

# **Machbarkeitsstudie ÖPNV Osnabrück**

Bericht

Stand: 26. April 2013

im Auftrag der Stadt Osnabrück und der Planungsgesellschaft Nahverkehr  
Osnabrück (PlaNOS)

LINDSCHULTE + KLOPPE  
Ingenieurgesellschaft mbH  
Stresemannstraße 26  
40210 Düsseldorf  
Telefon 0211. 36 11 37 - 0

Projektbearbeitung: Dipl.-Ing. Beata Brückner  
Dipl.-Ök. Josipa Musan

## Inhalt

1.	Einleitung .....	1
1.1	Aufgabenstellung .....	1
1.2	Vorgehensweise .....	1
2.	Systemdarstellung .....	4
2.1	Relevante Systemgruppen .....	4
2.2	Rad-Schiene-Systeme.....	5
2.2.1	Allgemeines .....	5
2.2.2	Straßen-/ Stadtbahn .....	6
2.2.3	Stadt-Regional-Bahn .....	7
2.2.4	Train-Tram .....	7
2.2.5	Metro.....	8
2.3	Bussysteme .....	9
2.3.1	Allgemeines .....	9
2.3.2	Klassische Standardlinienbusse mit Dieselmotoren.....	9
2.3.3	Busse mit alternativen Antrieben .....	10
2.3.4	Spurbusse.....	13
2.3.5	Kapazitätserweiterungsmöglichkeiten .....	16
2.4	Zusammenfassung und Systemauswahl.....	17
3.	System- und Marktanalyse .....	21
3.1	Oberleitungsfreier Betrieb.....	22
3.1.1	Technische Möglichkeiten .....	22
3.1.2	Ergebnis der Marktanalyse oberleitungsfreier Betrieb .....	26
3.2	Maßnahmen zur Schadstoffreduktion bei Dieselnissen .....	29
3.2.1	Schadstoffbildung bei der konventionellen Dieselerbrennung.....	29
3.2.2	Allgemeine Darstellung der Schadstoffreduktionsmaßnahmen .....	30
3.2.3	Ergebnis der Marktanalyse Schadstoffreduktionsmaßnahmen.....	33
3.3	Maßnahmen zur Verbrauchsminimierung bei Dieselnissen.....	34
3.3.1	Allgemeine Darstellung der Verbrauchsminimierungsmaßnahmen .....	34
3.3.2	Ergebnis der Marktanalyse Verbrauchsminimierung.....	36
3.4	Alternative Antriebstechniken .....	37
3.4.1	Hybridantriebe .....	37
3.4.2	Elektroantrieb.....	40
3.4.3	Ergebnis der Marktanalyse Elektromobilität .....	42



4.	Systemspezifische Anforderungen an den Straßenraum .....	46
4.1.1	Verkehrsraum bei Straßenbahnen .....	46
4.1.2	Verkehrsraum von Linienbussen .....	47
4.1.3	Haltestellen .....	49
4.1.4	Allgemeine Querschnittsbetrachtung .....	52
5.	Systemvergleich .....	55
5.1	Zielfelder und relevante Kriterien .....	55
5.2	Vergleichende Bewertung der Systeme .....	56
6.	Zielkonzept für den ÖPNV in Osnabrück .....	59
7.	Beschreibung des derzeitigen ÖPNV-Netzes .....	61
7.1	Raumstruktur .....	61
7.2	Aktuelles Nahverkehrsnetz .....	62
7.2.1	Bestandsanalyse des ÖPNV-Angebotes .....	62
7.2.2	Bestandsanalyse der ÖPNV-Nachfrage .....	68
7.2.3	Verkehrsbelastung im IV-Netz .....	71
8.	Grobkonzept eines ÖPNV-Netzes für die Systemalternativen .....	72
8.1	Liniennetzentwicklung der innerstädtischen Hauptlinien .....	72
8.2	Konfliktanalyse .....	73
8.3	Darstellung des Innenstadtbereichs .....	76
8.4	Systemspezifische Liniennetze .....	79
8.4.1	Liniennetzentwurf Bussystem .....	80
8.4.2	Liniennetzentwurf O-Bussystem .....	80
8.4.3	Liniennetzentwurf Straßenbahnsystem .....	81
8.4.4	Vergleichende Darstellung der Liniennetzentwürfe .....	83
8.4.5	Bussonderfahrstreifen / Besonderer Bahnkörper .....	84
9.	Kostenschätzung .....	85
9.1	Betriebsgrobkonzept .....	85
9.2	Kosten der Systemeinführung .....	86
9.3	Kostenvergleich .....	89
10.	Kapazitätsanalyse .....	91
11.	Einschätzung der Zielerreichung .....	93



11.1	Steigerung des ÖPNV-Anteils .....	93
11.2	Geringe Emissionen des ÖPNV (Schadstoffreduktion und Senkung der Lärmbelastung).....	95
11.2.1	Klima (CO <sub>2</sub> ).....	95
11.2.2	Luft (Rußpartikel, NO <sub>x</sub> ) .....	97
11.2.3	Lärm.....	98
11.3	Wirtschaftlichkeit.....	99
12.	Empfehlungen.....	101

## Anlagen

Anlage 1:	Systemspezifische Eigenschaften
Anlage 2:	Planungen im SPNV
Anlage 3:	Verkehrsmengenkarte Osnabrück
Anlage 4:	Innerstädtische Hauptlinien
Anlage 5:	Fotodokumentation
Anlage 6:	Konfliktanalyse
Anlage 7:	Systemskizzen Innenstadt
Anlage 8:	Systemspezifische Liniennetzentwürfe
Anlage 9:	Betriebsgrobkonzept
Anlage 10:	Kostenschätzung

## Abbildungen

Abbildung 1:	Auswahl der relevanten Systemgruppen .....	5
Abbildung 2:	Straßenbahn / Stadtbahn der Rheinbahn in Düsseldorf .....	6
Abbildung 3:	Stadt-Regional-Bahn „RegioTram“ in Kassel .....	7
Abbildung 4:	RegioSprinter in Zwickau .....	8
Abbildung 5:	Metro der BVG in Berlin .....	8
Abbildung 6:	Sololinienbus / Einzelgelenklininenbus CITARO von Mercedes-Benz .....	10
Abbildung 7:	Oberleitungsbus in Solingen .....	11
Abbildung 8:	Spurführungsrolle / Spurbussystem in Essen / Spurbussystem in Mannheim.....	14
Abbildung 9:	Translohr in Clermont-Ferrand / Bombardier GLT/TVR in Caen ..	14
Abbildung 10:	Induktive Spurführung: Phileas von APTS in Eindhoven (Testlauf) / optische Spurführung: CiVis von Irisbus in Rouen (Testlauf).....	15



Abbildung 11: Doppelgelenkbus im Linienbetrieb der Hochbahn in Hamburg / der ASEAG in Aachen .....	16
Abbildung 12: Busanhängerzug Bus Plus in Osnabrück / Busanhängeranbindung	17
Abbildung 13: Relevante Systemalternativen der Rad-Schiene-Systeme .....	18
Abbildung 14: Relevante Systemalternativen der Bussystems.....	20
Abbildung 15: Systemaufbau des Siemens Sitras Hybrid-Energiespeichers.....	23
Abbildung 16: Systemkomponenten der Primove-Technologie .....	24
Abbildung 17: Funktionsweise des APS-Systems von Alstom.....	25
Abbildung 18: Serieller Hybridantrieb .....	37
Abbildung 19: Paralleler Hybridantrieb.....	38
Abbildung 20: Brennstoffzellenantrieb.....	41
Abbildung 21: Grundmaße für Verkehrsräume und lichte Räume von Straßenbahnen.....	46
Abbildung 22: Beispiel für die Verbreiterung der Verkehrsräume in Bögen.....	47
Abbildung 23: Grundmaßen für Verkehrsräume und lichte Räume von Linienbussen .....	48
Abbildung 24: Mindestmaße für Verkehrsräume und lichte Räume von Linienbussen .....	48
Abbildung 25: Schleppkurvenschablone 18 m langer Gelenkbus.....	49
Abbildung 26: Definition des Innenstadtbereichs und Darstellung der Distanz des oberleitungsfreien Betriebes.....	60
Abbildung 27: Planungsraum Stadt Osnabrück .....	61
Abbildung 28: Liniennetz im Stadtgebiet Osnabrück .....	62
Abbildung 29: Taktichte im Stadtgebiet Osnabrück .....	63
Abbildung 30: Erschließungsqualität der Zentren .....	64
Abbildung 31: Erschließungsqualität der öffentlichen Einrichtungen .....	64
Abbildung 32: Erschließungsqualität Wohnen – Arbeiten, Konversionsflächen ..	65
Abbildung 33: Flächenerschießung der Wohnbevölkerung .....	66
Abbildung 34: SPNV-Angebot Weser-Ems 2012 .....	67
Abbildung 35: Fahrgäste/Tag je Hauptlinie .....	68
Abbildung 36: Regionalfahrgäste / Querschnittszählung .....	69
Abbildung 37: Querschnittszählungen im Vergleich.....	69
Abbildung 38: Ein- und Auspendler .....	70
Abbildung 39: Betrachtung der Innenstadt .....	77
Abbildung 40: Zusammenfassung der betrachteten Querschnitte .....	78
Abbildung 41: Knotenpunkt Neumarkt / Johannisstraße .....	79



Abbildung 42: Einflussfaktoren auf die Verkehrsmittelwahl .....94  
 Abbildung 43: Schematische Darstellung möglicher Szenarien.....96  
 Abbildung 44: Spezifische Schallemissionen bezogen auf 1000 Personen pro  
 Stunde (Pegel berechnet nach RLS 90 bzw Schall 03) .....98

**Tabellen**

Tabelle 1: Kapazitätsvergleich .....17  
 Tabelle 2: Technische Daten des Siemens Sitras Hybrid-Energiespeichers.22  
 Tabelle 3: Technische Daten des Mitrac Energy Saver .....23  
 Tabelle 4: Übersicht Haltestellentypen.....49  
 Tabelle 5: Einzugsbereiche (Luftlinie) von Haltestellen .....52  
 Tabelle 6: Empfohlene Querschnitte für typische Entwurfssituationen.....54  
 Tabelle 7: Planungsziele und Kriterien.....55  
 Tabelle 8: Vergleichende Bewertung der Systeme .....57  
 Tabelle 9: Modal Split Osnabrück .....59  
 Tabelle 10: SPNV-Angebot .....67  
 Tabelle 11: Systemspezifische Anforderungen an den Straßenraum .....74  
 Tabelle 12: Systemspezifische Liniennetzeentwürfe im Vergleich (Teil 1) .....83  
 Tabelle 13: Systemspezifische Liniennetzeentwürfe im Vergleich (Teil 2) .....84  
 Tabelle 14: Straßenbahnsysteminvestitionskosten in deutschen Städten.....88  
 Tabelle 15: Straßenbahnsysteminvestitionskosten in französischen Städten .88  
 Tabelle 16: Vergleich der jährlichen Betriebskosten (absolut).....90  
 Tabelle 17: Vergleich der Betriebskosten pro km .....90  
 Tabelle 18: Fahrgastzahlen entlang der Hauptlinien .....91  
 Tabelle 19: Auslastung in der Spitzenstunde .....92  
 Tabelle 20: Einschätzung der erzielbaren Fahrgastzunahmen.....95  
 Tabelle 21: Einschätzung der Zielerfüllung .....104



## 1. Einleitung

### 1.1 Aufgabenstellung

Gemäß Beschluss des Rates der Stadt Osnabrück soll eine Machbarkeitsstudie zur Weiterentwicklung und Verbesserung des ÖPNV für die Stadt Osnabrück erarbeitet werden. Grundlegende Voraussetzung ist die Beibehaltung und Weiterentwicklung der Integration des Regionalverkehrs. Auf der Grundlage dieser Studie soll eine grundsätzliche Richtungsentscheidung für den innerstädtischen ÖPNV getroffen werden bzw. eine Diskussion ermöglicht werden, die eine Entscheidungsfindung erleichtert.

Bei den Überlegungen über die Zukunft des innerstädtischen ÖPNV in Osnabrück sind 3 übergeordnete Ziele zu berücksichtigen:

1. Spürbare Steigerung des ÖPNV-Anteils
2. Geringe Emissionen des ÖPNV  
(Schadstoffreduktion und Senkung der Lärmbelastung)
3. Wirtschaftlichkeit

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie sollen verschiedene Alternativen geprüft werden, die die Erreichung der o.g. Ziele unter Berücksichtigung unterschiedlicher Aspekte ermöglichen und unterstützen. Folgende Alternativen sind zu betrachten:

- Fortentwicklung des bestehenden Systems
- Oberleitungsbussystem
- Straßenbahn- / Stadtbahnsystem
- ggf. weitere Systemalternativen

### 1.2 Vorgehensweise

Resultierend aus den im Ratsbeschluss genannten Aspekten und zusätzlichen, tiefergehenden Fragestellungen, die sich im Bearbeitungsverlauf ergeben haben, wird für die Machbarkeitsstudie folgendes Vorgehen gewählt:

- Systemdarstellung und Auswahl der für Osnabrück relevanten Systemalternativen
- System- und Marktanalyse der relevanten Systemalternativen
- Darstellung der systemspezifischen Anforderungen an den Straßenraum
- Allgemeiner Systemvergleich
- Erarbeitung eines Zielkonzeptes für Osnabrück
- Beschreibung des derzeitigen ÖPNV-Netzes
- Grobkonzept eines ÖPNV-Netzes für die Systemalternativen
- Kostenschätzung und –vergleich
- Kapazitätsanalyse



- Vergleich der relevanten Systemalternativen hinsichtlich der Erfüllung der übergeordneten Ziele
- Empfehlungen für die Stadt Osnabrück

Im Rahmen der Darstellung der Systemalternativen werden vorrangig die bereits durchgeführten Untersuchungen („Hinweise zur strategischen Systementwicklung des öffentlichen Verkehrs in Osnabrück“, Dr.-Ing. Volker Deutsch und „Analyse neuzeitlicher Systeme des öffentlichen Personennahverkehrs und deren Anwendungsmöglichkeiten in Osnabrück“, Prof. Dr. Reinhart Kühne) ausgewertet. Da die vorliegenden Untersuchungen als Informationsquelle herangezogen werden, erfolgt eine Recherche weiterer Systemalternativen verkürzt. Für die Auswahl der für Osnabrück relevanten Systeme sind die im Ratsbeschluss genannten Alternativen richtungsweisend.

Im Rahmen der vertiefenden System- und Marktanalyse werden die technische Umsetzbarkeit und die Perspektive des technischen Fortschrittes untersucht. Hierbei werden die folgenden Themen betrachtet:

- Oberleitungsfreier Betrieb von Straßenbahnen und Oberleitungsbussen
- Maßnahmen zur Schadstoffreduktion und Verbrauchsminimierung bei Standarddieselnbussen
- Alternative Antriebstechniken  
(Elektrobusse mit Energiespeichern, Brennstoffzellenbusse, Hybridbusse)

Anhand der Darstellung der systemspezifischen Anforderungen an den Straßenraum werden die Möglichkeiten einer städtebaulichen Integration der Systemalternativen veranschaulicht. Darüber hinaus bieten diese die Grundlage für die Konfliktanalyse.

Im Anschluss an die Darstellung der Systemalternativen werden die für Osnabrück relevanten Systeme vergleichend gegenübergestellt.

Das Zielkonzept wird auf Basis des Masterplans Mobilität der Stadt Osnabrück (Quelle: SHP Ingenieure, Stand: Dezember 2010) und der Vorarbeiten zum 3. Nahverkehrsplan für die Stadt und den Landkreis Osnabrück erarbeitet. Darüber hinaus werden die im Ratsbeschluss genannten übergeordneten Ziele zugrunde gelegt.

Die Beschreibung des derzeitigen ÖPNV-Netzes umfasst die Analyse des aktuellen innerstädtischen ÖPNV-Systems. Die Raumstruktur und das aktuelle Nahverkehrsnetz werden unter Berücksichtigung folgender Sachverhalte untersucht:

- Netzdarstellung (Bestand)
- Analyse der Fahrgastzahlen
- Darstellung der Verkehrsbelastungszahlen (Hauptnetz)
- Analyse der relevanten statistischen Kenngrößen





Auf Basis des Bestandnetzes wird ein Grobkonzept für ein zukünftiges ÖPNV-Hauptliniennetz erarbeitet. Durch eine ggf. notwendige systemspezifische Anpassung des Hauptliniennetzes an die örtlichen Gegebenheiten und Voraussetzungen werden Netzvorschläge für alle relevanten Systemalternativen konzipiert. Ergänzend zu den Liniennetzentwürfen wird in einem weiteren Schritt die Einführung eines Straßenbahnsystems erweitert betrachtet.

Daraufhin erfolgt eine Kostenschätzung der Investitionskosten sowie der Betriebskosten. Die Betriebskosten werden ebenfalls für die verschiedenen ÖPNV-Systeme verglichen.

Ergänzend zu der Kostenschätzung und dem Kostenvergleich wird eine Kapazitätsanalyse für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt.

Im Rahmen der Einschätzung der Erfüllungsgrade der übergeordneten Ziele werden diese spezifiziert. Die Einschätzung der Erfüllungsgrade erfolgt systemspezifisch unter Berücksichtigung der erarbeiteten Netzvorschläge.

Als Ergebnis der Machbarkeitsstudie werden Empfehlungen für die Entwicklung eines effizienten innerstädtischen ÖPNV-Systems in Osnabrück unter Berücksichtigung der angrenzenden Region formuliert bzw. Entscheidungshilfen für die politische Diskussion geboten.



## 2. Systemdarstellung

### 2.1 Relevante Systemgruppen

Die Systemalternativen lassen sich unterschiedlichen Systemgruppen zuordnen:

- People-Mover-Systeme
- Hängeseilbahnen
- Rad-Schiene-Systeme
- Bussysteme

Das entscheidende Hauptunterscheidungsmerkmal zwischen den verschiedenen Systemgruppen ist die Art der Fahrwegausbildung.

**People-Mover-Systeme** zeichnen sich durch unabhängige, in der Regel aufgeständerte Fahrwege aus. Aufgrund dieser Ausprägung erfolgt der Betrieb vorrangig automatisiert und erreicht so eine hohe Zuverlässigkeit. Dieser Systemgruppe werden Monorail-Systeme, Standseilbahnen, Magentschwebbahnen und gummibereiften Triebwagen auf Betonfahrwegen zugeordnet.

Die technische Umsetzung dieses Systems ist sehr spezifisch, aufwendig, teuer und sehr stadtbildprägend. Der Einsatz findet fast ausschließlich im Bereich der Punkt zu Punkt-Verbindungen statt, wie z.B. auf Messegeländen, in Parks und an Flughäfen. Als eine Systemalternative für ein innerstädtisches Netzsystem sind People-Mover-Systeme nicht geeignet und werden daher nicht weiter betrachtet.

**Hängeseilbahnen** sind definiert durch einen Fahrweg mit großen Masten und einer zwingend geradlinigen Streckenführung. Richtungsänderungen sind ausschließlich an Stationen möglich. Bei Hängeseilbahnen gibt es zwei Ausführungsvarianten: Umlaufseilbahnen und Pendelbahnen. Dieser Systemgruppe gehören Gondelbahnen, Pendelbahnen und der Aerobusse an.

Aufgrund der technischen Einschränkungen in der Linienführung eignet sich diese Systemgruppe nicht für den Aufbau eines innerstädtischen Nahverkehrsnetzes und wird daher ebenfalls nicht weiter betrachtet.

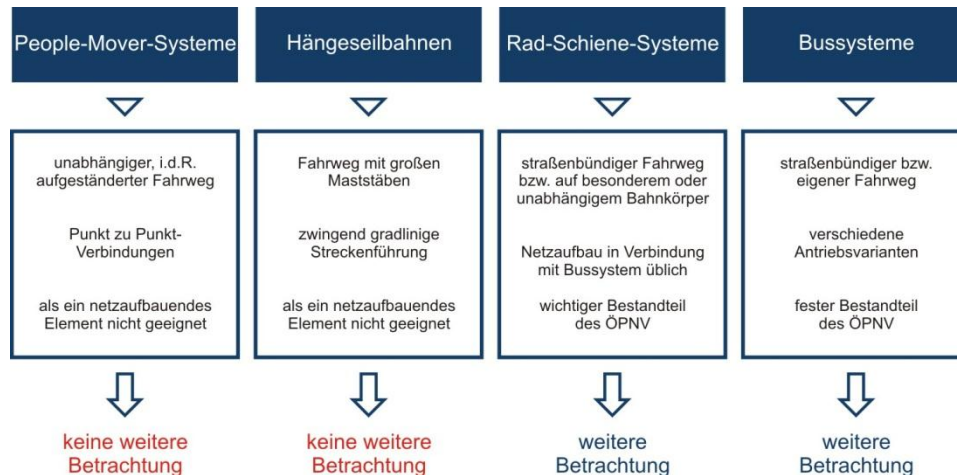
**Rad-Schiene-Systeme** sind im ÖPNV weit verbreitet. Sie haben in Abhängigkeit von der Betriebsart und je nach Einsatzbereich einen straßenbündigen Fahrweg bzw. einen Fahrweg auf einem besonderen oder unabhängigen Bahnkörper. Dieser Gruppe werden Straßen-/ Stadtbahnen, Stadt-Regional-Bahnen, Train-Trams und Metrosysteme zugeordnet. Die Rad-Schiene-Systeme sind ein wichtiger Bestandteil des ÖPNV.

**Bussysteme** sind unter den Aspekten der verschiedenen Antriebsvarianten, der Möglichkeit von Spurführung und unterschiedlicher Kapazitätserweiterungsmöglichkeiten zu betrachten. Der Fahrweg kann sowohl straßenbündig im bestehenden Verkehrsraum als auch auf einem eigenen Fahrweg ausgeführt werden. Besondere Anforderungen an den Fahrweg stellen spurgeführte Busse. Die Bussysteme sind vielfältig, flexibel und ein fester Bestandteil des ÖPNV.



Die Rad-Schiene-Systeme und Bussysteme sind die maßgeblichen Systemgruppen, die im Rahmen der Machbarkeitsstudie ÖPNV Osnabrück betrachtet werden.

Abbildung 1 zeigt eine Übersicht der Systemgruppen.



**Abbildung 1: Auswahl der relevanten Systemgruppen**

Die einzelnen Systemgruppen haben unterschiedliche Relevanz für die Weiterentwicklung und Verbesserung des ÖPNV in Osnabrück. Die Systemgruppen People-Mover und Hängeseilbahnen wurden aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen, da sie aufgrund ihrer Eigenarten keine Systemalternative für ein innerstädtisches Netzsystem darstellen.

## 2.2 Rad-Schiene-Systeme

### 2.2.1 Allgemeines

Die meisten Rad-Schiene-Systeme haben einen historischen Hintergrund und sind daher für den jeweiligen Einsatzort konzipiert und wachsen mit diesem zusammen. Infolgedessen sind diese Systeme und die dazugehörige Systemtechnik oft an die örtlichen Rahmenbedingungen ausgelegt bzw. angepasst. Dadurch ist es für solche Systeme möglich, die Anforderungen aus den sich ändernden Rahmenbedingungen gezielt und nahezu ohne Einschränkungen zu erfüllen.

Trotz möglicher Anpassung und spezieller Fertigung für den jeweiligen Anwendungsfall kann auf häufig verwendete Standard-Komponenten mit entsprechenden Betriebserfahrungen zurückgegriffen werden. Ein normierter Fahrweg kann z.B. oft mit Fahrzeugen von unterschiedlichen Systemlieferanten befahren werden.

Zum Rad-Schiene-System gehören folgende Systemvarianten:

- Straßen- / Stadtbahn
- Stadt-Regional-Bahn
- Train-Tram
- Metro



## 2.2.2 Straßen-/ Stadtbahn

Straßenbahnen werden hauptsächlich in den Innenstädten im Oberflächenverkehr eingesetzt. Es handelt sich somit um ein vorrangig innerstädtisches ÖPNV-System.

Die Stadtbahn kann als Weiterentwicklung der Straßenbahn, die die Außenbezirke bzw. besonders nahegelegene Nachbarstädte erschließt, betrachtet werden. In Fall der Stadtbahn soll daher eine höhere Beförderungsgeschwindigkeit erreicht werden. In der Innenstadt fährt sie oft unterirdisch und in den nicht beengten Räumen, wie z.B. in Außenbezirken, oberirdisch und meistens auf eigenen Fahrwegen (besonderer oder unabhängiger Bahnkörper). I.d.R. liegen beim Stadtbahnssystem auch größere Haltestellenabstände gegenüber der innerstädtischen Straßenbahn vor.

Im Bereich der Straßen- und Stadtbahnen werden nach aktuellem technischem Stand überwiegend Niederflurfahrzeuge eingesetzt. Im Rahmen der Beschreibung dieser Systemalternative wird nachfolgend stellvertretend die Niederflurstraßenbahn dargestellt.

Der Fahrweg der Straßenbahn wird oft auf straßenbündigem Bahnkörper, d.h. im Straßenraum geführt. Streckenabschnitte auf besonderem Bahnkörper zeichnen sich oft mit einer höheren Beförderungsqualität (Geschwindigkeit) aus.

Die Fahrzeuge bestehen meistens aus mehreren Wagenteilen und können unterschiedlicher Länge und Breite, kuppelbar, auch als Zweirichtungsfahrzeuge, hergestellt werden.

Die Energiezuführung erfolgt i.d.R. über eine Oberleitung. Neuste technische Entwicklungen ermöglichen einen oberleitungsfreien Betrieb mithilfe von Energiespeicher, induktiver Energieübertragung oder der Energieversorgung über eine Stromschiene.

Die gesetzliche Grundlage der Betriebsführung basiert auf der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab).



**Abbildung 2: Straßenbahn / Stadtbahn der Rheinbahn in Düsseldorf**

Quelle: [www.bahnbilder.de](http://www.bahnbilder.de)

### 2.2.3 Stadt-Regional-Bahn

Bei diesem System handelt es sich um eine Verknüpfung des Straßen- und Stadtbahnsystems mit dem Regionalverkehrssystem. Die Stadt-Regional-Bahn wird sowohl im Oberflächenverkehr des Straßen- und Stadtbahnsystems als auch auf entsprechenden unabhängigen Fahrwegen (auch aufgeständert oder im Tunnel) des Regionalverkehrssystems eingesetzt. Daraus wird die besondere Aufgabe des Stadt-Regional-Bahn-Systems ersichtlich, die gesamte Region (Ballungszentren und das Umland) zu erschließen. Dies führt oft zwangsläufig zu größeren Haltestellenabständen, längeren Linienverläufen und höheren Geschwindigkeitsanforderungen.

Stadt-Regional-Bahnwagen bestehen aus mehreren Wagenteilen und können unterschiedlicher Länge und Breite, kuppelbar, auch als Zweirichtungsfahrzeuge, hergestellt werden. Aufgrund der höheren Geschwindigkeiten werden diese vorzugsweise als Mittel- und Hochflurfahrzeuge konzipiert.

Die Energiezuführung erfolgt i.d.R. über eine Oberleitung, wobei analog zur Niederflurstraßenbahn ein oberleitungsfreier Betrieb möglich ist (vgl. 3.2). Bei den Fahrzeugen handelt es sich zumeist um Zwei-System-Fahrzeuge, da sie abschnittsweise mit 750 V Gleichstrom und abschnittsweise mit 16 2/3 Hz Wechselstrom versorgt werden bzw. Diesel bei nicht elektrifizierten Eisenbahnstrecken benötigen.

Die gesetzliche Grundlage der Betriebsführung beruht auf der BOStrab und der Verordnung zum Bau und Betrieb von Eisenbahnanlagen (EBO). Die Fahrzeuge müssen nach beiden Verordnungen zugelassen sein.



**Abbildung 3: Stadt-Regional-Bahn „RegioTram“ in Kassel**

Quelle: [www.pro-bahn.de](http://www.pro-bahn.de), [www.bahnbilder-nrw.net](http://www.bahnbilder-nrw.net)

### 2.2.4 Train-Tram

Die Train-Tram ist ebenfalls eine Verknüpfung des Regionalverkehrssystems mit dem innerstädtischen Straßen- und Stadtbahnsystem. Die besondere Aufgabe liegt hierbei in der umsteigefreien Direktverbindung im Schienenpersonennahverkehr zwischen dem regionalen Umfeld und den Innerstädten von Mittel- und Oberzentren. Im Gegensatz zur Stadt-Regional-Bahn fährt in diesem System allerdings der Regionalzug auf Straßen- / Stadtbahngleisen in die Stadt hinein.

Die Fahrzeuge sind demzufolge meistens hochflurig und für regionale Verbindungen ausgelegt.

Die gesetzliche Grundlage der Betriebsführung ist in der EBO geregelt.



**Abbildung 4: RegioSprinter in Zwickau**

Quelle: [www.pro-bahn.de](http://www.pro-bahn.de)

### 2.2.5 Metro

Unter Metro wird ein völlig unabhängig geführtes Rad-Schiene-System verstanden, welches ebenerdig, in Hochlage oder auch im Tunnel betrieben werden kann. Aufgrund des unabhängigen Fahrweges kann der Betrieb ggf. vollständig automatisiert durchgeführt werden.

Die Fahrzeuge werden meist hochflurig ausgebildet, bestehen aus mehreren Wagenteilen und können unterschiedlicher Länge und Breite, kuppelbar, auch als Zweirichtungsfahrzeuge, hergestellt werden.

Die Energiezuführung für den elektrischen Antrieb kann über eine Oberleitung oder eine Stromschiene erfolgen.



**Abbildung 5: Metro der BVG in Berlin**

Quelle: [www.bahnbilder.de](http://www.bahnbilder.de), [www.berlin.wikia.com](http://www.berlin.wikia.com)



## 2.3 Bussysteme

### 2.3.1 Allgemeines

Bussysteme können das gesamte ÖPNV-Angebot bereitstellen. Häufig dienen Bussysteme aber auch als verknüpfendes und ergänzendes Element, z. B. als Zubringer zu dem regionalen Schienennetz oder als Ergänzung von Straßen-/ Stadtbahn befahrenen Hauptlinien.

Es wird oft in Stadtbussysteme und Regionalbussysteme differenziert. In diesem Fall gilt es, die beiden Systeme aufeinander abzustimmen und ggf. intensiv miteinander zu verknüpfen, um Synergieeffekte nutzen zu können. Bussysteme generieren grundsätzlich eine hohe Flexibilität des ÖPNV-Netzes, da sie sich im vorhandenen Straßenraum bewegen und nur im Ausnahmefall eine besondere Infrastruktur (bspw. eine Oberleitung für den Oberleitungsbus, Infrastruktur für eine Spurführung usw.) benötigen. Eine Abstimmung der Einzelkomponenten aufeinander und eine Anpassung an die örtlichen Rahmenbedingungen sind zielführend und notwendig.

Systemprägend sind klassische Standardlinienbusse mit Dieselerbrennungsmotoren. Folgende Systemalternativen in den Bereichen alternative Antriebssysteme, Automatisierung des Betriebs und Kapazitätserweiterungsmöglichkeiten sind darüber hinaus betrachtungsrelevant:

- Busse mit alternativen Antriebssystemen:

- Oberleitungsbusse
- Elektrobusse mit Energiespeichern
- Elektrobusse mit Brennstoffzellen
- Duo-Busse
- Hybridbusse

- Spurbusse
- Doppelgelenkbusse
- Busanhängerzüge

Der Fahrweg von Bussen ist grundsätzlich straßenbündig, kann aber auch auf einem Bussonderstreifen verlaufen. Besondere Anforderungen an den Fahrweg entstehen nur in Zusammenhang mit der Spurführung.

Der Betrieb basiert auf den gesetzlichen Anforderungen der BOKraft.

### 2.3.2 Klassische Standardlinienbusse mit Dieselmotoren

Im Linienbetrieb werden überwiegend Niederflerbusse als Solobusse mit einer Länge von etwa 10 bis 15 m oder als Gelenkbusse mit einer Länge von etwa 18 bis 20 m eingesetzt.

Das Design der Fahrzeuge entspricht unterschiedlichen Lösungsansätzen der verschiedenen Hersteller. Die Sitzplatz- und Stehplatzkapazität wird von den Herstellern unterschiedlich umgesetzt. Die einzelnen Modelle können flexibel angepasst und konzipiert werden.





**Abbildung 6: Sololinienbus / Einzelgelenklininenbus Citaro von Mercedes-Benz**

Quelle: [www.mercedes-seite.de](http://www.mercedes-seite.de), [www.busmagazin.de](http://www.busmagazin.de)

Der Dieselmotor gehört zu den Verbrennungsmotoren. Dieser gilt als robust konzipiert und hat einen sehr hohen Wirkungsgrad. Dazu gehört nach technischem Stand ein Automatikgetriebe. Der Dieselantrieb ist am weitesten verbreitet, jedoch wegen relativ hoher Schadstoffemissionen in der Öffentlichkeit stark kritisiert.

### 2.3.3 Busse mit alternativen Antrieben

Im Bereich alternativer Antriebstechnologie wird sehr intensiv geforscht. Die Entwicklungen konzentrieren sich stark auf die Elektromobilität in verschiedenen Variationen und sind auf folgende Gesichtspunkte zurückzuführen:

- Senkung der Betriebskosten
- Erhöhung / Verbesserung der Fahrleistung
- Umweltfreundlichkeit

Hinsichtlich der Betriebskosten ist die Zielsetzung neuer Entwicklungen die Kosten bei der Wartung und Instandhaltung und andererseits Energiekosten zu reduzieren.

Insbesondere die Elektromotoren verfügen über eine durchschnittlich lange Motor-Lebensdauer, erfüllen einen hohen Wirkungsgrad und erfordern eine verhältnismäßig geringe Wartung. Im Stillstand wird keine Energie verbraucht und durch die Stromversorgung wird die Unabhängigkeit von der stark schwankenden Preisentwicklung der Ölpreise erreicht. Auch eine Nutzbremmung mit Energierückgewinnung ist bei dieser Technologie vorteilhaft.

Beim Elektromotor wird eine Steigerung der Fahrleistung gegenüber dem Dieselmotor erreicht, da bereits beim Anfahren die Höchstleistung erbracht wird und der Beschleunigungsvorteil im innerstädtischen Raum optimal genutzt werden kann. Auf diese Weise wird zugleich der Fahrkomfort erhöht.

Von entscheidender Bedeutung sind jedoch die ökologischen Vorteile der Elektromotoren: die Emissionsfreiheit bei umweltfreundlicher Energiegewinnung sowie ein geräuscharmer Betrieb.





## Oberleitungsbusse / Trolleybusse

Das elektrische Verkehrsmittel Oberleitungsbus (O-Bus) wird in einigen Ländern eher den Bahnen und in anderen Ländern wiederum eher den Bussen zugeordnet. In Deutschland erfolgt die Zuordnung zu den Bussen.

Die Fahrzeuge ähneln stark den klassischen Dieselnissen. Die elektrische Ausrüstung hingegen ist einer Straßenbahn ähnlich, da die Energiezuführung über eine Oberleitung erfolgt.

Die Stangenstromabnehmer stellen die auffälligste Besonderheit der O-Busse dar, deren Ab- und Andrahten mit pneumatischen Systemen ausgeführt wird. Die Anordnung der Stromabnehmer ermöglicht den O-Bussen bis etwa 5 m neben der Oberleitung zu fahren, so dass es eine gewisse Flexibilität gibt, kleinere Hindernisse zu umfahren.

Als eine zusätzliche Komponente haben Oberleitungsbusse i.d.R. ein Ersatzfahr-aggregat (meist eine Dieselmotor-Generator-Einheit, auch APU genannt). Dadurch wird oft ein oberleitungsfreier Betrieb (mit begrenzter Reichweite) ermöglicht. Der zusätzliche Verbrennungsmotor funktioniert gewöhnlich nach dem dieselektrischen Prinzip, d.h. er erzeugt Strom für den regulären Elektromotor (Zentral- oder Radnabenmotor). Alternativ ist auch ein oberleitungsfreier Betrieb mit Energiespeichern (ebenfalls mit begrenzter Reichweite) möglich. Diese Alternative wird jedoch derzeit meist nur zur Unterstützung verschiedener Fahrzeugprozesse (Energieeinsparung) eingesetzt.

Eine zweiachsige Antriebstechnologie bewirkt bei Oberleitungsbussen auch bei winterlichen und topographisch schwierigen Bedingungen eine hohe Traktion und bessere Beschleunigung.

Der Fahrzeugpreis ist im Vergleich zum Standarddieselbus deutlich höher. Ausgleichend dazu ist jedoch die erwartete Einsatzdauer von 15 bis 20 Jahren entsprechend länger (erwartete Einsatzdauer Standarddieselbus: 10 bis 14 Jahre).

Da die verschiedenen Betreiber unterschiedliche Bedürfnisse haben und unterschiedliche Anforderungen stellen, handelt es sich bei den Fahrzeugen um Sonderanfertigungen.

Abweichend von den anderen Bussystemen ist für die gesetzlichen Grundlagen der Betriebsführung zusätzlich zur BOKraft auch die BOStrab bedingt relevant.



**Abbildung 7: Oberleitungsbus in Solingen**

Quelle: [www.nvbo.de](http://www.nvbo.de)

## **Elektrobusse mit Energiespeichern**

Der Begriff der Elektrobusse mit Energiespeichern umfasst Busse mit elektrischem Antrieb (Zentralmotor oder Radnabenmotor), die nicht über Oberleitungen mit Strom versorgt werden.

Die Fahrzeuge gleichen in etwa Standardlinienbustypen. Die Besonderheit bildet der Elektromotor mit Energiespeichern, der einerseits über leistungsfähige Batterie- und Ladetechnik und andererseits über induktive Energieübertragung aufgeladen werden kann. Energiespeicher sind in Form von Akkumulatoren, Doppelschichtkondensatoren und Rotationsspeichern möglich. Sie werden punktuell an Ladestationen geladen. Bei der induktiven Energieübertragung wird mittels elektromagnetischer Induktion (berührungslos über Magnetfelder) der Energiespeicher während der Standzeit an den Haltestellen geladen.

Das entscheidende Kriterium für den Einsatz im Linienbetrieb bildet die Speicherkapazität der Energiequellen, da diese die Reichweite bestimmt. Nach aktuellem, technischem Entwicklungsstand kann eine ausreichende Speicherkapazität für den regulären Liniennetzbetrieb nicht umgesetzt werden. Diese Grenzen werden durch das Gewicht, die Lebensdauer sowie die Herstellungskosten der Speichermedien gesetzt.

Derzeit befinden sich vorwiegend Kleinbusse mit geringer Fahrgastkapazität und überwiegend im Shuttelverkehr testweise im Einsatz. Verschiedene Modelle mit steigender Fahrgastkapazität werden jedoch verstärkt erprobt. Ab September 2013 werden die Stadtwerke Osnabrück voraussichtlich einen 12 m langen Viseon-Bus mit Schnellladung an den Endhaltestellen testen. Im asiatischen Raum wird insbesondere das punktuelle Laden erprobt. Nach aktuellem technischem Stand liegt die Marktreife für den Linienverkehr noch nicht vor.

