



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna | Austria

DIPLOMARBEIT

Identifikation von Einsatzmöglichkeiten für die Anwendung von Cooperative Intelligent Transport Systems für die Optimierung des öffentlichen Personennahverkehrs in Wien

**ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs
unter der Leitung von**

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Georg Hauger

E280-05

Institut für Raumplanung

Forschungsbereich Verkehrssystemplanung

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Gerald Winterstein

01526911

Wien, am 21.10.2020

eigenhändige Unterschrift

Kurzfassung

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, Einsatzmöglichkeiten von Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS) an Kreuzungen mit Verkehrslichtsignalanlagen (VLSA) zu identifizieren, um den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) in Wien zu verbessern. Jedoch sollen die ausgewählten Beispiele auch anderen Städten mit einem starken ÖPNV-Netz zeigen, welche Voraussetzungen es benötigt, um C-ITS erfolgreich anzuwenden.

C-ITS ist eine Technologie die alle Verkehrsteilnehmer*innen miteinander verknüpfen kann und bietet ein großes Repertoire an unterschiedlichsten Anwendungsmöglichkeiten. Davon werden drei ausgewählt, die zu einer Optimierung des ÖPNVs beitragen sollen. Anschließend erfolgt ein Screening der potenziell in Frage kommenden Kreuzungen in Wien, zur Identifikation von Örtlichkeiten an denen diese Anwendungen sinnvoll eingesetzt werden können. Dabei geht es nicht nur darum, alle Anwendungen an einer Kreuzung anzuwenden, sondern auch die Einsatzmöglichkeit verschiedener Kombinationen und Einzelfälle aufzuzeigen.

Die Suche nach geeigneten VLSAn ist durchaus schwierig, da gewisse Bedingungen erfüllt sein müssen, um den Einsatz von C-ITS zu rechtfertigen. Einerseits ist das derzeit vom ÖPNV genutzte Beeinflussungssystem an VLSAn durchaus in der Lage, mit C-ITS mitzuhalten. Andererseits ist dieses System schon ein paar Jahrzehnte alt und wird früher oder später durch eine neue Technologie ersetzt werden müssen. Daher ist C-ITS eine aussichtsreiche Alternative, welche bereits jetzt eine bessere VLSA-Beeinflussung ermöglicht. Zudem ist C-ITS nicht nur für den ÖPNV nutzbar, sondern kann auch von allen anderen Verkehrsteilnehmer*innen genutzt werden, was vermutlich einer der größten Vorteile ist. Jedoch ist die bestehende Infrastruktur für den ÖPNV an VLSAn (Vorsignal, Abfertigungssignal, etc.) in Wien bereits gut ausgebaut, so dass hier teilweise wenig zusätzliches Verbesserungspotential gegeben ist.

Der Gebrauch von C-ITS steht noch am Anfang und es müssen noch einige Fragen geklärt werden, jedoch ist diese Technologie mit Sicherheit die Zukunft und soll unter anderem den Grundstein für das automatisierte Fahren im öffentlichen Straßenraum legen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, das C-ITS an den, im Zuge dieser Arbeit ausgewählten Beispielen, zu einer Verbesserung für den ÖPNV beitragen kann. Weiters wird aufgezeigt, welche Voraussetzungen vorhanden sein müssen, um C-ITS sinnvoll einsetzen zu können. Es ist durchaus möglich, dass der ÖPNV an manchen Kreuzungen gar keine Verbesserungen mehr benötigt, womit C-ITS in diesem Fall nicht zwingend eingesetzt werden muss. Daher gilt es für eine Stadt genau zu prüfen, wo und weshalb sie C-ITS einsetzen möchte. Startet man mit der Implementierung von C-ITS,

so hat man (zumindest in der Transitionsphase) zwei verschiedene Systeme parallel laufen. Dies führt für eine gewisse Zeit zu Mehrkosten, daher muss dieser Schritt sehr gut durchdacht sein.

Abstract

The aim of this diploma thesis is to identify possible applications of Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS) at intersections with traffic lights in order to improve public transport in Vienna. However, the selected examples should also support other cities with a strong public transport network in the successful introduction of C-ITS.

C-ITS is a technology that can connect all road users and offers a wide repertoire of different applications. Three of these are selected to contribute to the optimization of public transport. Subsequently, a screening of the potentially relevant intersections in Vienna will be carried out to identify locations where these applications can be used effectively. The aim is not only to apply all applications at one intersection, but also to show the possible use of different combinations and individual cases.

The screening to identify suitable traffic lights is quite difficult, since certain conditions must be fulfilled to justify the use of C-ITS. On the one hand, the control system on traffic lights currently used by public transport is quite capable of keeping up with C-ITS. On the other hand, this system is already a few decades old and will have to be replaced by a new technology sooner or later. Therefore, C-ITS is already a promising alternative, which allows a more efficient traffic light control system. Furthermore, C-ITS is not only applicable for public transport, but can also be used by all other road users, which is probably one of the biggest advantages. However, the existing infrastructure for public transport at traffic lights (approach signal, dispatch signal, etc.) in Vienna is already well developed, so that there is little additional potential for improvement.

The use of C-ITS is still in its infancy and a number of questions still need to be clarified, but this technology is certainly the future and should, among other things, lay the foundation for automated driving in public road space.

In summary, it can be said that C-ITS can contribute to an improvement for public transport by using the examples selected in this thesis. Furthermore, it is shown which prerequisites must be present in order to use C-ITS in a meaningful way. It is quite possible that public transport does not need any improvements at some intersections, so that C-ITS does not necessarily have to be used in this case. Therefore, it is important for a city to examine exactly where and why it wants to use C-ITS. If one starts with the implementation of C-ITS, one has (at least in the transition phase) two different systems running in parallel for the same purpose. This leads to additional costs for a certain period of time, so this step must be very well thought out.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich noch bei einigen Menschen bedanken, die mich auf diesem durchaus steinigen Weg unterstützt und begleitet haben.

Ein herzliches Dankeschön an meine Vorgesetzten und Kollegschaft der MA33, die mir während meines Studiums immer wieder geholfen haben und auf deren Rat ich stets bauen konnte.

Weiters möchte ich mich bei meinen Kolleginnen und Kollegen, die ich während meiner Studienzeit kennen und schätzen gelernt habe bedanken. Ohne diese wären die unzähligen Gruppenarbeiten mit Sicherheit nicht so positiv ausgefallen, wie sie es sind. Aber auch beim gemeinsamen Lernen und Vorbereiten für die vielen Prüfungen unterstützen wir uns immer gegenseitig.

Aber auch im Familien- und Freundeskreis wurde ich andauernd gestützt, wenn etwas mal nicht so funktionierte. Hier möchte ich auch deshalb ein großes Danke aussprechen, da ich aufgrund der Doppelbelastung Vollzeitarbeit und -studium oftmals nicht viel Zeit während der Semester für Familie und Freunde hatte. Ich konnte mich glücklich schätzen, dass sie diesem Umstand viel Verständnis entgegen brachten.

Der größte Dank gilt jedoch meiner Ehefrau Verena! Sie hat mich jede einzelne Sekunde während dieser langen elf Semester nicht nur unterstützt, sondern auch immer wieder aufgebaut und ermutigt weiterzumachen. Es gab sehr viele Momente, in denen ich ohne ihre Hilfe und Unterstützung nicht da wäre, wo ich jetzt bin, nämlich am Ziel – dem Studienabschluss. In dieser Zeit brachte sie auch ein unglaubliches Verständnis dafür auf, dass ich extrem viel Zeit in die Arbeit und das Studium steckte, wodurch unsere gemeinsame Freizeit enorm eingeschränkt wurde. Aus all diesen und noch viel mehr Gründen möchte ich dir DANKE sagen und ich liebe dich! WIR haben es GESCHAFFT!

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	8
2	Infrastrukturanbieter – Stadt Wien.....	12
2.1	Ziele und Rahmenbedingungen.....	12
2.2	Magistratsabteilungen der Stadt Wien	15
2.3	Zusammenspiel von Wiener Linien und dem Magistrat der Stadt Wien	16
3	ÖPNV-Dienstleister – Wiener Linien	18
3.1	Interne Vorgaben der WL.....	18
3.2	Rechnergestütztes Betriebsleitsystem (RBL).....	19
3.2.1	Funktionsweise von RBL	19
3.2.2	Beeinflussung der VLSA	20
3.3	Aktivierung von ÖPNV-Beeinflussung an Verkehrslichtsignalanlagen	21
3.3.1	Oberleitungskontakte.....	21
3.3.2	Drehschalter	22
3.3.3	Induktionsschleifen	23
3.3.4	Rechnergestütztes Betriebsleitsystem (RBL).....	24
3.3.5	Optische Sensoren.....	26
3.4	Informationsübermittlung an das Fahrpersonal	27
3.4.1	Vorsignal.....	27
3.4.2	Abfertigungssignal (A-Signal).....	28
3.4.3	Quittierpfeil	29
3.5	Beschleunigungsmaßnahmen an Verkehrslichtsignalanlagen	30
3.5.1	Schalten einer eigenen Freiphase	31
3.5.2	Schalten eines 2. Freigabefensters.....	33
3.5.3	Voreilung	35
3.5.4	„Freiräumen“ der Station	40
3.5.5	Verlängerung der Grünzeit.....	41
3.5.6	Abbruch der Querrichtung	43
3.5.7	Schalten der Querrichtung	45
3.6	Bauliche Beschleunigungsmaßnahmen Straßenbahn	47
3.6.1	Eigener Bahnkörper.....	47
3.6.2	Selbstständiger Gleiskörper.....	48
3.6.3	Straßenbündiger Gleiskörper	49
3.6.4	Vorrangregelungen und unvollständige VLSA	50
3.6.5	Punktuelle verkehrsorganisatorische Maßnahmen	51
3.6.6	Gestaltung von Querungen	51

3.7	Bauliche Beschleunigungsmaßnahmen Bus	52
3.7.1	Eigene Straßen und Fahrstreifen für Omnibusse (Busfahrstreifen)	52
3.7.2	Befahren des Gleiskörpers durch Busse	52
3.8	Maßnahmen bei Störungen.....	53
4	Cooperative Intelligent Transport System (C-ITS)	54
4.1	Einsatzgebiet von C-ITS / Warum C-ITS?	55
4.2	Anwendungen von C-ITS	58
4.2.1	Brünn	58
4.2.2	Düsseldorf.....	59
4.2.3	Kassel.....	59
4.2.4	Stakeholder Wien	60
5	Forschungsarbeit	61
5.1	Kriterium 1: Optimierung der ÖPNV-Priorisierung.....	61
5.2	Kriterium 2: Optimierung des Stationsaufenthalts	62
5.3	Kriterium 3: Ökonomisches Fahrverhalten	62
5.4	Typen der Anwendungsart	64
5.4.1	Typ 1: Alle Kriterien	64
5.4.2	Typ 2: Kombination zweier Kriterien.....	72
5.4.3	Typ 3: Anwendung einzelner Kriterien	87
5.4.4	Typ 4: Keine Anwendung von C-ITS.....	102
6	Schlussbetrachtung – Conclusio	106
7	Quellenverzeichnis	108
8	Abbildungsverzeichnis.....	111

1 Einleitung

Raumplanung und Raumordnung vereinen eine Vielzahl von Disziplinen. Eine äußerst polarisierende unter diesen ist die Verkehrsplanung. Nicht nur, weil man als Verkehrsteilnehmer*in unmittelbar von den Konsequenzen (vor allem zu den Verkehrsspitzen) betroffen ist, sondern auch in Hinblick auf die Folgen für das Klima. Da ich selbst seit fünf Jahren als Verkehrsplaner bei der Stadt Wien tätig bin, ist es mir ein großes Anliegen den Verkehr, speziell den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) in Wien dahingehend zu optimieren.

Damit der ÖPNV verbessert werden kann, wird unter anderem die Technologie Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS) verwendet. C-ITS bietet eine Vielzahl an Anwendungsmöglichkeiten, um verschiedenste Bereiche des Verkehrs positiv beeinflussen zu können. Ein besonders interessanter Anwendungsfall ist der ÖPNV. Daher befasst sich diese Arbeit mit der **Identifikation von Einsatzmöglichkeiten für die Anwendung von Cooperative Intelligent Transport Systems für die Optimierung des öffentlichen Personennahverkehrs in Wien.**

Der ÖPNV spielt vor allem in Großstädten eine wichtige Rolle. Der Ausbau des ÖPNVs ist eines der vielen Instrumente im Kampf gegen den Klimawandel und wird stets fortgesetzt. Dabei ist nicht nur das Vorhandensein eines öffentlichen Verkehrsmittels allein ausschlaggebend für dessen Benutzung. Es fließen viele Faktoren ein, warum Menschen den ÖPNV – Bahn, U-Bahn, Straßenbahn und Bus – annehmen und nutzen oder eben nicht. Wenn Fahrzeuge des ÖPNVs beispielsweise nicht klimatisiert – im Winter beheizt und im Sommer gekühlt – werden, sind diese oftmals nicht die erste Wahl für den täglichen Weg zur Arbeit oder Schule. Aber auch überfüllte Garnituren sind kein Anreiz den ÖPNV zu nutzen.

Ein weiterer Grund, weshalb das Fahren mit dem ÖPNV oft nicht gut angenommen wird, ist die Nicht-Einhaltung des Fahrplans. Bei den österreichischen Bundesbahnen (ÖBB), wo Fahrgäste oft mehrere Stunden pro Tag im Zug verbringen, spielt die Einhaltung des Fahrplans grundsätzlich eine wesentlich größere Rolle als bei den Wiener Linien (WL). Denn verpasst man im ÖBB-System einen Zug um ein paar Minuten, kann es durchaus sein, dass man vor allem im nicht-urbanen Bereich lange warten muss, bis der nächste Zug fährt.

In einer Großstadt wie Wien ist es hingegen meist kein Problem, wenn ein Bus oder eine Straßenbahn verpasst wird, da die Wartezeit auf den nächsten Bus oder die nächste Straßenbahn in der Regel wesentlich geringer ist und sich der Zeitverlust daher in Grenzen hält. Aber auch trotz des relativ geringeren Zeitverlustes, ist es immer ärgerlich, wenn der ÖPNV nicht pünktlich ist.

Dabei soll das Hauptaugenmerk dieser Arbeit auf den Straßenbahn- und Buslinien liegen, zumal die U-Bahn nicht von anderen ÖV-Linien oder dem motorisierten Individualverkehr (MIV) unmittelbar beeinflusst wird und hier für C-ITS wenig bis gar kein Optimierungspotenzial vorhanden ist.

Diese Arbeit beschäftigt sich nicht nur mit der reinen Beschleunigung des ÖPNVs durch C-ITS, sondern mit der Optimierung von Bus und Straßenbahn in einem breiteren Sinne. Nachdem diese Optimierung des ÖPNVs sehr weit ausgelegt werden kann, wird im Folgenden der Umfang der Betrachtung in dieser Arbeit genauer erläutert.

In erster Linie geht es um die Optimierung der VLSA-Beeinflussung – zur Erhöhung der Fahrplantreue, der Optimierung des Stationsaufenthalts sowie in Hinblick auf die verbesserte Information für das Fahrpersonal während der Fahrt damit dieses ein ökonomisches Fahrverhalten an den Tag legen kann.

All jene Dinge, die mit der Ausstattung der ÖV-Garnitur (z.B.: Barrierefreiheit, Vorhandensein einer Klimaanlage, etc.) zu tun haben, werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Ebenso werden bauliche Verbesserungen an den Haltestellen (z.B.: breitere Gehsteige, Fahrgastunterstände, etc.) oder der Ausbau von ÖV-Linien nicht behandelt. Dasselbe gilt auch für die Beschaffenheit der Gleise, denn diese können aufgrund des Alters und der Abnutzung ein unruhiges Fahren bzw. Langsamfahrbereiche hervorrufen.

Die Anwendung von C-ITS durch andere Verkehrsteilnehmer*innen (PKWs, Radfahrer*innen, etc.) wird ebenfalls nicht betrachtet. Es geht hier ausschließlich um den Einsatz für den ÖPNV und dessen Optimierung.

Die Fahrplantreue spielt eine wesentliche Rolle in der Verbesserung des ÖPNVs. Das verspätete Ankommen stellt ein großes Problem dar: Es kann vorkommen, dass die Fahrgäste Anschlüsse verpassen, weil sie knapp kalkuliert bzw. sich am Fahrplan orientiert haben, der dann, aus welcher Ursache auch immer, nicht eingehalten wurde. So kann allein ein hoher Fahrgastwechsel in den Hauptverkehrszeiten zu einer verspäteten Abfahrt führen; oder ein Parkvorgang eines PKWs im Streckenverlauf führt zu Behinderungen. Die Methode, die in dieser Arbeit für die Optimierung der Fahrplantreue gewählt wird, ist die Verbesserung der VLSA-Beeinflussungen. Eine Änderung an einer VLSA-Schaltung ist nämlich im Grunde eine der einfacheren Möglichkeiten, da in diesem Fall keine großen Umbauten notwendig sind und somit auch keine hohen Investitionskosten entstehen. Daher erscheint diese Variante zur Verbesserung des ÖPNVs wesentlich einfacher durchzuführen als beispielsweise der Bau eines eigenen Bahnkörpers für die Straßenbahn.

Natürlich kann eine verfrühte Abfahrt ebenfalls zu einem Problem für Fahrgäste werden, denn es ist im Grunde wie ein „Ausfall“ der ÖV-Garnitur zu sehen. Jedoch wird auf diese Fragestellung nicht

weiter eingegangen, weil eine Optimierung in diesem Bereich bereits mit dem jetzigen Beeinflussungssystem der Wiener Linien möglich wäre und der Einsatz von C-ITS somit keine Verbesserung mit sich bringt.

Neben der Optimierung der VLSA-Beeinflussung spielt auch der Stationsaufenthalt eine große Rolle in dieser Arbeit. Stationen, die sich vor einer Verkehrslichtsignalanlage befinden, haben in der Regel ein größeres Verbesserungspotenzial als jene nach einer VLSA, denn der ÖPNV fährt in die Station ein, absolviert den Fahrgastwechsel und fährt im Idealfall, ohne weiteren Aufenthalt bei der VLSA, weiter. Jedoch weiß das Fahrpersonal nie, wie lange die Freiphase an der VLSA für den Bus oder die Straßenbahn noch andauert. Daher wäre die Information über die Länge der Freiphase eine entscheidende für ein verbessertes Angebot des ÖPNVs. Denn das Fahrpersonal kann somit entscheiden, ob es sich beim Fahrgastwechsel Zeit lässt oder ihn schnell absolviert, um noch rechtzeitig in der Freiphase loszufahren. Durch die Optimierung des Stationsaufenthalts entsteht für das Fahrpersonal eine entspanntere Atmosphäre, da sie durch die zusätzliche Information weniger unter Druck sind, den Fahrgastwechsel so schnell wie möglich abzuwickeln.

