchte Fahrzeughälfte lässt sich für andere Nutzungsarten verwenden.

(Formel 2-10) 
$$l_{\text{Dienstabteil}} = \frac{A_{\text{Dienstabteil}}}{b_{\text{Fz,innen}}}$$

wobei:

$A_{\text{Dienstabteil}}$ : für das Dienstabteil benötigte Fläche

$b_{\text{Fz,innen}}$ : Fahrzeuginnenbreite

Eine Modifikation der für das Dienstabteil benötigten Länge um den Faktor  $\frac{1}{2}$  ist vorzunehmen, wenn das Dienstabteil lediglich die halbe Innenbreite des Fahrzeuges einnimmt. Verbleibt nach Installation des Dienstabteiles lediglich eine Gangbreite, so ist das Dienstabteil mit der vollen Länge zu berücksichtigen.

Die einzusetzenden Züge haben die bezüglich der Sitzplatzkapazität, der Sitzreihenabstände, der Anzahl der einzubauenden Toilettenzellen, der Mehrzweckraumgrößen und der Cateringbereiche formulierten Anforderungen zu erfüllen. Folglich wird die Zugkonfiguration im Wesentlichen durch die Nutzlänge<sub>i</sub> gesteuert. Die in einem Zugverband vorhandene Nutzlänge<sub>i</sub> muss damit in jedem Fall größer als die für die Unterbringung der geforderten Ausstattungsmerkmale erforderliche Nutzlänge<sub>i</sub> sein; es gilt:

(Formel 2-11) 
$$\text{Nutzlänge}_{i,\text{vorhanden}} \stackrel{!}{\geq} \text{Nutzlänge}_{i,\text{erforderlich}}$$

In analoger Argumentation zur Nutzlänge<sub>II</sub> soll als Bewertungskriterium die Nutzlänge<sub>I</sub> auf die Zuggesamtlänge bezogen werden. Als Bewertungskriterium für den Anteil der für Sitzplätze und andere Zwecke nutzbaren Bereiche an der Zuggesamtlänge wird die Kennzahl „Nutzlänge1“ definiert:

$$(Formel\ 2-12) \quad Nutzlänge1 = \frac{Nutzlänge_I}{LüP} [-]$$

Gemäß Formel 2-12 ist die Nutzlänge1 das Verhältnis des Längenparameters „Nutzlänge<sub>I</sub>“ zur Zuggesamtlänge. Die Nutzlänge1 drückt damit den Anteil der Zuglänge aus, der für fahrgastbezogene Bereiche zur Verfügung steht. Diese Bereiche können für Bestuhlung, WC-Zellen, Mehrzweckräume, Catering und Dienstabteile genutzt werden. Die vorzusehende Nutzungsarten sind i.d.R. in den Ausschreibungsunterlagen definiert.

Analog zur Kennzahl „Nutzlänge2“ ist ein Zug mit einem im Vergleich zu einem anderen Zugkonzept höheren Wert der Kennzahl „Nutzlänge1“ als günstiger zu bewerten. Durch den Einsatz des Zugkonzeptes mit dem höheren Kennzahlenwert ist im Idealfall eine geringere Anzahl an Fahrzeugen erforderlich, um die geforderte Sitzplatzkapazität unter Beachtung der weiteren Vorgaben bezüglich der vorzusehenden Toiletten, Mehrzweckräume, Cateringbereiche und Dienstabteile vorzuhalten.<sup>89</sup> Eine geringere Anzahl an Fahrzeugen reduziert die Investitions- sowie die Wartungs- und Instandhaltungskosten. Folglich ist ein EVU an einem möglichst hohen Wert der Kennzahl „Nutzlänge1“ interessiert. Ein weiteres Interesse an einem möglichst hohen Kennzahlenwert liegt in der vom Fahrgast wahrgenommenen Attraktivität begründet. Bei einem ausreichend hohen Kennzahlenwert lässt sich die Attraktivität positiv beeinflussen, indem ein Komfort angeboten wird, der über den vom Aufgabenträger geforderten liegt. Zusätzlicher Komfort ist für einen Fahrgast gegeben, wenn z.B. der vorhandene Sitzlängenabstand größer als der vom Aufgabenträger geforderte Abstand ist oder die vorhandene Sitzplatzkapazität über den Anforderungen des Aufgabenträgers liegt. Eine größere Sitzplatzkapazität erhöht die Wahrscheinlichkeit für den Fahrgast, auch in der Spitzenverkehrszeit in geringer Entfernung zum Zielpunkt einer Linie einen Sitzplatz zu erhalten.

---

<sup>89</sup> Anforderungen des Aufgabenträgers an die in einem Zug vorzuhaltenden Ausstattungen wie z.B. Cateringbereiche, Mehrzweckabteile, insbesondere Größe dieser Abteile, Größe und Anzahl der Toiletten, und an den Längenabstand der Sitze beeinflussen bei gegebener Nutzlänge<sub>I</sub> die maximal mögliche Sitzplatzkapazität eines Zugkonzeptes. Die fahrgastbezogenen Nutzungsarten konkurrieren.



Bei gegebener Zuggesamtlänge impliziert die Forderung nach einem möglichst hohen Wert der Kennzahl „Nutzlänge1“ die Forderung nach einem möglichst hohen Wert des Längenparameters „Nutzlänge<sub>i</sub>“.<sup>90</sup>

### Beschleunigungsvermögen

Wie bereits dargestellt, ist das Beschleunigungsvermögen besonders bei kürzeren Haltestellenabständen von Bedeutung.<sup>91</sup> Ein einzusetzendes Zugkonzept sollte in jedem Fall auch bei widrigen Witterungsverhältnissen und bei voller Auslastung des Zuges in der Lage sein, ausreichend zügig zu beschleunigen.

Das vom jeweiligen Zugkonzept realisierbare Beschleunigungsvermögen kann jedoch nicht unmittelbar als Kennzahl gewählt werden, da es zum einen von der durch das Triebfahrzeug auf die Schiene gebrachten Leistung und zum anderen von der zu bewegenden Zuggesamtmasse bestimmt wird. Das Beschleunigungsvermögen hängt direkt von der massespezifischen Leistung ab.<sup>92</sup>

Als Kennzahl soll die massespezifische Leistung gewählt werden, die sich aus dem Verhältnis der vom Triebfahrzeug auf die Schiene maximal aufbringbaren Leistung zu der insgesamt von ihm bewegten Zugmasse bei Ausnutzung der vollen Kapazität ergibt. Die volle Ausnutzung der Kapazität ist gegeben, wenn alle Sitzplätze besetzt sind und der gesamte zur Verfügung stehende Stehraum von stehenden Fahrgästen in Anspruch genommen wird.

Die massespezifische Leistung  $P_{\text{spez},i}$  kann wie folgt definiert werden:

$$\text{(Formel 2-13)} \quad P_{\text{spez},i} = \frac{P_i}{m_{\text{max}}} \left[ \frac{\text{kW}}{\text{t}} \right]$$

wobei:

- $P_i$ : die von den Triebseinheiten des Zuges  $i$  maximal aufbringbare Leistung [kW];
- $m_{\text{max}}$ : Gesamtgewicht des Zuges bei Ausnutzung der vollen Kapazität [t].

Aus dem für einen Zug ermittelten Wert der massespezifischen Leistung lässt sich nicht direkt eine Aussage ableiten, ob das Zugkonzept den vorgegebenen Fahrplan auch tatsächlich einhalten kann. Die Kennzahl der massespezifischen Leistung gibt eine Indikation auf die Eignung eines Zugkonzeptes, einen Fahrplan einzuhalten. Je höher der Wert,

<sup>90</sup> Die Bedeutung der Nutzlänge1 ist in Anlage 10 verdeutlicht. Dort werden beispielhaft die monetären Auswirkungen betrachtet, die sich aus einer Veränderung des Kennzahlenwertes ergeben.

<sup>91</sup> Vgl. Kapitel 2.2.1, Gliederungspunkt „Pünktlichkeit“.

<sup>92</sup> Vgl. TEWET (2005a), S. 26.

desto größer sind die Leistungsreserven, um im Verspätungsfall beispielsweise bei Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit weiter zu beschleunigen, um damit einen gegebenen Fahrplan einzuhalten.

Der zugspezifische Wert dieser Kennzahl ist jedoch immer im Vergleich zu dem Kennzahlenwert eines anderen Zugkonzeptes zu bewerten. Der Zug mit der höheren massespezifischen Leistung ist stets als besser geeignet zu bewerten, eine Verkehrsaufgabe bei Vollbesetzung auch unter widrigen Witterungsverhältnissen zu lösen als der Zug mit einer niedrigeren massespezifischen Leistung. Eine Aussage darüber, ab welcher massespezifischen Leistung ein Zugkonzept für den Einsatz nicht mehr geeignet ist, erfordert eine einzelfallbezogene Überprüfung. Die Anwendung eines Fahrzeitenberechnungsprogramms scheint hierfür geeignet. Bei einem Vergleich zweier Zugkonzepte festgestellte Differenzen in der massespezifischen Leistung lassen keine Aussage darüber zu, um welches Maß das Beschleunigungsvermögen des Zuges mit der geringeren massespezifischen Leistung niedriger ist und wie sich ein solch geringeres Beschleunigungsvermögen auf die Beschleunigungsdauer auswirkt. Offen bleibt folglich, wie groß die Differenz zwischen zwei Kennzahlenwerten sein darf, ohne dass Auswirkungen auf die Fähigkeit, einen gegebenen Fahrplan einzuhalten, festgestellt werden können. Umfangreiche Einzeluntersuchungen, beispielsweise durch die Anwendung von Fahrzeitenberechnungsprogrammen, können auch hierüber Aufschluss geben.

Das Interesse an dieser Kennzahl ist beim Aufgabenträger zu finden: Er wird Interesse an Zügen mit einer hohen massespezifischen Leistung haben. Der Einsatz solcher Züge stellt den geplanten Betriebsablauf sicher.

### **2.3.2 Betriebliche Bewertungskriterien**

Die identifizierten bewertungsbedeutsamen betrieblichen Einflussgrößen sind auf ihre Bewertungsrelevanz hin zu beurteilen. Zunächst werden die als nicht bewertungsrelevant eingestuftten Einflussgrößen begründet dargestellt; anschließend die bewertungsrelevanten Größen.

### **Nicht bewertungsrelevante Einflussgrößen**

Als nicht bewertungsrelevant werden die folgenden betrieblichen Einflussgrößen auf die Passfähigkeit eingestuft:

- Infrastrukturelle Passfähigkeit:
  - o Energieversorgung,
  - o Lichtraumprofil.
  - o vorhandene Radsatz- und Meterlast,
  - o Höhendifferenz zwischen Bahnsteig und Wagenboden im Einstiegsbereich;
- Betriebliche Passfähigkeit:
  - o Höchstgeschwindigkeit und Bremsvermögen,
  - o Betriebskonzepte (d.h. Wenden, Stärken/Schwächen, Flügel).

Auf Grund des für diese Arbeit gewählten Fokus ist der Aspekt der Energieversorgung im Kontext der infrastrukturellen Passfähigkeit nicht bewertungsrelevant.

Das Lichtraumprofil stellt für keines der gewählten Zugkonzepte eine Restriktion dar; ihre Profile passen in das auf dem deutschen Bahnnetz übliche Lichtraumprofil. Die für diese Arbeit ausgewählten Zugkonzepte sind bis auf den Do-ET RABe514 für den Einsatz auf dem deutschen Bahnnetz entwickelt worden. Dieser ist für den Einsatz in der Schweiz entwickelt worden. Ein Konflikt der für den Einsatz auf dem deutschen Bahnnetz entwickelten Zugkonzepte mit dem vorhandenen Lichtraumprofil ist auszuschließen. Pläne eines großen deutschen Nahverkehrsverbund, den Do-ET RABe514 auf seinem Netz einzusetzen, lässt die Annahme zu, dass das Profil des Do-ET für den Einsatz auf dem deutschen Schienennetz geeignet ist. Das Lichtraumprofil hat also keinen Einfluss auf die Eignung eines der vier Zugkonzepte.

Die vorhandene Radsatz- und Meterlast des einzelnen Zuges ist vom Einzelfall, d.h. von der tatsächlichen Besetzung, abhängig. Für eine vergleichende Gegenüberstellung der vorhandenen und der zulässigen Radsatz- und Meterlast ist die Kenntnis der auf den einzelnen Abschnitten einer untersuchten Strecke zulässigen Radsatz- und Meterlastwerte notwendig. Ein allgemeingültiger Vergleich ist nicht möglich. Es kann zudem davon ausgegangen werden, dass die Radsatz- und Meterlast grundsätzlich kein einschränkendes Kriterium darstellt, wodurch die Nutzung einer Strecke durch ein Zugkonzept verhindert würde. Die zulässigen Radsatz- und Meterlasten auf den Hauptstrecken können als ausreichend hoch für vollbesetzte Züge angenommen werden, da diese i.d.R. auch von Güterzügen befahren werden.

Der Ausschluss der Einflussgrößen „Höhendifferenz zwischen Bahnsteig und Wagenboden im Einstiegsbereich“ sowie „Höchstgeschwindigkeit“ und „Bremsvermögen“ ist bereits oben in Kapitel 2.3.1 begründet worden.

Die Betriebskonzepte „Wenden“, „Stärken/Schwächen“ und „Flügeln“ sind nicht bewertungsrelevant, da sie mit den gewählten Zugkonzepten gleichermaßen umgesetzt werden können. Mit der für die lokbespannten Züge angenommenen Ausrüstung mit ZWS, WTB und automatischer Kupplung an beiden Zugenden gleichen diese dem Prinzip nach Elektrotriebzügen.

### **Bewertungsrelevante Einflussgrößen**

Als zugtypspezifisch und damit bewertungsrelevant werden die folgenden betrieblichen Einflussgrößen eingestuft:

- Sitzplatzkapazität:
  - o Zuglänge;
- Pünktlichkeit und Reisegeschwindigkeit:
  - o Beschleunigungsvermögen;
- Differenz Zuglänge zu Bahnsteiglänge.

Für die Einflussgrößen Zuglänge und Beschleunigungsvermögen gelten die oben in Kapitel 2.3.1 durchgeführte Diskussion und die dort definierten Kennzahlen.

Die Differenz von Zuglänge zu Bahnsteiglänge ist zwar keine Größe, die sich in einem allgemeingültigen Vergleich verwenden lässt; sie ist aber von enormer Wichtigkeit bei der Prüfung von Einzelfällen und daher abweichend von der Bedingung, keine lediglich einzelfallrelevanten Einflussgrößen als Bewertungskriterium zu wählen, als bewertungsrelevante Einflussgröße einzustufen. Bei Betrachtung von Einzelfällen ist die für die Bewältigung des Spitzenfahrgastaufkommens durch ein bestimmtes Zugkonzept erforderliche Zuglänge der maßgeblichen, d.h. kleinsten vorhandenen Bahnsteiglänge auf der von diesem Zug bedienten Strecke, gegenüberzustellen. Die Länge des Zuges sollte nicht länger als die maßgebliche Bahnsteiglänge sein:

(Formel 2-14) 
$$Länge_{Zug} \leq L\overset{!}{änge}_{Bahnsteig, maßgeblich}$$

Ist im Einzelfall die Zuglänge größer als die maßgebliche Bahnsteiglänge, dann kann der Fall eintreten, dass die Strecke mit diesem Zugkonzept nicht betrieben werden kann.<sup>93</sup>

---

<sup>93</sup> Vgl. Kapitel 2.3.1 für eine ausführlichere Erläuterung der Zuglängenproblematik in Bezug auf Bahnsteiglängen.

### 2.3.3 Wirtschaftliche Bewertungskriterien

Die einzelnen Kosteneinflussgrößen werden nachfolgend daraufhin untersucht, ob sie für eine Bewertung von Zugkonzepten als relevant eingestuft werden. Für den Vergleich werden nur die als bewertungsrelevant eingestuften Kosteneinflussgrößen des Projektzyklus verwendet. Aus der Summe der relevanten Kosteneinflussgrößen kann die Kennzahl „laufleistungsspezifische Projektkosten“ ( $PK_i$ ) gebildet werden. Sie wird wie folgt definiert:

$$(Formel\ 2-15) \quad PK_i = \sum PCC_{relevant} \left[ \frac{ct}{km} \right]$$

wobei:

$PCC_{relevant}$ : bewertungsrelevante Projektzykluskostenbestandteile [ct/km].

#### Investitionskosten

Als nicht bewertungsrelevant werden die Kosten eingestuft, die durch einen im Einzelfall erforderlichen Bau von zusätzlicher Infrastruktur entstehen. Einzelfallspezifische Kosten eignen sich nicht für einen allgemeingültigen Vergleich. Zugkonzeptspezifisch sind die Anschaffungskosten und – im Falle einer Vorfinanzierung – die für ihre Vorfinanzierung aufzubringenden Zinsen. Die Anschaffungskosten einschließlich Zinsen sind in einem Vergleich zu berücksichtigen.

Als Kenngröße wird der auf die jährliche Laufleistung bezogene zugspezifische Investitionsbetrag  $I_i$  gewählt, der sich aus dem jährlichen Abschreibungsbetrag und den jährlich aufzubringenden Zinsen zusammensetzt. Die Kenngröße  $I_i$  kann wie folgt definiert werden:

$$(Formel\ 2-16) \quad I_i = d_i + z_{i,z}$$

wobei:

i: Zug, mit  $i = \{1..n\}$ ;

$d_i$ : jährlicher Abschreibungsbetrag des Zugtyps i;

$z_{i,j}$ : jährlicher Zinsbetrag auf den Restbetrag des vorfinanzierten Investitionsbetrages.

Der jährliche zugtypspezifische Abschreibungsbetrag  $d_i$  bestimmt sich aus:

$$(Formel\ 2-17) \quad d_i = \frac{K_i - R_{i,a}}{a} * \frac{1}{s_i}$$

wobei:

i: Zug, mit  $i = \{1..n\}$ ;

$K_i$ : Investitionsbetrag des Zugtyps i [EUR];

a: Anzahl der Jahre, in denen das Kapital gebunden ist, d.h. die Zeit, die vorfinanziert wird;

$R_{i,a}$ : Restwert des Zugtyps i nach a Jahren;

$s_i$ : durchschnittliche Jahreslaufleistung des Zugtyps i [km].

Der Investitionsbetrag des Zuges und die Zeitspanne, über die abgeschrieben wird, sind zu bestimmen bzw. festzulegen. Für den anzusetzenden Restwert und die durchschnittliche Jahreslaufleistung sind Annahmen zu treffen.

Der jährliche Zinsbetrag auf den Restbetrag des vorfinanzierten Investitionsbetrages ergibt sich aus:

$$(Formel 2-18) \quad z_{i,j} = \left( K_i - \sum_{t=1}^{j-1} d_{i,t} \right) * p * \frac{1}{s_i}$$

wobei:

i: Zug, mit  $i = \{1..n\}$ ;

$z_{i,j}$ : der für den Zug i im Jahr j zu entrichtende Investitionszins;

$K_i$ : Investitionsbetrag für Zug i;

$d_{i,t}$ : Abschreibungsbetrag im Jahr t, mit  $t=1,..(j-1)$ , für den Zug i;

p: Zinssatz p.a.;

$s_i$ : durchschnittliche Jahreslaufleistung des Zugtyps i [km].

Die Höhe des jährlichen Zinssatzes ist anzunehmen. Die übrigen Parameter sind zu bestimmen oder festzulegen.

### **Betriebskosten**

Die Betriebskosten sind insgesamt nicht bewertungsrelevant. Die Verwaltungsgemeinkosten werden dem Namen entsprechend nicht vom gewählten Zugkonzept beeinflusst. Die Personalkosten bestimmen sich durch das angewendete Betriebskonzept; dieses wird jedoch vom Aufgabenträger festgelegt. Die für diese Arbeit gewählten Zugkonzepte sind auf Grund der getroffenen Annahmen in gleichem Maße für das vom Aufgabenträger vorgegebene Betriebskonzept geeignet. Die Energiekosten der jeweils miteinander verglichenen Züge werden als nicht wesentlich voneinander verschieden angenommen. Sie sind daher nicht vergleichsrelevant. Zum einen wird das Betriebsprogramm durch den Aufgabenträger vorgegeben, welches von jedem Zugtyp in gleicher Weise zu erfüllen ist,

und zum anderen werden immer Züge annähernd gleicher Sitzplatzkapazität, d.h. mit einer annähernd gleichen zu befördernden Masse, miteinander verglichen.<sup>94</sup>

### Wartungs- und Instandhaltungskosten

Für die Ermittlung der zugspezifischen Wartungs- und Instandhaltungskosten werden die Personal- und Materialkosten berücksichtigt. Unterschiedliche Wartungsinhalte und unterschiedliche Ausführungsfristen erfordern, die aus den unterschiedlichen Fristen resultierenden Personal- und Materialkosten über die Projektdauer zu mitteln und auf die durchschnittliche Jahreslaufleistung zu beziehen.

Die für die Durchführung der Wartung und Instandhaltung benötigten Betriebsstoffe werden nicht berücksichtigt. Sie werden als vernachlässigbar gering angenommen.

Für die Einflussgröße „Wartungs- und Instandhaltungskosten“ wird die Kennzahl „Instandhaltungskosten“  $K_{Inst,i}$  definiert. Sie berücksichtigt die auf die Jahreslaufleistung bezogenen für die Durchführung erforderlichen jährlichen Personal- und Ersatzteilkosten.

Die Kennzahl „Wartungs- und Instandhaltungskosten“ kann wie folgt definiert werden:

$$(Formel 2-19) \quad K_{Inst,i} \left[ \frac{EUR}{km} \right] = \frac{K_{Pers.,i} \left[ \frac{EUR}{a} \right] + K_{Mat.,i} \left[ \frac{EUR}{a} \right]}{s_i \left[ \frac{km}{a} \right]}$$

wobei:

$K_{Inst,i}$ : Laufleistungsspezifische Wartungs- und Instandhaltungskosten des Zuges i [EUR/km];

$K_{Pers.,i}$ : über die Projektdauer auf ein Jahr gemittelte Personalkosten für die Durchführung der Wartung und Instandhaltung des Zugtyps i [EUR/a];

$K_{Mat.,i}$ : über die Projektdauer auf ein Jahr gemittelte Materialkosten der einzelnen Fristen für die Wartung und Instandhaltung des Zugtyps i [EUR/a];

$s_i$ : durchschnittliche Jahreslaufleistung des Zugtyps i [km/a]

Die Werte für die einzelnen Parameter sind für jeden Zugtyp in Abhängigkeit der Datenverfügbarkeit zu bestimmen oder festzulegen.

### Restwert und Entsorgungskosten

Der Restwert und die Entsorgungskosten sind nicht bewertungsrelevant. Der Restwert ist bereits zu Null festgelegt worden und die Entsorgungskosten werden vom Hersteller übernommen und werden als im Kaufpreis bereits enthalten angenommen.<sup>95</sup>

<sup>94</sup> Vgl. Güldenpenning (2005).

<sup>95</sup> Vgl. Kapitel 2.2.3.

## 2.4 Bewertungssystematik und -prozedere

Die im vorhergehenden Kapitel 2.3 hergeleiteten Bewertungskennzahlen können auf der Grundlage des dort entwickelten Ursache-Wirkungsgeflechtes in einen systematischen Zusammenhang gebracht werden. Dieser ist die Grundlage für einen systematischen Vergleich. Zunächst wird der Wirkungszusammenhang von Kennzahlen auf die Wirtschaftlichkeit und anschließend das Bewertungsprozedere beschrieben.

Die Bewertungssystematik zeigt, auf welche Anforderungen die einzelnen Kennzahlen wirken und wie sie mit der Anforderung der Wirtschaftlichkeit zusammenhängen. Der Zusammenhang ist in Bild 2 dargestellt.

Die Kennzahl Nutzlänge<sup>1</sup> bestimmt das Sitzplatzangebot, während die Nutzlänge<sup>2</sup> die Passagierkapazität insgesamt, d.h. die Summe aus Sitz- und Stehplatzkapazität, bestimmt. Beide Kapazitätsgrößen stehen in Wechselbeziehung zur erforderlichen Sitzplatz- bzw. zur erforderlichen Passagierkapazität. Das Ausmaß der Übereinstimmung zwischen den erforderlichen und den vorhandenen Kapazitätsgrößen bestimmt die „Betriebliche Passfähigkeit“; diese bestimmt die Attraktivität des Verkehrsangebotes.

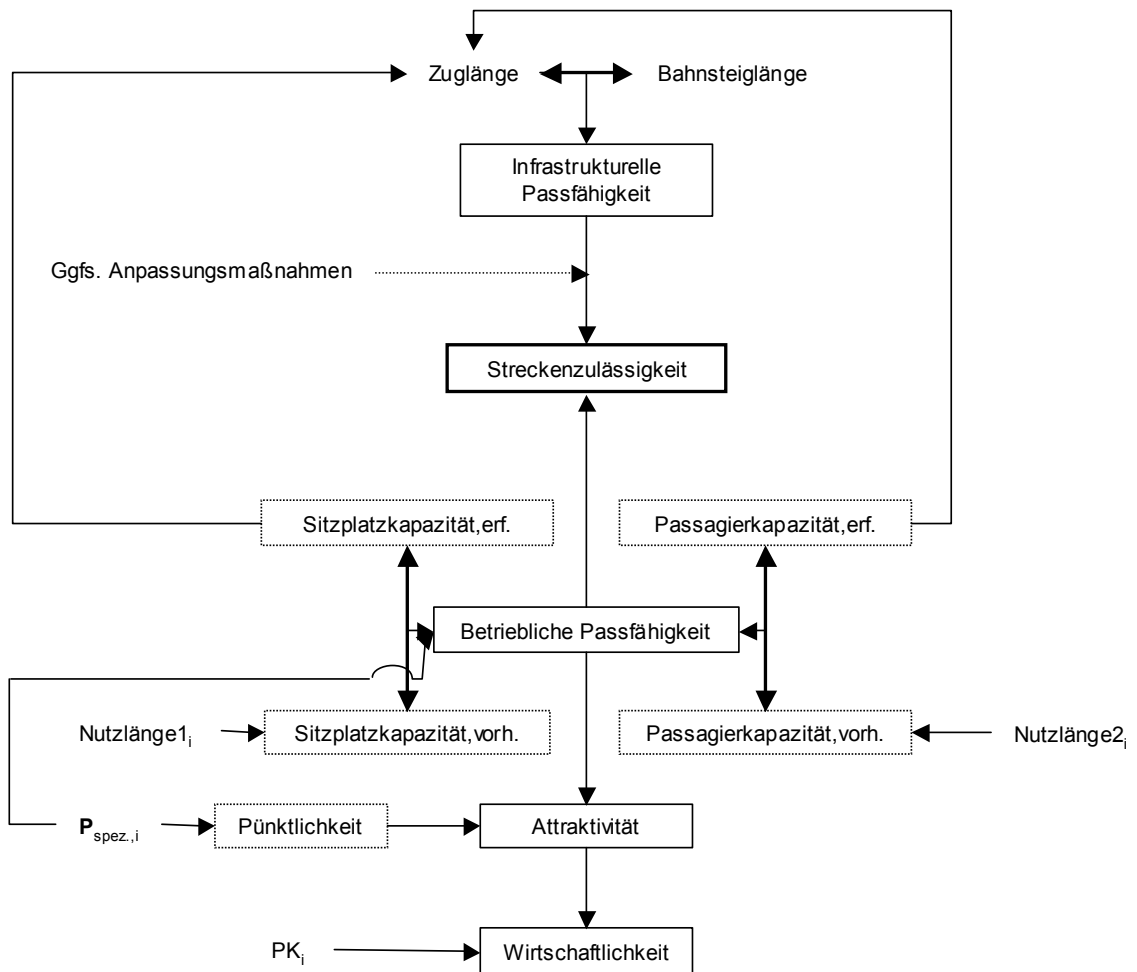
Die massespezifische Leistung des Zugkonzeptes beeinflusst die Pünktlichkeit und die „Betriebliche Passfähigkeit“; diese beiden wiederum die Attraktivität des Verkehrsangebots.

Die Attraktivität des Verkehrsangebots beeinflusst über den Ertragsaspekt die Wirtschaftlichkeit positiv.

Die Wirtschaftlichkeit wird zudem über die projektspezifischen Kosten des Zugkonzeptes negativ beeinflusst.

Im Rahmen eines allgemein gültigen Vergleichs sind die Kennzahlen Nutzlänge<sup>1</sup>, Nutzlänge<sup>2</sup>, massespezifische Leistung und projektspezifische Kosten der einzelnen Züge einander gegenüber zu stellen. In einem allgemeingültigen Vergleich, der die Frage zu beantworten hat, ob die in der Praxis gängige Planungsregel sich bestätigen lässt, sind aus den Fahrzeugen der einzelnen Zugkonzepte unterschiedliche Konfigurationen zu bilden und ihre jeweiligen Kennzahlenwerte einander gegenüberzustellen.





**Bild 2** Wirkungszusammenhang der Bewertungskennzahlen.  
Quelle Eigene Darstellung.

Bild 2 zeigt ferner die Vorgehensweise für die Durchführung der Bewertung der Zugkonzepte in Einzelfällen auf. Nur Zugkonzepte, die auf der betrachteten Strecke gefahren werden können, sind zur Bewertung zugelassen. Zulassungskriterien sind zum einen die „Infrastrukturelle Passfähigkeit“ und zum anderen die „Betriebliche Passfähigkeit“.

Die „Infrastrukturelle Passfähigkeit“ ist gegeben, wenn die aus der erforderlichen Sitz- und Passagierkapazität ermittelte erforderliche Zuglänge nicht länger als der kürzeste Bahnsteig der auf der befahrenen Strecke bedienten Halte ist. Ist die „Infrastrukturelle Passfähigkeit“ nicht gegeben, dann kann diese durch Gegenmaßnahmen wie, z.B. Änderungen an der Infrastruktur oder betriebliche Maßnahmen, hergestellt werden.<sup>96</sup>

Die „Betriebliche Passfähigkeit“ ist gegeben, wenn die Verkehrsnachfrage auf der Strecke durch das eingesetzte Zugkonzept bedient werden kann. Die Nachfrage kann bedient werden, wenn ein Zug gebildet werden kann, der über eine der Nachfrage entsprechende

<sup>96</sup> Vgl. Kapitel 2.2.2, Abschnitt „Infrastruktur-bedingte Einflussgrößen“, Gliederungspunkt „Bahnsteiglängen“, zu den Möglichkeiten, die Streckenzulässigkeit herzustellen.

Sitzplatz- oder Passagierkapazität verfügt. Wird die „Betriebliche Passfähigkeit“ entsprechend der Vorgabe des Aufgabenträgers an der Sitzplatzkapazität gemessen und kann kein Zug mit einer entsprechenden Kapazität gebildet werden, so ist ggfs. die Vorgabe des Aufgabenträgers abzuschwächen und in der Nachfragespitze lediglich ein Stehplatz anzubieten. In jedem Fall ist sicherzustellen, dass jeder Fahrgast die Fahrt zu dem von ihm gewünschten Zeitpunkt in dem von ihm gewünschten Zug antreten kann.

### **3 Anwendung der Bewertungssystematik**

Die im vorhergehenden Kapitel entwickelte Bewertungssystematik war anzuwenden. Ziel der Anwendung zum einen war die Überprüfung der in der Praxis gängigen Planungsregel, nach der ab einer Kapazität von ungefähr 300 Sitzen ein lokbespannter Zug wirtschaftlicher ist. Gegebenenfalls war eine neue Planungsregel zu formulieren. Zum anderen war es Ziel, diese Systematik anhand eines gewählten Netzes auf ihre Umsetzungsfähigkeit hin zu überprüfen. Dabei war auch die etablierte bzw. die gegebenenfalls neu formulierte Planungsregel auf ihre Gültigkeit hin zu überprüfen.

Die Überprüfung der Planungsregel wird in Kapitel 3.1, die praxisbezogene Anwendung in Kapitel 3.2 dargestellt.

#### **3.1 Allgemeingültige Anwendung der Bewertungssystematik**

Bevor die in Kapitel 2 entwickelte Systematik angewendet werden konnte, mussten für jeden der vier in dieser Arbeit relevanten Zugkonzepte mehrere Züge mit unterschiedlicher Sitzplatzkapazität gebildet werden. Für eine bestimmte Sitzplatzkapazität konnten dann die jeweiligen Züge der einzelnen Konzepte einander gegenübergestellt und verglichen werden.

In Kapitel 3.1.1 wird daher die Bildung der einzelnen Züge beschrieben und die Zugkonfigurationen werden festgelegt. In Kapitel 3.1.2 werden die Rechenschritte zur Berechnung der in Kapitel 2.3 definierten Kennzahlenwerte erläutert; in Kapitel 3.1.3 schließlich werden die Berechnungsergebnisse dargestellt und ausgewertet.

##### **3.1.1 Zugbildung**

Voraussetzung dafür, für die einzelnen Zugkonzepte Züge mit unterschiedlichen Sitzplatzkapazitäten zusammenstellen zu können, war, für jedes einzelne Fahrzeug zu ermitteln, wie viele Sitzplätze in ihm bei gegebenen Anforderungen an die Ausstattung untergebracht werden können. Um Züge in den Vergleich einstellen zu können, die hinsichtlich des Komforts gleichwertig sind, galten die Ausstattungsanforderungen, insbesondere Komfortanforderungen, für alle Züge gleichermaßen, auch wenn die Fahrzeuge dann eine von der Standardausstattung abweichende niedrigere Sitzplatzkapazität aufwiesen.

### **Ermittlung der Sitzplatzkapazität**

Um die in den Fahrzeugen realisierbare Sitzplatzkapazität bestimmen zu können, wurde wie folgt vorgegangen:

- 1.) Ermittlung der Nutzlänge<sub>i</sub>;
- 2.) Berechnung der Anzahl an Sitzen pro Meter;
- 3.) Festlegung der anderen Nutzungsarten und der von ihnen eingenommenen Längen;
- 4.) Berechnung der Sitzplatzkapazität in jedem Fahrzeug.

Für die Berechnung der Nutzlänge<sub>i</sub> der einzelnen Fahrzeuge wurde auf die Projektskizzen der jeweiligen Zugkonzepte zurückgegriffen.<sup>97</sup> Abhängig von der Qualität der vorliegenden Projektskizzen lassen sich geringfügige Ungenauigkeiten im Berechnungsergebnis nicht ausschließen. Diese Ungenauigkeiten wurden in einer ersten Näherung akzeptiert.<sup>98</sup> Die Nutzlängen<sub>i</sub> der einzelnen Fahrzeuge sind in der Tabelle 5 zusammengefasst. Eine detaillierte Berechnung ist in Anlage 3 enthalten.

Die Festlegung der Sitzanzahl, die auf einem Meter Fahrzeuglänge untergebracht werden können, erforderte zunächst, einen für alle Zugkonzepte einheitlich geltenden Sitzteiler und den Anteil der 1.-Klasse-Sitze festzulegen. Eine solche Festlegung berücksichtigt, dass Ausschreibungsunterlagen i.d.R. Vorgaben zu dem zu realisierenden Sitzteiler sowie zu der Aufteilung der Sitzplätze auf die erste und die zweite Klasse enthalten.

Aus Gründen der Vereinfachung wurden die Sitzteiler für die 1. und 2. Klasse jeweils so festgelegt, dass der Sitzteiler einer vis-à-vis-Sitzgruppe, d.h. einer Gruppe mit zwei einander gegenüberliegenden Sitzreihen, genau das Doppelte des Sitzteilers der Reihensitze, d.h. der hintereinander angeordneten Sitze, beträgt. Es kann mit dem Sitzteiler der Reihensitze gerechnet werden.<sup>99</sup> Durch diese Vereinfachung ist es nicht erforderlich, den Anteil der vis-à-vis-Gruppen-Bestuhlung festzulegen.

Der für die vorliegende Untersuchung angenommene Sitzteiler ist in Tabelle 4 zusammengefasst.

---

<sup>97</sup> Winzer/Hillmann (2004), S. 110; Falk (2000), S. 164; DB Regio (2003a); Bombardier (2005b) bis (2005d); Bombardier (2005f); Bombardier (2005g)

<sup>98</sup> Projektskizzen finden sich beispielsweise bei: Winzer/Hillmann (2004), S. 110-111; Falk (2000), S. 164; DB Regio (2003a) sowie Bombardier (2005a) bis (2005i).

<sup>99</sup> Die Ausschreibung des Teilnetzes Ostseeküste des VMV zeigt beispielhaft, dass in der Praxis die Sitzteiler für vis-à-vis-Sitzgruppen nicht das doppelte Maß der Reihensitzteiler betragen. Vgl. VMV(2005), S. 68.

