

# Stauidentifikation auf Grundlage der Positionsdaten von ÖV-Fahrzeugen im Mischverkehr

Dipl.-Ing. M. Körner, L. Fitzthum, Dipl.-Ing. C. Gassel

Technische Universität Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Institut für Verkehrstelematik, Lehrstuhl für Verkehrsleitsysteme und -prozessautomatisierung, D-01062 Dresden, Tel. +49-351-463 36768, Fax. +49-351-463 36785, E-Mail: [matthias.koerner@tu-dresden.de](mailto:matthias.koerner@tu-dresden.de)

## Kurzfassung

Von Fahrzeugen des Öffentlichen Verkehrs sind deren Positionen bekannt, wenn sie informationstechnisch in ein Intermodal Transport Control System eingebunden sind. Über die auf dem Streckenband zwischen Meldepunkten zurückgelegte Wegstrecke und die jeweils dafür benötigte Zeit kann auf die mittlere Geschwindigkeit geschlossen werden. Aus dieser wiederum kann eine Verkehrslageaussage abgeleitet werden. In wie weit diese für den Gesamtverkehrsstrom gültig, belastbar und richtlinienkonform ist, welche Randbedingungen für eine Auswertung einzuhalten sind, welche Verfahren sich zur Aufbereitung anbieten und welche Nutzungsszenarien unterstützt werden, wird im Folgenden aufgezeigt.

## 1 Motivation

Entscheidungen über die Aktivierung von Verkehrsinformations- und Verkehrssteuerungsmaßnahmen in Straßenverkehrsmanagementsystemen basieren auf der Kenntnis der Verkehrslage des Gesamtverkehrsstroms. Dazu werden Verkehrskenngrößen, wie Verkehrsmenge und Geschwindigkeit, messtechnisch erfasst und interpretiert. [1, 2] Bei der Detektion wird die Abdeckung der Stauschwerpunkte, wenn nicht sogar aller in das Management einbezogenen Netzelemente, angestrebt. [3]

Mittel zum Zweck ist üblicher Weise stationäre Detektionstechnik, da hier eine kontinuierliche Datenverfügbarkeit vorliegt. Der stichprobenbasierte Ansatz der Floating Car Data FCD als Datenquelle mit streckenbezogener Erfassung ist dann im genannten Kontext tragfähig, wenn ein hinreichender Anteil der Datenlieferanten am Gesamtverkehrsstrom vorliegt. [4] Der Ausstattung aller verkehrlichen Hotspots im Verkehrsmanagementnetz mit stationärer Detektion sind in komplexen Systemen, wie sie z. B. in Großstädten anzutreffen sind, typischer Weise finanzielle Grenzen gesetzt. [5] Die FCD liegen wiederum nicht immer in der gewünschten Dichte vor. Systemkombinationen zur Verbindung der jeweiligen Vorteile sind deshalb üblich, jedoch für eine weiträumige Verkehrslageerfassung mit hohen Aktualisierungsraten teilweise immer noch nicht hinreichend. [6]

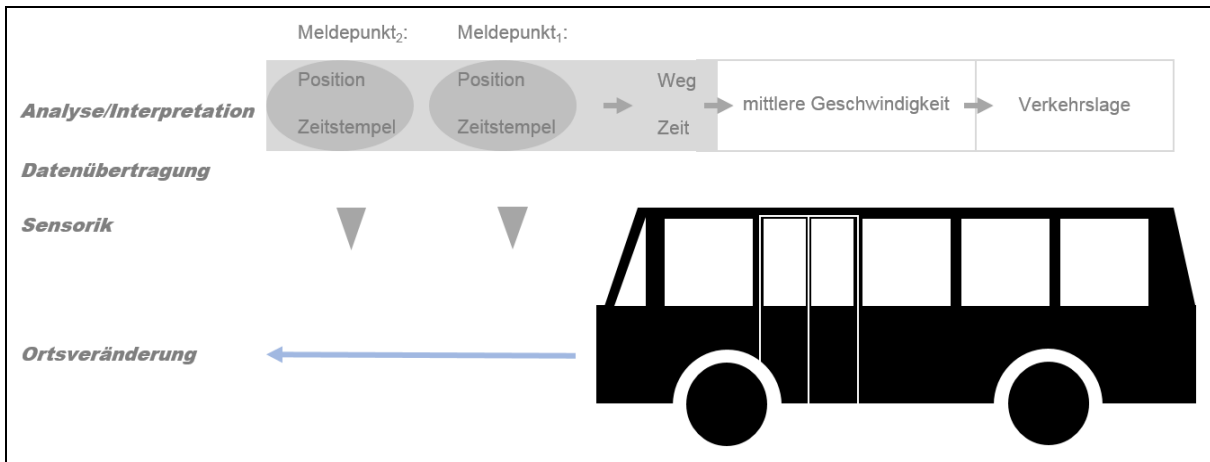
Unter diesen Randbedingungen erscheint es sinnvoll und nutzbringend, weitere FCD zu erschließen. Handelt es sich dabei um Mehrwerte aus bestehenden Systemen, so können ergänzende Stichproben aus dem Verkehrsfluss bei hoher Kosteneffizienz erreicht werden. In der vorliegenden Ausarbeitung wird dazu die Möglichkeit zur Erschließung von Verkehrslageinformationen aus Daten von Fahrzeugen des Öffentlichen Verkehrs ÖV im Mischverkehr vorgestellt.

Zuerst wird die vorgeschlagene Systemkonstellation aufgezeigt. Dem schließen sich Ausführungen zu den getätigten Analysen von Datensätzen aus dem Intermodal Transport Control System ITCS eines ÖV-Unternehmens an. Ergebnisse und Erkenntnisse zur Tragfähigkeit der gewählten Herangehensweise werden vorgestellt. Abschließend werden Empfehlungen für den Praxiseinsatz gegeben.

## 2 Hypothesen zur Nutzung von ÖV-Daten zur Verkehrslageidentifikation

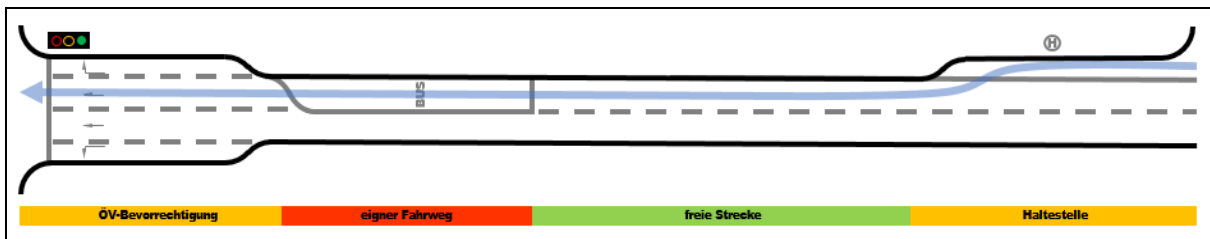
Von ÖV-Fahrzeugen, welche informationstechnisch in ein ITCS eingebunden sind, ist deren Position jeweils bekannt. Über die auf dem Streckenband zurückgelegte Wegstrecke und die dafür benötigte Zeit kann auf eine mittlere Geschwindigkeit geschlossen werden (siehe Bild 1). Aus dieser wiederum kann eine Verkehrslageaussage abgeleitet werden. [7-9]

Unter welchen Randbedingungen diese Aussage auch für den Gesamtverkehrsstrom repräsentativ ist, soll untersucht werden.



**Bild 1:** Prinzipiskezze zur Verkehrslageidentifikation basierend auf ÖV-Daten

Bewegen sich Fahrzeuge des ÖV auf eigenen Fahrwegen, besteht grundsätzlich keine Eignung zur Ableitung der Gesamtverkehrslage (siehe Bild 2).



**Bild 2:** Infrastrukturkonstellationen mit unterschiedlicher Repräsentativität der ÖV-Daten für den Gesamtverkehrsstrom

Befinden sich die ÖV-Fahrzeuge auf Mischverkehrsflächen, so sind die Systemspezifika Haltestellenaufenthalt, Bevorrechtigung an Lichtsignalanlagen LSA und besondere Fahrzeuge mit professionellem Fahrpersonal wirksam (siehe ebenso Bild 2). [10]

Sobald ein ÖV-Fahrzeug seine Wunschgeschwindigkeit aufgrund einer voraus liegenden Haltestelle reduziert, sich das Fahrzeug an der Haltestelle befindet und das Fahrzeug wieder auf die Wunschgeschwindigkeit beschleunigt, liegen Abweichungen zum Fahrverhalten der anderen Fahrzeuge im Gesamtstrom vor. Gleiches gilt für die besondere Behandlung von ÖV-Fahrzeugen an LSA, welche üblicher Weise zugunsten des ÖV ausfällt. In wie weit trotz der genannten Besonderheiten noch von der mittleren Geschwindigkeit der ÖV-Fahrzeuge auf die Verkehrslage des Gesamtverkehrsstroms geschlossen werden kann, gilt es zu untersuchen.

