

## Erläuterungen zur Methodik der Ergebnisanalyse des Busbeschleunigungsprogramms Heidelberg (Vorher-Nachher-Untersuchung)

### 0. Allgemein

Die Maßnahme Busbeschleunigung Heidelberg wurde im Zeitraum 1999 bis 2018 umgesetzt. In diesem Zeitraum wurden 34 Lichtsignalanlagen (LSA) mit einer Busbeeinflussung ausgerüstet. Aufgrund des sehr langen Umsetzungszeitraums, und der damit verbundenen Änderungen von verkehrlichen Randbedingungen, ist eine vergleichende Verlustzeitenmessung im Vorher- und Nachher-Zustand nicht mehr ohne Weiteres durchführbar. Die Untersuchung zum Nachweis der Wirkung erfolgte stattdessen mittels einer Potentialanalyse im Nachher-Zustand. Dabei wurden aktuelle Beschleunigungspotentiale an LSA durch Auswertungen der An- und Abmeldungen aus dem Betriebsleitsystem der rnv (RBL-Mitschnitte) ermittelt und den im GVFG-Antrag prognostizierten Fahrzeitgewinnen gegenübergestellt.

Das heißt, die durch PVT für den Antrag ermittelten Beschleunigungspotentiale werden den aus aktuellen Messungen verbliebenen Potential gegenübergestellt. Die sich ergebende Differenz bildet den erreichten Fahrzeitgewinn ab, dies ist die erreichte Beschleunigungswirkung.

Im Folgenden wird die Methodik näher erläutert:

### 1. Zielwerte (errechnete Werte Antragsicht)

Bestandteil des GVFG-Änderungsantrages 2008 war eine Kosten-Nutzen-Berechnung des Planungsbüros PVT. Darin wurden für alle durch Busse zu beeinflussenden Signalgruppen mittlere Verlustzeiten ermittelt. Der Anteil der Verlustzeit, die durch die Maßnahme vermieden werden kann, ergibt den Fahrzeitgewinn je Fahrt (f). Dieser ist in die Kosten-Nutzen-Rechnung eingegangen. Bei Konflikten zwischen ÖV-Fahrbeziehungen aus verschiedenen Richtungen an einer LSA wurden die Verlustzeiten nicht vollständig als Fahrzeitgewinne angesetzt, sondern abgemindert.

Für die Analyse wurde aus dem Gutachten PVT der Gleichzeitigkeitsfaktor (g) gebildet. Der Gleichzeitigkeitsfaktor bildet ab, dass bei sich kreuzenden ÖPNV-Fahrtrichtungen eine volle Bevorrechtigung des ÖPNV nicht möglich ist. Bevorrechtigungen können in der Reihenfolge konkurrenzieren (Prioritätenkonflikt). Der Faktor g ergibt sich aus dem Verhältnis der angesetzten Fahrzeiteinsparung zum maximalen Fahrzeitgewinn aus dem Gutachten PVT. Es ergeben sich folgende Größen der Analyse:

**f = Fahrzeitgewinn je Fahrt [s]** (Zielwert gem. Antragsermittlung PVT)

**g = Gleichzeitigkeitsfaktor** (Faktor gem. Antragsermittlung PVT)

### 2. Errechnete Werte (Randbedingungen)

Anhand von Straßengeometrie, Fahrdynamik und zulässiger Höchstgeschwindigkeit wurden verlustfreie Fahrzeiten rechnerisch ermittelt. Diese minimale Fahrzeit (b) bilden die schnellste erzielbare Fahrzeit unter optimalen Bedingungen und bei Einhaltung erlaubten Streckenhöchstgeschwindigkeit ab. Diese dienen als Randbedingungen zur Validierung gewonnener Messwerte und gehen darüber hinaus in die Berechnung nicht ein.

# Erläuterungen zur Methodik der Ergebnisanalyse des Busbeschleunigungsprogramms Heidelberg (Vorher-Nachher-Untersuchung)

Auf der anderen Seite wird aus tagesüblichen Signalprogrammen die maximale Wartezeit ( $w$ ) an der jeweiligen LSA ermittelt. Daraus ergibt sich eine maximale Fahrzeit ( $x$ ). Sie dient dazu ungewöhnliche Behinderungen, die mit der LSA-Schaltung nichts zu tun haben können, auszuschließen.