Aber auch für jene Fahrgäste, die in die ÖV-Garnitur zusteigen möchten, ergibt sich daraus ein Vorteil, denn diese können den Bus oder die Straßenbahn durch den längeren Aufenthalt leichter erreichen. Das spielt vor allem für Menschen, die in ihrer Bewegung eingeschränkt sind, eine größere Rolle, da sie z. B. nicht zur ÖV-Garnitur laufen können.

Weiters besteht ein Verbesserungspotenzial in Bezug auf das Fahrverhalten. Ebenso wie beim Stationsaufenthalt weiß das Fahrpersonal während der Fahrt nicht, wie lange die Freiphase bei der kommenden VLSA noch läuft bzw. wann sie wieder beginnt. Nähert sich ein Bus oder eine Straßenbahn mit der maximal zugelassenen Geschwindigkeit einer VLSA und die Station ist nach dieser bzw. es gibt auf diesem Streckenabschnitt gar keine Station, so kann es sein, dass die ÖV-Garnitur nicht zur Freiphase ankommt und somit einen ungeplanten Aufenthalt hat. Würde das Fahrpersonal jedoch angezeigt bekommen, welche Geschwindigkeit gefahren werden muss, um rechtzeitig zur Freiphase anzukommen, würde dies einen Aufenthalt ersparen. Auch für die Fahrgäste wäre dies wesentlich angenehmer als ein Stop-and-go. Zudem werden die Verschleißteile des Fahrzeugs weniger beansprucht, was sich in einer Reduktion der Wartungskosten widerspiegelt.

Diese Arbeit soll helfen, den Fahrgästen einen verbesserten ÖPNV bieten zu können. Das würde eine Verbesserung für einen großen Teil der Bevölkerung bedeuten, nutzen die Wiener*innen doch für 38% ihrer täglichen Wege den ÖPNV. (vgl. Wiener Linien, Die Wiener „Öffis“ in Zahlen). Im Vergleich zu Gesamtösterreich ist das um 20% höher (vgl. BMK 09/2016, S. 101). Allein anhand dieser Zahl ist bereits zu erkennen, welche große Bedeutung der ÖPNV in der Großstadt Wien hat.

Natürlich soll diese Arbeit aber auch den Verkehrsbetrieben dienen. Die meisten großen Städte Europas sind stets auf der Suche nach möglichen Verbesserungen ihres ÖV-Systems. In Wien sind es die Wiener Linien, die sich durch die Anwendung von C-ITS ein verbessertes Angebot für ihre Fahrgäste erhoffen.

Neben den Verkehrsbetrieben sind auch die Infrastrukturanbieter ein wichtiger Akteur in diesem Gefüge. Die Umsetzung von C-ITS kann nur gemeinsam funktionieren! Daher soll die Arbeit aufzeigen, welche Schritte von allen Beteiligten gesetzt werden müssen, um durch Anwendung von C-ITS die Fahrplantreue des ÖPNVs verbessern zu können.

Letztlich sollen alle Verkehrsteilnehmer*innen von der Optimierung von Bussen und Straßenbahnen profitieren. Eine Straßenbahn beispielsweise bekommt, egal ob sie verspätet oder verfrüht eine Station anfährt, immer eine Möglichkeit zur Beeinflussung einer Verkehrslichtsignalanlage (VLSA). Eine Beeinflussung der VLSA zu Gunsten des ÖPNVs führt in der Regel aber dazu, dass andere Verkehrsteilnehmer*innen einen Nachteil daraus erhalten. So kann dadurch zum Beispiel die Grünzeit von zu Fuß Gehenden gekürzt werden. Durch C-ITS können die VLSA-Beeinflussungen hingegen so verbessert werden, dass auch andere Verkehrsteilnehmer*innen einen Nutzen daraus ziehen.

In dieser Arbeit wird zuerst auf die wichtigsten Stakeholder eingegangen, um deren Sichtweisen und Ziele aufzuzeigen. Danach werden die derzeitigen Beeinflussungsmaßnahmen des ÖPNVs an VLSAn in Wien beschrieben und aufgezeigt, welche baulichen Beschleunigungsmaßnahmen es zurzeit gibt. Anschließend wird das C-ITS-System genauer beleuchtet, um einen Einblick zu bekommen, welche Möglichkeiten diese Technologie bietet. Infolgedessen werden in der Forschungsarbeit Kreuzungen mit VLSAn identifiziert, an denen C-ITS eingesetzt werden kann. Dabei wird die VLSA-Schaltung beschrieben und Potenziale zur Verbesserung für den ÖPNV aufgezeigt.

2 Infrastrukturanbieter – Stadt Wien

Hauptakteure, wenn es um die Implementierung von C-ITS zur Optimierung des ÖPNV geht, sind einerseits die Wiener Linien als ÖV-Betreiber und andererseits die Magistratsabteilungen (MA) der Stadt Wien als Infrastrukturanbieter. Beide sind voneinander abhängig, denn wenn Infrastrukturdienststellen der Stadt Wien die C-ITS-Technologie verwenden, die Wiener Linien aber weiterhin ihr bewährtes System mit dem rechnergestützten Betriebsleitsystem (RBL) fortsetzen, kann keine Verbesserung umgesetzt werden. Dasselbe gilt natürlich auch umgekehrt.

Man kann daher nur im Zusammenspiel dieser Akteure ein so großes und komplexes System in das sensible Stadtgefüge integrieren. Im Nachfolgenden werden einige Aspekte beleuchtet, warum es aus Sicht der Stadt Wien notwendig ist, die Optimierung des ÖPNVs voranzutreiben.

2.1 Ziele und Rahmenbedingungen

Mit dem Masterplan Verkehr aus dem Jahre 2002 hat die Stadt Wien den ersten Schritt in eine nachhaltige Richtung gesetzt. Hauptziele des Masterplan Verkehr sind unter anderem:

- *Verminderung verkehrsbezogener Umweltbeeinträchtigungen und des Raumverbrauchs durch Verkehrsvermeidung, Verkehrsverlagerung und Verkehrsverbesserung*
- *Ausbau der Intermodalität im Güter- und Personenverkehr*
- *Verbesserung des öffentlichen Nah- und Regionalverkehrs*
- *Einsatz von innovativen Verkehrsmanagementinstrumenten und intelligenten Mobilitätsformen (Masterplan Verkehr, S. 14)*

Diese Vorhaben zielen vor allem auf den Standortwettbewerb Wiens und auf die vertraglichen Verpflichtungen zum Klimaschutz ab. Ohne die Einhaltung dieser Ziele käme es zu einem eklatanten Nachteil für Wien (und für gesamt Österreich). (vgl. Masterplan Verkehr, S. 14)

Schon 2002 wurden also innovative und intelligente Mobilitätsformen erwähnt und angestrebt. Diese wurden in den letzten 18 Jahren auch zum Teil umgesetzt. So werden beispielsweise Straßenbahn und Bus mittels RBL beschleunigt, es wird der Ausbau von E-Tankstellen forciert und in der Seestadt Aspern fährt bereits ein autonomer Elektrobus. Doch die Technik entwickelt sich rasant weiter und was damals eine Innovation war, kann heute schon überholt sein.

Im Jahr 2014 wurden wieder entscheidende Weichen für die Zukunft in der Stadt Wien gestellt. So wurden der Stadtentwicklungsplan 2025 (STEP 2025) sowie die Rahmenstrategie Smart City Wien vom Wiener Gemeinderat beschlossen. Beide Dokumente sind bis heute gültig und haben eine maßgebende Wirkung auf politische Entscheidungen. Der STEP 2025 ist ein strategisches Papier, welches die Richtung der Stadtentwicklung für das nächste Jahrzehnt vorgibt. Es sind Ziele formuliert,

um das wachsende Wien nachhaltig auf die Zukunft vorzubereiten. Die Smart City Wien Strategie hat sogar einen noch weiteren Horizont und soll die Richtung bis in das Jahr 2050 vorgeben; denn grundlegende Veränderungen in den Bereichen Energie, Mobilität und in der Gebäudeinfrastruktur können nicht kurzfristig umgesetzt werden (vgl. Smart City Wien, S. 9).

Eines der Ziele ist, dass bis 2025 80% der Wege in Wien zu Fuß, mit dem Rad oder den öffentlichen Verkehrsmitteln zurückgelegt werden sollen. Im Vergleich zu den Jahren 1993, wo es gerade einmal 60% und 2012 wo es schon 73% waren, stellt diese Forderung auch ein durchaus erreichbares Ziel dar. (vgl. STEP 2025 S. 106)

Hintergrund dieser Zielsetzung ist die Reduktion des motorisierten Individualverkehrs (MIV) um eine massive Einsparung an CO₂ zu erwirken. Es gibt verschiedene Maßnahmen in unterschiedlichsten Bereichen, wovon viele auf die Stärkung des ÖPNVs abzielen.

Eine Leitinitiative lautet: Optimierung und Ausbau des öffentlichen Verkehrs. Hierbei geht es um die Stärkung des gesamten ÖPNVs und um eine Attraktivierung des Angebots. Dies schließt sowohl die konsequente Beschleunigung der Straßenbahn- und Buslinien als auch die Modernisierungen der Infrastruktur ein. (vgl. STEP 2025, S. 107)

Die Modernisierung der Infrastruktur bedeutet beispielsweise, dass Verkehrslichtsignalanlagen mit dem rechnergestützten Betriebsleitsystems (RBL) der Wiener Linien verknüpft werden. Mittels dem RBL können die Straßenbahn- und Buslinien eine Beeinflussung bei der Verkehrslichtsignalanlage auslösen, wodurch eine Beschleunigung für den ÖPNV entsteht.

Neben dem STEP 2025 sind dazugehörige Fachkonzepte beschlossen und veröffentlicht worden. Eines davon ist das Fachkonzept Mobilität, in dem spezifische Ausführungen der groben Ziele des STEPs formuliert werden. So sind pünktliche Busse und Straßenbahnen ein wichtiger Bestandteil für die Attraktivierung des Umweltverbands (vgl. STEP 2025 Fachkonzept Mobilität, S. 70).

Die Beschleunigung des ÖPNVs soll sich in Form von Reisezeitverkürzungen für Fahrgäste niederschlagen. Neben diesen Maßnahmen ist aber auch der verlässliche, regelmäßige und fahrplantreue Betrieb der Bus- und Straßenbahnlinien ein wichtiger Faktor für die Attraktivität des ÖPNVs. Die dynamische Priorisierung des ÖPNVs steht dabei im Fokus. So soll die Verhinderung von Verfrühungen und Verspätungen durch eine Kopplung des RBLs und der entsprechenden Programmierung der Verkehrslichtsignalanlagen vorangetrieben werden. (vgl. ebd., S. 72f)

Bereits vor fünf Jahren wurde konkret definiert, dass eine dynamische Priorisierung etabliert werden soll. Auf Anfrage bei Wien leuchtet und den Wiener Linien ist diese Art der Priorisierung bis dato aber nur bei einer Handvoll von Verkehrslichtsignalanlagen umgesetzt worden. Als Grund dafür seien die

schwere Nachvollziehbarkeit der dafür notwendigen Programmierungen und die Ungenauigkeit des RBLs, genannt. Damit wäre genau hier ein Ansatzpunkt für die Anwendung von C-ITS gegeben.

Bei der Smart City Wien Strategie geht es um das Zusammenspiel dreier große Themenbereiche: Ressourcen, Lebenswelt und Innovation. Beim Themenfeld Ressourcen sind zwei der vier Kernbereiche Mobilität und Infrastruktur. Sie umfassen somit die zukünftigen Fortbewegungsmöglichkeiten und den Einsatz neuer Informations- und Kommunikationstechnologien. Weitere Impulsgeber spiegeln sich im Thema Umwelt für den Bereich Lebensqualität bzw. Technologie und im Bereich Innovation wider. (vgl. Smart City Wien, S. 27)

Diese Arbeit soll alle drei Dimensionen berühren: Einerseits wird durch pünktlichere Abfahrt der öffentlichen Verkehrsmittel (ÖV) die Lebensqualität der Fahrgäste in Wien erhöht. Andererseits ist die Einführung von C-ITS ein Wegbereiter für das autonome Fahren (und somit für die Grundbedingung für zukünftige Fortbewegungsmöglichkeiten).

In den Zielen der Smart City Wien Strategien spielt auch der Klimawandel eine große Rolle: So sollen die Treibhausgasemissionen bis 2050 pro Kopf um 80% reduziert werden. Weiters soll der Anteil des MIVs auf unter 15% gesenkt und ein größtmöglicher Teil auf den ÖV umverteilt werden. (vgl. ebd. S. 32f)

Diese ambitionierten Ziele können nicht mit einer einzigen großen Maßnahme erreicht werden. Man benötigt hierzu vielmehr eine Vielzahl neuer und innovativer Ideen und Projekte (die verschiedenen Bereiche abdecken). Die Anwendung von C-ITS kann dazu beitragen, den ÖPNV zu beschleunigen und die Qualität bzw. Fahrplantreue zu verbessern, wodurch ein Anreiz geschaffen wird, vom MIV auf den ÖPNV umzusteigen.

Auf der Homepage der Stadt Wien sind Grundsätze der Straßenbahnplanung genannt. Nach dem Motto „Halt nur an Haltestellen“ sollen Leistungsfähigkeit und Attraktivität von Straßenbahn und Bus erhöht werden:

- *Die Trennung von motorisiertem Individualverkehr und Straßenbahn- beziehungsweise Busverkehr durch Schaffung eigener Gleiskörper und Busspuren hilft den öffentlichen Verkehr vom sonstigen Straßenverkehr unabhängig zu machen. Damit sollen Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit des öffentlichen Verkehrs erhöht werden.*
- *Das rechnergestützte Betriebsleitsystem erhöht Pünktlichkeit und Regelmäßigkeit der Linien.*
- *Die Ampelschaltung wird systematisch zugunsten von Straßenbahnen und Bussen auf Linienlänge (dynamische Programmierung) beeinflusst.*
- *Reisegeschwindigkeiten von mehr als 20 Stundenkilometern in Stadtrandgebieten und mehr als 15 Stundenkilometern im dicht bebauten Gebiet gelten als Zielvorgabe.*

- *Der Fahrgastkomfort an den Haltestellen soll erhöht werden: Sitzgelegenheiten, Witterungsschutz, barrierefreier Einstiegsbereich, Information (Fahrpläne, Netzpläne, Leucht-Anzeigen) (Stadt Wien, Grundsätze der Straßenbahnplanung)*

Weitere Ziele wurden im Finanzierungsvertrag zwischen der Stadt Wien und den Wiener Linien im Jahr 2015 abgeschlossen. In diesem Vertrag wurden Ausgleichszahlungen für Verkehrsdienstleistungen sowie die Kapitalzufuhr für Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur durch die Stadt Wien vereinbart. Konkret wurde Folgendes im Finanzierungsvertrag festgelegt:

- *die weitere Steigerung der Fahrgastzahlen*
- *die weitere Steigerung des Marktanteils der WL*
- *die weitere Optimierung des Verkehrsangebots*
- *die optimale Integration von U-Bahn, Autobus und Straßenbahn hinsichtlich Fahrpläne, Umsteigemöglichkeiten, etc.*
- *die Ausweitung des Bus- und Schienennetzes*
- *die Sicherung bestehender Qualitäts- und Sicherheitsstandards (Stadt Wien, Wie finanziert sich der Öffentliche Verkehr in Wien?)*

Alle genannten Ziele aus den diversen Rahmenvereinbarungen und Verträgen haben im Grunde dieselben Kernaussagen: Der ÖPNV soll gestärkt und somit der Umstieg von MIV auf ÖV forciert werden. Dadurch soll die Stadt Wien noch mehr CO₂ einsparen und einen weiteren Schritt gegen den Klimawandel setzen.

2.2 Magistratsabteilungen der Stadt Wien

Infrastrukturanbieter haben eine große Verantwortung gegenüber der Bevölkerung. Sie haben stets Sorge dafür zu tragen, dass die Infrastruktur auf dem neuesten Stand und in einem einwandfreien Zustand ist. Diese Aufgabe spiegelt sich auch in der Vielzahl der Magistratsabteilungen und öffentlichen Unternehmen, die die unterschiedlichsten Aufgaben im Erhalt und Ausbau der Wiener Infrastruktur erfüllen, wider. Die Stadt Wien hat jedenfalls eine weite Bandbreite der Aufgabenerfüllung, diese reicht neben der Strom-, Gas und Wasserversorgung sowie der Bereitstellung von öffentlichen Verkehrsmitteln unter anderem auch von der Müllabfuhr über die Pflege der Parkanlagen bis hin zur Verwaltung von Wohnanlagen.

Es sind aber nur zwei Magistratsabteilungen vom Einsatz von C-ITS betroffen. Die MA Wien leuchtet ist für die Beleuchtung der Wiener Straßen und öffentlichen Plätze, für Verkehrslichtsignalanlagen, öffentliche Uhren sowie WLAN verantwortlich. Und die MA Straßenverwaltung und Straßenbau, ist für die Planung, den Bau, die Erhaltung und die allgemeine Verwaltung der Straßen Wiens zuständig (vgl. Stadt Wien, Straßenverwaltung und Straßenbau (MA28)).

Die MA Wien leuchtet ist verantwortlich für den reibungslosen Betrieb der 1300 Verkehrslichtsignalanlagen im Wiener Gemeindegebiet. Wie in den o.a. Zielen der Stadt Wien beschrieben, soll durch die Beeinflussung mittels RBL eine Beschleunigung bei der VLSA für den ÖV entstehen. Eine Vielzahl dieser VLSAn ist mit einer Beeinflussungsmöglichkeit für den ÖPNV ausgestattet. Diese Beeinflussungen können unterschiedlich „stark“ ausgeprägt sein, worauf im Kapitel 3.5 näher eingegangen wird.

Neben den 1.300 Verkehrslichtsignalanlagen hat Wien Leuchtet ca. 154.000 Beleuchtungskörper zu betreuen, die über ganz Wien verteilt sind (vgl. Stadt Wien, Wiens Beleuchtung in Zahlen). Damit hat sie ein komplettes (Strom-)Netz über Wien gelegt, welches, wie noch zu sehen sein wird, ausschlaggebend für den Einsatz von C-ITS ist.

Die zweite wichtige MA in diesem Zusammenhang ist Straßenverwaltung und Straßenbau. Sie hatte im Jahr 2017 insgesamt 389 Straßenbaustellen und 8.196 Aufgrabungen diverser Einbautenträger zu koordinieren (vgl. Stadt Wien, Zahlen und Fakten zum Wiener Straßennetz). Diese Bauarbeiten finden naturgemäß auch auf Strecken statt, auf denen der ÖPNV verkehrt. Aufgrund der Tatsache, dass die Arbeiten nicht immer in der betriebslosen Zeit des ÖPNVs durchgeführt werden können, kommt es unweigerlich zu Behinderungen für den ÖPNV. Diese Behinderungen werden in der Regel kaum abgefedert bzw. gibt es zurzeit kein wirksames System, mit dem man diese vermindern könnte.