Klasse	1. Klasse	2. Klasse
vis-à-vis-Sitzgruppe [mm]	2.000	1.800
Reihe [mm]	1.000	900

**Tabelle 4** Standardsitzteiler der Modellzüge.  
Quelle Eigene Darstellung.

Die Werte der gewählten Sitzteiler orientieren sich an den Sitzteilern, wie sie in der Standardausstattung der betrachteten Züge angewendet werden.<sup>100</sup>

Eine vis-à-vis-Sitzgruppe in der 2. Klasse besteht aus acht Sitzen, eine Sitzreihe aus vier Sitzen. Eine vis-à-vis-Sitzgruppe in der 1. Klasse besteht aus sechs Sitzen, während eine Sitzreihe aus drei Sitzen besteht. Der Anteil der 1. Klasse-Sitze wurde mit 10% der insgesamt vorgesehenen Sitzplatzanzahl angenommen.

Von einer beliebigen Anzahl von 300 Sitzplätzen ausgehend werden unter Berücksichtigung der Annahmen 30 Sitze, d.h. 10 Reihen, in der 1. Klasse benötigt. Auf die 2. Klasse entfallen 270 Sitze in 67,5 Reihen. Mit den angenommenen Sitzteilern ist eine Länge von  $10 \cdot 1.000 \text{ mm} + 67,5 \cdot 900 \text{ mm} = 70.750 \text{ mm} = 70,750 \text{ m}$  erforderlich. Wird die Anzahl der Sitzplätze auf die Sitzspurlänge bezogen, ergibt sich die meterspezifische Sitzplatzkapazität; sie beträgt  $300 \text{ Sitze} / 70,750 \text{ m} = 4,24 \text{ Sitze/Meter}$ .

Die in einem Fahrzeug zur Verfügung stehende Sitzspurlänge ergab sich aus der Nutzlänge<sub>i</sub> des Fahrzeuges abzüglich der Längeninanspruchnahme durch die anderen vorzusehenden Nutzungsarten. Die verfügbare Sitzspurlänge in den einzelnen Fahrzeugen ist in Tabelle 5 zusammengestellt. Mit der berechneten spezifischen Sitzplatzanzahl von 4,24 Sitzen pro Meter konnte die Sitzplatzkapazität bestimmt werden. Sie wurde stets abgerundet, sofern sie nicht eine ganze Zahl war. Die Sitzplatzkapazität ist in Tabelle 5 dargestellt.

Andere Nutzungsarten außer Nutzung für Sitzplätze sind Mehrzweckräume, Toilettenzellen, Dienstabteil und Bereiche für Catering. Sie reduzieren die Nutzlänge<sub>i</sub> und damit die Sitzplatzkapazität, wobei die von ihnen in Anspruch genommene Breite zu berücksichtigen war.<sup>101</sup>

Analog zum Sitzkomfort wurde festgelegt, dass die in Zügen vorzusehenden Nutzungsarten für alle Züge einheitlich gelten. Damit wurde gleichfalls der Tatsache Rechnung getragen, dass Ausschreibungsunterlagen i.d.R. Vorgaben zu den anderen Nutzungsarten enthalten und entsprechend einzuhalten sind.

<sup>100</sup> Vgl. Anlage 4 für eine Übersicht über die in den betrachteten Zugtypen standardmäßig vorgesehenen Sitzteiler und die begründete Ableitung des für die vorliegende Arbeit geltenden Sitzteilers.

<sup>101</sup> Vgl. Kapitel 2.2.2.

Werden die in den Zügen standardmäßig vorgesehene Mehrzweckraumgröße von ungefähr 6 m<sup>2</sup> bis ungefähr 25 m<sup>2</sup> und die an Mehrzweckräume gestellten Anforderungen berücksichtigt<sup>102</sup>, so erscheint ein Mehrzweckraum mit einer nutzbaren Fläche von 15,00 m<sup>2</sup> für die vorliegende Untersuchung als angemessen. Dieser Wert ist für jede Zugeinheit zu erreichen. Ist bei Triebzügen aufgrund der geforderten Sitzplatzanzahl Doppeltraktion erforderlich, so führt das dazu, dass in einem Zugverband zwei Mehrzweckräume zur Verfügung stehen.

Die vom Mehrzweckraum beanspruchte Fahrzeuglänge ergab sich aus einem Vergleich der in den einzelnen Fahrzeugen nutzbaren Breiten. Die nutzbare Breite ist die Breite innerhalb des Zuges, die von den Fahrgästen zum Abstellen ihrer mitgeführten Gegenstände genutzt werden kann. Diese Breite ist nicht identisch mit der Fahrzeuginnenbreite, da in den für diese Arbeit gebildeten Zügen entsprechend der Realität Klappsitze angenommen werden. Die von einem Mehrzweckraum mit einer nutzbaren Fläche von 15,00 m<sup>2</sup> beanspruchte Zuglänge wird einheitlich für alle Züge mit 6,6 m festgelegt. Dieser Wert ist in Tabelle 5 bei der Berechnung der Sitzplatzkapazität der einzelnen Fahrzeuge berücksichtigt worden.

Die im Regionalverkehr in der Regel längere Reisezeit erfordert den Einbau von Toiletten. Die in der Praxis übliche Anforderung, dass pro 150-200 Fahrgäste in jeder Zugeinheit mindestens eine Toilette verfügbar sein soll, wurde für die im Rahmen dieser Arbeit durchzuführenden Bewertung übernommen. Die standardmäßig in den Doppelstockwagen eingebauten „kleinen“ Toiletten erschienen geeignet. Diese geht mit einer Länge von 1,050 m in die Berechnung der Sitzplatzkapazität ein. Dieser Längenwert ergibt sich aus ihrer tatsächlichen Länge von 2,10 m bezogen auf die halbe Fahrzeugbreite.<sup>103</sup>

Um in ihrer Mobilität eingeschränkten Fahrgästen die gleichberechtigte Benutzung der Verkehrsmittel zu ermöglichen, ist in jeder Zugeinheit mindestens eine behindertenfreundliche oder eine behindertengerechte Toilette anstelle einer „kleinen“ Toilette vorzusehen. Für die durchzuführende Untersuchung ist die im Do-Sto-Fahrzeug standardmäßig vorgesehene behindertengerechte Toilette in allen Zugtypen vorzusehen. Ihre Länge beträgt 3,347 m.<sup>104</sup>

Erfordert die zu befördernde Anzahl an Fahrgästen bei Einsatz eines Triebzuges Doppeltraktion, dann lässt sich eine zweite behindertengerechte Toilette innerhalb des Zugverbandes nicht vermeiden. Der damit im Vergleich zu einem Wagenzug verbundene zusätzliche Verlust an erlösbringender Zuglänge ist unvermeidbar.

Die weiteren Nutzungsarten „Dienstabteil“ und „Catering“ wurden aus Vereinfachungsgründen nicht berücksichtigt. Werden im Einzelfall solche Nutzungsarten gefordert, so ist

<sup>102</sup> Vgl. Kapitel 2.2.1 und Anlage 5.

<sup>103</sup> Die standardmäßig in den anderen Zugtypen eingebauten Toilettenzellen sind in Anlage 5 nachgewiesen.

<sup>104</sup> Vgl. Bombardier (2005g).

die Nutzlänge<sub>i</sub> um die von diesen Nutzungsarten beanspruchte Fahrzeuglänge zu reduzieren.

Fahrzeug	Nutzlänge <sub>i</sub> [m]	Länge Toilette [m]		Länge MZR <sup>105</sup> [m]	Sitzspurlänge [m]	Anzahl Sitze
		„klein“	„groß“			
DoSto-SW	24,566	./.	3,347	6,6	14,619	61
DoSto-MW	32,328	1,05	./.	./.	31,278	132
SD-SW	18,933	./.	3,347	6,6	8,986	38
SD-MW-VW	20,846	1,05	./.	./.	19,796	83
SD-MW-EW	21,777	./.	./.	./.	21,777	92
SD-MW-AW	21,872	./.	./.	./.	21,872	92
Do-ET	84,758	./.	3,347	6,6	74,811	317
SD-ET	46,68	./.	3,347	6,6	36,733	155

**Tabelle 5** Nutzlängen<sub>i</sub> und Sitzplatzkapazität der Fahrzeuge.  
Quelle Anlage 5.

### Festlegung der Zugkonfigurationen

Anhand der ermittelten Sitzplatzkapazitäten konnten dann die Züge für den Vergleich gebildet werden. Hierzu wurde so vorgegangen, dass von einer Grundeinheit ausgehend diese um jeweils eine weitere Einheit ergänzt wurde.

Im Fall des Doppelstockwagenzuges wurde von einem Ein-Wagenzug, bestehend aus einem Steuerwagen und einer Lokomotive, ausgegangen. Ein derart kurzer Zug entspricht zwar nicht der gängigen Praxis, ist jedoch grundsätzlich möglich und daher zu berücksichtigen. Weitere Doppelstockzüge wurden gebildet, indem jeweils ein weiterer Mittelwagen eingestellt wurde.

Im Fall des einstöckigen Wagenzuges wurde von einem Vier-Wagenzug, bestehend aus einem Steuerwagen, zwei Versorgungswagen und einem Anschlusswagen, ausgegangen. Diese Vorgehensweise berücksichtigt das „married-pair“-Konzept.<sup>106</sup> Dieser Zug wurde dann immer so durch einen Versorgungs- oder Ergänzungsmittelwagen erweitert, dass jeder eingestellte und nicht in seiner Versorgung autonome Mittelwagen durch jeweils einen Versorgungsmittelwagen versorgt werden kann.

Von der Grundeinheit, bestehend jeweils aus zwei End- und aus zwei Mittelwagen, ausgehend, wurden Triebzüge von bis zu vier Einheiten gebildet.

<sup>105</sup> MZR = Mehrzweckraum.

<sup>106</sup> Alternativ hätte auch von einem Zwei-Wagenzug ausgegangen werden können. Dann hätte der kürzeste Zug aus einem Steuerwagen und einem Anschlusswagen bestanden. Der Steuerwagen würde dann die Versorgung des Anschlusswagens übernehmen. In einem solchen Steuerwagen reduzieren sich die durch Fahrgäste nutzbaren Bereiche und damit die Sitzplatzkapazität. Über die Größe der Bereiche des Fahrgastraumes, die durch den Einbau der Versorgungseinrichtungen entfallen, liegen keine Informationen vor.

Die gebildeten Züge sind in Anlage 6 zusammengestellt.

### 3.1.2 Kennzahlenberechnung

Mit Hilfe eines Tabellenverarbeitungsprogramms wurden die in Kapitel 2.3 definierten Kennzahlen für jeden der gebildeten Züge berechnet und die Berechnungsergebnisse in eine Grafik übertragen. Die Berechnungsergebnisse sind in Anlage 6 zusammengestellt. Um die Grafik erstellen zu können, wurde eine Vielzahl an verschiedenen Sitzplatzkapazitäten vorgegeben. Für jede Sitzplatzkapazität war zu entscheiden, welche Zugkonfiguration einzusetzen ist. Dabei war stets darauf zu achten, dass in der gewählten Zugkonfiguration eine größere Sitzplatzanzahl vorhanden ist als untersucht wurde.

#### Nutzlänge<sub>1</sub>

Für die Berechnung der Nutzlänge<sub>1</sub> konnte auf die Berechnungsergebnisse aus Kapitel 3.1.1 zurückgegriffen werden. Die Nutzlänge<sub>1</sub> der einzelnen Fahrzeuge ist in Tabelle 6 zusammengefasst. Die Zuggesamtlänge ergab sich aus der Länge der in den jeweiligen Zug eingestellten Fahrzeuge. Diese Längen konnten den Projektskizzen der einzelnen Zugkonzepte entnommen werden.<sup>107</sup> Die Fahrzeuglängen sind in Tabelle 6 zusammengefasst. Die Summe der Nutzlänge<sub>1</sub> jedes in den Zug eingestellten Fahrzeuges wurde mit der Summe der Länge jedes in den Zug eingestellten Fahrzeuges ins Verhältnis gesetzt. Ergebnis war Nutzlänge<sub>1</sub> für jeden Zug. Die Berechnungsergebnisse sind in Anlage 6 dargestellt. Für jede betrachtete Sitzplatzanzahl konnte schließlich die Nutzlänge<sub>1</sub> der einzelnen Züge bestimmt und in eine Grafik übertragen werden. Das Auswertungsergebnis ist in Kapitel 3.1.3 dargestellt.

#### Nutzlänge<sub>2</sub>

Für die Berechnung der Nutzlänge<sub>2</sub> der gebildeten Züge waren zunächst für jedes Fahrzeug die Nutzlänge<sub>2</sub> zu ermitteln. Hierfür wurde analog der Vorgehensweise für die Ermittlung der Nutzlänge<sub>1</sub> jedes Fahrzeuges vorgegangen. Grundlage bildeten die Projektskizzen der Zugkonzepte.<sup>108</sup> Die Nutzlänge<sub>2</sub> der einzelnen Fahrzeuge sind in Tabelle 6 zusammengestellt. Die Summe der Nutzlänge<sub>2</sub> jedes in den Zug eingestellten Fahrzeuges wurde mit der Summe der Länge jedes in den Zug eingestellten Fahrzeuges ins Verhältnis gesetzt. Ergebnis war Nutzlänge<sub>2</sub> für jeden Zug. Die Berechnungsergebnisse sind in Anlage 6 dargestellt. Für jede betrachtete Sitzplatzanzahl konnte schließlich die Nutzlänge<sub>2</sub>

<sup>107</sup> Winzer/Hillmann (2004), S. 110; Falk (2000), S. 164; DB Regio (2003a); Bombardier (2005b) bis (2005d); Bombardier (2005f); Bombardier (2005g).

<sup>108</sup> Vgl. Winzer/Hillmann (2004), S. 110; Falk (2000), S. 164; DB Regio (2003a); Bombardier (2005b) bis (2005d); Bombardier (2005f); Bombardier (2005g).



ge2 der einzelnen Züge bestimmt und in eine Grafik übertragen werden. Das Auswertungsergebnis ist in Kapitel 3.1.3 dargestellt.

Fahrzeug	Nutzlänge <sub>I</sub> [m]	Nutzlänge <sub>II</sub> [m]	LüP [m]
Tfz BR146.2	./.	./.	18,900
DoSto-SW	24,566	28,265	27,270
DoSto-MW <sub>MWC</sub>	32,328	36,328	26,800
SD-SW	18,933	22,833	27,300
SD-MW-VW	20,846	24,746	27,300
SD-MW-EW	21,777	25,677	27,300
SD-MW-AW	21,872	25,772	27,270
Do-ET	84,758	99,766	100,000
SD-ET	46,68	59,84	67,150

**Tabelle 6** Nutzlängen<sub>I</sub>, Nutzlängen<sub>II</sub> und Fahrzeuggesamtlängen.  
Quelle: Eigene Berechnungen sowie Winzer/Hillmann (2004), S. 110; Falk (2000), S. 164; DB Regio (2003a); Bombardier (2005b) bis (2005d); Bombardier (2005f); Bombardier (2005g).

### Massespezifische Leistung

Bevor die massespezifische Leistung für jeden der gebildeten Züge berechnet werden konnte, war die Masse der einzelnen Fahrzeuge unter Volllast zu bestimmen. Volllast bezeichnet die Situation, in der die Sitzplatz- und Stehraumkapazität eines Fahrzeuges vollständig ausgenutzt sind. Hierfür wurde für jedes Fahrzeug wie folgt vorgegangen:

- 1.) Bestimmung der Sitzplatzkapazität
- 2.) Bestimmung der Stehraumkapazität
- 3.) Bestimmung des Fahrzeuggesamtwichts

Die Bestimmung der Sitzplatzkapazität ist bereits in Kapitel 3.1.1 erläutert worden und für die einzelnen Fahrzeuge in Tabelle 5 zusammengefasst.

Für die Ermittlung der Stehraumkapazität wurde angenommen, dass 4 Fahrgäste/m<sup>2</sup> Stehfläche aufgenommen werden können. Die Stehfläche wiederum ergab sich aus der zwischen den Sitzen vorhandenen Gangfläche, der nutzbaren Fläche des Mehrzweckraumes und der Fläche der Einstiegsbereiche. Die Maße konnten den jeweiligen Projektskizzen der einzelnen Zugkonzepte entnommen werden.<sup>109</sup> Die Stehraumfläche in den einzelnen Zügen und die daraus resultierende Stehplatz- und Gesamtkapazität sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

<sup>109</sup> Vgl. Winzer/Hillmann (2004), S. 110; Falk (2000), S. 164; DB Regio (2003a); Bombardier (2005b) bis (2005d); Bombardier (2005f); Bombardier (2005g).

Das Fahrzeuggesamtgewicht wurde aus dem Dienstgewicht des Fahrzeuges und der Masse der Fahrgäste gebildet. Das Dienstgewicht wurde den Herstellerangaben entnommen. Die herstellerseitig angegebenen Dienstgewichte konnten übernommen werden, da durch eine beispielhafte Berechnung keine nennenswerte Differenz zwischen der angegebenen und der berechneten Dienstmasse ergab. Im Rahmen dieser Beispielrechnung wurde das Dienstgewicht um das Gewicht der in der Standardausstattung vorgesehenen Anzahl an Sitzen reduziert und wieder durch das Gewicht der Sitze erhöht, die auf Grund des für diese Arbeit angenommenen Sitzteilers einzubauen waren. Die Dienstgewichte der einzelnen Fahrzeuge sind in Tabelle 7 zusammengetragen. Die Masse der Fahrgäste ergab sich aus der Gesamtkapazität, d.h. Sitz- plus Stehraumkapazität. Für einen Fahrgast einschließlich Gepäck wurden 90 kg angenommen.

Fahrzeug	Stehraum [m <sup>2</sup> ]	Stehplatzkapazität	Gesamtkapazität	Dienstmasse Fz [t]	Gesamtmasse Fz [t]
Tfz BR146.2	./.	./.	./.	84,000	84,000
DoSto-SW	32,495	130	191	52,000	69,188
DoSto-MW <sub>mWC</sub>	25,580	105	237	49,500	70,852
SD-SW	29,907	120	158	43,000	57,186
SD-MW-VW	20,723	83	175	43,000	58,740
SD-MW-EW	21,188	85	177	39,000	54,908
SD-MW-AW	21,236	85	177	40,000	55,925
Do-ET	90,425	362	679	218,000	279,083
SD-ET	69,737	279	434	113,000	152,055

**Tabelle 7** Gesamtmasse der Fahrzeuge.  
Quelle Eigene Berechnungen.

### Laufleistungsspezifischen Projektkosten

Die laufleistungsspezifischen Projektkosten eines Zuges konnten berechnet werden, nachdem für jedes Fahrzeug ihre Investitions- und Instandhaltungskosten ermittelt worden sind. Für jeden Zug ergaben sich seine laufleistungsspezifischen Projektkosten aus der Summe der laufleistungsspezifischen Projektkosten der in den Zugverband eingestellten Fahrzeuge. Die laufleistungsspezifischen Projektkosten der Züge sind in Anlage 6 zusammengefasst.

Die Investitionskosten ergaben sich für jedes Fahrzeug aus dem auf die Jahreslaufleistung bezogenen jährlichen Abschreibungsbetrag und dem jährlich zu entrichtenden Zins. Für die Ermittlung des Abschreibungsbetrages wurde die lineare Abschreibungsmethode als die in der Praxis übliche Methode gewählt. Hierbei wurde von einer 10-jährigen Pro-

jektdauer ausgegangen. Diese orientiert sich an dem üblichen Ausschreibungszeitraum der Regionalnetze.<sup>110</sup>

Der Zinssatz wurde mit 5% angenommen. Die vollständige Berechnung und Detailinformationen sind in Anlage 7 erläutert.

Für die Berechnung der laufeistungsspezifischen Instandhaltungskosten der einzelnen Züge mussten zunächst die Instandhaltungskosten der einzelnen Fahrzeuge bestimmt werden. Die Summe der fahrzeugspezifischen Instandhaltungskosten der in einen Zug eingestellten Fahrzeuge ergab die Instandhaltungskosten des Zuges.

Die Instandhaltungskosten der Fahrzeuge wurden aus den herstellerseitig gelieferten Daten unter Verwendung der in Kapitel 2.3.3, Gliederungspunkt „Wartungs- und Instandhaltungskosten“, definierten Formel berechnet. Die Eingangsdaten der Berechnung sind in Anlage 8 dargestellt. Die laufeistungsspezifischen Projektkosten sind in Anlage 9 dargestellt.

### 3.1.3 Beurteilung der Berechnungsergebnisse

Nachfolgend werden die Auswertungen der durchgeführten Berechnungen dargestellt. Die Berechnungsergebnisse werden beurteilt. Um eine abschließende Gesamtbewertung durchführen zu können, werden den Zugkonzepten jeweils ein Rang von eins bis vier zugewiesen.

#### Nutzlänge1

Aus **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ist zu erkennen, dass der lokbespannte Doppelstockzug ab einer Sitzplatzkapazität von 193 bzw. zwei Wagen hinsichtlich der Nutzlänge1 im Vergleich zu den anderen Zugkonzepten am günstigsten zu bewerten ist. Bis zu dieser Grenze ist der Doppelstock-Triebzug günstiger zu bewerten.

Bereits ab drei Wagen liegt der Anteil der Nutzlänge1 des Doppelstockzuges an seiner Gesamtlänge bei annähernd 90%. Der Doppelstocktriebzug liegt über seine gesamte Kapazitätsspannweite bei ungefähr 85%.

Ungünstiger sind die einstöckigen Fahrzeuge zu bewerten: Während der einstöckige Triebzug konstant über seine Kapazitätsspannweite bei ungefähr 70% Nutzlängenanteil liegt, kann der einstöckige Wagenzug ab einer Länge von 8 Wagen bzw. 682 Sitzplätzen höhere Werte erreichen. Mit seinem höchsten Wert von 74% bleibt der einstöckige lokbespannte Zug unter den Werten der Doppelstockfahrzeuge.

---

<sup>110</sup> Vgl. Just (2005b)

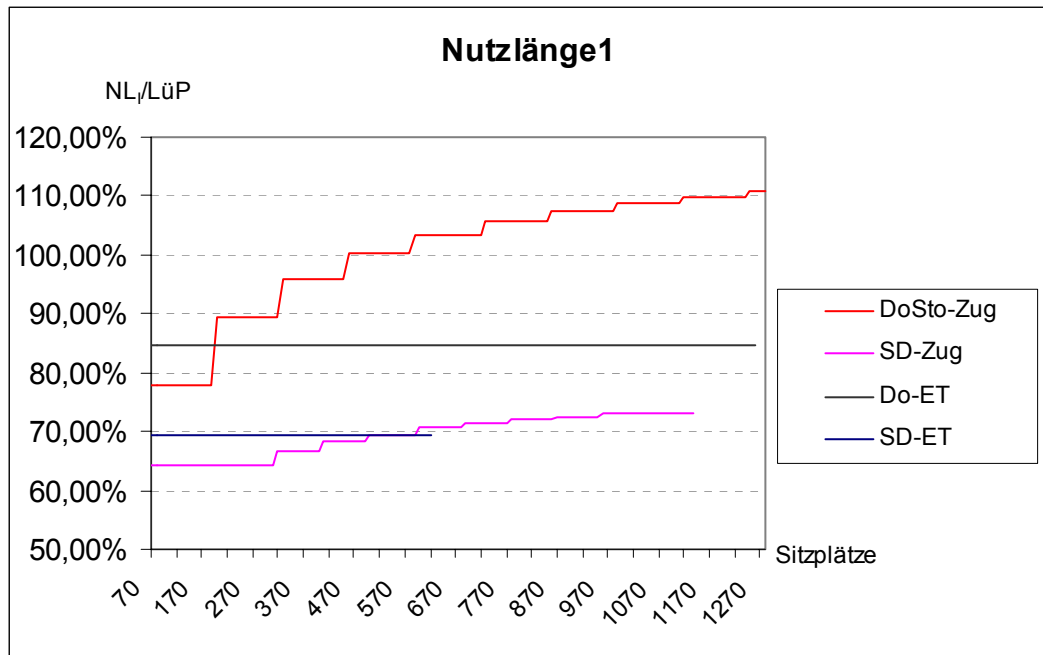
Die Werte der Kennzahl „Nutzlänge<sup>1</sup>“ zeigen deutlich die Stärke der Doppelstockzüge: Teile der Fahrzeuggesamtlänge können zweifach für die Bewältigung des Verkehrsaufkommens genutzt werden.

Der Nachteil des Doppelstocktriebzuges gegenüber dem Doppelstock-Wagenzug ist darauf zurückzuführen, dass bei jeder zusätzlich benötigten Einheit ein kompletter Doppelstocktriebzug mit seiner gesamten Antriebsausrüstung in den Zugverband eingestellt wird. Bei einem Wagenzug hingegen verteilen sich rechnerisch die nicht für fahrgastbezogene Zwecke vorgesehenen Bereiche auf eine stetig größere Anzahl an Einheiten, die annähernd ausschließlich für Fahrgastzwecke zur Verfügung stehen. Der Längenparameter „Nutzlänge<sub>II</sub>“ erhöht sich gegenüber der Zuggesamtlänge überproportional.<sup>111</sup> Die rechnerische Verteilung der nicht nutzbaren Flächen ist auch bei den einstöckigen Fahrzeugen festzustellen. Im unteren Sitzplatzkapazitätsbereich schneidet der lokbespannte einstöckige Zug gegenüber dem einstöckigen Triebzug schlechter ab, da Teile der Zuggesamtlänge nicht für die Fahrgastbeförderung genutzt werden kann. Im einstöckigen Triebzug hingegen steht annähernd die gesamte Zuggesamtlänge für die Fahrgastbeförderung zur Verfügung, da die gesamte Technik unter dem Wagenboden oder auf dem Dach installiert ist.

Im Vergleich zum Doppelstocktriebzug, in dem Technikkomponenten über einen großen Teil der Zuggesamtlänge nicht unter dem Wagenboden oder auf dem Dach installiert werden können, schneidet der einstöckige Triebzug dennoch schlechter in Bezug auf die Nutzlänge<sup>1</sup> ab, da im Doppelstocktriebzug zum Teil zwei Ebenen zur Fahrgastbeförderung zur Verfügung stehen.

---

<sup>111</sup> Ein vereinfachendes Beispiel zeigt die überproportionale Erhöhung: Wird ein lokbespannter Doppelstockzug aus vier Wagen mit einer Länge von 20 m, die gleich der für die Fahrgastbeförderung zur Verfügung stehenden Länge ist, und eine Lokomotive mit einer Länge von ebenfalls 20 m angenommen, so erhöht sich die für die Fahrgastbeförderung zur Verfügung stehende Länge durch das Einstellen eines weiteren Wagens um 25%, die Zuggesamtlänge erhöht sich jedoch lediglich um 20%. Der Wert der Kennzahl „Nutzlänge<sup>1</sup>“ erhöht sich um 3%. Wird ein Doppelstocktriebzug von einer Traktionseinheit auf eine zweite Traktionseinheit verlängert, dann verdoppeln sich die für die Fahrgastbeförderung zur Verfügung stehenden Länge, die Zuggesamtlänge und die Länge der Bereiche für Technik und Betrieb. Folglich bleibt der Wert der Kennzahl „Nutzlänge<sup>1</sup>“ konstant.



**Bild 3** „Nutzlänge1“ in Abhängigkeit von der Sitzplatzkapazität.  
 Quelle Eigene Berechnungen.

Den Zugkonzepten werden die in Tabelle 8 dargestellten Ränge zugewiesen.

Kennzahl	Nutzlänge1			
Zugkonzept	DoSto-WZ	Do-ET	SD-WZ	SD-ET
Rang	1	2	3	4

**Tabelle 8** Ränge der Zugkonzepte für Kennzahl „Nutzlänge1“.  
 Quelle Eigene Darstellung.

Die wirtschaftliche Bedeutung der Nutzlänge<sub>1</sub> wurde untersucht, indem für einen aus drei Wagen und einen aus vier Wagen bestehenden lokbespannten Doppelstockzug sowie für einen in Doppeltraktion und einen in Dreifachtraktion betriebenen einstöckigen Triebzug eine gegenüber dem Modellfall höhere Nutzlänge<sub>1</sub> bei gleicher Zuggesamtlänge angenommen wurde. Ansatzpunkte zur Erhöhung der Nutzlänge<sub>1</sub> könnten beispielsweise die Verringerung der Maße der standardmäßig im Fahrgastraum installierten technischen Komponenten, die Verlagerung dieser Komponenten in Bereiche über oder unter dem Fahrgastraum oder die Verringerung der Längenausdehnung der Treppen in Doppelstockfahrzeugen sein. Die Berechnungen sind in Anlage 10 dargestellt. Ergebnis dieser Berechnungen ist, dass der Erlös mit der Nutzlänge<sub>1</sub> steigt. Je größer die Zuggesamtlänge ist, desto geringer ist der Zuwachs des Kennzahlenwertes und damit der Zuwachs des Erlöses.

## Nutzlänge2

**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt für jedes Zugkonzept in Abhängigkeit von der Sitzplatzanzahl die erreichten Werte der Kennzahl „Nutzlänge2“. Aus **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ist erkennbar, dass der lokbespannte Doppelstockzug ebenfalls ab einer Sitzplatzkapazität von 193, bzw. ab drei Wagen gegenüber allen anderen Zugkonzepten vorteilhafter ist. Die Nutzlänge2 der lokbespannten Doppelstockzüge erreicht einen Anteil von etwa 125%. Dieser im Vergleich zur Nutzlänge1 um 15% höherer Anteil ist auf die zahlreichen Stehflächen zurückzuführen. Neben den Einstiegsbereichen können in einem Doppelstockzug auch die Bereiche vor den Treppen genutzt werden. In einstöckigen Wagen sind an vergleichbarer Stelle Sitze eingebaut; dort können Fahrgäste nur die schmalen Bereiche zwischen den Sitzen zum Stehen nutzen.

Die Nutzlänge2 des Doppelstocktriebzuges verhält sich ähnlich wie die Nutzlänge1 des Doppelstocktriebzuges; sie ist jedoch um 15% höher. Im direkten Vergleich zwischen den Doppelstockzügen verhalten sich beide ähnlich wie bei der Nutzlänge1.

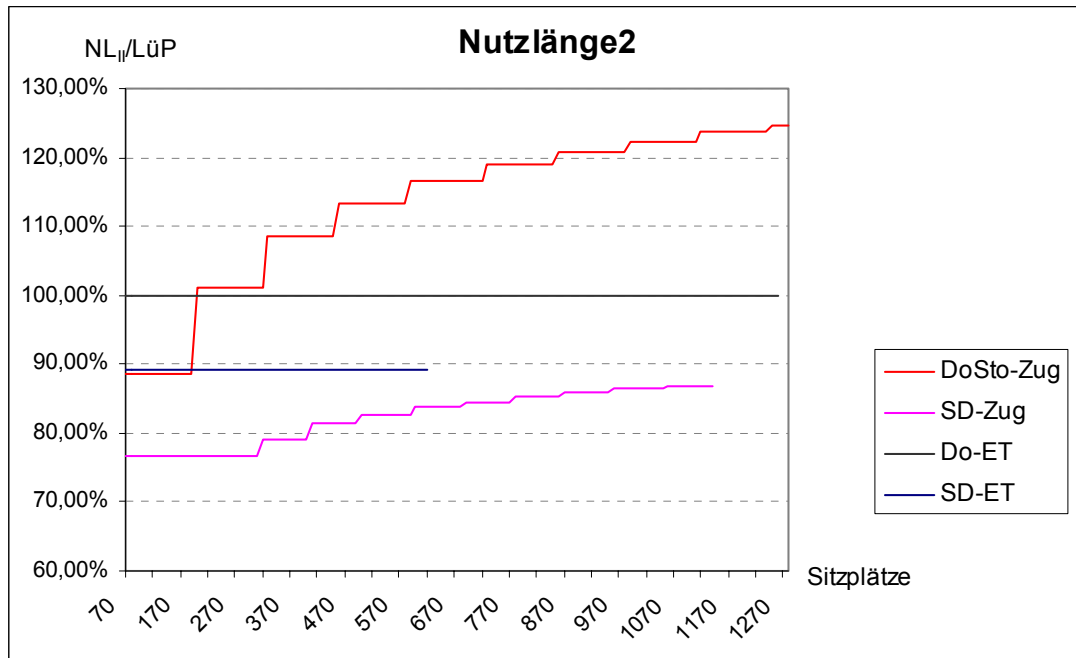
Bis 193 Sitzplätze erreicht der einstöckige Triebzug den Anteilswert des Doppelstock-Wagenzuges, verbleibt aber auch bei höheren Kapazitäten auf diesem Niveau. Mit einem Anteilsniveau von annähernd 90% liegt die Nutzlänge2 sogar um 20% über dem Wert der Nutzlänge1. Im Bereich zwischen ungefähr 200 und 320 Sitzplätzen sind die Werte der Nutzlänge 2 des lokbespannten Doppelstockzuges und des Doppelstocktriebzuges annähernd gleich; dies erscheint plausibel. Im Sitzplatzkapazitätsbereich zwischen 200 und 320 verfügt der lokbespannte Doppelstockzug zwar lediglich über drei Wagen, während der Doppelstocktriebzug aus vier Wagen, d.h. aus zwei Triebwagen und zwei Mittelwagen besteht. In Teilen der Triebwagen ist jedoch die zum Betrieb des Zuges erforderliche Technik installiert und die zwei Führerstände untergebracht. Der geringfügig größere Wert der Nutzlänge1 des lokbespannten Doppelstockzuges lässt sich auf die größeren Türbreiten des Doppelstocktriebzuges zurückführen.

Der einstöckige lokbespannte Zug erzielt in keiner Konstellation die von den anderen Zugkonzepten erreichten Werte. Der Wert der Nutzlänge2 erreicht höchstens knapp 86% und bleibt damit unter dem Anfangswert des einstöckigen Triebzuges.

Den Zugkonzepten werden die in Tabelle 9 dargestellten Ränge zugewiesen.

Kennzahl	Nutzlänge2			
Zugkonzept	DoSto-WZ	Do-ET	SD-WZ	SD-ET
Rang	1	2	4	3

**Tabelle 9** Ränge der Zugkonzepte für Kennzahl „Nutzlänge2“.  
Quelle Eigene Darstellung.



**Bild 4** Nutzlänge2 in Abhängigkeit von der Sitzplatzkapazität.  
Quelle Eigene Berechnungen.

Die wirtschaftliche Bedeutung der Nutzlänge2 wurde untersucht, indem für einen aus drei Wagen und einen aus vier Wagen bestehenden lokbespannten Doppelstockzug sowie für einen in Doppeltraktion und einen in Dreifachtraktion betriebenen einstöckigen Triebzug eine gegenüber dem Modellfall höhere Nutzlänge<sub>II</sub> bei gleicher Zuggesamtlänge angenommen wurde. Die im Zusammenhang mit der wirtschaftlichen Bedeutung der Nutzlänge<sub>I</sub> diskutierten Ansatzpunkte zur Erhöhung der Nutzlänge<sub>I</sub> gelten gleichermaßen für die Erhöhung der Nutzlänge<sub>II</sub>. Die gewonnene Nutzlänge<sub>II</sub> kann unterschiedlich genutzt werden: Zum einen kann sie für die Verlängerung der Einstiegsbereiche verwendet werden, zum anderen für die Verlängerung der Sitzspurlänge. Es sind unterschiedliche Auswirkungen auf die Erlössituation zu erwarten: Im ersten Fall wird ein gegenüber dem zweiten Fall höherer Erlöszuwachs erwartet, da ein Einstiegsbereich von einem Meter eine höhere Anzahl an Fahrgästen aufnehmen kann als ein Meter im Fahrgastraumbereich. Zudem interessiert ferner, wie sich eine Umverteilung der Längen zwischen Einstiegsbereichen und Fahrgastraumbereiche auf die Erlössituation auswirken.

Die Berechnungen sind in Anlage 10 dargestellt. Ergebnis dieser Berechnungen ist, dass der Erlös mit der Nutzlänge2 steigt. Je größer die Zuggesamtlänge ist, desto geringer ist der Zuwachs des Kennzahlenwertes und damit der Zuwachs des Erlöses. Wird die ge-

wonnene Nutzlänge<sub>II</sub> für die Vergrößerung des Stehraumes verwendet, dann kann der Erlös deutlich stärker gesteigert werden, als wenn die gewonnene Nutzlänge<sub>II</sub> für die Vergrößerung des Fahrgastraumbereiches verwendet wird.<sup>112</sup> Eine weitere Erlössteigerungsmöglichkeit ergibt sich, wenn Teile des Fahrgastraumes in Stehraum umgewandelt wird. Werden Teile des Stehraumes in Sitzplatzraum umgewandelt, so ergibt sich daraus eine negative Veränderung der Erlössituation.

### **Massespezifische Leistung**

**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt die massespezifische Leistung der Zugkonzepte bei unterschiedlichen Sitzplatzkapazitäten. Zunächst ist festzustellen, dass die massespezifische Leistung der Triebzüge über die gesamte betrachtete Sitzplatzkapazitätsspanne konstant bleibt. Mit einer Erhöhung der Anzahl der Triebzugeinheiten erhöht sich zwar die zu bewegende Masse; gleichzeitig erhöht sich jedoch auch die Antriebsleistung im gleichen Verhältnis.