## **Elektrobusse mit Brennstoffzellen**

Alternativ zu den o.g. Energiespeichern ist die Stromerzeugung auch intern mittels Brennstoffzellen möglich. Im Fahrzeug wird meist Wasserstoff als Energieträger in elektrische Energie umgewandelt (Elektrolyse). Die Speicherung von Wasserstoff ist technisch aufwendig und die Wirtschaftlichkeitsbedingungen derzeit noch nicht erfüllt. Das Erreichen der Marktreife liegt noch nicht vor.

## **Duo-Busse**

Der Duo-Bus ist aus einer Weiterentwicklung des Notfallaggregats bei O-Bussen entstanden. Wie der Begriff schon suggeriert, sind Duo-Busse in der Regel sowohl mit einem Elektromotor als auch einem Dieselmotor ausgestattet.

Die Fahrzeuge gleichen den O-Bussen. Die Eigenart dieses Systems besteht in der völligen Unabhängigkeit der beiden Antriebssysteme voneinander. Durch den Dieselantrieb verfügt der Duo-Bus über einen vollwertigen Alternativmotor zu dem über die Oberleitung gespeisten Elektromotor. Auf diese Weise kann der Betrieb uneingeschränkt oberleitungsfrei ausgeführt werden. Problematisch sind allerdings der Platzbedarf für die beiden Antriebssysteme und insbesondere das hohe Fahrzeuggewicht.



Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und hohen Störanfälligkeit wurde das System der Duo-Busse von der Hybridtechnologie abgelöst. Duo-Busse, deren Produktion bereits eingestellt wurde, können als veraltet angesehen werden.

### **Hybridbusse**

Hybridbusse vereinen zwei verschiedene Antriebssysteme mit der Zielsetzung, den Kraftstoffverbrauch und die Leistungsumsetzung zu optimieren.

Bei dem Einsatz der Hybridtechnologie wird der konventionelle Antrieb mit dem elektrischen Antrieb kombiniert. In der Regel werden ein Verbrennungsmotor und ein Elektromotor verwendet. Im Gegensatz zum Duo-Bus kann alternativ oder parallel mit den beiden Technologien angetrieben werden.

Zurzeit werden etwa 200 Hybridbusse bei deutschen Verkehrsunternehmen im Linienbetrieb auf einzelnen Linien erprobt. Diese gelten als Übergangssystem zur Elektromobilität.

#### **2.3.4 Spurbusse**

Bei dem Verkehrssystem der Spurbusse werden Busse entlang einer vorgegebenen Spur geführt (vergleichbar mit Rad-Schiene-System). Zielsetzung dieses Systems ist es, die Vorteile von Bussen (flexiblere Erschließung der Bedienungsgebiete, günstige Serienfahrzeuge) und Bahnen (hohe Kapazität, sicherer Fahrweg, hoher Fahrkomfort) in einem System zu vereinen. Eine Spurführung ist grundsätzlich für alle Antriebstechniken möglich und kann auch mit einer Oberleitung gekoppelt werden.

Der Fahrweg kann je nach Systemart straßenbündig in den bestehenden Verkehrsraum integriert werden, mit Gleisanlagen der Straßenbahn kombiniert werden oder auf einem eigenen Fahrweg ausgebildet sein. Aufgeständerte Fahrwege oder Verläufe im Tunnel sind ebenfalls möglich. Durch die Spurführung kann der Fahrweg grundsätzlich etwas schmaler angelegt werden als bei rein manuell gelenkten Bussen.

Während für die ersten Spurbusse noch seriennahe Linienbusfahrzeuge verwendet wurden, ähneln die neueren Modelle im Aussehen eher modernen Straßenbahnfahrzeugen, die jedoch auf Gummirädern fahren.

Innerhalb des Systems der spurgeführten Busse gibt es folgende Unterscheidung:

- mechanische Spurführung
- induktive Spurführung
- optische Spurführung

#### **Mechanische Spurführung**

Die mechanische Spurführung erfolgt über eine Seitenführung, gewöhnliche Gleisanlagen oder eine Mittelschiene.

Im Fall der Seitenführung werden entlang des Fahrwegs 20 cm hohe Spurführungsbalken aufgebaut und der Linienbus mit Spurführungsrollen sowie ggf. mit Drängelrollen ausgestattet. Abschnittsweise kann das Fahrzeug die Spurführung



verlassen und herkömmlich gelenkt werden. Die Wieder-Einfädelung in die Spur erfolgt über Zufahrten mit einem Einführungstrichter.

Grundsätzlich ist es möglich, die Spurführung auf gewöhnlichen Gleisanlagen umzusetzen. Dafür wird auf der Straßenbahntrasse neben den Schienen ein Fahrweg für die Räder der Busse errichtet.

Um im Bedarfsfall Mittelbahnsteige bedienen zu können, müssen allerdings die Linienbusse auch auf der linken Fahrzeugseite mit Türen ausgerüstet sein.



**Abbildung 8: Spurführungsrolle / Spurbussystem in Essen / Spurbussystem in Mannheim**

Quelle: wiki.verkata.com

Eine weitere Möglichkeit der mechanischen Spurführung erfolgt anhand einer Mittelschiene. Die Mittelschiene, zu der die Verbindung mit dem Fahrzeug über ein Radsystem erfolgt, ist bündig in den Fahrweg eingelassen.

Unter Umständen ist auch hier das Verlassen der Spurführung möglich.



**Abbildung 9: Translohr in Clermont-Ferrand / Bombardier GLT/TVR in Caen**

Quelle: www.railpage.com.au, www.mashke.org

### Induktive Spurführung

Die induktive Spurführung erfolgt mittels in die Fahrbahn eingelassener Magneten. Das elektromagnetische Leitsystem erkennt die alle 4-5 m in den Fahrweg eingebetteten Magnete und lenkt mit Hilfe dieser das Fahrzeug.

Diese Technologie ermöglicht es auch, den Bus in einer Art „Parallelverschiebung“ präzise in die Haltstelle einzufahren und diese zu verlassen. Hierfür müssen alle Räder lenkbar sein, somit wird eine einfache Bereifung des Fahrzeugs erforderlich.



Möglich sind einerseits ein vollautomatisches Ausführungsniveau des Leitsystems (vollelektronische Steuerung von Bremsen, Gas und Lenkungsmechanismen) sowie andererseits ein halbautomatisches Ausführungsniveau des Leitsystems (Steuerung von Bremse und Gas durch den Fahrer).

Die beschriebene Technologie der induktiven Spurführung wird in Eindhoven entwickelt und getestet.

### Optische Spurführung

Bei der optisch arbeitenden Spurführung orientiert sich das Fahrzeug an einer Führungslinie durch den Einsatz einer Kamera. Die Markierung (gestrichelte Doppellinie) wird aufgenommen und mit einem Bildverarbeitungsprogramm überprüft. Hierbei handelt es sich um ein halbautomatisches Leitsystem. Das Leitsystem übernimmt die Lenkung des Fahrzeugs und der Fahrer steuert das Bremsen und Beschleunigen. Diese Systemart wird bisher insbesondere für ein präziseres und schnelleres Einfahren in Haltestellen genutzt.

Die optische Spurführung wird im CiVis-Fahrzeug von Irisbus in Caen erprobt und weiterentwickelt.



**Abbildung 10: Induktive Spurführung: Phileas von APTS in Eindhoven (Testlauf) / optische Spurführung: CiVis von Irisbus in Rouen (Testlauf)**

Quelle: [www.flickrriver.com](http://www.flickrriver.com)

Die zwangsgeführte Spurführung von Bussen unterliegt zahlreichen technischen Schwierigkeiten in der Umsetzung und erfordert einen aufwendigen, kosten- und wartungsintensiven Fahrweg. Die vorgestellten Technologien der Spurführung sind mit Ausnahme des Translohrsystems nicht marktreif. Sie befinden sich in der Entwicklung und Erprobung.

### 2.3.5 Kapazitätserweiterungsmöglichkeiten

#### Doppelgelenkbusse

Bei den Doppelgelenkbusen handelt es sich um Standardlinienbusse mit zweifachen Gelenk und einer Länge von etwa 25 m. Durch diese Bauweise wird eine höhere Kapazität erzielt. Doppelgelenkbusse sind auch als O-Busvariante und mit alternativen Antriebssystemen möglich.

Die Einführung solch großer Busse geht häufig mit dem Errichten eigener Busfahrstreifen und anderen Beschleunigungs- und Bevorrechtigungsmaßnahmen einher. Beim Einsatz von Doppelgelenkbusen sind oft Infrastrukturanpassungen im Straßenraum, insbesondere im Bereich der Haltestellen und Kurvenfahrten sowie am Betriebshof, erforderlich.

Für den Betriebseinsatz in Deutschland ist eine Ausnahmegenehmigung erforderlich. Die Genehmigungen werden meist linienspezifisch vergeben.



**Abbildung 11: Doppelgelenkbus im Linienbetrieb der Hochbahn in Hamburg / der ASEAG in Aachen**

Quelle: [www.niedersachsenbus.de](http://www.niedersachsenbus.de) (© Sebastian Lehman), [www.euregiobus.de](http://www.euregiobus.de) (© Sasch Wassen)

Der Einsatz von Doppelgelenkbusen bietet eine Alternative für hoch frequentierte Linien. Infolge der höheren Kapazitäten ist oft eine leicht reduzierte Taktung vertretbar. Ebenfalls kann ein besserer Personalwirkungsgrad erreicht werden und über gezieltes Produktmarketing die Attraktivität des ÖPNV insgesamt gesteigert werden.

#### Busanhängerzüge

Bussysteme hoher Kapazität können auch mit der Bauweise von Busanhängerzügen umgesetzt werden. Hierbei wird an einen Solobus ein Busanhänger zur Kapazitätserweiterung angehängt, wobei in etwa eine Länge von 23 m erreicht wird. Diese Bauweise realisiert eine hohe Flexibilität bei stark schwankendem Fahrgastaufkommen durch die Möglichkeit des An- und Abhängens. Busanhänger sind auch mit O-Bussen und ggf. Fahrzeugen mit alternativen Antriebssystemen kombinierbar.

Wie Doppelgelenkbusse erfordern Busanhängerzüge aufgrund ihrer Größe infrastrukturelle Anpassungen und eine Ausnahmegenehmigung bei der Zulassung.



**Abbildung 12: Busanhängerzug Bus Plus in Osnabrück / Busanhängeranbindung**

Quelle: [www.stadtbuss2.de](http://www.stadtbuss2.de), [www.de.wikipedia.org](http://www.de.wikipedia.org)

Busanhängerzüge werden ebenfalls zur Vergrößerung der Kapazität eingesetzt und kommen für den Einsatz im ÖPNV auf stark ausgelasteten Linien, jedoch mit stark schwankenden Fahrgastaufkommen, in Betracht.

**Tabelle 1: Kapazitätsvergleich**

Fahrzeug	Kapazität
Solobus (~12 m)	~ 100 Plätze (Bsp. Stadtwerke Solingen)
Gelenkbus (~18 m)	~ 160 Plätze (Bsp. Stadtwerke Solingen)
Doppelgelenkbus (~25 m)	~ 180 Plätze (Bsp. ASEAG in Aachen)
Busanhängerzug (~23 m)	~ 180 Plätze (Bsp. Stadtwerke Osnabrück)

## 2.4 Zusammenfassung und Systemauswahl

Für die Systemalternativen Stadtbahn und Stadt-Regional-Bahn bietet die Straßenbahn einen Einstieg in den schienenengebundenen ÖPNV.

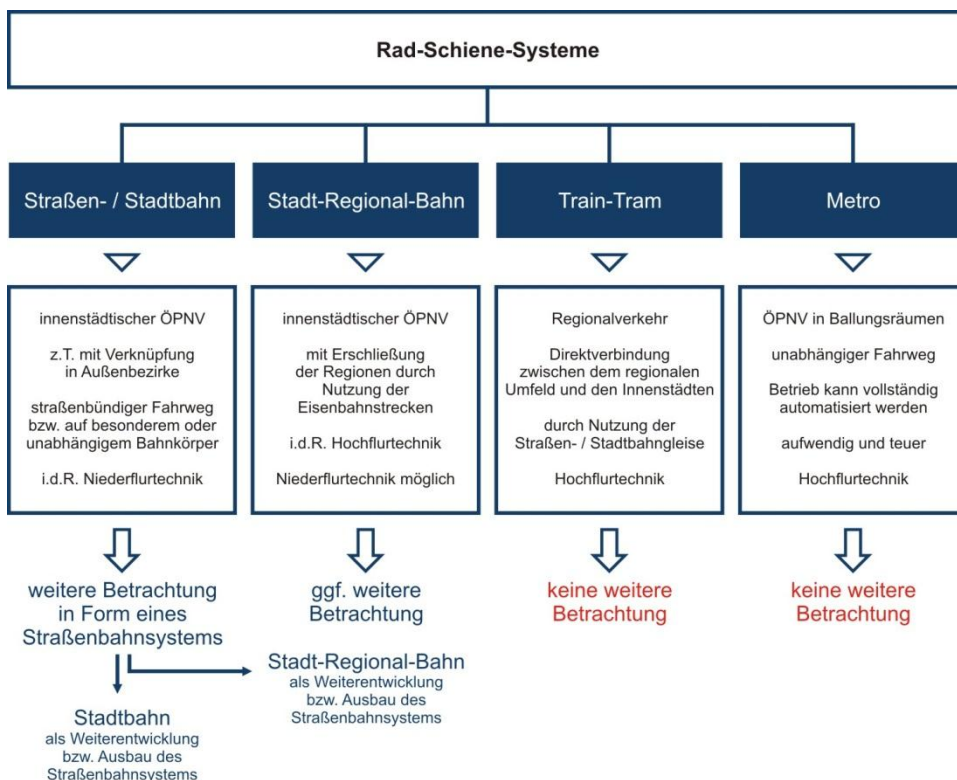
Die Straßenbahn kann problemlos auf straßenbündigen Bahnkörper betrieben werden. Zur Erreichung eines hohen Qualitätsstandards ist jedoch ein besonderer Bahnkörper empfehlenswert. Der besondere Bahnkörper ermöglicht einerseits eine optimale Beschleunigung und einen vom Individualverkehr weitgehend störfreien Betriebsablauf und stellt andererseits ein entscheidendes Kriterium für die Unterstützung durch Bundesmittel (GVFG) dar. Im Fall des straßenbündigen Bahnkörpers ermöglichen Beschleunigungs- und Bevorrechtigungsmaßnahmen eine Qualitätssteigerung.

Unter angemessenen regionalen Bedingungen ist der Ausbau eines vorhandenen Straßenbahnsystems zum Stadtbahnssystem und auch zu einer Stadt-Regional-Bahn möglich. Um diese Option offen zu halten, sind jedoch bei der Einführung einer Straßenbahn entsprechende Aspekte bezüglich des Fahrzeugs (2,65 m Breite) und der Haltestellen (60 m Länge, größere Haltestellenabstände) zu berücksichtigen. Die Erweiterung der Straßenbahn zur Stadtbahn sowie die Umsetzung einer Stadt-Regional-Bahn sind für Osnabrück gesondert zu prüfen und nicht Gegenstand der vorliegenden Machbarkeitsstudie. Als eine mögliche Alternative wird die Neueinführung einer Straßenbahn als innerstädtisches Nahverkehrsmittel in Osnabrück untersucht.



Die Systemvariante Train-Tram erfordert einen unabhängigen Bahnkörper mit entsprechender Zugsicherung. Entsprechend der spezifischen Aufgabe sind die Einsatzbereiche und -möglichkeiten im innerstädtischen ÖPNV sehr eingeschränkt (prinzipiell fährt die Train-Tram nur einige wenige Haltestellen ins Zentrum hinein). Somit eignet sich diese Systemvariante nicht zur Erfüllung der im innerstädtischen Nahverkehr gestellten Anforderungen und wird im Rahmen der Machbarkeitsstudie nicht weiter verfolgt. Die Metro wird ebenfalls ausgeschlossen. Die Umsetzung dieses Systems ist sehr aufwendig und teuer. Insbesondere aus finanziellen Aspekten scheint dieses System nicht realisierbar.

Abbildung 13 zeigt die für das Rad-Schiene-System relevanten Systemalternativen.



**Abbildung 13: Relevante Systemalternativen der Rad-Schiene-Systeme**

Bei den Bussystemen empfiehlt es sich, das klassische Standardlinienbussystem mit Dieselmotoren, um innovative Systemalternativen und Techniken zu ergänzen (in Osnabrück wurden bereits einige Maßnahmen in diese Richtung ergriffen) und auf diese Weise die Qualität und die Attraktivität des Systems zu verbessern.

Als eine mögliche Alternative kann das O-Bussystem betrachtet werden. Die Einführung dieses auf den Hauptlinien des ÖPNV kann die Attraktivität des innerstädtischen ÖPNV grundsätzlich steigern.





Die Anwendung von Elektrolinienbussen mit Energiespeichern ist aktuell im Netzbetrieb nicht möglich. Aufgrund des noch eingeschränkten Einsatzbereichs wird die Möglichkeit einer Einführung von Elektrobussen erst in der Zukunft gesehen. Im Hinblick auf das sehr dynamische und innovative Forschungsgebiet der Elektromobilität sollte diese Alternative dennoch in die Überlegungen langfristiger Planungen aufgenommen werden.

Das Gleiche gilt für Elektrobusse mit Brennstoffzellen. Hier gilt es ebenfalls die innovativen Techniken im Blick zu behalten und zu verfolgen.

Als Vorläufer der Elektrobusse sollte der Einsatz von Hybridbussen entsprechend des technischen Standes angestrebt werden.

Der Einsatz der innovativen Entwicklungen im Bereich der Motorentechnik ist für die Fortentwicklung des bestehenden Bussystems als maßgebliches Instrument zur Sicherung der ÖPNV-Qualität sinnvoll und notwendig. Die jeweiligen innovativen Techniken sollten auf kurzen Relationen erprobungsweise eingesetzt werden, um deren Eignung für einen Netzbetrieb zu prüfen.

Des Weiteren sollten auch dem Bussystem entsprechende Techniken zur Verbrauchsminimierung und Schadstoffreduktion betrachtet werden sowie allgemeine Aspekte der Qualitätssteigerung (Bevorrechtigungs- und Beschleunigungsmaßnahmen, eigene Fahrwege).

Der Einsatz von Duo-Bussen in ihrer klassischen, ursprünglichen Art wird aufgrund der überholten Technik nicht weiter verfolgt. Ebenso sollte von dem Einsatz spurgeführter Busse abgesehen werden, da sich diese Technologie in der Erprobung und Entwicklung befindet und angesichts der hohen Störanfälligkeit der Mehrwert fragwürdig ist.

Die vorhandenen Kapazitätsengpässe können beim Bussystem durch Doppelgelenkbusse oder Busanhängerzüge bewältigt werden.

Abbildung 14 zeigt die sich aus der Systemgruppe der Bussysteme ergebenden relevanten Systemalternativen.

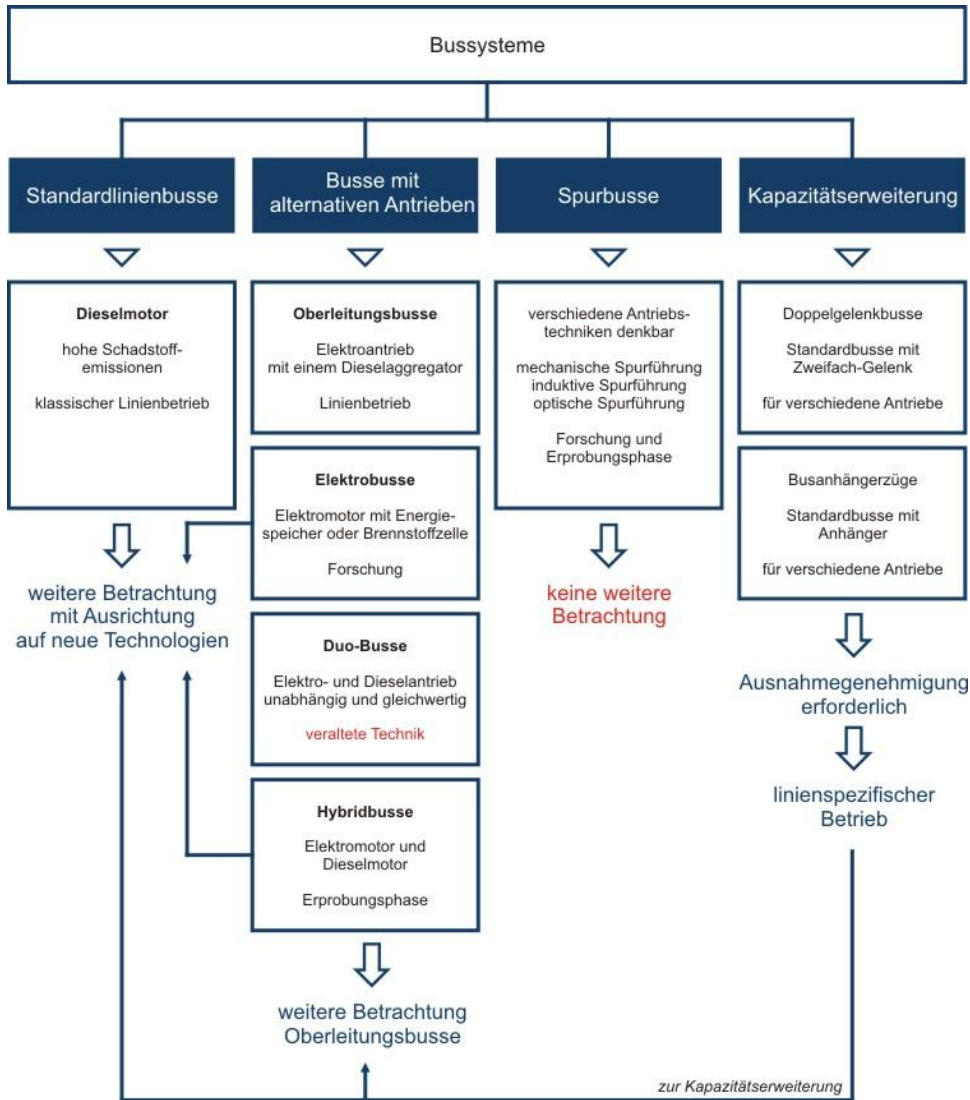


Abbildung 14: Relevante Systemalternativen der Bussystems



### 3. System- und Marktanalyse

#### 3.1 Umfang der System und Marktanalyse

Im Rahmen der System- und Marktanalyse wurden, neben einer allgemeinen Recherche, folgenden Hersteller befragt (Kontaktaufnahme erfolgreich: ✓):

- Vossloh Kiepe ✓
- Hess ✓
- Siemens ✓
- Bombardier keine Rückmeldung
- Alstom keine Rückmeldung
- Solaris ✓
- Daimler Buses / EvoBus ✓
- van Hool ✓
- Volvo Busse keine Rückmeldung
- Cobus Industries keine Rückmeldung
- Ekova Electric ✓

Seitens der Betreiber wurden folgende kontaktiert:

- Stadtwerke Solingen ✓
- Barnimer Busgesellschaft mbH Eberswalde ✓
- Metro Transportes do Sul keine Rückmeldung
- Tram et Bus la Communauté Urbaine de Bordeaux keine Rückmeldung
- Städtischer Verkehrsbetrieb Esslingen am Neckar ✓
- HEAG Mobilo ✓
- Offenbacher Verkehrs-Betriebe ✓
- Rhein-Necker-Verkehr GmbH ✓

Bei den Herstellern und Betreibern wurden gezielt Informationen zu den Themenbereichen eingeholt:

- oberleitungsfreier Betrieb  
(Hersteller und Betreiber)
- Maßnahmen zur Schadstoffreduktion bei Dieselnissen  
(Hersteller inkl. Testeinsätze)
- Maßnahmen zur Verbrauchsminimierung bei Dieselnissen  
(Hersteller inkl. Testeinsätze)
- Alternative Antriebstechniken  
(Hersteller inkl. Testeinsätze)

Die zur Verfügung gestellten Unterlagen wurden ausgewertet und die genannten Ansprechpersonen telefonisch kontaktiert und befragt. In Solingen wurde ein persönliches Gespräch geführt und der Betrieb besichtigt.



## 3.2 Oberleitungsfreier Betrieb

### 3.2.1 Technische Möglichkeiten

Eine Oberleitung ist charakteristisch für die Systemalternativen Straßenbahn und Oberleitungsbus. In sensiblen städtischen Räumen kann die Oberleitung jedoch störend wirken bzw. sich nur eingeschränkt oder gar nicht realisieren lassen. Hierfür gibt es die Möglichkeit eines oberleitungsfreien Betriebes.

#### Straßenbahn

Derzeit ist ein oberleitungsfreier Betrieb von Straßenbahnen mittels Energiespeichern, einer Stromschiene (nur bei Schienenfahrzeugen) und induktiver Energieübertragung möglich. Prägend sind hierbei folgende Systeme:

- Siemens Sitras Hybrid-Energiespeicher
- Bombardier Mitrac Energy Saver
- Primove-System von Bombardier
- APS-System von Alstom

Der **Siemens Sitras Hybrid-Energiespeicher** besteht aus dem Sitras mobilen Energiespeicher (Doppelschicht-Kondensatoren) und aus einer Nickel-Metallhydrid-Batterie (Traktionsbatterie). Auf diese Weise werden die Vorteile der beiden Energie speichernden Komponenten kombiniert. Kondensatoren erbringen eine hohe Leistung, verfügen jedoch über einen geringen Energieinhalt. Traktionsbatterien hingegen verfügen über einen höheren Energieinhalt, können jedoch nur eine mittlere Leistung erbringen.

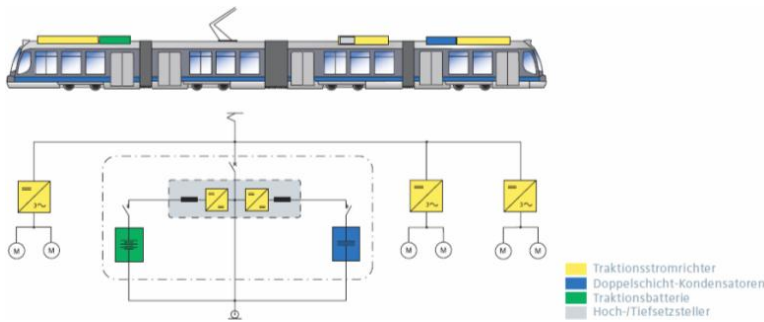
**Tabelle 2: Technische Daten des Siemens Sitras Hybrid-Energiespeichers**

Kriterium	Doppelschicht-Kondensator	Traktionsbatterie
Nutzbarer Energieinhalt in kWh	0,85	18
Maximale Leistung in kW	2 x 144	105
Betriebsspannungsbereich in V	190...480	528 (Nennspannung)
Kühlung	forciert Luftkühlung	Wasserkühlung
Abmessung (B x T x H) in mm	2.000 x 1.520 x 630	1.670 x 1.025 x 517
Gewicht in kg	820	826

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [siemens.com/rail-electrification](http://siemens.com/rail-electrification)

Der Hybrid-Energiespeicher wird auf der Dachfläche des Fahrzeugs montiert und über einen Gleichstromsteller elektrisch an den Einspeisepunkten des Fahrzeugs angebunden.





**Abbildung 15: Systemaufbau des Siemens Sitras Hybrid-Energiespeichers**

Quelle: [siemens.com/rail-electrification](http://siemens.com/rail-electrification)

Beide Energiespeicher (Doppelschicht-Kondensatoren und Traktionsbatterie) laden sich i. d. R. durch Bremsenergieerückgewinnung auf. Ein Aufladen auf Oberleitungsstrecken sowie durch Ladestationen an Haltestellen ist jedoch grundsätzlich möglich.

Hybride Energiespeicher finden nicht nur beim oberleitungsfreien Betrieb, sondern auch zur Erhöhung der Energieeffizienz (Energieeinsparung) Anwendung.

Seit November 2008 wird das System in Almada (Portugal) in den Combino Plus Fahrzeugen im Fahrgastbetrieb eingesetzt. Der oberleitungsfreie Betrieb in Almada erfolgt auf einem kurzen Abschnitt (laut Herstellerangaben ist ein oberleitungsfreier Betrieb über eine Distanz von 2,5 km gewährleistet) bei einer geringen Steigung (bis 2,6%). Im Herbst 2015 soll ein komplett oberleitungsfreier Betrieb mit Avenio Fahrzeugen in Katars Hauptstadt Doha auf einer Strecke von 11,5 km den Betrieb aufnehmen.

Die Technik der **Bombardier Mitrac Energy Saver** basiert auf Doppelschicht-Kondensatoren. Mehrere hundert Doppelschicht-Kondensatoren werden in Serie geschaltet und bilden eine Mitrac Energy Saver Speichereinheit, die bis zu 1 kWh Energie aufnehmen kann.

**Tabelle 3: Technische Daten des Mitrac Energy Saver**

Kriterium	Mitrac Energy Saver		
	LRV 2003	LRV 2008	DMU
Anwendungsbereiche	LRV 2003	LRV 2008	DMU
Nutzbarer Energieinhalt in kWh	1	1	1,17
Maximale Leistung in kW	300	300	100
Kühlung	Zwangsbelüftung	Zwangsbelüftung	Konvektionskühlung
Abmessung (B x T x H) in mm	1.900 x 950 x 455	1.700 x 680 x 450	1.800 x 1.500 x 250
Gewicht in kg	477	428	466

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [bombardier.com](http://bombardier.com)

Die Energiespeicher sind ebenfalls auf der Dachfläche des Fahrzeugs angebracht. Das Aufladen erfolgt während des Fahrens über die Bremsenergieerückgewinnung. In der nächsten Fahr- und Beschleunigungsphase wird die aufgenommene Energie verwendet.



Die Mitrac Energy Saver kommen vorrangig zur Energieeinsparung in den Fahrzeugen des Typs „Rhein-Necker-Variobahn“, als sogenannte „Super Caps“, zum Einsatz. Diese Technologie ermöglicht jedoch auch einen oberleitungsfreien Betrieb. In diesem Fall sind unter Anwendung von drei Einheiten ein Anfahren aus dem Stand und eine anschließende Fahrt mit 30 km/h über eine Distanz von etwa 970 m laut Herstellerangaben möglich.

Nach einer vierjährigen Testphase setzt die Rhein-Necker-Verkehrs GmbH in Heidelberg seit Dezember 2009 die serienmäßigen Straßenbahnwagen mit „Super Caps“ zur Energieeinsparung ein. Zwei 300-400 m lange oberleitungsfreie Abschnitte zur Erschließung des Universitätsgeländes sind darüber hinaus geplant.

Dem **Primove-System von Bombardier** liegt das Grundprinzip der induktiven Energieübertragung eines Transformators zu Grunde. Dabei wird die Stromquelle unter die Erde verlegt und lädt das Fahrzeug durch induktive Energieübertragung komplett kontaktlos auf.

Das System besteht aus zwei Komponenten: einer streckenseitigen Komponente (Primärteil), die unterirdisch im Fahrweg installiert ist, und einer bordseitigen Komponente (Sekundärteil), die am Fahrzeuggestell angebracht ist. Der Primärteil erzeugt ein Magnetfeld. Der Sekundärteil, das Gegenstück, wandelt dieses in elektrischen Strom für den Fahrbetrieb um. Hierbei handelt es sich um das Prinzip des Elektromagnetismus.

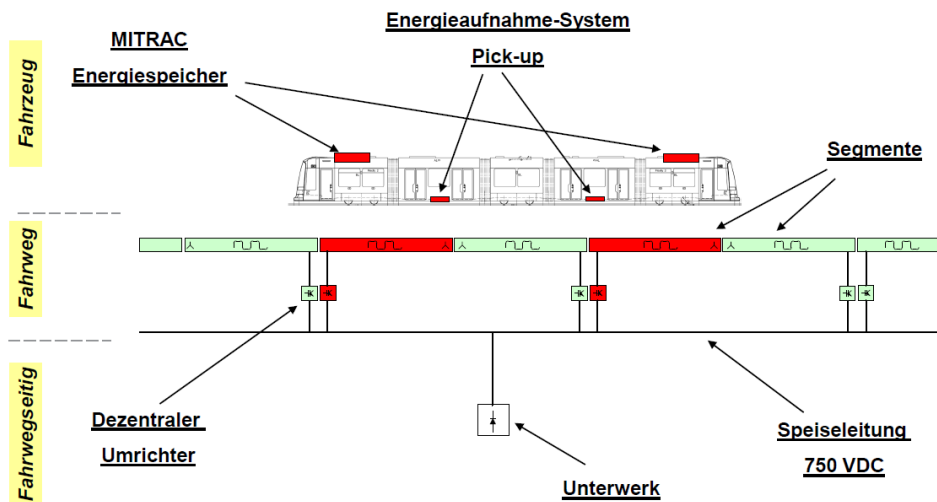


Abbildung 16: Systemkomponenten der Primove-Technologie

Quelle: Bombardier Inc.

Der Ladevorgang kann einerseits statisch an einem Ladepunkt erfolgen. Sobald sich das Fahrzeug über dem Ladepunkt befindet, kann die Energieübertragung erfolgen. Andererseits kann das Fahrzeug dynamisch während der Fahrt über induktive Segmente geladen werden. Eine Vorrichtung der Fahrzeugerkennung und Segmentsteuerung stellt sicher, dass sich das Magnetfeld nur aktiviert, wenn ein Segment von einem Fahrzeug überdeckt wird.



Das Primove-System wird mit einer Energiespeicherfunktion (Mitrac Energy Saver) kombiniert, um ein höheres Maß an Energieeffizienz und Leistung zu generieren.

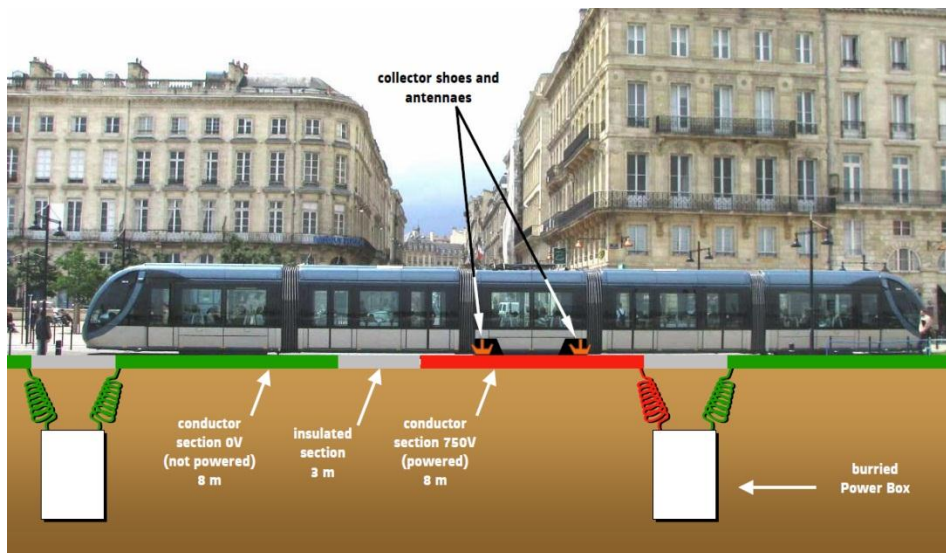
Bei der Primove-Technologie ließe sich dieselbe unterirdische Infrastruktur für das Aufladen verschiedener Verkehrsmittel nutzen. Auch ein abwechselnder Betrieb mittels Oberleitung oder Primove ist grundsätzlich möglich.

Seit September 2010 befindet sich die Primove-Technologie für Straßenbahnen in der Testphase auf einer separaten Stichstrecke von etwa 800 m Länge der Stadtwerke Augsburg Verkehrs-GmbH. Die induktive Energieübertragung zwischen dem Fahrweg und dem Fahrzeug im Verkehrssektor wird bisher beim Transrapid eingesetzt, jedoch nur für die Versorgung der Nebenverbraucher.

Das **APS-System von Alstom** steht für Alimentation par le Sol (frei übersetzt: Stromversorgung aus dem Boden). Hierbei erfolgt die Energieversorgung über eine Mittelstromschiene, die im Fahrweg zwischen den Schienen angebracht ist.

Die Stromschiene besteht aus einzelnen Elementen. Jedes Element setzt sich aus einer 8 m langen spannungsführenden Schiene und einem 3 m langen isolierten Abschnitt zusammen und beträgt somit eine Länge von 11 m. Die Stromversorgung wird erst durch ein Funksignal ausgehend vom Fahrzeug an im Fahrweg angebrachte Schaltkästen aktiviert. Auf diese Weise werden nur vollständig unter dem Fahrzeug befindliche Elemente spannungsgeladen. Bevor die Straßenbahn das Element verlässt, wird es abgestellt und geerdet. Die Stromabnahme verläuft über zwei Schleifer am Fahrzeug.

In Abbildung 17 ist die Funktionsweise des APS-Systems aufgezeigt.



Quelle: Alstom Transportation

**Abbildung 17: Funktionsweise des APS-Systems von Alstom**

Die Fahrzeuge sind zusätzlich mit einer Batterie ausgestattet. Diese ermöglicht es, eine Distanz von etwa 150 m mit sehr niedriger Geschwindigkeit zu überwinden.



Ein abwechselnder Betrieb einerseits mit der Energieversorgung über die Oberleitung und andererseits über das APS-System ist grundsätzlich möglich. Das Umschalten von der Versorgung über die Oberleitung auf das APS-System geschieht an Haltepunkten, wenn es vom Fahrer initiiert wird und dauert etwa 20 – 30 sec. Der Pantograph senkt sich und die Energieversorgung beginnt über die Stromschiene. Weichen und Kreuzungen sind in der Verlegung der Gleise mit der Stromschiene auch möglich.

Das APS-System befindet sich seit 2003 in Bordeaux (Frankreich) im regulären Fahrgastbetrieb im Einsatz. Die Straßenbahn des Fahrzeugtyps Citadis 302 und 402 fährt dort auf etwa 10,85 km Strecke oberleitungsfrei. Nach zahlreichen Betriebsstörungen in der Anfangsphase hat das System mittlerweile eine stabilere Funktionsfähigkeit erreicht. Dennoch treten vermehrt Betriebsstörungen auf. Eine der Hauptursachen ist stehendes Wasser nach starken Regenfällen, das zu elektrischen Defekten führt. Neben den weitaus höheren Investitionskosten gegenüber der Oberleitung werden auch höhere Wartungs- und Betriebskosten verursacht.