Die größte Übereinstimmung zwischen dem Fahrverhalten von Fahrzeugen des ÖV und der anderen Fahrzeuge wird auf der freien Strecke (siehe erneut Bild 2) erwartet. Hier könnten sich jedoch die für den Gesamtverkehrsstrom nicht repräsentativen fahrdynamischen Eigenschaften des ÖV-Fahrzeugs auswirken. Auch wenn die ÖV-Fahrzeuge in der Regel dem Schwerverkehr zuzuordnen sind, wird aber erwartet, dass eine hinreichende Motorisierung vorliegt, die keine wesentlichen Unterschiede im Beschleunigungsverhalten aufkommen lässt. Hingegen wird erwartet, dass zulässige Höchstgeschwindigkeiten von den Berufskraftfahrern exakter und umfangreicher eingehalten werden als vom Durchschnitt der Fahrerschar. Auch hier gilt es zu untersuchen, ob die Hypothesen zutreffend sind und in wie weit sie sich auf den angestrebten Verfahrensansatz auswirken.

### **3 Prüfumfeld und Referenz**

Zur Prüfung der Eignung des Ansatzes zur Ableitung der Verkehrslage des Gesamtverkehrsstroms aus mittleren Geschwindigkeiten von ÖV-Fahrzeugen konnte auf ausgewählte Positionsdatensätze von Fahrzeugen der Dresdner Verkehrsbetriebe zurückgegriffen werden. [11] Diese stammten von einer ca. 3 Kilometer langen Referenzstrecke welche von einer Buslinie ausschließlich im Mischverkehr bedient wird. Im Tagesverkehr war mit Befahrungen alle ca. 7,5 und in den Spitzenstunden alle ca. 5 Minuten zu rechnen.

Die Identifikation der Fahrzeugpositionen erfolgt durch Koppelortung unter Nutzung eines Globalen Navigationssatellitensystems und ergänzender Sensorik, wie Wegstreckenzählern, im Fahrzeug.

Über die Fahrtstrecke sind physische Meldepunkte in Form von Baken installiert und virtuelle Meldepunkte z. B. für bestimmte Streckenpositionen oder das Türschließkriterium definiert. Bei Passieren bzw. Auslösen dieser wird ein Datentelegramm mit Angaben zu Ortsreferenz, Zeit und detektiertem Fahrzeug an das Dresdner Verkehrsmanagementsystem VAMOS abgesetzt. Die Daten stehen dort für die Online-Nutzung, u. a. für die multikriterielle Entscheidungsfindung zur Festlegung der Bedienreihenfolge von ÖV-Fahrzeugen an LSA und für Fahrerinformationssysteme zur Realisierung energieeffizienter Fahrweisen, zur Verfügung.

Für die hier getätigten Analysen war es hinreichend, auf archivierte Daten zuzugreifen. Das Betrachtungszeitfenster lag im IV. Quartal 2015 und I. Quartal 2016.

Um die Eignung der mittleren Geschwindigkeit der ÖV-Fahrzeuge zur Ableitung der Verkehrslage des Gesamtverkehrsstroms begutachten zu können, wurden Angaben zu mittleren Geschwindigkeiten aus stationärer Detektion als Referenzen erschlossen. Nutzung fanden 44 Tagesgänge der minutenfein aufgelösten mittleren Geschwindigkeiten des Gesamtverkehrsstroms mit manuell identifizierten deutlichen Geschwindigkeitseinbrüchen, welche als Staufekt interpretiert wurden.

## 4 Untersuchungskonzeption

Bei der Auswertung der Datensätze galt es zuerst, die Reihung der Meldepunkte auf dem Streckenband zu bestimmen und Meldepunktpaare zu bilden. Mit Verfügbarkeit der Befahrungszeitpunkte an den Meldepunkten  $T_{MP\_ein}$  und  $T_{MP\_aus}$  konnte folgend für die einzelnen Befahrungen, definiert durch gleiche Linie und Kursnummer innerhalb eines limitierten Zeitfensters, die benötigte Fahrzeit  $t_F$  zur Ortsveränderung zwischen benachbarten Meldepunkten mit

$$t_F = T_{MP\_ein} - T_{MP\_aus} \quad (1)$$

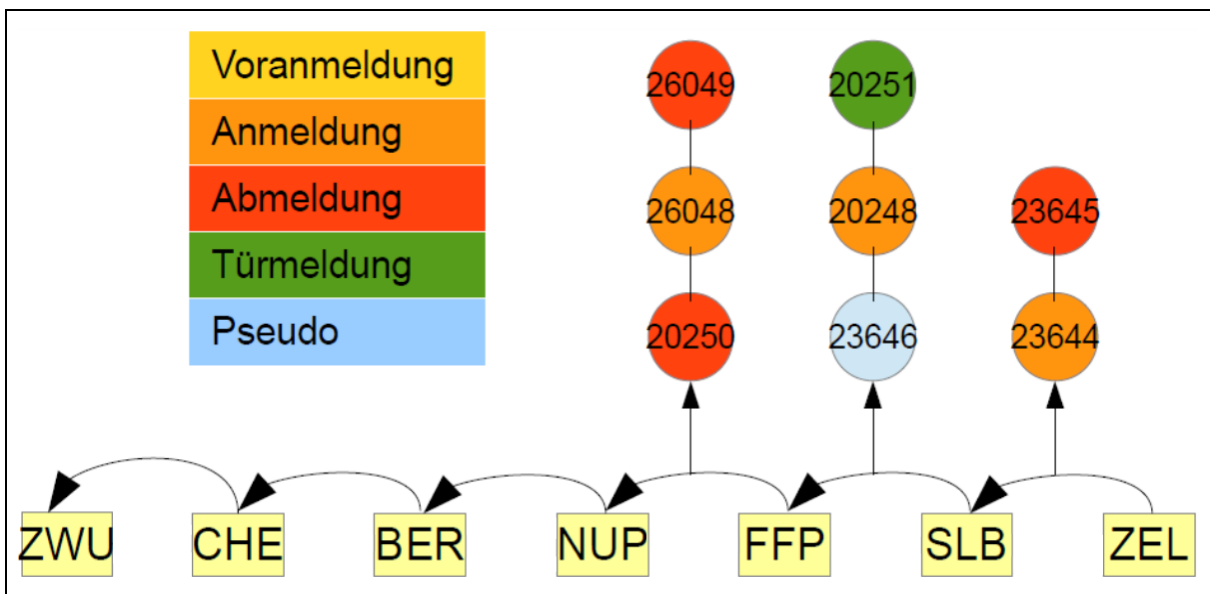
ermittelt werden. Nachdem die räumliche Entfernung  $L$  zwischen den benachbarten Meldepunkten ermittelt wurde, konnten die mittleren Geschwindigkeiten der ÖV-Befahrungen  $v_{m\_Bef}$  mit

$$v_{m\_Bef} = L / t_F \quad (2)$$

bestimmt werden.

Diesen wurden die Referenzdaten gegenübergestellt. Bei der Interpretation galt es zu beachten, dass es sich bei der mittleren Geschwindigkeit der ÖV-Fahrzeuge um ein räumliches Mittel der Geschwindigkeit der Einzelfahrzeuge, bei der stationären Detektion dagegen jeweils um ein zeitliches Mittel der Geschwindigkeiten des Gesamtverkehrsstroms am Erfassungsquerschnitt handelt.

Um eine differenzierte Betrachtung der sich ergebenden Geschwindigkeiten der Meldepunkte von freier Strecke sowie mit möglichen Einflüssen von Haltestellen und LSA vornehmen zu können, wurden die Meldepunkte klassifiziert (siehe Bild 3).