Die beiden Abteilungen Wien leuchtet sowie Straßenverwaltung und Straßenbau sind aufgrund ihres Einsatzgebietes für die Anwendung von C-ITS prädestiniert und die MA Wien leuchtet kann den Einsatz von stationären Einheiten von C-ITS durchführen. Die MA Straßenverwaltung und Straßenbau kann bei den vielen, von ihr zu koordinierenden Baustellen, mobile Einheiten von C-ITS einsetzen. Da in dieser Arbeit jedoch der Einsatz bei VLSAn behandelt wird, werden Baustellen in diesem Fall nicht berücksichtigt. Wie genau die Anwendung dieser Einheiten aussehen kann, wird im Kapitel 4.1 beschrieben.

2.3 Zusammenspiel von Wiener Linien und dem Magistrat der Stadt Wien

Die Wiener Linien und das Magistrat der Stadt Wien müssen jedenfalls zusammenarbeiten, um eine Beschleunigung des ÖVs umsetzen zu können. Ein Prozess(-ablauf) könnte so aussehen:

- Die Wiener Linien stellen bei einer bestimmten VLSA eine regelmäßige Verspätung fest.
- Es wird ein Antrag an die MA Wien leuchtet gestellt, die Schaltung der VLSA dahingehend zu ändern, dass diese Verspätungen nicht mehr auftreten.
- Die MA Wien leuchtet prüft den Antrag auf grundsätzliche Umsetzbarkeit (denn es gibt bereits viele VLSA, wo die Leistungsgrenzen absolut erschöpft sind und eine positive Beeinflussung durch bzw. für den ÖV nicht mehr durchgeführt werden kann).

- Ist eine Beeinflussung der VLSA durch den ÖV möglich, wird eine Ortsverhandlung seitens der MA Wien leuchtet ausgeschrieben, zu der betroffene Dienststellen und Organisationen eingeladen werden, zum Beispiel: Bezirksvorstehung für den betroffenen Bezirk, Polizei, WL, MA Verkehrsorganisation und technische Verkehrsangelegenheiten, Wirtschaftskammer. Bei der Ortsverhandlung wird der Sachverhalt erörtert und die Auswirkungen der Beeinflussung dargestellt. Überzeugen die Vorteile einer Programmänderung zugunsten der WL, dann wird sie dementsprechend durchgeführt. Sollte es relevante Einwände geben, so müssen diese diskutiert werden. Wird kein Ergebnis erzielt, dem alle zustimmen können, dann wird das Verhandlungsergebnis an die politische Ebene bzw. an die Magistratsdirektion weitergeleitet, welche dann die Entscheidung trifft.

In der Regel wird dieser Ablauf für eine Programmänderung einer VLSA also auf Wunsch der WL durchgeführt. Natürlich gibt es aber auch andere Wege eine Programmänderung zu erwirken, beispielsweise bei größeren Projekten wie dem U-Bahnbau. Dabei werden oftmals VLSA unter anderem an die neuen Verkehrssituationen angepasst. Aber auch hier müssen grundsätzlich alle betroffenen Stellen für die Beeinflussung zu Gunsten der WL stimmen.

An diesem Prozedere lässt sich gut erkennen, dass eine Beschleunigung des ÖVs nur gemeinsam funktionieren kann. Ein gutes Zusammenspiel zwischen den betroffenen Dienststellen des Magistrats und den WL ist ausschlaggebend für einen zuverlässigen, qualitätsvollen ÖPNV in Wien.

3 ÖPNV-Dienstleister – Wiener Linien

Die Wiener Linien sind neben der Stadt Wien der zweite wichtige Akteur, wenn es um die Implementierung von C-ITS geht. Die Ausstattung neuer Technologien muss von beiden Seiten gemeinsam verfolgt und durchgeführt werden. Im Unternehmensprofil der WL werden klare Ziele definiert, die sich vor allem an die Zufriedenheit der Fahrgäste orientieren:

- Sicherheit und Zuverlässigkeit des ÖPNVs steht im Vordergrund
- Der Umweltschutz spielt eine wesentliche Rolle, da der ÖV zehn Mal weniger Energie verbraucht als ein PKW
- Durch ein dichtes ÖV-Netz und kurzen Wartezeiten ist der ÖPNV in Wien besonders attraktiv, zudem wird das Angebot stetig erweitert
- Es sollen neue Mobilitätsformen miteinander verknüpft und das Unternehmen noch innovativer gemacht werden (vgl. Wiener Linien, Unternehmensprofil)

Diese Vorgaben überschneiden sich durchwegs mit jenen der Stadt Wien. Beide wollen ein verbessertes ÖPNV-Angebot erarbeiten sowie den Einsatz innovativer Technologien forcieren. Die Vorgaben dieser Institutionen gehen gleichsam mit einer Erhöhung des Umweltschutzes einher. Wenn der ÖPNV attraktiver gestaltet wird, ist das ein größerer Anreiz vom PKW auf den ÖPNV umzusteigen und somit wird die Verkehrssituation in Wien aufgrund sinkender CO₂-Werte nachhaltiger.

Im Folgenden werden die unterschiedlichen Themenbereiche, welche für die Wiener Linien aus Sicht dieser Arbeit ausschlaggebend sind, betrachtet.

3.1 Interne Vorgaben der WL

Die WL haben für ihr Fahrpersonal ein umfangreiches Ausbildungsprogramm, in dem alle Rechte und Pflichten zur Dienstauführung niedergeschrieben sind. Im Folgenden werden nun jene Anweisungen herausgearbeitet, die für diese Arbeit relevant sind:

- *Die Fahrbediensteten sind angehalten, die planmäßigen Fahrzeiten nach Möglichkeit einzuhalten.*
- *Pünktlichkeit ist Grundsatz bei jedem Bahnbetrieb und öffentlichen Verkehrsmittel*
- *Um eine gleichmäßige Verteilung der Fahrgastfrequenz zu ermöglichen sind die Fahrpläne, die Abfahrts-, Gesamt- und Teilfahrzeiten genau einzuhalten. Vorgeschriebene Teilfahrzeiten, speziell in den Nachtstunden, sind zu beachten. (Wiener Linien 12.2018, S. 15f)*

Jedoch gibt es einen Grundsatz, der über allen anderen steht: Sicherheit geht immer vor Fahrplaneinhaltung!

Verspätungen dürfen nicht durch Überschreiten der zugelassenen Höchstgeschwindigkeit oder durch Gefährdung der Betriebssicherheit reduziert werden. Fahrtkürzungen oder Änderungen der Fahrstrecke dürfen nicht eigenmächtig, sondern nur auf besondere Anordnung durchgeführt werden. (vgl. Wiener Linien 12.2018, S. 15f)

Ist die Sicht durch die Witterung (z.B.: Nebel) stark beeinträchtigt, ist die Geschwindigkeit ohne Rücksicht auf die Einhaltung des Fahrplans so zu reduzieren, dass sie den Sichtverhältnissen entsprechen. Dementsprechend muss z. B.: auf halbe Sicht gefahren werden. (vgl. Wiener Linien 12.2018, S. 35)

Wenn das Fahrpersonal auf oder knapp neben dem Gleis eine Schüler- oder Kindergruppe wahrnimmt, ist die Geschwindigkeit umgehend zu reduzieren und es müssen Warnsignale abgegeben werden. Wenn nötig, muss der Zug auch angehalten werden. (vgl. Wiener Linien 12.2018, S. 77)

An Umsteigestellen ist auf Anschlussverbindungen besonders Rücksicht zu nehmen. Dies gilt vor allem in den Abend- und Nachtstunden, wenn die Zugsintervalle wesentlich länger sind als unter Tags. (vgl. Wiener Linien 12.2018, S. 61)

Den Ausbildungsunterlagen ist also klar zu entnehmen, dass die Sicherheit der Fahrgäste oberste Devise ist. Gleich danach soll aber die Einhaltung des Fahrplans sichergestellt werden. Diese beiden Vorgaben sollen die Qualität für die Fahrgäste gewährleisten. Dass die Einhaltung des Fahrplans hohe Priorität hat, ist insofern klar, als das Fahrpersonal sonst Überstunden leisten muss, was wiederum zu Mehrkosten für die Wiener Linien führt. Somit ist die pünktliche Ankunft in den Stationen auch ein wichtiger wirtschaftlicher Faktor für die WL.

3.2 Rechnergestütztes Betriebsleitsystem (RBL)

Das rechnergestützte oder auch rechnergesteuerte Betriebsleitsystem (RBL) hat verschiedene Funktionen. Hauptaufgabe ist die Standortbestimmung und die damit einhergehende Ermittlung der Fahrplanlage für jedes einzelne Fahrzeug. Das RBL dient auch zur Überwachung verschiedener Komponenten und ist für die (visuelle) Fahrgastinformation an den Stationen verantwortlich. (vgl. Interview Grieshofer, 08.2020)

3.2.1 Funktionsweise von RBL

Über einen analogen Datenfunk werden von der Leitzentrale Datentelegramme an jedes einzelne Fahrzeug gesendet, wodurch die Fahrzeuge laufend ihren Standort zurückmelden. Die Abfrage erfolgt zyklisch und inkludiert auch einen Ist-/Sollvergleich mit dem Fahrplan. In diesem einen Schritt werden somit die zwei wichtigsten Informationen für den Betrieb der ÖV-Linien gewonnen. Der

Datenfunk wird über vier Funkstationen, die über Wien verteilt sind, versendet und empfangen. Fällt eine dieser Stationen aus, so übernimmt eine andere die Funktionen – d.h. das System ist redundant aufgebaut. (ebd.)

Damit es zu keiner Fehlinformation über den Standort des Fahrzeugs kommt, müssen die Abstände zwischen den Stationen genau vermessen werden. Zusätzlich gibt es auf jeder Strecke 5-10 fix verortete Baken. Diese hängen zwischen den einzelnen Stationen und dienen zur Synchronisierung der Meterdaten. Fährt nun ein Fahrzeug an so einer Bake vorbei, wird ein Signal an die Zentrale gesendet, wodurch die Position des Fahrzeugs auf 10 Meter genau bestimmt werden kann. Bei den Stationen ist es ähnlich. Befindet sich das Fahrzeug zum Zeitpunkt einer RBL-Abfrage in einer Station, so wird eine zusätzliche Information vom Fahrzeug an die Zentrale mitgeschickt. Somit weiß die Zentrale stets, wo sich die Fahrzeuge im Moment befinden. (ebd.)

Die Abfrage der Zentrale erfolgt zyklisch und die Dauer der Abfrage hängt von der Anzahl der Fahrzeuge ab. Beim Fahrzeug-Polling fragt das RBL jedes Fahrzeug nacheinander ab. Das hat zur Folge, dass in der Verkehrsspitze ein Abfragezyklus bis zu 20 Sekunden dauern kann und in der Nacht, wo wenige Fahrzeuge auf der Strecke sind, lediglich drei bis vier Sekunden andauert. (ebd.)

Durch die Vielzahl an gesendeten Datentelegrammen kommt es immer wieder vor, dass eines der Datentelegramme verloren geht. Wenn sich das Fahrzeug aber innerhalb einer Minute wieder meldet und ein gültiges Datentelegramm mit der Zentrale austauscht, liegt lt. Definition der WL keine Störung vor. Gibt es innerhalb dieser Minute allerdings keine Rückmeldung vom Fahrzeug, wird dieses am Lagebild in der Zentrale in einer anderen Farbe angezeigt, die bedeutet, dass die dargestellte Lage des Fahrzeugs nicht mehr sicher ist. (ebd.)

3.2.2 Beeinflussung der VLSA

Die Beeinflussung der VLSA durch den ÖV ist einer der wichtigsten Faktoren für die Beschleunigung von Bus und Straßenbahn. Die Beeinflussung durch das RBL ist allerdings nur ein „Nebenprodukt“, denn die Hauptaufgabe ist die Standortbestimmung der Fahrzeuge. Für die Beeinflussung der VLSA werden virtuelle Meldepunkte entlang einer Route vorgesehen. Diese Meldepunkte haben im Prinzip dieselbe Funktion wie Oberleitungskontakte (wenn ein Fahrzeug über diesen definierten Punkt fährt, wird ein Signal an die VLSA geschickt und die Beeinflussung ausgelöst). Für diesen Meldepunkt werden Meterdaten durch das RBL versorgt, es wird also der genaue Ort des Meldepunkts (beispielsweise 200m vor der Haltestelle) angegeben. (ebd.)

Es können bis zu drei Anmeldepunkte und ein Abmeldepunkt versorgt werden. Weiters besteht die Möglichkeit, Priorisierungen mitzuschicken – also welches Fahrzeug – bei gleichzeitiger Anmeldung bevorrangt werden soll. Dadurch ist es möglich, an Örtlichkeiten mit zwei (oder mehreren) sich

kreuzenden ÖV-Linien vordefinierte Strategien der Bevorrangung zu realisieren. Beispielsweise die Bevorrangung einer ÖV-Linie, die eine Verspätung aufweist, gegenüber anderen Linien die pünktlich verkehren. (ebd.)

Die Reichweite für die Beeinflussung durch das RBL kann nicht genau definiert werden. Einerseits ist dies von der Topologie der Straße (kurvig, gerade, dicht verbaut, Baumallee, etc.) abhängig und andererseits ist nur eine abgeschwächte Sendeleistung vorhanden. Die Sendeleistung wird bewusst abgeschwächt, damit es zu keinen Überlagerungen durch andere, in der Nähe befindlichen, Stationen kommt. Durch diese Überlagerungen könnten Datentelegrammen an die falschen Fahrzeuge gesendet werden bzw. könnten sie auch verloren gehen. Entsprechend des Straßen- und Liniennetzes in Wien kann davon ausgegangen werden, dass eine Reichweite von 400-500 m sicher erreicht werden kann. (ebd.)

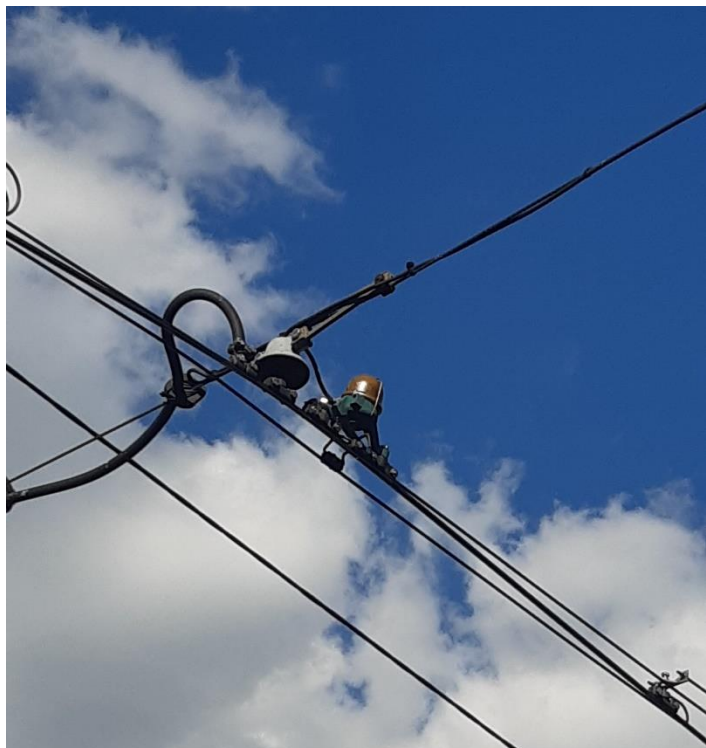
3.3 Aktivierung von ÖPNV-Beeinflussung an Verkehrslichtsignalanlagen

Wie bereits mehrfach erwähnt, können ÖV-Linien die Verkehrslichtsignalanlagen in Wien schon mit dem heutigen Stand der Technik beeinflussen. Es ist daher wichtig darzulegen, wie eine VLSA-Beeinflussung ausgelöst werden kann und wie diese funktionieren. Aus diesem Grund werden diese im Folgenden näher betrachtet.

3.3.1 Oberleitungskontakte

Die erste Möglichkeit zur Beeinflussung ist auch gleichzeitig eine der einfachsten, und zwar mittels Oberleitungskontakt (OLK). Wie in *Abbildung 1 Oberleitungskontakt, eigene Aufnahme*

Abbildung 1 zu sehen ist, kann diese Art der Beeinflussung nur seitens der Straßenbahn ausgeführt werden, weil, wie der Name schon sagt, die Kontakte auf der Oberleitung der Straßenbahn angebracht sind. Wird ein OLK durch den Stromabnehmer der Straßenbahn ausgelöst, wird ein Impuls über ein Kabel, dass direkt mit dem Steuergerät der VLSA verbunden ist, weitergeleitet. Durch diesen Impuls wird – je nach Beeinflussungsart – das Programm der VLSA zu Gunsten der Straßenbahn verändert. Die Anmeldung der



Straßenbahn bleibt so lange aktiv, bis ein weiterer OLK (Abmeldekontakt) aktiviert wird und die Anmeldung wieder löscht.

- Vorteile des OLKs:
 - Vor Ort ist einfach zu erkennen, wo die Anmeldepunkte der Straßenbahn sind.
 - In der Regel eine zuverlässige Anmelde-möglichkeit für die Straßenbahn.
 - Kann von allen Straßenbahnen ausgelöst werden, egal ob es Einzugsfahrten, Oldtimerfahrten, etc. sind.
 - Es kann zu keinen Falschanmeldungen kommen.
 - Im Fehlerfall einfach zu überprüfen, ob der OLK defekt ist.
- Nachteile des OLKs:
 - Der Kontakt kann im Winter bei Minustemperaturen einfrieren, wodurch die Straßenbahn keine Beeinflussung mehr erhält.
 - Starker Wind kann eine Fehlauflösung verursachen. Dadurch schaltet die VLSA eine Beeinflussung, obwohl keine Straßenbahn vor Ort ist.
 - Der OLK kann auch bei normaler Witterung durch Verunreinigung „hängen“ bleiben und somit eine Daueranmeldung der Straßenbahn vortäuschen.
 - Durch die Abnutzung kann der Bügel des OLKs kaputtgehen, wodurch eine Anmeldung nicht mehr möglich ist.
 - Diese Beeinflussung kann nur von Straßenbahnen genutzt werden, da Busse in Wien – im Gegensatz zu den Bussen z. B.: in Graz oder Salzburg – ohne Stromabnehmer fahren.
 - Die Anschaffung sowie der Erhalt sind wesentlich teurer als andere Beeinflussungsvarianten.
 - Fahren auf einer Strecke verschiedene ÖV-Linien, kann nicht unterschieden werden, welche ÖV-Linie zuerst den Kontakt auslöst, wodurch die Beeinflussungsmöglichkeit unter Umständen beeinträchtigt wird.