$b$  = minimale Fahrzeit [s]

$w$  = maximale LSA-Wartezeit [s]

$X = b+w$  maximale Fahrtzeit [s]

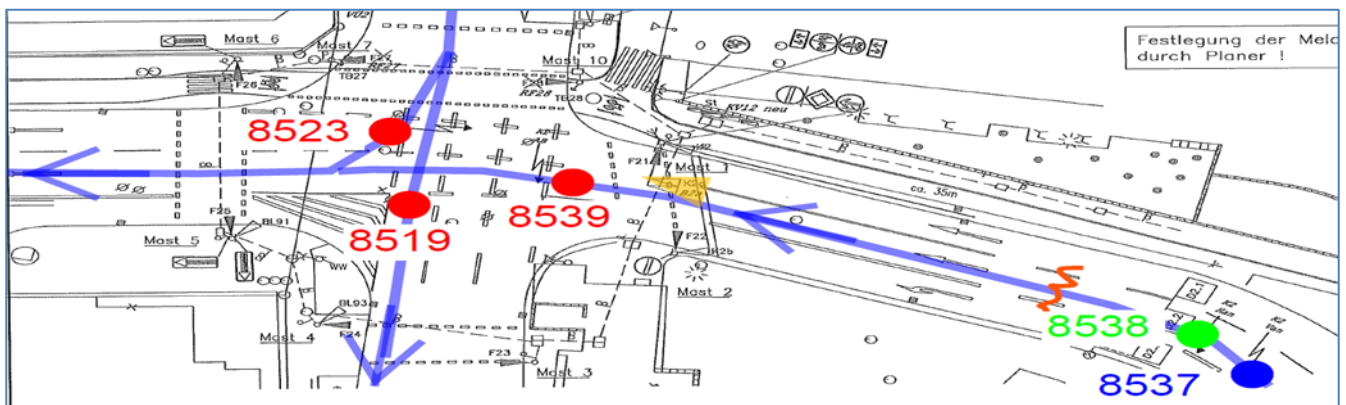
## 3. Messwerte (nachher)

### 3.1) Datenquelle

Nach Umsetzung der Maßnahme wurden reale Fahrzeiten über die Bordrechner im RBL ausgewertet, dadurch steht eine große Stichprobe für die Auswertung zur Verfügung. Die Anzahl der gemessenen Fahrten wird jeweils angegeben.

### 3.2) Messstrecke

Fahrzeiten wurden für alle Fahrten über einen Signalquerschnitt über dieselbe definierte Messstrecke ausgewertet. Fahrtzeiten wurden von Hauptanmeldungspunkt (in den Plänen grün dargestellt) bis Abmeldungspunkt (in den Plänen rot dargestellt) gemessen. Siehe Beispiel:



Durch die Verwendung des Zeitstempels der gesendeten Datentelegramme zur An- und Abmeldung an der LSA wurde die Messstrecke ( $s$ ) auf den Bereich der LSA eingegrenzt. Somit gingen nur Verlustzeiten, die in der Nähe der LSA entstanden, in die Auswertung ein. Dennoch auftretende Verlustzeiten, die nicht in der LSA begründet sind (z. B. einparkende PKW), wurden durch einen Abminderungsfaktor herausgerechnet. Der Abminderungsfaktor ( $a$ ) wurde für vier verschiedene Straßencharakteristika ermittelt und bildet charakteristische Behinderungen durch allgemeines Verkehrsgeschehen auf Straßen dieses Typs ab.

$s$  = Länge der Messstrecke zwischen An- und Abmeldung [m]

**a = Abminderungsfaktor [Multiplikator]**

**a = 1,1 für Außerortsstraßen**

**a = 1,3 für Erschließungsstraßen**

**a = 1,5 für Wohnstraßen**

**a = 2,0 für Fußgängerzonen und verkehrsberuhigte Bereiche**

### 3.3) Auswertung

Aufgrund der großen Anzahl an Fahrten kann davon ausgegangen werden, dass ein gewisser Anteil der Fahrten den Signalquerschnitt ohne Verlustzeit passieren konnte. Diese Fahrten wurden als „beste Fahrten“ (g) festgehalten. Die mittlere Fahrzeit (m) ergibt sich aus dem arithmetischen Mittel der gewerteten Fahrten. Aus der Fahrzeit der gemessenen besten Fahrt und dem Abminderungsfaktor errechnet sich die Fahrzeit einer ungestörten Fahrt (u). Das Beschleunigungspotential ergibt sich aus der Differenz der mittleren Fahrzeit (m) und der ungestörten Fahrzeit (u). Der Gleichzeitigkeitsfaktor „g“ aus dem Gutachten PVT wird hier wieder gleichermaßen mit einbezogen und ggf. aktualisiert (im Falle, dass gegenüber Antragszeitpunkte eine neue kreuzende ÖPNV-Linie hinzugekommen ist).