Im Vergleich der Zugkonzepte untereinander lassen sich zwei Bereiche eingrenzen, in denen eines der vier Zugkonzepte eindeutig am leistungsstärksten ist: Bis zu einer Sitzplatzkapazität von 300 ist ein lokbespannter Doppelstockzug mit 19 kW/t am leistungsstärksten. Dies entspricht einem Zug aus drei Wagen. Ab einer Sitzplatzkapazität von ungefähr 620 weist der Doppelstocktriebzug bei Vollbesetzung mit 11,5 kW/t eine im Vergleich zu den anderen Zugkonzepten höchste massespezifische Leistung auf. Von 580 Sitzen bis ungefähr 720 Sitzen liegt der Doppelstockwagenzug mit 11 kW/t geringfügig unter dem Wert des Doppelstocktriebzuges. Für eine Kapazität von 720 Sitzplätzen ist ein aus sechs Wagen bestehender Doppelstockzug oder ein in 3-fach-Traktion gefahrener Doppelstocktriebzug erforderlich.

Im Bereich zwischen 300 und 450 Sitzplätzen liegen der Doppelstockwagenzug und der einstöckige Triebzug mit 15,3 kW/t bzw. 15,5 kW/t gleich auf. Im Bereich zwischen 450 und 620 Sitzplätzen dominiert der einstöckige Triebzug mit einer massespezifischen Leistung von ungefähr 15,5 kW/t, d.h., ein in 3- oder 4-fach-Traktion gefahrener einstöckiger Triebzug hat eine höhere massespezifische Leistung als alle anderen betrachteten Zugkonzepte.

Der einstöckige Wagenzug folgt im Wesentlichen dem Funktionsverlauf des Doppelstockwagenzugs und liegt mit Ausnahme des vernachlässigbar kleinen Kapazitätsbereiches zwischen 470 und 490 Sitzplätzen stets unter der massespezifischen Leistungsfähigkeit des Doppelstockwagenzugs. Für die Beförderung von 470 oder 490 Fahrgästen ist

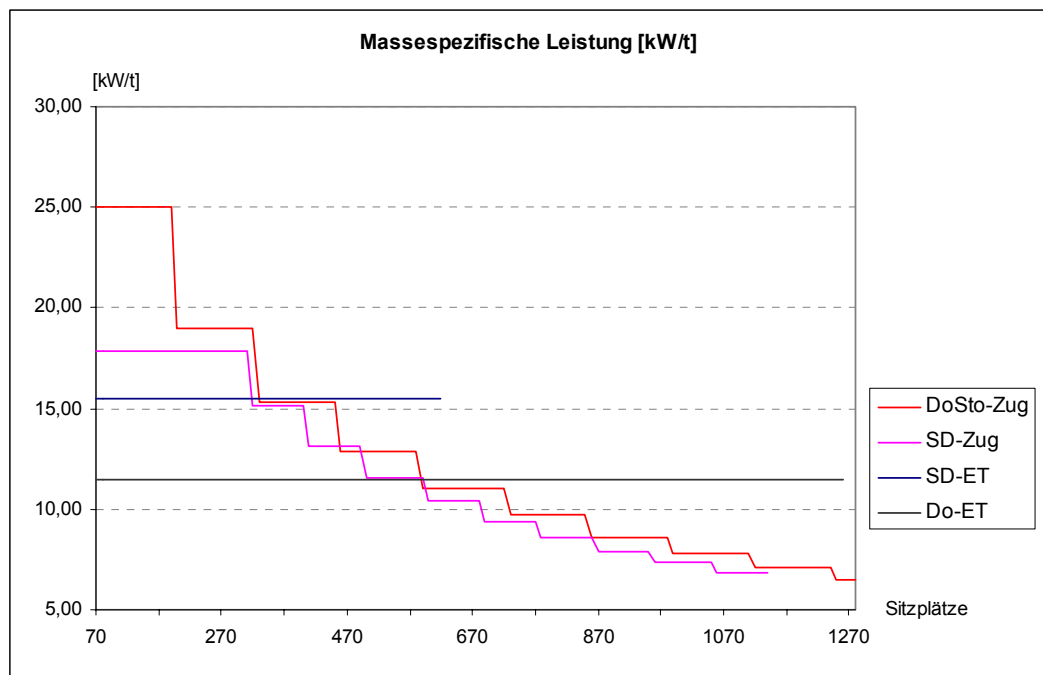
---

<sup>112</sup> Eine Vergrößerung der Stehraumkapazität zu Lasten der Sitzplatzkapazität ist insbesondere im Regionalverkehr kritisch zu betrachten, wenn dadurch die vom Aufgabenträger geforderte Sitzplatzkapazität nicht mehr angeboten werden kann. Müssen Fahrgäste des Regionalverkehrs regelmäßig auf ihrer Fahrt stehen, ist es nicht auszuschließen, dass sie alternative Beförderungsmittel wählen.



ein doppelstöckiger 5-Wagenzug oder ein 6-teiliger einstöckiger Wagenzug einzusetzen. Der einstöckige Wagenzug kann damit nur im betrieblichen Einzelfall leistungsstärker als ein Doppelstockwagenzug sein.

Die zum Teil geringen Differenzen der betrachteten Zugkonzepte in den massespezifischen Leistungen erfordert eine weitergehende Untersuchung der tatsächlichen Auswirkung unterschiedlicher Werte der massespezifischen Leistung auf die Fähigkeit, einen gegebenen Fahrplan auch unter widrigen Witterungsverhältnissen einzuhalten. Fraglich ist, wie groß die Differenz in der massespezifischen Leistung zwischen zwei Fahrzeugkonzepten gerade noch sein darf, dass keine wesentlichen Auswirkungen auf die Fähigkeit, einen gegebenen Fahrplan auch unter widrigen Witterungsverhältnissen einzuhalten, festzustellen ist. Umfangreiche Untersuchungen, wie beispielsweise durch die Anwendung von Fahrzeitenberechnungsprogrammen, sind im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich gewesen.



**Bild 5** „Massespezifische Leistung“ in Abhängigkeit von der Sitzplatzkapazität.  
Quelle Eigene Berechnungen.

Den Zugkonzepten werden die in Tabelle 10 dargestellten Ränge zugewiesen.

Kennzahl	Massespezifische Leistung [kW/t]			
Zugkonzept	DoSto-WZ	Do-ET	SD-WZ	SD-ET

<b>Rang</b>	2	1	4	3
-------------	---	---	---	---

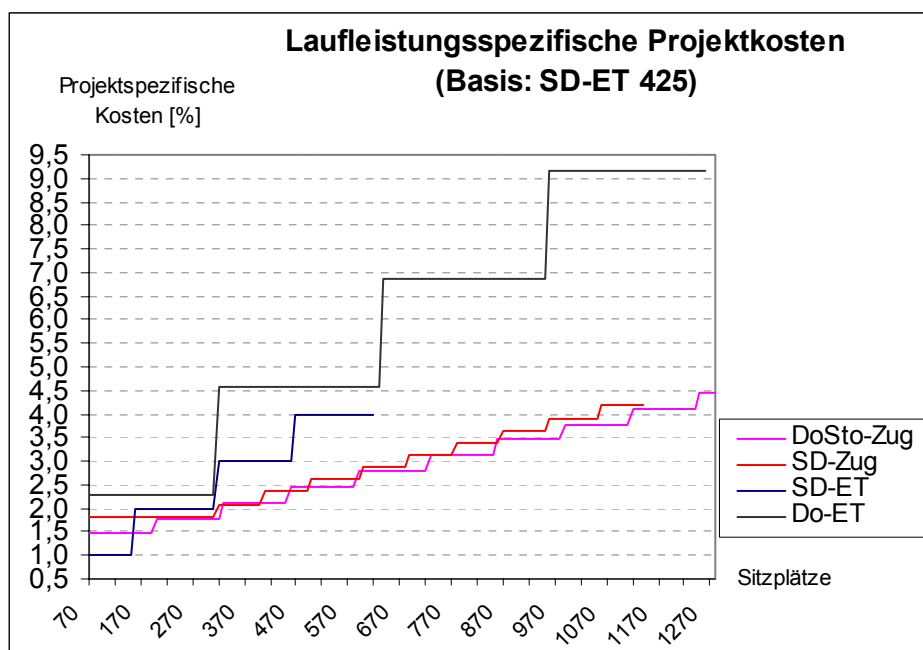
**Tabelle 10** Ränge der Zugkonzepte für Kennzahl „Massespezifische Leistung“.  
 Quelle Eigene Darstellung.

### Laufleistungsspezifische Projektkosten

In Bild 6 sind die von der Sitzplatzkapazität abhängigen laufleistungsspezifischen Projektkosten der vier Zugkonzepte für unterschiedliche Zugkonfigurationen dargestellt. Die Eingangsdaten in die Berechnungen sind in Anlage 9 dargestellt. Es ist erkennbar, dass ab einer Sitzplatzkapazität von ungefähr 320 die lokbespannten Züge signifikant die geringsten Kosten pro Kilometer verursachen. Der Wert des lokbespannten Doppelstockzuges liegt ab dieser Kapazität zu einem überwiegenden Teil unter dem Wert des einstöckigen lokbespannten Zuges. Der Unterschied ist jedoch derart gering, dass beide Zugkonzepte als gleichwertig beurteilt werden können.

Die Kosten der Triebzüge liegen ab der Kapazität von 320 Sitzplätzen deutlich über den Kosten der lokbespannten Züge. Im Kapazitätsbereich, des einstöckigen Triebzuges liegen seine Kosten stets unter den Kosten des Doppelstocktriebzuges.

Im Kapazitätsbereich bis 120 Sitzplätze ist der einstöckige Triebzug am günstigsten und der Doppelstocktriebzug am teuersten. Im Bereich zwischen 120 und 320 Sitzen ist der lokbespannte Doppelstockzug zwar am günstigsten. Der Unterschied zu den anderen Zugkonzepten, insbesondere zum lokbespannten einstöckigen Zug, ist jedoch vernachlässigbar gering.



---

**Bild 6**      Laufleistungsspezifische Projektkosten in Abhängigkeit von der Sitzplatzkapazität.  
Quelle        Eigene Berechnungen.

Den Zugkonzepten werden die in Tabelle 11 dargestellten Ränge zugewiesen.

Kennzahl	Projektspezifische Kilometerkosten [€/km]			
	Zugkonzept	DoSto-WZ	Do-ET	SD-WZ
Rang	1	3	1	3

**Tabelle 11** Ränge der Zugkonzepte für die laufeistungsspezifischen Projektkosten.  
Quelle Eigene Darstellung.

Weiterführend wurden die laufeistungsspezifischen Projektkosten für einen lokbespannten Doppelstockzug mit drei Wagen, d.h. 325 Sitzplätzen und mit vier Wagen, d.h. 457 Sitzplätzen, mit den entsprechenden Kosten für einen einstöckigen Triebzug in Zweifachtraktion mit 310 Sitzplätzen bzw. in Dreifachtraktion, d.h. mit 465 Sitzplätzen, verglichen. Der Vergleich zeigt, dass der Triebzug in beiden Fällen geringere Wartungs- und Instandhaltungskosten verursacht als die entsprechende Konfiguration des lokbespannten Doppelstockzuges. Die Wartungs- und Instandhaltungskosten des lokbespannten Doppelstockzuges aus drei Wagen betragen 154% der entsprechenden Kosten des korrespondierenden Triebzuges, während die Wartungs- und Instandhaltungskosten eines aus vier Wagen bestehenden lokbespannten Zuges 124% der Kosten eines in Dreifachtraktion gefahrenen Triebzuges betragen.

Das beschriebene Ergebnis erscheint widersprüchlich. Die Antriebseinheiten und Drehgestelle stellen die wartungsintensiven technischen Komponenten dar.<sup>113</sup> Folglich müsste der lokbespannte Zug einen geringeren Wartungs- und Instandhaltungsaufwand induzieren als der Triebzug. Ein lokbespannter Zug verfügt nämlich über eine zentral in der Lokomotive installierte Antriebseinheit mit zwei angetriebenen Drehgestellen, während ein in Doppeltraktion gefahrener ET425 über acht Triebdrehgestelle verfügt. Die Verteilung der Technikkomponenten über einen Zug anstelle einer zentralen Installation hat keine Auswirkungen auf den Wartungs- und Instandhaltungsaufwand.<sup>114</sup> Der Widerspruch konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht abschließend geklärt werden.

Die Betrachtung der laufeistungsspezifischen Projektkosten als Summe aus laufeistungsspezifischen Investitions- sowie Wartungs- und Instandhaltungskosten zeigt, dass ein lokbespannter Dreiwagenzug Kosten in Höhe von 98% der Gesamtkosten eines in Doppeltraktion gefahrenen Triebzuges verursacht. Eine Gegenüberstellung der laufeistungsspezifischen Gesamtkosten eines lokbespannten Vierwagenzuges und eines in Dreifachtraktion gefahrenen Triebzuges ergibt ein noch günstigeres Verhältnis für den lok-

<sup>113</sup> Vgl. Linke (2005a).

<sup>114</sup> Vgl. Linke (2005a).

bespannten Zug: Die laufeistungsspezifischen Gesamtkosten des lokbespannten Vierwagenzuges betragen 78% der entsprechenden Kosten des in Dreifachtraktion gefahrenen Triebzuges.

Für eine Wahl des in kostenmäßiger Hinsicht optimalen Zugkonzeptes sind die Gesamtkosten ausschlaggebend, da diese durch den Betrieb zu erwirtschaften sind. Folglich ist in beiden Vergleichsfällen dem lokbespannten Zug der Vorzug zu geben.

Der Vergleich ist in Anlage 12 dokumentiert.

Auf eine allgemeingültige Gegenüberstellung der Projektkosten und der Erlöse wird bewusst verzichtet. Zum einen steht eine genauere Analyse der Energiekosten aus, andererseits ist der pro Fahrgast erzielbare laufeistungsspezifische Erlös von den Vorgaben des Aufgabenträgers abhängig. Die Energiekosten der Zugkonzepte wurden zwar als annähernd gleich betrachtet, anderslautende Erkenntnisse aus weitergehenden Untersuchungen sind jedoch nicht auszuschließen.

### **Zusammenfassende Beurteilung**

Werden die auf die Attraktivität einwirkenden Kennzahlen „Nutzlänge1“, „Nutzlänge2“ und „massespezifische Leistung“ betrachtet, so ist festzustellen, dass der Doppelstockzug in zwei von drei Fällen besser als alle anderen Zugkonzepte beurteilt worden ist. Bezüglich der „massespezifischen Leistung“ erhält er nur einen zweiten Rang. Als zweitbestes schneidet der Doppelstocktriebzug ab. In zwei von drei Fällen erhielt er einen zweiten Rang; gemessen an der „massespezifischen Leistung“ ist er am besten beurteilt worden. Der einstöckige Triebzug wurde in zwei von drei Fällen auf den dritten Rang eingestuft; bezüglich der Nutzlänge1 wurde er als schlechtestes beurteilt. Insgesamt kann er jedoch in Bezug auf die attraktivitätsorientierten Kennzahlen mit einem dritten Rang beurteilt werden. Am schlechtesten bezüglich dieser Kennzahlengruppe schneidet der einstöckige Wagenzug ab. In zwei von drei Fällen erhielt er einen vierten Rang; bezüglich seiner Nutzlänge1 wurde er mit einem dritten Rang beurteilt. Die Gesamtbeurteilung der Zugkonzepte bezüglich der attraktivitätsorientierten Kennzahlen ist in Tabelle 12 zusammengefasst. Die Gesamtbeurteilung ist das gleichgewichtige Mittel der jedem Zugkonzept hinsichtlich der drei attraktivitätsorientierten Kennzahlen zugewiesenen Ränge.

Zugkonzept	DoSto-WZ	Do-ET	SD-WZ	SD-ET
<b>Mittlerer Rang Attraktivitätskennzahlen</b>	1,25	2,00	3,00	3,25

**Tabelle 12** Mittlerer Rang der Attraktivitätskennzahlen  
Quelle Eigene Darstellung.

In einem direkten Vergleich der beiden Doppelstockzugkonzepte ist festzustellen, dass der lokbespannte Doppelstockzug bezüglich aller drei Attraktivitätskennzahlen im Sitzplatzkapazitätsbereich zwischen 193 und 580 besser als der Doppelstocktriebzug ist. Ab etwa 580 Sitzplätzen ist der lokbespannte Doppelstockzug weniger leistungsstark.

Im Einzelfall wäre zu prüfen, wie sich die schwächere massespezifische Leistung auf die Einhaltung eines gegebenen Fahrplanes und damit auf die Pünktlichkeit auswirkt.

Im Vergleich der lokbespannten Züge gegenüber den Triebzügen ist festzustellen, dass ab einer Kapazität von 320 Sitzplätzen ein Triebzug leistungsstärker als ein lokbespannter Zug ist.

Doppelstockzüge weisen bezüglich der Kennzahl „Nutzlänge1“ stets einen höheren Wert auf als einstöckige Züge. Bezüglich der Kennzahl „Nutzlänge2“ ist die voranstehende Aussage mit Ausnahme des Sitzplatzkapazitätsbereiches bis 190 ebenfalls zutreffend. Bis 190 Sitzplätze ist der Wert der Kennzahl „Nutzlänge2“ für den einstöckigen Triebzug geringfügig höher.

Bezogen auf die kostenorientierte Kennzahl gilt das im vorangehenden Abschnitt ermittelte Urteil, in dem die laufeistungsspezifischen Projektkosten der einzelnen Zugkonzepte beurteilt wurden: Ab einer Sitzplatzkapazität von ungefähr 320 verursacht der Doppelstockzug signifikant die geringsten projektspezifischen Kosten. Der Kostenverlauf des einstöckigen Triebzuges und des einstöckigen lokbespannten Zuges sind zu ihrem jeweiligen Pendant annähernd gleich; die Unterschiede sind vernachlässigbar gering. Folglich kann der allgemeine Satz aufgestellt werden: Lokbespannte Züge verursachen ab einer Kapazität von etwa 320 Sitzen geringere projektspezifische Kosten als ein Triebzug.

Werden die zugewiesenen Ränge für jedes Zugkonzept gemittelt, so ergeben sich für die Zugkonzepte die in Tabelle 13 dargestellten Gesamtränge.

Zugkonzept	DoSto-WZ	Do-ET	SD-WZ	SD-ET
<b>Mittlerer Gesamtrang</b>	1,25	2,00	3,00	3,25

**Tabelle 13** Mittlerer Gesamtrang der Zugkonzepte  
Quelle Eigene Darstellung.

Mit den Berechnungsergebnissen lässt sich nun die in der Praxis etablierte Planungsregel, nach der ab einer Kapazität von 300 Sitzplätzen ein lokbespannter Zug wirtschaftlicher ist, überprüfen.

Die Planungsregel ist zu modifizieren: Ab einer Sitzplatzkapazität von etwa 320 ist ein lokbespannter Zug in Bezug auf den verursachten Aufwand nur dann wirtschaftlicher, wenn der Ertrag gegeben und von der Attraktivität des Verkehrsangebotes unabhängig ist. Es kann gesagt werden: Ab einer Sitzplatzkapazität von etwa 320 verursachen lokbespannte Züge im Vergleich zu Triebzügen die geringeren Kosten.

Es kann jedoch angenommen werden, dass die Attraktivität des Verkehrsangebotes die realisierte Nachfrage bestimmt. Ist das Verkehrsangebot aus Sicht der Kunden nicht zufriedenstellend, so resultieren daraus Einnahmeverluste. Die Wirtschaftlichkeit des eingesetzten Zuges wird beeinträchtigt.

Im Einzelfall ist die Auswirkung einer geringeren massespezifischen Leistungsfähigkeit, insbesondere auf die Pünktlichkeit des Zuges, zu untersuchen.

### 3.2 Beispielhafte Einzelfallanwendung der Bewertungssystematik

Bisher konnte gezeigt werden, dass die in Kapitel 2 entwickelte Bewertungssystematik sich im allgemeingültigen Kontext anwenden lässt. Produkt war eine modifizierte Planungsregel. Es schloss sich die Frage nach der Güte der Planungsregel an. Die tatsächliche Güte einer solchen Regel lässt sich zwar immer erst nach Jahren beurteilen, wenn ausreichendes Datenmaterial gesammelt werden konnte; die Güte kann aber überschlägig abgeschätzt werden, indem sie auf einen möglichst realistischen Planungsfall angewendet wird. Stellt sich heraus, dass die Regel ein brauchbares Ergebnis liefert, dann ist sie zumindest nicht als ungeeignet zu verwerfen.

Um die Planungsregel überprüfen zu können, war zunächst ein Streckennetz auszuwählen. Es wurde das sogenannte „Mittelhessen-Netz“ gewählt. Es steht in naher Zukunft zur Ausschreibung an und zeichnet sich durch verkehrliche Besonderheiten aus wie z.B. ein bisher unstrukturiertes Verkehrsangebot, ein hohes Aufkommen auf einem Teil und ein

geringes Aufkommen auf nachgelagerten Netzteilen bei gleichzeitigem Bedarf eines häufigen und direkten Verkehrsangebotes auf dem gesamten Netz. Im Zusammenhang mit der Überprüfung der Planungsregel wird sich die Frage nach dem in verkehrlicher, betrieblicher und wirtschaftlicher Hinsicht am besten geeigneten Zugkonzept stellen.

Um die modifizierte Planungsregel anhand des Mittelhessen-Netzes überprüfen zu können, war es zunächst erforderlich, das Netz zu analysieren. Die Analyseergebnisse sind in Kapitel 3.2.1 zusammengefasst. Sie stellen die Grundlage für die Festlegung der miteinander zu vergleichenden Zugkonzepte dar. Analog zum allgemeinen Fall wurden auch in der Betrachtung des Mittelhessennetzes konkrete Züge miteinander verglichen. Die Vorgehensweise zur Bildung der in die Untersuchung eingestellten Züge wird in Kapitel 3.2.2 erläutert.

Die Berechnungsergebnisse der einzelnen Kennzahlen und ihre Beurteilung werden in Kapitel 3.2.3 diskutiert.

### **3.2.1 Rahmenbedingungen des Mittelhessen-Netzes**

In diesem Abschnitt werden die Rahmenbedingungen des Mittelhessen-Netzes dargestellt. Zum einen wird das Mittelhessen-Netz allgemein und zum anderen das dort vorgesehene Betriebskonzept, das unter dem Begriff „MittelhessenExpress“ geführt wird, erläutert.

#### **Allgemeine Rahmenbedingungen des Mittelhessen-Netzes**

Das Mittelhessen-Netz deckt den Bereich des Rhein-Main-Verkehrsverbundes (RMV) nördlich des Mains bis zur Verkehrsverbundgrenze nordöstlich und nordwestlich von Marburg ab. Ziel des RMV ist es, das Nahverkehrsangebot zwischen der Region Mittelhessen und dem Ballungszentrum Rhein-Main durch eine erhöhte Verbindungsqualität und -häufigkeit zu verbessern. Hierfür werden neue umsteigefreie Verbindungen im Stundentakt eingerichtet und weitere auf die Nachfrage ausgerichtete Kapazitäten bereitgestellt.<sup>115</sup> Geplante Maßnahmen zur Angebotsverbesserung sind:<sup>116</sup>

- Zusammenfassung der im mittelhessischen Bereich verkehrenden Regionalbahnen und StadtExpresszüge zu einem abgestimmten Zugsystem („MittelhessenExpress“):

Die Züge des „MittelhessenExpresses“ verbinden in der Hauptverkehrszeit im Ein-studentakt und in den Schwachverkehrszeiten im Zweistudentakt Frankfurt mit Gießen und Treysa/Dillenburg. In Gießen wird der „MittelhessenExpress“ für die

---

<sup>115</sup> Vgl. RMV (o.J.a), S. 31.

<sup>116</sup> Vgl. RMV (2005a) und RMV (o.J.b), S. 49.



Weiterfahrt in Richtung Treysa und Dillenburg geflügelt bzw. von dort aus kommend für die Weiterfahrt nach Frankfurt zusammengekoppelt.

- Ergänzung der Leistungen des „MittelhessenExpresses“
  - a) durch Regionalexpress-Züge im Zweistundentakt von Frankfurt über Gießen und Treysa nach Kassel sowie von Frankfurt über Gießen und Dillenburg nach Siegen, die sich auf der Stammstrecke zu einem Einstundentakt ergänzen, und
  - b) durch Regionalbahn-Züge in der Hauptverkehrszeit zwischen Dillenburg und Gießen sowie Marburg und Gießen.

Die geplanten Angebotsverbesserungen ergänzen die bestehenden Angebote zwischen Gießen und Frankfurt, zu denen auch die nach Einführung des Mittelhessen-Konzeptes weiterhin im Einstundentakt verkehrende Regionalbahn zwischen Gießen und Friedberg und die im Halbstundentakt verkehrenden S-Bahnen zwischen Friedberg und Frankfurt zählen.<sup>117</sup>

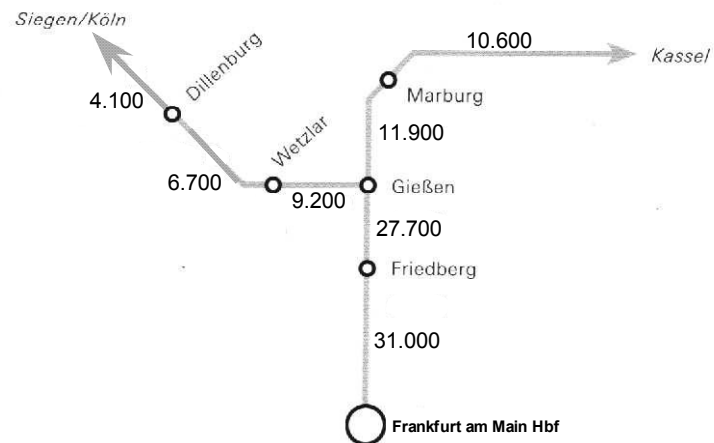
Für die beiden Äste wird angenommen, dass die im Zweistundentakt verkehrenden RegionalExpresszüge und die zusätzlichen RegionalBahnen den Fahrplan des „MittelhessenExpresses“ derart ergänzen, dass in der Hauptverkehrszeit auf den beiden Ästen ein Halbstundentakt entsteht. Es verkehren damit in der Hauptverkehrszeit auf den Ästen zwei Züge in der Stunde.

Mit der Kombination des in der Hauptverkehrszeit im Einstundentakt verkehrenden „MittelhessenExpresses“ und der sich auf der Stammstrecke zum Einstundentakt ergänzenden RegionalExpresszüge aus und in Richtung Siegen bzw. Kassel sowie der stündlich zwischen Gießen und Friedberg verkehrenden RegionalBahn verkehren in der Hauptverkehrszeit auf der Stammstrecke zwischen Gießen und Friedberg drei Züge in der Stunde. Zwischen Friedberg und Frankfurt ergänzen sich der „MittelhessenExpress“, die auf der Stammstrecke im Einstundentakt verkehrenden RegionalExpresszüge aus und in Richtung Siegen bzw. Kassel sowie die im Halbstundentakt verkehrenden S-Bahnen zum Viertelstundentakt. Es verkehren auf diesem Abschnitt in der Hauptverkehrszeit vier Züge in der Stunde.

Die nach Realisierung der Angebotsverbesserungen für das Mittelhessennetz erwartete Querschnittsbelastungen sind in der nachfolgenden Bild 7 dargestellt. Bei den Belastungszahlen handelt es sich um die Summe der in Richtung und Gegenrichtung durchgeführten Personenfahrten je Werktag.

---

<sup>117</sup> Vgl. RMV (2005a) und RMV (2005b).

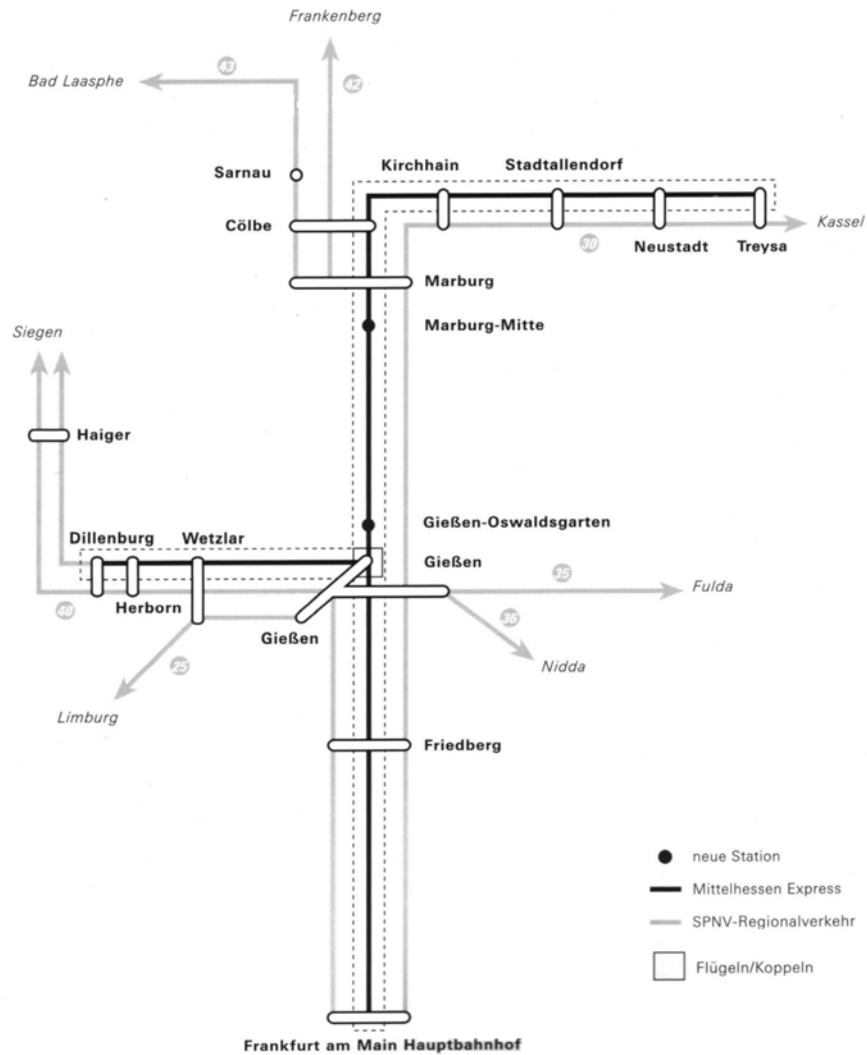


**Bild 7** Querschnittsbelastungen des RegionalExpressverkehrs in Personenfahrten je Werktag (Summe aus Richtung und Gegenrichtung).  
Quelle Mit Änderungen entnommen aus RMV (o.J.b), S. 49.

Der „MittelhessenExpress“ stellt den Schwerpunkt der Angebotsverbesserungen dar. Daraus leitet sich die Begründung ab, die im vorhergehenden Teil dieser Arbeit entwickelte Vergleichssystematik auf die potenziell als „MittelhessenExpress“ einsetzbaren Zugtypen anzuwenden. Hierfür ist es erforderlich, die allgemein gültigen Parameter des Mittelhessennetzes für den „MittelhessenExpress“ zu spezifizieren.

### **Rahmenbedingungen des „MittelhessenExpresses“**

Die geplante Linienführung sowie die geplanten Halte des „MittelhessenExpresses“ sind in Bild 8 dargestellt.



**Bild 8** Geplante Linienführung des „MittelhessenExpresses“.  
 Quelle RMV (o.J.b), S. 48.

Auf dem Abschnitt Frankfurt – Gießen verkehren zwei zu einem Zugverband zusammengekoppelte Zügeinheiten, die im Bahnhof Gießen geflügelt, d.h. voneinander getrennt werden. Eine Zügeinheit fährt westlich aus nach Dillenburg, während die andere Zügeinheit weiter nach Treysa fährt. In umgekehrter Fahrtrichtung werden die beiden aus Dillenburg und Treysa einfahrenden Züge in Gießen zu einem Zugverband zusammengekuppelt und gemeinsam nach Frankfurt gefahren.

Die Entfernung zwischen Frankfurt und Gießen beträgt 66 km, die zwischen Gießen und Dillenburg 51 km und die zwischen Gießen und Treysa 71 km.<sup>118</sup>

<sup>118</sup> Vgl. o.V. (2005b), DB (2005), Kursbuchstrecke 445 und 620.

Die an den geplanten Halten vorhandenen Bahnsteiglängen und deren Höhen sind in der nachfolgenden Tabelle 14 zusammengefasst:

Netzabschnitt	Bahnhof	Bahnsteiglänge [m]	Bahnsteighöhe [m]
Dillenburg – Gießen	Dillenburg	378,00	0,76
	Herborn	<b>267,00</b>	0,38
	Wetzlar	355,00	0,38
	Gießen	410,00	0,38
Treysa – Gießen	Treysa	257,00	0,38
	Neustadt	224,00	0,38
	Stadtallendorf	254,00	0,38
	Kirchhain	311,00	0,38
	Cölbe	267,00	0,38
	Marburg	436,00	0,38
	Marburg-Mitte	<b>190,00</b>	0,76
	Gießen-Oswaldsgarten	<b>190,00</b>	0,76
Gießen – Frankfurt	Gießen	410,00	0,38
	Butzbach	406,00	0,55
	Bad Nauheim	<b>310,00</b>	0,76
	Friedberg	329,00	0,76
	Frankfurt-West	350,00	0,76
	Frankfurt	317,00	0,76

**Tabelle 14** Bahnsteiglängen und –höhen auf dem Mittelhessen-Netz.  
Quelle Güldenpenning (2005a).

Das Betriebskonzept „Flügeln“ lässt es zu, das Liniennetz des Mittelhessen-Netzes in die drei Abschnitte Dillenburg – Gießen, Treysa – Gießen und Gießen – Frankfurt zu teilen, um daraus die zulässigen Einzellängen der beiden Zugeinheiten zu bestimmen.

Tabelle 14 lässt erkennen, dass der auf dem Abschnitt Dillenburg – Gießen eingesetzte Zug nicht länger als 267,00 m und dass der auf dem östlichen Abschnitt Treysa – Gießen eingesetzte Zug nicht länger als 190,00 m sein darf. Insgesamt dürfen die beiden Züge jedoch nicht länger als 310,00 m sein.

Die auf den einzelnen Netzabschnitten maßgeblichen Bahnsteiglängen sind in der nachfolgenden Tabelle 15 zusammengefasst:

Netzabschnitt	maßgebliche Bahnsteiglänge [m]
Dillenburg – Gießen	267,00
Treysa – Gießen	190,00
Gießen – Frankfurt	310,00

**Tabelle 15** Maßgebliche Bahnsteiglängen auf den Abschnitten des Mittelhessen-Netzes.  
Quelle Güldenpenning (2005a).

Eine Bahnsteigverlängerung wird nicht zugelassen. Es wird davon ausgegangen, dass der Betreiber die Kosten der Bahnsteigverlängerung zu übernehmen hätte, wodurch sich seine Investitionskosten erhöhen würden und sich folglich ein höherer und damit nicht wettbewerbsfähiger Angebotspreis ergeben würde.

Tabelle 14 zeigt ferner, dass im gesamten Netz keine einheitliche Bahnsteighöhe vorhanden ist. Die Bahnsteige in Frankfurt, Friedberg und Dillenburg sind jeweils 76 cm hoch, während die Bahnsteigkanten der übrigen Bahnhöfe mit Ausnahme des Bahnhofs Butzbach 38 cm hoch sind.

### 3.2.2 Zugbildung

Voraussetzung für den Vergleich der Zugtypen ist die Festlegung Netz-spezifischer Zugkonfigurationen der miteinander zu vergleichenden Zugtypen. Die spezifischen Konfigurationen wurden festgelegt, indem die folgenden Schritte durchgeführt wurden:

- 1.) Festlegung der Ausstattungsparameter der Fahrzeuge,
- 2.) Bestimmung der vorhandenen Kapazität jedes Fahrzeuges,
- 3.) Ermittlung der im Netz erforderlichen Sitzplatzkapazität pro Zug,
- 4.) Auswahl der Anzahl der Fahrzeuge für jeden Zugtyp.