3.3.2 Drehschalter

Der ÖV kann auch mittels Drehschalter (DS) eine Beeinflussung erwirken. Die Funktion ist ähnlich simpel wie die vom OLK, nur erfolgt die Auslösung nicht mittels Stromabnehmer, sondern händisch vom Fahrpersonal. Der Drehschalter ist an einem Signalsteher oder Masten der VLSA montiert. Kommt nun die Straßenbahn oder der Bus, muss das Fahrpersonal aus der Straßenbahn oder dem Bus aussteigen und mittels Vierkantschlüssel eine Anmeldung beim Drehschalter schalten. Der Drehschalter ist ebenfalls mit einem Kabel direkt mit dem Steuergerät der VLSA verbunden und leitet den Impuls sofort weiter. In der Regel wird diese Möglichkeit nicht als Hauptanmeldung für den ÖV

genutzt. Meist wird diese Anmeldung als Rückfallebene im Störfall, für Einzugs- oder Ablenkungsfahrten herangezogen.

- Vorteile des Drehschalters

- Sichere Anmelde­möglich­keit.
- Anmeldung kann nicht versehentlich ausgelöst werden.
- Geringe Kosten in der Anschaffung.
- Überprüfung kann leicht und schnell durchgeführt werden.

- Nachteile des Drehschalters

- Das Fahrpersonal muss das Fahrzeug verlassen, um sich anzumelden.
- Durch das Aussteigen aus dem Fahrzeug muss die Beeinflussung immer mehrere Umläufe der Ampelschaltung aktiv sein, bevor die Anmeldung wieder gelöscht wird. Ist dies nicht der Fall, könnte es sein, dass unmittelbar nach der Aktivierung des Drehschalters die gewünschte Beeinflussung erfolgt, das Fahrpersonal jedoch noch nicht rechtzeitig für die Weiterfahrt bereit ist.
- Die Anmeldung erfolgt erst, wenn der ÖV direkt bei der VLSA ist, wodurch es immer zu einem Aufenthalt kommt.
- Der Drehschalter kann auch mittels Zange ausgelöst werden. Dadurch kann es zu einer missbräuchlichen Anwendung kommen.
- Es können sich nicht mehrere ÖV-Linien gleichzeitig anmelden (wenn sie hintereinanderstehen).

Abbildung 2 Drehschalter, eigene Aufnahme



3.3.3 Induktionsschleifen

Die Induktionsschleife wird hauptsächlich bei der Erfassung des MIVs verwendet. In einigen Fällen wird sie auch bei der Detektion von Bussen benutzt. Im Bereich der Straßenbahn wird die Induktionsschleife in Wien kaum eingesetzt. Die Funktionsweise ist recht einfach: Es wird ein Draht – meist in rechteckiger Form (siehe Abbildung 3) – in die Fahrbahn eingefräst und mit dem Steuergerät der VLSA verbunden. Fährt dann ein Fahrzeug, welches aus Metall bestehen muss, über diesen Draht,

wird durch das Prinzip der Induktion ein Impuls ausgelöst. Dieser Schaltbefehl wird an die VLSA übertragen und die Beeinflussung wird geschaltet.

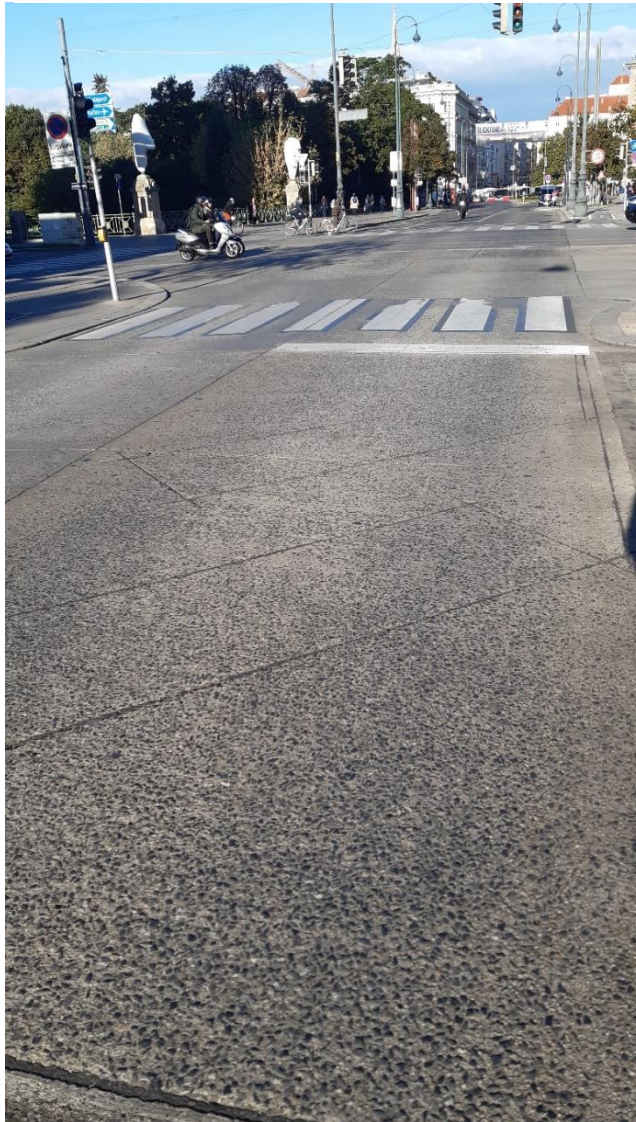
- Vorteile der Induktionsschleife

- Zuverlässige Methode zur Erfassung von Fahrzeugen.
- Unempfindlich gegenüber der Witterung.
- Es können sowohl Busse als auch Straßenbahnen erfasst werden.

- Nachteile der Induktionsschleife

- Aufgrund der geringen Einbautiefe wird sie bei Straßensanierungsarbeiten oftmals beschädigt und muss danach neu errichtet werden.
- Werden die Fahrspuren nicht genau eingehalten, kann es zu Fehlanmeldungen kommen. Dieser Nachteil bezieht sich nur auf Busse und PKWs und tritt bei der Straßenbahn nicht auf, da sie die Fahrspur nicht wechseln kann.
- Die Erfassung von Motorrädern ist tlw. schwierig, da diese aufgrund ihrer Einspurigkeit nicht immer auf der Schleife zum Stehen kommen.
- Fahrräder können unter Umständen auch nicht erfasst werden, wenn es sich um Karbonräder handelt und somit kein Metall detektiert werden kann.

Abbildung 3 Induktionsschleifen, eigene Aufnahme



3.3.4 Rechnergestütztes Betriebsleitsystem (RBL)

Die Hauptaufgabe des RBLs ist die Unterstützung des Betriebes der Bus- und Straßenbahnlinien, die sich auf den Straßen befinden. Es bietet gewissermaßen eine Übersicht, ob alle ÖV-Linien pünktlich sind und ist ein System, mit dem auch Korrekturen vorgenommen werden können. (vgl. tramwayforum, 20 Jahre RBL)

Ein Nebenprodukt dieser Technologie ist die Beeinflussungsmöglichkeit von VLSAn. Nachdem alle ÖV-Linien (bis auf Museumsfahrten, etc.) mit dem RBL ausgestattet sind, kann theoretisch auch die gesamte Flotte der WL eine VLSA beeinflussen (vgl. Interview Luksch, 05.2020). Dazu müssen jedoch gewissen Voraussetzungen geschaffen werden.

Einerseits müssen die Busse und Straßenbahnen softwaretechnisch versorgt werden. Das bedeutet, es müssen virtuelle Anmeldepunkte definiert und an die jeweilige ÖV-Linie gesendet werden. Im Prinzip ist es dieselbe Funktionsweise wie bei den Oberleitungskontakten. Nur gibt es keine physische Anmeldung mittels Stromabnehmer, sondern eine virtuelle Anmeldung mittels Funk, wodurch auch Busse diese Technologie verwenden können.

Andererseits benötigt man bei der VLSA einen Funkempfänger, der die Daten verarbeitet. Dieser Empfänger kann entweder direkt im Schaltgerät verbaut sein oder es wird ein sogenanntes KSE-Gerät (Kreuzungssteuerungsempfänger) verbaut, welches mit dem Schaltgerät verbunden ist. In Wien ist die zweite Variante die gängige Methode.

Passiert eine ÖV-Linie einen definierten Anmeldepunkt, so wird mittels Funk ein Signal an den Funkempfänger gesendet, welcher wiederum einen Impuls an das Schaltgerät schickt und die Beeinflussung auslöst.

- Vorteile des RBLs
 - Es ist unabhängig von der Witterung.
 - Es können mehrere Anmeldepunkte für die Beeinflussung definiert werden, was eine flexiblere Schaltung der VLSA ermöglicht.
 - Anmeldepunkte können flexibel verlegt werden.
 - Es ist wartungsarm.
 - Es können sowohl Busse als auch Straßenbahnen erfasst werden.

- Nachteile des RBLs
 - Bei Störung des RBLs kann es zu Anmeldeproblemen kommen.
 - Wenn eine ÖV-Linie nur mittels dieser Beeinflussung ihre Freiphase bei der VLSA bekommt, so ist immer ein Drehschalter, als Rückfallebene im Störfall erforderlich.
 - Busse, die im Auftrag für die WL fahren, sind mit dieser Beeinflussungsmöglichkeit nicht ausgestattet.

3.3.5 Optische Sensoren

Zusätzlich zu den oben genannten Anmelde-möglichkeiten, gibt es noch eine weitere Art der Detektion, nämlich optische Sensoren. Diese sind in Wien für die Erfassung von ÖPNV-Fahrzeugen aber sehr selten im Einsatz. Daher wird nicht auf jeden einzelnen Typ genau eingegangen, sondern diese Detektionsart nur zusammengefasst dargestellt: Es gibt Radar-, Opto- und Infrarotsensoren sowie die Videodetektion. Im Grunde ist die Funktion bei all diesen Typen ident. Die Sensoren werden auf die Fahrbahn ausgerichtet und sobald ein Fahrzeug vorbeifährt, wird ein Impuls ausgelöst und dieser an das Steuergerät der VLSA übertragen.

- Vorteile der optischen Sensoren
 - o Es können sowohl Busse als auch Straßenbahnen erfasst werden
- Nachteile der optischen Sensoren
 - o Schlechtwetter (Regen, Nebel, Schneefall, etc.) kann zu einer Fehlanmeldung beziehungsweise zu keiner Anmeldung führen.
 - o Durch Wind und Vibrationen kann sich die Halterung der Sensoren lockern und somit die eingestellte Sensorposition verändern.

Abbildung 4 Optischer Sensor Variante 1, eigene Aufnahme



Abbildung 5 Optischer Sensor Variante 2, eigene Aufnahme



3.4 Informationsübermittlung an das Fahrpersonal

Der zweite betrachtete Aspekt, neben den Beeinflussungsarten der VLSA, ist die Informationsübermittlung an das Fahrpersonal. Dabei bekommt das Fahrpersonal eine Information über den Signalzustand – also ob die ÖV-Garnitur bei der VLSA eine Freiphase hat oder nicht – über unterschiedliche Arten vermittelt.

3.4.1 Vorsignal

Das Vorsignal hängt, je nach Bedarf bzw. Montagemöglichkeit, in der Regel 30 m bis 90 m vor der VLSA und zeigt zeitversetzt den Signalzustand des Hauptsignals, welches direkt bei der VLSA hängt, an. Das bedeutet, wenn das Vorsignal also z. B.: 60 m vor dem Hauptsignal hängt, und die Straßenbahn mit 50 km/h ($=13,88\text{m/s}$) fährt, benötigt die Straßenbahn 4,32 s vom Vorsignal zum Hauptsignal. Diese Zeit wird für die Signalisierung des Vorsignals herangezogen. Schaltet das Vorsignal von gesperrt auf frei, bedeutet das für das Fahrpersonal, dass beim Hauptsignal vier Sekunden später ebenfalls das Freisignal aufleuchtet. Somit muss / kann das Fahrzeug ohne Abminderung der Geschwindigkeit die VLSA passieren. Springt das Vorsignal von frei auf gesperrt um, wird das Hauptsignal nach vier Sekunden ebenfalls gesperrt anzeigen. Dadurch weiß das Fahrpersonal, dass die Geschwindigkeit reduziert werden kann, da sowieso ein Aufenthalt bei der VLSA folgen wird.

Der große Vorteil vom Einsatz eines Vorsignals ist jener, dass das Fahrpersonal bereits vor dem Eintreffen bei der VLSA weiß, welchen Signalzustand es erwarten kann – d.h. dass ein vorausschauendes Fahren ermöglicht wird. Ist kein Vorsignal vorhanden und die Straßenbahn fährt mit 50 km/h auf eine VLSA zu, bei der das Signal von frei auf gesperrt springt (bei Straßenbahnsignalen gibt es kein Grünblinken wie bei einem MIV-Signal), würde es zu einem abrupten Bremsen kommen, was wiederum zu gefährlichen Situationen für die Fahrgäste in der Straßenbahn führen kann.

Das Vorsignal sieht genauso aus wie das Hauptsignal. Dieses Signal gibt es in der Regel nur für Straßenbahnen, denn diese fahren mit einem 4-Punktsignal und nicht mit einem Rot-Gelb-Grün-Signal wie der MIV. Fährt eine Buslinie ebenfalls auf den Gleisen, nutzt diese in der Regel auch das 4-Punktsignal und somit auch das Vorsignal mit. Fährt der Bus normal auf der Straße mit dem MIV mit, gibt es in der Regel keine eigene Signalisierung, wodurch auch das Vorsignal wegfällt. Zudem werden die Vorsignale im Regelfall auf den Abspannungen der Oberleitungen der Straßenbahn montiert. Es gibt auch Vorsignale, die auf Signalstehern montiert sind, aber diese Art der Vorsignale kommt nur selten in Wien vor.

3.4.2 Abfertigungssignal (A-Signal)

Das Abfertigungssignal dient zur Ankündigung der Freiphase für den ÖPNV und ist in der Regel über dem Hauptsignal positioniert. Acht Sekunden bevor das Hauptsignal in die Freiphase übergeht, beginnt das A-Signal zu leuchten. Dies ist für das Fahrpersonal das Zeichen, den Fahrgastwechsel abzuschließen, indem die Türen geschlossen werden. Nach diesen acht Sekunden wird das A-Signal wieder finster und das Hauptsignal signalisiert dem Fahrpersonal die Freiphase. Somit entsteht ein fließender Übergang vom A-Signal zum Hauptsignal (analog zum Übergang von Rot-Gelb zu Grün bei der MIV-Signalisierung).

Das A-Signal wird nicht nur in Stationen für einen verbesserten Fahrgastwechsel verwendet, sondern auch in Situationen, in denen eine ÖV-Linie nur durch Anmeldung – wie im Kapitel 3.5.1 beschrieben – eine eigene Freiphase bekommt, damit sie das Kreuzungsplateau passieren kann. Wenn eine ÖV-Linie die Freiphase nur auf Anmeldung bekommt, also nicht fix in jedem Umlauf, dann dauert diese Freiphase in der Regel nur sechs Sekunden. Sollte das Fahrpersonal in dieser Situation durch äußere Einflüsse abgelenkt sein und deshalb nicht auf das Hauptsignal achten, kann es durchaus sein, dass die Freiphase nicht wahrgenommen wird und daher die ÖV-Linie einen weiteren Umlauf auf die nächste Freiphase warten muss. Damit dient das A-Signal in solchen Fällen nicht zum Vorbereiten für das Türenschießen, sondern als Aufmerksamkeitstrigger zur Beachtung der Freiphase. Das A-Signal kann somit als Vorbereitung für die Freiphase angesehen werden.

Abbildung 4 Abfertigungssignal, eigene Aufnahme

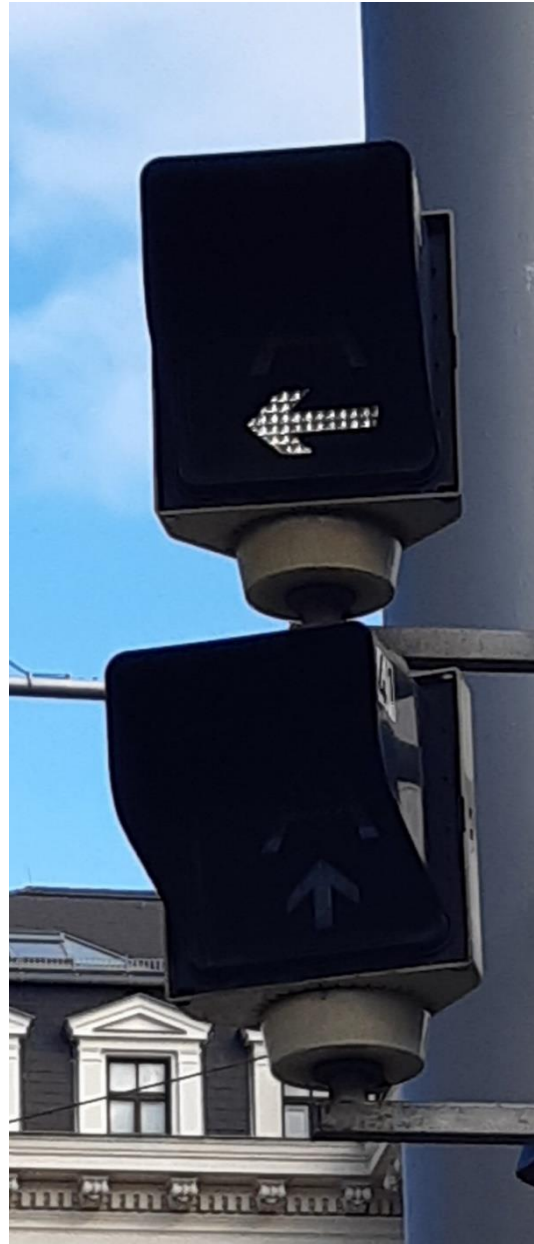


3.4.3 Quittierpfeil

Der Quittierpfeil wird dann bei einer VLSA eingesetzt, wenn der ÖV nur durch eine Anmeldung die Freiphase geschaltet bekommt. Sprich, wenn keine Anmeldung durch RBL, Oberleitungskontakt, etc. durch den ÖV vorliegt, bleibt der Quittierpfeil finster. Erst durch erfolgreiche Auslösung der Anmeldung beginnt der Quittierpfeil zu leuchten. Dies ist vor allem für den Fehlerfall von großer Bedeutung, weil so das Fahrpersonal sofort erkennt, dass die Anmeldung nicht funktioniert (und diese Störung sofort melden kann). In dieser Situation muss sich das Fahrpersonal mittels Drehschalter anmelden, damit die Freiphase geschaltet wird.