**Bild 3:** Haltestellenabfolge und Meldepunkte auf der Referenzstrecke (Auszug) [12]

Die Spezifik der Meldepunkte konnte teilweise aus der Namensgebung abgeleitet werden. War dies nicht der Fall, erfolgte die Interpretation anhand von Liniennetzplänen, Kartenmaterial und Luftbildern.

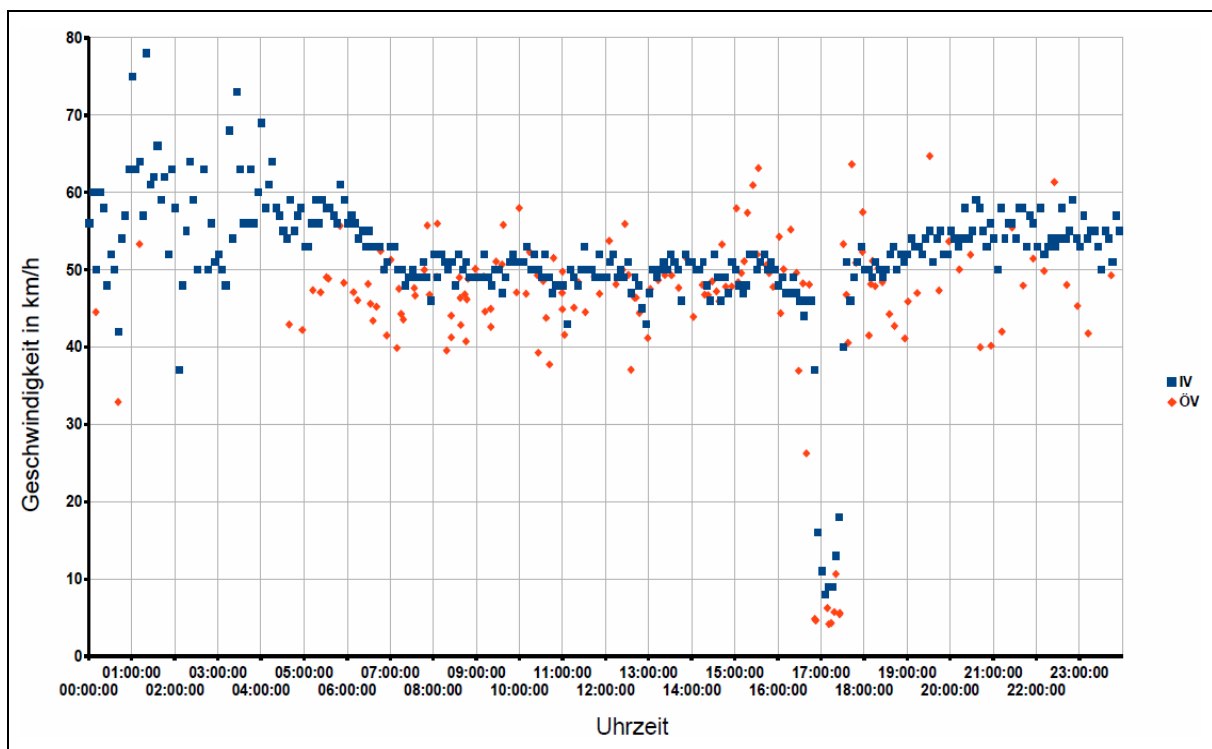
## 5 Resultierende Auswertungskonstellationen

Durch die Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten der ÖV-Befahrungen und der Referenzdaten aus stationärer Erfassung konnte die grundsätzliche Eignung der ÖV-Daten zur Ableitung bestimmter Verkehrslageaussagen nachgewiesen werden. Bei der Interpretation ist aber je nach Spezifik der Meldepunktpaare die Verwendung verschiedener Grundansätze erforderlich.

Eine erste Kategorie an resultierenden Betrachtungsfällen bilden solche, wo die mittleren Geschwindigkeiten der ÖV-Stichproben verglichen mit den Werten der stationären Detektion einen sehr ähnlichen Wertebereich, einen ähnlichen grundsätzlichen Verlauf und eine sehr ähnliche Dynamik (siehe Bild 4) aufweisen.

Staufreier Verkehrsfluss, manifestiert durch Befahrungen mit mittleren Geschwindigkeiten nahe der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, und Staueffekte, fest gemacht an drastischen Geschwindigkeitseinbrüchen, können im Diagramm ohne weiteres abgegrenzt werden. Weitere Cluster, welche z. B. einem teilgebundenen Verkehr zugeordnet werden könnten, waren nicht identifizierbar.

Die aufgezeigte Spezifik lag nur dann deutlich vor, wenn sich die Meldepunkte nicht im Wirkungsbereich einer LSA oder Haltestelle befunden haben. D. h. diese Kategorie an Betrachtungsfällen bildet die Effekte der freien Strecke ab.

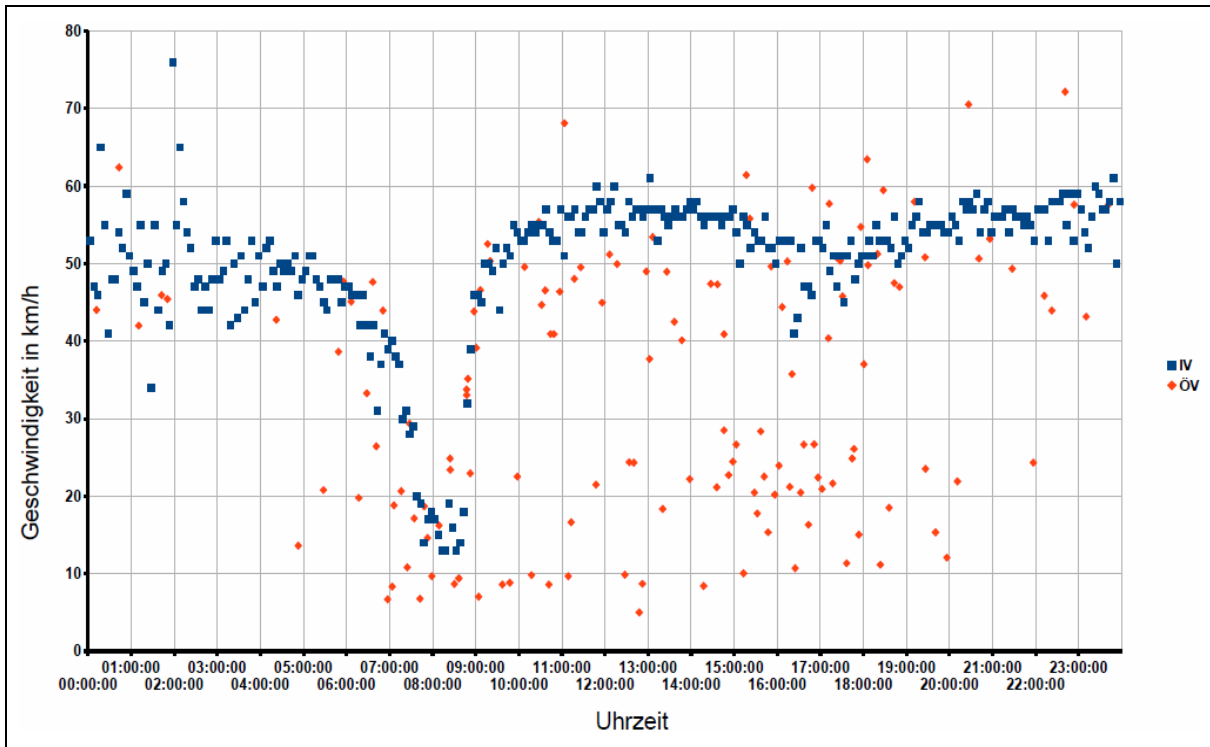


**Bild 4:** Mittlere Geschwindigkeiten in der Konstellation freie Strecke [12]

(Meldepunktpaar 23646-20248, 28.11.2015)