### **Oberleitungsbusse**

Bei Oberleitungsbussen war es bisher noch üblich ein Dieselaggregat für die oberleitungsfreien Abschnitte zu nutzen. Hierdurch ist jedoch kein emissionsfreier Betrieb möglich. Alternativ zum Dieselaggregat wird bei Oberleitungsbussen immer häufiger ein oberleitungsfreier Betrieb mittels Energiespeicher anvisiert.

Für kurze oberleitungsfreie Strecken, z.B. auf dem Betriebshof, besteht die Möglichkeit des Einsatzes von „**Super Caps**“. Eingesetzt wurde dieses System in Solingen. Der Einsatz dieser Technologie hat sich bei einer Erprobungsphase in Solingen jedoch nicht bewährt.

Für längere oberleitungsfreie Strecken bietet u. a. das System **Solaris / Cegelec** eine Alternative. Bei diesem System wurde auf den dieselbetriebenen Generator zugunsten einer Lithium-Ionen-Batterie verzichtet. Eingesetzt wird das System derzeit in Ostrava und seit kurzem in Eberswalde. Laut Herstellerzusicherung soll mit dieser speziellen Batterie eine Strecke von 5 km zurückgelegt werden können. Die Ladezeit nach diesen 5 km beträgt ca. 20 Minuten und kann über die Oberleitung erfolgen. Testfahrten in Ostrava ergeben eine mögliche Reichweite von bis zu 16 km.

#### **3.2.2 Ergebnis der Marktanalyse oberleitungsfreier Betrieb**

Bei den aufgezeigten Beispielen des oberleitungsfreien Straßenbahnbetriebes handelt es sich um sehr herstellerspezifische Systeme. Diese werden vereinzelt erprobungsweise im Fahrgastbetrieb angewandt. Derzeit unterliegen die verschiedenen Systeme unterschiedlichen Einschränkungen.

Der oberleitungsfreie Betrieb von O-Bussen ist derzeit laut Angaben verschiedener Hersteller und Betreiber über etwa 6 km technisch zuverlässig realisierbar. Dabei erfolgt die Energieversorgung mittels Batterien. Die technische Entwicklung profitiert hierbei stark von den Forschungen der Elektromobilität im Bereich Batteriebusse.





Im Rahmen der Marktanalyse wurden die folgenden **Hersteller** zur Umsetzungsmöglichkeit des **oberleitungsfreien Straßenbahnbetriebes** befragt:

- Bombardier
- Siemens
- Alstom

Seitens Bombardier und Alstom erfolgten keine Angaben.

Laut Angaben von Siemens ist ein oberleitungsfreier Straßenbahnbetrieb auf einem etwa 6 km langen Streckenabschnitt prinzipiell machbar. Für eine belastbare Aussage sind aber Informationen über die Strecke, Topographie, Geschwindigkeiten, Betriebskonzepte usw. im Detail erforderlich.

Die technische Umsetzung ist mit Hilfe eines kombinierten Speichersystems Sitras HES (Einsatz von Batterien und Kondensatoren) möglich. Es ist möglich viel Energiespeichervolumen in ein Fahrzeug unterzubringen, um eine möglichst große Reichweite oberleitungsfrei zu erzielen, jedoch geht dies zulasten der Achslast und des Platzangebotes. Ebenfalls wirken sich die Volllade- und Entladezyklen auf die Lebensdauer der Energiespeicher aus. Aus diesen Gründen empfiehlt es sich die Möglichkeit einer Nachladung innerhalb des oberleitungsfreien Abschnittes zu prüfen.

Siemens stellt den folgenden Beispielansatz für das System:

- 60 t Fahrzeuggewicht
- angenommener Energieverbrauch etwa 4 bis 5 kWh/km  
→ erforderliche Energie auf 6 km: etwa 30 kWh
- Einsatz von zwei Batterien auf dem Dach und möglichst 12 Capmodulen im Mittelteil
- unter der Annahme Betrieb 10mal pro Tag, 360 Tage im Jahr beträgt die Lebensdauer der Batterie bis zu fünf Jahre

Zum **oberleitungsfreien Betrieb von Straßenbahnen** wurden die folgenden **Betreiber** kontaktiert:

- Tram et Bus la Communauté Urbaine de Bordeaux (Bordeaux)
- Metro Transportes do Sul (Almada)
- Rhein-Necker-Verkehr GmbH (Heidelberg)

Dabei war lediglich die Kontaktaufnahme zur Rhein-Necker-Verkehr GmbH erfolgreich.

Die mit den Mitrac Energy Saver ausgestatteten Fahrzeuge werden nicht oberleitungsfrei eingesetzt. Die Energiespeicher werden nur zur Energieeinsparung genutzt. Da der Verbrauch der neuen Fahrzeuge deutlich höher ist, lässt sich die Energieeinsparung nicht beziffern.



Folgende **Hersteller** wurden zum oberleitungsfreien Betrieb von **Oberleitungsbussen** befragt:

- Vossloh Kiepe
- Hess
- Solaris
- van Hool

Vossloh Kiepe ist ein Systemlieferant für die elektrische Ausrüstung der Fahrzeuge, dessen Fahrzeugkomponenten in Batteriebusen, Hybridbusen und Oberleitungsbussen zum Einsatz kommen. Vossloh Kiepe arbeitet im Konsortium mit verschiedenen Fahrzeugherstellern zusammen.

Entscheidend für das Batteriemangement sind

- Fahrzeugausstattung / Fahrgastkapazität
- fahrdynamischen Anforderungen
- Streckenprofil
- Nachladeverfahren

Ein technisch zuverlässiger oberleitungsfreier Betrieb ist nach Angaben von Vossloh Kiepe auf bis zu 10 km realisierbar. Für einen Gelenkbus gibt Hess eine technisch zuverlässige Umsetzung des oberleitungsfreien Betriebes auf 6 km an.

Auch Solaris und Van Hool bestätigen die technische Umsetzungsmöglichkeit des oberleitungsfreien Betriebes durch die fahrzeugseitige Installation von Batterien. Solaris Oberleitungsbusse der ATAC Rom fahren seit 2004 streckenweise eine Distanz von 3 km oberleitungsfrei. Nach heutigem Entwicklungsstand ist die Überwindung einer Distanz von 5 - 7 km technisch und wirtschaftlich realisierbar.

In Deutschland haben noch drei **Verkehrsbetriebe** aktive **Oberleitungsbuslinien**:

- Stadtwerke Solingen
- Barnimer Busgesellschaft mbH Eberswalde
- Städtischer Verkehrsbetrieb Esslingen am Neckar

Der oberleitungsfreie Betrieb in Solingen erfolgt mit Hilfe von Dieselaggregaten. Zum Zeitpunkt der Fahrzeuganschaffung war ein Batteriebetrieb über die geforderte Distanz nicht technisch realisierbar. Das automatische An- und Abdrähten funktioniert größtenteils problemlos.

Der in Eberswalde seit Juni 2012 erprobte Solaris Trollino 18 ausgestattet mit einer Lithium-Ionen Batterie hat die gestellten Erwartungen bisher positiv erfüllt. Die Batteriekapazität beträgt 72 kWh. Laut Herstellerangaben wird somit eine Reichweite von 5 km erreicht. Der Betreiber zieht als Fazit: Längere oberleitungsfreie Strecken können befahren werden. Die Distanz von etwa 4 km bei einer Streckenlänge von etwa 18 km eignet sich jedoch am besten für die Lebensdauer der Batterie.



In Esslingen ist eine oberleitungsfreie Streckenerweiterung über 4 km (hin und zurück) mit Hilfe von Batterien vorgesehen. Dabei sei die technische Umsetzung durch verschiedene Hersteller zuverlässig möglich. Ein partielles Oberleitungsbusnetz gilt als Wegbereiter für die Elektromobilität. Die Oberleitung dient in diesem Fall der Nachladeinfrastruktur.

Insgesamt sind das Forschungsgebiet „Elektromobilität“ und das Forschungsgebiet des oberleitungsfreien Betriebes (An- und Abdrähten der Oberleitung und alternative Energieversorgung) sehr aktiv und viel versprechend. Im Rahmen dessen kommt den Energiespeichern und der Elektroinfrastruktur eine große Bedeutung zu.

In Bezug auf den oberleitungsfreien Betrieb kann basieren auf der Marktanalyse folgende These formuliert werden:

- **These 1**  
2018/2020 ist ein technisch ausgereifter und zuverlässiger oberleitungsfreier Betrieb auf Teilabschnitten der Systemalternativen Straßenbahn und Oberleitungsbus möglich.
- **These 2**  
Aufgrund der neuesten technischen Entwicklungen erscheint für Osnabrück der oberleitungsfreie Betrieb mittels Energiespeichern die sinnvollere und bessere Alternative darzustellen. Die Kosten für den oberleitungsfreien Betrieb beider Systemalternativen Straßenbahn und Oberleitungsbus sind daher als vergleichbar anzunehmen.

### 3.3 Maßnahmen zur Schadstoffreduktion bei Dieselnissen

#### 3.3.1 Schadstoffbildung bei der konventionellen Dieselerbrennung

Bei der Verbrennung von Dieselmkraftstoff (kohlenstoffhaltiger Kraftstoff) kommt es grundsätzlich zur Entstehung folgender Schadstoffe:

- Kohlenstoffmonoxid (CO)
- Kohlenwasserstoff (HC)
- Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>)
- Rußpartikel
- Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)

**Kohlenstoffmonoxid (CO)** ist ein starkes Atemgift. Es entsteht bei der unvollständigen Verbrennung von Diesel, kann zu Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) oxidieren und so zum Treibhauseffekt beitragen. Bei der dieselmotorischen Verbrennung tritt es im Abgas zwar in sehr geringen Konzentrationen auf und der Anteil konnte durch den Einsatz von Oxidationskatalysatoren in der Vergangenheit deutlich gesenkt werden, der Fahrzeugverkehr ist dennoch größter Verursacher von CO-Emissionen.

Die Entstehung von CO hängt stark von dem Gesamtluftverhältnis und der Prozessführung der Verbrennung ab.



**Kohlenwasserstoff (HC)** ist ein umweltschädigendes Abgas, das ebenfalls bei unvollständiger Verbrennung von Diesel entsteht. Das dazugehörige Methan besitzt z.B. einen erheblichen Treibhausgaseffekt. Der Ausstoß konnte hier auch durch Oxidationskatalysatoren gesenkt werden und der Fahrzeugverkehr trägt mittlerweile einen deutlich geringeren Anteil der HC-Emissionen.

Die Entstehung von HC wird durch das Gesamtluftverhältnis beeinflusst. Weitere Emissionen resultieren aus dem Ölschmierfilm, der unverbrannt ins Abgas gelangt.

**Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>)** können zu einer Reizung und Schädigung der Atmungsorgane führen, tragen als klimawirksame Gase zur Erderwärmung bei und haben Smogbildung und sauren Regen zur Folge. Eine Reduktion des Ausstoßes an NO<sub>x</sub> ist durch den Einsatz von NO<sub>x</sub> – Speicherkatalysatoren und selektive katalytische Reduktion möglich. Auch mit diesen Maßnahmen trägt der Fahrzeugverkehr jedoch weiterhin zu einem hohen Grad der NO<sub>x</sub> – Emission bei.

NO<sub>x</sub> entstehen in der motorischen Verbrennung (sehr hohe Temperaturen) durch die Reaktion von Stickstoff (N) mit Sauerstoff (O). Von entscheidender Bedeutung ist hierbei die Art des Brennverfahrens.

**Ruß** besteht überwiegend aus Kohlenstoff. Es ist gesundheitsschädigend, krebserregend und klimawirksam. Partikelfiltersysteme tragen zum Senken des Rußausstoßes bei. Die Entstehung von Rußpartikeln ist in der Diskussion um Dieselmotoren schwerwiegend.

Ruß entsteht insbesondere bei der Verbrennung unter extremen Luftmangel bei hoher Temperatur und bei einer Annäherung an das stöchiometrische Luftverhältnis (Massenverhältnis zwischen Kraftstoff und Luft für eine vollkommene Verbrennung). Ruß ist ein typisches, unerwünschtes Nebenprodukt von Dieselmotoren. Eine spätere Oxidation von Ruß ist möglich. Die Rußbildung steht in Abhängigkeit zu dem lokalen Luftverhältnis, der Temperatur, dem Druck und der Kraftstoffstruktur.

**Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)** ist ein giftiges, gesundheitsschädigendes Gas und auch umweltschädlich. Es ist in hohem Maße für die Luftverschmutzung verantwortlich und verursacht wie Stickstoffoxide den sauren Regen. Eine Senkung des Ausstoßes dieses Schadstoffes kann über niedrige Schwefel-Anteile bei der Dieselherstellung erzielt werden. Der Schwefel-Anteil in Diesel ist sehr gering.

Diesel ist ein schwefelhaltiger Kraftstoff, so dass es bei der Verbrennung von Diesel zu SO<sub>2</sub> – Emissionen kommt. SO<sub>2</sub> verbindet sich mit dem Verbrennungswasser im Abgas zu schwefelhaltiger Säure.

### 3.3.2 Allgemeine Darstellung der Schadstoffreduktionsmaßnahmen

Die Maßnahmen zur Reduktion von Schadstoffen können in motorische Maßnahmen und Abgasnachbehandlungsmaßnahmen unterteilt werden. Motorische Maßnahmen wirken sich mindernd auf die Entstehung von Schadstoffen während des Verbrennungsprozesses aus. Abgasnachbehandlungsmaßnahmen haben eine Reduktion der Schadstoffe im Abgas durch chemische Reaktionen oder Filter zum Ziel. Neben diesen Maßnahmen kann eine Veränderung des Kraftstoffs zusätzlich zu besseren Emissionswerten führen.



Die **motorischen Maßnahmen** werden anhand der folgenden Aspekte dargestellt:

- Luftverhältnis
- Einspritzung
- Abgasrückführung
- Brennverfahren
- Weitere kombinierte Maßnahmen

### **Luftverhältnis**

Die konventionelle Dieselerbrennung ist durch eine inhomogene Verteilung von Luft und Kraftstoff gekennzeichnet. Eine Reduktion der Emissionen durch eine optimale Einstellung des Gesamtluftverhältnisses ist daher naheliegend, jedoch nicht unproblematisch. Bei Dieselmotoren wird die Lastregelung durch eine Änderung des Luftverhältnisses geregelt und eine Erhöhung des Luftverhältnisses führt in bestimmten Betriebspunkten zu Leistungseinbußen. Somit entsteht ein Zielkonflikt zwischen der höchstmöglichen Leistung und niedrigerer Emissionswerten.

### **Einspritzung**

Dieselmotoren sind überwiegend direkteinspritzende Motoren, die den Kraftstoff mit hohem Druck in komprimierte Luft einspritzen. Eine Emissionsoptimierung kann durch Einflussnahme auf die Gemischbildung und den Brennverlauf, welche über verschiedene Maßnahmen und Änderungen am Einspritzsystem und -zeitpunkt möglich sind, erreicht werden.

Bspw. wird die  $\text{NO}_x$  – Emission bei hohen Temperaturen begünstigt und die Maximaltemperatur kann durch einen späteren Einspritzzeitpunkt gesenkt werden. Hierbei entsteht jedoch ein Zielkonflikt zur Rußemission. Des Weiteren beeinflusst die Einspritzung die Gemischbildung und die Verbrennung, worüber ebenfalls niedrigere Emissionswerte erzielt werden können. Eine möglichst schnelle Gemischbildung sollte stattfinden, so dass ein Luftverhältnis oberhalb der Rußbildung und unterhalb der  $\text{NO}_x$  – Bildung erreicht werden kann. Die Anforderung besteht darin, den Kraftstoff genau zum richtigen Zeitpunkt und in der richtigen Menge zuzuführen.

Die Emissionsoptimierung erfolgt über verschiedene Maßnahmen in diesem Bereich, wie z. B.:

- Erhöhung des Einspritzdrucks
- „rate shaping“ und „boot injection“
- Mehrfacheinspritzung
- Optimierung des Strahls und der Spritzlochgeometrie der Einspritzdrüsen



## Abgasrückführung

Mittels Abgasrückführung in den Verbrennungsraum kann eine Reduktion der  $\text{NO}_x$  – Emission durchgeführt werden. Die Zugabe von Inertgas, einem reaktions-trägem Gas, in den Hochdruckprozess führt zu einer Aufteilung der erzeugten Energie auf eine größere Masse und bewirkt auf diese Weise eine niedrigere Verbrennungstemperatur, wodurch niedrigere  $\text{NO}_x$  – Emissionswerten verursacht werden. Die deutliche Reduktion der  $\text{NO}_x$  – Emission fördert jedoch die Bildung von Rußpartikeln, da aufgrund des reduzierten Sauerstoffgehaltes eine Abnahme der Rußoxidation resultiert. Unter niedrigeren Temperaturen folgt zudem ein Anstieg des CO und HC.

## Brennverfahren

Wie bei der Einspritzung kann über die Brennraum- und Kanalgestaltung Einfluss zur Emissionsoptimierung genommen werden. Relevant sind auch an dieser Stelle die Gemischbildung und die Art der Verbrennung.

Eine gute Gemischzugänglichkeit des Brennraums führt zu niedrigen Schadvolumen (Schadvolumen: schlechte Durchmischung von Kraftstoff und Luft) im Zylinder. Betreffend eine gute Gemischbildung ist die Gestaltung eines abgestimmten Drallniveaus wichtig. Auch eine Verringerung des Verdichtungsverhältnisses führt zur sinkenden Zylindertemperatur bei der Kompression. Das Ergebnis dieser Maßnahmen ist eine signifikante Reduktion der  $\text{NO}_x$  – Emission, jedoch ist die Rußbildung zu berücksichtigen.

Weitere Ansatzmöglichkeiten bestehen in der angepassten Kolbengeometrie an den Kraftstoffstrahlverbrauch und der Homogenisierung (bzw. Teilhomogenisierung) des Brennverfahrens. Eine homogene Verbrennung des Kraftstoffs wird durch eine vollständige Vermischung zwischen Kraftstoff und Luft erreicht und erzielt eine deutliche Verbesserung der Emissionen von  $\text{NO}_x$  und Rußpartikeln.

## Weitere kombinierte Maßnahmen

Ein optimiertes Instationärverhalten durch elektronische Motorsteuerung ist aufgrund des häufigen Zielkonflikts hinsichtlich Emissionszielen, Verbrauch und Schwarzrauch notwendig. So kann ein elektronisches Motorsteuergerät aus Eingangsdaten wie Fahrpedalstellung, Motordrehzahl, usw. für unterschiedliche Betriebspunkte eine optimale Einstellung von Einspritzzeitpunkt, -menge, Abgasrückführrate usw. vornehmen und so das instationäre Verhalten verbessern.

Die verschiedenen Schadstoffreduktionsmaßnahmen können zu Zielkonflikten zwischen der Emissionssenkung eines Schadstoffs und der Emissionszunahme eines anderen Schadstoffes führen. Insbesondere wird der **Zielkonflikt zwischen  $\text{NO}_x$  und Ruß** diskutiert. Ebenfalls können sich durch Schadstoffreduktionsmaßnahmen Einschränkungen in der Leistungsfähigkeit ergeben.

Die meisten momentan verwendeten **Abgasnachbehandlungssysteme** beschränken sich auf die Oxidation von Abgaskomponenten und Partikelfilter.



## Oxidationskatalysatoren

Die Wirkungsweise besteht in der chemischen Umwandlung der Schadstoffe (CO, HC, NO<sub>x</sub>) in ungiftige Stoffe durch Oxidation bzw. Reduktion. Durch die Verwendung von Abgaskatalysatoren können die Oxidationstemperaturen stark gesenkt werden und somit die Oxidation beschleunigt werden. Dies ist insbesondere für die Oxidation von CO und HC besonders hilfreich. Die Reduktion der NO<sub>x</sub> – Emission erfolgt u.a. über selektive katalytische Reduktion (SCR-Katalysatoren) oder Stickoxidabsorber. Bei den SCR-Katalysatoren wird eine wässrige Harnstofflösung (AdBlue) in den Abgasstrom eingespritzt, aus dem das entstehende Ammoniak die NO<sub>x</sub> reduziert.

## Partikelfilter

Partikelfilter werden v. a. als regenerative Rußfilter zur Reduktion der Rußemission verwendet. Dabei fließt das Abgas durch poröses Material, wobei die Partikel durch Diffusion, Absorption und Sperrereffekte gefiltert werden. Die Partikel werden aufgrund der geringen Porendurchmesser im Filter aus dem Abgas ausgesiedet. Der Wirkungsgrad der Filter ist abhängig von der Größe der Poren und der Zusammensetzung der Partikel. Gasförmige Schadstoffe, wie CO und HC, die sich aufgrund ihrer hohen Siedetemperatur nicht verfestigen, können nicht ausgefiltert werden.

## Kombinierte Maßnahmen

CRT-Systeme bestehen aus einem platinhaltigen Oxidationskatalysator und einem Rußfilter. Im ersten Schritt reagiert, neben einer nahezu vollständigen Oxidation von CO und HC, Stickstoff im Katalysator mit Sauerstoff zu Stickstoffdioxid. Im nachgeschalteten Rußfilter wird dieses Stickstoffdioxid zur Oxidation des Rußes verwendet. Diese Reaktion macht eine hohe Menge von Stickstoffoxiden im Abgas notwendig, was den Einsatz auf Nutzfahrzeuge beschränkt, da für PKWs die vom Gesetzgeber angegebenen Höchstgrenzen überschritten werden würden. Die Konvertierungsrate der CRT-Systems ist von der Temperatur abhängig, weshalb für eine optimale Konvertierung ein Temperaturintervall notwendig ist. Voraussetzung für den Betrieb ist ein Kraftstoff mit niedriger Schwefelkonzentration.

Durch Abgasnachbehandlungssysteme kann die Schadstoffemission maßgeblich gesenkt werden, jedoch können diese auch Leistungseinschränkungen sowie Verbrauchssteigerungen bewirken.

### 3.3.3 Ergebnis der Marktanalyse Schadstoffreduktionsmaßnahmen

Die Marktanalyse hat zahlreiche vielversprechende Ansätze zur Schadstoffreduktion bei Dieselmotoren aufgezeigt.

Zur Beurteilung der technischen Umsetzungsmöglichkeiten von **Schadstoffreduktionsmaßnahmen** liegen uns Aussagen der folgenden **Hersteller** vor:

- Solaris
- Daimler Buses / EvoBus



Von dem Hersteller Volvo Busse erfolgte keine Stellungnahme zu den angefragten Themengebieten.

Sowohl Solaris als auch EvoBus gehen in die Serienproduktion der Fahrzeuge mit einem Euro-6- bzw. Euro VI-Motor. Gemäß Angaben von EvoBus macht die Schadstoffreduktion eine Senkung der Partikelmenge um 66 % und der Stickoxide um 80 % gegenüber Euro V-Motor aus.

Im Hinblick auf die Machbarkeitsstudie ÖPNV Osnabrück kann folgende These formuliert werden:

▪ **These 3**

Die Schadstoffreduktionsmaßnahmen sind grundsätzlich vielversprechend, ihr Wirkungsgrad ist jedoch begrenzt. Es ist davon auszugehen, dass die anvisierte Senkung der Emissionen alleine mit diesen Maßnahmen auch langfristig nicht erzielt werden.

### **3.4 Maßnahmen zur Verbrauchsminimierung bei Dieselnissen**

#### **3.4.1 Allgemeine Darstellung der Verbrauchsminimierungsmaßnahmen**

Weniger Verbrauch bedeutet auch weniger Schadstoffe. Um Maßnahmen zur Minimierung des Kraftstoffverbrauchs zu finden, muss man die verschiedenen Einflüsse auf den Verbrauch betrachten. Der Streckenverbrauch ist vom Kraftstoff selber, von den Fahrwiderständen, von dem Wirkungsgrad des Antriebes sowie der Fahrweise abhängig.

#### **Verbrauchsminimierung durch Beeinflussung der Fahrwiderstände**

Der Radwiderstand kann u.a. durch die Einsatz von Reifen mit einem reduzierten Rollwiderstand oder eine Erhöhung des Reifendrucks gesenkt werden.

Der Luftwiderstand eines Fahrzeugs ist abhängig von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs (quadratisch abhängig), des Luftwiderstandsbeiwertes und der Querschnittsfläche des Fahrzeugs. Senkungen des Luftwiderstandsbeiwertes lassen sich durch die Materialwahl und die Fahrzeugform beeinflussen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die bei Bussen oft groß ausfallenden Außenspiegel durch Kameras zu ersetzen und so den Luftwiderstandsbeiwert zu senken. Durch eine veränderte Formgebung bei der Querschnittsfläche kann der Verbrauch ebenfalls gesenkt werden.

Eine der am häufigsten in Betracht gezogenen Maßnahmen, die auch Einfluss auf die meisten Widerstände hat, ist jedoch die Gewichtsreduzierung. Dazu werden hauptsächlich drei Strategien verfolgt:

- Verwendung von Materialien mit geringerem spezifischen Gewicht
- Konstruktive Änderungen in der Karosseriebauweise
- Downsizing des Motors

Die Verwendung von Materialien mit geringerem spezifischem Gewicht muss gewährleisten, dass diese auch für die gleichen technischen Anwendungen geeignet sind. Oft werden Stahl und andere schwere Metalle durch Aluminium, Magnesium und Kohlenfaserverbundstoffe ersetzt. Besonders bei der hohen





Anzahl an Sitzplätzen lässt sich z. B. durch Leichtbausitze eine Gewichtseinsparung realisieren.

Die konstruktiven Änderungen in der Karosseriebauweise bestehen darin, an Stelle schwerer Einzelteile ein Skelett aus geschlossenen Hohlprofilen zu verwenden. Auf diese Weise soll Material und letztendlich Gewicht eingespart werden.

Downsizing des Motors bedeutet, den Austausch von großen Motoren durch kleinere Motoren mit gleicher Leistungsfähigkeit (deutliche Effizienzsteigerung). Hierbei kommt es auch oft zur Anwendung eines Turboladers, Reduzierung der Zylinderzahl und des Hubraums sowie der Verwendung von glatteren Werkstoffen und Leichtlaufölen, um die innere Reibung zu senken. Dadurch wird auch der Wirkungsgrad des Antriebs gesteigert.

Durch leichtere Bauteile im Motor und am Antriebsstrang selber lassen sich auch Beschleunigungswiderstände senken, da die leichtere Masse die Trägheit der sich translatorisch und rotatorisch bewegenden Bauteile mindert. Dennoch sollte darauf geachtet werden, dass die Ersatzmaterialien der mechanischen Belastung standhalten und die Lebensdauer des Fahrzeuges nicht verkürzen.

### **Verbrauchsminimierung durch Erhöhung des Wirkungsgrads des Antriebsstrangs**

Die Erhöhung des Wirkungsgrades des Antriebsstranges beinhaltet die Zielsetzung, die mechanische Energie möglichst verlustfrei weiterzugeben. Ein möglichst hoher Wirkungsgrad in gesamten Antriebsstrang soll erreicht werden.

Ein Schritt zur Verbrauchsminimierung wurde in den meisten Bussen bereits realisiert. Durch die Verwendung von automatischen Getrieben mit verbrauchsgünstiger Auslegung wird der Motor immer im verbrauchsgünstigen Bereich betrieben. Erschwert wird dies bei Bussen durch die ständige Änderung der Fahrgastanzahl, was auch einen deutlichen Unterschied im Gewicht und somit in der benötigten Leistung ausmacht. Ein elektronisches Motorsteuergerät, das die Betriebspunkte hinsichtlich optimalen Verbrauchs auf verschiedene Lasten regelt, ist hier sinnvoll.

Weiter kann Verbrauchsminimierung mit der Einsparung von Nebenaggregaten wie Heizung, Klimaanlage, Servolenkung, usw. ein deutlich geringerer Kraftstoffverbrauch erzielt werden. Dies ist bei Bussen aber sofern kompliziert, da ein möglichst hoher Grad an Komfort für den Fahrgast angeboten werden soll. Dennoch kann man Nebenaggregate wie eine elektrische Servolenkung nur dann betreiben, wenn es wirklich erforderlich ist.

Darüber hinaus kann ein zusätzlich eingebauter Wärmespeicher den höheren Verbrauch in der Kaltstartphase senken.

Ebenfalls besteht die Möglichkeit zur Verbrauchsminimierung mittels der Start-Stop Funktion (Hybridtechnologie). Durch den Einbau einer elektrischen Batterie lassen sich Bremskraftrückgewinnung und Energieeinsparung realisieren. Das erhöhte Gewicht durch die zusätzlichen Bauteile, insbesondere der Batterie macht eine vorherige Einschätzung, der Sinnhaftigkeit dieser Maßnahme erforderlich.



## Verbrauchsminimierung durch die Fahrweise

Eine Betrachtung des Gesamtverkehrs kann grundsätzlich zur Verbrauchsminimierung beitragen. Auch gezielte Schulungen des Fahrpersonals können auf eine verbrauchsgünstige Fahrweise einen positiven Beitrag leisten.

Über die Verkehrsregelung, ÖPNV-Bevorrechtigung an Lichtsignalanlagen und im Bereich der Haltestellen sowie Bussonderfahrstreifen können Geschwindigkeitsverluste und unnötiges Abbremsen und Anfahren vermieden werden.

Diese flankierenden Maßnahmen tragen zwar deutlich zur Senkung der Emissionen im ÖPNV bei, können jedoch umfangreich oft nur als begleitende Maßnahmen ausschließlich bei einer Systemneueinführung umgesetzt werden.

### 3.4.2 Ergebnis der Marktanalyse Verbrauchsminimierung

Die bereits hinsichtlich der Maßnahmen zur Schadstoffreduktion bei Dieselsebussen kontaktierten **Hersteller** Solaris und Daimler Buses / EvoBus wurden auch zum Thema der **Verbrauchsreduzierung** befragt.

Nach Aussagen von Solaris und EvoBus können die technischen Optionen bei konventionellen Dieselfahrzeugen die Effektivität des Kraftstoffeinsatzes deutlich steigern.

Solaris arbeitet aktiv an fahrzeugseitigen Maßnahmen zur Verbrauchsminimierung unabhängig von der Antriebstechnik. Der Fokus liegt auf der Gewichtsreduzierung, die durch innovative Materialnutzung erreicht wird. Diese sich zurzeit in der Entwicklung befindlichen Maßnahmen werden mit der neuen Generation der Urbino-Stadtbusse in die Serienfertigung übergehen.

Darüber hinaus werden Einsparungen durch die Nutzung von Telematik erzielt. Hierbei werden dem Fahrpersonal konstant Informationen zu aktuellem Energiebedarf und zu allgemeiner Fahrqualität gegeben. Britische Flottenbetreiber verzeichnen durch den Einsatz derartiger Systeme eine Einsparung von 5 % des Kraftstoffverbrauchs.

Im Rahmen der BlueEfficiency Power des Euro VI-Motors von EvoBus erfolgt ebenfalls eine Verbrauchsminimierung.

In Anlehnung an die These 3 können für die Maßnahmen zur Verbrauchminimierung folgende Thesen aufgestellt werden:

- **These 4**  
Zur Verbrauchminimierung tragen zahlreiche Maßnahmen bei. Der Wirkungsgrad dieser Maßnahmen ist begrenzt. Es ist davon auszugehen, dass die anvisierte Senkung der CO<sub>2</sub> – Emissionen auch im Verbund mit Schadstoffreduktionsmaßnahmen nicht erzielt wird.
- **These 5**  
Die Maßnahmen zur Verbrauchminimierung beschränken sich nicht auf den Standarddieselsebus, sondern haben auch bei alternativen Antriebstechniken einen hohen Stellenwert.



### 3.5 Alternative Antriebstechniken

#### 3.5.1 Hybridantriebe

Die sogenannten Hybrid Electric Vehicle (HEV) setzen sich aus einer Kombination von Verbrennungsmotor und elektrischer Komponente zusammen.

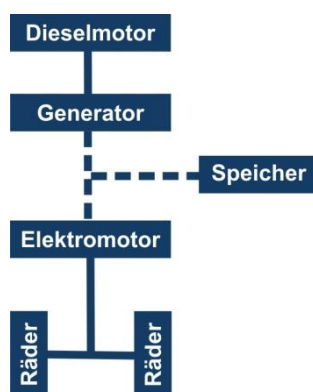
Hybridantriebe haben sich in dem letzten Jahrzehnt auf dem Fahrzeugmarkt durchsetzen können und finden sich bei vielen Fahrzeugherstellern im Sortiment. Vorteile dieser Ausstattung sind u.a. der variable Betriebspunkt des Verbrennungsmotors, d.h. dass der Verbrennungsmotor im Leerlauf stoppen kann und über den Elektromotor der Lastpunkt angehoben oder gesenkt werden kann. Des Weiteren ist eine Aufnahme und Zwischenspeicherung der Bremsenergie möglich. Hauptgrund der Forschung und Entwicklung in diesem Bereich war die Zielsetzung der Emissionsreduktion von Schadstoffen und das Lösen der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen.

Eine Gliederung der Hybridtechnologie kann in die vier folgenden Kategorien vorgenommen werden:

- Serieller Hybrid
- Paralleler Hybrid
- Kombiniertes Hybrid
- Leistungsverzweigter Hybrid

#### Serieller Hybrid

Kennzeichnend für den seriellen Hybrid ist die namensgebende Reihenschaltung der Energiewandler ohne mechanische Anbindung des Verbrennungsmotors an die Antriebsräder. Der Verbrennungsmotor treibt dabei den Generator an, welcher wiederum den elektrischen Betrieb und die Batterie mit Energie versorgt. Auch die Verwendung einer Brennstoffzelle anstatt des Verbrennungsmotors ist hier möglich. Die Kombination mit der Batterie ermöglicht eine Rückspeisung kinetischer Energie und eine Leistungsunterstützung bei Lastspitzen. Die vollständige mechanische Trennung führt zu einer größtmöglichen Freiheit bei der Wahl der Betriebsweise der Verbrennungskraftmaschine.



**Abbildung 18: Serieller Hybridantrieb**

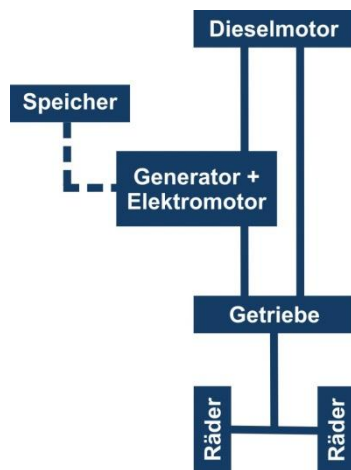
Quelle: in Anlehnung an HEAG MOBILO



Vorteil gegenüber den anderen Hybridantrieben bietet die mögliche Wahl von besonders verbrauchs- und emissionsgünstigen Betriebsbereichen. Aufgrund der doppelten Energiewandlung stellt sich jedoch ein gesamtenergetischer Nachteil gegenüber den anderen Hybrid-Antrieben ein. Daher hat sich die serielle Schaltung außer bei einer externen Ladung der Batterie („Range Extender“) nicht durchsetzen können.

### Paralleler Hybrid

Bei dem parallelen Hybrid sind sowohl der Verbrennungsmotor als auch der Elektromotor an die Antriebsräder gekoppelt. Infolgedessen können beide Antriebssysteme gleichzeitig oder einzeln verwendet werden. Es kann eine Leistungsaddition vorgenommen werden, was sich bei einer Downsizing Methode positiv bemerkbar macht, da der Verbrennungsmotor gewichtssparend ohne Leistungseinbußen beim Beschleunigen oder Befahren von Steigungen reduziert werden kann. Eine getrennte Anwendung ist besonders bei den verschiedenen Bedingungen zwischen Stadt- und Überlandfahrt sinnvoll. So kann man im Stadtverkehr bei kurzen Distanzen den Elektromotor und bei schnelleren Überlandfahrten den leistungsstärkeren Verbrennungsmotor verwenden. Jedoch werden bei der Konstruktion eines parallelen Hybrids eine mechanische Kupplung und ein Getriebe verwendet, welche bei einem seriellen Hybrid nicht notwendig sind. Die Leistungsaddition kann mechanisch über Drehzahladdition, Momentaddition oder Zugkraftaddition vollzogen werden (die Antriebe wirken auf verschiedenen Achsen).



**Abbildung 19: Paralleler Hybridantrieb**

Quelle: in Anlehnung an HEAG MOBILO

Der parallele Antrieb lässt sich ebenfalls nach der Größe und Leistungsstärke in drei Kategorien einteilen:

- Micro-Hybrid
  - Versorgung von elektrischen Verbrauchern
  - Start-Stopp – Funktion

- Mild-Hybrid
  - Drehmomentunterstützung beim Beschleunigen
  - Bremsenergieerückgewinnung
  - Leistungsunterstützung
- Full-Hybrid
  - Elektroantrieb

Je nach Auslegung der Batterie und der Stärke des Elektromotors können so verschiedene Anwendungen durch elektrische Energie ausgeübt werden.

### **Kombinierter Hybrid**

Der kombinierte Hybrid stellt eine Mischform zwischen dem seriellen und parallelen Hybrid dar. Der prinzipielle Aufbau entspricht der seriellen Struktur, jedoch ist hier durch die Schließung einer Kupplung, eine Zuschaltung des Verbrennungsmotors möglich, die eine direkte mechanische Leistungsübertragung an die Räder zulässt. Dies führt zu einer Verbesserung des Gesamtwirkungsgrades z. B. bei hohem Leistungsbedarf. Zudem kann ein paralleler Betrieb der Elektromaschine zu einer kurzzeitigen Erhöhung der Spitzenleistung führen. Ein rein elektrischer Betrieb ist ebenfalls möglich. Hierbei kann die elektrische Energie wie bei dem parallelen Antrieb vom Verbrennungsmotor über einen Generator oder ohne Energiewandlung direkt von der Batterie zur Verfügung gestellt werden. Der kombinierte Hybrid bietet einen höheren Wirkungsgrad als der serielle oder parallele Hybrid. Des Weiteren ist die implementierte Betriebsstrategie viel komplexer und die Anordnung des Verbrennungsmotors und des Generators ist aufgrund der direkten Koppelung an die Antriebsachse nicht mehr frei wählbar.

### **Leistungsverzweigter Hybrid**

Der leistungsverzweigte Hybrid stellt ebenfalls eine Mischform zwischen dem parallelen und seriellen Hybrid dar, ist jedoch weitaus komplexer. Ein Teil der Leistung des Verbrennungsmotors wird direkt mechanisch an die Räder übertragen, der restliche Teil wird z. B. über ein Planetengetriebe und zwei Elektromotoren an die Antriebsräder geleitet. Eine Batterie wird weiterhin als Energiespeicher verwendet. Der Verbrennungsmotor kann wie beim seriellen Hybrid drehzahl- und leistungsunabhängig betrieben werden. Aufgrund der direkten mechanischen Leistungsübertragung ist der Wirkungsgrad dennoch besser als beim seriellen Hybrid. Bei dem leistungsverzweigten Hybrid wird im Vergleich zum parallelen Hybrid das konventionelle Getriebe durch ein elektronisch geregeltes CVT-Getriebe ersetzt. Dies macht eine Verwendung des Verbrennungsmotors unter einer verbrauchsoptimierten Kennlinie möglich. Der Verbrennungsmotor erreicht ohne die typische Zwischenspeicherung von elektrischer Energie höhere Wirkungsgrade.