Der Quittierpfeil ist somit keine Information, wann die VLSA auf Grün umschaltet bzw. ob der Signalzustand der VLSA überhaupt Grün ist, sondern, dass die Anmeldung erfolgreich war und die Freiphase innerhalb des nächsten Umlaufes geschaltet wird.

Abbildung 5 Quittierpfeil, eigene Aufnahme



3.5 Beschleunigungsmaßnahmen an Verkehrslichtsignalanlagen

Nachdem die in Wien verwendeten Methoden zur Anmeldung der ÖV-Linien bei VLSAn aufgezeigt wurden, werden nun die verschiedenen Beeinflussungsmöglichkeiten beleuchtet. Dies ist vor allem für die Einhaltung des Fahrplans notwendig. Die internen Vorgaben der WL sehen eine Abweichung des Fahrplans von mehr als zwei Minuten als unpünktlich an (vgl. Interview Waltjen, 06.2020). Dies gilt sowohl für verspätete als auch verfrühte Fahrten. Im Vergleich mit den österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) sind die Vorgaben der WL strenger. Die ÖBB erkennt eine Unpünktlichkeit erst ab 5 Minuten und 29 Sekunden an, erst dann zählt ein Zug als verspätet (vgl. apf 2017, S. 114).

Auch in der Stadt Graz werden Maßnahmen zur ÖPNV-Beschleunigung vorangetrieben. Im November 2014 wurde das Projekt „Pünktlichkeitsoffensive ÖV“ in Graz beschlossen. Die Holding Graz erarbeitete damals an welchen ÖV-Strecken es zu hohen Behinderungen kommt und es ein Verbesserungspotenzial gibt. (vgl. Graz Holding 11/2014, Pünktlichkeitsoffensive ÖV)

Einen Grenzwert, wie in Wien oder der ÖBB, gibt es im Grunde nicht. Es wird ausgewertet, in welchen Streckenabschnitten es zu Unpünktlichkeiten kommt und dann werden Maßnahmen gesetzt, die diesen entgegenwirken sollen. Nach Umsetzung der Beschleunigungsmaßnahmen wird dann eine neuerliche Auswertung durchgeführt, um zu sehen, ob die gesetzten Schritte auch die gewünschte Wirkung haben. (vgl. Graz Holding, Jahresbericht 2015)

In der deutschen Stadt Dresden wird seit 2018 jede zu frühe Abfahrt aus der Station – auch schon eine Sekunde zu früh – als unpünktlich gewertet wird. Bei den Verspätungen hat man die zwei Minutengrenze wie in Wien. Diese sehr strenge Auslegung wurde deshalb gewählt, weil die Anschlusssicherheit und die Pünktlichkeit zwei wichtige Faktoren der Kunden*innenzufriedenheit sind. (vgl. E-Mail Andreas Hoppe vom 03.06.2020, siehe Anhang)

Die Beeinflussung von VLSAn ist somit ein wichtiger Bestandteil der ÖPNV-Priorisierung.

3.5.1 Schalten einer eigenen Freiphase

Es gibt ÖV-Linien die nur bei Bedarf eine Freiphase bekommen. Das bedeutet, sie bekommen nur Grün, wenn sie sich bei der VLSA angemeldet haben. Diese Bedarfsschaltung kommt in der Regel dann zum Einsatz, wenn es leistungstechnisch nicht anders möglich ist.

Als Beispiel sei hier die VLSA 03002 Landstraßer Gürtel # Fasangasse angeführt: Würde in jedem Umlauf das Abbiegefenster für den T1L, welcher vom Landstraßer Gürtel in die Fasangasse abbiegt (Abbildung 6), geschaltet werden, so würde sich in der Fasangasse ein Stau bilden und somit auch die entgegenkommende Straßenbahn T2 behindert werden. Daher wird das Abbiegefenster für T1L nur dann geschaltet, wenn es auch eine Straßenbahn wirklich benötigt (Abbildung 8). (vgl. Stadt Wien MA33: V03002, S. 5f)

Abbildung 6 Signallageplan V03002, Quelle: Stadt Wien MA33 – V03002_BA_20191119

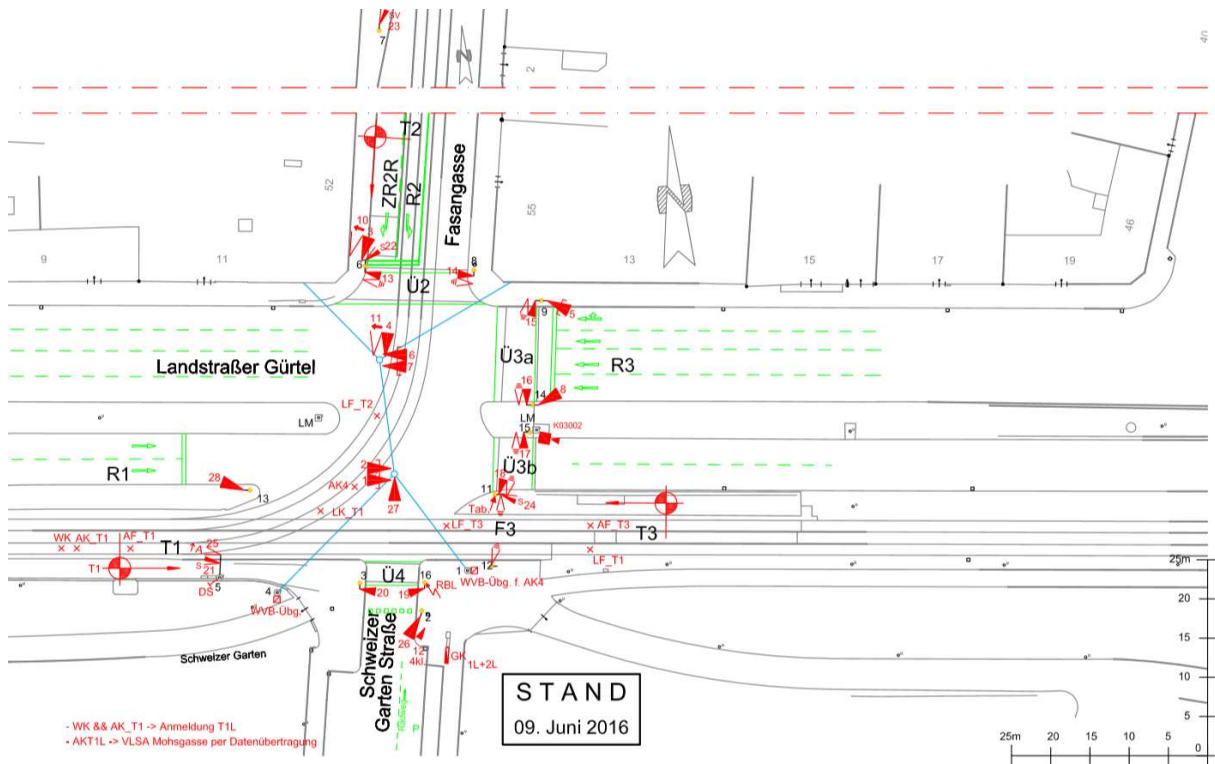


Abbildung 7 Signalzeitenplan V03002, Quelle: Stadt Wien MA33 – V03002_BA_20191119

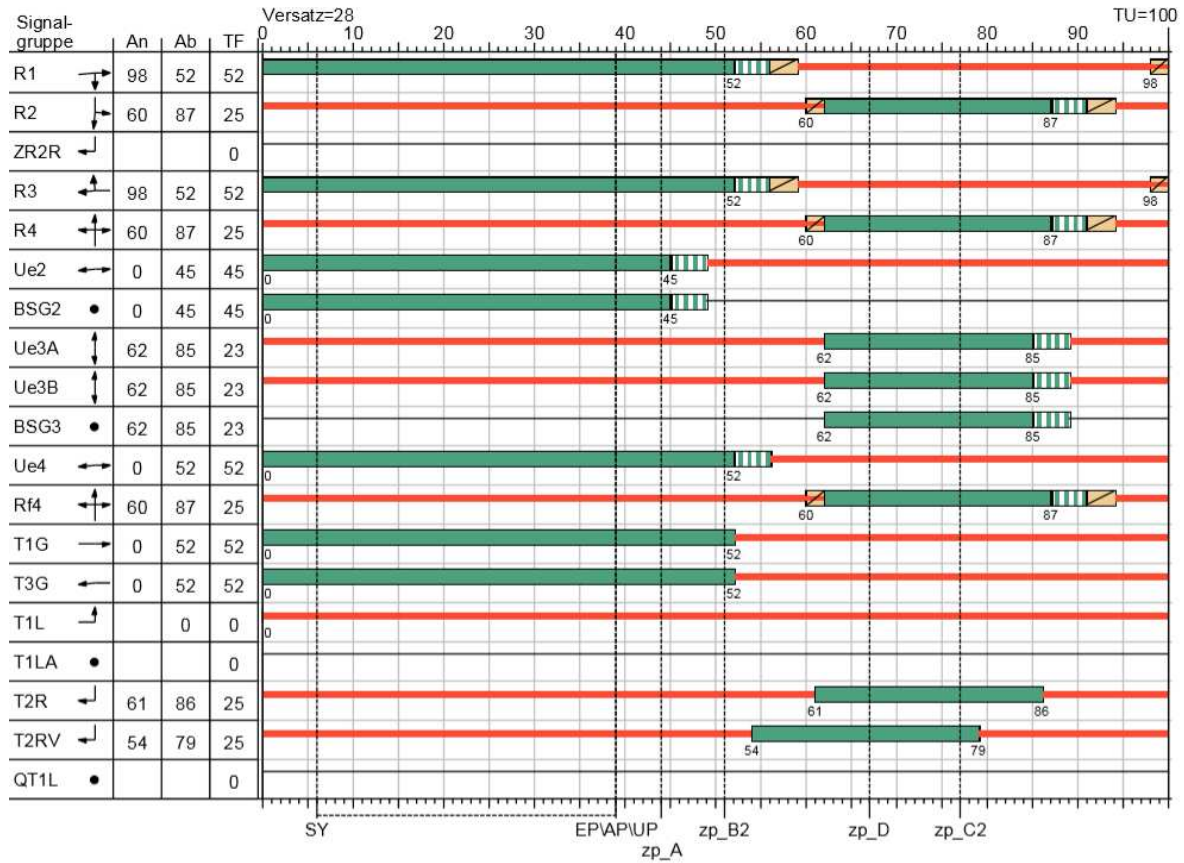
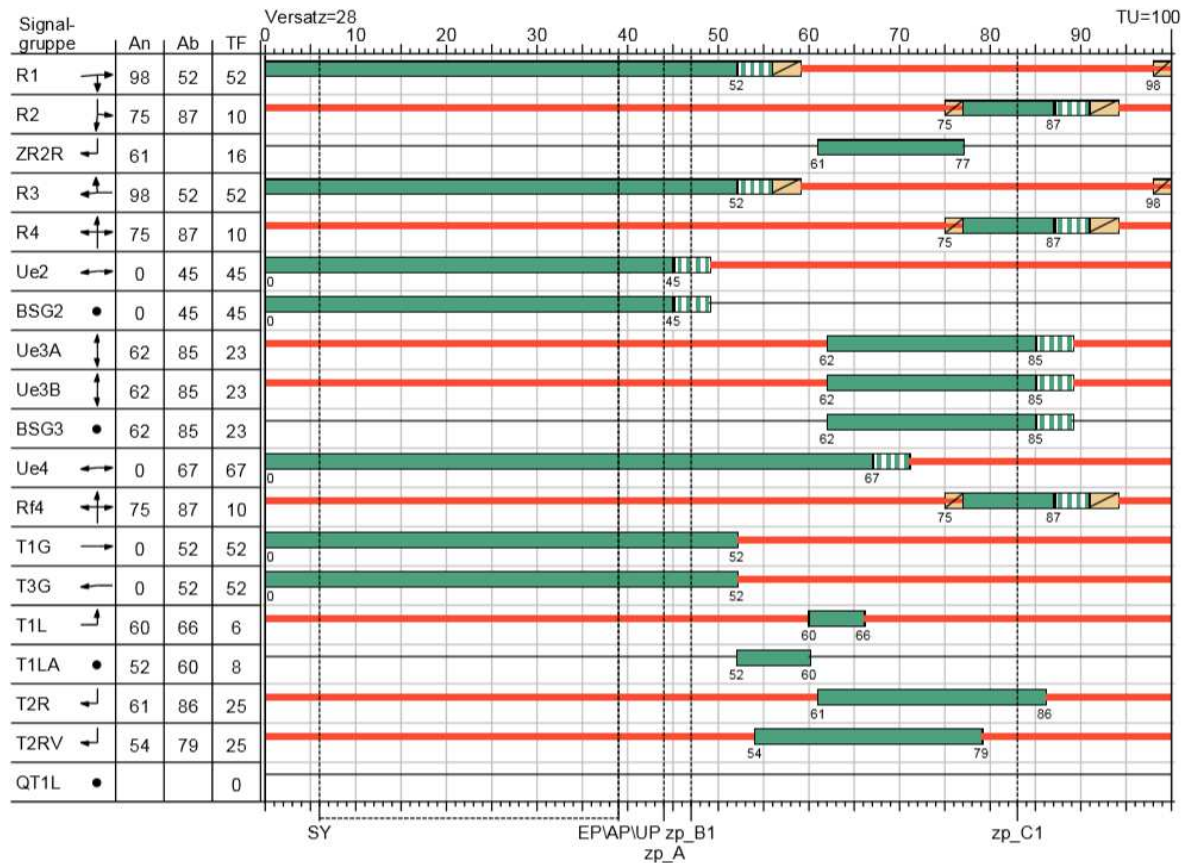


Abbildung 8 Signalzeitenplan mit eigenem Fenster V03002, Quelle: Stadt Wien MA33 – V03002_BA_20191119



3.5.2 Schalten eines 2. Freigabefensters

Es besteht auch die Möglichkeit, dass eine ÖV-Linie eine Freiphase hat, die in jedem Umlauf geschaltet wird. Sollte diese Freiphase innerhalb eines Umlaufs aber verpasst werden, so kann es vorkommen, dass sie über eine Minute oder länger warten muss. Dies führt zu Verzögerungen, die mittels einer Beeinflussung bei der VLSA verhindert bzw. reduziert werden kann.

Im Beispiel der VLSA 03029 Schlachthausgasse # Erdbergstraße hat die Straßenbahn T4L, welche von der Erdbergstraße links in die Schlachthausgasse einbiegt, ein fixes Freigabefenster von 14 Sekunden (Abbildung 10). Verpasst sie dieses oder meldet sich schon früher bei der VLSA an, so wird ein 2. Freigabefenster geschaltet (Abbildung 11). (vgl. Stadt Wien MA33: V03029, S. 5f)

Abbildung 9 Signallageplan V03029, Quelle: Stadt Wien MA33 – V03029_BA_20190613

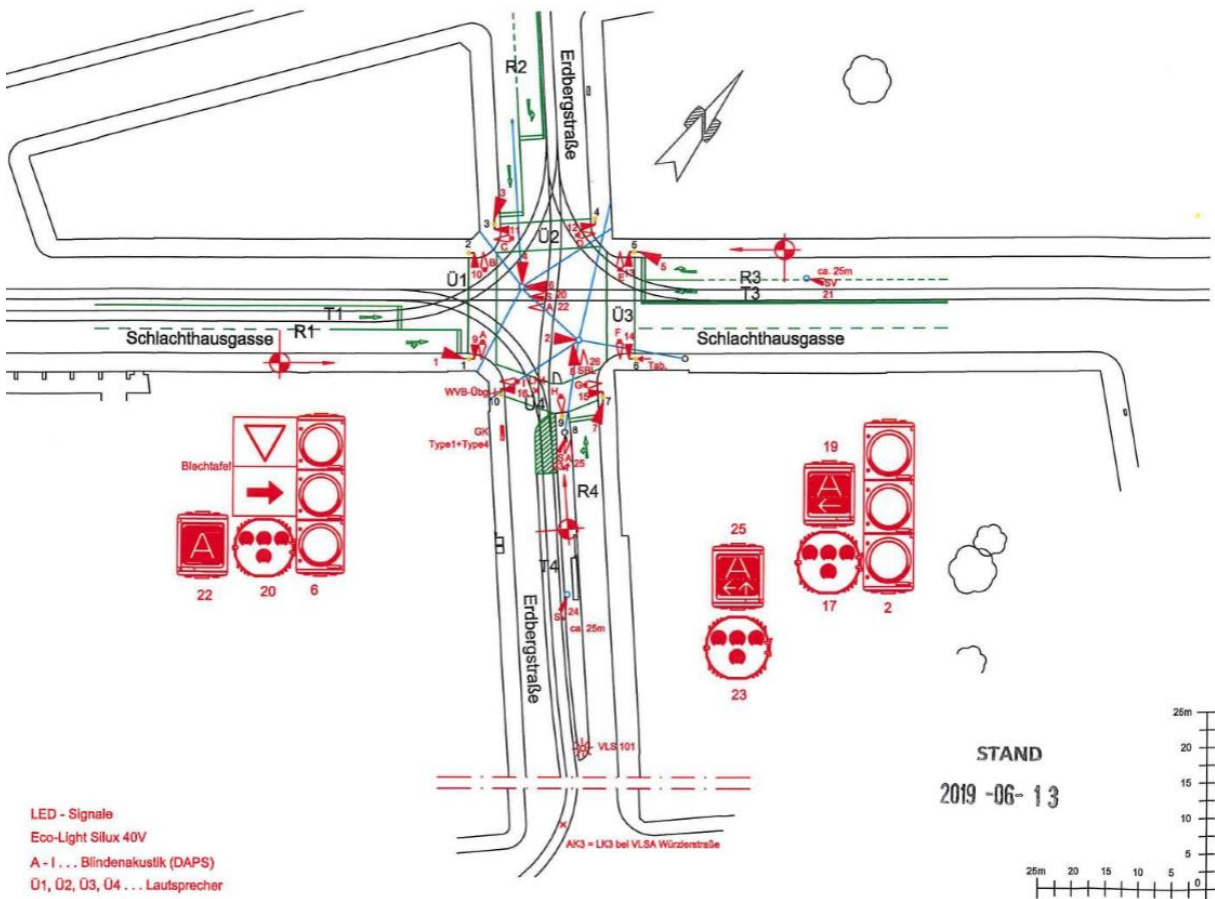


Abbildung 10 Signalzeitenplan V03029, Quelle: Stadt Wien MA33 – V03029_BA_20190613