Für den Anwendungsfall wurden die im allgemeinen Vergleich gewählten Ausstattungsparameter übernommen. Dementsprechend wurden die 1.-Klasse-Reihensitze in einem Abstand von 950 mm, die vis-à-vis angeordneten 1.-Klasse-Sitze in einem Abstand von 1.900 mm, die 2.-Klasse-Reihensitze mit 850 mm Sitzabstand und die vis-à-vis angeordneten 2.-Klasse-Sitze mit einem Sitzabstand von 1.700 mm angeordnet. In jeder Zugeinheit ist ein Mehrzweckraum mit einer nutzbaren Fläche von 15 m<sup>2</sup> sowie eine behindertengerechte Toilette und für jede weiteren 200 Fahrgäste eine „kleine“ Toilette vorzusehen. Bereiche für Catering und ein Dienstabteil werden nicht vorgesehen. Aus diesen Festlegungen ergibt sich die bereits in Kapitel 3.1.1 für jedes einzelne Fahrzeug hergeleitete Sitzplatzkapazität.<sup>119</sup>

Die erforderliche Sitzplatzkapazität bemisst sich am maßgeblichen Fahrgastaufkommen unter der Prämisse, dass jedem Fahrgast auch in der Spitzenstunde ein vollwertiger Sitzplatz zur Verfügung zu stellen ist.<sup>120</sup> Das maßgebliche Fahrgastaufkommen ergibt sich

---

<sup>119</sup> Vgl. Tabelle 5.

<sup>120</sup> Die gewählte Bedingung, dass jedem Fahrgast auch in der Spitzenstunde ein vollwertiger Sitzplatz zur Verfügung zu stellen ist, kann zwar als sehr streng bewertet werden, erscheint aber vor dem Hintergrund

aus dem Fahrgastaufkommen in der Spitzenstunde. Das Spitzenstundenaufkommen wiederum ergibt sich aus der maßgeblichen Belastung des Netzes. Auf Grund des gewählten Betriebskonzeptes „Flügeln“ ist die maßgebliche Belastung für jeden der drei Netzabschnitte getrennt zu ermitteln. Die maßgebliche Belastung eines Netzabschnittes ergibt sich aus der im jeweiligen Netzabschnitt größten Querschnittsbelastung zwischen Start- und Endpunkt dieses Netzabschnittes.

Die auf den beiden Ästen eingesetzten Zügeinheiten müssen über eine Sitzplatzkapazität verfügen, die ausreicht, um das auf ihrem Abschnitt in der Spitzenstunde auftretende Fahrgastaufkommen zu bewältigen. Beide in Gießen gekoppelte Zügeinheiten müssen wiederum über eine Sitzplatzkapazität verfügen, die ausreicht, um die auf der Stammstrecke zwischen Gießen und Frankfurt in der Spitzenstunde auftretende maximale Nachfrage zu bedienen. Reicht die Summe der Sitzplatzkapazitäten beider zusammengekoppelter Zügeinheiten nicht für die Bewältigung der Nachfrage auf der Stammstrecke aus, so kann die Sitzplatzkapazität erhöht werden, indem:

- in Gießen eine dritte Einheit angekoppelt wird oder
- die Kapazität der beiden, von den Ästen kommenden Zügeinheiten erhöht wird.

Für die Bestimmung des in der Spitzenstunde vom „MittelhessenExpress“ in einer Richtung zu bewältigende Aufkommen und damit der in dieser Stunde vorzuhaltenden Sitzplatzkapazität werden die folgenden Annahmen zu Grunde gelegt<sup>121</sup>:

- Die werktägliche Querschnittsbelastung im Mittelhessennetz teilt sich je zur Hälfte auf Richtung und Gegenrichtung auf.
- 13% der Fahrgäste einer Richtung und eines Werktages benutzen während der maßgeblichen Spitzenstunde Züge des Mittelhessennetzes.<sup>122</sup>
- Die in der Spitzenstunde auftretende Nachfrage wird anteilig vom „Mittelhessen-Express“ bewältigt.<sup>123</sup>

---

steigender Ansprüche der Fahrgäste an Sitzkomfort – hier sei erneut auf die vom Fahrgastverband „Pro-Bahn“ durchgeführte Fahrgastumfrage verwiesen (vgl. Wiegner/Moy [2003]) – sowie einem weiter zunehmenden Konkurrenzdruck durch das Verkehrsmittel PKW gerechtfertigt. Eine Reise auf Klappsitzen über eine längere Zeit wird als nicht vertretbar angenommen. Abweichend davon betrachtet die DB Regio beispielsweise eine über 20 Minuten auftretende Überbesetzung von 30% in StadtExpresszügen als vertretbar und tolerierbar; vgl. DB Regio (1999), S. 5.

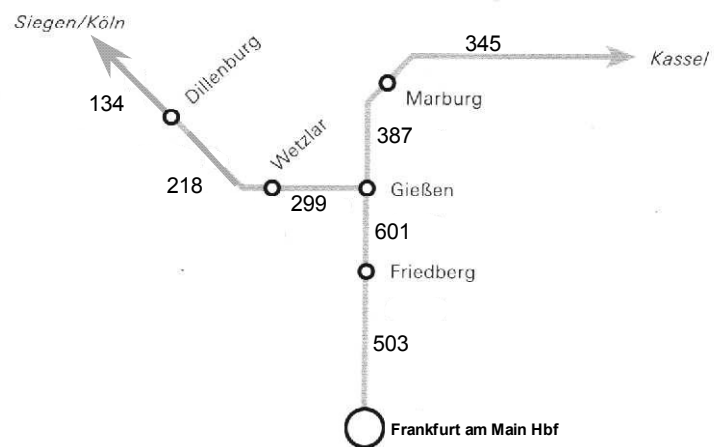
<sup>121</sup> Vgl. Hollborn (2005).

<sup>122</sup> Der Anteil der auf die Spitzenstunde entfallenden Personenfahrten kann grundsätzlich mit 12-15% angenommen werden (vgl. Hollborn [2005]). Eine sich in Zukunft fortsetzende Flexibilisierung des Arbeitszeitbeginns führt zu einer Entzerrung des Fahrgastaufkommens während der Hauptverkehrszeit und damit einer Reduzierung der Spitzenbelastung. Der auf die Spitzenstunde entfallende Anteil der Personenfahrten von 13% kann daher als angemessen angenommen werden.

<sup>123</sup> Unter der Berücksichtigung der getroffenen Annahme von zwei Zügen in der Spitzenstunde auf jedem der beiden Äste sowie drei Zügen in der Spitzenstunde zwischen Gießen und Friedberg und vier Zügen in der Spitzenstunde zwischen Friedberg und Frankfurt übernimmt der „Mittelhessen“-Express auf jedem der beiden Äste jeweils die Hälfte des Gesamtaufkommens sowie ein Drittel dieses Aufkommens zwischen Gießen und Friedberg und ein Viertel des Aufkommens der Spitzenstunde zwischen Friedberg und Frankfurt.

- 65% der Fahrgäste zwischen Dillenburg und Gießen beenden ihre Fahrt in Gießen bzw. beginnen ihre Fahrt dort; die verbleibenden 35% fahren bis Frankfurt durch bzw. kommen von Frankfurt.
- 70% der Fahrgäste zwischen Treysa und Gießen beenden ihre Fahrt in Gießen bzw. beginnen dort ihre Fahrt; der verbleibende Anteil von 30% fährt bis Frankfurt durch bzw. kommt von dort.

Das vom „MittelhessenExpress“ in der Spitzenstunde pro Richtung bewältigte Fahrgastaufkommen in den einzelnen Querschnitten ist in Bild 9 zusammengefasst:



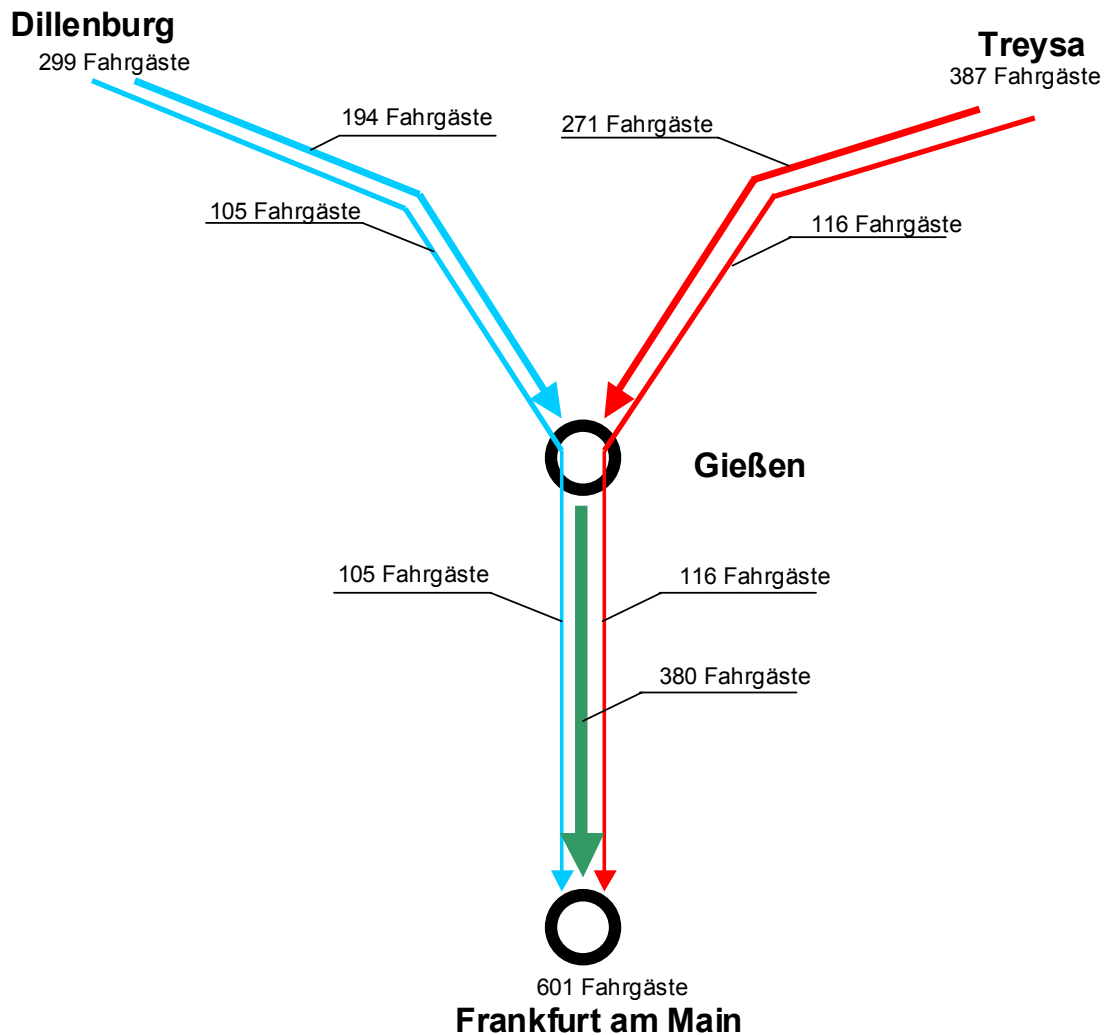
**Bild 9** Anteilige Querschnittsbelastung „MittelhessenExpress“ in Personenfahrten pro Richtung in der maßgeblichen Spitzenstunde.  
Quelle Eigene Darstellung.

Die auf den einzelnen Netzabschnitten in der Spitzenstunde vorzuhaltenden Sitzplatzkapazitäten bestimmen sich aus den Streckenabschnitten eines Netzabschnittes mit der höchsten Querschnittsbelastung. Die für die einzelnen Netzabschnitte geltenden maßgeblichen Streckenabschnitte werden unten in Tabelle 16 zusammen mit der dort erforderlichen Sitzplatzkapazität genannt.

Netzabschnitt	maßgeblicher Streckenabschnitt	erforderliche Sitzplatzkapazität
Frankfurt – Gießen	Gießen – Friedberg	601
Gießen – Dillenburg	Gießen – Wetzlar	299
Gießen – Treysa	Gießen – Marburg	387

**Tabelle 16** Maßgebliche Querschnittsbelastung auf den Streckenabschnitten des Mittelhessen-Netzes pro Richtung und Werktag.  
 Quelle RMV (o.J.), S. 43.; Hollborn (2005); eigene Berechnung.

Mit den oben getroffenen Annahmen bezüglich des Anteils der Personenfahrten, die aus Richtung Frankfurt kommend über Gießen nach Treysa oder Dillenburg bzw. aus Richtung Treysa oder Dillenburg über Gießen Richtung Frankfurt fahren, lässt sich die Nachfrage nach durchgebundenen Zügen bestimmen. Diese Nachfrage ist in Bild 10 dargestellt.



**Bild 10** Vom „MittelhessenExpress“ in der Spitzenstunde bewältigtes maßgebliches Fahrgastaufkommen auf den Netzabschnitten und Nachfrage nach durchgebundenen Zügen.  
 Quelle Eigene Berechnungen.



Die verhältnismäßig geringe Nachfrage nach Zügen, die über Gießen hinaus nach Frankfurt und in der Gegenrichtung nach Treysa und Dillenburg durchgebunden werden, eröffnet die theoretische Möglichkeit, die von Dillenburg bzw. Treysa kommenden Züge in Gießen zu schwächen und dort lediglich Fahrzeugkompositionen mit einer der Nachfrage nach durchgebundenen Zügen entsprechenden Sitzplatzkapazität für die Weiterfahrt nach Frankfurt zusammenzukuppeln. Die über die Sitzplatzkapazität, welche in den beiden auf den Ästen verkehrenden Zügen vorgehalten wird, hinausgehende Nachfrage ist durch eine Zugeinheit, die in Gießen zusätzlich bereitgestellt und an die durchgebundenen Züge gekuppelt würde, abzudecken. Im vorliegenden Fall wären demnach in der Spitzenstunde auf dem westlichen Ast ein aus zwei Einheiten bestehender Zugverband mit einer Kapazität von mindestens 105+194 Sitzen zu fahren, auf dem östlichen Ast ein aus ebenfalls zwei Einheiten bestehender Zugverband mit einer Kapazität von mindestens 116+271 Sitzen und auf der Stammstrecke ein Zugverband aus drei Einheiten mit einer Kapazität von mindestens 105+116+380 Sitzen zu fahren.

Die Bedeutung in einer solchen Vorgehensweise liegt in einer feinen Abstimmung der Kapazität auf die tatsächliche Nachfrage und damit in einer Vermeidung von Überkapazitäten. Andererseits erfordert diese Vorgehensweise fein abgestimmte, zuverlässig durchführbare Betriebsabläufe im Bahnhof Gießen, die auf Grund der gegenwärtig verfügbaren Leitsysteme und potentieller Störungen im Betriebsablauf auf den zulaufenden Streckenabschnitten als nicht realisierbar erscheinen. Eine tiefere Untersuchung solcher Möglichkeiten im Rahmen anschließender Arbeiten erscheint dennoch als interessant.

Für die vorliegende Arbeit soll daher vom Einsatz von je einer Zugeinheit auf den beiden Ästen ausgegangen werden, die über eine für ihr Einsatzgebiet erforderliche Sitzplatzkapazität verfügen. Diese Einheiten werden in Gießen gekuppelt bzw. geflügelt. In einem weiteren Schritt war darauf zu achten, dass die zwei für den Betrieb auf der Stammstrecke zusammengekuppelten Einheiten über eine dafür ausreichende Sitzplatzkapazität verfügen. Gegebenfalls ist für den Betrieb auf der Stammstrecke eine weitere Einheit bereitzuhalten oder die Sitzplatzkapazität in den Zugeinheiten für den Betrieb auf den Ästen entsprechend zu erhöhen.

Bild 10 zeigt, dass die während der Spitzenstunde in den beiden auf den zwei Ästen verkehrenden Zügen jeweils erforderliche Sitzplatzkapazität nach dem Zusammenkuppeln dieser beiden Züge in Gießen ausreichend hoch ist, um die auf der Stammstrecke in der Spitzenstunde vorhandene Nachfrage zu bedienen. Für den durchzuführenden Vergleich der Zugtypen sollen daher Zugverbände aus je zwei Zugeinheiten betrachtet werden. Jede Zugeinheit weist für sich eine Sitzplatzkapazität auf, die ausreicht, um die Nachfrage auf dem von ihr bedienten Ast zu befriedigen; beide Zugeinheiten weisen, für den Dienst

auf der Stammstrecke zusammengekuppelt, eine Kapazität auf, die ausreichend hoch ist, um die dort auftretende Nachfrage zu befriedigen. Es wird angenommen, dass die zu einem Zugverband gekuppelten Zugeinheiten unter Nutzung ihrer Traktion fahren. Wird ein aus zwei Zügen bestehender Zugverband gebildet, so wird dieser mit doppelter Traktion gefahren.

Aus der auf den beiden Ästen erforderlichen Sitzplatzkapazität lässt sich die jeweilige Zugkonfiguration ableiten. Die Konfigurationen der auf den drei Netzabschnitten erforderlichen Züge sind in Tabelle 17 zusammengestellt.

Teilnetz	DoSto-WZ	Do-ET	SD-WZ	SD-ET
Dillenburg – Gießen	Lok + 2 MW + 1 SW (325 Sitze) (99,77 m)	1 ET (317 Sitze) (100 m)	Lok + 1 AW + 2 VW + 1 SW (314 Sitze) (128,07 m)	2 ET (310 Sitze) (134,30 m)
Treysa – Gießen	Lok + 3 MW + 1 SW (457 Sitze) (126,57 m)	2 ET (634 Sitze) (200 m)	Lok + 1 AW + 3 VW + 1 SW (406 Sitze) (155,370 m)	3 ET (465 Sitze) (201,45 m)
Gießen - Frankfurt	Lok + 2 MW + 1 SW + Lok + 3 MW + 1 SW (782 Sitze) (226,34 m)	1 + 2 ET (951 Sitze) (300 m)	Lok + 1 AW + 2 VW + 1 SW + Lok + 1 AW + 3 VW + 1 SW (720 Sitze) (283,44 m)	2 + 3 ET (775 Sitze) (335,75 m)

**Tabelle 17** Mögliche Zugkonfigurationen auf dem Mittelhessen-Netz.  
Quelle Eigene Darstellung.

Unter Beachtung der auf den Netzabschnitten vorhandenen Bahnsteiglängen ergibt sich aus Tabelle 17, dass doppel- und einstöckige lokbespannte Züge eingesetzt werden können. Der Doppelstock-Triebzug müsste auf Grund der maßgeblichen Bahnsteiglänge von 190,00 m auf dem Abschnitt Treysa – Gießen ausscheiden; der zur Abdeckung der Nachfrage auf diesem Abschnitt erforderliche, in 2-fach-Traktion zu fahrende Zug ist um 10,00 m zu lang. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass sich der Längenkonflikt ohne schwere Eingriffe in den allgemeinen Betriebsablauf lösen lässt.

Der SD-ET scheidet aus den folgenden Gründen aus: Zum einen wurde das Kürzen von Zügen im Flügelbahnhof von einem der Äste kommend als eine mögliche Betriebsablauf-form ausgeschlossen; zum anderen lässt sich der SD-ET maximal in Vierfachtraktion fahren.

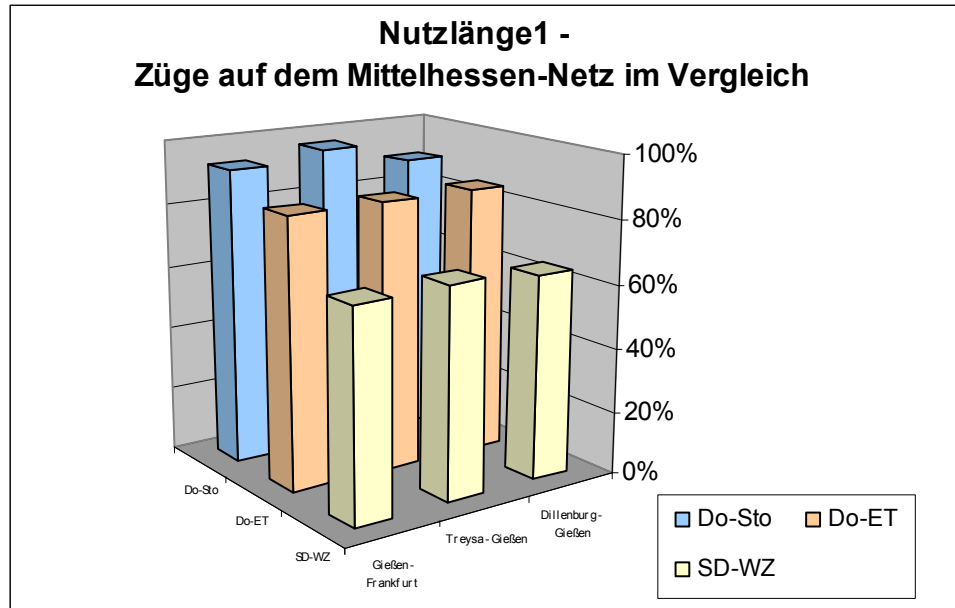
Im Folgenden werden daher der doppelstöckige lokbespannte Zug, der einstöckige lokbespannte Zug und der Doppelstocktriebzug miteinander auf ihre Wirtschaftlichkeit hin verglichen. Mit Ausnahme des in Einfachtraktion gefahrenen Doppelstocktriebzuges und

des auf der Relation Dillenburg – Gießen eingesetzten einstöckigen lokbespannten Zuges weisen alle Züge eine Sitzplatzkapazität auf, die größer als 320 ist. Entsprechend der modifizierten Planungsregel ist also zu erwarten, dass die lokbespannten Züge mit einer Kapazität über 320 Sitzplätzen hinsichtlich ihrer kostenmäßigen Wirtschaftlichkeit günstiger zu bewerten sind als der Doppelstocktriebzug. Obwohl der einstöckige lokbespannte Zug auf der Strecke Dillenburg – Gießen weniger als 320 Sitzplätze aufweist, wird erwartet, dass einstöckige lokbespannte Züge bei einer Gesamtnetz Betrachtung in kostenmäßiger Hinsicht wirtschaftlicher ist. Die Länge des Abschnittes, auf den der in Einfachtraktion gefahrene Doppelstocktriebzug und der kürzere einstöckige lokbespannte Zug gefahren werden, stellen die kürzeren Abschnitte dar. Zudem liegt die Sitzplatzkapazität des einstöckigen lokbespannten Zuges nicht deutlich unter der festgestellten Grenze von 320 Sitzplätzen, ab der lokbespannte Züge in kostenmäßiger Hinsicht wirtschaftlicher sind.

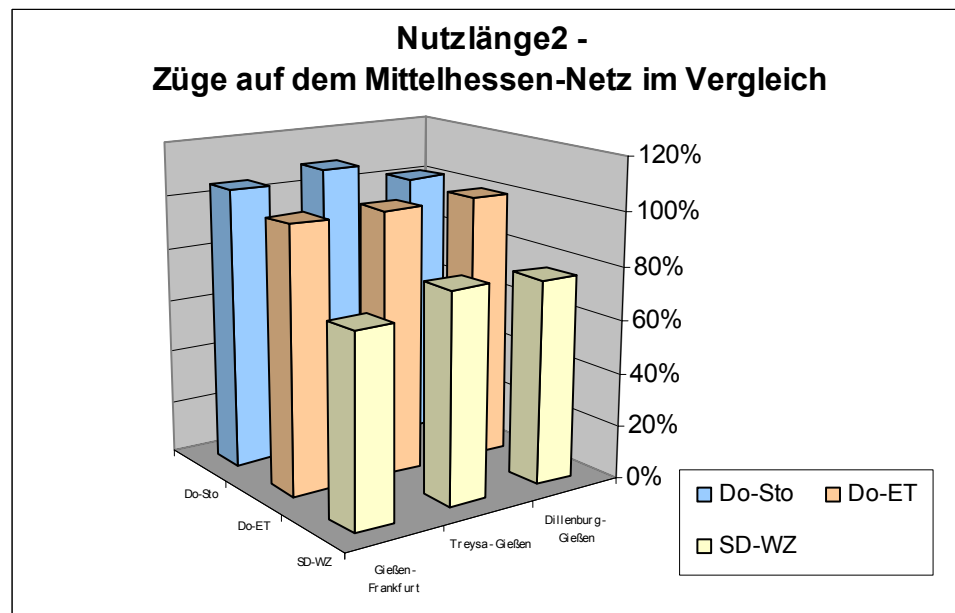
### 3.2.3 Optimales Zugkonzept

Bild 11 zeigt die grafische Darstellung der Berechnung der Nutzlänge<sup>1</sup> für die drei Zugkonzepte auf allen Teilen des Mittelhessen-Netzes. Es ist zu erkennen, dass die Nutzlänge<sup>1</sup> des Doppelstockwagenzuges auf allen drei Abschnitten am günstigsten zu bewerten ist. Der Doppelstockzug ist damit der Zug, in dem der größte Anteil seiner Länge für fahrgastbezogene Zwecke genutzt werden kann. Auf den Abschnitten Dillenburg – Gießen, Treysa – Gießen und Gießen Frankfurt können ungefähr 89%, 96% bzw. 93% der Zuggesamtlänge für fahrgastbezogenen Zwecke genutzt werden. Als zweitgünstigstes Zugkonzept ist der Doppelstocktriebzug zu bewerten; er erreicht auf den drei Abschnitten jeweils 85 %. Der einstöckige Wagenzug erreicht hingegen lediglich 64%, 66% bzw. 65%.

Bild 12 zeigt das grafisch dargestellte Berechnungsergebnis für die Nutzlänge<sup>2</sup> für die drei Zugkonzepte auf den drei Abschnitten Dillenburg-Gießen, Treysa-Gießen und Gießen – Frankfurt. Auch in Bezug auf diese Kennzahl ist der lokbespannte Doppelstockzug am günstigsten zu bewerten. Seine Kennzahl erreicht auf den drei Abschnitten 101%, 108% und 105%. Der Doppelstocktriebzug hat auf allen drei Abschnitten einen Nutzlängen<sup>2</sup>-Anteil von jeweils 100%. Der lokbespannte einstöckige Wagenzug lediglich Anteilswerte von 76%, 79% und 71%.



**Bild 11** „Nutzlänge1“ der Zugkonzepte auf dem Mittelhessen-Netz.  
Quelle Eigene Berechnungen.

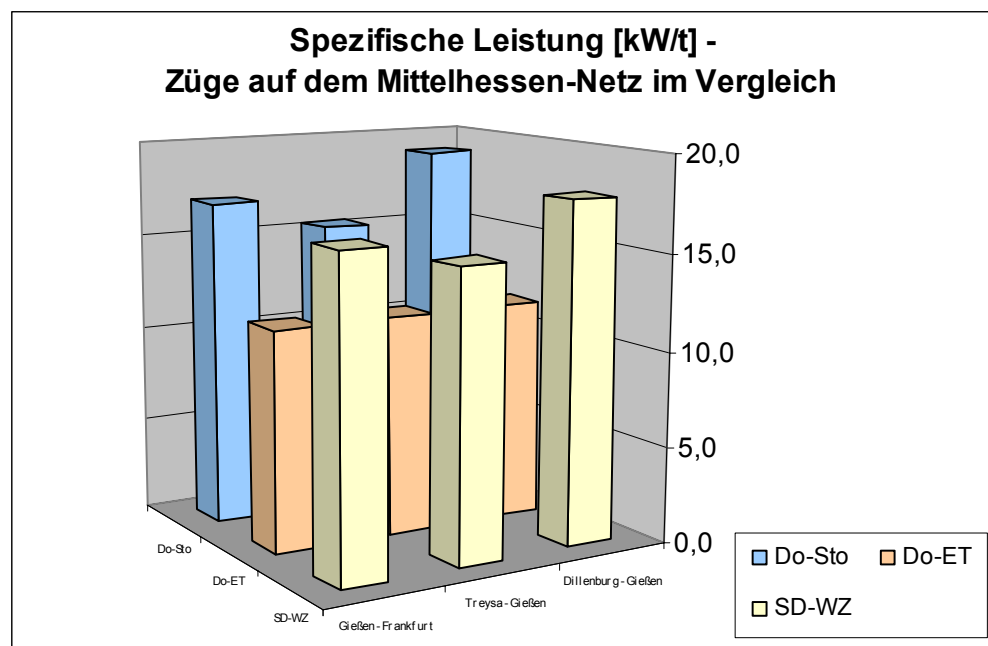


**Bild 12** „Nutzlänge2“ der Zugkonzepte auf dem Mittelhessen-Netz.  
Quelle Eigene Berechnungen.

Bild 13 zeigt die massespezifische Leistung der drei Zugkonzepte auf den drei Netzabschnitten des Mittelhessen-Netzes. Auf allen drei Netzabschnitten weist der lokbespannte Doppelstockzug im Vergleich zu den anderen Zügen die höchste massespezifische Leistung auf: Auf den Abschnitten Dillenburg-Gießen, Treysa-Gießen und Gießen-Frankfurt beträgt seine spezifische Leistung 19 kW/t, 15,3 kW/t bzw. 17 kW/t. Die Werte des einstöckigen lokbespannten Zuges liegen mit 17,8 kW/t, 15 kW/t bzw. 16,3 kW/t lediglich gering-

fällig unter der Leistung des Doppelstockzuges. Der Doppelstocktriebzug liegt mit etwa 11,5 kW/t deutlich unter den Werten der lokbespannten Züge.

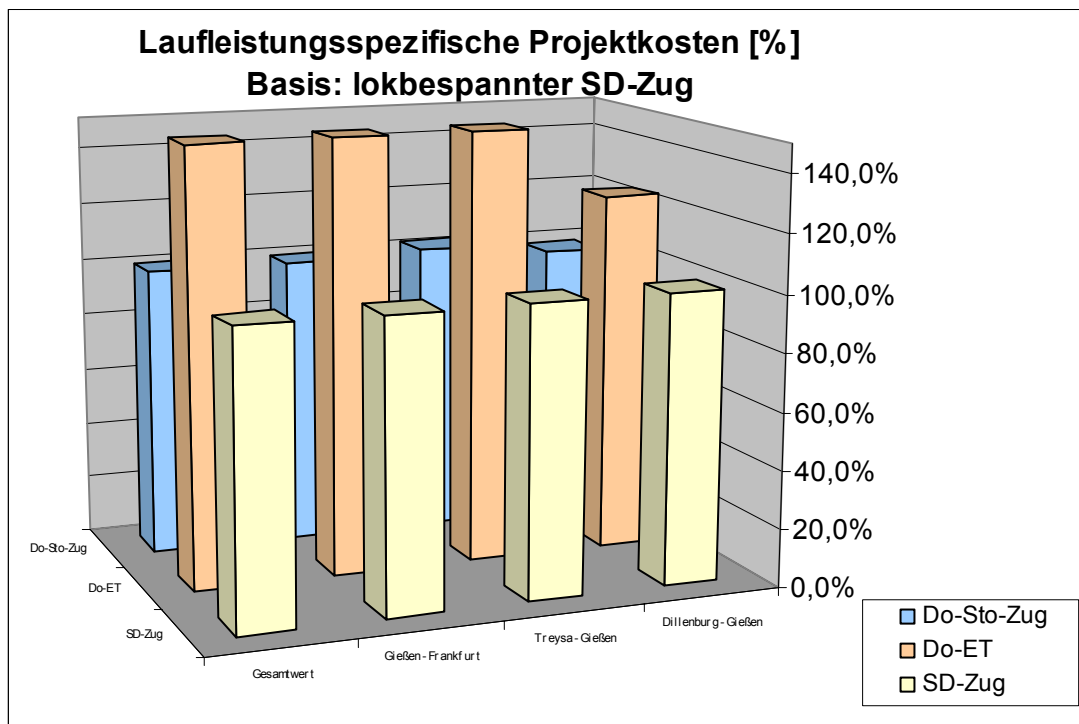
Ein Erklärungsansatz für das Berechnungsergebnis ist, dass auf dem Mittelhessen-Netz verhältnismäßig kurze lokbespannte Züge erforderlich sind, die von leistungsstarken Lokomotiven gezogen werden. Auf beiden Ästen liegt ihre Kapazität jeweils unter der Grenze von etwa 620 Sitzplätzen, ab welcher der Doppelstocktriebzug eine höhere massespezifische Leistung hat. Auf dem Stamm liegt die Sitzplatzkapazität des Zuges deutlich über der Grenze von 620 Sitzplätzen. Es handelt sich jedoch um aus zwei Einheiten bestehende Zugverbände, die jeweils in 2-Fach-Traktion gefahren werden. Die auf der Stammstrecke gefahrenen Zugverbände entsprechen damit zwei eigenständigen Zügen.



**Bild 13** „Massespezifische Leistung“ der Zugkonzepte auf dem Mittelhessen-Netz.  
Quelle Eigene Berechnungen.

Werden die einzelnen Bewertungsergebnisse der drei auf die Attraktivität bezogenen Kennzahlen zu einem Gesamtergebnis zusammengeführt, kann festgestellt werden, dass der lokbespannte Doppelstocktriebzug hinsichtlich der Attraktivitätskennzahlen am besten zu beurteilen ist; bei allen drei Kennzahlen schneidet er am besten ab. Als zweitbestes ist der Doppelstocktriebzug zu beurteilen: Er schneidet bei beiden Nutzlängen-Kennzahlen am zweitbesten ab; lediglich bezüglich der massespezifischen Leistung ist er am ungünstigsten zu bewerten. Als drittbestes ist folglich der einstöckige Wagenzug in Bezug auf die Attraktivitätskennzahlen zu beurteilen.

**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt die lauleistungsspezifischen Projektkosten der Zugkonzepte in Bezug auf den beliebig als Basis gewählten einstöckigen lokbespannten einstöckigen Zug. Es ist zu erkennen, dass die Projektkosten des lokbespannten Doppelstockzuges geringfügig um die 100% schwanken. Auf den Abschnitten Dillenburg-Gießen und Gießen-Frankfurt ist er mit 97,96% bzw. 99,92% geringfügig bis vernachlässigbar günstiger als der einstöckige Lokzug; auf dem Abschnitt Treysa-Gießen hingegen ist er mit 101,63% geringfügig teurer. Werden die Projektkosten der einzelnen Abschnitte über die Abschnittslängen gemittelt, so ist der lokbespannte Doppelstockzug mit 100,06% praktisch genauso teuer wie der lokbespannte einstöckige Zug. Die Kosten des Doppelstocktriebzug liegen auf allen drei Netzabschnitten über den Kosten der lokbespannten Züge; er ist damit im Vergleich zu diesen Zügen am teuersten. Auf dem Abschnitt Dillenburg-Gießen und Treysa-Gießen verursacht der Doppelstockzug 124,99% bzw. 218,79% der Kosten des einstöckigen lokbespannten Zuges; zwischen Gießen und Frankfurt verursacht er Kosten von 175,02%. Über die Entfernung der einzelnen Abschnitte gemittelt, verursacht der Doppelstocktriebzug 178,67% der Kosten des einstöckigen lokbespannten Zuges.



**Bild 14** Lauleistungsspezifische Projektkosten der Zugkonzepte auf dem Mittelhessen-Netz.  
 Quelle Eigene Berechnungen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass beide lokbespannten Züge in kostenmäßiger Hinsicht wirtschaftlicher sind als der Doppelstocktriebzug. Unter Berücksichtigung des

Zusammenhangs der Attraktivitätskennzahlen auf die Wirtschaftlichkeit<sup>124</sup> ist festzustellen, dass der lokbespannte Zug insgesamt wirtschaftlicher ist als der Doppelstocktriebzug. Dem Doppelstocklokozug kann eine im Vergleich zum Doppelstocktriebzug höhere Attraktivität testiert werden. Die höhere Attraktivität wirkt günstig auf den Ertrag ein und verbessert damit die Wirtschaftlichkeit.

Die Anwendung der Bewertungssystematik auf das Mittelhessen-Netz hat gezeigt, dass sie sich für eine Überprüfung der Eignung von Zugkonzepten bezüglich ihrer Einsatzfähigkeit in Einzelfällen eignet. Mit der Anwendung konnte zudem gezeigt werden, dass die in Kapitel 3.1.3 definierte modifizierte Planungsregel nicht verworfen werden braucht. Es konnte bestätigt werden, dass ab einer Kapazität von 320 Sitzplätzen ein lokbespannter Zug in kostenmäßiger Hinsicht wirtschaftlicher ist.

---

<sup>124</sup> Vgl. Kapitel 2.4.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieser Arbeit war es, objektiv verkehrliche, betriebliche und wirtschaftliche Größen als Entscheidungshilfen für die Wahl eines für den Regionalverkehr geeigneten Zugkonzeptes darzustellen, bzw. zu entwickeln, diese in einen systematischen Zusammenhang zu bringen und im Rahmen einer allgemein gültigen Anwendung die in der Praxis etablierte Planungsregel, nach der ab einer Kapazität von rund 300 Sitzplätzen ein lokbespannter Zug gegenüber einem Triebzug wirtschaftlicher ist, zu überprüfen. Anhand einer realen Strecke war zudem die Eignung der entwickelten Entscheidungssystematik für eine praktische Anwendung zu überprüfen.

Zunächst wurde eine Bewertungssystematik entwickelt. Die Entwicklung der Systematik wurde in Kapitel 2 dokumentiert. Um zu der Bewertungssystematik zu gelangen, war es erforderlich, die Bewertungsobjekte festzulegen, Einflussgrößen aus den Rahmenbedingungen abzuleiten, um aus ihrer Menge Bewertungskriterien auszuwählen, und für diese Kennzahlen zu definieren.