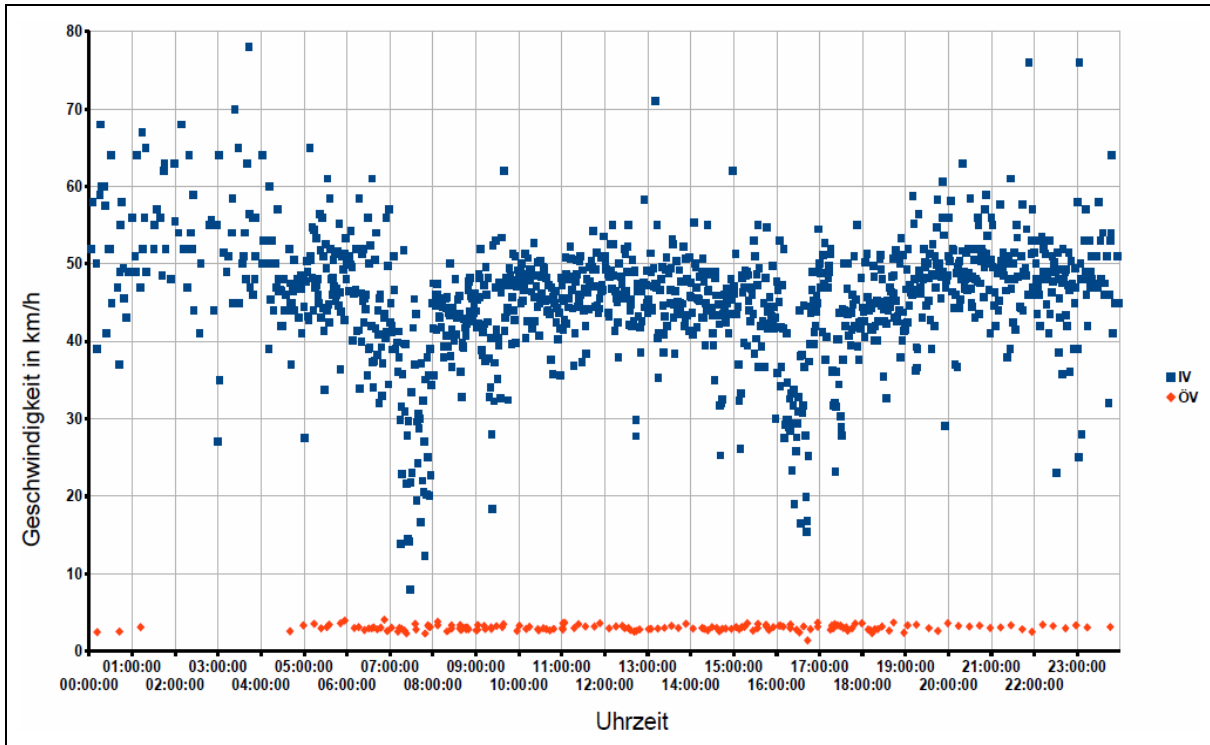
Die zweite identifizierte Kategorie (siehe Bild 5) zeichnet sich durch deutliche Streuungen der mittleren Geschwindigkeiten der ÖV-Befahrungen aus. Diese werden spezifischen ÖV-Effekten zugeschrieben, da jeweils mindestens einer der Meldepunkte sich im Wirkungsbereich einer Haltestelle oder einer LSA befand.

Einzelne Befahrungen mit niedriger Geschwindigkeit können nicht als ausschließliches Indiz für eine Stauaussage herangezogen werden. Auffällig ist aber, dass in Stauzeiten ÖV-Befahrungen mit mittlerer Geschwindigkeit im mittleren und oberen Wertebereich ausbleiben. Befahrungen im freien Verkehrsfluss sind ohne Verfügbarkeit der Referenz kaum abgrenzbar.



**Bild 5: Mittlere Geschwindigkeiten resultierend aus typischen ÖV-Effekten [12]**  
(Meldepunktpaar 24164-24165, 18.01.2016)

Unter den betrachteten Meldepunktpaaren konnten auch einige identifiziert werden, für welche die Ableitung einer Verkehrslageaussage nicht praktikabel erscheint (siehe Bild 6). Hier spielen ganz spezielle verkehrstechnische Rahmenbedingungen an LSA als auch die Effekte von Haltestellenaufhalten eine Rolle. Vor Betrachtungen nach den beiden eben aufgezeigten Verfahren sind also Meldepunktpaare auszuschließen, welche eine Haltestelle einschließen oder einen verkehrstechnischen Spezialfall darstellen.



**Bild 6: Mittlere Geschwindigkeiten aus nicht zielführender Meldepunkt-Konstellations [12]**  
(Meldepunktpaar 20250-26048, 09.11.2015)

## 6 Überführung der Auswertungskonstellationen in die praktische Anwendung

### 6.1 Vorbereitende Schritte

Erster zu tätiger Aufbereitungsschritt ist die Zusammenstellung der Meldepunktpaare, also die Bestimmung von jeweils zwei im Linienverlauf benachbarten Meldepunkten. Hierzu kann Expertenwissen herangezogen werden. Ggf. kann aber auch schon aus der Namensgebung eines Meldepunkts auf benachbarte Meldepunkte im Linienverlauf geschlossen werden. Günstigste Voraussetzung ist die Verfügbarkeit einer Liste der Abfolge. Natürlich können auch Lageinformationen der Meldepunkte hilfreich sein, wenn sie eine manuelle Aufbereitung mittels Kartenmaterial oder automatisiertes Vorgehen mittels eines Geoinformationssystems GIS ermöglichen.

Für die Meldepunktpaare muss bekannt sein, ob ein für den Gesamtverkehrsfluss vollständig oder zumindest akzeptabel repräsentatives Fahrverhalten der ÖV-Fahrzeuge vorliegt. Auszuschließen sind Paare, zwischen welchen ein nur durch den ÖV zu nutzender Fahrweg vorliegt. Auch hier kann auf Expertenwissen zurückgegriffen werden. Möglicher Weise liegen die erforderlichen Informationen auch in digitaler Form vor, sodass sie wiederum in Kombination mit Kartenmaterial oder einem GIS genutzt werden können.

Gleichermaßen ist mit Meldepunktpaaren zu verfahren, zwischen deren Meldepunkten eine Haltestelle eingeschlossen ist.

Festgestellt wurde, dass es Meldepunktpaare gibt, bei welchen für alle Befahrungen eine so niedrige Geschwindigkeit vorliegt, dass keine Differenzierung innerhalb des Wertebereichs sinnvoll möglich ist. Diese Meldepunktpaare sind zu filtern.

Zuerst ist für die nach der ersten Filterung verbliebenen Meldepunktpaare die Wegstrecke  $L$  zwischen den Meldepunkten zu bestimmen. Hier reicht das Spektrum erneut von händischer Erfassung über die Nutzung verfügbarer Materialien bis hin zu Nutzung eines GIS.

Danach kann für die Paare das typische Geschwindigkeitsniveau  $v_{m\_Ref}$  ermittelt werden. Für die mit Formel 1 und 2 (siehe S. 4) berechneten mittleren Geschwindigkeiten  $v_{m\_Bef}$  der einzelnen  $n$  Befahrungen der Strecke zwischen den Meldepunkten der Meldepunktpaare sind nach

$$v_{m\_Ref} = (v_{m\_Bef_1} + v_{m\_Bef_2} + \dots + v_{m\_Bef_n}) / n \quad (3)$$

die Mittel zu bilden. Als Schwelle zur Nutzbarkeit wird

$$v_{m\_Ref} \leq 10\text{km/h} \quad (4)$$

vorgeschlagen.

Damit  $v_{m\_Ref}$  nicht durch niedrige Geschwindigkeiten von Befahrungen mit Behinderung verfälscht wird, ist zu empfehlen, für die Berechnung die mittleren Geschwindigkeiten von Befahrungen staufreier Zeiten zu nutzen. Um dies nicht vorab prüfen zu müssen, wird vorgeschlagen, Befahrungen in aufkommensschwachen Zeiten, wie typischer Weise Wochenenden, Feiertagen oder aus Ferienzeiten, zu nutzen. Auch die Ermittlung  $v_{m\_Ref}$  im Sinn eines Langzeitmittels erscheint praktikabel, wenn Behinderungen im Verkehrsfluss keine Dominanz erlangen können.

Für die nach der erneuten Filterung verbleibenden Meldepunktpaare ist zu entscheiden, welcher der im vorherigen Kapitel vorgestellten grundlegenden Ansätze zur Interpretation der mittleren Geschwindigkeit jeweils der geeignete ist. Die Abgrenzung ihres Einsatzes erfolgt über die Aussage, ob sich Wirkungen von Haltestellen oder LSA auf den Fahrtverlauf zwischen den Meldepunkten entfalten.