**o = gemessene beste (optimale) Fahrt [s]**

**m = mittlere Fahrzeit [s]**

**u = ungestörte Fahrzeit [s]**

$$u = g \cdot a$$

**p = Beschleunigungspotential [s]**

$$p = (m - u) \cdot g$$

Das Potential ist ein rechnerischer Wert. Ob ein Potential, z.B. durch Anpassung der Schaltung, noch gehoben werden kann, ist anhand der Auswertungsergebnisse zu prüfen. Nach einer Anpassung wird die Auswertung erneut durchgeführt.

### 3.4) Streichwerte

Fahrzeiten, welche die maximale Fahrzeit (x) überschreiten, gehen nicht in die Auswertung ein, da hier von LSA-unabhängige Behinderungen ausgegangen werden kann.

Ausgewertet werden ausschließlich Fahrten, die an den Haltestellen vor und nach der LSA Fahrgastwechsel durchgeführt hatten. Zu schnelle Fahrten ohne Halt wurden dadurch nicht berücksichtigt, ebenso werden sehr langsame Fahrten aufgrund von Verfrühungen durch entfallende Haltestellenaufenthalte nicht gewertet.

### 3.5) Ergebnis (Nachweis der Beschleunigung)

Das (verbleibende) Beschleunigungspotential gibt die mittlere LSA-Verlustzeit an, die durch die Maßnahme nicht eliminiert werden konnte. Somit ergibt sich der tatsächlich realisierte Fahrzeitgewinn aus der Differenz des prognostizierten Fahrzeitgewinns PVT (f) und dem aktuell noch verbliebenen Beschleunigungspotential (p).

**e = Effektiver Fahrzeitgewinn [s]**

**e = f-p (prognostizierter Zeitgewinn ./ verbliebes Beschleunigungspotential)**

Da die Untersuchung von PVT richtungsbezogen erfolgt ist und der Vergleichswert (f) nur je Richtung vorliegt, werden die ermittelten Werte p in gleicher Weise aufaddiert, so dass je Fahrtrichtung ein Vergleichsergebnis vorliegt.

Die als (e) errechnete Zeit ist das gemessene Ergebnis der mittleren Beschleunigung in Sekunden. Mit diesem Wert wird der Nachweis einer erreichten Beschleunigung erbracht.

### 3.6) Methodenkritik zur Ausgangsuntersuchung

Bei PVT unberücksichtigt blieben seinerzeit ÖPNV-interne Prioritätensetzungen und daraus entstehende Prioritätenkonflikte. So ist eine in Hauptrichtung fahrende Straßenbahn- oder Buslinie ist vorrangig abzufertigen gegenüber einer ggf. noch linksabbiegenden Buslinie oder einer Buslinie in Nebenrichtung. Das heißt, dass der ÖPNV an einer LSA durchaus beschleunigt und optimiert abgewickelt wird und dennoch bestimmte Busfahrtbeziehungen nicht so beschleunigt werden, wie von PVT seinerzeit prognostiziert. Wo dies zutrifft, wird es in den Ergebnisblättern erläutert.

Ebenfalls bei PVT noch nicht berücksichtigt wurden ggf. vorhandene Blindenschaltungen. Wenn ein Blinder einen Fußgängerübergang über Blindentaster anfordert, ist aufgrund zwischenzeitlicher Normvorgaben eine entsprechende Grünzeit für den Fußweg vorgegeben, in welche – wenn sie einmal geschaltet ist - eine ÖPNV-Anforderung nicht mehr verkürzend eingreifen kann.

#### 4. Ergebnisse des Beschleunigungsnachweises

Eine Übersicht nach LSA und Linien ist als Anlage 1 beigefügt. Für die überwiegende Anzahl der LSA konnte damit eine Beschleunigung nachgewiesen werden

a) Unmittelbar rechnerische nachgewiesen wurden folgende LSA:

K102, K103, K132, K133, K134, K159, K160, K162, K166, K167, K211, K215, K227, K233, K234, K238, K269, K279, K501, Neckargemünd LSA 4 und LSA 5

b) Ebenfalls erreicht wurde eine Beschleunigung an folgenden Anlagen, die über die verfügbaren Messwerte hinaus einer Erläuterung bedürfen.