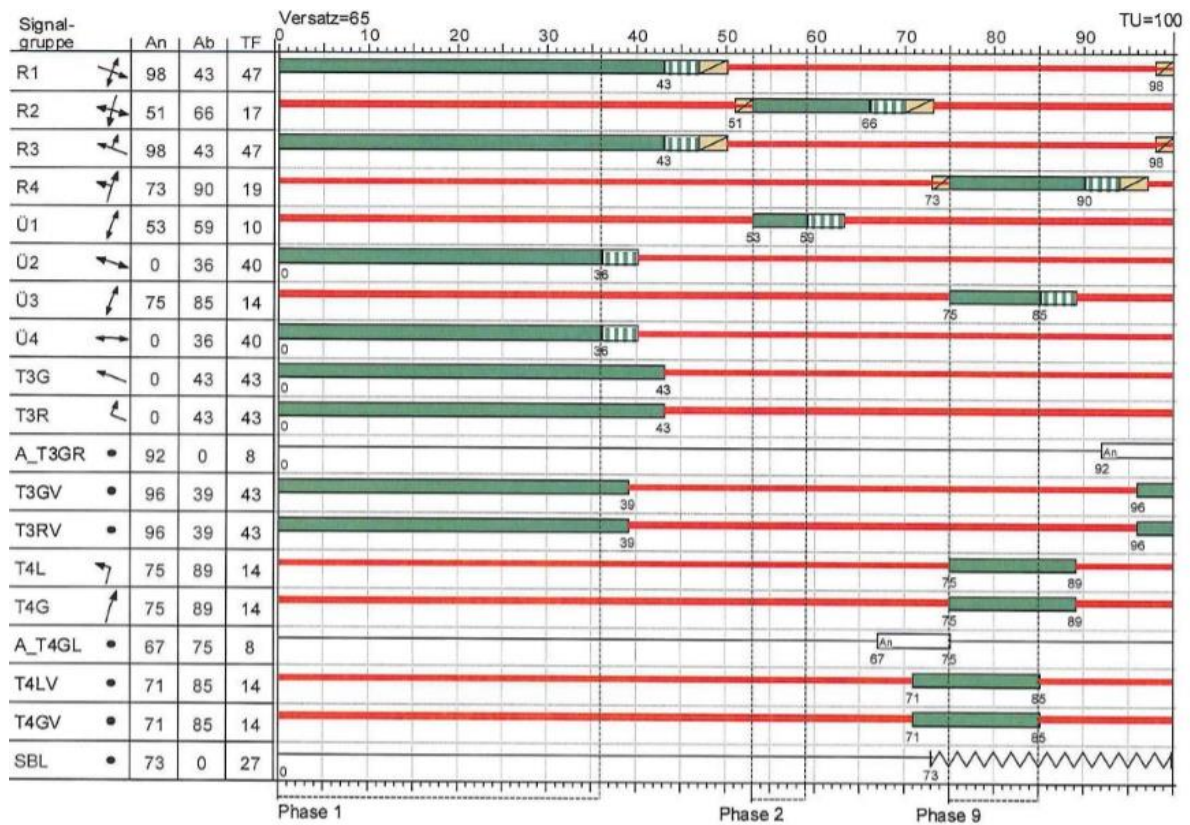
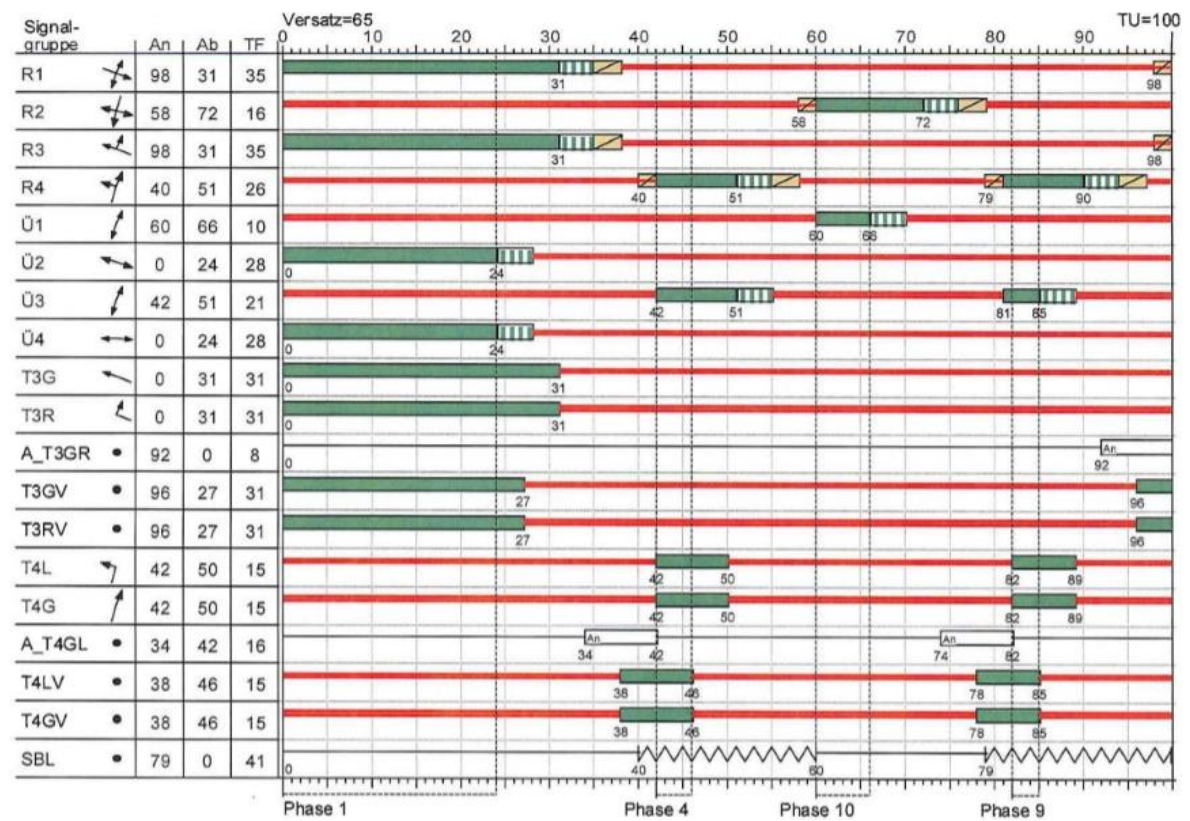


Abbildung 11 Signalzeitenplan mit 2. Freigabefenster V03029, Quelle: Stadt Wien MA33 – V03029_BA_20190613



3.5.3 Voreilung

Von einer Voreilung spricht man, wenn die ÖV-Linie einige Sekunden vor dem, in die gleiche Richtung fahrenden MIV, grün bekommt. Es ist also ein gezieltes Aufhalten des MIVs, damit dieser nicht gleichzeitig mit der Straßenbahn grün bekommt.

Der hauptsächliche Anwendungsfall für diese Beeinflussungsart ist, wenn der ÖV und der MIV sich auf dieselbe Fahrspur verflechten (Abbildung 12). Beispielhaft sei die VLSA 02027 Taborstraße # Obere Augartenstraße angeführt: Hier nutzen die Straßenbahnrelation T1 und die MIV-Relation R1 nach dem Kreuzungsplateau die gleiche Fahrspur. Somit wird für die Straßenbahn eine Voreilung geschaltet, damit sie bei Grünbeginn, in diesem Fall 8 Sekunden (Abbildung 13) vor dem MIV, losfahren kann. (vgl. Stadt Wien MA33: V02027, S. 5f)

Solch eine Beeinflussung hat den Vorteil, dass die ÖV-Linie vor dem MIV fährt und als „Pulkführer“ fungiert. Somit hat sie vor ihr keine Behinderung durch beispielsweise einparkende PKWs. Weiters dient die Voreilung als verkehrssicherheitstechnische Maßnahme, mit dem Hintergrund, dass bei einem gleichzeitigen Grünbeginn von ÖV und MIV, die AutofahrerInnen versuchen könnten sich noch vor dem ÖV einzuordnen und dadurch riskante Manöver entstehen.

Abbildung 12 Signallageplan V02027, Quelle: Stadt Wien MA33 – V02027_BA_20180912

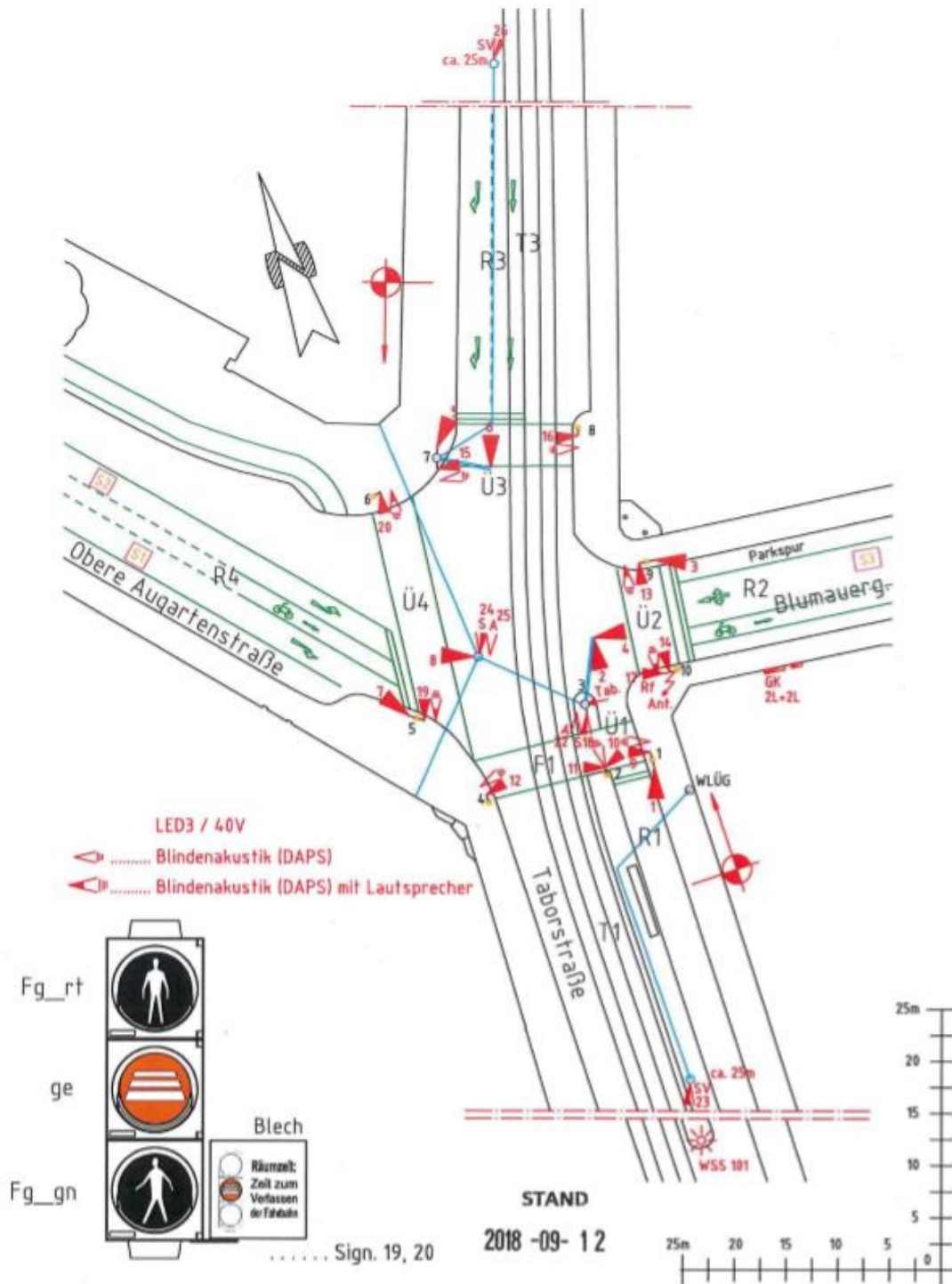


Abbildung 13 Signalzeitenplan V02027, Quelle: Stadt Wien MA33 – V02027_BA_20180912

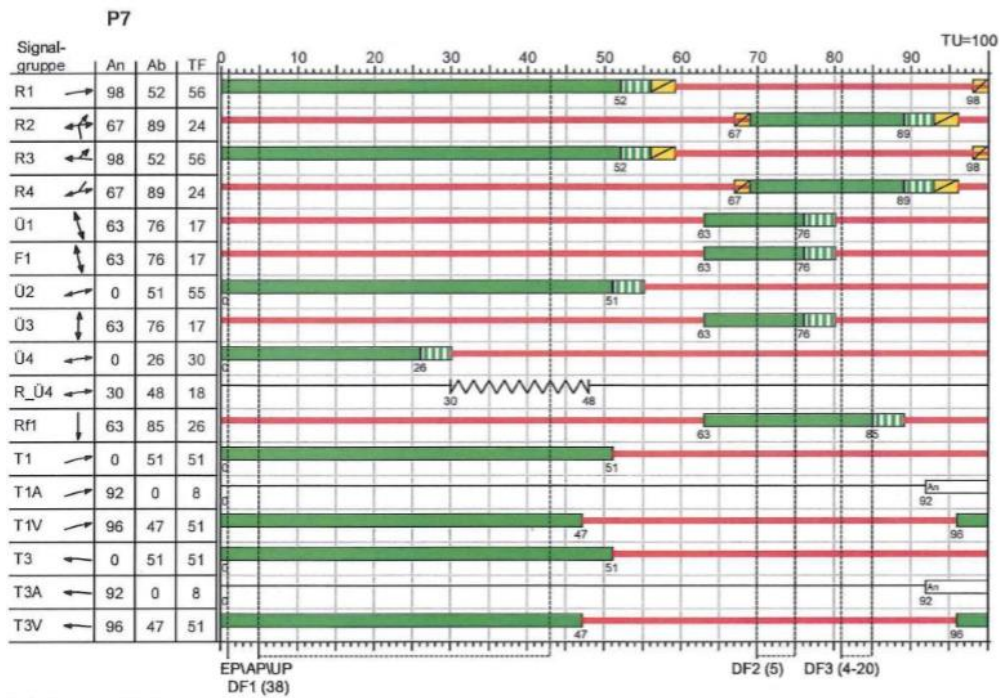
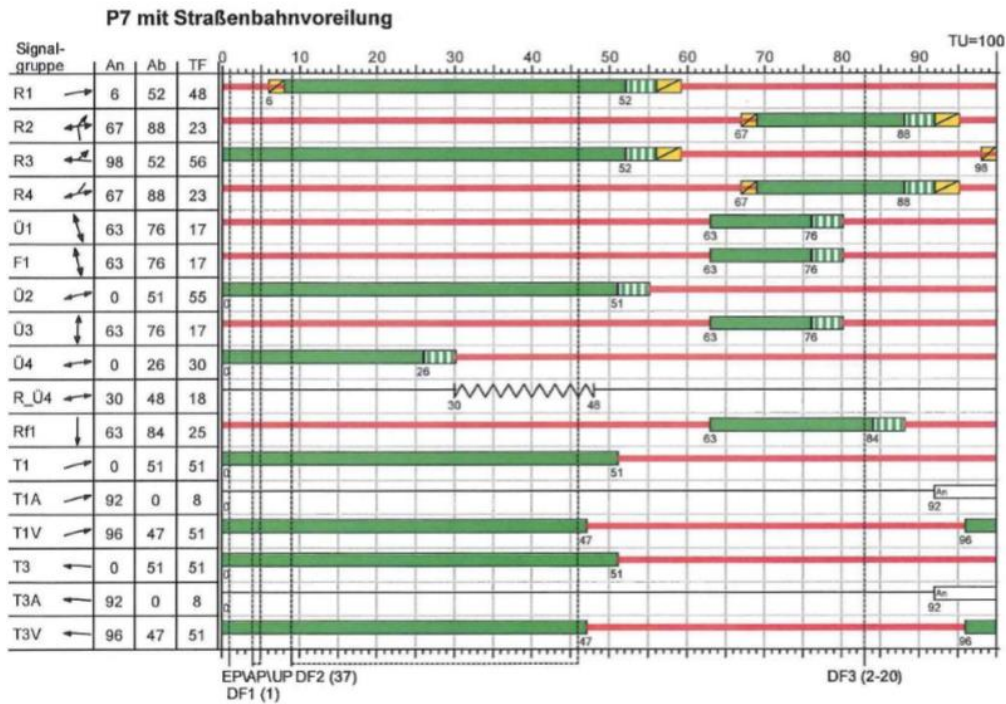


Abbildung 14 Signalzeitenplan mit Voreilung V02027, Quelle: Stadt Wien MA33 – V02027_BA_20180912



Ein weiterer Grund für eine Voreilung kann das Wiedereinreihen eines ÖV-Fahrzeugs in den gemeinsam mit dem MIV genutzten Fahrstreifen nach einem Stationsaufenthalt sein. Wie am Beispiel der Abbildung 15 zu sehen ist, hat der Bus eine Haltestellenbucht. Nachdem der Fahrgastwechsel erfolgt ist, schwenkt der Bus wieder auf den Fahrstreifen um. Damit es bei diesem Verflechten mit dem MIV nicht zu gefährlichen Situationen kommt, erhält die Busrelation B3 eine Voreilung von 6 Sekunden gegenüber der MIV-Relation R3 (Abbildung 17). (vgl. Stadt Wien MA33: V12070, S. 5f)