Die Bewertungsobjekte ergaben sich aus dem für diese Arbeit gewählten Fokus, der auf lokbespannte einstöckige und doppelstöckige Züge sowie auf einstöckige und doppelstöckige Elektrotriebzüge gerichtet war. Für jedes dieser vier Konzepte war in Kapitel 2.1 aus der Menge der im Rahmen einer Literaturrecherche identifizierten Zugkonzepte eines begründet auszuwählen. Für die lokbespannten Züge wurde als Triebfahrzeug die Lokomotive der Baureihe BR146.2 gewählt, da sie über eine hohe Traktionsleistung verfügt und damit auch schwere Wagenzüge mit ausreichend großer Beschleunigung pünktlich gefahren werden können. Ihre wesentlichen Kennzeichen wurden in Kapitel 2.1.1 beschrieben. Als einstöckige Wagen wurden die für den Einsatz auf der Marschbahn vorgesehenen Fahrzeuge gewählt, da sie die einzigen einstöckigen Fahrzeuge sind, die modernsten Ansprüchen umfassend entsprechen. Ihre wesentlichen Merkmale wurden in Kapitel 2.1.2 beschrieben. In Kapitel 2.1.3 wurden die Doppelstockwagen von Bombardier Transportation als Bewertungsobjekt für doppelstöckige Wagenzüge begründet ausgewählt und ihre wesentlichen Eigenschaften erläutert. Diese Doppelstockwagen dominieren den deutschen Regionalverkehrsmarkt für doppelstöckige Reisezugwagen. Als Bewertungsobjekt der Gruppe der einstöckigen Elektrotriebzüge wurde die Baureihe BR425 begründet gewählt. Sie wird in größerem Umfang bei der DB Regio eingesetzt; andere Baureihen befinden sich zur Zeit noch in der Umsetzungsphase und sind daher noch nicht im Einsatz. Die Elektrotriebzüge der Baureihe BR425 wurden in Kapitel 2.1.4 beschrieben. In Kapitel 2.1.5 war der Blickwinkel auf die Doppelstocktriebzüge gerichtet. Nachdem zunächst auf



die allgemeine Problematik von Doppelstocktriebzügen eingegangen wurde, wurde der von Siemens für den Einsatz als S-Bahn im Zürcher Verkehrsverbund entwickelte Doppelstocktriebzug RABe514 als für diese Arbeit relevantes Zugkonzept gewählt. Die Entscheidung fiel zugunsten dieses Konzeptes, da es sich um den zur Zeit einzigen Doppelstocktriebzug handelt, der den Betrieb aufnehmen wird. Andere Doppelstocktriebzüge existieren bisher nur als Konzeptentwürfe auf dem Papier oder sind über den Prototypstatus nicht hinaus gekommen. Die wesentlichen Eigenschaften des Doppelstocktriebzuges RABe514 wurden in Kapitel 2.1.5 beschrieben.

In Kapitel 2.2 wurden die Grundlagen für die Festlegung der im Rahmen der Bewertungssystematik anzuwendenden Bewertungskriterien gelegt, indem die sich aus verkehrlichen, betrieblichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ergebenden Größen benannt und beschrieben wurden, die Einfluss darauf nehmen, ob ein bestimmtes Zugkonzept für den Einsatz im Regionalverkehr geeignet ist. Nachdem der grundsätzliche Wirkungszusammenhang zwischen Rahmenbedingungen, Einflussgrößen und der Eignung von Zugkonzepten festgestellt worden war, wurden die Einflussgrößen als Ergebnisse der Analyse der verkehrlichen, betrieblichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen dargestellt. In Kapitel 2.2.1 wurden die verkehrlichen Einflussgrößen erläutert. Grundlage hierfür waren die von Fahrgästen des Öffentlichen Personennahverkehrs an verschiedene Verkehrsdienstleistungen des Öffentlichen Personennahverkehrs gestellten Anforderungen, die kategorisiert werden konnten. Die Einflussgrößen konnten in die Anforderungskategorien „Barrierefreiheit“, „Sitzplatzkapazität“, „Komfort und Ausstattung“, „Fahrgastinformationen“, „Pünktlichkeit“, „Reisegeschwindigkeit“ und „Fahrpreishöhe“ eingeteilt werden. Anschließend wurden in Kapitel 2.2.2 die identifizierten betrieblichen Einflussgrößen erläutert. Diese konnten in infrastruktur- und betriebsablaufbedingte Einflussgrößen differenziert werden. Für beide Gruppen an Einflussgrößen gilt gemeinsam, dass ein auf einer Strecke eingesetzter Zug sowohl bezüglich der Infrastruktur als auch bezüglich des Betriebsablaufes „passen“ muss. Erfüllt ein Zug infrastrukturelle oder betriebsablauftechnische Anforderungen nicht, so kann er auf der Strecke grundsätzlich nicht eingesetzt werden. Nur durch besondere Maßnahmen, wie z.B. Anpassungen der Infrastruktur, wäre dann ein Einsatz möglich. In infrastruktureller Hinsicht muss die Versorgung eines Zuges mit der benötigten Energie möglich sein; seine Radsatz- und Meterlasten dürfen nicht größer als die maßgeblichen Radsatz- und Meterlasten der von ihm befahrenen Strecke sein; sein Profil darf nicht größer als das maßgebliche Lichtraumprofil sein; er darf grundsätzlich nicht länger als die maßgebliche Bahnsteiglänge der von ihm bedienten Bahnhöfe sein und seine Einstiegshöhe sollte nach Möglichkeit weitestgehend auf die Bahnsteigkantenhöhen der von ihm bedienten Halte abgestimmt sein. In betriebsablauftechnischer Hinsicht sollte mit einem gewählten Zugkonzept die vom Aufgabenträger gewünschten

Betriebskonzepte umsetzbar sein. Zu diesen Betriebskonzepten gehören das Wenden, das Stärken und Schwächen sowie das Flügeln. Es sollte zudem möglich sein, die auftretende Verkehrsnachfrage an sich und in der geforderten Art und Weise zu bewältigen. Die realisierbaren Halte- und Fahrzeiten sind hierfür wesentliche Einflussgrößen. Anschließend wurde in Kapitel 2.2.3 auf die identifizierten wirtschaftlichen Einflussgrößen eingegangen, nachdem zunächst die Begrifflichkeit der „Wirtschaftlichkeit“ als das Verhältnis aus Ertrag zu Aufwand geklärt wurde. Nach der Wahl des Fokus auf die durch einen Zug auf der Seite des Betreibers über die gesamte Vertragslaufzeit verursachten Kosten wurden die identifizierten wesentlichen Kosteneinflussgrößen erläutert. Zu diesen Einflussgrößen gehören die Investitionskosten, die den Kaufpreis einschließlich des Kapitaldienstes und im Einzelfall erforderliche Infrastrukturanpassungsmaßnahmen umfassen; die Betriebskosten, welche sich aus den auf das Projekt umgelegten Gemeinkosten des Betreibers, den Personalkosten und den Kosten für Strom zusammensetzen; die für präventive und korrektive Wartung und Instandhaltung anfallenden Kosten, die sich aus den Kosten für Personal sowie Ersatzteile und Betriebsstoffe zusammensetzen; den durch einen möglichen Verkauf am Ende der Projektlaufzeit erzielbaren Verkaufspreis, d.h. Restwert, und gegebenenfalls Kosten der Entsorgung.

In Kapitel 2.3 wurden aus den in Kapitel 2.2 identifizierten und erläuterten verkehrlichen, betrieblichen und wirtschaftlichen Einflussgrößen bewertungsrelevante verkehrliche, betriebliche und wirtschaftliche Kriterien ausgewählt und Kennzahlen für sie definiert. Aus der Menge der Einflussgrößen konnte ein großer Teil ausgeschlossen werden, da sie zum einen nicht zugtypspezifisch sind und zum anderen sich nicht für einen allgemeingültigen Fall eigneten, sondern erst im Kontext des Einzelfalls bestimmt werden könnten und dann eine Aussagefähigkeit erlangen würden.

Aus der Menge der verkehrlichen Einflussgrößen konnte in Kapitel 2.3.1 die Zuglänge und das Beschleunigungsvermögen als bewertungsrelevant gewählt werden.

Die Zuglänge bestimmt unter Berücksichtigung der weiteren an die Ausstattung gestellten Anforderungen, wie z.B. Mehrzweckraum, Dienstabteil oder Bereiche für Catering, die Anzahl der in einem Zug aufnehmbaren Fahrgäste. Als Beurteilungsgröße der insgesamt aufnehmbaren Fahrgäste wurde die Kennzahl „Nutzlänge2“ als Verhältnis der insgesamt von Fahrgästen nutzbaren Zuglänge zur Zuggesamtlänge und als Beurteilungsgröße der Sitzplatzkapazität die Kennzahl „Nutzlänge1“ als Verhältnis aus der auf den Fahrgastraum entfallenden Zuglänge und der Zuggesamtlänge definiert.

Das Beschleunigungsvermögen des Zuges beeinflusst insbesondere bei kurzen Haltestellenabständen die Fähigkeit des Zuges, einen gegebenen Fahrplan einzuhalten. Besonders bei voller Ausnutzung der Fahrgastkapazität und unter ungünstigen Witterungsbedingungen sollte ein Zug pünktlich sein. Das Beschleunigungsvermögen eignete sich nicht

als Kennzahl, da Witterungsbedingungen und die zu bewegende Zugmasse die Beschleunigungseigenschaften beeinflussen. Als Kennzahl wurde daher die massespezifische Leistung gewählt. Bei dieser Kennzahl handelt es sich um die von einem Zug aufgebraachte Traktionsleistung, die auf die von ihm zu bewegende Masse bezogen wird.

Als relevante betriebliche Bewertungskriterien wurden in Kapitel 2.3.2 die Zuglänge, das Beschleunigungsvermögen und die Differenz zwischen Zuglänge und Bahnsteiglänge bestimmt. Die Differenz zwischen Zuglänge und Bahnsteiglänge ist zwar kein allgemeingültiges Bewertungskriterium, da die im Einzelfall maßgeblichen Bahnsteiglängen bekannt sein müssen. Diese Differenz ist jedoch von enormer Wichtigkeit für die Eignung von Zügen auf dem Netz. Diese Differenz ist in jedem Einzelfall zuerst zu überprüfen. Lässt sich keine entsprechende Passfähigkeit für einen Zug fest- oder herstellen, so ist dieser von der Bewertung auszuschließen.

Anschließend wurden in Kapitel 2.3.3 die wirtschaftlichen Einflussgrößen auf ihre Bewertungsrelevanz hin überprüft. Als Bewertungskriterien wurden der Kaufpreis des Zuges einschließlich des aufzubringenden Kapitaldienstes und die Wartungs- und Instandhaltungskosten bestimmt. Für diese wurde die Kennzahl „Laufleistungsspezifische Projektkosten“ definiert.

Das Kapitel 2 konnte dann mit der Beschreibung der Bewertungssystematik und einem möglichen Prozedere zur Durchführung einer Untersuchung der Zugkonzepte auf ihre verkehrliche, betriebliche und wirtschaftliche Eignung hin abgeschlossen werden.

In Kapitel 3 wurde die in Kapitel 2 entwickelte Bewertungssystematik mit dem Ziel angewendet, diese auf ihre Allgemeingültigkeit hin zu überprüfen. Mit dieser allgemeingültigen Anwendung wurde die in der Praxis gängige Planungsregel, nach der lokbespannte Züge ab einer Kapazität von 300 Sitzplätzen wirtschaftlicher sind, überprüft. Diese Überprüfung wurde in Kapitel 3.1 beschrieben. Anschließend wurde die Bewertungssystematik anhand eines Einzelfalles auf ihre Eignung für praktische Anwendungen hin überprüft. Die beispielhafte Einzelfallanwendung wurde in Kapitel 3.2 dokumentiert.

Eine allgemeingültige Überprüfung der Bewertungssystematik erforderte zunächst, für die jeweils betrachtete Sitzplatzanzahl aus jedem der vier Zugkonzepte ein Zug mit der entsprechenden Sitzplatzkapazität zu bilden. Die für die Konfiguration gewählte Vorgehensweise wurde in Kapitel 3.1.1 beschrieben. Die Konfiguration setzte die Ermittlung der Sitzplatzkapazitäten voraus. Hierzu wurde die Nutzlänge, für jedes Fahrzeug bestimmt, anhand eines für alle Fahrzeuge gleichermaßen geltenden Sitzteilers die Anzahl der Sitze pro Meter zu 4,24 Sitzen pro Meter berechnet, andere vorzusehenden Nutzungsarten festgelegt und die Sitzspurlänge berechnet. Außer einem Mehrzweckraum in der Größe von etwa 15 m<sup>2</sup>, bzw. einer für alle Zugkonzepte einheitlich geltenden Länge von 6,60 m,

wurden neben der Bestuhlung, einer behindertengerechten Toilette pro Zugeinheit und einer „kleinen“ Toilette keine anderen Nutzungsarten vorgesehen. Abschließend wurden Annahmen zur Konfiguration der Züge getroffen.

In Kapitel 3.1.2 wurde die Vorgehensweise zur Berechnung der Kennzahlen für jeden der gebildeten Züge erläutert. Mit Hilfe eines Tabellenverarbeitungsprogramms konnten für die Menge der gebildeten Züge komfortabel die Werte der in Kapitel 2.3 definierten Kennzahlen berechnet werden.

Es waren die Nutzlänge<sub>1</sub> und die Nutzlänge<sub>2</sub> jeweils aus dem Verhältnis der Nutzlänge<sub>i</sub> bzw. Nutzlänge<sub>ii</sub> des gesamten Zuges zu der Zuggesamtlänge sowie die massespezifische Leistung und die laufleistungsspezifischen Projektkosten zu berechnen.

Die Ergebnisse der für jeden gebildeten Zug berechneten Kennzahlen wurde in die der Kennzahl entsprechenden Grafik übertragen. Anhand dieser Grafiken konnte beurteilt werden, welches der Zugkonzepte in welchen Bereichen der Sitzplatzkapazität günstiger ist. Um zu einem Gesamturteil kommen zu können, wurden den Zugkonzepten Ränge verliehen.

Hinsichtlich der Nutzlänge<sub>1</sub> und Nutzlänge<sub>2</sub> war der lokbespannte Doppelstockzug jeweils am besten zu bewerten, gefolgt vom Doppelstocktriebzug. Ab einer Kapazität von 193 Sitzen ist der für Fahrgastzwecke zur Verfügung stehende Raum im Verhältnis zur Zuggesamtlänge größer als beim Doppelstocktriebzug. Die beiden anderen Zugkonzepte teilten sich die anderen beiden Ränge. Während der lokbespannte einstöckige Zug hinsichtlich der Nutzlänge<sub>1</sub> günstiger zu bewerten ist als der einstöckige Triebzug, ist der einstöckige Triebzug hinsichtlich der Nutzlänge<sub>2</sub> günstiger als der lokbespannte einstöckige Zug zu bewerten.

Hinsichtlich der massespezifischen Leistung ist der Doppelstocktriebzug insgesamt am günstigsten zu bewerten, gefolgt vom lokbespannten Doppelstockzug, dem einstöckigen Triebzug und dem lokbespannten einstöckigen lokbespannten Zug. Bis 300 Sitzplätzen ist der lokbespannte Doppelstockzug am leistungsfähigsten. Im Bereich von 300 bis 450 Sitzplätzen ist er ungefähr dem einstöckigen Triebzug gleichwertig. Im Bereich zwischen 450 bis 620 weist der einstöckige Triebzug die höchste massespezifische Leistung auf. Ab einer Kapazität von 620 Sitzplätzen ist der Doppelstocktriebzug am günstigsten zu bewerten. Bei gleicher Sitzplatzanzahl liegt der einstöckige lokbespannte Zug hinsichtlich des Wertes der massespezifischen Leistungsfähigkeit stets unter der des doppelstöckigen lokbespannten Zuges.

Hinsichtlich der laufleistungsspezifischen Projektkosten unterscheiden sich die Funktionsverläufe der Triebzüge und der lokbespannten Züge untereinander nicht wesentlich. Ab einer Kapazität von etwa 300 Sitzplätzen verursachen die lokbespannten Züge geringere projektspezifische Kosten.

Insgesamt konnten lokbespannte Doppelstockzüge am besten bewertet werden. Sowohl in Bezug auf die Kosten als auch in Bezug auf die Attraktivität sind sie im Vergleich zu allen anderen Konzepten am günstigsten zu bewerten. Vor dem Hintergrund, dass auch die Attraktivität die Wirtschaftlichkeit beeinflusst, können die beiden Doppelstockzugkonzepte als äußerst wirtschaftlich bewertet werden. Die Wirtschaftlichkeit des einstöckigen lokbespannten Zuges wird durch seine im Vergleich zu den Doppelstockzügen geringere Attraktivität beeinträchtigt. Die höhere Attraktivität des Doppelstocktriebzuges wird durch die im Vergleich zu den lokbespannten Zügen ungünstigere Kostensituation beeinträchtigt.

Die Planungsregel war zu modifizieren: Ab einer Sitzplatzkapazität von etwa 320 ist ein lokbespannter Zug in Bezug auf den verursachten Aufwand nur dann wirtschaftlicher, wenn der Ertrag gegeben und von der Attraktivität des Verkehrsangebotes unabhängig ist. Es kann gesagt werden: Ab einer Sitzplatzkapazität von etwa 320 verursachen lokbespannte Züge im Vergleich zu Triebzügen die geringeren Kosten.

Der allgemein gültigen Überprüfung der entwickelten Bewertungssystematik schloss sich eine Überprüfung der Systematik an, die zum Ziel hatte festzustellen, ob sich die entwickelte Bewertungssystematik auch in praktischen Einzelfällen anwenden lässt; es galt zudem, die in Kapitel 3.1 neu formulierte modifizierte Planungsregel auf ihre Gültigkeit zu überprüfen. Die auf einen gewählten Einzelfall bezogene Überprüfung wurde in Kapitel 3.2 dokumentiert. Nachdem das „Mittelhessen-Netz“ für den Einzelfall gewählt worden ist, sind in Kapitel 3.2.1 die Ergebnisse der Analyse dieses Netzes erläutert worden. Es wurden die Grundlagen dargestellt, die erforderlich sind, um die zu bewertenden Züge bilden zu können; hierzu zählte zum einen die Bestimmung der von jedem Zug zu bewältigenden Verkehrsnachfrage und zum anderen die Bestimmung der maßgeblichen Bahnsteiglänge. Anschließend schloss sich die Festlegung der zu bewertenden Zugkonfigurationen an. Die Vorgehensweise wurde in Kapitel 3.2.2 dokumentiert. Zunächst waren die für die auf dem Mittelhessen-Netz einzusetzenden Züge geltenden Ausstattungsanforderungen, wie z.B. Sitzteiler, Größe der Mehrzweckräume und andere Nutzungsarten, festzulegen, dann die in jedem Fahrzeug vorhandene Sitzplatzkapazität zu berechnen, die erforderliche Sitzplatzkapazität zu ermitteln und schließlich für jedes Zugkonzept die Anzahl der Fahrzeuge in jedem Zug festzulegen. Die gebildeten Züge wurden dargestellt und aus ihnen die auf Grund der infrastrukturellen Rahmenbedingungen zulässigen Zugkonzepte bestimmt. Der einstöckige Triebzug schied aus Gründen der zugelassenen Betriebsablaufform aus. Für den Doppelstocktriebzug wurde angenommen, dass die um 10,00 m zu große Zuglänge keinen Hinderungsgrund für den Einsatz darstellt, da sie gem. EBO durch geeignete betriebliche Maßnahmen beherrscht werden können. Für die berücksichtigten

Zugkonzepte wurden die Kennzahlenwerte berechnet und einander grafisch gegenübergestellt.

In Kapitel 3.2.3 wurden die Berechnungsergebnisse analysiert und das bezüglich der einzelnen Kennzahlen günstigste Zugkonzept für das Mittelhessen-Netz ermittelt. Bezüglich der Nutzlänge<sup>1</sup> und der Nutzlänge<sup>2</sup> ist der lokbespannte Doppelstockzug auf dem gesamten Netz am günstigsten zu bewerten, gefolgt vom Doppelstocktriebzug. Der einstöckige Lokzug hingegen schneidet im Vergleich der drei Zugkonzepte stets am schlechtesten ab. Diese Bewertung entspricht dem Bewertungsergebnis aus der allgemein gültigen Anwendung der Bewertungssystematik.

Hinsichtlich der massespezifischen Leistung werden die beiden lokbespannten Züge annähernd gleich bewertet. Der Doppelstocktriebzug hingegen schneidet deutlich schlechter ab. Der Grund liegt darin, dass zum einen die auf den Ästen erforderlichen Züge eine Sitzplatzkapazität aufweisen, die in dem Bereich liegt, in der lokbespannte Züge besser abschneiden als der Doppelstocktriebzug, und zum anderen auf der Stammstrecke auch die lokbespannten Züge in Doppeltraktion gefahren werden und sie daher zwei Zügen mit einer Sitzplatzkapazität entsprechen, die unter der Grenze liegt, ab der ein Doppelstocktriebzug eine höhere massespezifische Leistung hat.

Auch in Bezug auf die projektspezifischen Kosten konnten die allgemein gültigen Berechnungsergebnisse bestätigt werden. Auf den Teilnetzen, auf denen die Sitzplatzkapazität über der Grenze von 320 liegt, verursachen die lokbespannten Züge die geringeren Kosten. Die Berechnung konnte zudem bestätigen, dass aus dem Betrieb von einstöckigen und doppelstöckigen lokbespannten Zügen Kosten in ungefähr gleicher Höhe entstehen. Zusammenfassend konnte nachgewiesen werden, dass sich die Bewertungssystematik für einzelfallbezogene Anwendungen eignet und dass die modifizierte Planungsregel nicht verworfen werden braucht.

Aufgrund einer umfangreichen Analyse der Rahmenbedingungen konnten Beurteilungskriterien abgeleitet werden, die sich nach eigener Auffassung gut eignen, in der Bewertung von Zugkonzepten bezüglich ihrer Eignung zum Einsatz im Regionalverkehr eine ganzheitliche, d.h. verkehrliche, betriebliche und wirtschaftliche, Sicht einzunehmen und damit auch weitere Aspekte in der Bewertung zu berücksichtigen, die nicht auf den Aufwand, sondern auf den Ertrag einwirken und damit auch die Wirtschaftlichkeit beeinflussen. Zudem berücksichtigt die entwickelte Bewertungssystematik mit den Projektkosten die zunehmende Bedeutung langfristigen Handelns.

In dieser Arbeit konnten Aspekte, wie z.B. die unterschiedlichen Instandhaltungsfristen von Lokomotiven und Wagen oder die tatsächliche Auswirkung der unterschiedlichen massespezifischen Leistungen auf die Einhaltung des Fahrplanes, argumentativ nicht

berücksichtigt werden. Im ersten Fall müssten die unterschiedlichen Wartungs- und Instandhaltungskonzepte von Lokomotiven und Wagen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Kosten und den Umlauf in weiterführenden Arbeiten näher untersucht werden. Aus veränderten Umlaufplänen sind Auswirkungen auf die Anzahl der benötigten Fahrzeuge zu erwarten. Die Umlaufpläne beeinflussen folglich die Investitionskosten; dieser Sachverhalt ist ebenfalls näher zu untersuchen. Im zweiten Fall wären weitergehende fahrdynamische Untersuchungen erforderlich, um Kenntnisse über die tatsächlichen Auswirkungen der jeweiligen massespezifischen Leistung auf den Fahrplan zu erlangen. Gegebenenfalls sind durch den Einsatz einzelner Zugkonzepte betriebliche Anpassungen erforderlich. Die Untersuchung der Auswirkungen solcher Anpassungen auf die Wirtschaftlichkeit des betroffenen Zugkonzeptes sollten dann von Interesse sein.

## Literaturverzeichnis

### Öffentlich verfügbare Quellen

Banke, T./Quegwer, D./Friedrich, R. J./Knappek, R./Reusch, M. (2001): Elektrischer Doppelstocktriebzug Baureihe 445 für den Regionalverkehr. In: Elektrische Bahnen 99 (2001) 4, S. 181-187.

(BEG) Bayerische Eisenbahngesellschaft mbH: Anlage 1. Ausschreibung von Leistungen im Schienenpersonennahverkehr auf den Strecken München Regensburg Hof 1 Furth i.W. (IR 25 Ersatz Nord) – Leistungsbeschreibung. München 2005.

Birgelen, A./Hammer, A. (1999): Alternativen im Freizeitverkehr. In: DER NAHVERKEHR (1999) 5, S. 65-67.

Bitterberg, U. (1996): Regelhöhe 550 mm für Bahnsteige?. In: DER NAHVERKEHR (1996) 9, S. 19-21.

Bombardier Transportation (2003): Connex Bestellt neue Generation von Regionalzügen für 120 Millionen Euro. Pressemeldung vom 20. November 2003. Verfügbar: [http://www.bombardier.com/de/1\\_0/pressleft.jsp?group=1\\_0&lan=de&action=view&mode=list&year=null&id=2160&sCateg=1\\_0](http://www.bombardier.com/de/1_0/pressleft.jsp?group=1_0&lan=de&action=view&mode=list&year=null&id=2160&sCateg=1_0) (Abgerufen am 24. Juni 2005.)

(DB) Deutsche Bahn (Hrsg.) (2003): Unsere Schienenfahrzeuge im Regional- und Stadtverkehr. Frankfurt 2003.

(DB) Deutsche Bahn (Hrsg.) (2005): Kursbuch. O.O. 2005.

Dobeschinsky, H./Michelfelder, G./Noßwitz, U./Schrade, A. (2001): Motive der Verkehrsmittelwahl. In: DER NAHVERKEHR (2001) 9, S. 18-24.

Domschke, W./Scholl, A. (2000): Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. Eine Einführung aus entscheidungsorientierter Sicht. Berlin und Heidelberg 2000.



EBO: Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung in der Fassung vom 8. Mai (BGBl. II, S. 1563), zuletzt geändert durch das Zweite Gesetz zur Änderung eisenbahnrechtlicher Vorschriften vom 21. Juni 2002 (BGBl. I, S. 2191) (BGBl. III 933-10).

Engel, R. (2003): Anforderungen an den RE X: Der Express der Zukunft. In: derFahrgast (2003) 4, S. 13-17.

Falk, P. (2000): Triebzugfamilie Baureihen 423 bis 426 für DB Regio. In: EB 98 (2000) 5-6, S. 163-173.

(FAZ) Frankfurter Allgemeine Zeitung (2005a): EZB Referenzkurs. In: FAZ 147 (28.06.2005), S. 27.

(FAZ) Frankfurter Allgemeine Zeitung (2005b): „Die längsten S-Bahnen der Welt...“. In: FAZ 147 (28.06.2005), S. T6.

Filipović, Žarko (2005): Elektrische Bahnen. Grundlagen, Triebfahrzeuge, Stromversorgung. 4., überarb. Aufl., Berlin und Heidelberg 2005.

Fischer, C. (2002): Der CORADIA LIREX™: Neue Maßstäbe für den Regionalverkehr. In: Eisenbahntechnische Rundschau 51 (2002) 10, S. 653-661.

Fischer, H./Rühlmann, B. (2000): Innovationen im Nahverkehr. In: Eisenbahningenieur 51 (2000) 12, S. 58-61.

Garbe, G. (1998): Neue Doppelstockwagen für die DB AG. In: Eisenbahningenieur 49 (1998) 5, S. 54-59.

Garbe, G./Ivanauskas, J. / Sausner, H.-J. (1995): Moderne Doppelstockwagen im Regionalverkehr der DB AG. In: Eisenbahningenieur 46 (1995) 4, S. 204-212.

Gorter, M./ Rönna, H. J./ Plath, B./Werner, J. (2001): Weiche Angebotsmerkmale im ÖPNV. In: DER NAHVERKEHR (2001) 6, S. 14-19.

Knitter, A. (2000): Alstom: Doppelstockzugkonzept CORADIA Duplex. In: Eisenbahningenieur 51 (2000) 9, S. 18-20.

Kraus, H. (1986): Grundlagen elektrischer Bahnen. 1. Aufl., Düsseldorf 1986.

Krüger, T./Dannehl, A. (1992): Konzepte für Doppelstocktriebwagen. In: Eisenbahningenieur 43 (1992) 8, S. 481-485.

Künzel, J./Flunkert, J. (2003): Einfluss der Fahrgastwechselzeit auf die Pünktlichkeit im SPNV. In: DER NAHVERKEHR (2003) 9, S. 48-53.

Meyer, W. (1999): Fahrgastsicherheit im ÖPNV. In: DER NAHVERKEHR (1999) 11, S. 8-13.

Müller, C. (2001): Lirex – eine Evolution im Nahverkehr?. In: Eisenbahningenieur 52 (2001) 11, S. 60-62.

Müller, V. (2000): Lokbespannung oder Triebzüge? In: ETR 49 (2000) 10, S. 673-678.

o.V. (2004): Weitere Loks 146 für den Regionalverkehr. Nachricht der Eurailpress vom 29.12.2004. Verfügbar: <http://www.eurailpress.com/news/news.php3?id=8694>. (Abgerufen am 27.06.2005.)

o.V. (2005a): Bombardier: Großauftrag von der LNVG Niedersachsen. Nachricht der Deutsche Verkehrs-Zeitung – Deutsche Logistik-Zeitung vom 31.05.2005. Verfügbar: <http://www.dvz.de/news/news.php?id=9734>. (Abgerufen am 27.06.2005.)

o.V. (2005b): Kursbuch E – Hessen.

Verfügbar: <http://de.geocities.com/emka2002de/strecken/kb-e-hes.htm>. (Abgerufen am 01.07.2005)

Pätzold, F./Wittenberg, K.-D./Heinrichs, H.-P./Mittmann, W. (2001): Kommentar zur Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO). 4. Aufl., Darmstadt 2001.

(ProBahn) ProBahn NRW e.V. (Hrsg.) (2005): Der bessere Rhein-Ruhr-Express (RRX). Fahrzeuge. O.O 2005. Zuletzt aktualisiert am 31.03.2005. Verfügbar: [http://www.www.probahn-nrw.de/projekte\\_rrx\\_konzept\\_fahrzeuge.htm](http://www.www.probahn-nrw.de/projekte_rrx_konzept_fahrzeuge.htm). (Abgerufen am 08.07.2005)

Reiff, H./Wewers, B. (1998): Wer benutzte wo und warum (nicht) öffentliche Verkehrsmittel?. In: DER NAHVERKEHR (1998) 12, S. 60-65.

Regierungspräsidium Leipzig (2004): 8,29 Mio. Euro für 12 Wagen. Pressemitteilung des Regierungspräsidiums Leipzig vom 18.11.2004. Verfügbar:

[http://www.rpl.sachsen.de/de/internet/presse/presse\\_mitteilungen/2004/artikel/pr04-11-18.htm](http://www.rpl.sachsen.de/de/internet/presse/presse_mitteilungen/2004/artikel/pr04-11-18.htm). (Abgerufen am 27.06.2005.)

(RMV) Rhein-Main-Verkehrsverbund (2005a): Pressemitteilung vom 14.06.2005. Hofheim am Taunus 2005.

(RMV) Rhein-Main-Verkehrsverbund (2005b): Online Fahrplanauskunft S-Bahn Friedberg – Frankfurt am Main Hauptbahnhof für Mittwoch, 06.07.2005, Abfahrt Friedberg zwischen 06:30 Uhr und 09:30 Uhr. Verfügbar: <http://www.rmv.de>. (Abgerufen am 05.07.2005.)

(RMV) Rhein-Main-Verkehrsverbund (2005c): Online Fahrplanauskunft Nahverkehr Treysa - Marburg für Dienstag, 05.07.2005, Abfahrt Treysa zwischen 17:43 Uhr und 19:43 Uhr. Verfügbar: <http://www.rmv.de>. (Abgerufen am 05.07.2005.)

(RMV) Rhein-Main-Verkehrsverbund (2005d): Online Fahrplanauskunft Nahverkehr Marburg - Gießen für Dienstag, 05.07.2005, Abfahrt Marburg zwischen 17:35 Uhr und 19:35 Uhr. Verfügbar: <http://www.rmv.de>. (Abgerufen am 05.07.2005.)

Schnippe, C. (1999): Relevanz von Qualitätskriterien. In: DER NAHVERKEHR (1999) 4, S. 52-56.

Schuren, W. (2002): Gleicher Zugang für alle Fahrgäste. In: der Fahrgast (2002) 2, S. 27-30.

Venemans, D./Heinze, D./Hertkens, H.-P. (1995): Doppelstocktriebzüge für Interregionverkehr bei der NS. In: Eisenbahningenieur 46 (1995) 4, S. 214-222.

(VMV) Verkehrsgesellschaft Mecklenburg-Vorpommern mbH (2005): Verdingungsunterlagen für das Erbringen von Eisenbahnverkehrsleistungen im Schienenpersonennahverkehr im Teilnetz Ostseeküste. O.O 2005.

vorm Walde, R. (1997): Wie zufrieden sind die Fahrgäste? In: DER NAHVERKEHR (1997) 5, S. 63-65.

Wagener, N./Jahn, D. (2000): Qualität im Wettbewerb. In: DER NAHVERKEHR (2000) 4, S. 67-70.

Westphal, J. (1976): Fahrgastwechselzeiten bei Fernreisezügen der Deutschen Bahn. In: Eisenbahningenieur 27 (1976) 10, S. 417-426.

Wiegner, M./Moy, N. (2003): Neue Triebwagen: Schlechte Noten fürs Innenleben. In: der-Fahrgast (2003) 1, S. 28-30.

Winzer, G./Hillmann, D. (2004): Neue Doppelstock-Triebzüge RABe 514 von Siemens Transportation Systems für die Zürcher S-Bahn. In: Eisenbahn-Revue (2004) 3, S. 110-113.

Wöhe, G./Döring, U. (2000): Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 20., neubearb. Aufl., München 2000.

Zeevenhooven, N. (1990): Doppelstockwagen für den Einsatz im Eisenbahnverkehr. In: ZEV-Glasers Annalen 114 (1990) 1 / 2, S. 15-23.

## **Nicht öffentlich verfügbare Quellen**

Bombardier (Hrsg.) (2005a): Projektbild AW. Anschlusswagen ABp. Projektskizze 0100-3EGH000046-0005. Henningsdorf 2005.

Bombardier (Hrsg.) (2005b): Projektbild StW. Steuerwagen Bpdf. Projektskizze 0100-3EGH000046-0006. Henningsdorf 2005.

Bombardier (Hrsg.) (2005c): Projektbild MW\_V. Versorgungs-Mittelwagen Bpbdz. Projektskizze 0100-3EGH000046-0007. Henningsdorf 2005.

Bombardier (Hrsg.) (2005d): Projektbild MW\_E. Ergänzungs-Mittelwagen Bpd. Projektskizze 0100-3EGH000046-0008. Henningsdorf 2005.

Bombardier (Hrsg.) (2005e): 4 achsiger Doppelstock-Mittelwagen. Einstieghöhe 600mm. 1./2. Klasse. Projektskizze 3.A33-00.00.01:000/1. Görlitz 2005.

Bombardier (Hrsg.) (2005f): 4 achsiger Doppelstock-Mittelwagen. Einstieghöhe 600mm. 2. Klasse. Projektskizze 3.A34-00.00.01:000/1. Görlitz 2005.

Bombardier (Hrsg.) (2005g): 4 achsiger Doppelstock-Steuerwagen. Einstieghöhe 600mm. 2. Klasse. Projektskizze 3.A47-00.00.01:000/1. Görlitz 2005.

Bombardier (Hrsg.) (2005h): 4 achsiger Doppelstock-Mittelwagen. Einstieghöhe 1150mm. 1./2. Klasse. Projektskizze 3.A48-00.00.01:000/1. Görlitz 2005.

Bombardier (Hrsg.) (2005i): 4 achsiger Doppelstock-Mittelwagen. Einstieghöhe 1150mm. 2. Klasse. Projektskizze 3.A49-00.00.01:000/1. Görlitz 2005.

Bombardier (Hrsg.) (2005j): LCC-Kalkulation für Präventive Instandhaltung der TRAXX P160 AC2, Ostseeküste für AKN. Mannheim 2005.

Bombardier (Hrsg.) (2004): Die Lokomotiven der BR146 der DB Regio. Traktion für die Regionalbereiche, Teil 2. Lokbespannte Züge mit der BR146. Folienpräsentation der Bombardier Transportation, o.O 2004.

(BTS) Bombardier Transportation Services (Hrsg.) (2004): Database Fleet Management. Kassel 2004.

(DB Cargo) DB Cargo AG (Hrsg.) (2001): Die Güterwagen der Bahn. 2. überarb. Aufl., Mainz 2001.

DB Regio (Hrsg.) (1999): DB-Regio Fahrzeugstrategie. O.O 1999.