Der Wirkungsbereich für die Effekte von Haltestellen ist der Bereich des Bremsens vor und Wiederanfahrens des ÖV nach einer Haltestelle. Laut der Richtlinien für Lichtsignalanlagen RiLSA [13] ist für Beschleunigungsvorgänge von ÖV-Fahrzeugen aus dem Stand bis zum Erreichen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit  $V_{zul}$  für Straßenbahnen ein Wert  $a_{Tram} = 1,0\text{m/s}^2$  und für Busse  $a_{Bus} = 1,2\text{m/s}^2$  anzusetzen. D. h. im städtischen Umfeld ist bei typischen  $V_{zul} = 50\text{km/h}$  für den Fahrweg  $L_{max}$  nach

$$L_{max} = V_{zul}^2 / 2a \quad (5)$$

mit einem Wert von bis zu 100m zu rechnen. Es wird als legitim erachtet, im Sinn einer einfachen Handhabbarkeit trotz kürzerer zu erwartender Bremswege, den Wirkungsbereich des Bremsens dem des Anfahrens gleichzusetzen.

Im Umfeld von LSA ergeben sich durch ÖV-Bevorrechtigung Abweichungen des Fahrverhaltens durch die sich jeweils einstellende Ausprägung der Bevorrechtigung. In Abhängigkeit vieler Kriterien, insbesondere der Flexibilität der LSA-Programme und dem Ankunftszeitpunkt der ÖV-Fahrzeuge, ergeben sich unterschiedliche Freigabezeitpunkte und so letztendlich unterschiedliche Fahrzeiten und mittlere Geschwindigkeiten.



Das Spektrum reicht von einem haltfreien Passieren mit zulässiger Höchstgeschwindigkeit bis hin zur Knotenquerung mit Halt. D. h. mögliche Unterschiede im Fahrverhalten erstrecken sich räumlich betrachtet über den Brems- und Beschleunigungsweg der ÖV-Fahrzeuge an den LSA. Das 100m-Kriterium kann wiederum genutzt werden. Es kann also letztlich bei manuellen ggf. mit Kartenmaterial unterstützten wie auch der GIS-gestützten Prüfung der Meldepunkte auf Lage im Wirkungsbereich von LSA und Haltestellen Verwendung finden.

Wenn keiner der Meldepunkte eines Meldepunktpaars in einem der Wirkungsbereiche liegt, kann die Interpretation der Verkehrslage für die freie Strecke (siehe Abschnitt 6.2) erfolgen. In allen anderen Fällen ist der allgemeingültige Ansatz (siehe Abschnitt 6.3) zielführend.

## 6.2 Identifikation von Staus für Meldepunktpaare der freien Strecke

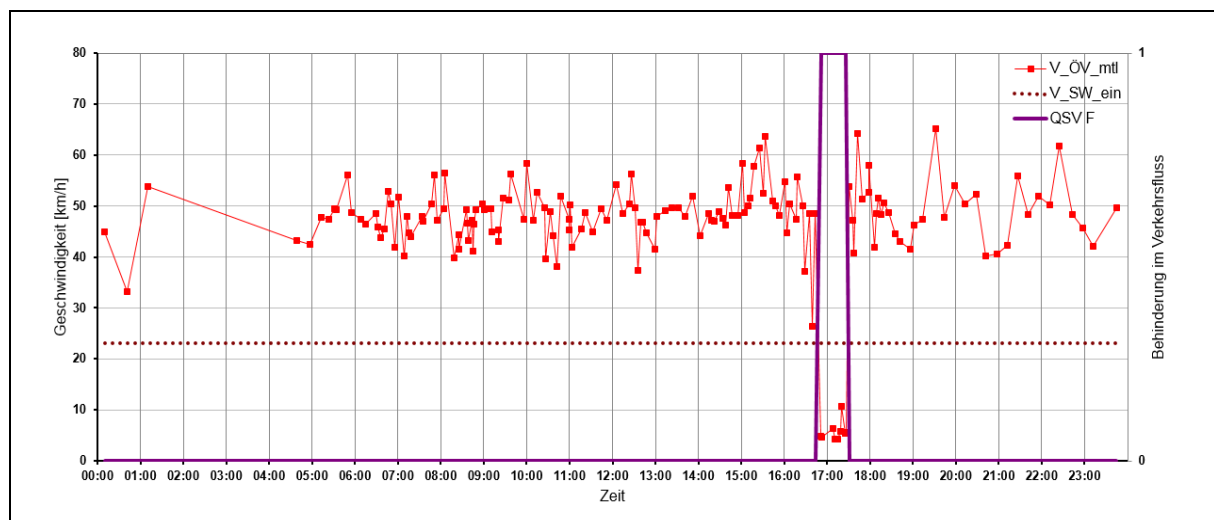
Im Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen HBS [14] werden für die Ermittlung von definierten Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs QSV verschiedene standardisierte Verfahren in Abhängigkeit von infrastrukturellen und verkehrlichen Randbedingungen, u. a. für städtische Straßenverkehrsanlagen, beschrieben.

Für die Ermittlung der QSV auf der freien Strecke in städtischem Umfeld wird die Nutzung der Verkehrsdichte  $k$  vorgeschlagen. Um diese zu ermitteln, ist die Verkehrsmenge  $q$  erforderlich. Diese ist im vorliegenden Fall aber nicht gegeben. Das heißt, eine direkte Nutzung der zu präferierenden Herangehensweise ist nicht möglich. Neben der Aussage, dass bei QSV F die Nachfrage die Streckenkapazität übersteigt, ist im HBS aber vermerkt, dass der Verkehrsfluss zusammenbricht. Diese Wirkung ist mit dem vorliegenden Ansatz identifizierbar, erfordert jedoch eine eigenständige Herangehensweise.

So kann z. B. ein Schwellenwertverfahren (siehe Bild 7) zur Abgrenzung der Befahrungen mit Behinderung auf der freien Strecke genutzt werden. Wenn eine Befahrung mit einer mittleren Geschwindigkeit  $v_{m\_Bef}$  unterhalb eines Schwellenwerts  $V_{sw\_ein}$  stattgefunden hat, kann von einer Behinderung des Verkehrsflusses ausgegangen werden. Die Herangehensweise

$$\text{QSV F bei } v_{m\_Bef} < V_{sw\_ein} \quad (6)$$

ist sowohl für den Online-Betrieb als auch die Offline-Auswertung adaptierbar.



**Bild 7: Ermittlung von QSV F auf der freien Strecke mittels Schwellenwertverfahren**  
(Meldepunktpaar 23646-20248, 09.11.2015)

Für eine Offline-Auswertung wird vorgeschlagen, den Zeitraum zwischen der ersten und letzten Befahrung eines Clusters mit kontinuierlichen Unterschreitungen des Schwellenwerts  $V_{sw\_ein}$  durch die mittleren Geschwindigkeiten  $v_{m\_Bef}$  als Dauer von QSV F anzusehen, sofern die zeitlichen Abstände zwischen den Befahrungen ein definiertes Maß nicht übersteigen. Es wird vorgeschlagen, letzteres im Kontext der angestrebten Anwendung zu wählen. Wird dieses Kriterium nicht eingehalten, so sind durch das Verfahren innerhalb dieser Erfassungslücke keine fundierten Aussagen möglich.

Im Online-Betrieb wird mit Vorliegen der Unterschreitung des Schwellenwerts  $V_{sw\_ein}$  durch die mittleren Geschwindigkeiten einer Befahrung  $v_{m\_Bef}$  von einer QSV F ausgegangen bzw. diese bestätigt. Wenn eine Befahrung mit einer mittleren Geschwindigkeit  $v_{m\_Bef}$  nicht unterhalb Schwellenwerts  $V_{sw\_ein}$  stattgefunden hat, kann davon ausgegangen werden, dass QSV F nicht mehr zutreffend ist. Festzulegen ist hier, wie lange eine Aussage zur Verkehrslage ohne erneute Befahrung aufrecht gehalten werden soll. Die Aussagen zur Festlegung der Dimension als auch zur Tragfähigkeit bei Nichteinhaltung des Kriteriums sind dieselben wie bei der Offline-Auswertung.

Bei den ausgewerteten Beispielfällen konnte lediglich ein Meldepunktpaar mit drei Stausituationen der Auswertung mit diesem Verfahren zugeordnet werden. Deshalb handelt es sich bei der Kalibrierung des Schwellenwerts  $V_{sw\_ein}$  um einen wenig abgesicherten Vorschlag.  $V_{sw\_ein}$  wurde mit 50% der mittleren Geschwindigkeit aller Befahrungen in einem längeren Zeitraum ohne Behinderung  $v_{m\_Ref}$  (siehe Formel 3, S. 8) angesetzt.