Eine weitere Unterscheidung kann nach der Anzahl an Verzweigungen zwischen Getriebe und elektrischen Maschinen vorgenommen werden.



## Range Extender und Plug-In

Zusätzlich seien an dieser Stelle noch die Verwendung elektrischer Komponenten als Range Extender und Plug-In genannt. Hierbei wird eine zusätzliche Erweiterung des elektrischen Leistungs- und Energiepfades vorgenommen.

Bisher war die Batterie nur als Zwischenspeicher genutzt worden, die durch den Verbrennungsmotor und Generatoren aufgeladen werden konnte. Die Bezeichnung Plug-In bedeutet, dass die Batterie extern geladen werden kann. Die Batterien haben eine größere Speicherkapazität und sind auch für einen reinen elektrischen Betrieb anwendbar. Das Konzept wird für den parallelen und leistungsverzweigten Hybrid verwendet. Das Fahrzeug wird rein elektrisch betrieben bis die elektrische Energie der Batterie aufgebraucht ist. Danach erfolgt ein direkter Antrieb durch den Verbrennungsmotor. Die Batterie dient dann wieder als Zwischenspeicher zur Bremsenergieerückgewinnung.

Der Range Extender macht einen weiteren Schritt zum reinen Elektrofahrzeug. Die elektronischen Maschinen und Batterien sind größer und leistungstärker, so dass ein rein elektrischer Betrieb für größere Strecken möglich ist. Der Verbrennungsmotor kann auch durch Brennstoffzelle und Wasserstofftank ersetzt werden.

Bei der Hybridtechnologie ist ein erhöhter Bauaufwand notwendig, was sich in erhöhten Kosten und zusätzlichem Gewicht widerspiegelt.

### 3.5.2 Elektroantrieb

Die Vorteile einer rein elektrischen Fahrweise gegenüber einem dieselbetriebenen Fahrzeug können folgenderweise beschrieben werden:

- hoher Wirkungsgrad des Antriebs
- lokal schadstofffreier Betrieb
- deutlich geringere Lärmerzeugung
- Unabhängigkeit zu fossilen Brennstoffen

### Elektromotoren mit Batterien

Hierbei kann zwischen zwei Varianten unterschieden werden:

- Variante 1:  
Die E-Maschine wandelt elektrische Leistung in mechanische um. Ein nachgeschaltetes Differential überträgt diese an die Räder.
- Variante 2:  
Die E-Maschine befindet sich direkt an den Rädern, ein zusätzliches Differential ist nicht notwendig.

Je nach gewünschter Leistung kann auch ein Planetengetriebe zwischengeschaltet werden. Zwischen dem Energiespeicher und dem Elektromotor ist eine Leistungselektronik notwendig, die den Gleichstrom der Batterie in Wechselstrom umwandelt und das Drehmoment und die Drehzahl des Motors lastbedingt regelt. Zu beachten ist, dass der Wirkungsgrad mit der abgegebenen Leistung variiert. Der höchste Wirkungsgrad wird bei einer hohen Nennleistung erreicht.



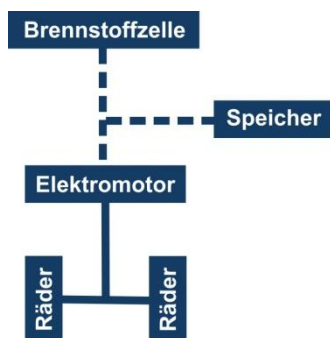
Energiespeicher sind in Form von Akkumulatoren, Doppelschichtkondensatoren und Rotationspeichern möglich. Sie werden punktuell an Ladestationen geladen.

Nachteile ergeben sich aus dem hohen Gewicht und der daraus resultierende Einschränkung in der Reichweite sowie dem geringen Lebenszyklus der Speichermedien und dem sehr hohen spezifischen Preisniveau.

### Elektromotoren mit Brennstoffzelle

Momentan befassen sich alle größeren Fahrzeughersteller mit der Forschung von Antrieben mit einer Brennstoffzelle. Dieses Forschungsgebiet wird bedingt durch den Umweltaspekt (keine umweltschädlichen Abgasemissionen) politisch stark gefördert. Sofern der Betrieb einer Brennstoffzelle nicht nur lokal emissionsfrei sein soll, muss die Herstellung des Wasserstoffs durch Elektrolyse mit Energien aus regenerativen Quellen stattfinden.

Der Hauptvorteil gegenüber dem elektrischen Betrieb mit einer Batterie liegt in der hohen Energiedichte des zum Antrieb verwendeten Wasserstoffs. In einer Brennstoffzelle werden die beiden Produkte Wasserstoff und Sauerstoff elektrochemisch zu Wasser zusammengefügt, dabei kann aufgrund eines Potentialdifferentials Strom für einen Verbraucher erzeugt werden (Elektrolyse). Als Abfallprodukte entstehen lediglich Wärme und Wasser.



**Abbildung 20: Brennstoffzellenantrieb**

Quelle: in Anlehnung an HEAG MOBILO

Momentan werden mit 4 kg Wasserstoff Reichweiten von bis zu 400 km erreicht (Angabe zum PkW Verbrauch), was umgerechnet einen ungefähren Verbrauch von 3,3 l Diesel auf 100 km entspricht. Zudem ist eine vollständige Befüllung des Tanks innerhalb von 3 Minuten möglich geworden. Neue Entwicklungen haben den Betrieb mit einer Brennstoffzelle zuverlässiger gemacht, so ist momentan der Kaltstart bei Temperaturen bis -25 C° kein Problem mehr. Der Wirkungsgrad beträgt etwa 60 %. Des Weiteren versprechen neue Konstruktionen von Hightech-Tanks eine viel einfachere Herstellung und Produktion.

Hauptprobleme bleiben die fehlende Infrastruktur und die Frage nach der Herstellung des Wasserstoffs.



### 3.5.3 Ergebnis der Marktanalyse Elektromobilität

#### Hybridbusse

Die Elektromobilität ist derzeit stark im Vormarsch. Dabei gelten die Hybridbusse als Übergang zum reinen Elektroantrieb.

Auch in diesem Bereich wird ein besonderes Augenmerk auf Maßnahmen zur Schadstoffreduktion und Verbrauchsminimierung gelegt. Die zuvor genannten **Hersteller** Solaris und Daimler Buses / EvoBus sind auch im Bereich der **Hybridtechnologie** aktiv und wurden entsprechend befragt.

Grundsätzlich bestätigt EvoBus die Schadstoffemissionsreduzierung sowohl der Motorschadstoffe als auch der Lärmbelastung durch die Hybridtechnologie. Diese ergibt sich insbesondere über die Verbrauchsminimierung.

Solaris beziffert die im Allgemeinen mögliche Senkung des Kraftstoffverbrauchs durch die Hybridtechnologie auf 15 – 20 %. Die mögliche Schadstoffsenkung wird im Folgenden dargestellt:

- Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im gleichen Maße (15 – 20 %)
- Senkung der NO<sub>x</sub>-Emissionen um 39 % gegenüber konventionellen Bussen
- Senkung der Partikel-Emissionen um 78 % gegenüber konventionellen Bussen
- deutliche Senkung der Lärmemissionen insbesondere beim Anfahren

Als Voraussetzung für einen effektiven Einsatz von Hybridbussen gelten die Untersuchung des Streckenprofils und die Anpassung der Technologie auf das zugrunde liegende Streckenprofil.

Viele Betreiber kritisieren jedoch den bisherigen Einsatz, da der Verbrauch mit der zusätzlichen technischen Ausstattung ggf. steigen kann. Als positiv können die bisherigen Erfahrungen des Verkehrsverbundes Rhein Ruhr (VRR) gewertet werden. Dort werden im Rahmen eines Förderprogramms von Hybridbussen 70 Hybridbusse eingesetzt. Die Erfahrungen können durchaus für die künftige Einführung von reinen Batterie- und Brennstoffzellenbussen genutzt werden. Die Rheinbahn AG Düsseldorf betont dagegen, dass sich die Hybridtechnik nicht durchgesetzt hat und nun elektrische betriebene Buse getestet werden. Als Übergangslösung propagiert die Rheinbahn AG die Leichtbaubusse.

Die Lärm- und Schadstoffemissionen konnten in unterschiedlichem Ausmaß verringert werden. Vergleich eines Hybridgelenkbusses zum konventionellen Gelenkbus:

- CO<sub>2</sub>-Emission +7,3 % bis -30,4 %
- NO<sub>x</sub>-Emission +12,7 % bis -29,2 %





## Batterie- und Brennstoffzellenbusse

Zu diesem Themenkomplex lagen vor allem Informationen folgender **Hersteller** vor:

- Solaris
- Daimler Buss / EvoBus
- van Hool

Die Weiterentwicklung zum reinen Elektroantrieb hängt von der technischen Entwicklung von Energiespeichern (insbesondere der Speicherkapazität und des Preises) ab. Die genutzte Elektroantriebstechnik entspricht der in Oberleitungsbusen und hat sich somit bewährt.

EvoBus macht keine Angaben zum Entwicklungsstand reiner Batteriebusse, da sich diese in der Entwicklung befinden und keine konkreten Angaben möglich sind.

Solaris entwickelt zusammen mit verschiedenen Technologiepartnern Batteriebusse. Nach aktuellem Stand ist Solaris entsprechen eigener Angabe in der Lage 210 kWh Speicherkapazität auf dem Fahrzeug zu installieren. Bei einem Verbrauch von 1,5 kWh/km (Annahme Standardbus) resultiert daraus eine Reichweite von 140 km. Allerdings empfiehlt der Hersteller beim Ladekonzept Zwischenladungen zu integrieren, um aus Kosten- und Gewichtsgründen die Batteriegröße zu verkleinern.

Die Wirtschaftlichkeit der Batterie lässt sich über die Lebensdauer dieser definieren. Die Lebensdauer der Batterie hängt von der Intensität und Anzahl der Ladungen ab und muss an die örtlichen Anforderungen abgestimmt sein. Aus diesen Anforderungen lässt sich auch die erforderliche Ladeinfrastruktur ableiten. Verschiedene Ladetechniken sind möglich:

- Plug-in-Steckverbindungen
- Primove von Bombardier (induktive Ladung)
- stationäre Oberleitung
- streckenweise Oberleitung

Zusätzliche Anforderungen bestehen laut Ansicht von Solaris lediglich in der Installation einer Ladeinfrastruktur und Umstellungen an die elektrische Antriebstechnik der Werkstatt (z. B. Schulungen des Personals). Grundsätzlich ist die elektrische Antriebstechnik weniger wartungsintensiv.

Van Hool glaubt an eine rasante Entwicklung der Elektromobilität. Diese soll sich in den kommenden drei Jahren verhältnismäßig stark durchsetzen. Mehrere Regionen in der Europäischen Union haben das Ziel ausgesprochen, bis 2025 nur noch Elektrobusse in der Innenstadt einzusetzen.

Weiter bestätigen die **Hersteller**

- Conrac
- Ekova Elektrik

die Verfügbarkeit von Batteriebusen.



Contract hat den e.cobus 2500 entwickelt, der rein durch elektrische Energie angetrieben wird. Seitens des Herstellers werden die folgenden Eigenschaften des e.cobus 2500 angegeben:

- 12,3 m lang und 2,55 m breit
- 23 Sitzplätze und 42 Stehplätze
- Höchstgeschwindigkeit: 89 km/h
- Batterie: Lithium Eisen Phosphat 150 kWh<sub>el</sub>, 1,5 t schwer, 5 Jahre Garantie
- Verbrauch: etwa 1 kWh/km
- Reichweite: 120 - 160 km
- Ladung: stationäre Schellladestation, Vollladung in etwa 3 Stunden

Ekova Electric verfügt über einen Batteriebus mit den folgenden Kenndaten:

- 10,4 m lang und 2,53 m breit
- 19 Sitzplätze und 66 Stehplätze
- Höchstgeschwindigkeit: 80 km/h
- Batterie: Lithium Ionen 170 kWh, 2 t schwer, Lebensdauer von 3.000 Ladezyklen
- Verbrauch: 0,87 kWh/km
- Reichweite: 140 km
- Ladung: Vollladung in 1 bis 8 Stunden
- Dieselheizung und elektrische Heizung

Beim Brennstoffzellenbus wird die elektrische Energie an Bord erzeugt. Van Hool stellt zwei Varianten vor:

- Hybrid Brennstoffzellenbus  
150 kW Brennstoffzelle und 8 Behälter mit einer Tragekapazität von 40 kg für eine Reichweite von 350 km
- Batteriebus mit einem Brennstoffzellenmodul als Rang Extender  
Kapazität der 1,5 t schweren Batterien von 200 kW

Auch EvoBus bietet den Citaro Brennstoffzellen Hybrid für einen Preis über 1 Mio. Euro an. Eine Reichweite von 300 km kann erreicht werden.

Zusätzliche Anforderungen bestehen in der Infrastruktur für die Bereitstellung des Wasserstoffes (z. B. Wasserstofftankstellen). Die Nachladung erfolgt in der Regel über Nacht, wofür die Fahrzeuge an das Stromnetz angeschlossen sein müssen. Weitere Aufwendungen sind für die Werkstattausrüstung und die Schulungen des Personals notwendig.



Im Folgenden werden die durchgeführten **Testeinsätze der Batteriebusse** zusammenfassend dargestellt:

Solaris Batteriebusse sind bereits in etwa 30 europäischen Städten testweise im Einsatz. Die Verfügbarkeit dieser liegt bei 80 % - 90 % bei den Testeinsätzen gemäß Angaben des Herstellers. Es treten keine wesentlichen Schwierigkeiten mit dem Antrieb oder den Batterien auf. Vereinzelt bestehen Probleme in der Kommunikation der Ladeinfrastruktur mit dem fahrzeugseitigen Energiemanagement.

Der e.cobus 2500 von Contract wurde von den Offenbacher Verkehrs-Betrieben im Linienbetrieb getestet. Der Testbetrieb dauerte lediglich nur einen Monat (November 2011). Das bestehende Betriebskonzept musste in Hinblick auf Fahr-, Umlauf- und Dienstplanungen angepasst werden und die Werkstatt auf die spezifischen Anforderungen der Elektromobilität vorbereitet werden. Im Linienbetrieb war die Leistung des Elektrobusses auf der definierten Umlaufstrecke problemlos verlaufen, jedoch ist die Reichweite von etwa 120 km für einen Tageszyklus zu gering. Als problematisch stellte sich die schwache Heizanlage heraus. Der Testbetrieb wurde Ende November aufgrund der unzureichenden Heizanlage für den starken Winter eingestellt.

Weiter befindet sich der e.cobus 2500 testweise am Stuttgarter Flughafen und in Helsinki im Einsatz. Hier liegt noch keine Auswertung des Testbetriebs vor.

Der Batteriebus des Herstellers Ekova Electric wird laut Hersteller in Ostrava (Tschechische Republik) seit August 2010 im Linienbetrieb eingesetzt. 75 km Fahrleistung (Energieverbrauch: von 100 % auf 68 %) werden vormittags erbracht, woraufhin die Batterie eine Stunde geladen wird. Am Nachmittag werden weitere 100 km Fahrleistung (Energieverbrauch: von 95 % auf 48 %) erbracht. Eine Vollladung bedarf fünf Stunden nach dem Tageseinsatz. Eine Stellungnahme des Betreibers konnte aufgrund fehlender Rückmeldung nicht eingeholt werden.

Van Hool führt zurzeit ein Pilotprojekt der Primove Technik in Brügge (Belgien) durch. Ab 2014 wird die Primove Technik auch in Mannheim von der Rhein-Necker-Verkehrsgesellschaft im Linienbetrieb getestet. Die für den Einsatz in Mannheim vorgesehenen Elektrobusse sind in Zusammenarbeit von Hess und Bombardier entwickelt.

Insgesamt hat Van Hool bereits 21 Hybrid Brennstoffzellenbusse in den USA und 27 Hybrid Brennstoffzellen in Europa an Verkehrsbereiter verkauft.

Im Hinblick auf die Machbarkeitsstudie ÖPNV Osnabrück kann folgende These formuliert werden:

▪ **These 6**

Die alternativen Antriebstechniken werden derzeit verstärkt erforscht und erprobt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass derzeit im Bereich des ÖPNV ein Testbetrieb sowie ein Linienbetrieb auf einzelnen, dafür geeigneten Linien möglich ist. Ein Netzbetrieb ist bis 2018/2020 mit großer Wahrscheinlichkeit nicht realisierbar. Im Prognosehorizont 2030 ist jedoch mit einer Serienreife im ÖPNV-Sektor zu rechnen.



## 4. Systemspezifische Anforderungen an den Straßenraum

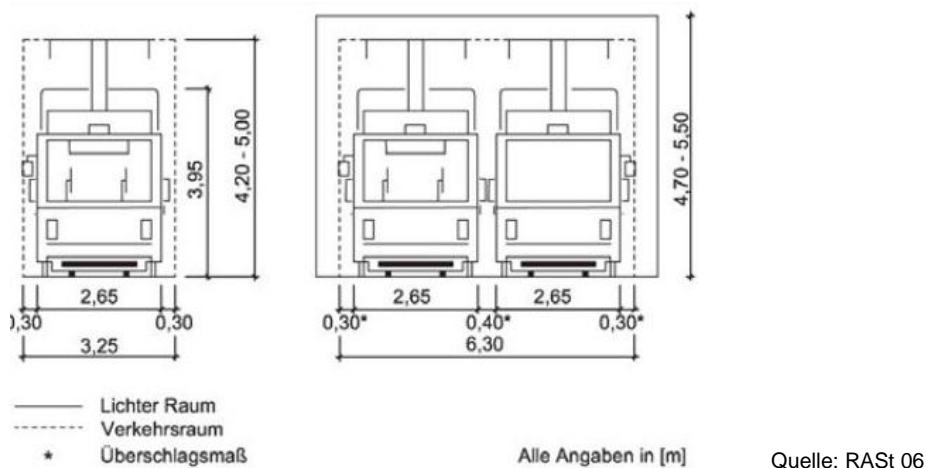
### 4.1.1 Verkehrsraum bei Straßenbahnen

Der Raumbedarf wird für ein Standardstraßenbahnfahrzeug gemäß Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen (RASt 06) dargestellt:

- Fahrzeuglänge: 30 m
- Fahrzeugbreite: 2,65 m
- Fahrzeughöhe: 3,50 m
- Einstiegshöhe: 0,25 m

Grundmaße für den Raumbedarf von Straßenbahnen ergeben sich aus den Verkehrs- und Sicherheitsräumen sowie den fahrzeugabhängigen Verbreiterungsmaßen bei Kurvenfahrten.

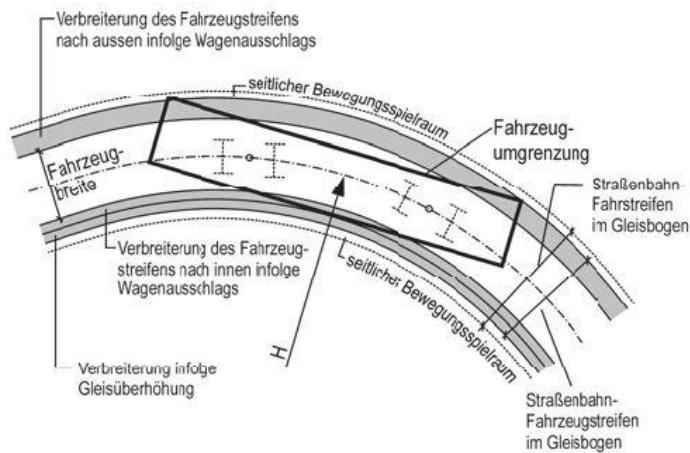
Die Fahrzeugbreite einer Straßenbahn beträgt i.d.R. 2,40 bis 2,65 m. Gemäß Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen (RASt 06) werden die in Abbildung 21 dargestellten Grundmaße bei dieser Fahrzeugbreite benötigt.



**Abbildung 21: Grundmaße für Verkehrsräume und lichte Räume von Straßenbahnen**

Unter den gegebenen Annahmen werden im Begegnungsfall für eine Straßenbahn 6,30 m Breite im Straßenraum benötigt. Der Sicherheitsraum beträgt dann 1,00 m. Bei Kurven sind ggf. an die örtlichen Gegebenheiten angepasste, fahrzeugabhängige Verbreiterungsmaße notwendig (vgl. Abbildung 22).

Grundsätzlich benötigen Straßenbahnen ein Mindestradius von 25 m. Kleinere Radien können fahrzeugabhängig auch gefahren werden, werden bei dieser Untersuchung jedoch nicht berücksichtigt.



Quelle: RASt 06

**Abbildung 22: Beispiel für die Verbreiterung der Verkehrsräume in Bögen**

Die lichte Höhe beträgt bei Straßenbahnen unter Berücksichtigung der Oberleitung 4,70 m bis 5,50 m. Im Verkehrsraum öffentlicher Straßen wird aber grundsätzlich eine Höhe von 5,50 m empfohlen. Diese Höhe ergibt sich aus der Erkenntnis, dass Schwerlasttransporte eine Höhe von ca. 5,00 m aufweisen können. Im Bereich von Engstellen (z.B. unter Bauwerken) kann die Höhe auf eine Mindesthöhe von 4,20 m verringert werden.

Bei einem oberleitungsfreien Betrieb sollte von einer Höhe von 4,00 m ausgegangen werden. Nach den Bestimmungen der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab) dürfen Straßenbahnfahrzeuge diese Höhe nicht überschreiten.

Neben den aufgezeigten Parametern ist bei Straßenbahnen auch die Steigung der Trasse relevant. Nach den Richtlinien für die Trassierung von Bahnen nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab-Trassierungsrichtlinien) soll die Längsneigung den Wert von 4 % nicht übersteigen. Im Ausnahmefall kann auch eine Längsneigung von 6 % realisiert werden. Stärkere Neigungen können nur bei entsprechender Auslegung der Fahrzeuge ausgeführt werden. Dies ist mit höheren Fahrzeuginvestitionskosten verbunden.

#### 4.1.2 Verkehrsraum von Linienbussen

Der Raumbedarf wird unter Annahme der folgenden Fahrzeugparameter beleuchtet:

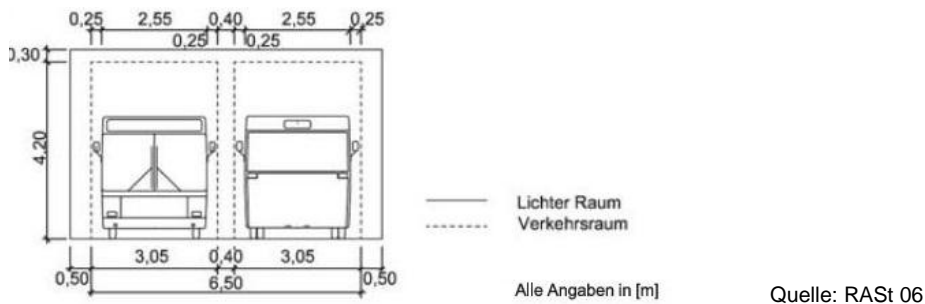
- Fahrzeuglänge: 12 m (Standardbus) / 18 m (Gelenkbus)
- Fahrzeugbreite: 2,55 m
- Fahrzeughöhe: 3,00 m
- Einstiegshöhe: 0,20 m



Die Verkehrsräume von Bussen ergeben sich aus den Fahrzeugbreiten und Bewegungsspielräumen für Begegnen, Vorbeifahren und Nebeneinanderfahren sowie den Sicherheitsräumen.

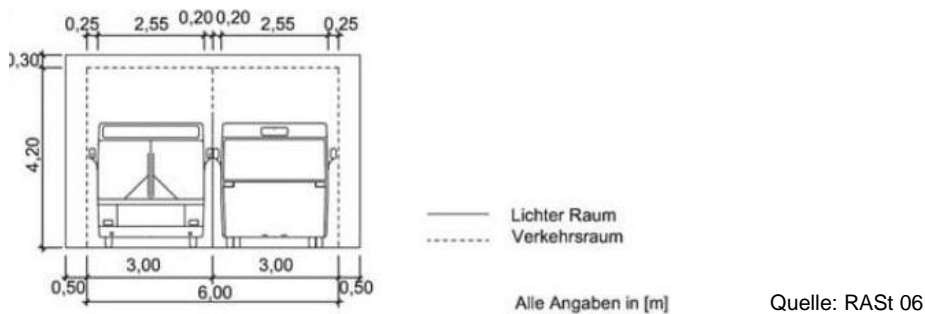
Bei einer Fahrzeugbreite von 2,55 m wird im Begegnungsfall unter Berücksichtigung der Bewegungs- und Sicherheitsräume (1,40 m) ein 6,50 m breiter Verkehrsraum benötigt.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die genauen Angaben gemäß Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen (RASt 06).



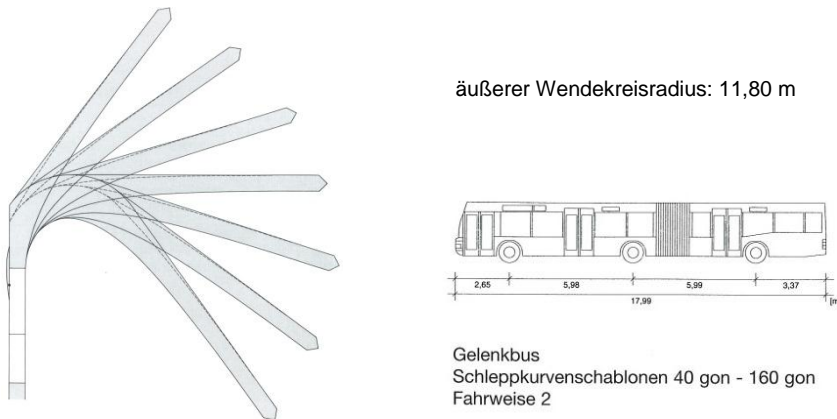
**Abbildung 23: Grundmaßen für Verkehrsräume und lichte Räume von Linienbussen**

Bei einer untergeordneten Rolle des ÖPNV, geringen Fahrzeugfolgen und somit geringer Begegnungswahrscheinlichkeit kann bei einer Einschränkung des Bewegungsraumes und dem Verzicht auf den Sicherheitsraum der Verkehrsraum auf 6,00 m reduziert werden (Abbildung 24). Dies führt jedoch zu einer Einschränkung der Geschwindigkeit.



**Abbildung 24: Mindestmaße für Verkehrsräume und lichte Räume von Linienbussen**

Für die Bemessung des Flächenbedarfs bei Kurvenfahrten werden entsprechende Schleppkurven verwendet. Abbildung 25 zeigt den äußeren Wendkreisradius eines Gelenkbusses.



**Abbildung 25: Schleppkurvenschablone 18 m langer Gelenkbus**

Quelle: FGSV Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Verkehrsflächen (Ausgabe 2001)

Im Gegensatz zur Straßenbahn bestehen bei Bussen bis auf herstellerspezifische Vorgaben keine Einschränkungen bezüglich der Längsneigung. Oberleitungsbusse werden z.B. auch in topographisch schwierigen Gebieten eingesetzt. Diese können eine Steigung von über 10 % bewältigen (Solingen).

An Engstellen (z.B. unter Bauwerken) sind für Standardlinienbusse die Höhenangaben der Bushersteller zu beachten. Bei den Oberleitungsbussen ist entsprechend die Oberleitung zu berücksichtigen. Diese erfordert eine mit der Straßenbahn vergleichbare Höhe (4,70 m bis 5,50 m). Für die Oberleitung beträgt hierbei die benötigte Mindesthöhe etwa 3,80 m (Erfahrungswert Solingen). Die Mindesthöhe im oberleitungsfreien Betrieb der Oberleitungsbusse liegt bei etwa 3,50 m.

#### 4.1.3 Haltestellen

##### Haltestellentypen

Bei öffentlichen Verkehrsmitteln werden im Straßenraum zusätzliche Flächen für den Fahrgastwechsel benötigt. Tabelle 4 zeigt eine Übersicht der verschiedenen Haltestellentypen. Grundsätzlich nehmen Haltestellen im ÖPNV-System eine bedeutende Rolle ein und gelten oft als das Aushängeschild.

**Tabelle 4: Übersicht Haltestellentypen**

Haltestelle	Bussystem	Straßenbahnsystem
am Fahrbahnrand ggf. mit Haltestellenkap	x	x
als Haltestellenbucht	x	
in Mittellage mit Haltestelleninsel	x	x
in Mittellage ohne Haltestelleninsel		x



In Seitenlage sind Haltestellen am Fahrbahnrand ggf. mit Haltestellenkap und Haltestellenbuchten möglich. Haltestellen am Fahrbahnrand stellen dabei die klassische Lösung einer Haltestelle dar. Die Wartefläche befindet sich in diesem Fall im Gehwegbereich.

Bushaltestellen am Fahrbahnrand entstehen prinzipiell durch Bereiche des Halteverbotes. Diese erfordern bei der Errichtung nur geringe bauliche Maßnahmen, oft müssen jedoch engere Platzverhältnisse im Gehwegbereich und Störungen durch falschparkende Fahrzeuge in Kauf genommen werden.

Die Haltestellenkaps, bei denen die Borsteinkante bzw. die Bahnsteigkante vom Gehwegbereich in Richtung Straßenmitte vorgezogen wird bieten zwar zahlreiche Vorteile für den ÖPNV, beeinflussen allerdings die Qualität des Verkehrsablaufs im motorisierten Individualverkehr.

Haltestellenkaps werden dennoch oft favorisiert, da sie

- Flächen für die Haltestellenausstattung schaffen,
- eine gute Verträglichkeit mit dem Fußgänger- und Radverkehr gewährleisten und
- sich der ruhende Verkehr funktionell und gestalterisch gut einordnen lässt.

Die Haltestellenbuchten befinden sich ebenfalls in der Seitenlage und kommen ausschließlich für ein Bussystem in Frage. Bushaltebuchten können bei starkem Individualverkehr entlang der Hauptstraßen und v. a. aus betrieblichen Gründen erforderlich sein. Diese Art der Haltestellenausprägung geht mit zahlreichen Nachteilen für den ÖPNV (z. B. Zeitverluste, Schwierigkeiten des parallelen Anfahrens) sowie einer problematischen städtebaulichen Integration (z. B. hoher, erforderlicher Platzbedarf im Straßenseitenraum) einher.

Die Haltestelleninseln können als Mittel- oder Seitensteige ausgeführt werden. Voraussetzung hierfür ist eine entsprechende Flächenverfügbarkeit. Die Haltestellen in Mittellage kommen bei Bussonderstreifen und besonderen bzw. unabhängigen Bahnkörpern vor.

Für ein Straßenbahnsystem können bei beengten Platzverhältnissen Haltestellen in Mittellage auch ohne eine Haltestelleninsel eingerichtet werden. Die Wartefläche befindet sich im Gehwegbereich. Unmittelbar vor dem Haltestellenbereich wird der Kfz-Verkehr bei Einfahren der Straßenbahn angehalten, um den Fahrgastwechsel zu ermöglichen (s.g. dynamische Zeitinsel). Bei diesem Haltestellentyp ist ein barrierefreier Ein- und Ausstieg nur durch zusätzliche Maßnahmen möglich. Eine Sonderform der dynamischen Zeitinsel-Haltestelle ist die Ausführung mit angehobener Fahrbahn. Durch die Anhebung wird eine deutlich verminderte bzw. barrierefreie Einstiegshöhe erzielt. Diese Art der Ausführung wird dann auch als überfahrbares Haltestellenkap bezeichnet.





## Haltestellenbreiten

Das konstruktive Maß für Haltestellen ergibt sich unter Berücksichtigung:

- der Vorgaben über eine nutzbare Breite von mindestens 1,50 m (freizubleibender Raum vor festen Aufbauten / Fahrgastunterstand und Bahnsteigkante),
- des erforderlichen Sicherheitsabstandes hinter dem Fahrgastunterstand bzw. dem Haltestellengeländer zu den benachbarten Verkehrsarten,
- der Art des Fahrgastunterstandes (üblicherweise 1,00 m bis 1,50 m Seitenwandbreite) und
- des Haltestellentyps sowie der Haltestellenlage.

Daraus ergeben sich Breiten von 2,50 m bis 3,50 m für Haltestellen im Seitenraum und 4,00 m bis 4,50 m für Haltestellen in Mittellage. Größere Breiten sind an Umsteigehaltestellen und an Haltestellen mit extrem hohen Fahrgastaufkommen zu empfehlen.

## Barrierefreier Einstieg

Bei einer barrierefreien Gestaltung ist ein Spaltmaß (Abstand zwischen Bahnsteigkante und Fahrzeugboden) von 5,00 cm empfohlen.

Die notwendige Bahn- / Bussteighöhe ergibt sich aus der Zielsetzung eines stufenfreien Zugangs. Demzufolge resultiert diese aus der vorgegebenen Einstieghöhe des Fahrzeugs. Als einheitliche Bahnsteighöhe können 25,00 cm festgelegt werden. In Zusammenhang des barrierefreien Anspruchs im Bussystem sollte die Bordsteinhöhe idealerweise bei etwa 20,00 cm liegen, wobei gerades Heranfahren zwingend erforderlich ist.

## Haltestellenlängen

Bei einem Straßenbahnsystem lässt sich die Länge der Haltestellen aus Bahnsteig, Rampe und Aufstellflächen der Querungen ableiten. Sind keine Rampen sowie keine Querung zu berücksichtigen, entspricht die Haltestellenlänge der Bahnsteiglänge. Diese ergibt sich aus der betrieblich notwendigen Anzahl gleichzeitig haltender Fahrzeuge und deren Längen. Für den Einsatz von 30,00 m langen Fahrzeugen in Einfach-Traktion ergibt sich somit eine Bahnsteiglänge von 30,00 m und für den Einsatz von Fahrzeugen in Doppel-Traktion eine Bahnsteiglänge von 60,00 m. Bei Neueinführung des Systems ist hinsichtlich der Weiterentwicklung zur Stadtbahn bzw. Stadt-Regional-Bahn die Ausbildung von 60,00 m langen Bahnsteigen zu empfehlen.

Die Bahnsteigzugänge weisen bei einer Ausführung als behindertengerechte Rampe (maximale Steigung 6 % und Bahnsteighöhe 25,00 cm) eine Länge von etwa 5,00 m auf.

Die Länge der Bushaltestellen hängt von der Art ihrer Ausführung in Bezug auf die betrieblichen Anforderungen ab. Im Allgemeinen sind Bushaltestellen auf die Fahrzeuglänge auszulegen. Unter den getroffenen Fahrzeugparametern werden somit 18,00 bis 20,00 m Länge im Seitenraum benötigt.



Für Haltestellen am Fahrbahnrand ohne vorgezogene Kaps ist eine Markierung auf der Fahrbahn in Länge des Fahrzeugs zuzüglich 20 m erforderlich. Befindet sich vor und hinter der Haltestelle angrenzender Parkraum, ist eine 88,70 m lange Markierung entsprechend der Busbuchten vorzunehmen. Busbuchten verlangen eine Tiefe von 3,00 m und bei barrierefreien Ausbau eine Länge von 88,70 m gemäß RAS 06.

Prinzipiell sind kombinierte Haltestellen von Bus und Straßenbahn möglich. Hierbei müssen die Haltestellenkanten besonders berücksichtigt werden, um einen niveaugleichen Einstieg beider Systeme sicherzustellen. Gemeinsame Haltestellen setzen eine Systemkonvergenz hinsichtlich der Fahrzeugeinstiegshöhe voraus. Bei nicht kompatiblen Höhen werden die Haltestellen versetzt angeordnet.

### Haltestellenabstände

Die Haltestellenabstände lassen sich anhand der Einzugsbereiche der Haltestellen ableiten. Entsprechend Tabelle 5 betragen diese 300 m bis 600 m.

**Tabelle 5: Einzugsbereiche (Luftlinie) von Haltestellen**

Oberzentrum mit den Gebieten	U-Bahn / S-Bahn / SPNV	Bus / Straßenbahn
Kernzone	400 m	300 m
Gebiet mit hoher Nutzungsdichte	600 m	400 m
Gebiet mit geringer Nutzungsdichte	1000 m	600 m

Für Stadtbahnen gilt je nach Verkehrsfunktion und Ausbaustandard der Wert für Straßenbahnen oder U-Bahnen.

Quelle: FGSV Empfehlungen für Planung und Betrieb des öffentlichen Personennahverkehrs (2010)

#### 4.1.4 Allgemeine Querschnittsbetrachtung

Maßgeblich für die Abmessung des benötigten Querschnitts ist die Führung im Verkehrsraum. Die Führung des ÖPNV ist grundsätzlich in der Fahrbahn konkurrierend mit dem Individualverkehr und auf abgegrenzten ÖPNV-Trassen möglich.

Bei Straßenbahnen kann zwischen einem straßenbündigen Bahnkörper, besonderen Bahnkörper und unabhängigen Bahnkörper unterschieden werden. Bei Bussen können Bussonderfahrstreifen eingerichtet werden.

Der straßenbündige Bahnkörper liegt mit seinen Gleisen in der Fahrbahn, die gemeinsam mit dem Individualverkehr genutzt wird. Eine Führung der Gleise in anderen Bereichen z. B. der Fußgängerzonen ist auch möglich. Da diese Führung meist Konflikte zwischen Individualverkehr und Straßenbahn bewirkt und demzufolge ein flüssiger Verkehrsablauf für den ÖPNV nicht grundsätzlich gegeben ist, soll diese Art der Führung nur dort angewandt werden, wo es aufgrund der straßenräumlichen Bedingungen nicht anders möglich ist.

Der besondere Bahnkörper liegt im Straßenraum durch Borde, Hecken, Baumreihen oder ähnliches vom übrigen Verkehr abgetrennt. Auf diese Weise wird insbesondere eine höhere Beförderungsqualität / -geschwindigkeit erreicht. Lediglich an Knotenpunkten ist eine plangleiche Kreuzung der Verkehrsarten gegeben.



Der unabhängige Bahnkörper ist aufgrund seiner Lage und Bauart vom übrigen Verkehr unabhängig geführt. Das bedeutet, dass auch Kreuzungen mit dem Individualverkehr planfrei ausgebildet oder durch Schranken gesichert werden müssen. Die Querschnittsabmessungen gegenüber dem besonderen Bahnkörper sind nahezu gleich. Für innerstädtische Straßenbahnen ist der Einsatz dieser Bahnkörper jedoch nicht sinnvoll.

Sonderfahrstreifen für den Busverkehr können in Mittel- sowie Seitenlage angeordnet sein. In Mittellage haben diese den Vorteil, dass Behinderungen durch widerrechtlich haltende Fahrzeuge z. B. durch den Lade- und Lieferverkehr nicht auftreten.