DB Regio (Hrsg.) (2003a): Elektrischer Triebzug ET425. o.O. 2003.

DB Regio (Hrsg.) (2003b): Mittelfrist-Fahrzeugplanung. Übersicht der Fahrzeug-Beschaffungsprojekte. o.O. 2003.

Güldenpenning (2005a): Zusammenstellung der Bahnsteiglängen und Einstiegshöhen auf den Strecken Frankfurt – Gießen – Dillenburg und Frankfurt – Gießen – Treysa. o.O. 2005.

(RMV) Rhein-Main-Verkehrsverbund (Hrsg.) (o.J.a): Regionaler Nahverkehrsplan 2004 bis 2009. Hofheim am Taunus o.J.

(RMV) Rhein-Main-Verkehrsverbund (Hrsg.) (o.J.b): Regionaler Nahverkehrsplan 2004 bis 2009. Anhang. Hofheim am Taunus o.J.

Siemens (Hrsg.) 2002): Doppelstock-triebzug S-Bahn Zürich. Unternehmensinterne Produktpräsentation. o.O. 2002.

(TEWETa) Transport East West Expert Team (Hrsg.) (2005a): SPNV-Markt für ein- und doppelstöckige Reisezugwagen in Deutschland. AP100 Potenzialermittlung. Berlin 2005.

(TEWETb) Transport East West Expert Team (Hrsg.) (2005b): SPNV-Markt für ein- und doppelstöckige Reisezugwagen in Deutschland. AP300 Marktgerechte Ausgestaltung des Fahrzeugkonzeptes. Berlin 2005.

## **Expertengespräche und Experteninformationen**

Fiehn (2003): BR423 LCC Daten. Handout zum Expertengespräch mit Hrn. Fiehn, Bombardier Transportation Service, Mannheim, am 16.06.2005.

Güldenpenning, A. (2005b): Expertengespräch mit A. Güldenpenning, A.G. Railway Consulting, Oberursel, am 14.06.2005.

Güldenpenning, A. (2005c): Expertengespräch mit A. Güldenpenning, A.G. Railway Consulting, Oberursel, zum Thema Instandhaltungskosten vom 21.07.2005.

Güldenpenning, A. (2005d): Expertengespräch mit A. Güldenpenning, A.G. Railway Consulting, Oberursel, zum Thema Energieverbrauch und Energiekosten vom 15.08.2005.

Hollborn, H.-J. (2005): Telefonat mit H.-J. Hollborn, Zentrum für Integrierte Verkehrssysteme, am 30.06.2005.

Just, P. (2005a): Expertengespräch mit P. Just, Bombardier Transportation, Locomotives & Freight, Sales Deutsche Bahn AG, Mannheim, am 12.05.2005.

Just, P. (2005a): Expertengespräch mit P. Just, Bombardier Transportation, Locomotives & Freight, Sales Deutsche Bahn AG, Mannheim, am 13.06.2005.

Karsch, A. (2005): Expertengespräche mit A. Karsch, Bombardier Transportation, Mainline & Metros, Product Engineering, Görlitz, am 07.06.2005.

Linke, T. (2005a): Expertengespräch mit T. Linke, Bombardier Transportation Services, Kassel, am 04.07.2005.

Linke, T. (2005b): Email von T. Linke, Bombardier Transportation Services, Kassel, zum Thema Wartungs- und Instandhaltungskosten von Doppelstock-Wagen und Lokomotive BR146.2 vom 11.07.2005.

Schätzer, C. (2005a): Expertengespräch mit C. Schätzer, Bombardier Transportation, Locomotives & Freight, Advanced Engineering, Mannheim, am 02.05.2005.

Schätzer, C. (2005b): Telefonat mit C. Schätzer, Bombardier Transportation, Locomotives & Freight, Advanced Engineering, Mannheim, am 24.05.2005.

Schätzer, C. (2005c): Email vom 24. Mai 2005 von C. Schätzer, Bombardier Transportation, Locomotives & Freight, Advanced Engineering, Mannheim, zum Thema Instandhaltungsanweisungen für Doppelstockwagen und Lokomotive TRAXX P160 AC2.

Scharf, S. (2005): Expertengespräch mit S. Scharf, Bombardier Transportation, Mainline & Metros, Henningsdorf (bei Berlin), am 14.06.2005.

Theis, A. (2005): Email vom 6. Juli 2005 von A. Theis, Bombardier Transportation Services, Kassel, zum Thema Schadensklassifizierung.

## Anlagen

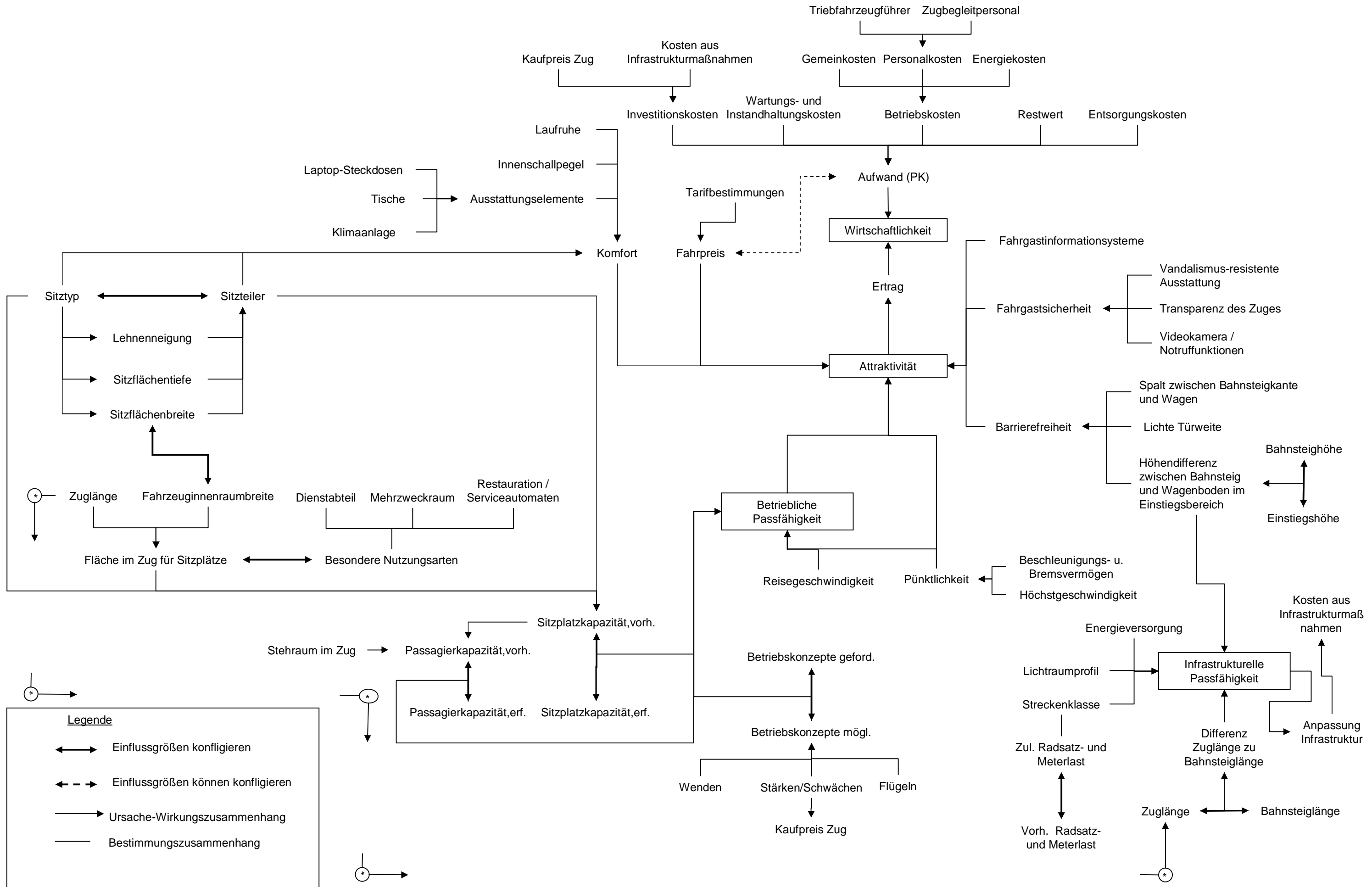
Anlage 1	Ursache-Wirkungsgeflecht der bewertungsbedeutsamen Einflussgrößen.....	i
Anlage 2	Kundenanforderungen an Züge im Regionalverkehr .....	iii
Anlage 3	Fahrzeugdaten .....	vii
Anlage 4	Sitzeiler der Fahrzeugstandard-ausstattungen .....	xi
Anlage 5	Längenbedarf der Nutzungsarten .....	xiv
Anlage 6	Zugkonfigurationen.....	xvii
Anlage 7	Investitionskosten .....	xxii
Anlage 8	Wartungs- und Instandhaltungskosten .....	xxxii
Anlage 9	Laufleistungsspezifische Projektkosten .....	xxxiv
Anlage 10	Wirkungszusammenhang von Nutzlängekennzahlen und Erlös ...	xxxv
Anlage 11	Nachweis der Berechnungen zum Wirkungszusammenhang von Nutzlängekennzahlen und Erlös .....	xxxix
Anlage 12	Analyse laufleistungsspezifischer Projektkosten für ausgewählte Zugkonfigurationen.....	xl



## **Anlage 1      Ursache-Wirkungsgeflecht der bewertungsbedeutsamen Einflussgrößen**

Auf der nachfolgenden Seite ist das Ursache-Wirkungsgeflecht der im Textteil hergeleiteten, grundsätzlich bewertungsbedeutsamen Einflussgrößen dargestellt.

# Ursache-Wirkungsgeflecht der Einflussgrößen



## **Anlage 2      Kundenanforderungen an Züge im Regionalverkehr**

Um die Größen bestimmen zu können, welche die von den Kunden empfundene Attraktivität der im Regionalverkehr eingesetzten Züge beeinflussen, waren die von diesen an die Züge im Regionalverkehr gestellten Anforderungen zu ermitteln. Hierfür wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Die Recherche ergab, dass bisher noch keine Untersuchungen zu den Anforderungen von Kunden an Züge im Regionalverkehr durchgeführt wurden.

Es ließen sich jedoch Untersuchungen finden, die sich auf unterschiedliche Personenverkehrsdienstleistungen, wie z.B. den städtischen Öffentlichen Personennahverkehr oder den interregionalen Verkehr, beziehen. Diese erschienen geeignet, um daraus zunächst Kundenanforderungen an die im Regionalverkehr eingesetzten Züge abzuleiten und anschließend Einflussgrößen auf die Attraktivität der im Regionalverkehr eingesetzten Züge zu ermitteln.

Zunächst wurden die in den als geeignet erscheinenden Quellen genannten Anforderungen zusammengetragen und kategorisiert. Aus Gründen der Vollständigkeit wurden auch Anforderungen aufgenommen, die offensichtlich in keinem Zusammenhang mit Zügen im Regionalverkehr stehen. Anschließend wurden diejenigen Anforderungskategorien ausgewählt, die sich auf die Züge selbst beziehen und für eine Bewertung von Bedeutung sein könnten. Aus den in den einzelnen zusammengetragenen Untersuchungen gegebenen Hinweisen konnten für jede Kategorie Einflussgrößen bestimmt werden, die es dann auf ihre Bewertungsrelevanz hin zu überprüfen galt. Die Überprüfung der Bewertungsrelevanz ist in Kapitel 2.3 dokumentiert.

Die auf den nachfolgenden Seiten dargestellte Tabelle enthält die kategorisierten Anforderungen der einzelnen, durch die Literaturrecherche gefundenen Untersuchungen sowie die für die einzelnen Kategorien festgelegten Einflussgrößen.

## Kundenanforderungen an Personenverkehrsdienstleistungen

Literatur (Quelle) \ Anforderungskategorien	vorn Walde (1997), S. 64.	Schnippe (1999), 54-55.	Reiff/Wewers (1998), 63.	Gorter et.al. (2001), S. 16.
Pünktlichkeit	Pünktlichkeit der Fahrzeuge	Pünktlichkeit	Pünktlichkeit der Verbindung	Pünktlichkeit
Fahrgastsicherheit	Sicherheit/Schutz vor Belästigungen nachts Sicherheit/Schutz vor Belästigungen tags	Sicherheit	Sicherheit vor Bedrohung/Belästigung	Belästigungsschutz
		Vorgehen gegen Vandalismus		
		Freundliches Verhalten der Fahrgäste		
Ausreichende und gleichbleibende Taktfolge	Häufigkeiten der Abfahrten/ausreichende Taktfolge gleichbleibende Takte	Hohe Taktfrequenz	Häufigkeit der Verbindungen	Takt
Sauberkeit der Fahrzeuge und der Infrastruktur	Sauberkeit in den Fahrzeugen	Sauberkeit der Fz und Haltestellen	Sauberkeit der Züge Sauberkeit der Busse	Fahrzeug-Sauberkeit
	Sauberkeit der Haltestellen/Bahnhöfe		Sauberkeit der Bahnhöfe Sauberkeit der Bushaltestellen	Haltestellen-Sauberkeit
Freundlichkeit des Personals	Freundlichkeit des Personals	Freundliches Verhalten des Personals		Freundlichkeit des Personals
Dichtes Netz und direkte Verbindungen	Angebot an direkten Verbindungen	Große Liniendichte		Haltestellen-Entfernung
Komfort u. Ausstattung von Fahrzeugen	Komfort/Ausstattung der Fahrzeuge	Ausstattung von Fz	Ausstattung der Fahrzeuge	Fahrzeug-Ausstattung/-Komfort
	Klimatisierung in den Fahrzeugen			
	Abstellmöglichkeiten für Gepäck/Kinderwagen Möglichkeit, Fahrräder mitzunehmen			
Komfort u. Ausstattung von Haltestellen	Komfort/Ausstattung der Haltestellen/Bahnhöfe Witterungsschutz an Haltestellen	Ausstattung von Haltestellen		
Fahrtpreishöhe	Höhe der Fahrpreise	Niedrige Fahrpreise	Höhe der Fahrpreise Bahnen Höhe der Fahrpreise Busse	Kosten (pro Fahrt)
Sitzplatzkapazität	Chance, einen Sitzplatz zu erhalten	Ausreichendes Sitzplatzangebot		Sitzplatzverfügbarkeit
Reisegeschwindigkeit	Fahrzeit/Reisegeschwindigkeit	Schnelligkeit (kurze Fahrzeiten)	Schnelligkeit der Verbindungen	Fahrzeit
	Umsteigemöglichkeiten/Anschlussicherung	Aufeinander abgestimmte Anschlüsse	Direkte Anschlüsse Busse/Bahn	Umsteigehäufigkeit
Erscheinungsbild des Unternehmens	Gestaltung/Design der Fahrzeuge Gestaltung/Design der Haltestellen/Bahnhöfe	Positives Image des Unternehmens		
Zuverlässigkeit		Zuverlässigkeit		
Fahrkartenkontrolle		Fahrkartenkontrollen		
Kundenorientierung des Verkehrsunternehmens	Durchsagen im Fahrzeug Fahrgastinformationen	Kundenorientierter Service	Betreuung durch Personal Bedienbarkeit der Automaten	
Information des Fahrgastes	Verständlichkeit der Fahrpläne	Weitreichende Informationspolitik	Informationen über Fahrpläne	
	Verständlichkeit des Tarifsystems		Klarheit der Preisinformation Busse Klarheit der Preisinformation Bahnen	
Erreichbarkeit / Zugänglichkeit des Verkehrssystems	Angebot an Park&Ride Stellplätzen Angebot an Fahrradstellplätzen gute Erreichbarkeit der Haltestellen zu Fuß Lage der Verkaufsstellen			Parkplatzsuche
Barrierefreiheit				
Durchführung von Baumaßnahmen	Durchführung von Baumaßnahmen			
Umweltbelastung				Umweltbelastung

Literatur (Quelle) \ Anforderungskategorien	Wagner/Jahn (2000), S. 70	Birgelen/Hammer (1999), S. 66.	Dobeschinsky et al. (2001), S. 21	Engel, R. (2003), S. 14
Pünktlichkeit	Pünktlichkeit		Pünktlichkeit	
Fahrgastsicherheit	Sicherheit während der Fahrt Sicherheit Haltestelle			
Ausreichende und gleichbleibende Taktfolge	Taktfrequenz/Fahrplan		Fahrplan (-zeiten)	
Sauberkeit der Fahrzeuge und der Infrastruktur	Sauberkeit im Bus Sauberkeit an der Haltestelle			
Freundlichkeit des Personals	freundliches Personal			
Dichtes Netz und direkte Verbindungen	Linienführung	dichtes Netz- und Fahrplanangebot direkte Anbindung wichtiger Freizeitziele		
Komfort u. Ausstattung von Fahrzeugen	Fahrkomfort	hoher Beförderungskomfort während der Fahrt	Komfort	hoher Komfort
		Transportmöglichkeit von Gepäck und Fahrrädern		
Komfort u. Ausstattung von Haltestellen				geräumige Wagen
Fahrpreishöhe	Fahrpreishöhe	geringe Kosten		
Sitzplatzkapazität				
Reisegeschwindigkeit	Wartezeit Sichere Anschlüsse	geringe Fahrzeit oder attraktive Strecke geschlossene und koordinierte Transportkette	Schnelligkeit	kurze Reisezeiten
Erscheinungsbild des Unternehmens				
Zuverlässigkeit				
Fahrkartenkontrolle				
Kundenorientierung des Verkehrsunternehmens				
Information des Fahrgastes	Informationen Linie/Fahrplan Tarifverständlichkeit	leicht zugängliche und verständliche Informationen über gesamtes Verkehrsangebot		
Erreichbarkeit / Zugänglichkeit des Verkehrssystems			Haltestellenerreichbarkeit	
Barrierefreiheit				möglichst wenige Stufen beim Einstieg möglichst wenige Stufen im Fz
Durchführung von Baumaßnahmen				
Umweltbelastung				

Literatur (Quelle) \ Anforderungskategorien	TEWET (2005b)	Bewertungsbedeutsame Kategorien	Einflussgrößen
Pünktlichkeit		X	Beschleunigungs- u. Bremsvermögen, Höchstgeschw.
Fahrgastsicherheit		X	Durchgängigkeit des Zuges; Übersichtlichkeit
			Ausstattung mit Notrufaktionen / Kameras
			Vandalismusresistenz der Ausstattung
Ausreichende und gleichbleibende Taktfolge			
Sauberkeit der Fahrzeuge und der Infrastruktur			
Freundlichkeit des Personals			
Dichtes Netz und direkte Verbindungen			
Komfort u. Ausstattung von Fahrzeugen	Variable Innenausstattung	X	Sitzabstand, Sitzflächenbreite, Gangbreite; Restauration
	Entspannung, Arbeitsatmosphäre		Laufruhe, Innenschallpegel
	Arbeitsmöglichkeiten		Tische, Notebooksteckdosen
	Gepäckablagemöglichkeiten		Klimaanlage / ausreichende Leistungsfähigkeit insbes. an regnerischen Wintertagen und gewittrigen Sommertagen
			Mehrzweckraum
			Innenraumbreite der Wagen
Komfort u. Ausstattung von Haltestellen			
Fahrpreishöhe		X	bestimmt durch Life Cycle Costs (LCC)
Sitzplatzkapazität		X	Bereiche für Fahrgasträume, Sitzabstand, Ausstattung
Reisegeschwindigkeit		X	Beschleunigungsvermögen, max Fahrgeschwindigkeit
Erscheinungsbild des Unternehmens			
Zuverlässigkeit			
Fahrkartenkontrolle			
Kundenorientierung des Verkehrsunternehmens			
Information des Fahrgastes	Dynamische Auskunftssysteme	X	
			Ausstattung mit dynamischen Informationssystem im Zug
Erreichbarkeit / Zugänglichkeit des Verkehrssystems			
Barrierefreiheit	Höhengleicher stufenloser Einstieg	X	Einstiegshöhe, Spalte zwischen Bahnsteigkante und Fz
	durchgängig gleiche Fußbodenhöhe		Höhenprofil Wagenboden über SOK
	möglichst große Türweiten		Lichte Weite der Türen
Durchführung von Baumaßnahmen			
Umweltbelastung			

## **Anlage 3 Fahrzeugdaten**

Die Tabelle auf der folgenden Seite enthält eine Zusammenstellung der konstruktiven Daten der einzelnen Fahrzeuge. Die dort enthaltenen Daten sind die Grundlage für die Festlegung der Zugkonfigurationen sowie für die Berechnung der Kennzahlen „Nutzlänge1“ und „Nutzlänge2“.

## Fahrzeugdaten

	SW	MW (AB) - Hoch	MW (B) - Hoch	SW	SD-LF WZ (LVS)		AW
					VW	EW	
<b>Dienstgewicht [t] DB Standardausstattung</b>	<b>52</b>	<b>49,2</b>	<b>49,5</b>	<b>43</b>	<b>43</b>	<b>39</b>	<b>40</b>
<b>Länge Fz über Puffer [m]</b>	<b>27,270</b>	<b>26,800</b>	<b>26,800</b>	<b>27,300</b>	<b>27,300</b>	<b>27,300</b>	<b>27,270</b>
<b>Anzahl Sitzplätze gesamt</b>	<b>91</b>	<b>103</b>	<b>134</b>	<b>78</b>	<b>86</b>	<b>95</b>	<b>69</b>
<b>1. Klasse</b>		<b>35</b>					<b>42</b>
<b>2. Klasse</b>	<b>91</b>	<b>68</b>	<b>134</b>	<b>78</b>	<b>86</b>	<b>95</b>	<b>27</b>
<b>Stehplätze</b>	<b>151</b>	<b>127</b>	<b>123</b>	108	114	123	104
<b>Maximale Kapazität</b>	<b>219</b>	<b>228</b>	<b>254</b>	<b>166</b>	<b>180</b>	<b>197</b>	<b>172</b>
<b>Einstieghöhe [mm]</b>	600	1150	1150	800	800	800	800
<b>Längen [m]</b>	<b>36,265</b>	<b>40,527</b>	<b>40,527</b>	<b>26,306</b>	<b>27,350</b>	<b>27,350</b>	<b>26,745</b>
<b>Nutzlänge2, vorhanden [m]</b>	<b>28,296</b>	<b>36,328</b>	<b>36,328</b>	<b>22,833</b>	<b>24,746</b>	<b>25,677</b>	<b>25,772</b>
Einstiegsbereich WE1	1,865	2,000	2,000	1,950	1,950	1,950	1,950
Einstiegsbereich WE2	1,865	2,000	2,000	1,950	1,950	1,950	1,950
<b>Nutzlänge1, vorhanden [m]</b>	<b>24,566</b>	<b>32,328</b>	<b>32,328</b>	<b>18,933</b>	<b>20,846</b>	<b>21,777</b>	<b>21,872</b>
Sitzraum Wagenmitte (Unterstock)	3,717	14,720	14,720				
Sitzraum Wagenmitte (Oberstock)	11,393	14,550	14,550				
Sitzraum Wagenmitte (einstöckiger Bereich)				3,660	3,660	4,570	9,150
Sitzraum WE1		2,039	1,019	3,606	6,450	6,450	5,210
Sitzraum WE2	1,000		1,019	6,177	5,246	6,177	6,177
Mehrzweckraum	4,090			3,240	3,240	4,580	
Dienstabteil	1,019						1,335
Toilette (1)	3,347	1,019	1,019	2,250	2,250		
<b>Länge Betriebsbereiche [m]</b>	<b>3,519</b>	<b>1,019</b>	<b>1,019</b>	<b>2,773</b>	<b>1,205</b>	<b>0,273</b>	<b>0,273</b>
Führerraum	2,500			2,500			
Schaltschränke	1,019	1,019	1,019	0,273	1,205	0,273	0,273
Maschinenraum							
<b>Länge Verkehrsbereiche [m]</b>	<b>4,450</b>	<b>3,180</b>	<b>3,180</b>	<b>0,700</b>	<b>1,400</b>	<b>1,400</b>	<b>0,700</b>
Treppe WE1	2,650	1,590	1,590				
Treppe WE2	1,800	1,590	1,590				
Wagenübergang [m]				0,700	1,400	1,400	0,700



## Fahrzeugdaten

	Siemens Do-ET				TW1	SD-ET BR425 TW2	MW
	TW1	TW2	MW1 (T1a)	MW1 (T1b)			
Dienstgewicht [t] DB Standardausstattung	218				113		
Länge Fz über Puffer [m]	25,000	25,000	25,000	25,000	18,070	18,070	15,505
Anzahl Sitzplätze gesamt	78	90	108	108	50	44	56
1. Klasse	74				12	12	
2. Klasse	4	90	108	108	38	32	56
Stehplätze	90	90	145	97	246		
Maximale Kapazität	164	176	221	173	282	28	56
Einstieghöhe [mm]	600	600	600	600	798	798	798
Längen [m]	34,042	34,042	35,536	35,536	17,240	17,240	15,360
<b>Nutzlänge2, vorhanden [m]</b>	21,703	21,703	28,180	28,180	14,960	14,960	14,960
Einstiegsbereich WE1	1,876	1,876	1,876	1,876	1,645	1,645	1,645
Einstiegsbereich WE2	1,876	1,876	1,876	1,876	1,645	1,645	1,645
<b>Nutzlänge1, vorhanden [m]</b>	17,951	17,951	24,428	24,428	11,670	11,670	11,670
Sitzraum Wagenmitte (Unterstock)	8,206	8,206	9,056	9,056			
Sitzraum Wagenmitte (Oberstock)	9,745	9,745	10,536	10,536			
Sitzraum Wagenmitte (einstöckiger Bereich)						1,645	5,090
Sitzraum WE1			2,198	2,198	3,290	3,290	3,290
Sitzraum WE2			2,638	2,638	3,290	3,290	3,290
Mehrzweckraum					2,265	3,445	
Dienstabteil							
Toilette (1)					2,825		
<b>Länge Betriebsbereiche [m]</b>	6,008	6,008	0,440	0,440	2,080	2,080	
Führerraum	3,224	3,224			2,080	2,080	
Schaltschränke	2,784	2,784	0,440	0,440			
Maschinenraum							
<b>Länge Verkehrsbereiche [m]</b>	6,331	6,331	6,917	6,917	0,200	0,200	0,400
Treppe WE1	2,638	2,638	2,931	2,931			
Treppe WE2	3,165	3,165	2,931	2,931			
Wagenübergang [m]	0,528	0,528	1,055	1,055	0,200	0,200	0,400

## Anlage 4 Sitzteiler der Fahrzeugstandardausstattungen

In Tabelle 18 sind die Sitzteiler der jeweiligen Standardausstattungen zusammengestellt. Sie sind die Grundlage für die Ableitung der für diese Arbeit als maßgeblich gewählten Sitzteiler der Bestuhlung in der 1. und 2. Klasse.

	1. Klasse		2. Klasse	
	vis-à-vis [mm]	Reihe [mm]	vis-à-vis [mm]	Reihe [mm]
Single-Deck Wagenzug <sup>125</sup>	2.050 / 2.100	1.000	1.800	875 <sup>126</sup> / 880 <sup>127</sup> / 910 <sup>128</sup>
Doppelstock- Wagenzug (Hocheinstieg) <sup>129</sup>	1.871 <sup>130</sup> / 2.000	921 <sup>131</sup> / 950 / 1.071 <sup>132</sup>	1.700 <sup>133</sup> / 1.720 <sup>134</sup> / 1.720,5 <sup>135</sup> / 1.800 / 1870 <sup>136</sup>	830 <sup>137</sup> / 850 / 885 <sup>138</sup>
Doppelstock- Wagenzug (Tiefeinstieg) <sup>139</sup>	1.946 <sup>140</sup> / 2.000 / 2.046 <sup>141</sup>	950 <sup>142</sup> / 996	1.700 <sup>143</sup> / 1.715 <sup>144</sup> / 1.720 <sup>145</sup> / 1.800	830 <sup>146</sup> / 850 / 885 <sup>147</sup>

<sup>125</sup> Vgl. Bombardier (2005a), Bombardier (2005b), Bombardier (2005c), Bombardier (2005d).

<sup>126</sup> Sitzteiler im Fahrgastbereich des Steuerwagens hinter dem Führerstand. Vgl. Bombardier (2005b).

<sup>127</sup> Sitzteiler an den Wagenenden; ausgenommen der Fahrgastbereich im Steuerwagen hinter dem Führerstand. Dort beträgt der Sitzteiler 875 mm. Vgl. Bombardier (2005a), Bombardier (2005b), Bombardier (2005c), Bombardier (2005d).

<sup>128</sup> Sitzteiler in der Fahrzeugmitte. Vgl. Bombardier (2005a), Bombardier (2005b), Bombardier (2005c), Bombardier (2005d).

<sup>129</sup> Vgl. Bombardier (2005g), Bombardier (2005h), Bombardier (2005i).

<sup>130</sup> Sitzteiler im Mittelwagen-Oberstock an der Treppe am Wagenende 1; vgl. Bombardier (2005h).

<sup>131</sup> Sitzteiler im Mittelwagen-Oberstock an der Treppe am Wagenende 1; vgl. Bombardier (2005h).

<sup>132</sup> Sitzteiler im Mittelwagen-Oberstock an der Treppe am Wagenende 1; vgl. Bombardier (2005h).

<sup>133</sup> Sitzteiler im Steuerwagen-Unterstock; vgl. Bombardier (2005g).

<sup>134</sup> Sitzteiler im Steuerwagen-Unterstock; vgl. Bombardier (2005g).

<sup>135</sup> Sitzteiler am Wagenende 1; vgl. Bombardier (2005h) und Bombardier (2005i).

<sup>136</sup> Abweichender Sitzteiler am Ende des Mittelwagen-Unterstockes; vgl. Bombardier (2005h) und Bombardier (2005i).

<sup>137</sup> Sitzteiler im Steuerwagen-Unterstock; vgl. Bombardier (2005g).

<sup>138</sup> Sitzteiler am Ende des Steuerwagen-Oberstockes; vgl. Bombardier (2005g).

<sup>139</sup> Vgl. Bombardier (2005e), Bombardier (2005f), Bombardier (2005g).

<sup>140</sup> Sitzteiler im Oberstock an der Treppe am Wagenende 1; vgl. Bombardier (2005e).

<sup>141</sup> Sitzteiler der einreihigen vis-à-vis-Sitzgruppe im Oberstock an der Treppe am Wagenende 1; vgl. Bombardier (2005e).

<sup>142</sup> Sitzteiler im Mittelwagen-Oberstock nahe Treppe am Wagenende 1; vgl. Bombardier (2005e).

<sup>143</sup> Sitzteiler im Steuerwagen-Unterstock; vgl. Bombardier (2005g).

<sup>144</sup> Sitzteiler am Wagenende 1 des Mittelwagens; vgl. Bombardier (2005f).

<sup>145</sup> Sitzteiler im Steuerwagen-Unterstock; vgl. Bombardier (2005g).

<sup>146</sup> Sitzteiler im Steuerwagen-Unterstock; vgl. Bombardier (2005g).

<sup>147</sup> Sitzteiler am Ende des Steuerwagen-Oberstockes; vgl. Bombardier (2005g).

	1. Klasse		2. Klasse	
	vis-à-vis [mm]	Reihe [mm]	vis-à-vis [mm]	Reihe [mm]
Single-Deck-Elektrotriebzug ET BR425 <sup>148</sup>	1.725	./.	1.645	./.
Doppelstock-Elektrotriebzug RABe 514 (Siemens)	2.000	./.	1.700	./.

**Tabelle 18** Sitzteiler der Standardausstattung der betrachteten Zugkonzepte.  
Quelle Eigene Darstellung.

Die im Fall der vorliegenden Arbeit gültigen Sitzteiler für die 1. und 2. Klasse-Bestuhlung ergeben sich aus den in Tabelle 18 zusammengestellten Sitzteilern der Fahrzeugstandardausstattungen. Aus Gründen der Vereinfachung werden die Sitzteiler für die 1. und 2. Klasse jeweils so festgelegt, dass der Sitzteiler der vis-à-vis-Sitzgruppe genau das Doppelte des Sitzteilers der Reihensitze beträgt. In weiteren Berechnungen kann dann mit dem Sitzteiler der Reihensitze gerechnet werden.

Als sinnvoller Sitzteiler einer vis-à-vis-Sitzgruppe in der 2. Klasse ergibt sich aus Tabelle 18 ein Wert von 1.800 mm. Es handelt sich hierbei um den Regelsitzabstand im Doppelstockwagen, der als adäquat eingeschätzt wird. Der Sitzteiler im einstöckigen Triebzug gilt als unkomfortabel. Der im Doppelstocktriebzug vorgesehene Sitzteiler für die vis-à-vis-Sitzgruppe ist annähernd gleich dem des einstöckigen Triebzuges und wird daher auch nicht als wesentlich komfortabler eingeschätzt.

Aus dem für den 2. Klasse-vis-à-vis-Sitzgruppenteiler gewählten Sitzteiler von 1.800 mm ergibt sich unter Beachtung der festgelegten Bedingung, dass der Sitzteiler einer vis-à-vis-Sitzgruppe das Doppelte des Sitzteilers eines Reihensitzes beträgt, ein Sitzteiler von 900 mm. Dieser Sitzteiler entspricht dem im SD-Wagenzug vorgesehenen Reihenteiler. Er kann als eher üppig betrachtet werden. Aus Gründen der Vereinfachung soll dieser Sitzteiler dennoch angenommen werden.

Für den vis-à-vis-Sitzgruppenteiler in der 1. Klasse wird ein Wert von 2.000 mm gewählt. Es handelt sich hierbei um den Regelsitzteiler im Doppelstockwagen und den Sitzteiler im Doppelstocktriebzug. Der Sitzteiler von 2.100 mm im SD-Wagenzug erscheint als eher üppig, während der im ET425 eingerichtete Sitzteiler als unkomfortabel gilt.

Aus dem festgelegten Sitzteiler des 1. Klasse-vis-à-vis-Sitzgruppenteilers ergibt sich unter Beachtung der festgelegten Regel ein Sitzteiler von 1.000 mm für einen 1. Klasse-Reihensitz. Dieser Sitzteiler entspricht dem im SD-Wagenzug und wird als eher üppig

<sup>148</sup> Vgl. Falk (2000), S. 164, und DB Regio (2003a).

eingeschätzt. Aus Gründen der Vereinfachung soll dieser Sitzteiler dennoch angenommen werden.

## Anlage 5 Längenbedarf der Nutzungsarten

### Mehrzweckraum

Die standardmäßigen Größen der Mehrzweckräume in den einzelnen Zugtypen sind in Tabelle 19 zusammengefasst, wobei lediglich die Fahrzeuge aufgeführt werden, die in der Standardausstattung über einen Mehrzweckraum verfügen. Sie stellen die Grundlage für die Festlegung der in den Zugtypen im vorliegenden Untersuchungsfall vorzusehenden Mehrzweckraumgröße dar. Die nutzbare Fahrzeuginnenbreite ergibt sich aus der in den jeweiligen Projektskizzen aufgetragenen Innenraumbreite abzüglich der aus der Projektskizze des einstöckigen Reisezugwagens bestimmten und für alle anderen Züge als gleich angenommenen Breite für hochgeklappte Klappsitze.<sup>149</sup>

Wird die Fahrzeugkastenstärke des einstöckigen Wagens als gleich stark wie beim Fahrzeugkasten des Doppelstock-Wagens angenommen<sup>150</sup>, so ergibt sich für einen hochgeklappten Klappsitz eine Breite von 0,176 m.

Da i.d.R. auf jeder Seite Klappsitze montiert werden, reduziert sich die in den Projektskizzen angegebene Innenraumbreite um  $2 \cdot 0,176 \text{ m} = 0,351 \text{ m}$ .

Unter Berücksichtigung der herstellerseitig für den einstöckigen Triebzug und den einstöckigen Wagenzug vorgesehenen festen Zugverbände erhöht sich die standardmäßig in diesen Zügen jeweils verfügbare Gesamtfläche für Mehrzweckräume auf 13,51 m<sup>2</sup> bzw. 25,428 m<sup>2</sup>. Die in den einzelnen Zugtypen verfügbare Mehrzweckfläche variiert damit zwischen ungefähr 6 m<sup>2</sup> und ungefähr 25 m<sup>2</sup>.

---

<sup>149</sup> Vgl. z.B. Bombardier (2005d).

<sup>150</sup> Vgl. z.B. Bombardier (2005g).

Fahrzeug	nutzbare Fahrzeuginnenbreite [m]	Größe Mehrzweckraum [m <sup>2</sup> ]
Doppelstock-Steuerwagen	2,310	10,025
Doppelstock-Mittelwagen (Tiefeinstieg)	2,310	9,640
Einstock-Steuerwagen	2,290	7,420
Einstock-Versorgungswagen	2,290	7,420
Einstock-Ergänzungswagen	2,290	10,488
Doppelstocktriebzug	2,383	7,149
Einstocktriebzug, Triebwagen 1	2,366	5,359
Einstocktriebzug, Triebwagen 2	2,366	8,151

**Tabelle 19** Längen und Größen der Mehrzweckräume.  
 Quelle Winzer/Hillmann (2004), S. 110; Falk (2000), S. 164; DB Regio (2003a); Bombardier (2005b) bis (2005d); Bombardier (2005f); Bombardier (2005g).