Abbildung 15 Signallageplan V12070, Quelle: Stadt Wien MA33 – V12070_BA_20161213

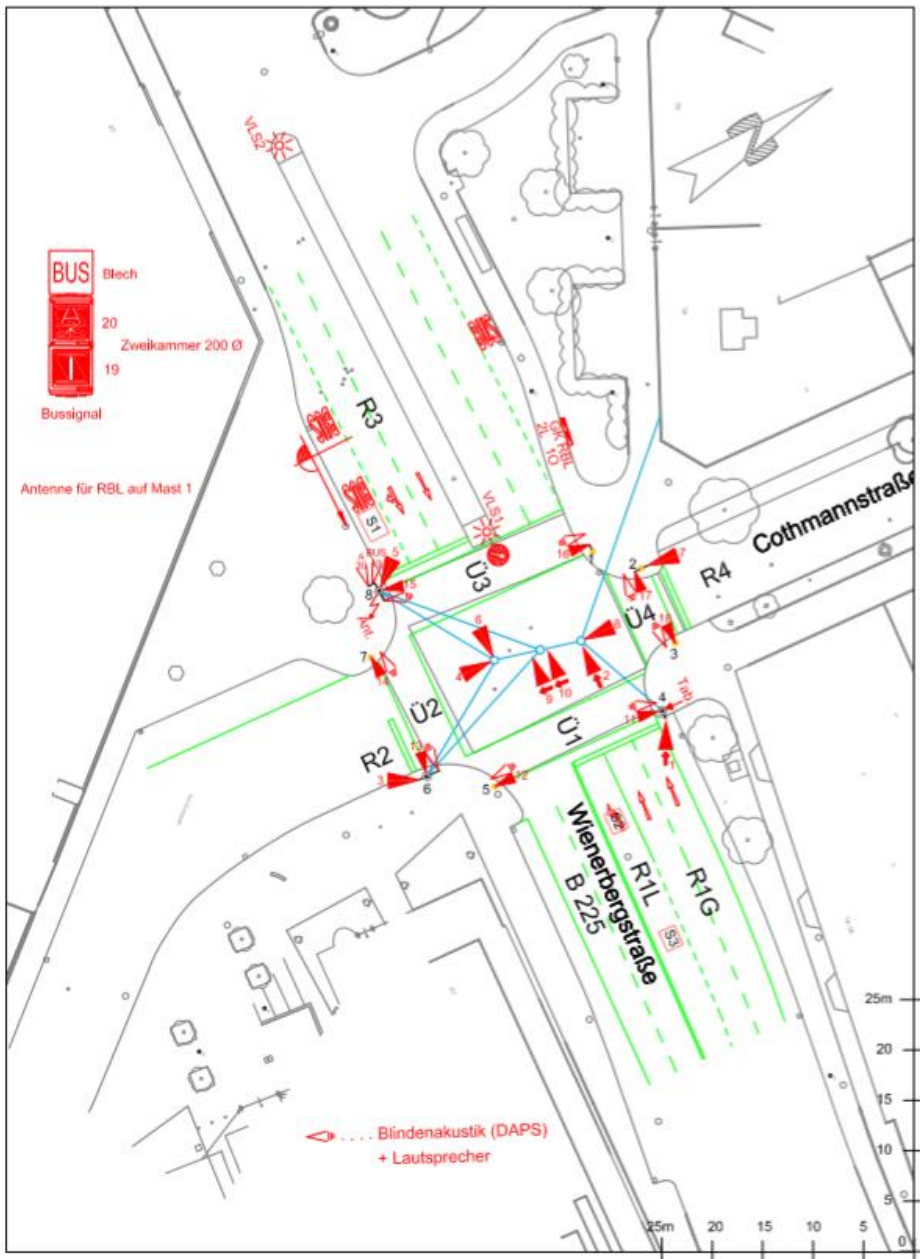


Abbildung 16 Signalzeitenplan V12070, Quelle: Stadt Wien MA33 – V12070_BA_20161213

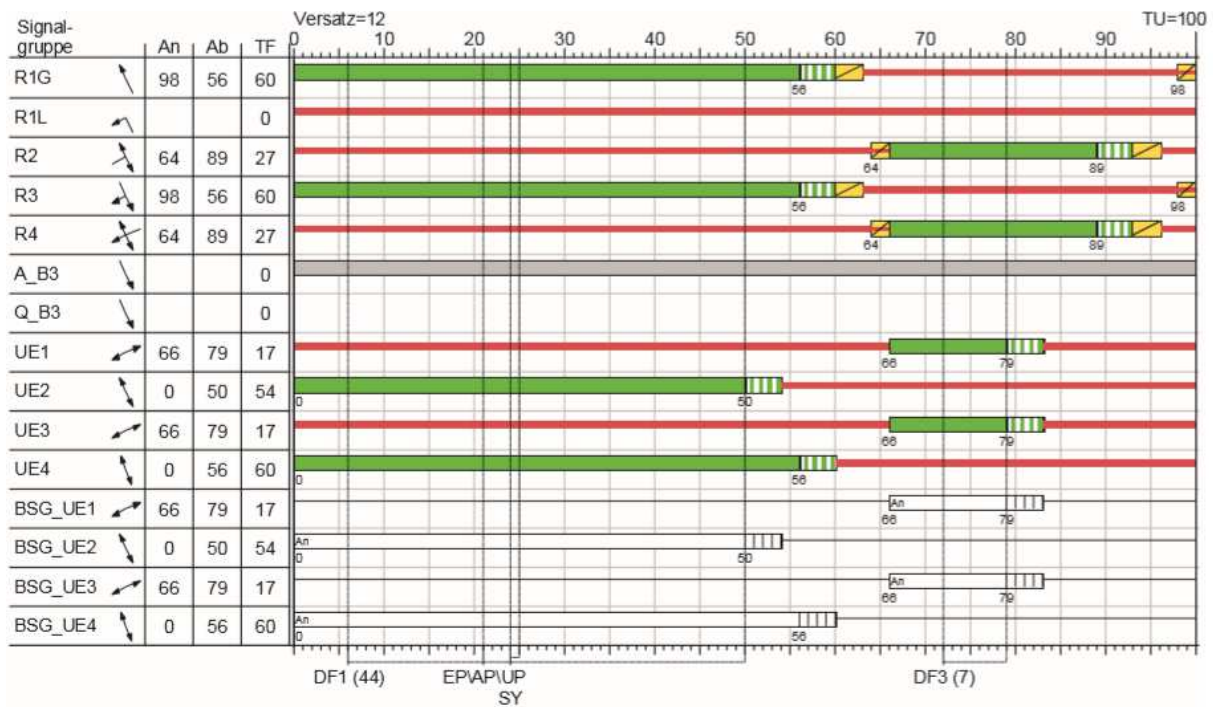
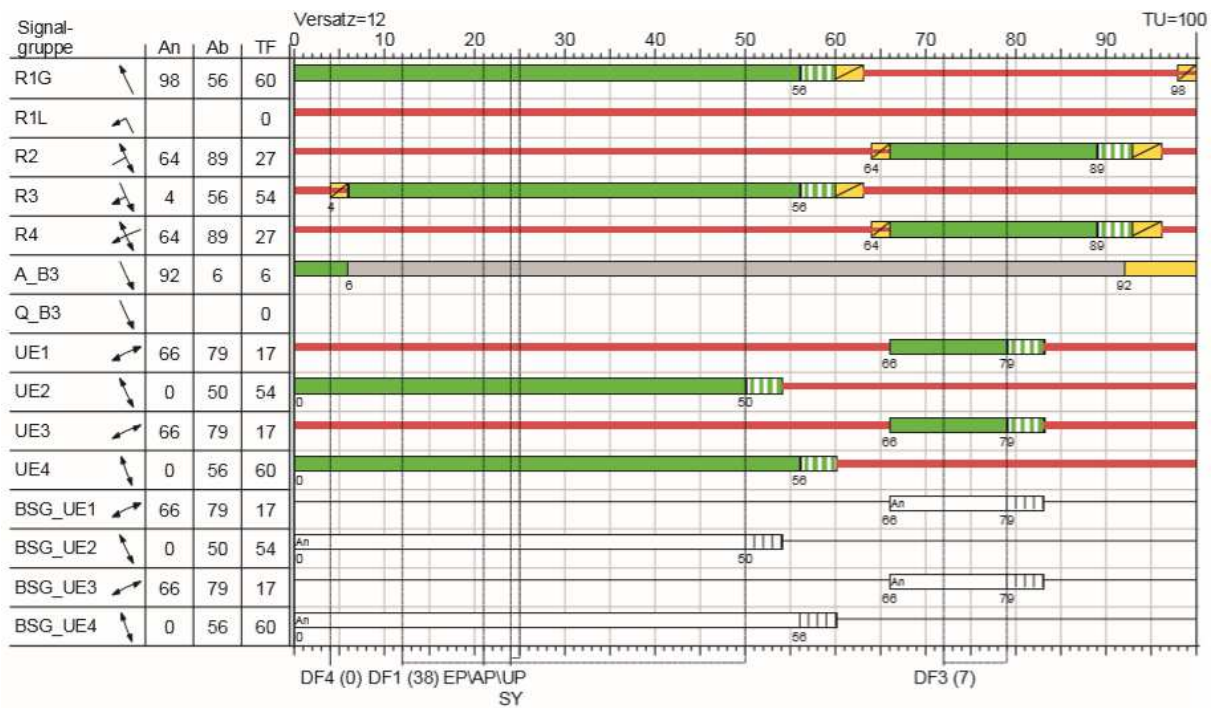


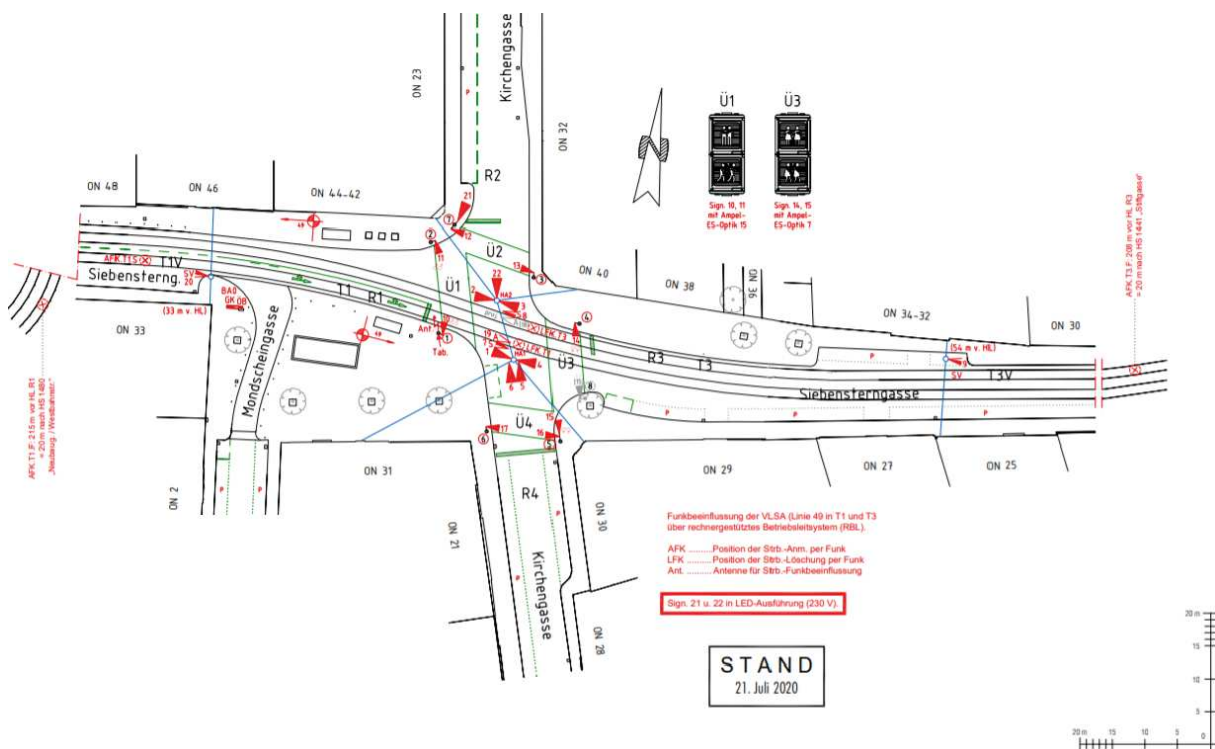
Abbildung 17 Signalzeitenplan mit Voreilung V12070, Quelle: Stadt Wien MA33 – V12070_BA_20161213



3.5.4 „Freiräumen“ der Station

Im innerstädtischen Bereich kommt es immer wieder vor, dass Gleiskörper auch vom MIV befahren werden. Daher kann es zu Situationen kommen, in denen die Haltestelle einer der Straßenbahnlinien, die vor einer VLSA liegt, vom MIV blockiert wird und daher kein Fahrgastwechsel stattfinden kann. Dies hat dementsprechend negative Auswirkungen auf die Pünktlichkeit der Straßenbahn. Um diesem Problem gegenzusteuern, gibt es die Möglichkeit, die Grünzeit für diese Relation zu verlängern. Wie im Beispiel der VLSA 07022 Siebensterngasse # Kirchengasse (Abbildung 18) zu erkennen ist, fahren sowohl die Straßenbahnrelation T1 als auch die MIV-Relation R1 auf derselben Fahrspur. (vgl. Stadt Wien MA33: V07022, S. 5f)

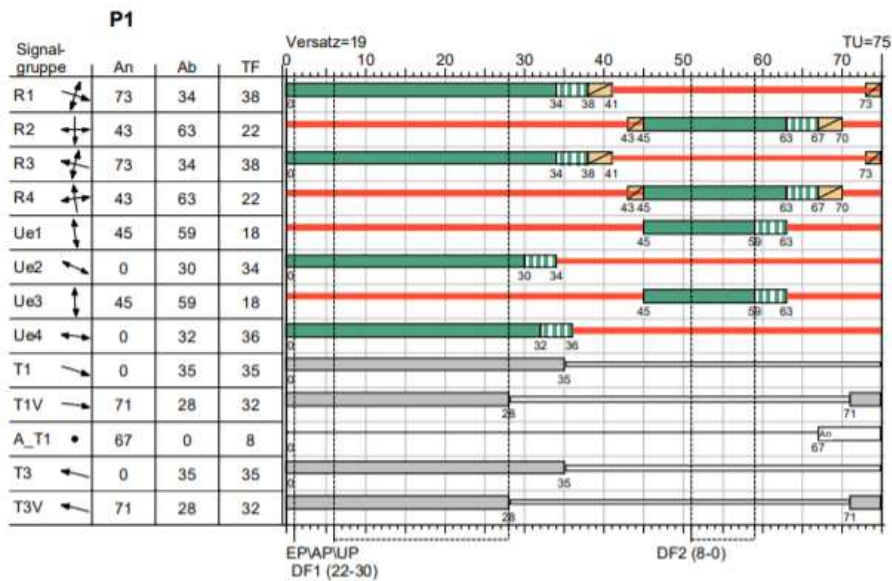
Abbildung 18 Signallageplan V07022, Quelle: Stadt Wien MA33 – V07022_BA_20200721



Die VLSA-Beeinflussung für dieses Plateau sieht wie folgt aus:

Die Straßenbahn T1 meldet sich mittels RBL 215m vor dem Kreuzungsplateau an. Sobald diese Anmeldung erfolgt, wird die Phase 1 (Siebensterngasse) um bis zu 8 Sekunden verlängert. Das bedeutet, die Grünzeit der Relationen R1 und T1 kann von 38 Sekunden bzw. 35 Sekunden auf 46 Sekunden bzw. 43 Sekunden erhöht werden. Passiert die Straßenbahn den Anmeldekontakt AFK2, wird die Phase 1 abgebrochen und die Phase 2 (Kirchengasse) geschaltet (Abbildung 19). In der Regel ist somit gewährleistet, dass die Straßenbahn ohne Behinderungen durch den MIV in ihre Station einfahren und der Fahrgastwechsel durchgeführt werden kann. (ebd.)

Abbildung 19 Signalzeitenplan V07022, Quelle: Stadt Wien MA33 – V07022_BA_20200721



PÜ 1.2 -> PÜ 2.1

Prüfe Voranmeldung von T1 in DF1:
 JA.....Verlängerung DF1 = DF1 + max. 8", DF2 = 8 bis 0 od. Stationsaufenthalt > 10s od. LF
 NEIN...weiter lt. SZP

Bei Hauptanmeldung von T1 in DF1 und Stationsaufenthalt < 10s:
 JA.....Abbruch Verlängerung DF1 und schalte in DF2
 NEIN...weiter lt. SZP

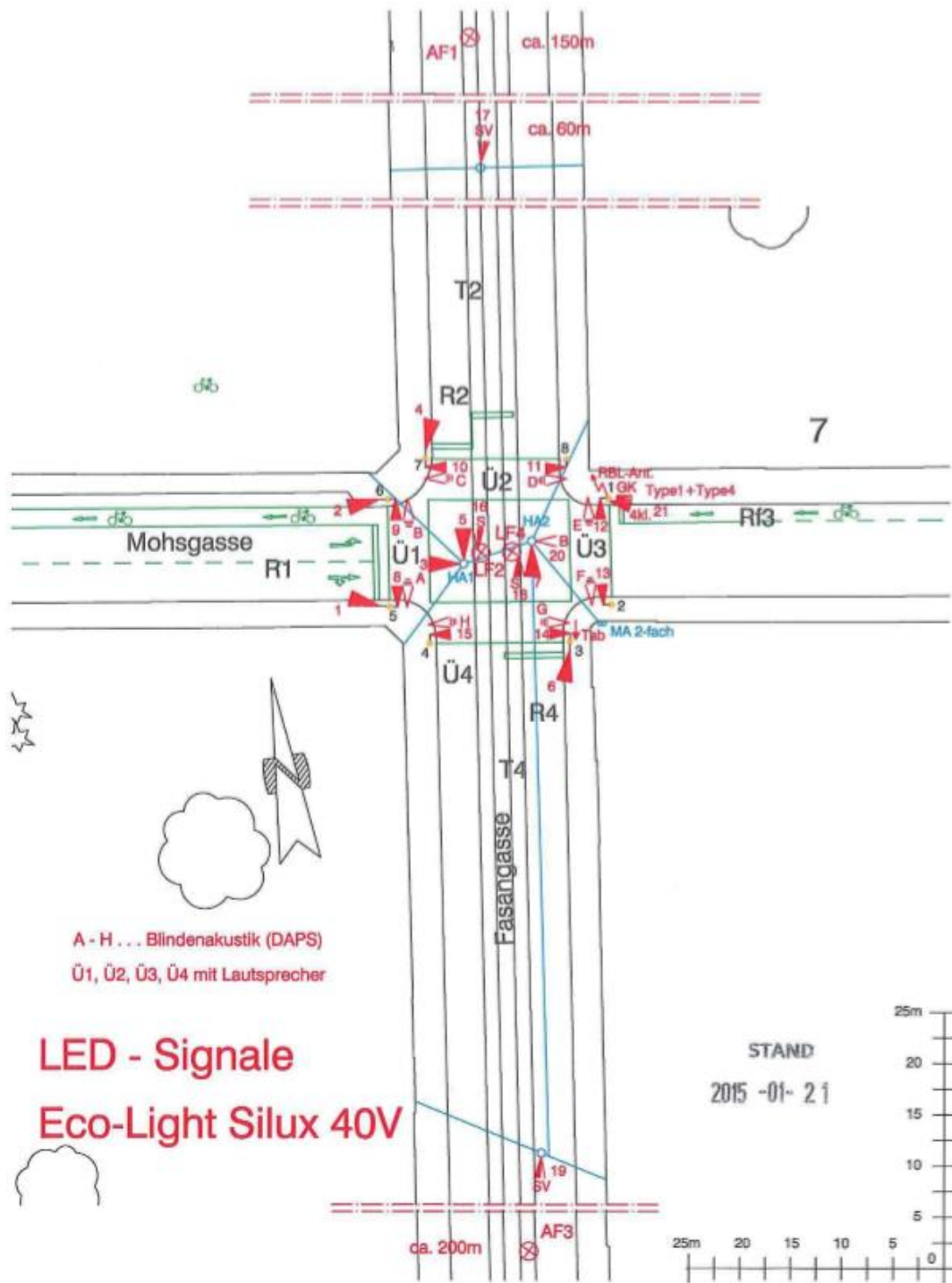
Prüfe Anm. T3 in DF1 und :
 JA.....Verlängerung DF1 = DF1 + max. 8", DF2 = 8 bis 0 od. LFK
 NEIN...weiter lt. SZP