Bei Sonderfahrstreifen besteht die Möglichkeit der zeitlichen Begrenzung. Zudem gibt es die Art der partiellen Sonderfahrstreifen. Diese werden insbesondere an Knotenpunkten zur Stauraumumfahrung angewandt.

Grundsätzlich ist auch eine Mitbenutzung durch andere Verkehrsmittel des Sonderfahrstreifens möglich. Solch eine Mitbenutzung ist

- bei schwach belasteten Bussonderfahrstreifen, um deren Durchsetzbarkeit zu erhöhen,
- bei Überlagerung des Bus- und Radverkehrs, wenn unter Berücksichtigung der straßenräumlichen Bedingungen keine andere geeignete Lösung gefunden werden kann und
- wenn die Erreichbarkeit für Bus-, Rad- und notwendigen Kfz-Verkehr in ansonsten MIV-freien Straßen verbessert wird,

sinnvoll.

Eine deutliche Markierung des Sonderfahrstreifens kann durch Aufhellung (bzw. Einfärben) der Fahrbahnoberfläche oder durch einen Materialwechsel erreicht werden.

Ein ÖPNV-Sonderfahrstreifen mit gemeinsamer Nutzung durch Straßenbahn und Linienbus ist denkbar. Dies stellt jedoch einen Sonderfall dar und bedarf im Einzelnen einer Genehmigung gemäß BoStrab der Technischen Aufsichtsbehörde in Einvernehmen mit der Straßenverkehrsbehörde.

Für die Attraktivität eines leistungsfähigen öffentlichen Verkehrsmittels, sowohl der Straßenbahn als auch des Busses, ist von entscheidender Bedeutung, dass es über möglichst weite Abschnitte unabhängig vom Individualverkehr fahren kann. Laut Empfehlungen zur Straßenraumgestaltung innerhalb bebauter Gebiete (ESG 96) und laut der Richtlinie zur Anlage von Stadtstraßen (RASt 06) soll dabei jedoch der Anteil der Fahrfläche am Gesamtraum 40 % nicht übersteigen. Bei zu engen Straßenräumen muss daher durch andere geeignete Maßnahmen erreicht werden, dass der Individualverkehr den öffentlichen Verkehr möglichst wenig behindert.

Im Hinblick auf die Machbarkeit eigener ÖPNV-Trassen stellt die Straßenraumbreite das wesentliche Kriterium dar. Nach der Ermittlung der Nutzungsansprüche an die Straßenräume und unter Berücksichtigung der entwurfsprägenden Nutzungsansprüche werden die verschiedenen Anlagen im Straßenraum angeordnet. Tabelle 6 fasst die empfohlenen Querschnitte zusammen.



**Tabelle 6: Empfohlene Querschnitte für typische Entwurfssituationen**

Empfohlene Querschnitte für typische Entwurfssituationen				
Kategorie	Entwurfsprägende Nutzungsansprüche	Belastungsgrenze in [Kfz / h]	Straßenraumbreiten	
			Linienbus	Straßenbahn
Wohnweg	Aufenthalt	< 400	kein ÖPNV	
Wohnstraße	Radverkehr, Aufenthalt, Parken	< 400	≥ 11,0 m	-
Sammelstraße	Fußgänger-, Radverkehr	400 - 1.000	≥ 16,5 m	-
Quartierstraße	Fußgängerverkehr, Parken	400 - 1.000	≥ 16,5 m	-
		800 - 1.800	≥ 21,2 m	-
dörfliche Hauptstraße		400 - 1.000	≥ 11,5 m	-
örtliche Einfahrtstraße	Fußgänger-, Radverkehr	400 - 1.000	≥ 12,5 m	-
		800 - 1.800	≥ 15,5 m	-
örtliche Geschäftsstraße	Fußgängerverkehr, Liefern+Laden, Parken	400 - 1.000	≥ 20,5 m	-
		800 - 1.800	≥ 21,2 m	≥ 24,2 m
		1.600 - 2.600	≥ 28,2 m	≥ 29,7 m
		> 2.600	≥ 30,2 m	≥ 34,2 m*
Hauptgeschäftsstraße	Fußgänger-, Radverkehr, Aufenthalt, Liefern+Laden, Parken	< 400	≥ 20,5 m	≥ 16,5 m
		400 - 1.000	≥ 23,5 m	≥ 26,2 m
		800 - 1.800	≥ 23,7 m	≥ 25,0 m
		1.600 - 2.600	≥ 33,0 m	≥ 32,5 m
Gewerbestraße	Liefern+Laden, Parken	400 - 1.000	≥ 18,5 m	-
		800 - 1.800	≥ 16,5 m	-
		1.600 - > 2.600	≥ 38,0 m	-
Industriestraße		800 - 1.800	≥ 23,5 m	-
		1.600 - > 2.600	≥ 30,0 m	-
Verbindungsstraße	Radverkehr	400 - 1.000	-	≥ 19,7 m
		800 - 1.800	≥ 19,7 m	≥ 28,0 m*
		1.600 - > 2.600	≥ 28,2 m	≥ 34,2 m*
anbaufreie Straße		800 - 1.800	≥ 15,5 m	≥ 28,5 m*
		1.600 - > 2.600	≥ 23,0 m	≥ 28,5 m*

\* besonderer Bahnkörper

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an RAS 06 und Empfehlungen für Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs

In Anlage 1 werden beispielhaft verschiedene Querschnitte aufgezeigt. Die Erstellung der Querschnitte basiert auf den Maßen der RAS 06, wobei gestalterische Aspekte miteinfließen. Unterschiede in der erforderlichen Straßenraumbreite ergeben sich durch die unterschiedliche Anordnung der einzelnen Komponenten. Weiter beinhalten die jeweiligen Querschnitte auch unterschiedliche Möglichkeiten der Führung des Radverkehrs in Kombination mit den drei relevanten Systemalternativen.

In den messbaren Eigenschaften des Straßenraumes, wie z.B. Breite der Fahrbahn, finden insbesondere die funktionalen Anforderungen an die Straßenräume ihre Berücksichtigung. Die relevanten gestalterischen Aspekte leiten sich oft aus einem breiten Spektrum von Wahrnehmungen her, die vor allem in raumbezogenen Bedürfnisse zum Ausdruck kommen. Diese Aspekte werden in den Empfehlungen zur Straßenraumgestaltung innerhalb bebauter gebiet (ESG, Ausgabe 2011) berücksichtigt. Die Anwendung dieser Empfehlungen, die nicht nur die Grundlagen der Straßenraumgestaltung, sondern auch die Elemente der Straßenraumgestaltung beschreiben, ist bei Konkretisierung der Planung zu empfehlen.



## 5. Systemvergleich

### 5.1 Zielfelder und relevante Kriterien

Bei der Entscheidung über die zukünftige Entwicklung des ÖPNV und der hiermit verbundenen Maßnahmen ergibt sich das Gebot, die Wirkungen des ÖPNV-Systems ausgewogen gegeneinander abzuschätzen. Der Systemvergleich stellt die unterschiedlichen Systemalternativen vergleichend gegenüber. Folgende Zielfelder werden berücksichtigt:

- Verkehr
- Umfeld
- Straßenraumgestalt
- Wirtschaftlichkeit

Der Vergleich basiert auf den für diese Zielfelder in einem Abstimmungsprozess definierten Bewertungskriterien, die aus den für Osnabrück relevanten Planungszielen abgeleitet sind. Den Kriterien werden Mess- und Beschreibungsgrößen zugeordnet, durch die die systemspezifischen Eigenschaften hervorgehoben werden. Tabelle 7 zeigt die entsprechenden Planungsziele sowie geeignete Bewertungskriterien.

**Tabelle 7: Planungsziele und Kriterien**

Planungsziel	Kriterium	Mess- bzw. Beschreibungsgrößen
Verkehr / Straßenraumgestalt		
gute Qualität des Verkehrsablaufes im ÖPNV	▪ Erschließungsqualität	Integration zentrale Innenstadtbereiche / zentrale Einrichtungen / Region, Bedienungshäufigkeit
	▪ Erreichbarkeit der Haltestellen für Fahrgäste	Einzugsbereich der Haltestelle, Flächenerschließung (Wohnen / Arbeiten), Fahrgastpotential
	▪ Beförderungsqualität	Beförderungsgeschwindigkeit, Zuverlässigkeit / Pünktlichkeit / Störanfälligkeit, Fahrkomfort
	▪ Verkehrsablauf in Spitzenzeiten	Möglichkeit Taktverdichtung
	▪ ÖPNV-Beschleunigung	Umsetzbarkeit eigene Trasse, Anforderung Freigabe, LSA-Koordinierung
	▪ Topographische Eignung	Steigungsaffinität
	▪ Umsteigequalität	Verknüpfungsmöglichkeiten Bus / Bahn, P+R- und B+R-Anlage
	▪ Haltestellenqualität	Barrierefreiheit, Zugänglichkeit (in Abhängigkeit der Haltestellenlage)
	▪ Fahrzeuggestaltung	Möglichkeiten Innenraumaufteilung, soziale Sicherheit im Fahrzeug, innovatives Design, Image
▪ Art der Zugbildung	bedarfsgerechte und flexible Transportkapazität	
Verkehrssicherheit	▪ Konfliktpotential zu anderen Verkehrsteilnehmern	Konfliktpunkte MIV / Ruhender Verkehr / Radverkehr / Fußgänger
	▪ Unfallgeschehen / Gefährdungspotenzial	Unfallhäufigkeit, Bewegungslinien und Ausweichbewegungen



**Fortsetzung Tabelle 7**

städtebauliche Integration	▪ Flächeninanspruchnahme	Querschnitt / Fahrbahnbreiten / Fahrzeughöhen, Radien
	▪ Integration Haltestellen	Haltestellenlänge, Haltestellenlage
	▪ Integration Betriebshof	Größe, Lage
	▪ Integration Nebenanlagen (Wenden, Laden der Batterien)	spezifischer Bedarf
	▪ äußeres Erscheinungsbild	ästhetische Wirkung (Fahrzeug, Oberleitung)
	▪ Orientierung im Stadtbild	Oberleitung, Schienen als Orientierungshilfe
	▪ oberleitungsfreier Betrieb in der Innenstadt	Umsetzungsmöglichkeit
	▪ funktionale Trennwirkung / Barrierewirkung	barrierewirkene Elemente
soziale Brauchbarkeit	▪ Zugänglichkeit für mobilitätseingeschränkte Personen	Berücksichtigung der Belange von Kindern und Senioren
Synergiepotential städtischer und regionaler ÖV	▪ Taktintegration	Vermeiden von Parallelfahrten und gebrochenen Verkehren
<b>Umfeld</b>		
geringe Immissionsbelastung	▪ Schallimmissionen	Beurteilungspegel
	▪ Schadstoffemissionen	CO <sub>2</sub> - Emission, Treibhausgase, Feinstaub
	▪ Erschütterungen	Grad der systemspezifischen Erschütterungen
Energieeffizienz	▪ geringer Verbrauch	durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch
	▪ hoher Wirkungsgrad	Wirkungsgrad, Energiedichte
gutes Kleinklima	▪ Oberflächenversiegelung/- begrünung	Möglichkeiten der Gestaltung eigener Trassen
<b>Wirtschaftlichkeit</b>		
Kosten	▪ Planungsaufwand	Planungs- und Abstimmungskosten
	▪ Investition	Investitionskosten Fahrzeug / Fahrweg / Infrastruktur / Betriebshof
	▪ Betriebsaufwand	Betriebskosten, Ausbildungsaufwand / Qualitätsanforderungen an das Personal
	▪ Unterhaltungsaufwand	bauliche Unterhaltungskosten, Wartungszyklen und Dokumentationsaufwand
Förderung	▪ Fördermöglichkeit / -fähigkeit	Förderprogramme
	▪ mögliche Förderrate	Anteil
zeitliche Realisierungsmöglichkeiten	▪ Umsetzungsmöglichkeit Phasen	verbal
	▪ Realisierungshorizont	verbal

## 5.2 Vergleichende Bewertung der Systeme

Für die Zielfelder Verkehr, Umfeld, Straßenraumgestalt und Wirtschaftlichkeit wird eine vergleichende Bewertung der systemspezifischen Eigenschaften der für eine Systemneueinführung in Frage kommenden Alternativen O-Bussystem und Straßenbahnsystem vorgenommen. Neben den neuen Systemen wird auch das bestehende Bussystem in Form der Weiterentwicklung des Dieselmotors sowie beim Umstieg auf alternativen Antrieb bewertet.



Die Bewertung erfolgt durch die Einschätzung der Wirkungen der Systemalternativen auf die definierten Kriterien und die damit im Zusammenhang stehenden Planungsziele. Die entsprechenden Mess- und Beschreibungsgrößen werden analysiert. Bei der Analyse werden sowohl intuitive als auch auf der allgemeinen Meinung beruhende ganzheitliche Urteile gefällt.

Die tabellarische Zusammenfassung der vergleichenden Bewertung ist in Tabelle 8 dargestellt. Die Einschätzung der Wirkung der einzelnen Kriterien auf die Planungsziele beinhaltet der zweite Teil der Anlage 1.

**Tabelle 8: Vergleichende Bewertung der Systeme**

Ziele	Bussystem Weiterentwicklung Dieselbus	Bussystem Alternativen Antriebe	O-Bussystem	Straßenbahnsystem
<b>Verkehr / Straßenraumgestalt</b>				
gute Qualität des Verkehrsablaufes im ÖPNV	-	-	+	++
Verkehrssicherheit	+	+	+	o
städtebauliche Integration	+	+	o	-
soziale Brauchbarkeit	o	o	o	+
Synergiepotential städtischer und regionaler ÖV	+	+	o	-
<b>Summe</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>+</b>
<b>Umfeld</b>				
geringe Immissionsbelastung	-	++	++	+
Energieeffizienz	-	+	+	+
gutes Kleinklima	-	-	-	o
<b>Summe</b>	<b>-</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>++</b>
<b>Wirtschaftlichkeit</b>				
Kosten	++	+	o	-
Förderung	-	o	o	+
zeitliche Realisierungsmöglichkeiten	o	-	o	-
<b>Summe</b>	<b>+</b>	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>-</b>
- - sehr schlecht   - schlecht   o neutral   + gut   ++ sehr gut				



Es zeigt sich, dass die Systemalternativen unterschiedliche Stärken und Schwächen aufweisen.

Im Zielfeld **Verkehr und Straßenraumgestalt** werden alle Systemalternativen positiv bewertet, wobei das Straßenbahnsystem Probleme bei der städtebaulichen Integration sowie beim Synergiepotential zwischen städtischen und regionalen Verkehr aufweist.

Im Zielfeld **Umfeld** sind die alternativen Antriebe, das O-Bussystem sowie das Straßenbahnsystem deutlich besser einzustufen als die Weiterentwicklung des Dieselbusses. Die leichten Nachteile des Straßenbahnsystems im Hinblick auf möglichst geringe Immissionsbelastung (Geräusche in Kurven, Erschütterungen) werden durch die Möglichkeiten der Verbesserung des Kleinklimas (Rasengleis) ausgeglichen.

Im Zielfeld **Wirtschaftlichkeit** wird die Weiterentwicklung des Dieselbusses aufgrund der niedrigen Kosten als wirtschaftlich gesehen. Beim Straßenbahnsystem führen dagegen die zu erwartenden hohen Kosten zu einer negativen Bewertung.

Die Gesamtbewertung zeigt, dass die Systemalternativen Bussystem mit alternativen Antrieben und O-Bussystem positiver zu bewerten sind als die Weiterentwicklung des Dieselbussystems bzw. das Straßenbahnsystem.

Die Vorteile des Straßenbahnsystems liegen grundsätzlich in ihrer Eignung als Massentransportmittel. Bei Kapazitätsengpässen, bei denen Optimierungsmaßnahmen am Bussystem keine Abhilfe mehr schaffen können, werden die Nachteile im Zielfeld Verkehr und Straßenraumgestalt sowie die hohen Kosten eines Straßenbahnsystems oft in Kauf genommen, um ein leistungsfähiges und funktionierendes ÖPNV-System zu sichern. Zudem bekommt die Erhöhung der ÖPNV-Qualität durch ein Straßenbahnsystem oft deutlich höhere Gewichtung.





## 6. Zielkonzept für den ÖPNV in Osnabrück

Als Oberziel für die Verkehrsentwicklungsplanung wurde im Masterplan Mobilität die nachhaltige Entwicklung der Region Osnabrück als Wirtschafts-, Wohn- und Kulturstandort festgelegt. Zu den planungsorientierten Handlungsziel zählen u.a. die Veränderung des Modal Split zu Gunsten des Umweltverbundes sowie auch die effiziente Abwicklung des ÖPNV in Osnabrück und der Region.

Bei den Überlegungen über die Zukunft des innerstädtischen ÖPNV in Osnabrück wurden daher die übergeordneten Ziele wie folgt definiert:

1. Spürbare Steigerung des ÖPNV-Anteils
2. Geringe Emissionen des ÖPNV  
(Schadstoffreduktion und Senkung der Lärmbelastung)
3. Wirtschaftlichkeit

Das unter diesen Prämissen entwickelte Szenario „Stärkung ÖPNV“ geht von einer **Steigerung des Modal Splits für den ÖPNV von 16% auf 19%** und von einer gleichzeitigen Förderung des Radverkehrs aus.

**Tabelle 9: Modal Split Osnabrück**

	MIV Fahrer	MIV Mitfahrer	ÖPNV	Fußgänger	Radverkehr
Analyse 2008	41%	12%	<b>16%</b>	19%	12%
Szenario „Stärkung ÖPNV“	39%	10%	<b>19%</b>	15%	<b>17%</b>

Zur Erreichung der o.g. Verlagerung der Fahrten zu Gunsten des ÖPNV wurden im Masterplan Mobilität drei alternative Ansätze formuliert:

- partielle Führung des Regionalschieneverkehrs durch die Innenstadt
- Einführung eines Straßenbahnsystems in der Innenstadt
- Verbesserung und Ausweitung der bestehenden Busverkehrssystems

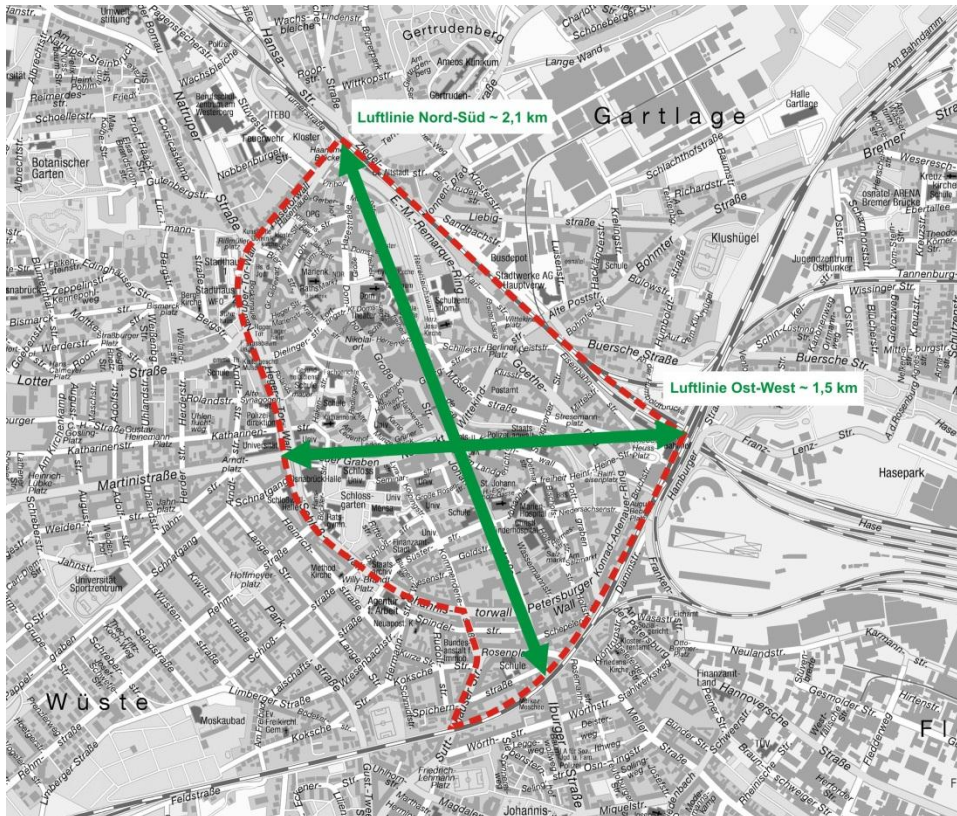
Während der erste Ansatz eine Verbesserung der Erreichbarkeit der Innenstadt eher für Fahrgäste aus der Region bedeutet, stellt der zweite Ansatz eine kurz- und mittelfristige Maßnahme zur Verbesserung des ÖPNV-Angebotes dar. Perspektivisch gesehen kann eine spürbare Wende in der Verkehrsmittelwahl vorrangig durch die **Einführung eines modernen innerstädtischen Nahverkehrssystems** bewirkt werden.

Der aktuelle Luftreinhalte- und Aktionsplan 2008, Ergänzung 2011 weist im Innenstadtbereich Straßenzüge auf, die trotz überwiegend geringer Verkehrsbelastungen hohe Schadstoffimmissionen haben. Verursacher ist hier u. a. der Busverkehr, der trotz geringem Anteil an der Fahrleistung einen hohen Anteil an der NO<sub>x</sub>-Emission verursacht. Dieser Sachverhalt geht im Allgemeinen auch mit der Lärmbelastung einher.



Die **Senkung der Emissionen im ÖPNV** ist bei der Konzeption des neuen Nahverkehrssystems zwingend zu berücksichtigen. Als eine wesentliche Forderung wurde daher ein **emissionsfreier Betrieb in der Innenstadt** formuliert. Aus städtebaulichen Gründen (historischer Kern, enge Straßenräume etc.) wird für diesen Bereich nicht nur emissionsfreier, sondern auch **oberleitungsfreier Betrieb** gefordert.

Abbildung 26 zeigt den Bereich, in dem der Betrieb nach Möglichkeit emissionsfrei und oberleitungsfrei erfolgen soll.



**Abbildung 26: Definition des Innenstadtbereichs und Darstellung der Distanz des oberleitungsfreien Betriebes**

## 7. Beschreibung des derzeitigen ÖPNV-Netzes

### 7.1 Raumstruktur

Die Stadt Osnabrück liegt in Niedersachsen und grenzt an Nordrhein-Westfalen. Die Stadt gliedert sich in 23 Stadtteile und umfasst dabei eine Fläche von 119,8 km<sup>2</sup>. Das Straßennetz besteht aus 820 km Länge.

Mit etwa 165.000 Einwohnern ist Osnabrück eine Großstadt und eines der wirtschaftlichen und kulturellen Oberzentren in Niedersachsen. Die Stadt Osnabrück ist Kernstadt und Mittelpunkt des Landkreises Osnabrück. Die Einwohnerzahl im Ballungsraum (zuzüglich Kommunen Belm, Bissendorf, Georgsmarienhütte, Hasbergen, Lotte, Wallenhorst) beträgt etwa 270.000 Einwohner.

Abbildung 27 zeigt den beschriebenen Planungsraum für die Untersuchung einer Weiterentwicklung des ÖPNV unter Einbeziehung der umliegenden Regionen.



Abbildung 27: Planungsraum Stadt Osnabrück

Quelle: Stadt Osnabrück

Der Landkreis Osnabrück umfasst die Stadt Osnabrück (Oberzentrum), die Städte Quakenbrück, Bramsche, Georgsmarienhütte und Melle (Mittelzentren), sowie weitere 18 Grundzentren.



## 7.2 Aktuelles Nahverkehrsnetz

### 7.2.1 Bestandsanalyse des ÖPNV-Angebotes

Bei dem **Liniennetz im Stadtverkehr Osnabrück** handelt es sich um ein Radialsystem bestehend aus neun Hauptlinien, die entlang innerstädtischer Hauptachsen verlaufen. Die Flächenerschließung abseits der Hauptachsen findet durch sich von den Hauptlinien abzweigenden Linienästen statt (19 Einzellinien). Das gesamte Liniennetz umfasst eine Länge von 133 km. Dabei werden täglich fast 19.000 Fahrzeug-km gefahren.

Alle Hauptlinien fahren den zentralen Verknüpfungspunkt Neumarkt an. Die Verbindung zwischen dem Neumarkt und dem Hauptbahnhof erfolgt durch fünf Hauptlinien. Darüber hinaus gibt es 15 weitere Verknüpfungspunkte im innerstädtischen Liniennetz.

Abbildung 28 visualisiert das innerstädtische Liniennetz in Osnabrück.

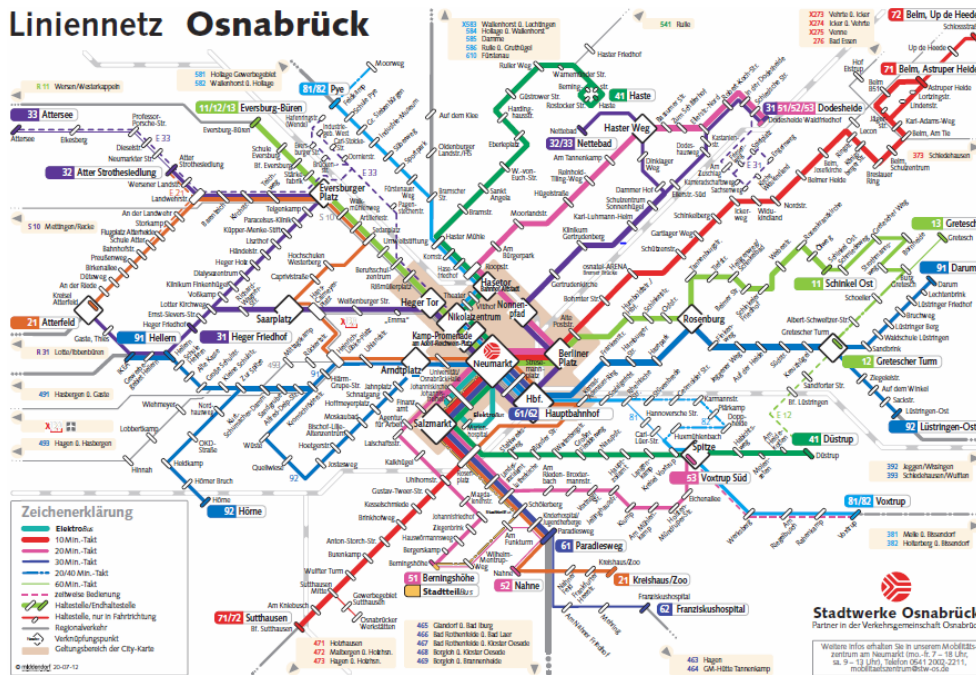


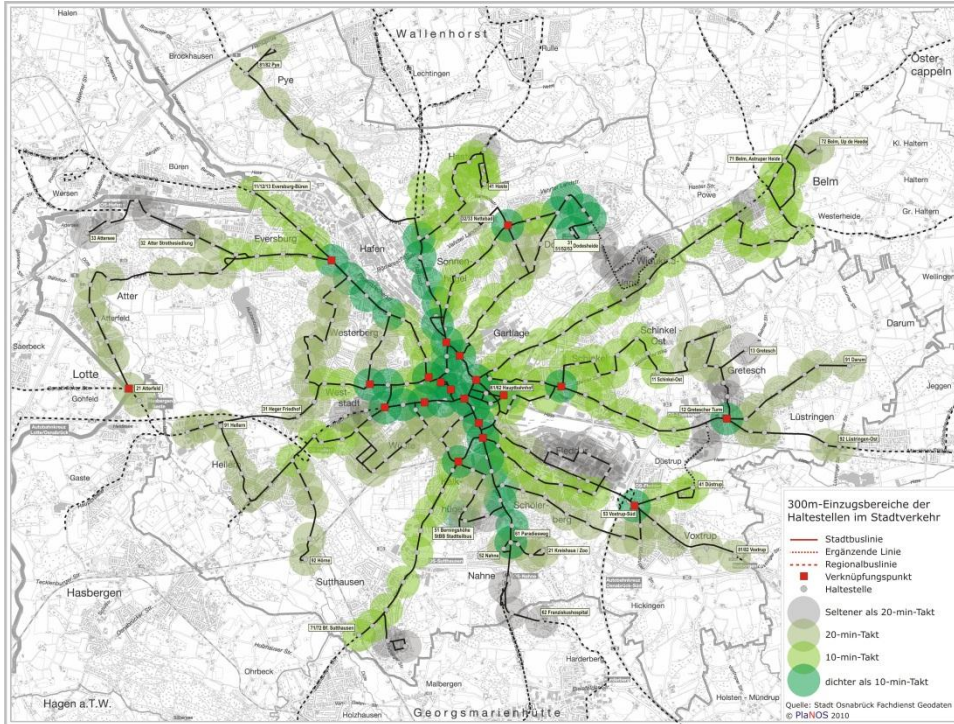
Abbildung 28: Liniennetz im Stadtgebiet Osnabrück

Quelle: Stadtwerke Osnabrück

Im gesamten Stadtgebiet verkehren die Stadtverkehre zwischen 7:00 und 18:30 Uhr in einem 10-Minuten-Takt auf den Hauptachsen. Im Innenstadtbereich ist der Takt durch Überlagerung zum Teil dichter. Die Äste an den Linienenden und einzelne Erschließungsbereiche werden im 20-Minuten-Takt bedient. Die Regionalverkehre in die umliegenden Gemeinden erfolgen in der Hauptverkehrszeit ebenfalls im 20-Minuten-Takt, Belm und Oesede sind sogar in einen 10-Minuten-Takt integriert. In die anderen Gemeinden ist mindestens ein 60-Minuten-Takt gewährleistet.

Abbildung 29 veranschaulicht die Taktichte im Stadtgebiet Osnabrück.





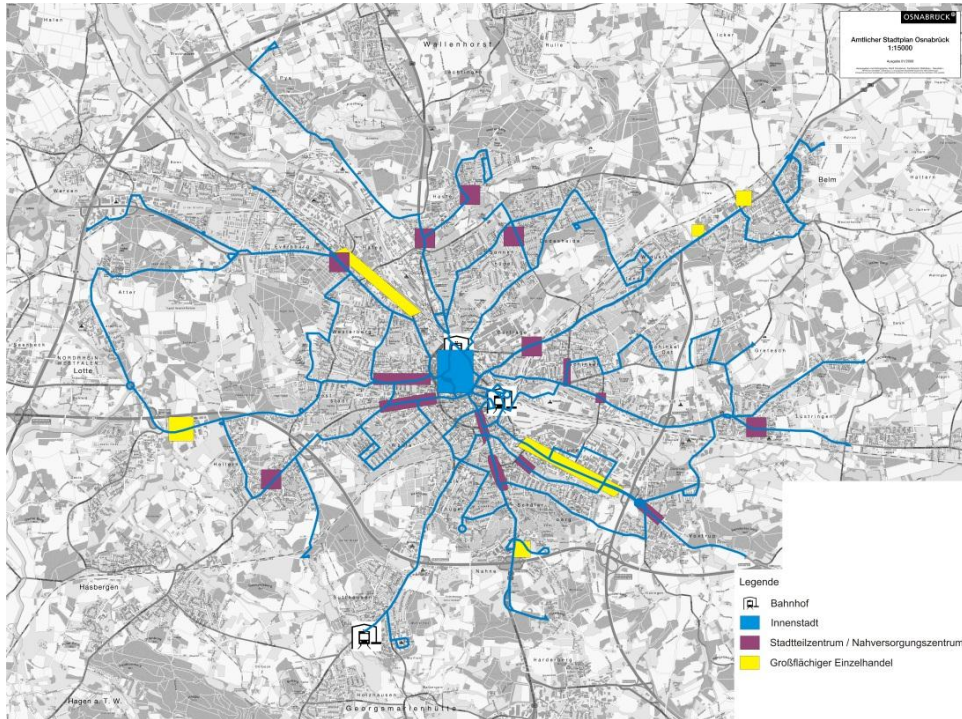
**Abbildung 29: Taktichte im Stadtgebiet Osnabrück**

Quelle: PlanOS

Die Struktur des ÖPNV-Netzes bietet eine gute bis sehr gute Erschließungsqualität.

Die Stadtteilzentren / Nahversorgungszentren sowie der großflächige Einzelhandel sind vorrangig an den Hauptlinien des ÖPNV platziert (vgl. Abbildung 30).

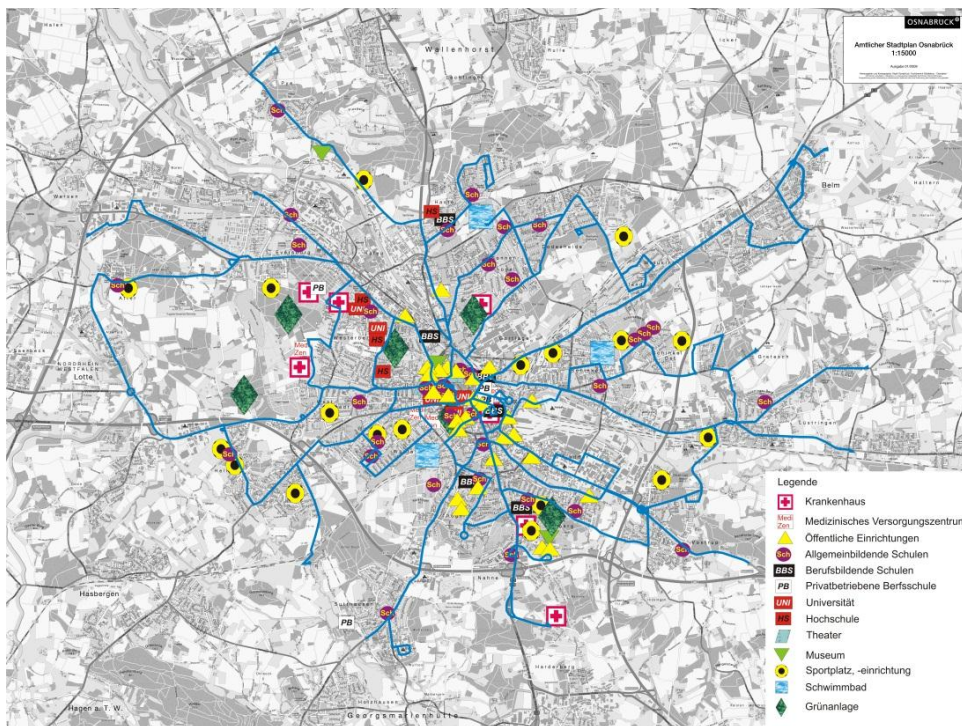




**Abbildung 30: Erschließungsqualität der Zentren**

Quelle: PlaNOS

Die öffentlichen Einrichtungen (wie Behörden, Schulen, Krankenhäuser, Theater und Museen) werden ebenfalls größtenteils erschlossen (vgl. Abbildung 31).

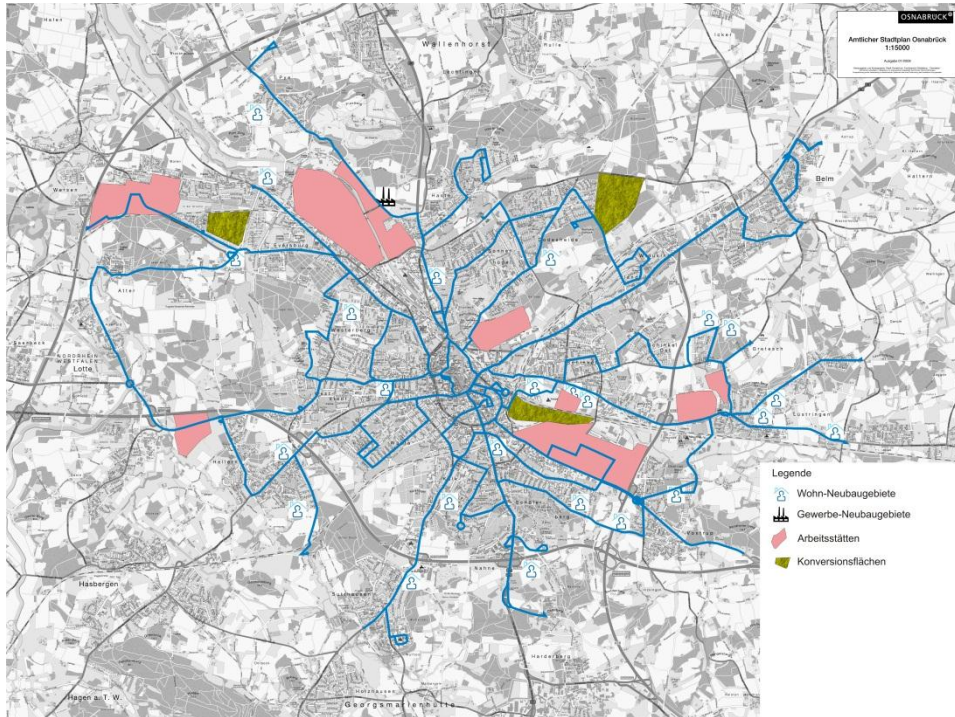


**Abbildung 31: Erschließungsqualität der öffentlichen Einrichtungen**

Quelle: PlaNOS



Die wesentlichen Arbeitsstandorte und die Wohn-Neubauegebiete sowie die Konversionsflächen werden durch das ÖPNV-Netz mindestens tangiert. Eine große Herausforderung bleibt die verbesserte Anbindung der Konversionsflächen (vgl. Abbildung 32).

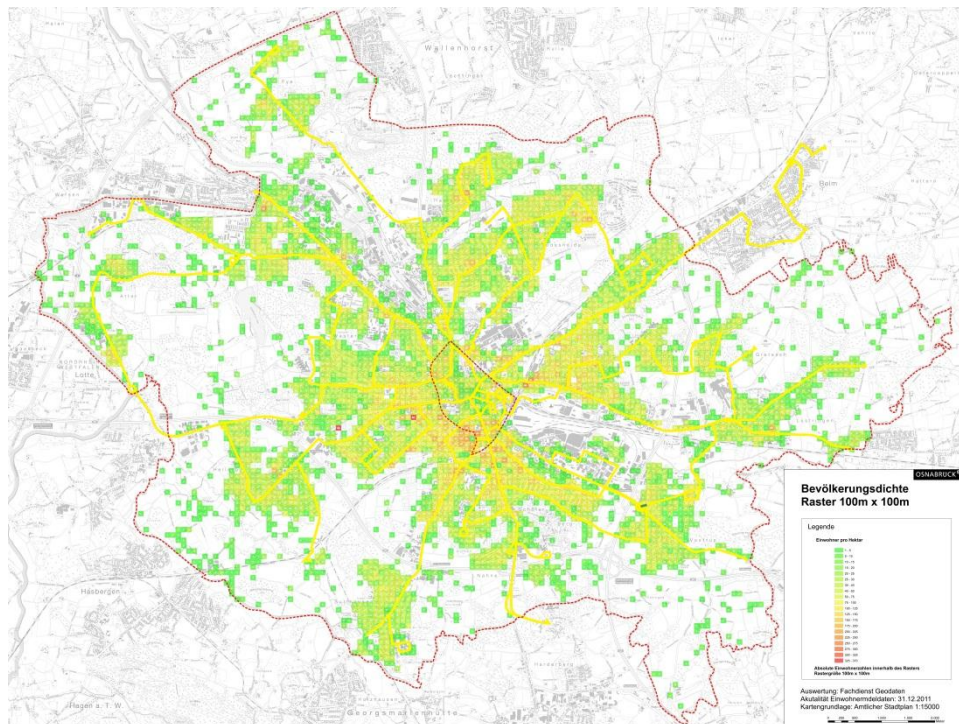


**Abbildung 32: Erschließungsqualität Wohnen – Arbeiten, Konversionsflächen**

Quelle: PlaNOS

Abbildung 33 stellt die Bevölkerungsdichte der Stadt Osnabrück im kleinteiligen Raster dar. Es zeigt sich, dass die Erschließung der bebauten Flächen mit dem ÖPNV nahezu vollständig erbracht wird, so dass die Erschließungsqualität der Wohnbevölkerung als hoch einzustufen ist.