## Toilettenzellen

Die Längen der standardmäßig in den verschiedenen Zugtypen eingebauten Toilettenzellen sind in Tabelle 20 zusammengefasst.

Die im Doppelstock-Steuerwagen eingebaute Toilette ist behindertengerecht. Sie erlaubt es einem Rollstuhlfahrer, sich innerhalb der Toilettenzelle frei zu bewegen. Er kann die Zelle vorwärts wieder verlassen, während ihm derartige Manöver in den Toilettenzellen der Triebzüge und einstöckigen Reisezugwagen nicht möglich ist. Diese Toiletten sind daher lediglich behindertenfreundlich.

Die in den Fahrzeugen des einstöckigen Wagenzuges und die im Do-ET RABe514 eingebauten Toiletten sind hinsichtlich ihrer Größe für die Benutzung durch Rollstuhlfahrer geeignet. Die im Versorgungswagen eingebaute Toilettenzelle ist jedoch nicht mit behindertengerechten Funktionstasten ausgestattet und kann daher nicht als Behindertentoilette ausgewiesen werden.

Fahrzeug	Toilettenzellen- länge [m]
DoSto2003-Steuerwagen (behindertengerechte Toilette)	3,347
DoSto2003-Mittelwagen („kleine“ Toilette)	2,039
Siemens Do-ET	2,340
SD-ET BR425 (Triebwa- gen 1)	2,825
SD-ET BR425- Triebwagen 2	./.
SD-LF-Steuerwagen	2,25
SD-LF- Versorgungswagen	2,25
SD-LF- Ergänzungswagen	./.

**Tabelle 20**  
Quelle

Längen der Toilettenzellen in den Fahrzeugstandardausführungen.  
Winzer/Hillmann (2004), S. 110; Falk (2000), S. 164; DB Regio (2003a); Bombardier (2005b) bis (2005d); Bombardier (2005f); Bombardier (2005g).

## **Anlage 6 Zugkonfigurationen**

Auf den folgenden Seiten sind die für die Überprüfung der Planungsregel gebildeten Züge der vier betrachteten Zugkonzepte zusammengestellt.



## Grunddaten der Wagenzüge

	Tfz	DoSto-Fz		SD-Fz			
		SW	MW(H)	SW	VW	EW	AW
#Sitzplätze	0	61	132	38	83	92	92
Nutzlänge <sub>II</sub> , vorhanden [m]	0,000	28,296	36,328	22,833	24,746	25,677	25,772
Nutzlänge <sub>I</sub> , vorhanden [m]	0,000	24,566	32,328	18,933	20,846	21,777	21,872
LüP [m]	18,900	27,270	26,800	27,300	27,300	27,300	27,270
Nutzfläche [m <sup>2</sup> ]	0,000	83,113	98,458	57,735	62,786	67,813	68,064
Gesamtfläche [m <sup>2</sup> ]	56,284	105,240	110,297	66,117	69,823	69,930	70,181
Sitzspurlänge [m]		14,619	31,308	8,986	20,846	21,777	21,872
Gangbreite [m]		0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
Fläche Gang, Sitzraum [m <sup>2</sup> ]		7,310	15,654	4,493	10,423	10,889	10,936
Fläche MZR [m <sup>2</sup> ]		15,260	0,000	15,114	0,000	0,000	0,000
Fläche Türen [m <sup>2</sup> ]		9,926	10,656	10,300	10,300	10,300	10,300
Stehraumfläche [m <sup>2</sup> ]		32,495	26,310	29,907	20,723	21,188	21,236
Stehplatzkapazität		130	105	120	83	85	85
Kapazität, max	0	191	237	158	166	177	177
Dienstmasse [t]	84,000	52,000	49,500	43,000	43,000	39,000	40,000
Besetztmasse bei Kap., max. [t]	84,000	69,188	70,852	57,186	57,930	54,908	55,925
Leistung [kW]	5600						
Investitionskosten [ct/km+Fz]	127,5	72,0	55,0	63,0	48,4	48,4	48,4
Wartung und Instandhaltung [ct/km+Fz]	52,0	27,0	27,0	16,0	16,0	16,0	16,0
PK [ct/km+Fz]	179,5	99,0	82,0	79,0	64,4	64,4	64,4

## Konfigurationen lokbespannter Doppelstockzüge und Kenndaten

#Wagen,gesamt	1	2	3	4	5	6	7
#SW	1	1	1	1	1	1	1
#MW,ohneWC	0	0	0	0	0	0	0
#MW,mitWC		1	2	3	4	5	6
#Lokomotiven	1	1	1	1	1	1	1
<b>#Sitzplätze</b>	<b>61</b>	<b>193</b>	<b>325</b>	<b>457</b>	<b>589</b>	<b>721</b>	<b>853</b>
Kapazität,max	191	428	665	903	1140	1377	1614
LüP [m]	46,170	72,970	99,770	126,570	153,370	180,170	206,970
Nutzlänge <sub>II</sub> ,vorhanden [m]	28,296	64,624	100,951	137,279	173,607	209,935	246,262
Nutzlänge <sub>I</sub> ,vorhanden [m]	24,566	56,894	89,221	121,549	153,877	186,205	218,532
Nutzfläche [m <sup>2</sup> ]	83,113	181,571	280,030	378,488	476,947	575,405	673,864
Gesamtfläche [m <sup>2</sup> ]	161,524	271,821	382,118	492,415	602,712	713,009	823,306
Leistung [kW]	5600	5600	5600	5600	5600	5600	5600
Dienstgewicht [t]	136,000	185,500	235,000	284,500	334,000	383,500	433,000
Masse,gesamt_bei_Kap.,max [t]	153,188	224,040	294,891	365,743	436,595	507,446	578,298
<b>Nutzlänge1</b>	53,21%	77,97%	89,43%	96,03%	100,33%	103,35%	105,59%
<b>Nutzlänge2</b>	61,29%	88,56%	101,18%	108,46%	113,19%	116,52%	118,98%
<b>Masse-spezifische Leistung [kW/t]</b>	36,556	24,996	18,990	15,311	12,827	11,036	9,684
Investitionskosten [ct/km+Fz]	200	255	310	365	420	475	530
Wartung und Instandhaltung [ct/km+Fz]	79	106	133	160	187	214	241
<b>PK [ct/km]</b>	279	361	443	525	607	689	771

## Konfigurationen lokbespannter Doppelstockzüge und Kenndaten

#Wagen,gesamt	8	9	10	11	12	13
#SW	1	1	1	1	1	1
#MW,ohneWC	0	0	0	0	0	0
#MW,mitWC	7	8	9	10	11	12
#Lokomotiven	1	1	1	1	1	1
<b>#Sitzplätze</b>	<b>985</b>	<b>1117</b>	<b>1249</b>	<b>1381</b>	<b>1513</b>	<b>1645</b>
Kapazität,max	1852	2089	2326	2563	2801	3038
LüP [m]	233,770	260,570	287,370	314,170	340,970	367,770
Nutzlänge <sub>II</sub> ,vorhanden [m]	282,590	318,918	355,246	391,573	427,901	464,229
Nutzlänge <sub>I</sub> ,vorhanden [m]	250,860	283,188	315,516	347,843	380,171	412,499
Nutzfläche [m²]	772,322	870,780	969,239	1067,697	1166,156	1264,614
Gesamtfläche [m²]	933,603	1043,900	1154,197	1264,494	1374,792	1485,089
Leistung [kW]	5600	5600	5600	5600	5600	5600
Dienstgewicht [t]	482,500	532,000	581,500	631,000	680,500	730,000
Masse,gesamt_bei_Kap.,max [t]	649,149	720,001	790,853	861,704	932,556	1003,407
<b>Nutzlänge1</b>	107,31%	108,68%	109,79%	110,72%	111,50%	112,16%
<b>Nutzlänge2</b>	120,88%	122,39%	123,62%	124,64%	125,50%	126,23%
<b>Masse-spezifische Leistung [kW/t]</b>	8,627	7,778	7,081	6,499	6,005	5,581
Investitionskosten [ct/km+Fz]	585	640	695	750	805	860
Wartung und Instandhaltung [ct/km+Fz]	268	295	322	349	376	403
<b>PK [ct/km]</b>	853	935	1017	1099	1181	1263

**Konfigurationen einstöckiger  
lokbespannter Züge und  
Kenndaten**

#Wagen,gesamt	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
#SW	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
#MW-VW	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7
#MW-EW	0	0	1	1	2	2	3	3	4	4
#MW-AW	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
#Lokomotiven	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>#Sitzplätze</b>	<b>296</b>	<b>379</b>	<b>471</b>	<b>554</b>	<b>646</b>	<b>729</b>	<b>821</b>	<b>904</b>	<b>996</b>	<b>1079</b>
Kapazität,max	666	832	1009	1175	1352	1518	1694	1860	2037	2203
LüP [m]	128,070	155,370	182,670	209,970	237,270	264,570	291,870	319,170	346,470	373,770
Nutzlänge <sub>II</sub> ,vorhanden [m]	98,096	122,842	148,519	173,264	198,941	223,687	249,364	274,109	299,786	324,532
Nutzlänge <sub>I</sub> ,vorhanden [m]	82,496	103,342	125,119	145,964	167,741	188,587	210,364	231,209	252,986	273,832
Nutzfläche [m <sup>2</sup> ]	251,370	314,155	381,968	444,754	512,567	575,353	643,166	705,951	773,764	836,550
Gesamtfläche [m <sup>2</sup> ]	332,227	402,050	471,980	541,803	611,733	681,556	751,485	821,308	891,238	961,061
Leistung [kW]	5600	5600	5600	5600	5600	5600	5600	5600	5600	5600
Dienstgewicht [t]	253,000	296,000	335,000	378,000	417,000	460,000	499,000	542,000	581,000	624,000
Masse,gesamt bei Kap.,max [t]	312,972	370,902	425,810	483,740	538,648	596,578	651,486	709,416	764,324	822,254
<b>Nutzlänge1</b>	<b>64,41%</b>	<b>66,51%</b>	<b>68,49%</b>	<b>69,52%</b>	<b>70,70%</b>	<b>71,28%</b>	<b>72,07%</b>	<b>72,44%</b>	<b>73,02%</b>	<b>73,26%</b>
<b>Nutzlänge2</b>	<b>76,60%</b>	<b>79,06%</b>	<b>81,30%</b>	<b>82,52%</b>	<b>83,85%</b>	<b>84,55%</b>	<b>85,44%</b>	<b>85,88%</b>	<b>86,53%</b>	<b>86,83%</b>
<b>Masse-spezifische Leistung [kW/t]</b>	<b>17,893</b>	<b>15,098</b>	<b>13,151</b>	<b>11,576</b>	<b>10,396</b>	<b>9,387</b>	<b>8,596</b>	<b>7,894</b>	<b>7,327</b>	<b>6,811</b>
Investitionskosten [ct/km+Fz]	336	384	433	481	529	578	626	675	723	771
Wartung und Instandhaltung [ct/km+Fz]	116	132	148	164	180	196	212	228	244	260
<b>PK [ct/km]</b>	<b>452</b>	<b>516</b>	<b>581</b>	<b>645</b>	<b>709</b>	<b>774</b>	<b>838</b>	<b>903</b>	<b>967</b>	<b>1031</b>

## Konfigurationen ET's und Kenndaten

		SD-ET				Do-ET (Siemens)			
Traktionseinheiten	1	2	3	4	1	2	3	4	
<b>#Sitzplätze</b>	<b>155</b>	<b>310</b>	<b>465</b>	<b>620</b>	<b>317</b>	<b>634</b>	<b>951</b>	<b>1268</b>	
Kapazität,max	434	868	1302	1736	679	1357	2036	2715	
LüP [m]	67,150	134,300	201,450	268,600	100,000	200,000	300,000	400,000	
Nutzlänge <sub>II</sub> ,vorhanden [m]	59,840	119,680	179,520	239,360	99,766	199,532	299,298	399,064	
Nutzlänge <sub>I</sub> ,vorhanden [m]	46,680	93,360	140,040	186,720	84,758	169,516	254,274	339,032	
Nutzfläche [m]	160,286	320,571	480,857	641,143	272,780	545,561	818,341	1091,122	
Gesamtfläche [m]	172,404	344,809	517,213	689,618	380,482	760,965	1141,447	1521,929	
Sitzspurlänge [m]	36,730	73,460	110,190	146,920	74,811	149,622	224,433	299,244	
Gangbreite [m]	0,500	0,500	0,500	0,500	0,450	0,450	0,450	0,450	
Fläche Gang,Sitzraum [m <sup>2</sup> ]	18,365	36,730	55,095	73,460	33,665	67,330	100,995	134,660	
Fläche MZR [m <sup>2</sup> ]	15,616	31,232	46,848	62,464	15,728	31,456	47,184	62,912	
Fläche Türen [m <sup>2</sup> ]	35,756	71,511	107,267	143,023	41,032	82,064	123,096	164,127	
Stehraumfläche [m <sup>2</sup> ]	69,737	139,473	209,210	278,947	90,425	180,850	271,274	361,699	
Stehplatzkapazität	279	558	837	1116	362	723	1085	1447	
Leistung [kW]	2350	4700	7050	9400	3200	6400	9600	12800	
Dienstgewicht [t]	113,000	226,000	339,000	452,000	218,000	436,000	654,000	872,000	
Masse,gesamt_bei_Kap.,max [t]	152,055	304,110	456,166	608,221	279,083	558,166	837,249	1116,332	
<b>Nutzlänge1</b>	70%	70%	70%	70%	85%	85%	85%	85%	
<b>Nutzlänge2</b>	89%	89%	89%	89%	100%	100%	100%	100%	
<b>Masse-spezifische Leistung [kW/t]</b>	15,455	15,455	15,455	15,455	11,466	11,466	11,466	11,466	
Investitionskosten [ct/km+Fz]	204	408	612	816	352,6	705	1058	1410	
Wartung und Instandhaltung [ct/km+Fz]	43	86	129	172	212	424	636	848	
<b>PK [ct/km]</b>	247	494	741	988	565	1129	1694	2258	

## Anlage 7 Investitionskosten

### Lokbespannte Züge

Der Kaufpreis eines lokbespannten doppelstöckigen und eines lokbespannten einstöckigen Zuges setzen sich zusammen aus dem Kaufpreis für eine Lokomotive und dem Kaufpreis für den Wagenzug als Summe der Einzelpreise der Wagenzugfahrzeuge. Zunächst wurde der Kaufpreis für eine Lokomotive abgeleitet, anschließend die Preise für die doppel- und einstöckigen Mittel- und Steuerwagen festgelegt.

### Lokomotive

Für die Bestimmung des Kaufpreises einer Lokomotive der BR 146.2 wurde von einem zwischen der Deutschen Bahn AG und Bombardier Transportation vereinbarten Vertrag mit einem Gesamtvolumen von rund 400 Mio.€ ausgegangen, mit dem die Deutsche Bahn AG die Option auf Bezug von 150 Lokomotiven der Baureihe BR146.2 erhalten hat.<sup>151</sup> Aus diesen Angaben ergibt sich ein mittlerer Kaufpreis von ungefähr 2,7 Mio.€.

Der Kaufpreis von 2,7 Mio.€ sollte jedoch hinsichtlich seiner Allgemeingültigkeit kritisch bewertet werden. Der zwischen der Deutschen Bahn AG und Bombardier Transportation ausgehandelte Vertrag umfasst einen Auftrag mit einem großen Volumen. Es erscheint plausibel anzunehmen, dass die Deutsche Bahn AG einen Mengenrabatt hat aushandeln können. Für einen allgemeingültigen Kaufpreis sollte daher von einem höheren Preis für eine Lokomotive der Baureihe BR146 ausgegangen werden. Für die vorliegende Untersuchung wird daher ein Kaufpreis in Höhe von 3 Mio.€ für eine Lokomotive der Baureihe BR146.2 angenommen.<sup>152</sup>

Aus dem angenommenen Kaufpreis und Zinssatz sowie aus der festgelegten Abschreibungsdauer lässt sich der insgesamt über die Projektlebenszeit für die Investition aufzubringende Betrag bestimmen. Die Ermittlung des insgesamt und durchschnittlich pro Jahr aufzubringenden Betrags ist in der nachfolgenden Tabelle 21 nachgewiesen:

---

<sup>151</sup> Vgl. o.V. (2004)

<sup>152</sup> Vgl. auch Schätzer (2005a) und Scharf (2005).

### Investitionskosten Lokomotive (Abschreibungsplan)

Kaufpreis [EUR]	3.000.000,00
Abschreibungsdauer [a]	10
Abschreibung [EUR/a]	300.000,00
Zinssatz	5%

Jahr	Restwert [€]	Tilgung [€]	Zinszahlung [€]	Gesamtbelastung (Zins+Tilgung) [€]
1	3.000.000,00	300.000,00	150.000,00	450.000,00
2	2.700.000,00	300.000,00	135.000,00	435.000,00
3	2.400.000,00	300.000,00	120.000,00	420.000,00
4	2.100.000,00	300.000,00	105.000,00	405.000,00
5	1.800.000,00	300.000,00	90.000,00	390.000,00
6	1.500.000,00	300.000,00	75.000,00	375.000,00
7	1.200.000,00	300.000,00	60.000,00	360.000,00
8	900.000,00	300.000,00	45.000,00	345.000,00
9	600.000,00	300.000,00	30.000,00	330.000,00
10	300.000,00	300.000,00	15.000,00	315.000,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Summe</b>		<b>3.000.000,00</b>	<b>825.000,00</b>	<b>3.825.000,00</b>
<b>Jahreswerte</b>		<b>300.000,00</b>	<b>82.500,00</b>	<b>382.500,00</b>

**Tabelle 21** Abschreibungsplan Lokomotive (BR146.2).  
Quelle Eigene Berechnungen.

Bei einer Jahreslaufleistung von insgesamt 300.000 km ergeben sich für die Lokomotive laufleistungsspezifische Investitionskosten von 127,5 ct/km.

### Doppelstock-Wagen

Für die Bestimmung des Kaufpreises der Doppelstockwagen soll vereinfachend lediglich zwischen Steuer- und Mittelwagen unterschieden werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Konstruktionskosten der unterschiedlichen Mittelwagentypen, also des Hoch- und Tiefeinstieg-Mittelwagens, gleich sind. Technisch unterscheiden sich diese beiden Typen nicht.<sup>153</sup> Eine vom Mittelwagen abweichende Konstruktion und die Unterbringung zusätzlicher Technik begründet die Annahme eines grundsätzlich höheren Preises für den Steuerwagen. Es kann daher von einem im Vergleich zum Mittelwagen um 30% höheren Kaufpreis für den Steuerwagen ausgegangen werden.<sup>154</sup>

Der Kaufpreis der Doppelstockwagen konnte mit den voranstehend getroffenen Annahmen und den Informationen über zwei Aufträge an Bombardier Transportation zur Liefe-

<sup>153</sup> Vgl. Karsch (2005).

<sup>154</sup> Vgl. Scharf (2005).

zung von Doppelstockwagen hergeleitet werden. Zum einen wurde der Auftrag der Landesnahverkehrsgesellschaft Niedersachsen (LNVG) vom Mai 2005 und zum anderen der Auftrag der DB Regio AG Südost von 2004 zu Grunde gelegt.<sup>155</sup>

Der Auftrag der LNVG belief sich auf ungefähr 137 Mio.€ und beinhaltete die Lieferung von 78 Doppelstockwagen und neun Lokomotiven der Baureihe BR146.2. Es wird angenommen, dass aus den 78 Doppelstockwagen entsprechend der Zahl der Lokomotiven neun Zuggarnituren gebildet werden und in der Lieferung von 78 Doppelstockfahrzeugen neun Steuerwagen enthalten sind.

Der Auftrag der DB Regio Südost umfasst die Lieferung von 12 Doppelstockfahrzeugen für vier Zuggarnituren mit einem Auftragswert von 16,58 Mio.€. Der Auftrag umfasst Steuer- und Mittelwagen, jedoch keine Lokomotiven. Es wird angenommen, dass die Lieferung entsprechend der Anzahl der Zuggarnituren vier Steuerwagen enthält.

Mit dem angenommenen Kaufpreis von 3 Mio.€ für eine Lokomotive der Baureihe BR146.2 ergibt sich mit der Formel (7-1):

$$\text{Formel (7-1)} \quad p_{SW} = 1,3 * \frac{p_{ges} - n_{Lok} * p_{Lok}}{1,3 * n_{SW} + n_{MW}}$$

wobei:

$p_{ges}$ : Auftragsvolumen

$n_{Tfz}$ : Anzahl der im Auftrag enthaltenen Lokomotiven

$p_{Tfz}$ : Kaufpreis für eine Lokomotive

$n_{SW}$ : Anzahl der im Auftrag enthaltenen Steuerwagen

$n_{MW}$ : Anzahl der im Auftrag enthaltenen Mittelwagen

für die von der LNVG gekauften Doppelstock-Steuerwagen ein Stückpreis von 1,77 Mio.€ und für die von ihr gekauften Doppelstock-Mittelwagen ein Stückpreis von 1,36 Mio.€.

Mit der gleichen Formel (7-1) ergibt sich für die von der DB Regio Südost erworbenen Doppelstockfahrzeuge ein Stückpreis von 1,63 Mio.€ für den Steuerwagen und einer von 1,26 Mio.€ für den Mittelwagen.

Im Mittel kann von einem Stückpreis von 1,7 Mio.€ für den Steuerwagen und von einem Stückpreis von 1,3 Mio.€ für den Mittelwagen ausgegangen werden.

Der jeweilige entfernungspezifische Gesamtinvestitionsbetrag der beiden doppelstöckigen Fahrzeuge lässt sich bestimmen, indem mit dem angenommenen Zinssatz von 5% auf den noch nicht abgeschrieben Betrag und der festgelegten Abschreibungsdauer ein Abschreibungsplan aufgestellt wird. Die entsprechenden Abschreibungspläne sind in Tabelle 22 und Tabelle 23 dargestellt

<sup>155</sup> Vgl. o.V. (2005a) und Regierungspräsidium Leipzig (2004).



**Investitionskosten Doppelstock-Steuerwagen  
(Abschreibungsplan)**

Kaufpreis [EUR] 1.700.000,00  
 Abschreibungsdauer [a] 10  
 Abschreibung [EUR/a] 170.000,00  
 Zinssatz 5%

Jahr	Restwert [€]	Tilgung [€]	Zinszahlung [€]	Gesamtbelastung (Zins+Tilgung) [€]
1	1.700.000,00	170.000,00	85.000,00	255.000,00
2	1.530.000,00	170.000,00	76.500,00	246.500,00
3	1.360.000,00	170.000,00	68.000,00	238.000,00
4	1.190.000,00	170.000,00	59.500,00	229.500,00
5	1.020.000,00	170.000,00	51.000,00	221.000,00
6	850.000,00	170.000,00	42.500,00	212.500,00
7	680.000,00	170.000,00	34.000,00	204.000,00
8	510.000,00	170.000,00	25.500,00	195.500,00
9	340.000,00	170.000,00	17.000,00	187.000,00
10	170.000,00	170.000,00	8.500,00	178.500,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Summe</b>		<b>1.700.000,00</b>	<b>467.500,00</b>	<b>2.167.500,00</b>
<b>Jahreswerte</b>		<b>170.000,00</b>	<b>46.750,00</b>	<b>216.750,00</b>

**Tabelle 22** Abschreibungsplan DoSto-SW.  
 Quelle Eigene Berechnungen.

### **Investitionskosten Doppelstock-Mittelwagen (Abschreibungsplan)**

Kaufpreis [EUR]	1.300.000,00
Abschreibungsdauer [a]	10
Abschreibung [EUR/a]	130.000,00
Zinssatz	5%

Jahr	Restwert [€]	Tilgung [€]	Zinszahlung [€]	Gesamtbelastung (Zins+Tilgung) [€]
1	1.300.000,00	130.000,00	65.000,00	195.000,00
2	1.170.000,00	130.000,00	58.500,00	188.500,00
3	1.040.000,00	130.000,00	52.000,00	182.000,00
4	910.000,00	130.000,00	45.500,00	175.500,00
5	780.000,00	130.000,00	39.000,00	169.000,00
6	650.000,00	130.000,00	32.500,00	162.500,00
7	520.000,00	130.000,00	26.000,00	156.000,00
8	390.000,00	130.000,00	19.500,00	149.500,00
9	260.000,00	130.000,00	13.000,00	143.000,00
10	130.000,00	130.000,00	6.500,00	136.500,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Summe</b>		<b>1.300.000,00</b>	<b>357.500,00</b>	<b>1.657.500,00</b>
<b>Jahreswerte</b>		<b>130.000,00</b>	<b>35.750,00</b>	<b>165.750,00</b>

**Tabelle 23** Abschreibungsplan DoSto-MW.  
Quelle Eigene Berechnungen.

Bei einer Jahreslaufleistung von insgesamt 300.000 km ergeben sich laufleistungsspezifische Investitionskosten von 72 ct/km für den Doppelstock-Steuerwagen und 55 ct/km für den Doppelstock-Mittelwagen.

### **Einstock-Wagenzug**

Zur Berechnung des Kaufpreises der Single-Deck-Fahrzeuge wird der Auftrag der Connex Verkehr GmbH an Bombardier Transportation über die Lieferung von 90 Single-Deck-Fahrzeugen für fünfzehn Züge und von vier Lokomotiven der Baureihe BR146.2 zu Grunde gelegt.<sup>156</sup>

Der Auftrag hat ein Volumen von insgesamt ungefähr 120 Mio.€ und umfasst vier Lokomotiven der Baureihe BR146.2 und neunzig Single-Deck-Fahrzeuge.<sup>157</sup> Sechzehn dieser Single-Deck-Fahrzeuge sind Steuerwagen. Ihr Kaufpreis liegt um etwa 30% über dem mittleren Kaufpreis eines Versorgungs- und eines Ergänzungsmittelwagens.<sup>158</sup>

<sup>156</sup> Vgl. hierzu Bombardier Transportation (2003).

<sup>157</sup> Vgl. Bombardier Transportation (2003).

<sup>158</sup> Vgl. Scharf (2005).

Mit dem angenommenen Kaufpreis von 3 Mio.€ für eine Lokomotive der Baureihe BR146.2 ergibt sich mit der Formel (7-1) für den Steuerwagen ein Kaufpreis von 1,481 Mio.€ und folglich für den Mittelwagen ein Kaufpreis von 1,139 Mio.€.

Der laufleistungsspezifische Gesamtinvestitionsbetrag eines Einstock-Steuerwagens und eines Single-Deck-Mittelwagen lassen sich über einen Abschreibungsplan unter Anwendung des angenommenen Zinssatzes von 5% und der festgelegten Abschreibungsdauer von 10 Jahren ermitteln. Die Abschreibungspläne sind in Tabelle 24 und in Tabelle 25 dargestellt.

**Investitionskosten Einstock-Steuerwagen  
(Abschreibungsplan)**

Kaufpreis [EUR]	1.481.000,00
Abschreibungsdauer [a]	10
Abschreibung [EUR/a]	148.100,00
Zinssatz	5%

Jahr	Restwert [€]	Tilgung [€]	Zinszahlung [€]	Gesamtbelastung (Zins+Tilgung) [€]
1	1.481.000,00	148.100,00	74.050,00	222.150,00
2	1.332.900,00	148.100,00	66.645,00	214.745,00
3	1.184.800,00	148.100,00	59.240,00	207.340,00
4	1.036.700,00	148.100,00	51.835,00	199.935,00
5	888.600,00	148.100,00	44.430,00	192.530,00
6	740.500,00	148.100,00	37.025,00	185.125,00
7	592.400,00	148.100,00	29.620,00	177.720,00
8	444.300,00	148.100,00	22.215,00	170.315,00
9	296.200,00	148.100,00	14.810,00	162.910,00
10	148.100,00	148.100,00	7.405,00	155.505,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Summe</b>		<b>1.481.000,00</b>	<b>407.275,00</b>	<b>1.888.275,00</b>
<b>Jahreswerte</b>		<b>148.100,00</b>	<b>40.727,50</b>	<b>188.827,50</b>

**Tabelle 24** Abschreibungsplan SD-WZ-SW.  
Quelle Eigene Berechnungen.

**Investitionskosten Einstock-Mittelwagen  
(Abschreibungsplan)**

Kaufpreis [EUR] 1.139.000,00  
 Abschreibungsdauer [a] 10  
 Abschreibung [EUR/a] 113.900,00  
 Zinssatz 5%

Jahr	Restwert [€]	Tilgung [€]	Zinszahlung [€]	Gesamtbelastung (Zins+Tilgung) [€]
1	1.139.000,00	113.900,00	56.950,00	170.850,00
2	1.025.100,00	113.900,00	51.255,00	165.155,00
3	911.200,00	113.900,00	45.560,00	159.460,00
4	797.300,00	113.900,00	39.865,00	153.765,00
5	683.400,00	113.900,00	34.170,00	148.070,00
6	569.500,00	113.900,00	28.475,00	142.375,00
7	455.600,00	113.900,00	22.780,00	136.680,00
8	341.700,00	113.900,00	17.085,00	130.985,00
9	227.800,00	113.900,00	11.390,00	125.290,00
10	113.900,00	113.900,00	5.695,00	119.595,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Summe</b>		<b>1.139.000,00</b>	<b>313.225,00</b>	<b>1.452.225,00</b>
<b>Jahreswerte</b>		<b>113.900,00</b>	<b>31.322,50</b>	<b>145.222,50</b>

**Tabelle 25** Abschreibungsplan SD-WZ-MW.  
 Quelle Eigene Berechnungen.

Bei einer Jahreslaufleistung von insgesamt 300.000 km ergeben sich laufleistungsspezifische Investitionskosten von 63 ct/km für den Single-Deck-Steuerwagen und 48 ct/km für den Single-Deck-Mittelwagen.

**Triebzüge**

Für eine Einheit des doppelstöckigen Triebzuges von Siemens kann ein Stückpreis von 12,8 Mio. CHF zu Grunde gelegt werden.<sup>159</sup> Mit einem gewählten Devisenkurs von 1,5427 CHF für einen Euro ergibt sich daraus ein Stückpreis von ungefähr 8,3 Mio.€.<sup>160</sup>

Mit dem gewählten Zinssatz von 5% auf den noch nicht zurückgeführten Finanzierungsbeitrag und einer Abschreibungsdauer von 10 Jahren lässt sich der insgesamt für die Investition aufzubringende Betrag ermitteln. Die Berechnung der Investitionskosten ist in Tabelle 26 dargestellt.

<sup>159</sup> Güldenpenning (2005b).  
<sup>160</sup> Vgl. FAZ (2005a).

**Investitionskosten Doppelstocktriebzug  
(Abschreibungsplan)**

Devisenmittelkurs [CHF/EUR]	1,5429
Kaufpreis [CHF]	12.800.000,00
Kaufpreis [EUR]	8.296.065,85
Abschreibungsdauer [a]	10
Abschreibung [EUR/a]	829.606,59
Zinssatz	5%

Jahr	Restwert [€]	Tilgung [€]	Zinszahlung [€]	Gesamtbelastung (Zins+Tilgung) [€]
1	8.296.065,85	829.606,59	414.803,29	1.244.409,88
2	7.466.459,27	829.606,59	373.322,96	1.202.929,55
3	6.636.852,68	829.606,59	331.842,63	1.161.449,22
4	5.807.246,10	829.606,59	290.362,30	1.119.968,89
5	4.977.639,51	829.606,59	248.881,98	1.078.488,56
6	4.148.032,93	829.606,59	207.401,65	1.037.008,23
7	3.318.426,34	829.606,59	165.921,32	995.527,90
8	2.488.819,76	829.606,59	124.440,99	954.047,57
9	1.659.213,17	829.606,59	82.960,66	912.567,24
10	829.606,59	829.606,59	41.480,33	871.086,91
11	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Summe</b>		<b>8.296.065,85</b>	<b>2.281.418,11</b>	<b>10.577.483,96</b>
<b>Jahreswerte</b>		<b>829.606,59</b>	<b>228.141,81</b>	<b>1.057.748,40</b>

**Tabelle 26** Abschreibungsplan Do-ET (RABe514).  
Quelle Eigene Berechnungen.

Als laufeistungsspezifische Investitionskosten ergibt sich für den Siemens-Doppelstocktriebzug ein Betrag von 352,6 ct/km.

Für den Stückpreis eines einstöckigen Triebzuges der Baureihe BR425 kann ein Stückpreis von 4,8 Mio.€ zugrunde gelegt werden.<sup>161</sup>

Analog zum doppelstöckigen Triebzug kann mit den gleichen Annahmen für Zinssatz und Abschreibungsdauer der anteilige jährliche Investitionsbetrag bestimmt werden.

Die Berechnung der Investitionskosten ist in Tabelle 27 dargestellt.

<sup>161</sup> Vgl. DB Regio (2003b).

**Investitionskosten Einstocktriebzug  
(Abschreibungsplan)**

Kaufpreis [EUR] 4.800.000,00  
 Abschreibungsdauer [a] 10  
 Abschreibung [EUR/a] 480.000,00  
 Zinssatz 5%

Jahr	Restwert [€]	Tilgung [€]	Zinszahlung [€]	Gesamtbelastung (Zins+Tilgung) [€]
1	4.800.000,00	480.000,00	240.000,00	720.000,00
2	4.320.000,00	480.000,00	216.000,00	696.000,00
3	3.840.000,00	480.000,00	192.000,00	672.000,00
4	3.360.000,00	480.000,00	168.000,00	648.000,00
5	2.880.000,00	480.000,00	144.000,00	624.000,00
6	2.400.000,00	480.000,00	120.000,00	600.000,00
7	1.920.000,00	480.000,00	96.000,00	576.000,00
8	1.440.000,00	480.000,00	72.000,00	552.000,00
9	960.000,00	480.000,00	48.000,00	528.000,00
10	480.000,00	480.000,00	24.000,00	504.000,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Summe</b>		<b>4.800.000,00</b>	<b>1.320.000,00</b>	<b>6.120.000,00</b>
<b>Jahreswerte</b>		<b>480.000,00</b>	<b>132.000,00</b>	<b>612.000,00</b>

**Tabelle 27** Abschreibungsplan SD-ET (BR425).  
 Quelle Eigene Berechnungen.

Wird die durchschnittliche Jahresgesamtbelastung auf die durchschnittliche Jahresleistung von 300.000 km bezogen, so ergeben sich für eine Triebzuginheit laufleistungsspezifische Investitionskosten von 204 ct/km.

## Anlage 8      Wartungs- und Instandhaltungskosten

Für die Berechnung der Fahrzeuginstandhaltungskosten wurde die im Textteil in Kapitel 2.3.3 eingeführte Formel (2-19)

$$K_{Inst.,i} \left[ \frac{EUR}{km} \right] = \frac{K_{Pers.,i} \left[ \frac{EUR}{a} \right] + K_{Mat.,i} \left[ \frac{EUR}{a} \right]}{s_i \left[ \frac{km}{a} \right]}$$

verwendet, sofern entsprechende Herstellerangaben verfügbar waren.

In Tabelle 28 sind die für die einzelnen Fahrzeuge gelieferten Angaben zur Instandhaltung zusammengefasst.

Fahrzeug	Instandhaltungsdaten
Lok (BR146.2)	<b>Annahmen:</b> Laufleistung 300.000 km; Projektdauer: 10 Jahre; Stundensatz Instandhaltungspersonal: 45,00 € <b>Instandhaltungskosten:</b> 0,52 €/km
Do-Sto-Wagen	<b>Annahmen:</b> Laufleistung 300.000 km; Projektdauer: 10 Jahre; Stundensatz Instandhaltungspersonal: 45,00 € <b>Instandhaltungskosten:</b> 0,27 €/km
SD-Wagen	<b>Durchschnittl. Arbeitsaufwand pro Jahr und Wagen:</b> ca. 260 h (präventiv + korrektiv) <b>Durchschnittl. Arbeitsaufwand pro Wagen für 8-Jahres-Revision:</b> ca. 360 h <b>Durchschnittl. Materialaufwand pro km und Wagen:</b> 11...13 ct (präventiv + korrektiv, ohne Betriebsstoffe)
Do-ET	keine Angaben verfügbar
SD-ET	<b>Personalkosten der Betriebsnahe Instandhaltung präventiv und korrektiv pro Jahr und Fahrzeug:</b> 60.000 € <b>Personalkosten der 8-Jahres-Revision pro Fahrzeug, umgelegt auf ein Jahr:</b> 20.000 € <b>Materialkosten (Verschleissteile und defekte Teile) pro Jahr und Fahrzeug:</b> 50.000 €

**Tabelle 28**      Instandhaltungsdaten der Fahrzeuge  
Quelle              Fiehn (2005), Linke (2005b), Theis (2005) und Scharf (2005).