K111 Bergheimer Straße/Czernyring

Die Messwerte zeigen eine deutliche Häufung der Fahrtzeiten stadtauswärts und eine breite Verteilung stadteinwärts. Vor-Ort-Beobachtungen bestätigen diese Messungen und können eine Beschleunigung mit folgenden Randbedingungen bestätigen:

Die abbiegende Straßenbahn 26 ist feindlich zu den stadteinwärtigen Bussen. Da sie Priorität hat, werden die Linien 34/35 stadteinwärts in zweiter Priorität beschleunigt. Zum anderen ist zu beobachten, dass der Bus insbesondere morgens im Rückstau des IV auf der Kreuzung aufgehalten werden kann und den Abmeldepunkt verspätet erreicht. An der LSA selbst ist er aber beschleunigt.

Stadtauswärts kann eine gute Priorisierung beobachtet werden. Allerdings ist die Messstrecke möglicherweise derzeit noch fehlerhaft, was sich bis zur Abgabe nicht mehr bereinigen lässt. An der LSA selbst kann eine gute Priorisierung jedoch bestätigt werden, besonders der Linie 35, die vorher keinen Abbiegevorgang hat.

Somit kann eine Beschleunigung an der K111 bestätigt werden.

K135 Rohrbacher Straße / Bergheimer Straße

Dieser Knoten an der Ein-/Ausfahrt Bismarckplatz ist auch im ÖPNV hoch belastet und weist mehrere Straßenbahnlinien auf. Dadurch kann es zu einer ÖPNV-internen Überstauung kommen, so dass die grundsätzliche Funktionsfähigkeit der Beschleunigung an der LSA überlagert werden kann.

Gute Ergebnisse aufgrund der Fahrtverteilung auf schnelle Fahrten zeigen die Signalgruppen K1 (alle Linien), B5-K3 (Linie 31) und auch B6 (Linien 31, 34) ist noch recht gut. Keine Beschleunigung zeigt die Signalfolge B5-K3-K2 und B5-K3-K4.

Somit kann eine Beschleunigung der K135 teilweise bestätigt werden.

K161 (Friedrich Ebert-Anlage / Grabengasse, „Linie 12“),

der Bus fährt hier vom Universitätsplatz kommend durch eine Fußgängerzone und dann entlang der Fahrradabstellzone der Universität auf die LSA zu. Dies führt zu sehr unterschiedlichen Anfahrtsituationen. Diese Randbedingung wurde von PTV u.E. bei der Zielwertermittlung nicht ausreichend beachtet. Der rechnerische nachgewiesene Zielerreichungsgrad von 28% zeigt eine teilweise vorhandene Beschleunigung auf.

## Erläuterungen zur Methodik der Ergebnisanalyse des Busbeschleunigungsprogramms Heidelberg (Vorher-Nachher-Untersuchung)

---

### K163 Am Hackteufel/Fischergasse/Mönchgasse

Die Messungen zeigen dass die Hauptrichtung entlang des Neckars gut beschleunigt wird, insbesondere der Teilknoten Fischergasse zeigt aufgrund der gemessenen Fahrtverteilung eine sehr gute Priorisierung. Am Teilknoten Mönchgasse kommt es zu Rückstau aufgrund einer Straßenbaustelle in der unteren Altstadt, die in den Messergebnissen nicht eliminiert werden konnte. Keine Beschleunigung weist die Signalgruppe K2 auf. Hier biegt der Bus aus der Altstadtzone auf die B37 ab. Dies ist jedoch dadurch herunter zu gewichten, dass es sich um die zur ÖPNV-Hauptrichtung feindliche und nachrangige Nebenrichtung handelt. Sie ist in der PTV-Messung / GVFG-Antrag mit 100 Fahrgästen / Tag bewertet, gegenüber der Hauptrichtung mit 2095 + 1313 Fahrgästen / Tag. Der Hauptzweck des Umbaus ist erkennbar zumindest in großen Teilen erreicht worden.

Somit kann für die K163 eine Beschleunigung der ÖPNV-Hauptrichtung bestätigt werden.

### K168 (Brückenstraße / Brückenkopfstraße, „Linie 12“),

Teilknoten 1, Sig K2: Die gemessenen Werte zeigen eine erkennbare Häufung schneller Fahrten. Die Spur wird jedoch häufig durch eine IV-Überlastung gestaut. Zum anderen ist zu beachten, dass die richtungsgleiche Straßenbahn (Linien 5 und 24) an der zu messenden Signalgruppe die Pulkführerschaft bekommt und auch gegenüber dem Bus bevorrechtigt abgewickelt wird. Dies erkennt man gut in Gegenrichtung an Sig.K4, wo der Bus mit der Straßenbahn fährt. Dies wurde von PTV bei der Zielwertermittlung seinerzeit nicht ausreichend beachtet.