Durch die Einführung von 23 m langen Busanhängerzüge (BusPlus) und Elektrobusse ergibt sich ein innovatives Bussystem. Die Busanhängerzüge werden seit April 2010 überwiegend auf der Hochschullinie 21 und für Ergänzungsfahrten eingesetzt. Die Busanhängerzüge fügen sich aus einem 12 m langen Solobus und einem 11 m langen Anhänger zusammen. Der Einsatz erfolgt zur Bewältigung hoher Fahrgastaufkommen zu Spitzenzeiten. Anhand der Möglichkeit, den Anhänger abzukoppeln, wird eine flexible Reaktion auf geringere Fahrgastaufkommen geboten. Insgesamt sind sieben Busanhängerzüge im Einsatz. Zudem wird ein Kleinlektrobus zur Erschließung des Marienhospitals in der Innenstadt im regulären Linienbetrieb eingesetzt. Dieser knapp 6 m lange und 2 m breite Kleinbus hat eine Kapazität von etwa 23 Personen und verkehrt mit einer Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h. Die elektrisch befahrene Strecke ist etwa 1,3 km lang und enthält vier Haltepunkte.



**Abbildung 33: Flächenerstreuung der Wohnbevölkerung**

Quelle: PlaNOS

Der reguläre Linienbetrieb wird durch Ergänzungsfahrten für Schüler und Berufstätige sowie die Produkte „NachtBus“ und „FreizeitBus“ ergänzt.

Die mittlere Beförderungsgeschwindigkeit beträgt derzeit etwa 19 km/h. Nahezu 74 % der Fahrten in der Hauptverkehrszeit werden pünktlich, d. h. im Toleranzbereich von drei Minuten, durchgeführt (82 % in der Nebenverkehrszeit). Der in den letzten Jahren zu verzeichnende Rückgang der Beförderungsgeschwindigkeit auf unter 20 km/h ist hauptsächlich auf das gestiegene Verkehrsaufkommen in der vorhandenen Verkehrsinfrastruktur zurückzuführen.

Eine Beschleunigung des ÖPNV wird zwar mittels Beeinflussung von Lichtsignalanlagen und der Anlage von Bussonderfahrstreifen umgesetzt, jedoch wurde im Rahmen einer Schwachstellenanalyse 2010 in diesem Bereich ein Defizit aufgezeigt. Bussonderfahrstreifen sind derzeit nur auf 16 Teilstücken mit einer Gesamtlänge von etwa 8 km vorhanden, wovon etwa 50 % auf die Linie 71/72 entfallen. Im Vergleich zur Liniennetzlänge von 133 km ist der Anteil somit sehr gering. Zukünftig sind weitere Bussonderfahrstreifen vorgesehen.

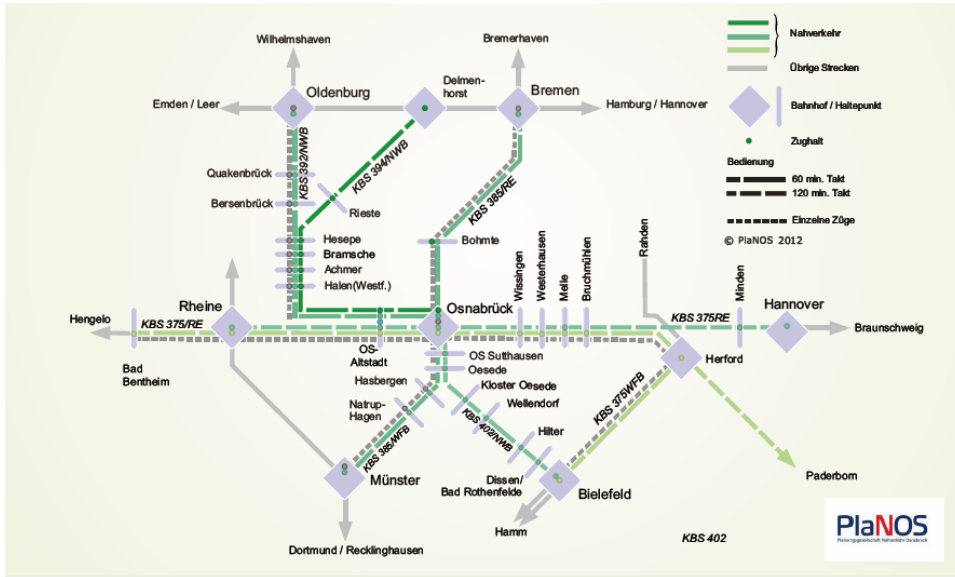
P+R-Anlagen befinden sich ausschließlich in der Region an Bahnhöfen. Im Stadtgebiet sind keine P+R-Anlagen vorhanden. Fahrradabstellanlagen werden an den Haltestellen in unterschiedlichen Umsetzungsvarianten dem Bedarf entsprechend angeordnet.

In der gesamten Region wird ein einheitliches Haltestellenkonzept verfolgt. Insgesamt sind in Osnabrück etwa 560 Haltestellenpositionen vorhanden. Etwa 200 Haltestellenpositionen sind barrierefrei.



Das ÖPNV-Angebot wird durch den SPNV ergänzt und erfordert eine Abstimmung des Bussystems mit dem Schienenverkehr.

Die nachfolgende Abbildung beinhaltet das **SPNV-Angebot** Weser-Ems aus dem Jahr 2012. Zusätzlich ist das SPNV-Angebot in Tabelle 10 zusammengestellt.



**Abbildung 34: SPNV-Angebot Weser-Ems 2012**

Quelle: PlaNOS

**Tabelle 10: SPNV-Angebot**

Strecke	Takt* [in Minuten]	Reisezeit [in Minuten]
<b>Nord-Süd-Achse</b>		
Osnabrück – Oldenburg – Wilhelmshaven	60	137
Osnabrück – Vechta – Delmenhorst – Bremen	60	133
Osnabrück – Diepholz – Bremen	60	72
Osnabrück – Münster	60	36
Osnabrück – Dissen / Bad Rothenfelde – Halle (Wetsf.) – Bielefeld**	60	75
<b>Ost-West-Achse</b>		
Osnabrück – Rheine – Bad Bentheim	60 / 120	49 / 35***
Osnabrück – Löhne – Herford – Bielefeld	60	60
Osnabrück – Löhne –Minden	120	50

\* in der Hautverkehrszeit werden zum Teil Verdichterzüge eingesetzt

\*\* Haller Willem seit 2005

\*\*\* bis Rheine

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an PlaNOS



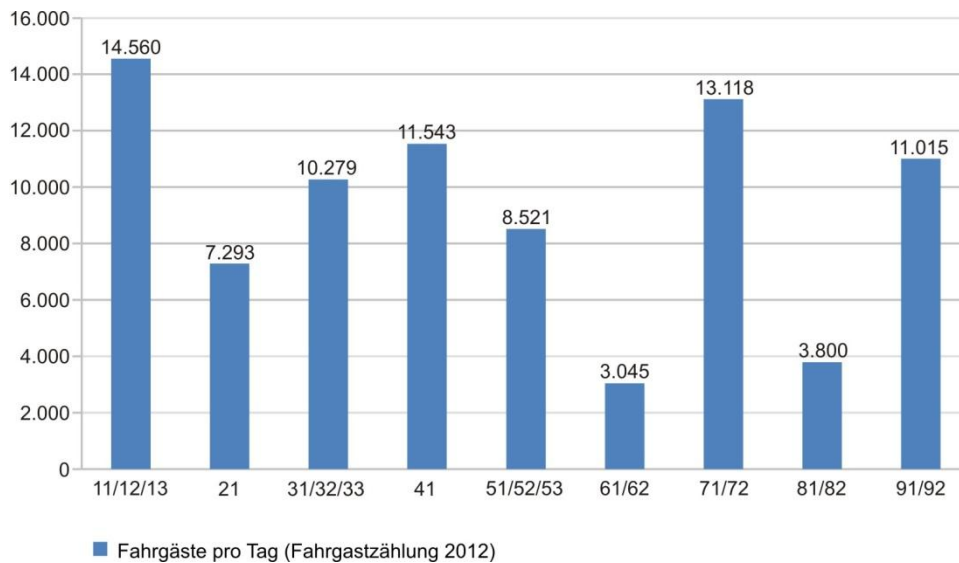
Es gibt Planungsansätze, den Haller Willem mit der Strecke Richtung Eversburg zu verbinden. Dabei sind zusätzlich die Haltepunkte Berliner Platz, Römereschstraße, Eversburg/Büren und Rosenplatz vorgesehen. Darüber hinaus wird eine Taktverdichtung auf einen 30-Minuten-Takt angestrebt.

Neben dem Haller Willem wird die Wiederinbetriebnahme der Tecklenburger Nordbahn (OS-Bahn-Konzept) auf dem Abschnitt zwischen Recke und Osnabrück beabsichtigt. Dabei sind die Bahnhöfe Recke, Mettingen, Westerkappeln, Wersen, Büren-Kromschröder, Büren/Eversburg, Osnabrück Altstadt und Osnabrück Hauptbahnhof vorgesehen. In der Hauptverkehrszeit soll die Strecke in einem 30-Minuten-Takt bedient werden.

Anlage 2 beinhaltet eine graphische Darstellung der geplanten Angebotserweiterung im SPNV.

### 7.2.2 Bestandsanalyse der ÖPNV-Nachfrage

Im Stadtbusverkehr werden etwa 85.000 Fahrgäste pro Tag befördert. Dabei verteilen sich die Fahrgäste auf die einzelnen Hauptlinien wie in Abbildung 35 dargestellt.



**Abbildung 35: Fahrgäste/Tag je Hauptlinie**

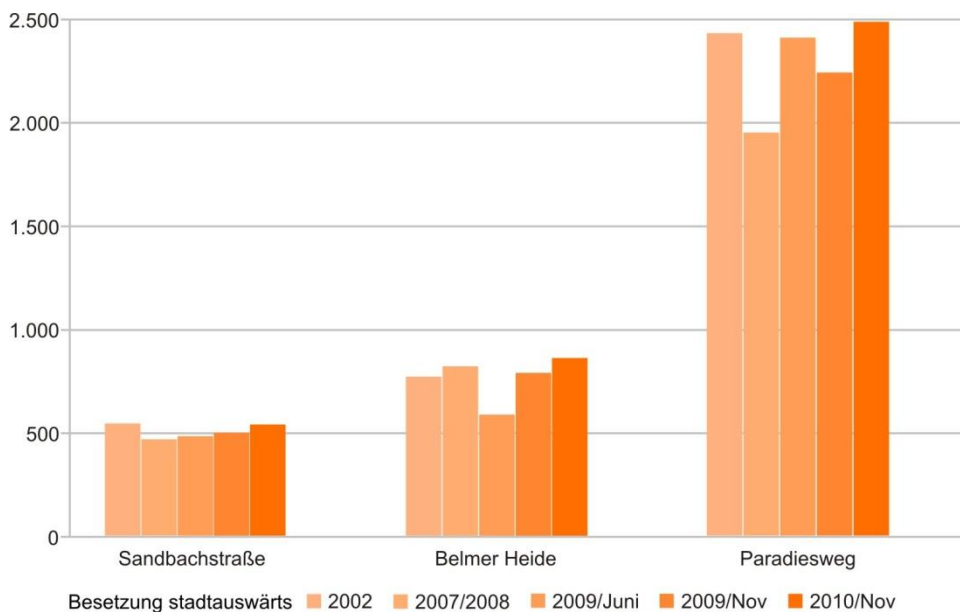
Auf den Linien 61/62 und 81/82 sind die Zahlen gering, da auf diesen Linien der Anteil der Regionalfahrgäste verhältnismäßig hoch ist, die Daten aber diese nicht beinhalten.

In der nachfolgenden Abbildung wird der Anteil des Regionalverkehrs an den Grenzen zum Stadtgebiet visualisiert. Die Darstellung beruht auf einer Querschnittszählung aus dem Jahr 2002. Abbildung 37 stellt die Ergebnisse der Querschnittszählungen der vergangenen Jahre für drei der Punkte im Vergleich zueinander dar. Daraus geht hervor, dass sich die Ergebnisse in etwa auf einem Niveau eingestellt haben.





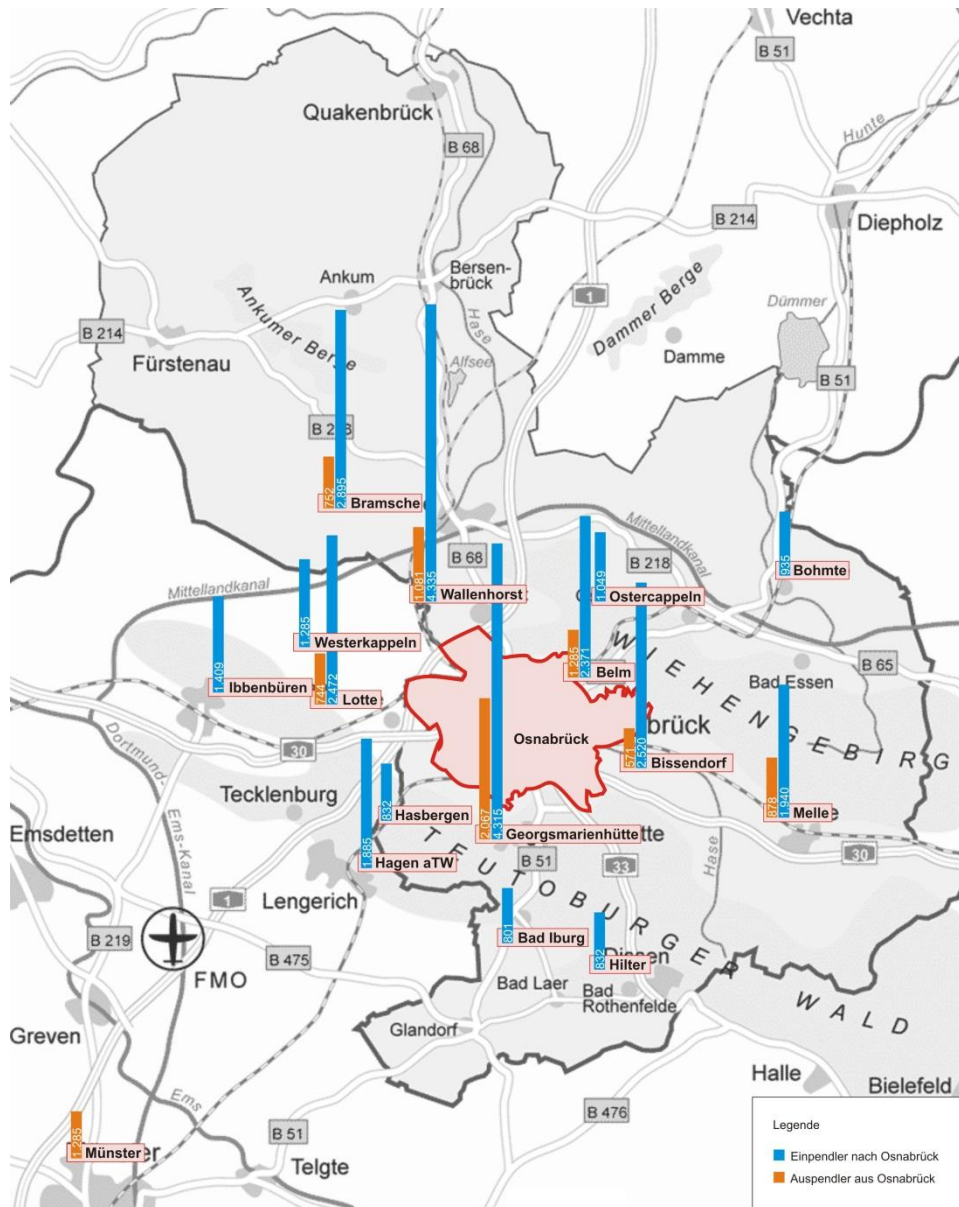
**Abbildung 36: Regionalfahrgäste / Querschnittszählung**



**Abbildung 37: Querschnittszählungen im Vergleich**

Aus der Darstellung lässt sich insbesondere eine hohe Bedeutung der Linien in Richtung Georgsmarienhütte (Anteil der Regionalfahrgäste 40 %) und in Richtung Belm (Anteil der Regionalfahrgäste 40 %) erkennen. U. a. sind auch die Linien in Richtung Wallenhorst, Westkappeln, Lotte, Hasbergen, Holzhausen und Bissendorf von hoher regionaler Bedeutung.





**Abbildung 38: Ein- und Auspendler**

Die regionale Bedeutung wird anhand der allgemeinen Pendlerstruktur bestätigt. Insbesondere wird dies auf den Verbindungen nach Georgsmarienhütte, Bissendorf, Melle, Belm, Wallenhorst, Bramsche und Lotte deutlich (vgl. Abbildung 38).

Die Fahrgastzahlen im Stadtgebiet und Landkreis Osnabrück haben nach einer konstanten Steigerung seit 1997 nun ein hohes Niveau von etwa 55 Millionen Fahrgästen pro Jahr erreicht.

Auch die Anzahl der Fahrgäste im SPNV hat gemäß der bundesweiten Entwicklung stark zugenommen. Zwischen 2002 und 2010 ist die Nachfrage im SPNV im Osnabrücker Land um etwa 84 % gestiegen und liegt bei fast 31.000 Fahrgästen pro Werktag. Im Vergleich zu dem bundesweiten Wachstum ist dieser Wert als sehr hoch einzustufen.



### 7.2.3 Verkehrsbelastung im IV-Netz

Zur Betrachtung des Potentials einer Verlagerung des motorisierten Individualverkehrs auf den ÖPNV sind die Verkehrsbelastungszahlen und die Pendlerstrukturen relevant. Anlage 3 zeigt die Verkehrsmengenkarte Osnabrück.

Eine deutliche Belastung ist v.a. in folgende Richtungen zu verzeichnen:

- HansasträÙe in / aus Richtung Norden
- Natruper StraÙe / Pagenstecher StraÙe / Wersener StraÙe in / aus Richtung Nordwesten
- Buersche StraÙe und Bohmter StraÙe / Bremer StraÙe in / aus Richtung Osten
- Sutthausener StraÙe, Iburger StraÙe und Hannoversche StraÙe in / aus Richtung Süden
- Lotter StraÙe / Rheiner LandstraÙe und MartinistraÙe / Kurt-Schumacher-StraÙe in / aus Richtung Westen

Bei der Analyse der Verkehrsbelastungszahlen sind die überregionalen Verkehre grundsätzlich nicht als auf den innerstädtischen ÖPNV verlagerbar zu definieren. Dementsprechend werden die Autobahnzubringer immer hohe MIV-Anteile aufweisen.



## 8. Grobkonzept eines ÖPNV-Netzes für die Systemalternativen

### 8.1 Liniennetzentwicklung der innerstädtischen Hauptlinien

Basierend auf dem Bestandsnetz und unter Berücksichtigung

- der Bevölkerungsdichte,
- der Erschließung öffentlicher Einrichtungen und des Einbindens der Wirtschaftsstruktur,
- der Fahrgastzahlen,
- des motorisierten Individualverkehrsaufkommens sowie
- der Pendlerstruktur

wurde ein innerstädtischer ÖPNV-Hauptliniennetzentwurf entwickelt.

Der Hauptliniennetzentwurf wurde mit der Stadt, der PlaNOS und dem Arbeitskreis ÖPNV am 16.11.2012 entwickelt und vorabgestimmt. In Anlage 4 ist das daraus resultierende, definierte, innerstädtische Hauptliniennetz dargestellt. Dieses setzt sich aus 13 Hauptlinien zusammen und hat eine Gesamtlänge von etwa 49 km (inklusive Innenstadtbereich: etwa 56 km). 12 der Hauptlinien bilden ein Radialsystem. Eine Hauptlinie verläuft tangential.

Die definierten, innerstädtischen Hauptlinien werden im Kontext zum Regionalverkehr beurteilt, jedoch wird die Linienführung in die Region nicht näher untersucht. Auf eine Möglichkeit der Erweiterung in die Region sowie das Verzweigen in den Stadtteilen am Ende der Hauptlinien wird lediglich in der Darstellung (Anlage 4) hingewiesen.

Eine Darstellung der einzelnen Hauptlinien erfolgt anhand einer Fotodokumentation in Anlage 5.

Eine gesonderte Stellung im definierten Hauptliniennetz kommt der tangential verlaufenden Hauptlinie I (Hochschullinie) zu. Diese erschließt den Hochschulstandort am Westerberg mit dem Hauptbahnhof.

Der Verlauf der Hochschullinie überlagert einen Abschnitt der jetzigen Linie 21. Diese weist ein hohes Fahrgastaufkommen, insbesondere zwischen dem Hauptbahnhof und dem Sedanplatz auf. Durch die starke Auslastung im genannten Abschnitt wird eine hervorgehobene Bedeutung dieser Linie für die Hochschule ersichtlich. Um Kapazitätsengpässe zu Stoßzeiten aufzufangen, kommt auf der Linie 21 der PlusBus zum Einsatz.

Bei der Planung einer Systemalternative ist das stark sinkende Fahrgastaufkommen ab Hauptbahnhof in Richtung Kreishaus / Zoo und ab Sedanplatz in Richtung Atterfeld zu berücksichtigen. Darüber hinaus sind ggf. Überlegungen zur Erschließungsnotwendigkeit und -möglichkeit weiterer Hochschulstandorte im Linienvverlauf zu erwägen. Es wird empfohlen die Hochschullinie in Zusammenarbeit mit der Hochschule gesondert zu untersuchen, um den komplexen Anforderungen betreffend die Kapazitätsschwankungen und den Linienvverlauf gerecht zu werden.



## 8.2 Konfliktanalyse

Auf Basis einer Ortsbegehung und unter Berücksichtigung der Brückeninfrastruktur und der Steigungen wird eine vereinfachte Konfliktanalyse durchgeführt.

Grundsätzlich können zwischen den verschiedenen Nutzungsansprüchen (motorisierter Individualverkehr, öffentlicher Personennahverkehr, Fußgängerlängsverkehr sowie -querverkehr, Radverkehr, Parken, Laden und Liefern usw.) im Straßenraum unterschiedliche Konflikte entstehen. Darüber hinaus ist das Konfliktpotential der verschiedenen ÖPNV-Systemalternativen unterschiedlich hoch. Bei Schienengebundenen Systemen kann von einem höheren Konfliktpotential ausgegangen werden. Dies beruht auf starken Wechselwirkungen mit anderen Verkehrsteilnehmern und der Notwendigkeit eine neue Infrastruktur einzugliedern. Die Konflikte äußern sich bei der städtebaulichen, gestalterischen und organisatorischen Integration des Systems.

Zur Analyse des Konfliktpotentials werden folgende Konfliktkategorien definiert:

- Konflikte der Kategorie „Brücken“,
- Konflikte der Kategorie „Steigung“,
- Konflikte der Kategorie „Straßenraum“,
- Konflikte der Kategorie „ruhender Verkehr“ und
- Konflikte der Kategorie „Radverkehr“

Dabei liegt der Schwerpunkt der Betrachtung entlang der definierten Hauptlinien auf einem straßenbündigen Straßenbahnsystem. Für ein Straßenbahnsystem auf besonderem Bahnkörper steigen die straßenräumlichen Anforderungen deutlich. Das Bussystem hingegen unterliegt weniger räumlichen Einschränkungen, obwohl diese bei den Anforderungen von Bussonderfahrstreifen verstärkt auftreten werden.



Die systemspezifischen Anforderungen an den Straßenraum lassen sich aus der nachfolgenden Tabelle ableiten.

**Tabelle 11: Systemspezifische Anforderungen an den Straßenraum**

Kriterium	Straßenbahn	Bus	O-Bus
<b>Fahrzeugparameter</b>			
Länge (Einfachtraktion bzw. Bus/Gelenkbus)	30 m	12 m / 18 m	12 m / 18 m
Breite	2,65 m	2,55 m	2,55 m
Höhe	3,50 m	3,00 m	3,00 m
Einstiegshöhe	0,25 m	0,20 - 0,30 m	0,20 - 0,30 m
Gewicht	35 t	17 t	17 t
<b>Verkehrsraum</b>			
Straßenraumbreite Begegnungsfall (Verkehrsräume + lichte Räume)	6,30 m <sup>1</sup>	6,50 m (6,00 m)	6,50 m (6,00 m)
Mindestradius bzw. äußerer Wendekreis	25,00 m <sup>2</sup>	10,50 m / 11,80 m	10,50 m / 11,80 m
max. Längsneigung (Standard-/Ausnahmewert)	4 % / 6 % <sup>3</sup>	-	> 10 % <sup>4</sup>
Oberleitungshöhe	4,70 – 5,50 m	-	4,70 – 5,50 m
Mindesthöhe der Oberleitung	4,20 m	-	3,80 m <sup>4</sup>
<b>Haltestellen / Bahnsteige</b>			
Länge (Einfachtraktion bzw. Gelenkbus)	30 m	18 m	18 m
Breite (Seitenlage)	2,50 – 3,50 m	2,50 – 3,50 m	2,50 – 3,50 m
Höhe	0,25 m	0,20 m	0,20 m
Spaltmaß	0,05 m	0,05 m	0,05 m

<sup>1</sup> maßgeblich ist jedoch oft ein anderer Begegnungsfall

<sup>2</sup> fahrzeugabhängig

<sup>3</sup> auch größere Steigung möglich

<sup>4</sup> Erfahrungswert Solingen

Konflikte in Bezug auf die Brücken können hinsichtlich der Tragfähigkeit und der Durchfahrtshöhe entstehen. Prinzipiell eignen sich alle Brücken, die für den Schwertransport zugelassen sind, auch für den Straßenbahnverkehr. Für die Durchfahrtshöhe ergibt sich der Konflikt aus der notwendigen Oberleitungsinfrastruktur. In der Regel wird die Oberleitung sowohl einer Straßenbahn als auch eines Oberleitungsbusses auf einer Höhe von 4,70 – 5,50 m angebracht. Grundsätzlich wird empfohlen, die Höhe der **Oberleitung** auf **5,50 m** anzusetzen, da sich auf diese Weise insbesondere die Gefahr von Schäden reduziert. Die Mindesthöhe der Oberleitung für den Oberleitungsbus liegt bei 3,80 m (Erfahrungswert Solingen). Für die Straßenbahn ist mindestens eine Oberleitungshöhe von 4,20 m erforderlich. Vorgaben zu den Brücken werden darüber hinaus in § 29 der BOStrab gemacht. Brücken, die diese Anforderungen nicht erfüllen, sind im Zuge einer Systemeinführung entsprechend umzubauen. Dies führt zu bedeutend höheren Investitionskosten des jeweiligen Systems. Die Brücken, die die Anforderungen der Mindesthöhe nicht erfüllen, werden als Konfliktpunkte gekennzeichnet. Bei Konkretisierung der Planung sind die Brücken jedoch im Einzelnen zu prüfen.





Hinsichtlich der Topographie beträgt die zulässige **Längsneigung** für das **Straßenbahnsystem 40 ‰**. Eine Längsneigung von 60 ‰ stellt einen Ausnahmewert dar und wird nicht für ein standardisiertes System in Erwägung gezogen, auch wenn hierfür nicht zwangsläufig zusätzliche technische Anforderungen entstehen müssen. Die angegebenen Werte dürfen nur überschritten werden, wenn das Bremssystem entsprechend angepasst und mit zusätzlichen Sicherungsmaßnahmen versehen wird. Dieser Aufwand hat höhere Fahrzeuginvestitionskosten zur Folge. Weitere Vorgaben zu dem Bremssystem werden in „Technische Regeln Bremsen“, welchen die BoStrab zugrunde liegt, gemacht. Oberleitungsbusse eignen sich grundsätzlich besser für den Einsatz in topographisch schwierigen Gebieten. Gemäß Erfahrungen in Solingen kann eine Längsneigung über 10 % problemlos befahren werden. In der Konfliktanalyse werden vorerst alle Überschreitungen von 40 ‰ erfasst. Eine größere Steigung kann auch im regulären Betrieb befahren werden, wie z. B. in Würzburg.

Insbesondere mit der Einführung eines **Straßenbahnsystems** werden Infrastrukturmaßnahmen im Straßenraum notwendig, die oft auch eine Umgestaltung beinhalten. Davon sind vor allem Knotenpunktbereiche, Verkehrsinseln und Fußgängerquerungshilfen betroffen. Für den **straßenbündigen Bahnkörper** ist eine **Fahrbahnbreite** von **6,30 m** bzw. **8,60 m** und für den **besonderen Bahnkörper** mit einem Fahrstreifen für den motorisierten Individualverkehr eine Fahrbahnbreite von **13,20 m** erforderlich. Des Weiteren muss in Kurven im Straßenverlauf und an Knotenpunkten, an denen die Linienführung abgelenkt wird, der **Mindestradius** von **25 m** eingehalten werden können. Für die Konfliktanalyse ist der Mindestradius von 25 m maßgeblich, da ein geringerer Mindestradius fahrzeugspezifisch ist und eine starke Einschränkung bei der Fahrzeugwahl zur Folge hat. Eine verkehrsorganisatorische Umgestaltung kann beispielsweise in Verbindung mit Abbiegerfahrstreifen notwendig werden.

Für das **Bussystem** ist eine **Fahrbahnbreite** von **6,50 m** (Mindestmaß 6,00 m) und im Falle eines **Bussonderstreifens in der Mittellage** eine Breite von **13,00 m** angemessen. Zudem wird ein äußerer **Wendekreisradius** von **11,80 m** (Gelenkbus) bzw. **10,50 m** (Standardbus) gefordert.

Die angegebenen Maße beinhalten keine Radverkehrsanlagen und sind den Regelquerschnitten in Anlage 1 zu entnehmen.

Im Straßenraum können zusätzlich Konflikte bei der Haltestellenanordnung und -unterbringung entstehen. Die Integration von Straßenbahnhaltestellen kann im Allgemeinen als aufwendiger gesehen werden. Eine Mindestlänge von 30 m (Einfachtraktion) wird erforderlich. Zudem ist das Verschwenken der Schienenführung zum Anfahren von Haltestellen nicht ohne weiteres möglich.

Bei der Umgestaltung des Straßenraumes können sich darüber hinaus Konflikte zur vorhandenen Begrünung ergeben. In Verbindung mit der Oberleitung stellen z. B. häufig die im Straßenraum angeordneten Bäume einen Konflikt dar. Auch bei Planungen von Bussonderstreifen oder besonderen Bahnkörpern sind diesbezüglich Konflikte zu erwarten.



Die Konflikte der Nutzungsansprüche wirken sich ggf. auf den Seitenraum aus. Falls nicht ausreichend Platz für die jeweilige Systemalternative auf der vorhandenen Fahrbahn verfügbar ist, ergibt sich die Notwendigkeit, den Seitenraum zu beanspruchen. In diesen Fall sind Auswirkungen auf den ruhenden Verkehr, den Fußgänger- und Radverkehr sowie die Aufenthaltsqualität im Seitenraum zu beachten.

Parkende und haltende Fahrzeuge auf der Fahrbahn oder in die Fahrbahn hineinragend können ein Hindernis im Straßenbahnbetrieb darstellen. Im O-Busbetrieb ist ein eingeschränktes Umfahren (etwa 5 m) der Hindernisse möglich. An dieser Stelle ist auch der Konflikt zum Liefer- und Ladeverkehr zu beachten. In Straßen mit ausgeprägten Liefer- und Ladeverkehr ist die räumliche Unterbringung entsprechender Bereiche notwendig.

Die Führung des Radverkehrs auf der Fahrbahn in Kombination mit einem straßenbündigen Straßenbahnsystem ist grundsätzlich möglich. Hierfür wurde eine Fahrbahnbreite von 8,60 m als erforderlich festgelegt. Bei dieser Fahrbahnbreite ist das Vorbeifahren der Straßenbahn an dem Radverkehr gewährleistet und der Radfahrer verfügt über ausreichend Bewegungsspielraum ohne Schienenkontakt. Anderenfalls (Fahrbahnbreite < 8,60 m) ist der Radverkehr im Seitenraum zu führen. An räumlichen Engstellen muss eine Abwägung der jeweiligen Nutzungsansprüche erfolgen.

In Anlage 6 werden tabellarisch Punkte entlang der definierten Hauptlinien aufgeführt, an denen ein Konflikt der zuvor beschriebenen Kategorien bei Systemeinführung der Straßenbahn bzw. des Oberleitungsbusses entstehen können. Anschließend wird die tabellarische Aufzählung in der Stadtkarte je für die beiden Systeme bildlich dargestellt. Darüber hinaus beinhaltet die Anlage eine graphische Darstellung des Konfliktpotentials, der sich aus den Steigungen der Strecken und Durchfahrtshöhen der Brückenbauwerke ableiten lässt.

Die Identifikation der Konfliktpunkte basiert überwiegend auf einer Ortsbegehung (räumliche Einschätzung) und dient daher der Ersteinschätzung der technischen Umsetzungsmöglichkeit der Systemalternativen Straßenbahn- und O-Bussystem.

### **8.3 Darstellung des Innenstadtbereichs**

Innerhalb der Innenstadt wird im Rahmen der Machbarkeitsstudie keine Linienführung festgelegt, da für eine aussagefähige Konflikthanalyse mit einer Identifizierung und Bewertung der Konfliktpunkte in engen Innenstadtbereichen das Trassieren der Strecke notwendig wäre. Es werden anstatt dessen für von der Stadt vorgegebene Querschnitte Systemskizzen zur Veranschaulichung der Auswirkungen erstellt. Hierbei wird der Bestand mit den verschiedenen Umsetzungsmöglichkeiten der Systemalternative Straßenbahn und Oberleitungsbuss verglichen. Abbildung 39 zeigt die gewählten Querschnitte. Bei der Wahl der Querschnitte war es wichtig, diese nicht in Knotenpunkt- bzw. Platzbereiche zu legen, da hier die Linien- und Verkehrsführung eine wesentliche Rolle spielt.



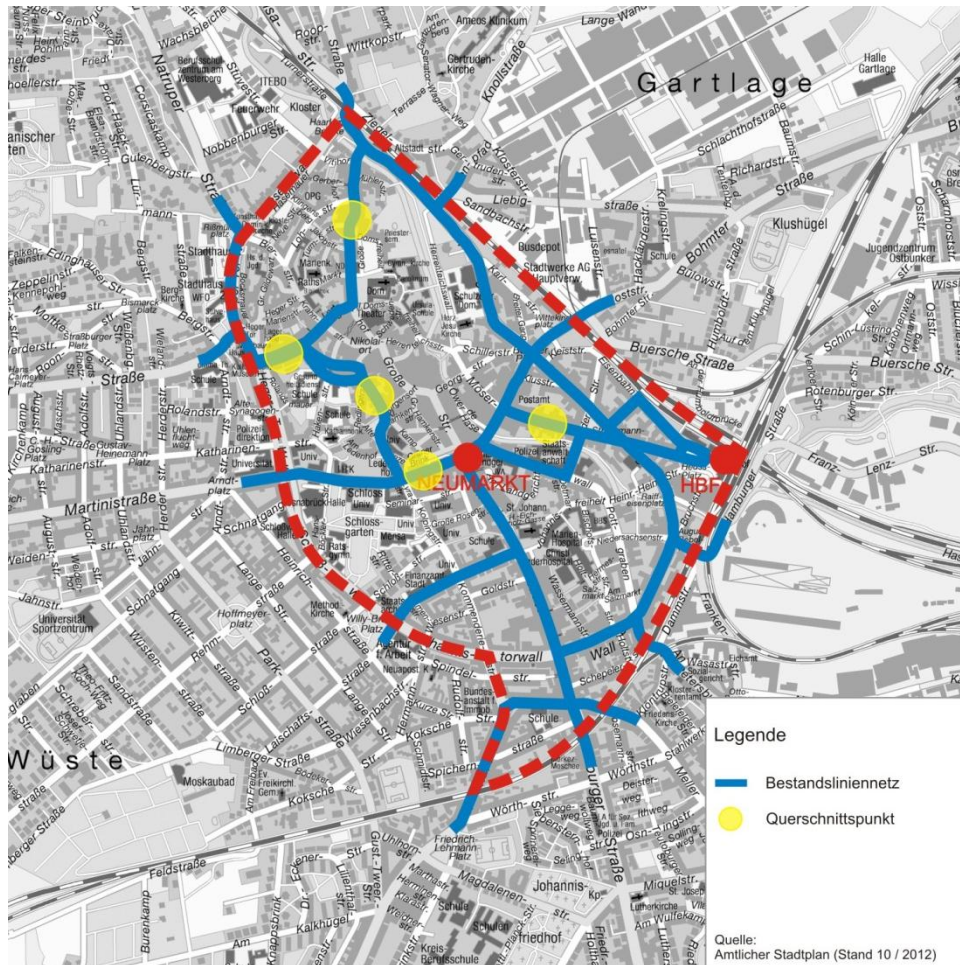


Abbildung 39: Betrachtung der Innenstadt

Abbildung 40 fasst die betrachteten Querschnitte zusammen.



### Dielingerstraße



Straßenraumbreite: 26,84 m

Die Dielingerstraße bietet die Möglichkeit alle relevanten Nutzungsansprüche räumlich unterzubringen, jedoch fällt dabei der Grünstreifen weg.

### Kamp



Straßenraumbreite: 18,30 m

Der Kamp ist derzeit eine ÖV - Achse , die für den Radverkehr und Anliegerverkehr freigegeben ist, an dieser Stelle entstehen aufgrund von Haltestellen Schwierigkeiten mit der Radverkehrsführung. Ein besonderer Bahnkörper setzt eine Sperrung für den MIV voraus.