Aus den in Tabelle 28 enthaltenen Daten ließen sich die laufleistungsspezifischen Kosten der Wartung und Instandhaltung für die einzelnen Fahrzeuge berechnen, sofern sie nicht in dieser Dimension bereits vorlagen. Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle 29 zusammengefasst.

Für den einstöckigen Wagen ergaben sich die laufleistungsspezifischen Kosten, indem zunächst der Arbeitsaufwand der betriebsnahen und der auf ein Jahr bezogene Aufwand der 8-Jahres-Revision summiert und ihre Summe entsprechend der Annahme für die In-

standhaltungskosten des Doppelstockwagens mit dem Personalkostensatz von 45 € multipliziert wurde. Die Jahreskosten wurden anschließend auf die angenommene Jahresleistung von 300.000 km bezogen. Abschließend wurde dieser Betrag um den durchschnittlichen Materialaufwand pro km und Wagen erhöht. Für den durchschnittlichen Materialaufwand wurde der Mittelwert der angegebenen Spanne gewählt.

Für die Ermittlung der Instandhaltungskosten des Doppelstock-Triebzuges mussten weitreichende Annahmen getroffen werden, da keine Daten verfügbar waren. Von der Konfiguration eines Doppelstocktriebzuges ausgehend, wurde er wie ein lokbespannter Zug betrachtet, der aus zwei Lokomotiven und vier Wagen besteht. In einer ersten Näherung wurde nun angenommen, dass die Wartungs- und Instandhaltungskosten dieser Elemente den Kosten der Lokomotive BR146.2 bzw. den des Doppelstockwagens entsprechen. Die Instandhaltungskosten zweier Lokomotiven der Baureihe BR146.2 und von vier Doppelstockwagen ergaben die Instandhaltungskosten des Doppelstocktriebzuges.

Die laufleistungsspezifischen Instandhaltungskosten des einstöckigen Triebzuges ergaben sich, indem die Personal- und Materialkosten summiert und ihre Summe auf die angenommene Jahreslaufleistung von 300.000 km bezogen wurde. Die zu Grunde gelegten Daten sind die des ET423. Geringe technische Unterschiede zwischen dem ET423 und dem ET425 erlauben es, die Daten des ET423 zu verwenden.<sup>162</sup>

Die ermittelten laufleistungsspezifischen Instandhaltungskosten der einzelnen Fahrzeuge sind in Tabelle 29 zusammengetragen.

---

<sup>162</sup> Vgl. Fiehn (2005). Gemäß Güldenpenning (2005c) können die laufleistungsspezifischen Wartungs- und Instandhaltungskosten des ET423 jedoch mit 0,61 €/km angenommen werden. Unter der Annahme von technischer Gleichheit der Baureihen ET423 und ET425 stellt sich die Frage nach einer Begründung für die Abweichung der laufleistungsspezifischen Werte. Eine Begründung hierfür findet sich in der üblicherweise geringeren Laufleistung des ET423 gegenüber dem ET425 bei annähernd gleichen Wartungs- und Instandhaltungskosten für beide Baureihen. Mit den angenommenen Wartungs- und Instandhaltungskosten in Höhe von 130.000 € für beide Baureihen und den laufleistungsspezifischen Wartungs- und Instandhaltungskosten von 0,43 €/km für die Baureihe ET425 und 0,61 €/km für die Baureihe ET412 ergibt sich eine jährliche Laufleistung von etwa 300.000 km für die Baureihe ET425 bzw. etwa 210.000 km für die Baureihe ET423. Der Laufleistungsdifferenz von 90.000 km pro Jahr entspricht bei angenommenen 240 Betriebstagen pro Jahr eine um 375 km höhere tägliche Laufleistung des ET425. Erst weitere Betrachtungen der Fahrzeugumlaufpläne können die Plausibilität der bezüglich der laufleistungsspezifischen Wartungs- und Instandhaltungskosten getroffenen Annahmen bestätigen. Solche Betrachtungen waren im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich. Der absolute Wert der Wartungs- und Instandhaltungskosten beruht auf überschlägigen Schätzungen. Davon unberührt bleiben in der Praxis nicht ausschließbare erhebliche Abweichungen. (Vgl. Fiehn [2005].) Erst weitere Analysen der Wartungs- und Instandhaltungspläne können verlässlichere Angaben liefern. Entsprechende Analysen waren im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich.



---

Fahrzeug	Instandhaltungskosten [€/km]
Lok (BR 146.2)	0,52 €/km
Do-Sto-Wagen	0,27 €/km
SD-Wagen	0,16 €/km
Do-ET	2,12 €/km
SD-ET	0,43 €/km <sup>163</sup>

---

**Tabelle 29** Instandhaltungskosten der Fahrzeuge  
Quelle Fiehn (2005), Linke (2005b), Theis (2005) und Scharf (2005).

---

<sup>163</sup> Vgl. auch Güldenpenning (2005c).

## Anlage 9      Laufleistungsspezifische Projektkosten

Aus den für jedes Fahrzeug bestimmten Investitions- und Instandhaltungskosten wurden durch Summierung für jedes Fahrzeug die laufleistungsspezifischen Projektkosten ermittelt. Sie sind in Tabelle 30 zusammengefasst.

Fahrzeug	Projektkosten [€/km]
Tfz BR 146.2	1,795 €/km
Do-Sto-Wagen (SW)	0,990 €/km
Do-Sto-Wagen (MW)	0,820 €/km
SD-Wagen (SW)	0,790 €/km
SD-Wagen (MW)	0,640 €/km
Do-ET	5,650 €/km
SD-ET	2,470 €/km

**Tabelle 30**      Laufleistungsspezifische Projektkosten der Fahrzeuge.  
Quelle              Eigene Berechnungen.

## Anlage 10 Wirkungszusammenhang von Nutzlängen- kennzahlen und Erlös

Um den Wirkungszusammenhang zwischen den Nutzlängenkennczahlen „Nutzlänge1“ und Nutzlänge2“ und dem Ertrag festzustellen, wurden ein aus zwei Mittelwagen und einem Steuerwagen bestehender lokbespannter Doppelstockzug, ein aus drei Mittelwagen und einem Steuerwagen bestehender lokbespannter Doppelstockzug sowie ein in Doppel- und ein in Dreifachtraktion gefahrener einstöckiger Triebzug ET425 beispielhaft betrachtet. Ferner wurde angenommen, dass:

- die Gesamtlänge der gebildeten Züge konstant bleibt;
- auf einem Meter Nutzlänge sich 4,24 Sitze installieren lassen<sup>164</sup>;
- auf einem Quadratmeter Stehraum 4 Personen befördert werden können;
- der laufeistungsspezifische Pro-Kopf-Umsatzerlös 0,194 €/Pkm beträgt<sup>165</sup>.

Der Kennzahlenwert jedes in die gebildeten Modellzüge eingestellten Fahrzeuges wurde beispielhaft um 5% erhöht. Zur Verringerung von Rundungsdifferenzen in der Berechnung der Fahrgastkapazität und damit in der Berechnung der Erlösänderung wurden die einzelnen Fahrzeuge als Basis gewählt. Unter der Annahme, dass die jeweilige Zuggesamtlänge konstant gehalten wird, bedeutet eine Erhöhung der Kennzahlenwerte eine Erhöhung der Längenparameterwerte Nutzlänge<sub>I</sub> bzw. Nutzlänge<sub>II</sub>. Ein höherer Wert der Längenparameterwerte lässt sich beispielsweise erreichen, indem:

- die Maße der technischen Komponenten, die zur Zeit in den Fahrgasträumen untergebracht sind, wie z.B. Batterien oder Hilfsbetriebeumrichter, verringert werden;
- technische Komponente in Folge reduzierter Ausmaße aus dem Fahrgastraum in Bereiche über oder unter dem Fahrgastraum verlagert werden;
- die Längenausdehnung der Treppen in Doppelstockfahrzeugen verringert wird.

Die derart gewonnene Nutzlänge schlägt sich fallweise in einem größeren Wert des Längenparameters „Nutzlänge<sub>I</sub>“ oder „Nutzlänge<sub>II</sub>“ nieder. Sie lässt sich nutzen für eine:

- A) Verlängerung der Einstiegsbereiche bei gleichzeitiger Konstanz von Länge über Puffer, Sitzspurlänge und der Länge anderer Nutzungsarten;
- B) Verlängerung der Sitzspurlänge bei gleichzeitiger Konstanz von Länge über Puffer, Länge der Einstiegsbereiche und der Länge anderer Nutzungsarten.

Der Wirkungszusammenhang der Nutzlängenkennczahlen und des Ertrages wurde weiter untersucht, indem angenommen wurde, dass es durch konstruktive Maßnahmen möglich ist, die Länge der Einstiegsbereiche zu vergrößern oder zu verkürzen ohne dabei die ins-

<sup>164</sup> Vgl. Kap. 3.1.1.

<sup>165</sup> Der laufeistungsspezifische Pro-Kopf-Umsatzerlös ergibt sich aus dem Umsatzerlös der Deutschen Bahn im Regionalverkehr von 6,437 Mrd. € und der von ihr dort erbrachten Leistung von 33,262 Mrd. Pkm. Vgl. GÜldenpenning (2005d).

gesamt durch Fahrgäste nutzbaren Bereiche in ihrer Länge zu verändern. Es waren die folgenden zwei Fälle zu untersuchen:

- C) Verkürzung der Einstiegsbereiche und entsprechende Verlängerung der Sitzspurlänge
- D) Verlängerung der Einstiegsbereiche und entsprechende Verkürzung der Sitzspurlänge

Der Fall A entspricht einer Variation des Wertes der Kennzahl „Nutzlänge2“, während der Fall B einer Variation des Wertes der Kennzahl „Nutzlänge1“ bei gleichzeitiger Variation des Wertes der Kennzahl „Nutzlänge2“ entspricht. Die Fälle C und D entsprechen einer Variation des Wertes der Kennzahl „Nutzlänge1“ bei Konstanz des Wertes der Kennzahl „Nutzlänge2“.

Es wurde wie folgt vorgegangen:

- 1.) Ermittlung der Nutzlänge<sub>II</sub> und ihrer Teilkomponenten
- 2.) Berechnung der Fläche der Einstiegsbereiche und der Gänge
- 3.) Berechnung der Fahrgastkapazität (Sitzplatz- und Stehraumkapazität)
- 4.) Berechnung des lauleistungsspezifischen Erlöses
- 5.) Erhöhung der Kennzahl Nutzlänge2 um 5%
- 6.) Berechnung der neuen Nutzlänge<sub>II</sub> (bei Konstanz der LÜP) und des Wertes, um den sich die Nutzlänge<sub>II</sub> in Folge der prozentualen Veränderung der Kennzahl erhöht hat.

In den folgenden Tabellen sind die Berechnungsergebnisse zusammengefasst. Der Nachweis der Berechnungen kann der Anlage 11 entnommen werden.

Zugtyp	Konfiguration	Anz. Sitzplätze	Delta Nutzlänge2[%]	Delta Nutzlänge <sub>II</sub> [m]
DoSto-Zug	1 Lok+ 2 MW + 1 SW	325	4,05	4,044
DoSto-Zug	1 Lok + 3 MW + 1 SW	457	5,00	5,384
ET425	2 Einheiten	310	5,00	6,715
ET425	3 Einheiten	465	5,00	10,073

Fall A)

Zugtyp	Konfiguration	Delta Fahrgastkapazität [-]	Delta Erlös [€/km]	Delta Erlös [%]
DoSto-Zug	1 Lok + 2 MW + 1 SW	43	8,342	6,50
DoSto-Zug	1 Lok + 3 MW + 1 SW	57	11,058	6,35
ET425	2 Einheiten	72	13,968	8,29
ET425	3 Einheiten	108	20,952	8,29

Fall B)

Zugtyp	Konfiguration	Delta Fahrgastkapazität [-]	Delta Erlös [€/km]	Delta Erlös [%]
DoSto-Zug	1 Lok + 2 MW + 1 SW	26	5,044	3,93
DoSto-Zug	1 Lok + 3 MW + 1 SW	35	6,790	3,90
ET425	2 Einheiten	42	8,148	4,84
ET425	3 Einheiten	63	12,222	4,84

Fall C)

Zugtyp	Konfiguration	Delta Fahrgastkapazität [-]	Delta Erlös [€/km]	Delta Erlös [%]
DoSto-Zug	1 Lok+ 2 MW + 1 SW	-16	-3,104	-1,87
DoSto-Zug	1 Lok + 3 MW + 1 SW	-21	-4,074	-1,84
ET425	2 Einheiten	-32	-6,208	-1,73
ET425	3 Einheiten	-48	-9,312	-1,73

Fall D)

Zugtyp	Konfiguration	Delta Fahrgastkapazität [-]	Delta Erlös [€/km]	Delta Erlös [%]
DoSto-Zug	1 Lok+ 2 MW + 1 SW	19	3,686	3,00
DoSto-Zug	1 Lok + 3 MW + 1 SW	25	850	2,94
ET425	2 Einheiten	30	5,820	2,03
ET425	3 Einheiten	45	8,730	2,03

- Eine Erhöhung der Nutzlänge<sub>2</sub> und der Nutzlänge<sub>1</sub> (Fall A bzw. Fall B) führen zu einer Erhöhung des erzielbaren Erlöses. Eine fünfprozentige Erhöhung der Nutzlänge<sub>2</sub> in jedem Fahrzeug entspricht im Fall A einer Vergrößerung jedes Einstiegsbereiches um etwa 650 mm im Doppelstockfahrzeug und etwa 420 mm in einer ET425-Einheit.
- Wird die Nutzlänge<sub>1</sub> dadurch erhöht, dass die Nutzlänge<sub>II</sub> reduziert und die Nutzlänge<sub>I</sub> um das gleiche Maß erhöht wird, (Fall C) ergibt sich ein insgesamt niedrigerer erzielbarer Erlös.
- Wird der Wert der Kennzahl „Nutzlänge<sub>1</sub>“ verringert, indem die Nutzlänge<sub>I</sub> reduziert und die Nutzlänge<sub>II</sub> um das gleiche Maß erhöht wird, dann steigt der insgesamt erzielbare Erlös. Die Begründung findet sich darin, dass auf einem Meter Fahrzeuglänge eine größere Anzahl an Fahrgästen stehend befördert werden können, als wenn sie sitzend befördert werden.
- Je länger der lokbespannte Doppelstockzug ist, desto geringer ist die monetäre Auswirkung einer Erhöhung der Nutzlänge<sub>2</sub>. Die Anzahl der Traktionseinheiten des ET425 hat keinen Einfluss auf das Ausmaß der Auswirkung einer Erhöhung der Nutzlänge<sub>2</sub>.

- Der Erlös kann deutlich mehr gesteigert werden, wenn die gewonnene Nutzlänge<sub>II</sub> für die Vergrößerung der Einstiegsbereiche verwendet wird, sofern dies konstruktiv möglich ist. (Vgl. Fall A) im Vergleich zu Fall B))
- Eine veränderte Aufteilung der Nutzlänge<sub>II</sub> auf Sitzspurlänge und Einstiegsbereiche bei Konstanz der Nutzlänge<sub>II</sub> hat gleichfalls monetäre Auswirkungen auf den Erlös: Auf Grund des in der Diplomarbeit gewählten und für die vorliegenden Berechnungen übernommenen Sitzteilers kann der Erlös gesteigert werden, wenn ein Teil der Sitzspurlänge in Stehraum umgewandelt wird. Eine Verringerung der Stehraumkapazität zugunsten der Sitzplatzkapazität hat jedoch negative Auswirkungen auf die Erlössituation; vgl. Fall C). An dieser Stelle ist kritisch anzumerken: Eine Erlössteigerung durch Erhöhung der Stehraumkapazität zu Lasten der Sitzplatzkapazität dürfte nicht nachhaltig zu realisieren sein, wenn dadurch Fahrgäste regelmäßig während ihrer Reise stehen müssten. Es kann davon ausgegangen werden, dass insbesondere Fahrgäste, die über einen längeren Zeitraum im Zug stehen müssen, langfristig alternative Transportmittel wählen werden.)

## **Anlage 11    Nachweis der Berechnungen zum Wirkungszusammenhang von Nutzlängekennzahlen und Erlös**

Die nachfolgenden Seiten enthalten den Nachweis der Berechnungen zum Wirkungszusammenhang von Nutzlängekennzahlen und Erlös.

### Monetäre Auswirkungen der Nutzlängen1 und Nutzlängen2

Zugtyp	DoSto-Zug	DoSto-Zug	Lok	SW	MW	ET425	ET425	
Konfiguration	1 Lok+ 2 MW + 1 SW	1 Lok + 3 MW + 1 SW				2 Einheiten	3 Einheiten	1 Einheit
Anz. Sitzplätze	325	457	0	61	132	310	465	155
LüP [m]	99,770	107,670	18,900	27,270	26,800	134,300	201,450	67,150
Nutzlänge <sub>II</sub> [m]	100,952	137,280		28,296	36,328	119,680	179,520	59,840
davon Sitzspurlänge [m]	77,235	108,543		14,619	31,308	73,460	110,190	36,730
davon Länge Einstiegsbereiche [m]	11,730	15,730		3,730	4,000	26,320	39,480	13,160
davon Länge für andere Nutzungsarten [m]	11,987	13,007		9,947	1,020	19,900	29,850	9,950
Fahrzeuginnenbreite [m]	2,661	2,661		2,661	2,661	2,717	2,717	2,717
Gangbreite [m]	0,500	0,500		0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
Fläche Einstiegsbereiche [m <sup>2</sup> ]	31,214	41,858		9,926	10,644	71,511	107,267	35,756
Fläche Gang [m <sup>2</sup> ]	38,618	54,272		7,310	15,654	36,730	55,095	18,365
Gesamtkapazität	662	898		190	236	868	1302	434
davon Anzahl Sitzplätze	325	457		61	132	310	465	155
davon Stehraumkapazität Einstiegsbereiche	123	165		39	42	286	429	143
davon Stehraumkapazität Gang	153	215		29	62	146	219	73
übrige Bereiche	61	61		61	0	126	189	63
Erlös [€/km]	128,428	174,212		36,860	45,784	168,392	252,588	84,196
<b>Erhöhung der Nutzlänge2</b>								
Nutzlänge2	101,18%	127,50%		103,76%	135,55%	89,11%	89,11%	89,11%
Delta Nutzlänge2	4,05%	5,00%		5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%
Nutzlänge2 (neu)	105,24%	132,50%		108,76%	140,55%	94,11%	94,11%	94,11%
Nutzlänge <sub>I</sub> (neu) [m]	104,996	142,6635		29,6595	37,668	126,395	189,593	63,1975
Delta Nutzlänge <sub>I</sub> bzw. Nutzlänge [m]	4,044	5,384		1,364	1,340	6,715	10,073	3,358
<b>A) Verlängerung der Einstiegsbereiche um Delta Nutzlänge<sub>II</sub></b>								
<b>Nutzlänge<sub>II</sub> [m]</b>	<b>104,996</b>	<b>142,664</b>		<b>29,660</b>	<b>37,668</b>	<b>126,395</b>	<b>189,593</b>	<b>63,198</b>
davon Sitzspurlänge [m]	77,235	108,543		14,619	31,308	73,460	110,190	36,730
davon Länge Einstiegsbereiche [m]	15,774	21,114		5,094	5,340	33,035	49,553	16,518
davon Länge für andere Nutzungsarten [m]	11,987	13,007		9,947	1,020	19,900	29,850	9,950
Fläche Einstiegsbereiche [m <sup>2</sup> ]	41,973	56,183		13,554	14,210	89,756	134,634	44,878
Fläche Gang [m <sup>2</sup> ]	38,618	54,272		7,310	15,654	36,730	55,095	18,365
<b>Gesamtkapazität</b>	<b>705</b>	<b>955</b>		<b>205</b>	<b>250</b>	<b>814</b>	<b>1221</b>	<b>407</b>
davon Stehraumkapazität Einstiegsbereiche	166	222		54	56	358	537	179
davon Stehraumkapazität Gang	153	215		29	62	146	219	73
davon Anzahl Sitzplätze	325	457		61	132	310	465	155
davon übrige Bereiche	61	61		61	0	0	0	0
<b>Erlös [€/km]</b>	<b>136,770</b>	<b>185,270</b>		<b>39,770</b>	<b>48,500</b>	<b>157,910</b>	<b>236,874</b>	<b>78,958</b>
Veränderung der Kapazität	43	57		15	14	72	108	36
Veränderung des Erlöses [€/km]	8,342	11,058		2,910	2,716	13,968	20,952	6,984
<b>Veränderung des Erlöses</b>	<b>6,50%</b>	<b>6,35%</b>				<b>8,29%</b>	<b>8,29%</b>	
<b>B) Verlängerung der Sitzspurlänge um Delta Nutzlänge<sub>I</sub></b>								
<b>Nutzlänge<sub>I</sub> [m]</b>	<b>104,996</b>	<b>142,664</b>		<b>29,660</b>	<b>37,668</b>	<b>126,395</b>	<b>189,593</b>	<b>63,198</b>
davon Sitzspurlänge [m]	81,279	113,927		15,983	32,648	80,175	120,263	40,088
davon Länge Einstiegsbereiche [m]	11,730	15,730		3,730	4,000	26,320	39,480	13,160
davon Länge für andere Nutzungsarten [m]	11,987	13,007		9,947	1,020	19,900	29,850	9,950
Fläche Einstiegsbereiche [m <sup>2</sup> ]	31,214	41,858		9,926	10,644	71,511	107,267	35,756
Fläche Gang [m <sup>2</sup> ]	40,639	56,963		7,991	16,324	40,088	60,131	20,044
<b>Gesamtkapazität</b>	<b>688</b>	<b>933</b>		<b>198</b>	<b>245</b>	<b>784</b>	<b>1176</b>	<b>392</b>
davon Stehraumkapazität Einstiegsbereiche	123	165		39	42	286	429	143
davon Stehraumkapazität Gang	161	226		31	65	160	240	80
davon Anzahl Sitzplätze	343	481		67	138	338	507	169
davon übrige Bereiche	61	61		61	0	0	0	0
<b>Erlös [€/km]</b>	<b>133,472</b>	<b>181,002</b>		<b>38,412</b>	<b>47,530</b>	<b>152,096</b>	<b>228,144</b>	<b>76,048</b>
Veränderung der Kapazität	26	35		8	9	42	63	21
Veränderung des Erlöses [€/km]	5,044	6,790		1,552	1,746	8,148	12,222	4,074
<b>Veränderung des Erlöses</b>	<b>3,93%</b>	<b>3,90%</b>				<b>4,84%</b>	<b>4,84%</b>	



## Monetäre Auswirkungen der Nutzlängen1 und Nutzlängen2

<b>C) Verkürzung der Einstiegsbereiche bei gleichzeitiger Verlängerung der Sitzspurlänge um Delta Nutzlänge<sub>1</sub></b>								
<b>Nutzlänge<sub>1</sub> [m]</b>	<b>100,952</b>	<b>137,280</b>		<b>28,296</b>	<b>36,328</b>	<b>119,680</b>	<b>179,520</b>	<b>59,840</b>
davon Sitzspurlänge [m]	81,279	113,927		15,983	32,648	80,175	120,263	40,088
davon Länge Einstiegsbereiche [m]	7,686	10,347		2,367	2,660	19,605	29,408	9,803
davon Länge für andere Nutzungsarten [m]	11,987	13,007		9,947	1,020	19,900	29,850	9,950
Fläche Einstiegsbereiche [m <sup>2</sup> ]	20,454	27,532		6,297	7,078	53,267	79,900	26,633
Fläche Gang [m <sup>2</sup> ]	40,639	56,963		7,991	16,324	40,088	60,131	20,044
<b>Gesamtkapazität</b>	<b>646</b>	<b>877</b>		<b>184</b>	<b>231</b>	<b>710</b>	<b>1065</b>	<b>355</b>
davon Stehraumkapazität Einstiegsbereiche	81	109		25	28	212	318	106
davon Stehraumkapazität Gang	161	226		31	65	160	240	80
davon Anzahl Sitzplätze	343	481		67	138	338	507	169
davon übrige Bereiche	61	61		61	0	0	0	0
<b>Erlös [€/km]</b>	<b>125,324</b>	<b>170,138</b>		<b>35,696</b>	<b>44,814</b>	<b>137,740</b>	<b>206,610</b>	<b>68,870</b>
Veränderung der Kapazität	-16	-21		-6	-5	-32	-48	-16
Veränderung des Erlöses [€/km]	-3,104	-4,074		-1,164	-0,970	-6,208	-9,312	-3,104
<b>Veränderung des Erlöses</b>	<b>-1,87%</b>	<b>-1,84%</b>				<b>-1,73%</b>	<b>-1,73%</b>	
<b>D) Verlängerung der Einstiegsbereiche bei gleichzeitiger Verkürzung der Sitzspurlänge um Delta Nutzlänge<sub>1</sub></b>								
<b>Nutzlänge<sub>1</sub> [m]</b>	<b>100,952</b>	<b>137,280</b>		<b>28,296</b>	<b>36,328</b>	<b>119,680</b>	<b>179,520</b>	<b>59,840</b>
davon Sitzspurlänge [m]	73,192	103,160		13,256	29,968	66,745	100,118	33,373
davon Länge Einstiegsbereiche [m]	15,774	21,114		5,094	5,340	33,035	49,553	16,518
davon Länge für andere Nutzungsarten [m]	11,987	13,007		9,947	1,020	19,900	29,850	9,950
Fläche Einstiegsbereiche [m <sup>2</sup> ]	41,973	56,183		13,554	14,210	89,756	134,634	44,878
Fläche Gang [m <sup>2</sup> ]	36,596	51,580		6,628	14,984	33,373	50,059	16,686
<b>Gesamtkapazität</b>	<b>681</b>	<b>923</b>		<b>197</b>	<b>242</b>	<b>772</b>	<b>1158</b>	<b>386</b>
davon Stehraumkapazität Einstiegsbereiche	166	222		54	56	358	537	179
davon Stehraumkapazität Gang	144	203		26	59	132	198	66
davon Anzahl Sitzplätze	310	437		56	127	282	423	141
davon übrige Bereiche	61	61		61	0	0	0	0
<b>Erlös [€/km]</b>	<b>132,114</b>	<b>179,062</b>		<b>38,218</b>	<b>46,948</b>	<b>149,768</b>	<b>224,652</b>	<b>74,884</b>
Veränderung der Kapazität	19	25		7	6	30	45	15
Veränderung des Erlöses [€/km]	3,686	4,850		1,358	1,164	5,820	8,730	2,910
<b>Veränderung des Erlöses</b>	<b>3,00%</b>	<b>2,94%</b>				<b>2,03%</b>	<b>2,03%</b>	

## Anlage 12 Analyse lauleistungsspezifischer Projektkosten für ausgewählte Zugkonfigurationen

Die lauleistungsspezifischen Projektkosten wurden weiterführend analysiert. Hierzu wurde ein aus drei Wagen bestehender lokbespannter Zug mit einem in Doppeltraktion gefahrenen einstöckigen Triebzug und ein aus vier Wagen bestehender lokbespannter Zug mit einem in Dreifachtraktion gefahrenen einstöckigen Triebzug verglichen.

Im Rahmen dieses Vergleiches interessierte, wie hoch der jeweilige Anteil der lauleistungsspezifischen Investitions- sowie der lauleistungsspezifischen Wartungs- und Instandhaltungskosten an den lauleistungsspezifischen Projektkosten ist.

Tabelle 31 enthält die lauleistungsspezifische Fahrzeugkosten der miteinander verglichenen Zugkonzepte. Aus den Einzelkosten konnten die Kosten der gebildeten Züge berechnet werden.

Zug	Investitionskosten [ct/km]	Wartungs- und Instandhaltungskosten [ct/km]	Projektkosten [ct/km]
DoSto-Zug	Lok: 127,5 SW: 72,0 MW: 55,0	Lok: 52,0 Wagen: 27,0	Lok: 179,5 MW: 82,0 SW: 99,0
ET425	204,0	44,0	248,0

**Tabelle 31** Vergleich lauleistungsspezifischer Projektkosten der Fahrzeuge ausgewählter Zugkonzepte.

Quelle Anlage 8 und eigene Berechnungen.

Tabelle 32 enthält die lauleistungsspezifischen Investitions-, Wartungs- und Instandhaltungs- sowie Projektkosten der miteinander verglichenen Zugkonzepte. Zudem enthält Tabelle 32 den Anteil der lauleistungsspezifischen Wartungs- und Instandhaltungskosten an den lauleistungsspezifischen Projektkosten.

Zugtyp	Konfiguration	Anz. Sitzplätze	Investitionskosten [€/km]	Wartungs- und Instandhaltungskosten [€/km]	Projektkosten [€/km]	Anteil Wartungs- und Instandhaltungskosten an Projektkosten
DoSto-Zug	1 Lok + 2 MW + 1 SW	325	4,42	1,33	5,75	23%
ET425	2 Einheiten	310	4,96	0,86	5,82	15%
DoSto-Zug	1 Lok + 3 MW + 1 SW	457	5,25	1,60	6,85	23%
ET425	3 Einheiten	465	7,44	1,29	8,73	15%

**Tabelle 32** Lauleistungsspezifische Projektkosten ausgewählter Züge.

Quelle Eigene Berechnungen.

Die Investitionskosten eines lokbespannten Zuges betragen 77% der gesamten Projektkosten. Bei einem ET entfällt ein Anteil von 85% der Projektkosten auf die Investitionskosten.

Bei ungefähr 320 Sitzplätzen fallen im Vergleich zu einem in Zweifachtraktion gefahrenen ET425 um 54 ct/km niedrigere Investitionskosten an. Sie betragen 442 ct/km, während die Investitionskosten des in Doppeltraktion gefahrenen ET425 496 ct/km betragen. Die Investitionskosten des lokbespannten Dreiwagenzuges betragen damit 89% der Investitionskosten des in Zweifachtraktion gefahrenen ET425.

Bei ungefähr 460 Sitzplätzen ist die Differenz der Investitionskosten zwischen einem lokbespannten Vierwagenzug und einem in Dreifachtraktion gefahrenen ET425 deutlich größer. Der lokbespannte Vierwagenzug ist mit 525 ct/km pro Kilometer um 219 ct günstiger. Seine Investitionskosten betragen damit 70% der Investitionskosten des in Dreifachtraktion gefahrenen ET425.

Die geringeren laufleistungsspezifischen Investitionskosten der beiden lokbespannten Zugkonfigurationen können als plausibel beurteilt werden, da die absoluten Investitionskosten der lokbespannten Züge (7,3 Mio.€ für den lokbespannten Dreiwagenzug, 8,6 Mio.€ für den lokbespannten Vierwagenzug, 9,6 Mio.€ für zwei Einheiten des ET425 und 14,4 Mio.€ für drei Einheiten des ET425) jeweils niedriger sind, Abschreibungsdauer, Abschreibungsmethode, Zinssatz und Jahreslaufleistung für alle Züge jedoch gleich sind.

Der ET425 verursacht sowohl in Zwei- als auch Dreifachtraktion geringere Wartungs- und Instandhaltungskosten. Die Wartungs- und Instandhaltungskosten des lokbespannten Dreiwagenzuges betragen 133 ct/km, während die Wartungs- und Instandhaltungskosten des in Doppeltraktion gefahrenen ET425 86 ct/km betragen. Die Wartungs- und Instandhaltungskosten des lokbespannten Dreiwagenzuges betragen damit 154% des in Zweifachtraktion gefahrenen ET425. Bei einem lokbespannten Vierwagenzug betragen die Wartungs- und Instandhaltungskosten 160 ct/km und die des in Dreifachtraktion gefahrenen ET425 129 ct/km. Das Verhältnis der Wartungs- und Instandhaltungskosten der beiden Zugtypen beträgt damit 124%.

Wird die Summe aus Investitionskosten und Wartungs- und Instandhaltungskosten betrachtet, d.h. die Projektkosten, so ist bei einer Sitzplatzkapazität von etwa 320 (lokbespannter Dreiwagenzug bzw. in Doppeltraktion gefahrener ET425) der lokbespannte Zug insgesamt um 7 ct/km günstiger als der Triebzug. Die Gesamtkosten des lokbespannten Zuges betragen 98% der Gesamtkosten des Triebzuges.

Bei einer Sitzplatzkapazität von etwa 460 wird der Unterschied zwischen beiden Zügen deutlicher. Der lokbespannte Zug ist um 188 ct/km günstiger. Die Gesamtkosten des lokbespannten Zuges betragen 78% der Gesamtkosten des Triebzuges.

In der Schriftenreihe des Instituts für Verkehr an der Technischen Universität Darmstadt sind bisher folgende Hefte erschienen:

Fachgebiet Verkehrsplanung und Verkehrstechnik (ISSN 1613-8317):

- V1 G. Faust  
Entwurf und Bau von stark überhöhten Fahrbahnen  
1999
- V2 C. Korda  
Quantifizierung von Kriterien für die Bewertung der Verkehrssicherheit mit Hilfe digitalisierter Videobeobachtungen  
1999
- V3 State of the Art of Research, Development and Application of Intelligent Transport Systems (ITS) in Urban Areas  
Proceedings of the Japanese-German Symposium, April 27, 2001
- V4 Verkehrssystem auf dem Weg zur freien Marktwirtschaft  
Vorträge im Rahmen des Kolloquiums im Verkehrswesen am 11.06.2001
- V5 V. Blees, M. Boltze, G. Specht  
Chancen und Probleme der Anwendung von Qualitätsmanagement in Verkehrsplanungsprozessen  
2002
- V6 C. Lotz  
Ermittlung von Detektorenstandorten für den Straßenverkehr innerorts  
2002
- V7 N. Desiderio  
Requirements of Users and Operators on the Design and Operation of Intermodal Interchanges  
2002
- V8 S. Hollborn  
Intelligent Transport Systems (ITS) in Japan  
2002
- V9 M. Boltze, G. Specht, D. Friedrich, A. Figur  
Grundlagen für die Beeinflussung des individuellen Verkehrsmittelwahlverhaltens durch Direktmarketing  
2002
- V10 M. Boltze, A. Reußwig  
First Review of Available Data: Modal Split in Different Countries  
2000
- V11 P. Schäfer  
Bürgerinformation, ein wichtiges Element der Bürgerbeteiligung  
2003
- V12 M. Boltze  
Fachgebietsbericht - September 1997 bis Dezember 2002  
2003
- V13 R. Stephan  
Einsatzbereiche von Knotenpunkten mit der Regelungsart "rechts vor links"  
2003

- V14 V. Blees  
Qualitätsmanagement in Verkehrsplanungsprozessen  
2004
- V15 P. Schäfer  
Alternative Methoden zur Überwachung der Parkdauer sowie zur Zahlung der Parkgebühren  
2004
- V16 A. Reusswig  
Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen  
2005
- V17 P. Pujinda  
Planning of land-use developments and transport systems in airport regions  
2006

Fachgebiet Bahnsysteme und Bahntechnik (ISSN 1614-9300):

- B1 F. Lademann  
Bemessung von Begegnungsabschnitten auf eingleisigen S-Bahn-Strecken  
2001
- B2 J. Becker, E. Schramm  
Barrierefreier Schienenpersonennahverkehr  
Beschreibung und Bewertung der Anforderungen mobilitätseingeschränkter Menschen  
2003
- B3 C. Axthelm  
Umweltbahnhof Rheinland-Pfalz  
2004
- B4 T. Muthmann  
Rechnerische Bestimmung der optimalen Streckenauslastung mit Hilfe der Streckendurchsatzleistung  
2004
- B5 J. Becker  
Qualitätsbewertung und Gestaltung von Stationen des regionalen Bahnverkehrs  
2005
- B6 C. Axthelm  
Kriminalität im Schienenverkehr in Ballungsräumen  
2005
- B7 M. Frensch  
Ermittlung von wirtschaftlich und betrieblich optimalen Fahrzeugkonzepten für den Einsatz im Regionalverkehr  
2005

Fachgebiet Straßenwesen mit Versuchsanstalt (ISSN 1614-9319):

U. Stöckert

Ein Beitrag zur Festlegung von Grenzwerten für den Schichtenverbund im Asphaltstraßenbau  
2002

H-F. Ruwenstroth

Auswirkungen von wiederverwendeten Fräsasphalten mit polymermodifiziertem Bitumen und  
stabilisierenden Zusätzen auf Asphalteeigenschaften  
2003

TU Darmstadt  
Fachgebiet Bahnsysteme und Bahntechnik  
Petersenstraße 30  
64287 Darmstadt

Tel. (06151) 16-2146  
Fax (06151) 16-6903  
[eisenbahn@verkehr.tu-darmstadt.de](mailto:eisenbahn@verkehr.tu-darmstadt.de)