Mit dem gewählten Vorgehen konnten sowohl im Offline- als auch im Online-Fall alle aufgetretenen Verkehrsbehinderungen identifiziert werden. Gegenüber der Referenz zeigte sich ein leicht vorauseilendes Ansprechen und ein leicht verzögertes Abklingen von jeweils ca. 5min. Dies erscheint plausibel, da die ÖV-Daten eine Detektionsstrecke abdecken, die in den betrachteten Fällen genutzte Referenz dagegen auf einer punktuellen Erfassung in Fahrtrichtung gesehen am Anfang der Strecke zwischen den Meldepunkten fußt.

Die Überwachung freier Strecken auf QSV F ist insbesondere für operative Straßenverkehrsmanagementsysteme mit Ausgabe von Hinweisen oder Vorschlägen zu alternativen Handlungsweisen nutzbringend.

Da diese Meldepunktconstellationen vermutlich nicht den Regelfall abbilden, wären zusätzliche Meldepunktpaare zu schaffen. D. h. neue Meldepunkte sind zu definieren. Sie sollten sich außerhalb des primären Rückstaus von LSA befinden und das in Abschnitt 6.1 beschriebene Abstandskriterium zu LSA und Haltestellen einhalten. Je dichter die Meldepunkte beieinander liegen, desto granularere Aussagen zum Vorliegen von QSV F sind möglich. Dem gegenüber steht der steigende Aufwand für Administration und Betrieb.

Weitergehender Forschungsbedarf besteht hinsichtlich einer möglichst automatisierbaren Kalibrierung der Schwellenwerte ohne zusätzliche manuelle Nachkalibrierungen.

### **6.3 Identifikation von Staus für die verbleibenden Meldepunktpaare**

Die mittleren Geschwindigkeiten der verbleibenden Meldepunktpaare sind durch Effekte von Haltestellen und LSA beeinflusst.

Zur Ableitung der Verkehrslage des Gesamtverkehrsstroms an LSA ist im HBS [14] die Betrachtung der mittleren Wartezeiten  $t_w$  zur Ermittlung der QSV vermerkt.  $t_w$  kann im vorliegenden Kontext zwar unter Nutzung der bekannten Fahrzeit  $t_f$  abgeschätzt werden, Tests zeigten aber, dass die in ihrer Intensität unbekanntes Effekte der ÖV-Bevorrechtigung dominant wirken, und diese Herangehensweise somit nicht zielführend ist. Für QSV F ist aber als zusätzliches Kriterium vermerkt, dass die nachgefragte Verkehrsstärke  $q$  die Kapazität  $C$  übersteigt. Die resultierende Ausbildung eines Rückstaus manifestiert sich in niedrigen Geschwindigkeiten. D. h., vergleichbar mit dem Vorgehen für die freie Strecke, kann die Ermittlung von QSV F durch Interpretation der mittleren Geschwindigkeit erfolgen, auch wenn ein zum HBS alternatives Verfahren genutzt wird.

Für die Fälle, wo Effekte des Ein- und Ausfahrens aus Haltestellen wirksam sein können, liegt eine der freien Strecke ähnliche Charakteristik vor, welche aber bei der Interpretation anderweitig zu behandeln ist.

Als Grundidee zur Abgrenzung von QSV F erscheint das Aufzeigen des Ausbleibens von Befahrungen mit mittleren und hohen mittleren Geschwindigkeiten geeignet. Im Unterschied zu den Betrachtungen in Abschnitt 6.2 ist es hier erforderlich, den deutlichen Streuungen der mittleren ÖV-Geschwindigkeiten gezielt zu begegnen, um eine gefestigte Aussage zum vorliegenden Geschwindigkeitsniveau zu erhalten. Zwei kompakte Ansätze wurden dazu geprüft. Es handelt sich um die exponentielle Glättung und ein Zählverfahren jeweils kombiniert mit Schwellenwertauswertungen.

Bei der exponentiellen Glättung wird die aktuelle geglättete mittlere Geschwindigkeit  $V_{m\_Bef\_ggl\_neu}$  nach

$$V_{m\_Bef\_ggl\_neu} = \alpha \cdot V_{m\_Bef} + (1 - \alpha) \cdot V_{m\_Bef\_ggl\_alt} \quad (7)$$

unter Einbeziehung der mittleren Geschwindigkeit der aktuellen Befahrung  $V_{m\_Bef}$  und der geglätteten mittleren Geschwindigkeit  $V_{m\_Bef\_ggl\_alt}$  bei der vorherigen Befahrung ermittelt. Eine gute Eignung wird für  $\alpha = 0,12$  gesehen.

Bei einer Offline-Auswertung ist es sinnfälliger, eine weitere Glättung in zeitlich entgegengesetzter Richtung durchzuführen und die Teilergebnisse beider Richtungen zu mitteln, wodurch die verfahrensbedingten Verzögerungen ausgeglichen werden. Die geglättete mittlere ÖV-Geschwindigkeit  $v_{m\_Bef\_ggl}$  ist dann mit einem Schwellenwert  $V_{sw\_ein}$  nach

$$\text{QSV F bei } v_{m\_Bef\_ggl} < V_{sw\_ein} \quad (8)$$

zu vergleichen. Die Unterschreitung wird als Indiz für das Vorliegen von QSV F angenommen.

Beim Zählverfahren wird, manifestiert durch einen Zähler  $U$ , nach

$$U = U + 1 \text{ bei } v_{m\_Bef} < V_{sw\_ein}, \text{ sonst } U = 0 \quad (9)$$

ermittelt, wie oft in direkter Abfolge durch die mittlere Geschwindigkeit der ÖV-Befahrungen  $v_{m\_Bef}$  ein Schwellenwert  $V_{sw\_ein}$  unterschritten wurde.

Übersteigt die Anzahl an Unterschreitungen  $U$  einen parametrierbaren Wert  $U_{par}$ , wird dies nach

$$QSV\ F\ \text{bei}\ U \geq U_{par} \quad (10)$$

als Indiz für das Vorliegen von QSV F angesehen. Im Beispielfall wurde  $U_{par} = 3$  angesetzt.

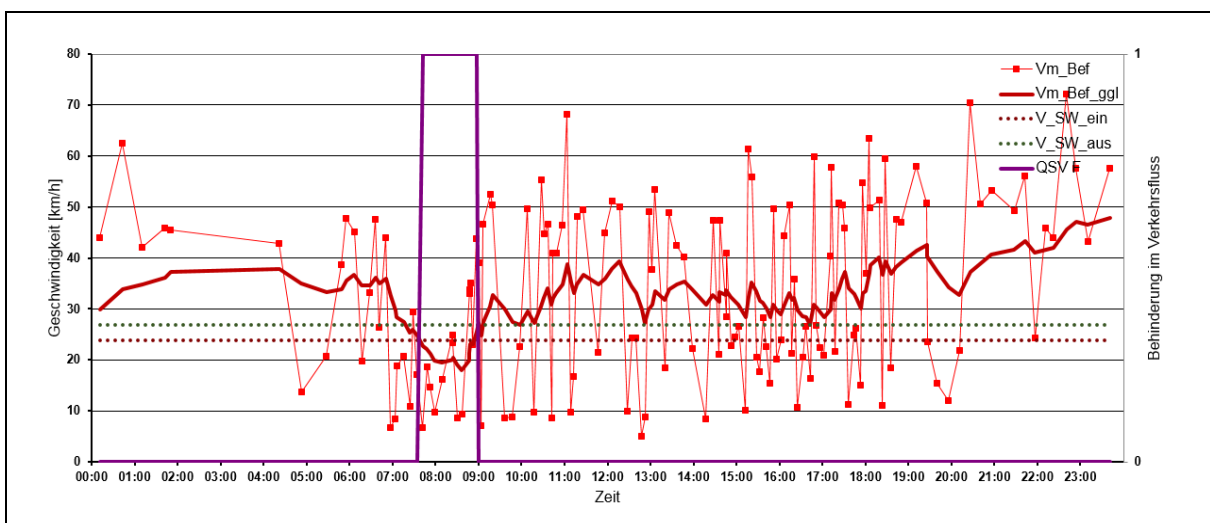
Bei der Offline-Betrachtung kann diese Herangehensweise in beiden zeitlichen Laufrichtungen erfolgen. Die Aussagen zu QSV F sind dabei zu überlagern, wobei die Auslösung von QSV F als dominant angenommen werden sollte.