### Möserstraße



Straßenraumbreite: 17,41 m

Die Führung der Straßenbahn auf besonderem Bahnkörper (bzw. ein Bussonderfahrstreifen) ist nur zu Lasten des Radverkehrs und des ruhenden Verkehrs möglich. Ebenfalls unterschreiten dabei die Gehwege die Standardbreite.

### Hasestraße



Straßenraumbreite: 14,34 m

Grundsätzlich ist die Führung der Straßenbahn straßenbündig im Mischverkehr mit dem MIV und Radverkehr (entsprechend dem Bussystem) möglich. Dabei sind Konflikte zum Liefer- und Ladeverkehr zu erwarten. Bei besonderem Bahnkörper bzw. Bussonderfahrstreifen ist die Verlagerung des MIV notwendig und es ergeben sich ggf. Unterschreitungen der Gehwegstandardbreiten.

### Neumarkt



Straßenraumbreite: 22,04 m

Eine Straßenraumgestaltung vom Neumarkt ermöglicht die Umsetzung je eines ÖV- und eines IV- Fahrstreifens sowie eines Schutzstreifens für den Radverkehr. Hierbei ist die Verkehrsbelastung zu prüfen und zu berücksichtigen. Es ergeben sich ggf. Unterschreitungen der Gehwegstandardbreiten.

Abbildung 40: Zusammenfassung der betrachteten Querschnitte

Die dazugehörigen Systemskizzen sind in Anlage 7 enthalten. Bei der Erstellung der Systemskizzen sind keine Überlegungen zur Haltestellenanordnung miteingeflossen.

Ergänzend zu der Querschnittsbetrachtung wird der Knotenpunkt Neumarkt / Johannisstraße geprüft. Dabei wird die Schienenführung unter Einhaltung des Mindestradius von 25 m betrachtet (vgl. Abbildung 41).



**Abbildung 41: Knotenpunkt Neumarkt / Johannisstraße**

Quelle: Planungsgrundlage TSC Ingenieur

Im Ergebnis ist eine Straßenbahnführung im Bestand prinzipiell eingleisig (Gleisverschlingung) möglich. Von dieser Maßnahme ist aus betrieblichen Gründen abzuraten, da an diesem Knotenpunkt eine verhältnismäßig hohe Begegnungswahrscheinlichkeit und ein hohes Verkehrsaufkommen vorliegen. In der Neuplanung wird eine Straßenbahnführung unter Inanspruchnahme des Platzbereiches möglich.

#### 8.4 Systemspezifische Liniennetze

Die systemspezifischen Liniennetze werden aufbauend auf der Konfliktanalyse entwickelt. Dabei werden die im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie definierten Hauptlinien betrachtet. Eine Systemeinführung sollte flächendeckend im gesamten definierten Hauptliniennetz untersucht werden. Dabei soll die Taktintegration der Regionalverkehre weiterhin gewährleistet werden und die Haltestellenabstände beibehalten werden. Für die Haltestellen wurden eine maximale Länge von 30 m und eine Anordnung in Seitenlage vorgegeben. Im Rahmen der Liniennetzentwürfe wird die Innenstadt nicht im Detail betrachtet (vgl. 8.3). Hier wird gemäß Vorgabe der oberleitungsfreie Betrieb vorausgesetzt.

Anlage 8 beinhaltet die Liniennetzentwürfe für ein

- Bussystem
- O-Bussystem
- Straßenbahnsystem.



#### 8.4.1 Liniennetzentwurf Bussystem

Der Einsatz von Bussen ist auf allen Hauptlinien aufgrund seiner Vielfältigkeit und Flexibilität möglich (vgl. Anlage 8, Seite 1). Bereits heute werden alle dargestellten Abschnitte mit Linienbussen befahren. Ein hervorzuhebendes Beispiel für eine innovative und bedarfsorientierte Entwicklung stellt der Einsatz des PlusBus dar. Auch weitere innovative Entwicklungen im technischen Bereich (Elektro- bzw. Hybridbusse) werden bereits eingesetzt.

Eine Fortentwicklung des Bussystems und Aufwertung des Systems kann nicht nur durch technische Innovationen der Fahrzeuge und deren Antriebe, sondern auch durch Maßnahmen erzielt werden, wie z.B.:

- Einrichtung von Bussonderfahrstreifen
- Beschleunigungs- und Bevorrechtigungsmaßnahmen (z. B. im Bereich der lichtsignalgeregelten Knotenpunkte)
- mehr Komfort und Service für die Fahrgäste (nicht nur in Fahrzeugen, sondern auch an Haltestellen und Kundencentern)
- ein modernes und ansprechendes Design

#### 8.4.2 Liniennetzentwurf O-Bussystem

Nach Ersteinschätzung ist die technische Umsetzbarkeit eines O-Bussystems entlang aller Hauptlinien möglich (vgl. Konfliktanalyse).

Aufgrund der regionalen Bedeutung der Hauptlinien K und M ist entlang dieser Linien kein O-Bussystem im Liniennetzentwurf vorgesehen. Zurzeit ist der Regionalverkehr sehr gut in den Stadtverkehr integriert. Die ökonomischen Vorteile durch die Vereinnahmung von Synergieeffekten lassen sich hierbei in einem homogenen System einfacher verwirklichen. Des Weiteren sollen gebrochene Verkehre in die Region vermieden werden.

Der Entwurf für ein O-Bussystem im innerstädtischen Liniennetz beinhaltet die Systemeinführung entlang 11 definierten Hauptlinien (vgl. Anlage 8, Seite 2). Das **O-Busliniennetz** umfasst damit etwa **45 km** des 49 km langen Hauptliniennetzes, wobei die Längenangaben den Innenstadtbereich nicht beinhalten.

Die Konfliktpunkte für ein O-Bussystem an den Bahnübergänge Mindener Straße (Hauptlinie B), Atterstraße (Hauptlinie H) und Hermann-Ehlers-Straße (Hauptlinie L) können mittels des oberleitungsfreien Betriebes gelöst werden. Ein automatisches An- und Abkoppeln der Oberleitung ist technisch möglich. An diesen Stellen könnten jedoch unter Umständen betriebliche Schwierigkeiten (Zeitverluste durch Warten am Bahnübergang) entstehen.

Die Integration des Hauptbahnhofs ist entsprechend dem Bussystem möglich. Auch eine flächendeckende Erschließung im Hauptliniennetz kann erfolgen.

Im Falle einer O-Bussystemeinführung entlang der definierten Hauptlinien ist die Erschließung des übrigen Liniennetzes zu prüfen. Derzeit erfolgt die flächendeckende Erschließung der Stadtteile durch Verzweigungen der Buslinien. Die zusätzlich erforderliche Infrastruktur stellt diese Vorgehensweise der Erschließung in Frage. Eine Ergänzung durch das klassische Bussystem wirkt sich auf organisatorische und kostenspezifische Aspekte aus. Unter Umständen wird das Be-



fahren der Äste im oberleitungsfreien Betrieb möglich. Die geschilderte Problematik ist bei konkreter werdenden Planungen im Detail zu prüfen.

#### 8.4.3 Liniennetzentwurf Straßenbahnsystem

##### **Liniennetzentwurf - Standardparameter**

Für den Liniennetzentwurf wird an dieser Stelle ein standardisiertes Fahrzeug herangezogen. Daraus resultieren insbesondere die folgenden Einschränkungen:

- Max. Längsneigung: 40 ‰
- Mindestradius: 25 m

Die technische Umsetzbarkeit eines standardisierten Straßenbahnsystems im Osnabrücker Stadtgebiet ist nach Ersteinschätzung nur eingeschränkt bzw. unter erschwerenden Bedingungen in dem als relevant definierten Hauptliniennetz möglich. In der Konfliktanalyse wird auf mehrere Engstellen entlang der Hauptlinien hingewiesen.

Die meisten Konflikte stellen die Steigungen über 4 % im Nordosten der Stadt dar. Dem kommen die engen Straßenräume in den Stadtteilen Schinkel, Dodesheide und Haste hinzu. Das Umfahren der Konfliktpunkte durch Verlagerung der Linien auf eine Parallelachse ist ebenfalls aufgrund der topographischen Gegebenheiten als kritisch bzw. nicht möglich zu bewerten.

Aus den beschriebenen Gründen wird eine Straßenbahnsystemeinführung entlang von sechs definierten Hauptlinien (Hauptlinien B, C, D, E, F und I) nicht empfohlen. Wie im Fall der Einführung eines O-Bussystems wird entlang der Hauptlinien K und M auf die Einführung einer Systemalternative verzichtet, um die umstiegsfreie Integration der Regionalverkehre in den Stadtverkehr zu gewährleisten.

Der Entwurf für ein **Straßenbahnsystem** besteht somit aus fünf definierten Hauptlinien (vgl. Anlage 8, Seite 3). Dabei wird die Straßenbahn auf etwa **21 km** des 49 km langen Hauptliniennetzes geführt, wobei die Längenangaben den Innenstadtbereich nicht beinhalten. Eine Weiterentwicklung des Straßenbahnsystems mit Sonderlösungen / -genehmigungen ist möglich.

Bei einer Einführung des Straßenbahnsystems liegen zahlreiche Konfliktpunkte vor. Dabei sei insbesondere auf folgende Aspekte hingewiesen:

- Unterschreiten des Mindestradius am Knotenpunkt Lengericher Landstraße / Große Schulstraße (Hauptlinie J).
- Plangleiche Bahnübergänge an der Atterstraße (Hauptlinie H) und an der Hermann-Ehlers-Straße (Hauptlinie L)
- enge Straßenräume entlang der gesamten Linienführung
- Umgestaltungsbedarf an Knotenpunkten, Fußgängerquerungshilfen und Grünanlagen



Die Lösung der Konflikte ist im Einzelnen zu prüfen. Bei einer Anpassung der Linienführung könnte bspw. der Konflikt am Knotenpunkt Lengericher Landstraße / Große Schulstraße vermieden werden. Der Bahnübergang Atterstraße wird laut Angaben der Stadt Osnabrück mittelfristig unterführt. Für den plangleichen Bahnübergang Hermann-Ehlers-Straße wird ebenfalls ein Unterführungsbauwerk notwendig. Weitere Lösungen könnten das oberleitungsfreie Überfahren oder ein Linienende vor dem Bahnübergang sein.

Die verhältnismäßig engen Straßenräume können ggf. über neu definierte Nutzungsansprüche zu Gunsten des Straßenbahnsystems gelöst werden. Nach Ersteinschätzung scheint aufgrund dessen auch die Straßenbahnführung auf einem besonderen Bahnkörper nur stark eingeschränkt möglich. Hierzu sind jedoch detaillierte Untersuchungen erforderlich.

Im Liniennetzentwurf kann der Hauptbahnhof durch die Nord-Süd-Achse nur schwer integriert werden. Eine Linienführung der westlichen Achse ist bis zum Hauptbahnhof denkbar.

Daneben kann auch keine flächendeckende Erschließung im Hauptliniennetz unter den getroffenen Vorgaben eines standardisierten Straßenbahnsystems erfolgen. In dem zu Grunde liegenden Liniennetzentwurf ist die Erschließung der Stadt einseitig / ungleichmäßig.

Im Falle einer Straßenbahnsystemeinführung entlang der definierten Hauptlinien ist die Erschließung des übrigen Liniennetzes im Rahmen der Ergänzung durch ein klassisches Bussystem zu prüfen, wie bereits für das O-Bussystem erläutert.

### **Liniennetzentwurf – Erweiterte Betrachtung**

Die Empfehlung des Gutachters sieht von dem Ziel einer flächendeckenden Erschließung im Hauptliniennetz ab. Im Hauptliniennetz sind wesentliche Achsen heraus zu kristallisieren und auf die Umsetzungsfähigkeit eines Straßenbahnsystems zu prüfen. Hierbei wird auch der Einsatz von Sondersystemen, die in anderen Straßenbahnstädten regulär eingesetzt werden, nicht ausgeschlossen.

In erster Linie wird das definierte Hauptliniennetz kritisch hinterfragt. Es ist ein sehr dichtes Netz und für eine flächendeckende Straßenbahneinführung deutlich überdimensioniert. Zahlreiche Beispiele in Deutschland zeigen, dass Städte vergleichbarer Größenordnung mit ein bis drei Straßenbahnlinien bedient werden.

Um den nordöstlichen Teil der Stadt mit einem Straßenbahnsystem zu erschließen, sollte der für das Straßenbahnsystem entwickelte Liniennetzentwurf bspw. um die Verbindung nach Belm (Hauptlinie D) erweitert werden (vgl. Anlage 8, Seite 4).

Hauptlinie D weist hinsichtlich der städteräumlichen Gegebenheiten für ein Straßenbahnsystem wenige Konflikte auf. Problematisch sind die Streckenabschnitte zu sehen, die über 4% Steigung aufweisen. Hier ist die Einführung eines gesicherten Systems denkbar und wird an dieser Stelle empfohlen. Die Bahnbrücke an der Bremer Straße (lichte Höhe 4,23 m) könnte ggf. oberleitungsfrei unterfahren werden.

Der erweiterte Liniennetzentwurf für das Straßenbahnsystem verläuft demnach entlang sechs der definierten Hauptlinien und umfasst eine Länge von etwa 25 km.





#### 8.4.4 Vergleichende Darstellung der Liniennetzentwürfe

Das Bussystem ist heute bereits gut integriert und weist eine hohe Erschließungsqualität auf. Mögliche Verbesserungen des Systems, wie z.B. ÖPNV-Beschleunigungsmaßnahmen, könnten das System weiter verbessern, sind jedoch nach Einschätzung des Auftragsgebers nur schwer durchsetzbar.

Zur Einführung der Systeme Straßenbahn oder Oberleitungsbus sind dagegen zahlreiche Maßnahmen erforderlich. Diese Systemalternativen wurden deshalb hinsichtlich ihrer Realisierbarkeit und Integration in das städtische Verkehrsnetz analysiert.

Die Integration in die bestehende / vorhandene Verkehrsinfrastruktur sowie die Integration der Regionalverkehre sind wesentliche Kriterien. Das regionale Bussystem lässt sich mit den Systemalternativen O-Bussystem und Straßenbahnsystem schwieriger vereinen und führt zu gebrochenen Verkehren in / aus der Region. Die stark durch Regionalverkehre geprägten Linien wurden daher grundsätzlich für einen Systemwechsel nicht empfohlen, d.h. sie werden in den Liniennetzentwürfen weiterhin durch ein Bussystem bedient.

Das O-Bussystem kann darüber hinaus auf allen übrigen definierten Hauptlinien eingesetzt werden. Einschränkungen ergeben sich ausschließlich aus der Oberleitungsinfrastruktur.

Das Straßenbahnsystem stellt hingegen höhere Anforderungen an die räumliche Integration und führt zu umfangreichen Auswirkungen auf die Verkehrsinfrastruktur und das Stadtbild, so dass nur Teile des definierten Hauptliniennetzes durch ein standardisiertes Straßenbahnsystem bedient werden können.

**Tabelle 12: Systemspezifische Liniennetzentwürfe im Vergleich (Teil 1)**

Liniennetz	Liniennetzlänge			Haltestellenanzahl
	Außerhalb Innenstadt	Innenstadtbereich	Gesamt	
Derzeitiges Liniennetz			133 km	560*
Definiertes Hauptliniennetz	~ 49 km	~ 7 km	~ 56 km	123
Liniennetzentwurf Bus	~ 49 km	~ 7 km	~ 56 km	123
Liniennetzentwurf O-Bus	~ 45 km	~ 7 km	~ 52 km	114
Liniennetzentwurf Straßenbahn (Standardparameter)	~ 21 km	~ 5 km	~ 26 km	64
Liniennetzentwurf Straßenbahn (erweiterte Betrachtung)	~ 25 km	~ 5,5 km	~ 31 km	74

\* Haltestellenpositionen



**Tabelle 13: Systemspezifische Liniennetzeentwürfe im Vergleich (Teil 2)**

Liniennetz	Fahrgastzahlen			
	Außerhalb Innenstadt	Innenstadt- bereich	Gesamt	Anteil
Derzeitiges Liniennetz			85.000	100%
Definiertes Hauptliniennetz	~ 32.000	~ 32.000	~ 64.000	76%
Liniennetzentwurf Bus	~ 32.000	~ 32.000	~ 64.000	76%
Liniennetzentwurf O-Bus	~30.000	~ 32.000	~ 62.000	73%
Liniennetzentwurf Straßenbahn (Standardparameter)	~16.000	~ 30.000	~ 46.000	54%
Liniennetzentwurf Straßenbahn (erweiterte Betrachtung)	~ 18.000	~ 32.000	~ 50.000	59%

Die Angabe der Fahrgastzahlen im jeweiligen Liniennetzentwurf basiert auf einer Schätzung. Hierbei wurden die Ein- und Aussteiger entlang der im Liniennetzentwurf angefahrenen Haltestellen aufsummiert und mit  $\frac{1}{2}$  multipliziert, da einem Fahrgast jeweils ein Ein- und Ausstieg zukommt.

Mittels der vorliegenden Datengrundlage können für die jeweiligen Liniennetzentwürfe keine genauen Potentiale für den innerstädtischen Liniennetzentwurf abgeleitet werden. Die Summe der Ein- und Aussteiger beinhaltet auch die Regionalfahrgäste. Des Weiteren liegen keine Angaben über die Verkehrsbeziehungen (Quelle / Ziel) vor. Diese Vorgehensweise wird daher nur hilfstellend herangezogen.

#### 8.4.5 Bussonderfahrstreifen / Besonderer Bahnkörper

Unabhängig von der Systemalternative gilt es einem hochwertigen ÖPNV-System eine freie Fahrt zu ermöglichen, um insbesondere Pünktlichkeit und Verlässlichkeit zu gewährleisten. Neben dem Qualitätsaspekt für die Fahrgäste spielt die Beförderungszeit eine Rolle in der Wirtschaftlichkeit für den ÖPNV-Betrieb.

In Hauptverkehrsstraßen mit hoher Verkehrsbelastung wird eine Trennung des ÖPNV vom Individualverkehr erforderlich. Besonders für Straßen- und Stadtbahnen steht die räumliche Trennung mittels besonderen Bahnkörpers im Vordergrund. Der besondere Bahnkörper wurde auch bisher durch die GVFG Förderpraxis vorausgesetzt. Eine Alternative zur räumlichen Trennung bietet die zeitliche Trennung (dynamische Straßenraumfreigabe).

Die Umsetzungsmöglichkeit einer räumlichen Trennung hängt von der Straßenraumbreite, den prägenden Nutzungsansprüchen und den Auswirkungen der Trasse auf die Seitenräume und die Proportionalität der Straßenraumgestaltung ab.

Für das Bussystem sind bereits an verschiedenen Stellen im Stadtgebiet kurze Abschnitte mit Bussonderfahrstreifen eingerichtet. Weitere Bussonderfahrstreifen sind laut Nahverkehrsplan vorgesehen. Die Realisierung eines besonderen Bahnkörpers scheint nach Ersteinschätzung im Osnabrücker Stadtgebiet aufgrund der geringen Straßenraumbreite nur auf kurzen Linienabschnitten möglich zu sein. Hier ist dann zusätzlich eine Priorisierung des ÖPNV, ggf. zu Lasten des MIV empfehlenswert.



## 9. Kostenschätzung

### 9.1 Betriebsgrobkonzept

Für die erarbeiteten Liniennetzentwürfe O-Bussystem und Straßenbahnsystem werden Betriebsgrobkonzepte als Grundlage für die Kostenschätzung entwickelt. Diese sind sowohl für den Oberleitungsbusbetrieb als auch den Straßenbahnbetrieb in Anlage 11 enthalten.

Für den **O-Busbetrieb** werden sechs Linien auf Basis des Liniennetzentwurfes konzipiert. Anhand der jeweiligen Linienlängen wird unter Annahme eines 10 Minuten-Taktes und einer durchschnittlichen Beförderungsgeschwindigkeit von 18,5 km/h die erforderliche Fahrzeuganzahl abgeleitet. Diese Geschwindigkeit ist die tatsächliche durchschnittliche Beförderungsgeschwindigkeit 2011, so dass Einflussfaktoren wie z. B. eine mittlere Haltezeit pro Haltestelle, eine mittlere Beschleunigung und Bremsverzögerung usw. unberücksichtigt bleiben. Im gesamten Liniennetzentwurf werden 49 Fahrzeuge (44 Fahrzeuge für die Betriebsaufrechterhaltung zuzüglich 10 % Reservefahrzeuge) erforderlich.

Die gesamte Liniennetzentwurfslänge beträgt etwa 52 km, davon sind etwa 7 km im Innenstadtbereich. Der Liniennetzentwurf beinhaltet insgesamt 114 Haltestellen (inklusive Innenstadt) entlang der Linienführung.

Für den **Straßenbahnbetrieb - Standardparameter** werden drei Linien basierend auf dem Liniennetzentwurf konzipiert. Hierbei werden entsprechend der Vorgehensweise beim Oberleitungsbussystem 25 Fahrzeuge (22 Fahrzeuge für die Betriebsaufrechterhaltung zuzüglich 10 % Reservefahrzeuge) erforderlich.

Die gesamte Liniennetzentwurfslänge beträgt etwa 26 km, davon sind etwa 5 km im Innenstadtbereich. Der Liniennetzentwurf beinhaltet insgesamt 64 Haltestellen (inklusive Innenstadt) entlang der Linienführung.

Für den **Straßenbahnbetrieb – erweiterte Betrachtung** werden ebenfalls drei Linien auf Basis des Liniennetzentwurfs betrachtet. Hier sind für den Straßenbahnbetrieb 28 Fahrzeuge (25 Fahrzeuge für die Betriebsaufrechterhaltung zuzüglich 10 % Reservefahrzeuge) erforderlich.

Die erweiterte Liniennetzentwurfslänge beträgt etwa 31 km, davon sind etwa 5,5 km im Innenstadtbereich. Dieser Liniennetzentwurf beinhaltet insgesamt 74 Haltestellen (inklusive Innenstadt) entlang der Linienführung.

Derzeit werden im gesamten aktuellen Liniennetz außerhalb der Spitzen 85 Fahrzeuge benötigt. Wird diese Anzahl der erforderlichen Fahrzeuge ins Verhältnis zu den jeweiligen Liniennetzentwürfen gesetzt lässt sich der folgende Fahrzeugbedarf ableiten:

- für den Oberleitungsbusbetrieb in Höhe von 34 Fahrzeugen zuzüglich vier Reservefahrzeugen (10 %)
- für den Straßenbahnbetrieb - Standardparameter in Höhe von 17 Fahrzeugen zuzüglich zwei Reservefahrzeugen (10 %)
- für den Straßenbahnbetrieb - erweiterte Betrachtung in Höhe von 20 Fahrzeugen zuzüglich zwei Reservefahrzeugen (10 %)



Bei einer Einführung von verschiedenen Systemalternativen ist mit einem höheren Fahrzeugbedarf zu rechnen, da sich im Rahmen der Kombination und Verknüpfung Ineffizienzen ergeben können. Darüber hinaus sollte eine Betriebsaufrechterhaltung während der Spitzen sichergestellt sein.

## 9.2 Kosten der Systemeinführung

Die Kosten wurden in Form einer Grobkostenschätzung ermittelt. Der Kostenschätzung wurde ein Betriebskonzept zu Grunde gelegt, das systemabhängig die Rahmenbedingungen grob festlegt.

Anlage 12 beinhaltet eine Zusammenstellung der ermittelten Kosten.

Die **Investitionskosten** für die jeweilige Systemalternative können in die vier Kostengruppen:

- Grunderwerb
- Betriebsanlagen
- Folgemaßnahmen
- Baunebenkosten

unterteilt werden.

Die **Grunderwerbskosten** setzen sich zusammen aus dem Erwerb von Grundstücken sowie dem Erwerb von Gebäuden und Anlagen sowie den sonstigen Grunderwerbskosten (in der Regel Grundstücksnebenkosten). Der Grunderwerb wurde zunächst als Ausschlusskriterium für die Systemeinführung definiert. Des Weiteren kann derzeit nicht ermittelt werden, inwiefern die Notwendigkeit zum Grunderwerb besteht. Somit werden diese Kosten nicht weiter betrachtet.

Die **Betriebsanlagen** setzen sich zusammen aus dem Fahrweg einschließlich der hierfür erforderlichen Ingenieurbauwerke, den Stationen sowie einem Betriebshof mit Leitstelle. Da der Betriebshofstandort bisher unklar ist, gehen diese Kosten auf Grundlage von Annahme in die Kostenschätzung ein. Zudem werden den Betriebsanlagen die Fahrzeugbeschaffungskosten zugeordnet. Auch hier sind in Abhängigkeit der noch im Detail festzulegenden spezifischen Anforderungen ggf. Präzisierungen zu erwarten.

Die **Folgemaßnahmen** beinhalten die Maßnahmen für die Aufrechterhaltung des Verkehrs sowie die erforderlichen Leitungsumlegungen. Gerade bei der Abschätzung dieser Kosten kann in der momentanen Planungsphase nur von Erfahrungswerten ausgegangen werden. Überdies werden den Folgemaßnahmen Kosten für die Anpassung der übrigen Verkehrsflächen einschließlich erforderlicher Ingenieurbauwerke zugerechnet. Letztendlich beinhalten die Kosten der Folgemaßnahmen auch Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen die erforderlich werden.

Die **Baunebenkosten** wurden prozentual mit 16 % der Kosten der Betriebsanlagen und der Folgemaßnahmen angesetzt. Die Baunebenkosten bestehen im Wesentlichen aus den Planungskosten.



Nicht enthalten sind ggf. auftretende **Zusatzkosten** (Risiken) für:

- erforderliche Ingenieurbauwerke
- Brückensanierung oder -neubau
- Unterführungsbauwerke
- Baugrund (Archäologie, Leitungsbau, Altlasten, etc.)
- erhöhte Anforderungen infolge von Gutachten (Schall, Erschütterung, elektromagnetische Verträglichkeit, etc.)
- Anforderungen Dritter (tangierende Planungen, Eigentumsverhältnisse, etc.)

Für die Kostenschätzung einer Neueinführung des O-Bussystems werden folgende Annahmen getroffen:

- Die Betriebsanlagen des derzeitigen Bussystems können überwiegend mitgenutzt werden.
- Die Fahrzeuge (18 m Oberleitungsgelenkbusse) werden mit einem erhöhten Pauschalpreis angesetzt, da die technische Ausstattung für einen oderleitungsfreien Betrieb berücksichtigt wird. Die Anzahl der anzuschaffenden Fahrzeuge resultiert aus dem Betriebskonzept zuzüglich Reservebestand.
- Die Folgemaßnahmen werden gering gehalten, da ein Umbau lediglich zur Integration der Oberleitung in den Straßenraum angenommen wird. Die Kosten steigen deutlich mit der Umsetzung von Sonderfahrstreifen.

Für die Kostenschätzung einer Neueinführung des Straßen- / Stadtbahnsystems werden folgende Annahmen getroffen:

- Die Betriebsanlagen des derzeitigen Bussystems können sehr stark eingeschränkt mitgenutzt werden.
- Die Fahrzeuge (30 m Niederflurstraßenbahn) werden mit einem erhöhten Pauschalpreis angesetzt, da die technische Ausstattung für einen oderleitungsfreien Betrieb berücksichtigt wird. Die Anzahl der anzuschaffenden Fahrzeuge resultiert aus dem Betriebskonzept zuzüglich des Reservebestands.

Zusammenfassend ergeben sich für den Fahrweg mit Stationen (ohne Fahrzeuge, Betriebshof und Nebenkosten) durchschnittliche **Investitionskosten** von

- etwa 2,5 Mio. € / km für das O-Bussystem
- etwa 9,1 Mio. € / km für das Straßenbahnsystem - Standardparameter
- etwa 10,9 Mio. € / km für das Straßenbahnsystem - erweiterte Betrachtung

Der höhere Investitionsbetrag für das Straßenbahnsystem in der erweiterten Betrachtung resultiert aus einer höheren Anzahl an erforderlichen Weichen, Knotenpunkten und Haltestellen entlang der konzipierten Linienführung.



Die Investitionskosten in € / km ermöglichen den Vergleich zwischen den verschiedenen Systemalternativen und unterschiedlichen Netzlängen. Die im Rahmen der Machbarkeitsstudie ermittelten Investitionskosten entsprechen grob den gängigen Erfahrungswerten in Deutschland (vgl. Tabelle 14).

**Tabelle 14: Straßenbahnsysteminvestitionskosten in deutschen Städten**

Investitionsmaßnahme	Mio. € / km
<b>Hannover</b> Stadtbahnlinie 3 bis Altwarmbüchen (4,6 km; Inbetriebnahme 05/2006) Streckenumbau aktuell (ohne besondere Bauwerke wie Brücken usw.)	12,0
<b>Heidelberg</b> Neubaustrecke Römerkreis – Kirchheim (4,4 km; Inbetriebnahme 12/2006)	9,1
<b>Zwickau</b> Verlängerung der Linie 3 bis Neuplanitz (4,5 km; Inbetriebnahme 12/2005)	10,1
<b>Bonn</b> Bonn-Auerberg – Bornheim/Hersel Bf (3,0 km; Planung Stand 2005)	9,9
<b>Kassel</b> Straßenbahnverlängerung nach Vellmar (3,9 km; Baubeginn Herbst 2008)	8,4

Quelle: Fachpresse

Zum Vergleich werden die Systeminvestitionskosten für die Straßenbahn in französischen Städten in Tabelle 15 aufgeführt. Die durchschnittlichen Investitionskosten bei der Straßenbahneinführung in französischen Städten sind deutlich höher und belaufen sich auf durchschnittlich 23 Mio. / km. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass eine Systemeinführung bzw. Erweiterung meist im Zuge genereller Straßenraumneugestaltung erfolgte.

**Tabelle 15: Straßenbahnsysteminvestitionskosten in französischen Städten**

Stadt	Eröffnung	Linie	Streckenlänge	Mio. €/km
Strasbourg*	1994/98	Linie A	12,6 km	23,6
Lyon*	2000	T 1, 2	18,3 km	20,2
Montpellier*	2000	Linie 1	15,2 km	22,9
Nantes	2000	Linie 3	4,1 km	24,0
Orléans*	2000	Linie 1	17,9 km	16,8
Strasbourg	2000	Linie B	11,9 km	23,7
Bordeaux*	2003	Linie 1, 2, 3	22,2 km	21,0
Mulhouse*	2006	Linie 1, 2	12,0 km	17,3
Valenciennes*	2006	Linie 1	10,9 km	15,7
Grenoble	2006	Linie C	11,5 km	27,6
Paris*	2006	Linie 1	8,3 km	37,5
Montpellier	2007	Linie 2	19,0 km	26,7

\*Neueinführung einer Straßenbahn. Die Kosten der neuen Betriebshofanlage sind enthalten.

Quelle: Fachpresse



Die **Betriebskosten** gliedern sich in die vier Kostengruppen:

- Unterhaltungskosten
- Kapitaldienst
- Energiekosten
- Personalkosten

Die Betriebskosten orientieren sich an den Investitionskosten und können anhand der standardisierten Bewertung abgeleitet werden. Bei der Ermittlung der Kosten für den Kapitaldienst wird der zuwendungsfähige Anteil zunächst auf 0 % gesetzt, da das Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (GVFG) ausläuft und die zukünftige Regelung unklar ist.

Des Weiteren wird bei der Schätzung der Betriebskosten angenommen, dass der Personalbedarf von den Stadtwerken getragen werden kann und lediglich zusätzliche Aufwendungen für fachspezifisches Werkstattpersonal entstehen.

Gerundet ergeben sich folgende jährliche Betriebskosten:

- 15,4 Mio. € für das O-Bussystem  
bei einer Netzlänge inkl. Innenstadt von ca. 52 km  
(ohne Kapitaldienst: 4,7 Mio. €)
- 26,6 Mio. € für das Straßenbahnsystem – Standardparameter  
bei Netzlänge inkl. Innenstadt von ca. 26 km  
(ohne Kapitaldienst: 6,0 Mio. €)
- 30,8 Mio. € für das Straßenbahnsystem - erweiterte Betrachtung  
bei einer Netzlänge inkl. Innenstadt von ca. 31 km  
(ohne Kapitaldienst: 6,6 Mio. €)

Es ist zu berücksichtigen, dass sich grundsätzlich durch die Einführung der Liniennetze der Systemalternativen Einsparungen im zugrunde gelegten Hauptliniennetz im Busbetrieb ergeben.

### 9.3 Kostenvergleich

Ein Kostenvergleich der Betriebskosten in € / km erfolgt anhand folgender Annahmen:

- Für die allgemeinen Kosten (Verwaltung, Personale usw.) wird ein Betrag von 23.000.000 € im Jahr angenommen.
- Für die systemspezifischen Kosten (Fahrzeugbereitstellung und -instandhaltung, Kapitaldienst für systembedingte Investitionen, Energieverbrauch und ähnliches) werden die folgenden Beträge angenommen:
  - für ein bestehendes Bussystem in Höhe von ca. 7.700.000 € im Jahr
  - für eine Oberleitungsbussystem-Neueinführung der Betrag aus der Kostenschätzung in Höhe von ca. 16.100.000 € im Jahr



- für eine Straßenbahnsystem-Neueinführung (Standardparameter) der Betrag aus der Kostenschätzung in Höhe von ca. 27.000.000 € im Jahr
- für eine Straßenbahnsystem-Neueinführung (erweiterte Betrachtung) der Betrag aus der Kostenschätzung in Höhe von ca. 31.300.000 € im Jahr
- bei einer Systemneueinführung entsprechende Kostenreduktion für das bestehende Bussystem (Anteile)
- Angenommen wird ein Liniennetz mit einer Gesamtleistung von 7.000.000 km im Jahr.

Die dem Kostenvergleich zugrundeliegenden Beträge basieren auf Erfahrungswerten und Schätzungen und werden durch Angaben der PlaNOS unterstützt. Die tatsächlichen Kosten verschiedener ÖPNV-Systeme schwanken stark zwischen den Verkehrsbetrieben.

Diese Annahmen werden auf die in Kapitel 8 entwickelten Liniennetzentwürfe übertragen. Tabelle 16 zeigt die jährlich anfallenden Betriebskosten für die verschiedenen Liniennetzkonzeptionen unter den zuvor getroffenen Annahmen.

**Tabelle 16: Vergleich der jährlichen Betriebskosten (absolut)**

Linienetzkosten	Bus	Bus / O-Bus	Bus / Strab 1*	Bus / Strab 2**
<b>Allgemeine Kosten pro Jahr</b>				
	23.000.000 €	23.000.000 €	23.000.000 €	23.000.000 €
<b>Systemspezifische Kosten pro Jahr</b>				
Bussystem	7.690.000 € <i>(133 km = 100%)</i>	5.080.000 € <i>(88 km = 66%)</i>	6.460.000 € <i>(112 km = 84%)</i>	6.230.000 € <i>(108 km = 81 %)</i>
Systemalternative	-	16.100.000 € <i>(ca. 52 km)</i>	27.010.000 € <i>(ca. 26 km)</i>	31.310.000 € <i>(ca. 31 km)</i>
Summe	30.690.000 €	44.180.000 €	56.470.000 €	60.540.000 €

\* Straßenbahn - Standardparameter

\*\* Straßenbahn - erweiterte Betrachtung

Um einen weiteren Kostenvergleich zu ermöglichen, werden die entstandenen Betriebskosten durch die angenommene Gesamtleistung dividiert, um einen groben Vergleich zwischen den Systemalternativen unabhängig von der tatsächlichen Laufleistung zu ermöglichen (vgl. Tabelle 17). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass der Anteil an Allgemeinkosten pro km Einfluss nimmt.

**Tabelle 17: Vergleich der Betriebskosten pro km**

Linienetzkosten in € / km			
Bus	Bus / O-Bus	Bus / Strab 1*	Bus / Strab 2**
4,39 €/km	6,32 €/km	8,07 €/km	8,66 €/km

\* Straßenbahn - Standardparameter

\*\* Straßenbahn - erweiterte Betrachtung





## 10. Kapazitätsanalyse

Ein weiterer Aspekt der berücksichtigt werden sollte, ist die systemspezifische Fahrgastkapazität. Auf diese Weise können u. U. entstehende räumliche Auswirkungen und anfallende finanzielle Aufwendungen einer Systemeinführung gerechtfertigt werden. Die Leistungsfähigkeit in Bezug auf die Fahrgastkapazität der Systemalternative sollte dem Fahrgastaufkommen entsprechen. Dieser Aspekt wird in den folgenden beiden Tabellen betrachtet.

**Tabelle 18: Fahrgastzahlen entlang der Hauptlinien**

Hauptlinie	derzeitige Linie	Fahrgäste/Tag (auf derzeitigen Linien)	Fahrgastpotential* (auf definierten Hauptlinien)
A	41	~ 11.500	1.150
B	91 / 92	~ 11.000	1.100
C	11 / 12 / 13	~ 14.600	1.460
D	71 / 72	~ 13.100	1.310
E	51 / 52 / 53	~ 8.500	850
F	31 / 32 / 33	~ 10.300	1.030
G	41, (81 / 82)	~ 11.500 + ~ 3.800	1.530
H	11 / 12 / 13	~ 14.600	1.460
I	21	~ 7.300	730
J	91 / 92	~ 11.000	1.100
K	31 / 32 / 33	~ 10.300	1.030
L	71 / 72	~ 13.100	1.310
M	(61 / 62)	~ 3.000	300

\*Annahme: Fahrgäste in der Spitzenstunde 10 % des Tagesaufkommens

Das geschätzte Fahrgastpotential beruht auf der Annahme des maximalen Fahrgastaufkommens pro Stunde. Hierbei wird die Tagesauslastung der gesamten derzeitigen Linien betrachtet. Die definierten Hauptlinien überlagern jedoch nur einen begrenzten Teilabschnitt der derzeitigen Linien, somit liegt die Potentialabschätzung über dem aktuellen Niveau des jeweiligen Hauptlinienbereichs.

In den Fahrgastzahlen der Linien 61 / 62 und 81 / 82 ist der Anteil der Regionalfahräste nicht enthalten (Vgl. Kapitel 7.2.2).

Für die relevanten Systemalternativen wird die folgende Kapazität angenommen:

- Kapazität Straßenbahn: **2.520 Plätze**  
(210 Sitz- und Stehplätze pro Fahrzeug bei 12 Fahrten in beide Richtungen pro Stunde)
- Kapazität Gelenkbus: **1.800 Plätze**  
(150 Sitz- und Stehplätze pro Fahrzeug bei 12 Fahrten in beide Richtungen pro Stunde)



Tabelle 19 zeigt die maximal zu erwartenden Auslastungsgrade für die Systemalternativen Bus und Straßenbahn entlang der Hauptlinien.