### K169 (Mönchhofplatz „Linie 12“)

An dieser LSA biegt der Bus in Richtung Neuenheimer Feld links ab und ist damit feindlich zur ÖPNV-Hauptrichtung der geradeaus fahrenden Straßenbahnlinien 5 und 24. Dies wurde von PTV bei der Zielwertermittlung seinerzeit nicht ausreichend beachtet. Die gemessene Fahrtverteilung zeigt bei der Signalgruppe K3 zwei Häufungen, welche die Freigabefenster in zweiter Priorität widerspiegeln. In Richtung Bismarckplatz fährt die Linie 31 nach dem Rechtsabbiegen häufig auf einen IV-Rückstau auf (Sig. K4), was keine Aussage über die Freigabe der LSA wiedergibt.

Insgesamt werden 38% des Zielwertes erreicht, so dass eine Beschleunigung teilweise gegeben ist.

### K213 Bergheimer Straße / Karl-Metz-Straße

Die gemessenen Werte zeigen eine deutliche Häufung schneller Fahrten. Im rechnerischen Mittel reichen diese für einen Nachweis rechnerisch nicht aus. Dies liegt vor allem daran, dass diese Haltestelle mit 4 Straßenbahnlinien, 4 Stadtbuslinien und einer Regionalbuslinie hochbelastet ist. Hier kommt es regelmäßig zu Prioritätskonflikten des ÖPNV untereinander und Rückstaubildung an der Haltestelleneinfahrt. Die Messkurvenverläufe zeigen jedoch erkennbar auf, dass eine Beschleunigung grundsätzlich sehr wohl gegeben ist.

### K229 Rohrbacher Straße/Poststraße

Die gemessenen Werte zeigen eine deutliche Häufung schneller Fahrten. Im rechnerischen Mittel reichen diese für einen Nachweis rechnerisch nicht aus. Durch die oben bereits erläuterte hohe Belastung der anschließenden Kreuzung Adenauerplatz (inkl. ÖV-Priorität) kommt es hier immer wieder zu einem Rückstau. Die gemessene Fahrtverteilung bestätigt eine Beschleunigung jedoch eindeutig.

## Erläuterungen zur Methodik der Ergebnisanalyse des Busbeschleunigungsprogramms Heidelberg (Vorher-Nachher-Untersuchung)

---

### K263 Neckarstaden/Am Brückentor

Die gemessenen Werte zeigen eine erkennbare Häufung schneller Fahrten, wenn auch nicht in dem Umfang wie bei K229 oder K213. Im rechnerischen Mittel reichen diese für einen Nachweis rechnerisch nicht aus. Da eine straßenseitige Baustelle in der unteren Altstadt hier im Messzeitraum immer wieder zu Rückstau führt gehen wir von einer grundsätzlichen Funktionsfähigkeit aus, können diese aber nicht rechnerisch belegen.

### Neckargemünd LSA 2/3

Da es Probleme mit den auswertbaren Daten gab, wurde für diese LSA eine Vorortbeobachtung gemacht (siehe Nachweisblatt). Sie deckt sich mit den allgemeinen Erfahrungen der rnv für diese Anlage und kann daher, trotz des Stichprobencharakters, als valide angesehen werden. Für die rnv-Linie 35 zeigt sich eine Beschleunigung. Bei den Regionalbussen des BRN, der hier mit gleich mehreren Linien fährt, haben sich offenkundig Probleme in der Datenversorgung gezeigt. Dies ist jedoch keine Minderung der Funktionsfähigkeit der LSA-seitigen Beschleunigung, sondern busseitig zu suchen. Somit kann für die LSA 2/3 und die rnv-Linie 35 eine Beschleunigung bestätigt werden.

c) Nicht nachgewiesen werden konnten folgende LSA:

### K117 Alte Eppelheimer Str./Kurfürsten-Anlage

keine Messung, da nach Bau Straßenbahn Bahnstadt und Umbau Hauptbahnhof an dieser Anlage kein Busverkehr ist (außer Nachtbus Moonliner 4). Nach Angabe des Verkehrsmanagements ist der die Funktionsfähigkeit technisch jedoch gegeben.

### K237 B 37/Jubiläumsplatz

Der fehlende Messnachweise könnte Ursachen im IV Rückstau haben und/oder auch in der Straßenfolge der danach unbeampelten Einfädelung stadtauswärts. Es liegen uns aber hierzu keine gesicherten Erkenntnisse vor, so dass ein Nachweis zu dieser LSA nicht geführt werden kann.