Den Ansatz erweiternd wurde die Eignung einer Hysterese über den Schwellenwert  $V_{sw\_aus}$  für defensiveres Abklingen von QSV F geprüft. Effekt ist eine geringere Fragmentierung der Aussage QSV F.

Die Möglichkeiten hinsichtlich der Entwicklung eines geeigneten Verfahrens erscheinen nichtsdestotrotz bei weitem nicht erschöpft. Zusätzlich kann z. B. auch hier die Prüfung der Einhaltung von Maximalabständen zwischen den Befahrungen als erforderlich angesehen werden. Rückwirkungen ergäben sich zur Algorithmik und auf die Kontinuität der Ergebnisverfügbarkeit. Weitergehender Forschungsbedarf besteht auch hinsichtlich eines Verfahrens zur Festlegung geeigneter Schwellenwerte, welches keinen oder nur geringen händischen Aufwand bedingt. Für die Beispielfälle wurde für alle Meldepunktpaare eine eigenständige Kalibrierung differenziert nach Verfahren sowie Online- und Offline-Anwendung vorgenommen. Dieser Aufwand könnte also perspektivisch entfallen.

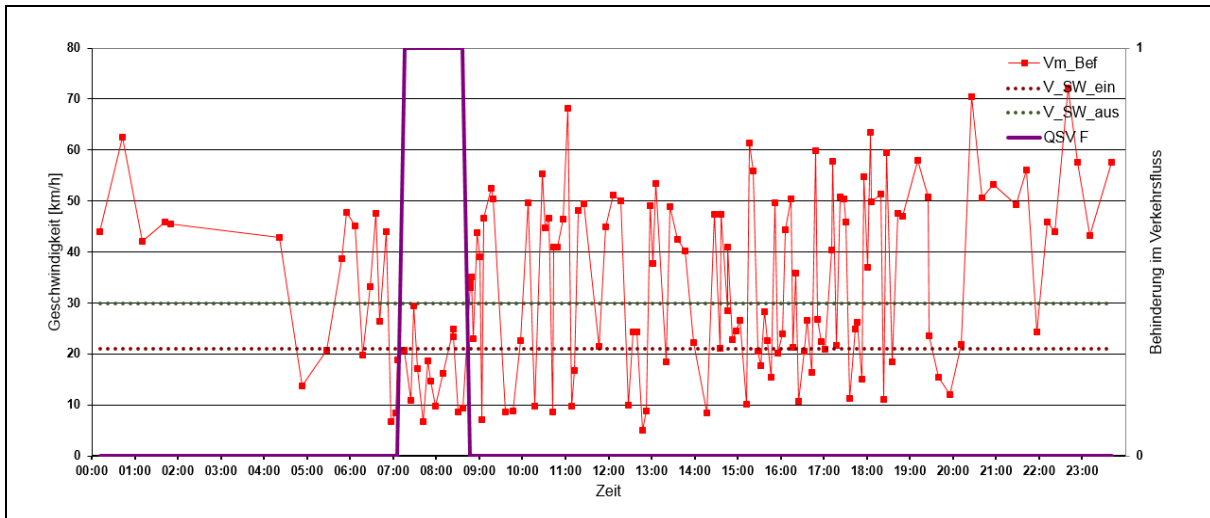
Zur Ermittlung der Potentiale der Ansätze erfolgte die Auswertung der Datensätze von drei Meldepunktpaaren mit insgesamt sechs Stauereignissen.

Im Online-Betrieb konnten bis auf eine Ausnahme alle Staufälle identifiziert werden. Zusätzlich konnte dagegen ein potentiell Stauereignis identifiziert werden, welches sich in der Referenz nicht abgezeichnet hat.



**Bild 8: Online-Ermittlung von QSV F mittels Glättungsverfahren**  
(Meldepunktpaar 24164-24165, 18.01.2016)

Beim Glättungsverfahren (siehe Bild 8) sprach die Identifikation von QSV F in fast allen Fällen verzögert an und fiel in ähnlicher Dimension auch verzögert ab.



**Bild 9: Online-Ermittlung von QSV F mittels Zählverfahren**

(Meldepunkt paar 24164-24165, 18.01.2016)

Die Verzögerung betrug im Mittel 15-20min. Die höchsten Verzögerungen lagen für die betrachteten Beispielfälle bei ca. 35min. Für eine Nutzungsmöglichkeit im operativen Kontext, auf welchen eine Online-Erfassung typischer Weise abzielt, wird dies als kaum hinreichend erachtet. Für andere Anwendungsfälle ist die Eignung zu diskutieren.

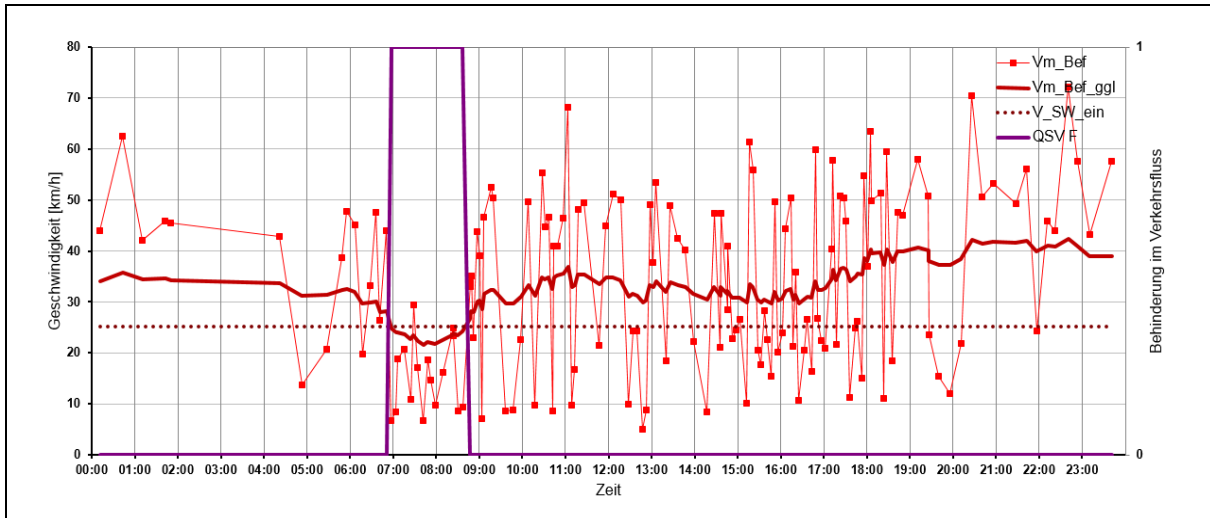
Beim Zählverfahren (siehe Bild 9) wurde verzögertes aber auch der Referenz vorauseilendes Auslösen bzw. Abfallen ermittelt. Die mittlere Abweichung lag sowohl für Auslösen als auch das Abfallen bei ca. 10min, die höchsten Werte bei ca. 25min. Die theoretisch zu erwartende Verzögerung  $T_V$  kann mit

$$T_V = U_{par} \cdot T_{Ff}, \quad (11)$$

also dem Produkt aus dem verfahrensinternen Auslösezähler  $U_{par}$  und der Fahrzeugfolgezeit  $T_{Ff}$ , abgeschätzt werden. Die Sinnfälligkeit der Nutzbarkeit ist wiederum abzuwägen.

Es wird erwartet, dass sich mit dem Glättungsverfahren günstiger Weise die mittleren ÖV-Geschwindigkeiten von Meldepunkt paaren auswerten lassen, an welchen es häufig zu an- und abschwellenden Stauereignissen kommt. Durch eine direkte Reaktion auf die mittleren ÖV-Geschwindigkeiten wird dagegen das Zählverfahren für Meldepunkt paare empfohlen, wo eher singuläre Stauereignisse zu erwarten sind.

Bei der Offline-Auswertung (siehe Bild 10) lieferten beide Auswertungsansätze nahezu identische Ergebnisse. Fast immer war vorauseilendes Auslösen und Abfallen zu verzeichnen. Erwartet wurde für das Abfallen, bedingt durch die streckenhafte Erfassung der mittleren ÖV-Geschwindigkeiten, zwar ein gegenüber der punktuell erfassten Referenz verzögertes Verhalten, das vorauseilende Abfallen ist aber zumindest um ca. 5min geringer ausgeprägt als das beim Ansprechen. Die Abweichungen betragen im Mittel ca. 15 min, die höchsten Abweichungen liegen bei ca. 30min. Dies wird z. B. für statistische Auswertungen als hinreichend angesehen.