**Tabelle 19: Auslastung in der Spitzenstunde**

Hauptlinie	Fahrgastpotential Spitzenstunde	Auslastung* Straßenbahn	Auslastung* Gelenkbus
A	1.150	~ 46 %	~ 64 %
B	1.100	~ 44 %	~ 61 %
C	1.460	~ 58 %	~ 81 %
D	1.310	~ 52 %	~ 73 %
E	850	~ 34 %	~ 47 %
F	1.030	~ 41 %	~ 57 %
G	1.530	~ 61 %	~ 85 %
H	1.460	~ 58 %	~ 81 %
I	730	~ 29 %	~ 41 %
J	1.100	~ 44 %	~ 61 %
K	1.030	~ 41 %	~ 57 %
L	1.310	~ 52 %	~ 73 %
M	300	~ 12 %	~ 17 %

\*Auslastung = Fahrgäste in der Spitzenstunde / Kapazität der Systemalternative

Straßenbahnlinien in den Liniennetzentwürfen (Vgl. Kapitel 8.4.3)

Die Kapazitätsanalyse zeigt, dass das Fahrgastaufkommen in Osnabrück mit einem Bussystem bewältigt werden kann. Auch bei der im Masterplan Mobilität anvisierten Steigerung des ÖPNV-Anteils von 16 % auf 19 % sind keine Kapazitätsengpässe zu erwarten. Das zeitweise erhöhte Fahrgastaufkommen kann mit Kapazitätserweiterungsmaßnahmen und ggf. einer Taktverdichtung bewältigt werden. Bedeutend für die Wirtschaftlichkeit ist darüber hinaus die Flexibilität auf ein stark sinkendes Fahrgastaufkommen in den Nebenzeiten zu reagieren.



## 11. Einschätzung der Zielerreichung

Bei den Überlegungen über mögliche Systemalternativen für die Zukunft des ÖPNV in Osnabrück sind die folgenden übergeordneten Ziele auf ihre Zielerreichung zu prüfen:

- Steigerung des ÖPNV-Anteils,
- Schadstoffreduktion und Senkung der Lärmbelastung sowie
- Wirtschaftlichkeit

### 11.1 Steigerung des ÖPNV-Anteils

Das vorhandene Bussystem zeichnet sich in Osnabrück bereits heute durch eine sehr gute Netzqualität aus und wird auch sehr gut genutzt. Die Kennzahlen liegen regelmäßig z.T. deutlich über denen vergleichbarer Städte in Deutschland.

Zukünftig soll eine weitere Steigerung des ÖPNV-Anteils am Modalsplitt durch eine spürbare Angebots- und Qualitätsverbesserung des ÖPNV-Systems bewirkt werden und somit der Umweltverbund gestärkt werden.

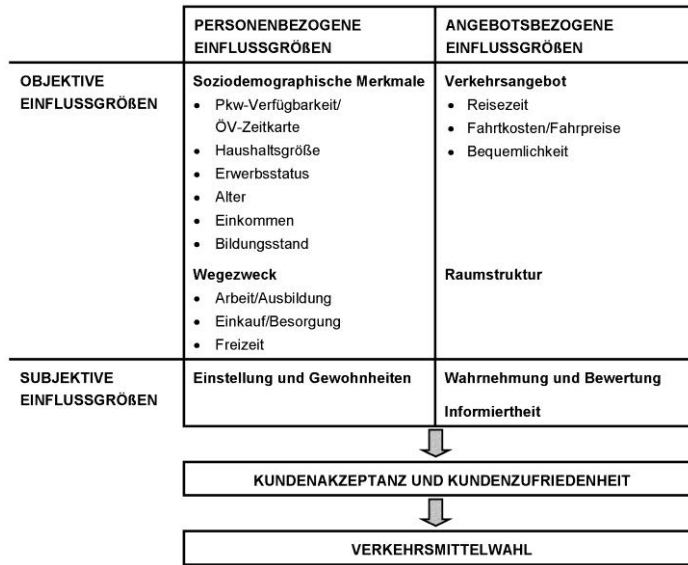
Das unter dieser Prämisse entwickelte Szenario „Stärkung ÖPNV“ des Masterplans Mobilität geht von einer **Steigerung des Modal Splits für den ÖPNV von 16% auf 19%** aus. Bezogen auf die **Fahrgastzahlen** bedeutet dies einen etwa 20%-igen Zuwachs.

Durch eine Weiterentwicklung des bestehenden Systems ist auch bei einem Umstieg auf alternative Antriebe bzw. eine Einführung des O-Bus- oder Straßensystems eine Steigerung im geringen Umfang zu erwarten, da bei der bereits heute sehr guten Flächenerschließung keine neuen Fahrgastpotentiale generiert werden können, d. h. alle potentiellen Fahrgäste sind bereits angebunden.

Eine Steigerung der Fahrgastzahlen kann somit vorrangig durch die Beeinflussung des Verkehrsmittelwahlverhaltens bewirkt werden.

Die Einflussfaktoren auf das Verkehrsmittelwahlverhalten sind sehr vielfältig (vgl. Abbildung 42). Eine wichtige Rolle spielen objektive Faktoren, wie soziodemografische Merkmale, der Wegezweck, das Verkehrsangebot und die Raumstruktur. Für die Verkehrsmittelwahl sind jedoch nicht nur diese objektiven Größen entscheidend, sondern auch die Tatsache wie diese von den Nutzern wahrgenommen und bewertet werden. Gemeint sind damit die subjektiven Faktoren, wie Einstellung und Gewohnheit, Wahrnehmung und Bewertung sowie Informiertheit, die ebenfalls einen Einfluss auf die Verkehrsmittelwahl haben.





**Abbildung 42: Einflussfaktoren auf die Verkehrsmittelwahl**

Quelle: Publikation der Technischen Universität Darmstadt, Fachgebiet Verkehrsplanung und Verkehrstechnik, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Boltze

Die Chancen das Verkehrsmittelwahlverhalten nachhaltig in Richtung ÖPNV zu lenken sind bei einer Systemneueinführung (O-Bussystem oder Straßenbahnsystem) als hoch einzuschätzen. Insbesondere die subjektiven Einflussfaktoren können durch eine Systemneueinführung aufgrund einer Innovationsbegeisterung beeinflusst werden. Das Aufbrechen der Gewohnheiten ist bei veränderten Rahmenbedingungen spürbar leichter.

Die Bewertung der Gesamtheit aller verkehrspsychologischen Aspekte ist im Rahmen der Machbarkeitsstudie nicht möglich. Eine Einschätzung zur Zielerreichung kann daher nur in Form von möglichen **Tendenzen** aufgezeigt werden.

Eine Systemneueinführung hat einen Einfluss auf die subjektive Wahrnehmung der ÖPNV-Qualität, so dass eine spürbare Steigerung der Fahrgastzahlen bewirkt werden kann. Eine genaue Einschätzung ist nicht möglich, ein mögliches Spektrum kann für die Neueinführung O-Bussystem mit 3%-5% und für das Straßenbahnsystem mit 4%-8% angenommen werden. Bei einem Straßenbahnsystem ist von einer höheren Wahrscheinlichkeit der Einflussnahme der subjektiven Größen auszugehen als beim O-Bussystem, da diese Systemart eine deutliche Veränderung bewirkt.

Bezogen auf Osnabrück ist das Verkehrsangebot als objektiv beeinflussbare Größe zu sehen. Von diesem Faktor ist bei Beibehaltung des derzeitigen Systems (Bussystem) sowie bei einer Systemneueinführung eine positive Wirkung auf die Reisezeit sowie die Bequemlichkeit zu erwarten. Hierzu ist jedoch ein Maßnahmenbündel aus verschiedenen flankierenden Maßnahmen (ÖPNV-Beschleunigungsmaßnahmen, wie Bussonderstreifen und ÖPNV-Bevorrechtigung an Lichtsignalanlagen und Haltestellen sowie Restriktionen im Bereich des ruhenden Verkehrs und restriktive Maßnahmen zu Lasten des MIV) notwendig. Auch hier ist jedoch die Einschätzung der möglichen Wirkung sehr schwer. Ein Spektrum von 6%-10% wird als wahrscheinlich angenommen. In der Umsetzung ist



jedoch davon auszugehen, dass bei einem bestehenden System die genannten Maßnahmen nur schwer durchsetzbar sind.

Wahrnehmung und Bewertung sowie Informiertheit sind weitere angebotsbezogene Größen, die zu der Gruppe der subjektiven Faktoren zählen. Die Beeinflussung dieser Faktoren ist durch entsprechende Marketingstrategien teilweise sehr vielversprechend. Diese dazugehörigen Maßnahmen sind systemunabhängig. Ihre Wirkung wird auf mögliche Steigerung der Fahrgastzahlen um etwa 3%-5% eingeschätzt.

Die aufgestellten Thesen werden in Tabelle 20 zusammengefasst.

**Tabelle 20: Einschätzung der erzielbaren Fahrgastzunahmen**

Maßnahme	erzielbare Fahrgastzunahmen		
	Bussystem	O-Bussystem	Straßenbahnsystem
Systemneueinführung	-	3%-5%	4%-8%
ÖPNV-Beschleunigung	6%-10%	6%-10%	6%-10%
Restriktionen im ruhenden Verkehr			
Restriktionen MIV			
Marketingstrategien	3%-5%	3%-5%	3%-5%
Ziel	Fahrgastzunahme: 20%		

Es ist davon auszugehen, dass im bestehenden Bussystem unabhängig vom Antrieb auch bei Umsetzung der ÖPNV-Beschleunigungsmaßnahmen (Bussonderstreifen, ÖPNV-Bevorrechtigung an Lichtsignalanlagen und Haltestellen) und Restriktionen (ruhender Verkehr / MIV) das anvisierte Ziel nicht erreicht werden kann. Vorrangiger Grund dafür ist die gute Qualität des ÖPNV in Osnabrück.

Bei der Einführung eines O-Bussystems kann bei Bündelung aller möglichen Maßnahmen das anvisierte Ziel erreicht werden. Die Voraussetzung dafür ist, dass alle Maßnahmen die möglichst maximale positive Wirkung zeigen.

Das Straßenbahnsystem zeigt die besten Chancen das anvisierte Ziel zu erreichen.

## 11.2 Geringe Emissionen des ÖPNV (Schadstoffreduktion und Senkung der Lärmbelastung)

Die Einschätzung einer möglichen Schadstoffreduktion basiert vorrangig auf der durchgeführten System- und Markanalyse.

### 11.2.1 Klima (CO<sub>2</sub>)

Für den Bereich der Schadstoffreduktion wurde das Ziel **Geringe Emissionen des ÖPNV** in Laufe der Bearbeitung der Machbarkeitsstudie in einen iterativen Prozess spezifiziert und präzisiert. Der Focus wurde hierbei auf den Klimaschutz gelenkt.

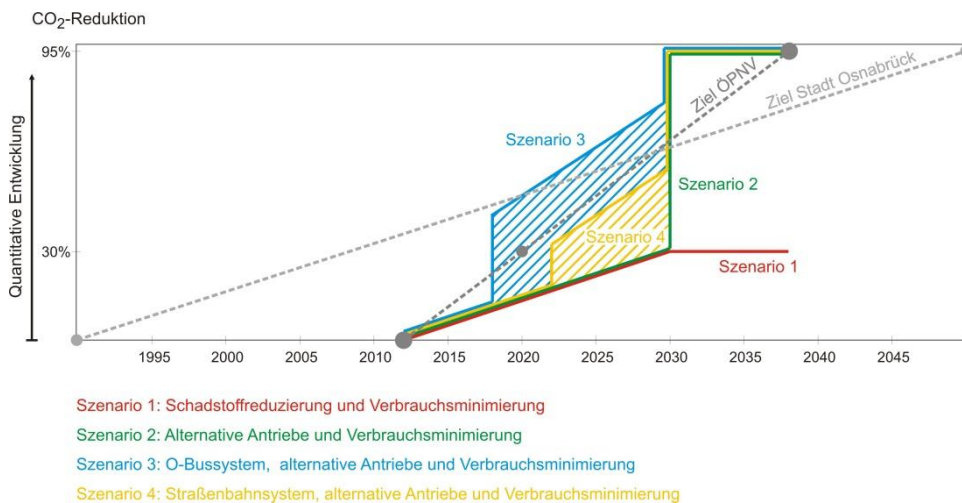


Das Klimaschutz-Ziel für die Stadt Osnabrück lautet: Bis 2050 95% weniger CO<sub>2</sub>, bezogen auf 1990. Für den ÖPNV-Sektor wurde basierend auf dieser Angabe das Ziel abgeleitet: **30% weniger CO<sub>2</sub>** bis 2018, bezogen auf 2012.

Die Schadstoffreduktion und Senkung der Lärmbelastung soll insbesondere durch ein innovatives ÖPNV-System und / oder Entwicklungen im Bereich der Fahrzeugtechnik bewirkt werden.

Um mögliche mittelfristige (Prognosehorizont 2018/2020) und langfristige (Prognosehorizont 2030) Entwicklungen des innerstädtischen ÖPNV in Osnabrück besser einschätzen zu können, werden unterschiedliche Szenarien formuliert.

Insgesamt werden vier Szenarien entwickelt, die sich hinsichtlich der Zielerfüllung teilweise deutlich unterscheiden. Abbildung 43 zeigt die mögliche CO<sub>2</sub>-Emissionsentwicklung für die unterschiedlichen Szenarien.



**Abbildung 43: Schematische Darstellung möglicher Szenarien**

Das Klimaschutz-Ziel für die Stadt Osnabrück: Bis 2050 **95% weniger CO<sub>2</sub>**, bezogen auf 1990. Bei Annahme einer linearen Entwicklung kann dieses Ziel mit Hilfe der hellgrau dargestellten Linie beschrieben werden.

Für den ÖPNV-Sektor wurde daraus das Ziel abgeleitet: **30% weniger CO<sub>2</sub>** bis 2020, bezogen auf 2012. Diese „verschärfte“ Zielsetzung kompensiert die bisherigen Bemühungen, die bereits eingesetzt und ergriffen wurden, größtenteils jedoch keine bahnbrechenden Erfolge zeigten. Bei Annahme einer linearen Fortentwicklung des Klimaschutz-Ziels für den ÖPNV-Sektor kann mit der Zielerreichung des Ziels der Stadt Osnabrück (95% weniger CO<sub>2</sub>) bereits in 25 Jahren, d.h. 2037, gerechnet werden (dunkelgraue Linie).

**Szenario 1** beschreibt die CO<sub>2</sub>-Reduktion, die bei Standarddieselnbussen ggf. mit Schadstoffreduzierungsmaßnahmen sowie Maßnahmen zur Verbrauchminimierung als realisierbar erscheinen. Der Wirkungsgrad dieser Maßnahme ist eingeschränkt, insbesondere da einige der möglichen Maßnahmen, z.B. ÖPNV-Beschleunigung oder Bussondersteifen nach Meinung des Auftraggebers ausschließlich bei einer Systemneueinführung umgesetzt werden können.

Durch Schadstoffreduzierungsmaßnahmen sowie Maßnahmen zur Verbrauchminimierung alleine ist eine Erfüllung der Zielvorgaben auch langfristig nicht möglich. Diese bieten jedoch einen Ansatz zur Verbesserung und können durch in den folgende Szenarien beschriebenen Maßnahmen ergänzt werden.

**Szenario 2** setzt v.a. auf alternative Antriebstechniken, die in Verbund mit Maßnahmen zur Schadstoffreduktion und Verbrauchminimierung einhergehen. Dabei wird ein schrittweiser Einsatz von Alternativtechnologien entsprechend dem technischen Entwicklungsstand vorausgesetzt. Die Erfüllung der Zielvorgabe könnte langfristig (2030) erfüllt werden, eine deutliche Schadstoffreduktion ist aber bereits auch vorher wahrscheinlich. Szenario 2 kann ebenfalls neben einer Systemneueinführung verfolgt werden.

Im **Szenario 3** wird ein wesentlicher Teil des ÖPNV-Netzes mit einem O-Bussystem befahren. Eine Systemneueinführung ist mittelfristig denkbar, so dass bis 2018 eine CO<sub>2</sub>-Reduktion zu erwartet ist. Hierbei sind ebenfalls Verzögerungen durch politische Entscheidungsprozesse möglich. Im Allgemeinen erfolgt die Systemeinführung jedoch abschnittsweise, womit die Wirksamkeit zur CO<sub>2</sub>-Reduktion mittelfristig (2020) relativiert wird. Schadstoffreduzierungs- und Verbrauchsminimierungsmaßnahmen bzw. alternative Antriebstechniken sind auch hier auf ergänzenden Buslinien erforderlich damit langfristig (2030) das vorgegeben Ziel erreicht werden kann.

Im **Szenario 4** wird ein Teil des ÖPNV-Netzes mit einem Straßenbahnsystem betrieben. Mit der Systemneueinführung kann bei Straffung aller Planungsphasen frühestens 2020 gerechnet werden. Neben den planerischen Faktoren sind jedoch auch politische Entscheidungsprozesse relevant, die einen deutlich längeren Realisierungszeitraum bewirken können. Durch den Einsatz der Straßenbahn kann zwar eine Senkung der CO<sub>2</sub>-Emission erzielt werden, da das System aber nur eingeschränkt umgesetzt werden kann (auch bei Erweiterung des Systems) ist die Wirkung bezogen auf den gesamten innenstädtischen ÖPNV nicht sehr hoch. Zudem erfolgt die Systemneueinführung abschnittsweise, so dass die Wirkung zunächst lediglich gering erfolgt. Langfristig (2030) kann eine Zielerreichung auch nur durch den Einsatz alternativer Antriebstechniken und Maßnahmen zur Schadstoffreduktion und Verbrauchminimierung im verbleibenden Liniennetz sichergestellt werden.

### 11.2.2 Luft (Rußpartikel, NO<sub>x</sub>)

Neben der CO<sub>2</sub>-Reduktion sind für die Schadstoffreduktion auch die Rußpartikel- und NO<sub>x</sub>-Emissionen betrachtungsrelevant.

Im Bussystem können ältere Busse auf schadstoffarme Standards nachgerüstet werden. Bei Neuanschaffungen sind schadstoffarme Ausführungen bzw. alternative Antriebe zukünftig wünschenswert.

Durch eine ÖPNV-Beschleunigung können Luftschadstoffemissionen im Busverkehr gesenkt werden. Im übrigen Kfz-Verkehr werden diese jedoch durch den Eingriff in den stetigen Fahrtverlauf des IV gesteigert. Eine Verbesserung der ÖPNV-Qualität durch ÖPNV-Beschleunigung bewirkt aber auch eine Vermeidung von Kfz-Fahrten und an dieser Stelle wird ein deutlicher Betrag zur Schadstoffreduktion geleistet.



Beim O-Bus- und Straßenbahnsystem ist von einer positiven Bilanz durch die Antriebstechnik auszugehen.

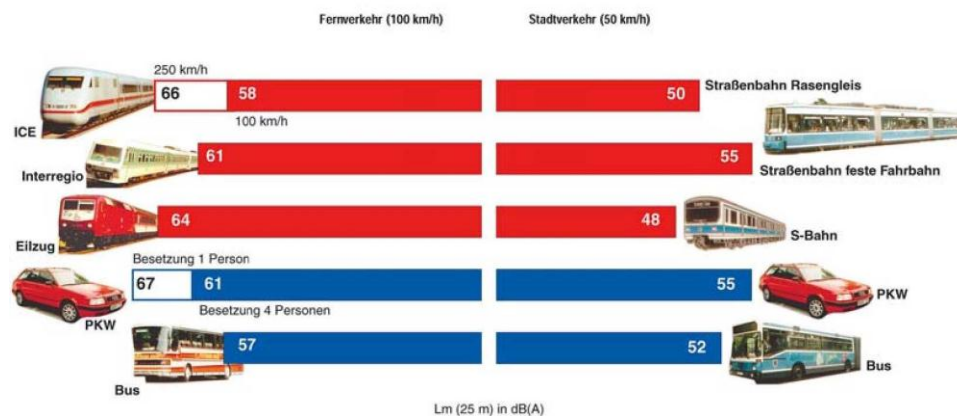
Die Forderung nach der Senkung der Emissionen im ÖPNV wurde für den Bereich der Innenstadt bei einer Systemneueinführung verschärft. Als Ziel wurde ein **emissionsfreier Betrieb in der Innenstadt** formuliert. Der emissionsfreie Betrieb soll aus städtebaulichen Gründen (historischer Kern, enge Straßenräume etc.) oberleitungsfreier Betrieb in dem vorgegebenen Bereich gewährleistet werden.

Nach den neuesten Erkenntnissen kann ein oberleitungs- und emissionsfreier Betrieb in der Innenstadt beim O-Bussystem sowie beim Straßenbahnsystem zum Zeitpunkt der Systemeinführung sichergestellt werden.

### 11.2.3 Lärm

Pkw, Bus und Straßenbahn verursachen unterschiedliche Geräuschemissionen.

Abbildung 44 zeigt einen Vergleich der spezifischen Geräuschemissionen verschiedener Fahrzeuge.



**Abbildung 44: Spezifische Schallemissionen bezogen auf 1000 Personen pro Stunde (Pegel berechnet nach RLS 90 bzw Schall 03)**

Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt

Gesamtstädtisch sind durch einen Einsatz von lärmstoffarmen Techniken nur geringe Lärminderungseffekte bei der Weiterentwicklung des Dieselsystems zu erwarten. An Strecken mit hohem Busaufkommen sind Lärmreduzierungen von bis zu **1 dB(A) für den Dieselsystemverkehr** möglich.

Je nach Art des Antriebes ist beim Umstieg auf alternative Antriebe bzw. beim O-Bussystem eine etwas höhere Lärmreduzierung (bis 2 dB(A)) möglich.

Beim Straßenbahnsystem sind die spezifischen Emissionen mit denen des Pkw-Verkehrs vergleichbar. Eine erhöhte lokale Störwirkung kann beim Schienenverkehr durch das s.g. „Schienenkreischen“ in Kurven bzw. beim Kfz-Verkehr an der Lichtsignalanlage entstehen. Grundsätzlich sind durch Rasen- bzw. Schottergleise, d.h. prinzipiell auf Abschnitten mit besonderem Bahnkörper, geringere spezifische Emissionen zu erwarten.





Die Senkung der Lärmbelastung ist aufgrund der vergleichbaren spezifischen Emissionen der Fahrzeuge langfristig nur als „Nebeneffekt“ der Steigerung des ÖPNV-Anteils und somit Vermeidung von Kfz-Fahrten zu erwarten.

### 11.3 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit beschreibt das Maß für die Effizienz der Systemalternativen im Sinne der Kosten-Nutzen-Relation. Diese wird über die Rechengrößen Ertrag und Aufwand (Wirtschaftlichkeit = Ertrag / Aufwand) bzw. Erlöse und Kosten (Wirtschaftlichkeit = Erlöse / Kosten) ermittelt.

Dabei liegt bei einer Wirtschaftlichkeit

- > 1 ein Wertezuwachs
- = 1 eine Kostendeckung
- < 1 ein Verlust

vor.

Der ÖPNV stellt insbesondere das Gut „Mobilität“ bereit. Der Eintritt zu diesem Gut wird durch staatliche Subventionen aus sozialen Aspekten erleichtert.

Darüber hinaus wird das Gut „Umweltschutz“ über den ÖPNV miterzeugt. Beim Umweltschutz handelt es sich um ein öffentliches Gut, für das die Zahlungsbereitschaft niedrig ist und bei dem die entstehenden Kosten auf Individuen schwer übertragen werden können.

Resultieren aus den genannten Gründen, der Bereitstellung von Mobilität und des Umweltschutzes, muss politisch regulierend in den ÖPNV eingegriffen werden. Im Fall des ÖPNV wird daher von der klassischen Betrachtung der Wirtschaftlichkeit abgesehen und lediglich die Möglichkeit einer Wirtschaftlichkeitssteigerung betrachtet.

Eine höhere Wirtschaftlichkeit kann zum einen über die Steigerung der Erträge (Fahrgastzahlensteigerung) und zum anderen über die Senkung der Gesamtkosten erzielt werden. Die Steigerung der Erträge wird wie bereits beschrieben über Qualitätssteigerungen des ÖPNV erreicht. Eine Senkung der Gesamtkosten kann über eine optimale Linienführung und optimale Auslastungsgrade, d. h. durch Nutzungsoptimierung sowie eine kostengünstige Organisationsstruktur erfolgen.

Bei der Beurteilung der untersuchten Systemalternativen auf ihre Wirtschaftlichkeit ist es sinnvoll, diese nur in Vergleich zu einander zu stellen, da die Wirtschaftlichkeit insgesamt von zahlreichen weiteren Faktoren des Verkehrsbetriebes abhängt. Eine Kosten-Nutzen-Analyse wird im Rahmen der Machbarkeitsstudie nicht durchgeführt.

Grundsätzlich kann durch eine Systemneueinführung eine Fahrgaststeigerung und somit eine Steigerung der Erlöse erzielt werden, d.h. der allgemeine Nutzen vergrößert werden. Hierbei ist von dem höchsten Erlöszuwachs durch ein Straßenbahnsystem, folgend durch das Oberleitungsbussystem auszugehen (vgl. Kapitel 11.1).



Dem gegenüber stehen die anfallenden Kosten der jeweiligen Investitionen und deren jährliche Betriebskosten. Die durchgeführte Kostenschätzung (Investitionskosten) und der Kostenvergleich (Betriebskosten) zeigen, dass das Straßenbahnsystem insgesamt die teuerste Systemalternative darstellt. Die hohen Kosten des Straßenbahnsystems resultieren v.a. aus der Investition in die erforderliche Infrastruktur bei der Systemeinführung sowie in den jährlichen Betriebskosten enthaltenen Aufwendungen für die Instandhaltung der Infrastruktur und dem Kapitaldienst.

Das Bussystem ist dagegen die kostengünstigste Alternative des ÖPNV. Vertretend für das Bussystem mit alternativen Systemen wurden Batteriebusse und Brennstoffzellenbusse betrachtet. Batteriebusse können in die bestehende Infrastruktur integriert werden und vereinzelt eingesetzt werden, so dass die Kosten beherrschbar bleiben. Hier darf jedoch die Nachladeinfrastruktur nicht vernachlässigt werden. Brennstoffzellenbusse hingegen erfüllen derzeit nicht die Wirtschaftlichkeit. Sie sind in der Anschaffung teuer (1 Mio. € für Mercedes Benz Fahrzeuge) und hinzu kommt die Infrastruktur zur Elektrolyse.

Von besonderer Bedeutung ist die Förderfähigkeit einer Systemalternative für den Verkehrsbetrieb. Mittels dieser können Zuschüsse für die Investitionskosten erhalten werden. Zu berücksichtigen ist aber, dass die jährlich anfallenden höheren Betriebskosten eigenständig getragen werden müssen.

Das Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (GVFG) läuft aus, daher ist die Förderfähigkeit des Straßenbahnsystems unklar. Es ist jedoch von einem vergleichbaren Förderprogramm auszugehen.

Die Förderfähigkeit des Bussystems mit alternativen Antriebstechniken (Elektromobilität) ist über Projekte im Rahmen der Elektromobilität möglich. Auch ein partielles Oberleitungsbussystem könnte möglicherweise darüber gefördert werden.

In weiteren Planungsphasen ist die Durchführung einer standardisierten Bewertung insbesondere im Hinblick auf eine mögliche Förderung oft zwingend.



## 12. Empfehlungen

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurden drei grundlegende Systemalternativen zur Weiterentwicklung des ÖPNV in Osnabrück untersucht:

- Bussystem  
in zwei Varianten: Weiterentwicklung Dieselbus  
alternative Antriebe (vorrangig Elektromobilität)
- O-Bussystem
- Straßenbahnsystem  
in zwei Varianten: Standardparameter (in Anlehnung an BOStrab)  
erweiterte Betrachtung (Netzo Optimierung)

Die Untersuchung der Systemalternativen wurde für ein definiertes Hauptlinienetz durchgeführt. Die definierten Hauptlinien verlaufen auf etwa 49 km des derzeitigen Buslinienetzes (Gesamtlänge 133 km). Sie stellen keine neuen Verbindungen dar, so dass grundsätzlich keine neuen Gebiete erschlossen werden.

Auf Basis der durchgeführten Analysen ergeben sich für die Systeme unterschiedliche Konsequenzen, die systembedingt sind, aber auch aus den Rahmenbedingungen in Osnabrück resultieren.

### **Bussystem** (Weiterentwicklung Dieselbus / alternative Antriebe)

#### systembedingt

- flexibel einsetzbar
- kaum Einschränkungen (Linienführung, Flexibilität der Bedienung)
- kostengünstigste Systemalternative
- Anwendung der Förderprogramme Elektromobilität möglich

#### bezogen auf Osnabrück

- kann in Osnabrück entsprechend den heutigen Anforderungen als sehr gut bezeichnet werden
- weist eine hohe Erschließungsqualität auf (Flächenerschließung)
- ÖPNV-Beschleunigungsmaßnahmen (Bussonderstreifen, ÖPNV-Bevorrechtigung an Lichtsignalanlagen und Haltestellen) und Restriktionen (ruhender Verkehr / MIV) notwendig, um ÖPNV-Qualität zu verbessern
- Steigerung des ÖPNV-Anteils bei Ausschöpfung aller Maßnahmen (ÖPNV-Beschleunigung / Restriktionen) im geringen Umfang zu erwarten
- Schadstoffreduktion und Senkung der Lärmbelastung langfristig möglich (höhere Erwartungen bei alternativen Antrieben), mittelfristig bis 2018/2020 jedoch nicht
- ÖPNV-Beschleunigungsmaßnahmen (Bussonderstreifen, ÖPNV-Bevorrechtigung an Lichtsignalanlagen und Haltestellen) und Restriktionen (ruhender Verkehr / MIV) im bestehenden System nur schwer durchsetzbar



## O-Bussystem

### systembedingt

- benötigt Oberleitung
- oberleitungsfreier Betrieb abschnittsweise möglich (Innenstadt)
- kaum Einschränkungen in der Linienführung (kann grundsätzlich dort integriert werden, wo Busverkehr vorhanden ist)
- Oberleitung als Kostenfaktor
- durch die Oberleitung z.T. Probleme bei der städtebaulichen Integration (ggf. zusätzliche Kosten)
- Anwendung der Förderprogramme Elektromobilität denkbar

### bezogen auf Osnabrück

- neues ÖPNV-System für Osnabrück, jedoch dem Bussystem ähnlich
- Umsetzung auf definierten Hauptlinien möglich
- um gebrochene Verkehre zu vermeiden, werden die durch Regionalverkehr geprägten Linien für ein O-Bussystem nicht empfohlen
- ÖPNV-Beschleunigungsmaßnahmen (Bussonderstreifen, ÖPNV-Bevorrechtigung an Lichtsignalanlagen und Haltestellen) und Restriktionen (ruhender Verkehr / MIV) notwendig, um ÖPNV-Qualität zu verbessern
- neue Fahrgastpotentiale durch Veränderung des Verkehrsmittelwahlverhaltens (Effekt der Systemneueinführung) zu erwarten
- spürbare Steigerung des ÖPNV-Anteils bei Ausschöpfung aller Maßnahmen (ÖPNV-Beschleunigung / Restriktionen) zu erwarten
- Schadstoffreduktion und Senkung der Lärmbelastung systembedingt und durch Fahrtenverlagerung (MIV → ÖPNV) mittelfristig bis 2018/2020 möglich
- ÖPNV-Beschleunigungsmaßnahmen (Bussonderstreifen, ÖPNV-Bevorrechtigung an Lichtsignalanlagen und Haltestellen) und Restriktionen (ruhender Verkehr / MIV) bei Systemneueinführung besser durchsetzbar
- bei rascher Entwicklung der alternativen Antriebe völliger Verzicht auf die Oberleitung möglich (Bindungsfristen der Förderung sind ggf. zu berücksichtigen)



## **Straßenbahnsystem** (Standardparameter / erweiterte Betrachtung)

### systembedingt

- Massentransportmittel (hohe Fahrgastpotentiale als Voraussetzung)
- benötigt Oberleitung sowie Schieneninfrastruktur
- oberleitungsfreier Betrieb abschnittsweise möglich (Innenstadt)
- Einschränkungen durch Steigung und Radien
- hohe Kosten (Betriebs- und Investitionskosten)
- durch die Oberleitung und die Länge der Haltestellen z.T. Probleme bei der städtebaulichen Integration (ggf. zusätzliche Kosten)
- Förderung ungewiss (spezifische Förderprogramme laufen aus, Anwendung der Förderprogramme Elektromobilität denkbar)

### bezogen auf Osnabrück

- neues schienengebundenes ÖPNV-System für Osnabrück
- systemspezifische Fahrgastpotentiale werden nicht ausgeschöpft
- Umsetzung nicht auf allen definierten Hauptlinien möglich, definiertes Hauptliniennetz für ein hochwertiges Straßenbahnsystem zu dicht
- um gebrochene Verkehre zu vermeiden, werden die durch Regionalverkehr geprägten Linien für ein Straßenbahnsystem nicht empfohlen
- Straßenbahnsystem Standardparametern nicht im Nordosten umsetzbar (Höhenproblematik), hierdurch ergeben sich beherrschbare aber kostensteigernde Sonderlösungen
- ÖPNV-Beschleunigungsmaßnahmen (besonderer Bahnkörper, ÖPNV-Bevorrechtigung an Lichtsignalanlagen und Haltestellen) und Restriktionen (ruhender Verkehr / MIV) notwendig, um ÖPNV-Qualität deutlich zu verbessern
- neue Fahrgastpotentiale durch Veränderung des Verkehrsmittelwahlverhaltens (großer Effekt der Systemneueinführung) zu erwarten
- spürbare Steigerung des ÖPNV-Anteils zu erwarten
- Schadstoffreduktion und Senkung der Lärmbelastung systembedingt und durch Fahrtenverlagerung (MIV → ÖPNV) langfristig möglich, mittelfristig bis 2018/2020 jedoch nicht
- ÖPNV-Beschleunigungsmaßnahmen (besonderer Bahnkörper, ÖPNV-Bevorrechtigung an Lichtsignalanlagen und Haltestellen) und Restriktionen (ruhender Verkehr / MIV) bei Systemneueinführung besser durchsetzbar



Die Machbarkeitsstudie sollte eine grundsätzliche Richtungsentscheidung für den innerstädtischen ÖPNV bzw. eine Diskussion, die eine Entscheidungsfindung erleichtert, ermöglichen. Hierbei stellen die Erfüllungsgrade der definierten übergeordneten Ziele eine wesentliche Grundlage im Abwägungsprozess.

Tabelle 21 zeigt die mögliche Zielerfüllung in Abhängigkeit von der Systemalternative.

**Tabelle 21: Einschätzung der Zielerfüllung**

Netzlänge / Übergeordnete Ziele	Bussystem		O-Bus-system	Straßenbahn-system
	Weiterentwicklung Dieselbus	alternative Antriebe		
Länge des definierten Hauptliniennetz (ohne Innenstadt)	49 km			
durch das System bediente Netzlänge (ohne Innenstadt)	49 km	49 km	45 km	25 km *
spürbare Steigerung des ÖPNV-Anteil (16% → 19%)	✗	✗	✓	✓
geringe Emissionen des ÖPNV (CO <sub>2</sub> -Reduktion)	✗	mittelfristig	mittelfristig	mittelfristig
		langfristig	langfristig	langfristig
Wirtschaftlichkeit	?	?	?	?

\* Die Netzlänge für das Straßenbahnsystem mit Standardparametern beträgt 21 km.

ÖPNV-Beschleunigungsmaßnahmen sowie Restriktionen im ruhenden Verkehr und gegenüber dem MIV sind Voraussetzungen für die nachhaltige Verbesserung der ÖPNV-Qualität in Osnabrück und bilden die Basis für eine spürbare Steigerung des ÖPNV-Anteils bei allen Systemalternativen. Zudem erfolgt durch die damit verbundene Veränderung des Verkehrsmittelwahlverhaltens und die eingesetzte Technik auch eine Schadstoffreduktion und Senkung der Lärmbelastung.

Das **Bussystem** stellt die kostengünstigste Alternative des ÖPNV in Osnabrück dar. Eine Steigerung des ÖPNV-Anteil ist bei Schaffung möglichst guter Voraussetzungen mit Ausschöpfung aller Maßnahmen (Umsetzung der ÖPNV-Beschleunigungsmaßnahmen sowie Restriktionen im ruhenden Verkehr und gegenüber dem MIV) im geringen Umfang zu erwarten, das anvisierte Ziel ist nicht erreichbar. Eine deutliche Schadstoffreduktion und Senkung der Lärmbelastung kann langfristig beim Umstieg auf alternative Antriebe erreicht werden.



Beim **O-Bussystem** sind die Zielsetzungen der Wirtschaftlichkeit, der Steigerung des ÖPNV-Anteils sowie der Schadstoffreduktion und Senkung der Lärmbelastung bei Schaffung möglichst guter Voraussetzungen mit Ausschöpfung aller Maßnahmen mittelfristig bis 2018/2020 erfüllbar. Bei rascher Entwicklung der alternativen Antriebe ist ein völliger Verzicht auf die Oberleitung möglich (Bindungsfristen der Förderung sind ggf. zu berücksichtigen).

Vom **Straßenbahnsystem** ist die größte „Systemwirkung“ zu erwarten. Aufgrund der notwendigen Planungsphasen kann ein Straßenbahnsystem nur langfristig umgesetzt werden. Im Prognosehorizont 2030 kann diese Systemalternative ein Rückgrat für die zukünftige Entwicklung des ÖPNV in Osnabrück bilden. Hierfür ist der Einsatz beherrschbarer aber kostensteigernden Sonderlösungen notwendig, um ein sinnvolles und funktionierendes Straßenbahnnetz (erweiterte Betrachtung) realisieren zu können.

Das Straßenbahnsystem stellt insgesamt die teuerste Systemalternative dar. Eine spürbare Steigerung des ÖPNV-Anteil ist zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme sehr wahrscheinlich. Eine Schadstoffreduktion und Senkung der Lärmbelastung ist bei gleichzeitiger Weiterentwicklung des Bussystems im „übrigen“ ÖPNV-Netz langfristig möglich. **Da die möglichen Leistungskapazitäten bei weiten nicht benötigt werden, sind die sehr hohen Investitions- und Betriebskosten nur schwer zu rechtfertigen.** In Anlehnung an die üblichen Bewertungsverfahren (Standardisierte Bewertung) ist ein Nutzen-Kosten-Verhältnis  $\geq 1$  nicht zu erwarten. Die damit verbundene Voraussetzung einer Förderung wäre damit nicht gegeben.



## **Anlage 1: Systemspezifische Eigenschaften**

- Beispielhafte Querschnitte
- Systemvergleich





## **Anlage 2: Planungen im SPNV**



### **Anlage 3: Verkehrsmengenkarte Osnabrück**



## **Anlage 4: Innerstädtische Hauptlinien**



## Anlage 5: Fotodokumentation



## **Anlage 6: Konfliktanalyse**



## **Anlage 7: Systemskizzen Innenstadt**



## **Anlage 8: Systemspezifische Liniennetzentwürfe**



## **Anlage 9: Betriebsgrobkonzept**





## Anlage 10: Kostenschätzung