**Bild 10: Offline-Ermittlung von QSV F mittels Glättungsverfahren**  
(Meldepunktpaar 24164-24165, 18.01.2016)

Hinsichtlich der Verfügbarkeit entsprechender Meldepunktpaare ist festzuhalten, dass diese im Beispielfall das Gros bildeten. D. h. eine gute Flächendeckung könnte ohne die Definition zusätzlicher Meldepunkte bei konstantem zu übertragenden Datenvolumen erreicht werden. In anderen potentiellen Anwendungsumgebungen wird es sich ähnlich verhalten, wenn die Hauptanwendung der Meldepunkte die ÖV-Bevorrechtigung darstellt.

## 7 Fazit

Es konnte aufgezeigt werden, dass anhand der aus der Fahrzeit zwischen physischen und virtuellen Meldepunkten mit fester Position und dem entsprechenden Fahrweg abgeleiteten mittleren Geschwindigkeiten von ÖV-Fahrzeugen Stauaussagen bezüglich des Gesamtverkehrsstroms getätigt werden können. Ausnahmen bilden lediglich Netzelemente, wo kein Mischverkehr vorliegt und Strecken zwischen Meldepunkten, wo eine Haltestelle eingeschlossen ist.

Grundansatz von betrachteten allgemeingültig einsetzbaren Verfahren ist die Abgrenzung von Stauzeiten anhand des Ausbleibens von Befahrungen mit mittleren Geschwindigkeiten im mittleren und hohen Wertebereich. Die resultierende Stauaussage entspricht ihren Wirkungen nach einer Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs QSV F nach dem Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen HBS, auch wenn ein alternatives Verfahren zur Ermittlung genutzt wurde.

Bedingt durch die Wirkungen von Lichtsignalanlagen oder Haltestellen ergeben sich bei den mittleren Geschwindigkeiten der ÖV-Fahrzeuge Streuungen. Dies erfordert bei der Auswertung neben der Interpretation der aktuellen mittleren Geschwindigkeit auch den Rückgriff auf historische Werte. Daraus resultiert eine Ansprechverzögerung im Online-Betrieb. Eine Limitierung der Anwendungsmöglichkeiten geht damit einher. Abhängigkeit besteht von der Fahrzeugfolge.

Bei Offline-Auswertungen kann die Möglichkeit der Aufbereitung der Datensätze sowohl im und zusätzlich entgegen des Zeitverlaufs genutzt werden, was Verzögerungseffekte ausgleicht. Eine hinreichende Eignung, z. B. für statistische Auswertungen, konnte resultierend aufgezeigt werden.

Da sich für dieses Vorgehen die Meldepunkte auch im Nahfeld von Lichtsignalanlagen befinden dürfen, werden bei Ausrichtung der Positionsdatensatzerfassung für die ÖV-Bevorrechtigung in der Regel geeignete Meldepunktpaare vorliegen.

Beste Voraussetzungen für eine Ableitung von Stauaussagen liegen vor, wenn die system-spezifischen Abweichungen des Fahrverhaltens der ÖV-Fahrzeuge von dem des Gesamtverkehrsstroms gering ausfallen. Das ist auf der freien Strecke gegeben. Die Etablierung knoten-ferner Detektion, also die Erfassung von Behinderungen, welche über systembedingte Rückstaus an LSA hinaus reichen, ist hier ohne weiteres möglich und liefert belastbare on- und offline nutzbare Ergebnisse. Eine direkte Vergleichbarkeit der generierten Stauaussagen mit vollständig HBS-konformen Auswertungen des QSV F ist aber nur bedingt gegeben, da wiederum ein alternatives Verfahren, hier ein kompaktes Schwellenwertverfahren, genutzt wird.

Aufgezeigt werden konnte ein sehr schnelles Ansprechen der Auswertung. Je geringer die Fahrzeugfolgezeiten, desto dichter fällt die resultierende Verkehrslageaussage aus. Dies ist wünschenswert, aber keine zwingende Voraussetzung. Auswertungen sind hier unabhängig von der Fahrzeugfolge möglich.

Da ÖV-Linien meist eine große Schnittmenge mit dem für die Verkehrsplanung besonders relevanten Hauptstraßennetz und den in das Verkehrsmanagement einbezogenen Netzelementen besitzen, wird ein großes Gesamtpotential gesehen. Dieses wird in der Regel durch die Etablierung zusätzlicher Meldepunkte außerhalb des Wirkungsbereichs von LSA und Haltestellen und in Abhängigkeit des angestrebten Einsatzfelds erschlossen werden können.

Durch Nutzung bestehender bzw. Festlegung geeigneter zusätzlicher Meldepunkte und die Etablierung der erforderlichen Datenübertragung und Algorithmen können sich ÖV-Unternehmen also einen Datenfundus erschließen, welcher sie in die Lage versetzt, Stauinformationen für Optimierungen im eigenen Betriebsablauf sowie für Vergleiche mit dem motorisierten Individualverkehr zu nutzen, als Content Provider für Verkehrsmanagementsysteme und weitere Interessenten aufzutreten oder sogar eigene Verkehrsinformationsdienste im Sinn von Multi-modalität anzubieten.

## Referenzen

- [1] SCHNABEL, W.; LOHSE, D. (2011): Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung. Band 1 Straßenverkehrstechnik; Beuth Verlag.
- [2] SCHMIETENDORF, G. (2010): Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs in städtischen Netzen, Studienarbeit; Technische Universität Dresden.
- [3] KRIMMLING, J.; FRANKE, R.; KÖRNER, M. (2006): „Verkehrsdatenaufbereitung und -modellierung im operativen Verkehrsmanagementsystem VAMOS“, in: *Straßenverkehrstechnik 08/2006*; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Kirschbaum Verlag.
- [4] GÖSSEL, F. (2005): Informationsentropische, spektrale und statistische Untersuchungen fahrzeuggenerierter Verkehrsdaten unter besonderer Berücksichtigung der Auswertung und Dimensionierung von FCD-Systemen; Dissertation; Technische Universität Dresden.
- [5] KÖRNER, M. (2008): „Telematik-Testfeld Dresden“, Vortrag zur 4. Tagung des Kompetenzzentrums für operatives Verkehrsmanagement VIMOS; Dresden.
- [6] KOHLEN, R. (2013): “Network wide application of floating car data particularly in cities using data fusion with measurement data of stationary traffic detection”, Vortrag zur MT-ITS Conference 2013, Dresden.
- [7] HERMANN, S. (2001): Verkehrsmonitoring mit ÖPNV-basierter FCD-Technologie. Diplomarbeit, Fakultät Verkehrswissenschaften, Dresden.
- [8] HARTWIG, K. (2001): ÖV-basiertes FCD. Studienarbeit, Fakultät Verkehrswissenschaften, TU Dresden, Dresden.
- [9] PFENNIG, R. (2011): Fusionierung von Detektordaten und aktuellen ÖPNV-Positionen zur Generierung von streckenbezogenen Verkehrslageinformationen des MIV. Hauptseminar, Fakultät Verkehrswissenschaften, TU Dresden, Dresden.
- [10] SÜMMERMANN, A.; LANK, C.; STEINAUER, B.; BAIER, M.; BAIER, R.; KLEMPSKOHNEN, A. (2009): Verkehrsqualitätsstufenkonzepte für Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Verkehrstechnik Heft V 182; Bergisch Gladbach.
- [11] GASSEL, C.; KRIMMLING, J. (2010): “Additional benefit of ITCS data used in road traffic control systems”, in: Proceedings WCTR Conference 2010; Lissabon.
- [12] FITZTHUM, L. (2016): Entwicklung und Test von Verfahren zur Schätzung der MIV-Verkehrslage unter Nutzung der Bewegungsdaten von ÖV-Fahrzeugen im Mischverkehr; Studienarbeit; Technische Universität Dresden.
- [13] FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN FGSV (2015): Richtlinien für Lichtsignalanlagen, FGSV-Nr. 321, FGSV-Verlag, Köln.
- [14] FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN FGSV (2015): Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen - Teil S Stadtstraßen, FGSV-Nr. 299, FGSV-Verlag, Köln.