Prüfe ANm T3 in DF2:
 JA.....DF2 = 0 oder Abbruch DF2
 NEIN...weiter lt. SZP

3.5.5 Verlängerung der Grünzeit

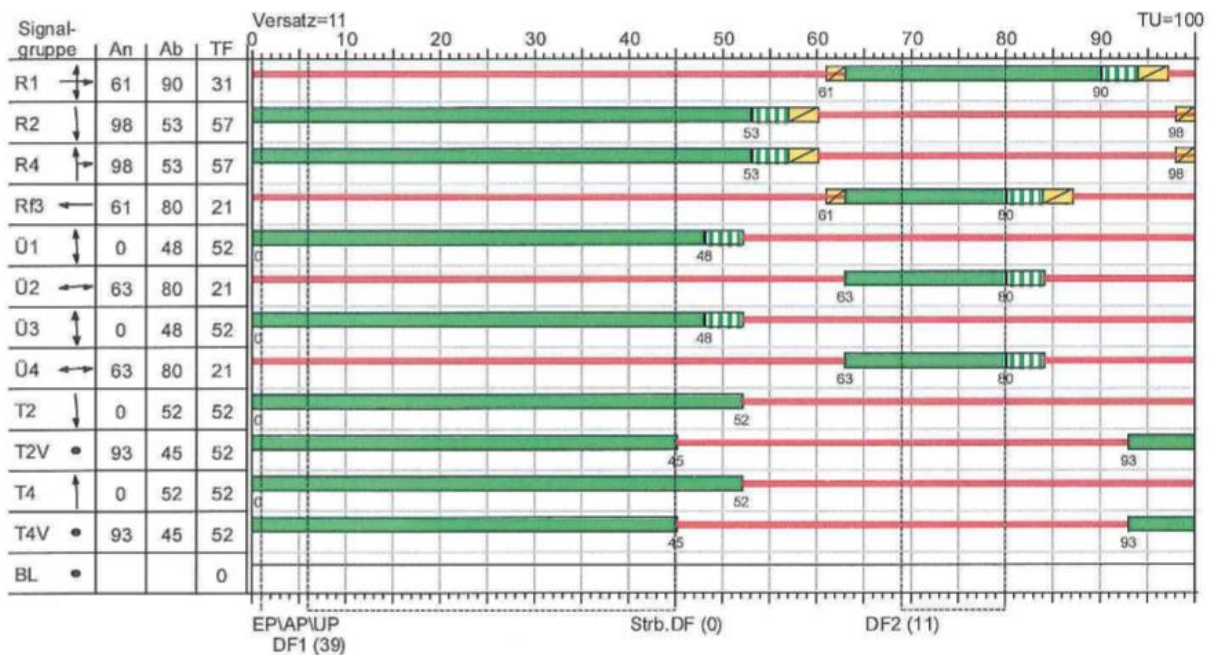
Befindet sich eine VLSA auf freier Strecke einer ÖV-Linie (= die ÖV-Linie hat keine Station bei der VLSA), so wird in der Regel eine Verlängerung der Grünzeit für die ÖV-Linie als Beschleunigung eingesetzt. Als Beispiel wird die VLSA 03003 Fasangasse # Mohsgasse betrachtet: Hier können sich beide Straßenbahnrelationen T2 und T4 die Grünzeit ihrer gemeinsamen Phase um bis zu 20 Sekunden verlängern. Damit kann ihre Grünzeit von 52 Sekunden auf maximal 72 Sekunden erhöht werden, (Abbildung 21) so dass die Straßenbahn ohne Halt die VLSA passieren kann. (vgl. Stadt Wien MA33: V03003, S. 4f)

Abbildung 20 Signallageplan V03003, Quelle: Stadt Wien MA33 – V03003_BA_20150121



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abbildung 21 Signalzeitenplan V03003, Quelle: Stadt Wien MA33 – V03003_BA_20150121



BL ... Blinker im Blinkbetrieb

Prüfe Anmeldung T2 (T2_AF1), T4 (T4_AF3) in DF1:

JA Verlängerung "Strb.DF" von 0-20 Sekunden oder vorzeitiger Abbruch durch T2_LF2 und/oder T4_LF4
 -> Ausgleich in nächstfolgender DF2 und im nächsten Umlauf in DF1

NEIN ... weiter laut Signalzeitenplan

3.5.6 Abbruch der Querrichtung

Der ÖPNV hat nicht nur Auswirkungen auf seine eigenen Phasen, sondern kann auch die Phasen der feindlichen Relationen beeinflussen. Liegt bei der VLSA 03025 Ungargasse # Beatrixgasse eine Straßenbahnanmeldung der Relationen T1 oder T3 während der Phase 2 (Grün für die Beatrixgasse) vor, so kann diese um bis zu 14 Sekunden verkürzt werden. Somit hätten die MIV-Relationen R2 und R4 statt 30 Sekunden nur noch 16 Sekunden Grün und es wird somit frühzeitig auf die Grünphase der Straßenbahn geschaltet. (vgl. Stadt Wien MA33: V03025, S. 10f)

Abbildung 22 Signallageplan V03025, Quelle: Stadt Wien MA33 – V03025_BA_20160512

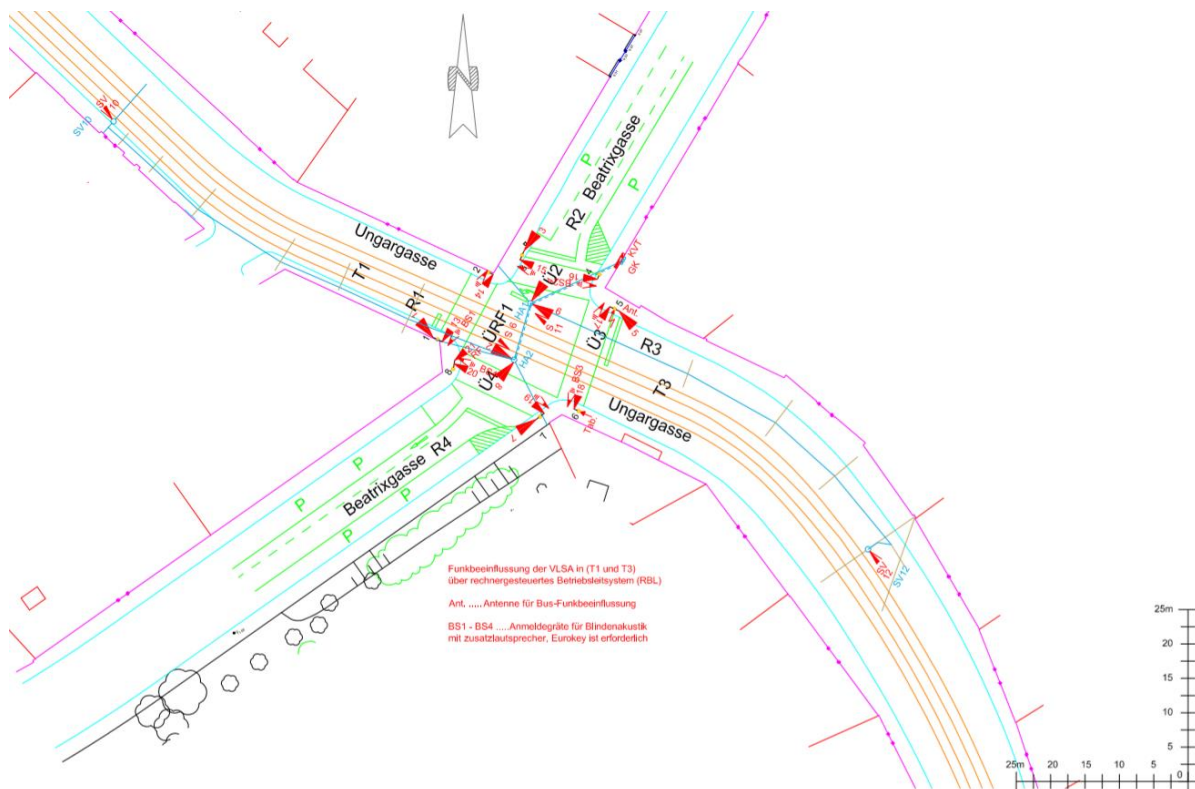
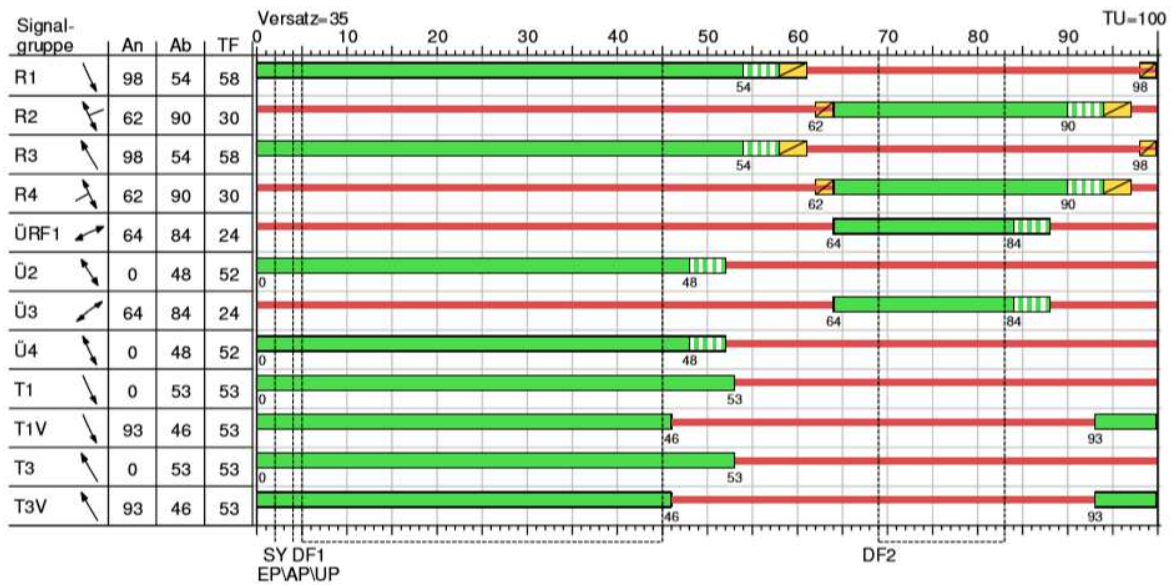


Abbildung 23 Signalzeitenplan V03025, Quelle: Stadt Wien MA33 – V03025_BA_20160512



Anmeldung T1/T3 in DF1:

- Ja Verlängerung DF1 um max. 14 Sekunden
DF2 wird um entspr. Betrag gekürzt
- Nein weiter laut Plan

Anmeldung T1/T3 in DF2:

- Ja Kürzung DF2 um max. 14 Sekunden
DF2 wird im nächsten Umlauf um entspr. Betrag verlängert
- Nein weiter laut Plan

3.5.7 Schalten der Querrichtung

Im Gegensatz zum Abbruch der Querrichtung gibt es auch die Möglichkeit, dass der ÖPNV seine eigene Phase abbricht und den feindlichen Relationen Grün schaltet. Bei der hier beispielhaft angeführten VLSA 09013 Liechtensteinstraße # Berggasse fahren die Busse mit den Relationen R1 und R3 mit. Liegt nun eine Anmeldung eines Busses vor, wird die eigene Phase abgebrochen und die feindlichen Relationen (Berggasse) erhalten Grün. Gleichzeitig wird aber auch die Grünzeit der Querrichtung um 22 Sekunden gekürzt. (vgl. Stadt Wien MA33: V09013, S. 10f)

In diesem Fall sind die Stationen der Busse vor der VLSA, weshalb der Abbruch der eigenen Phase durchaus Sinn macht, weil der Fahrgastwechsel ohnehin durchgeführt werden muss und somit den Fahrgästen auf der anderen Straßenseite die Chance gegeben wird, den Bus noch zu erreichen.

Abbildung 24 Signallageplan V09013, Quelle: Stadt Wien MA33 – V09013_BA_20170906

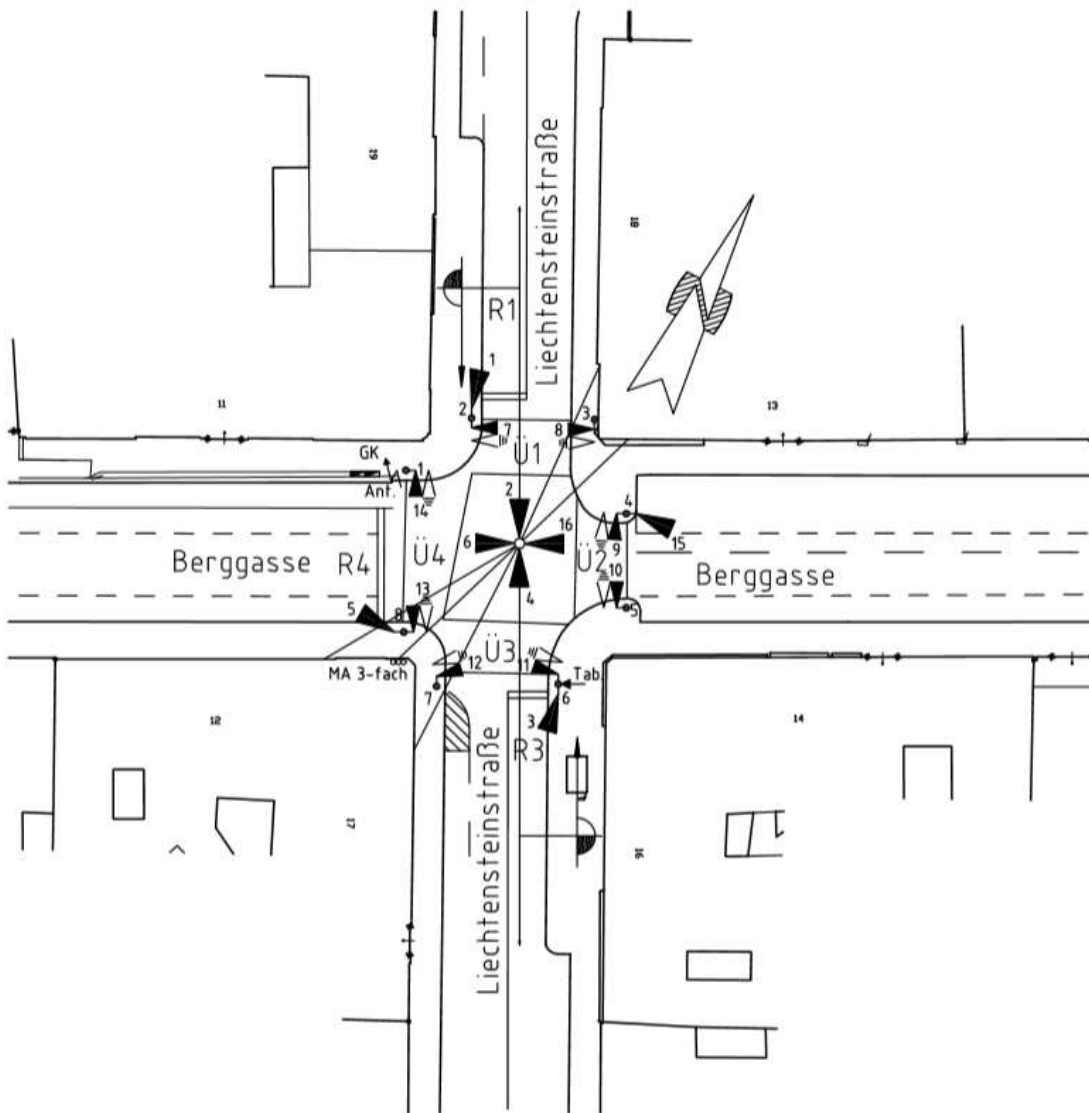
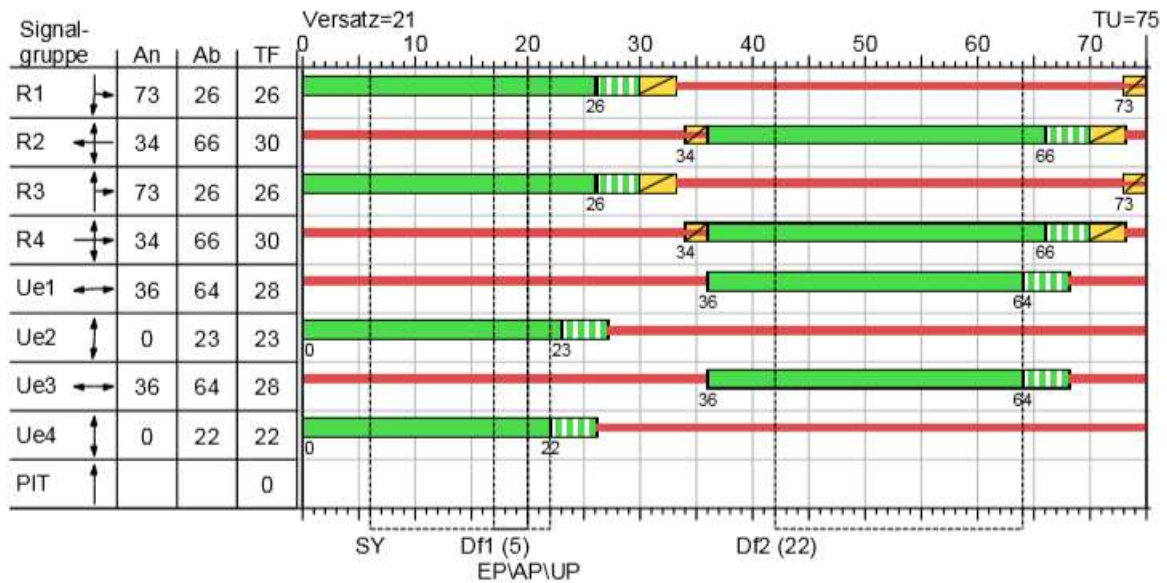


Abbildung 25 Signalzeitenplan V09013, Quelle: Stadt Wien MA33 – V09013_BA_20170906



Prüfe BUS-Anmeldung B1, B3 in Df1:
 JA Df1 = 0 oder sofortiger Abbruch
 nachfolgende Df2 = 0
 NEIN ... weiter laut Signalzeitenplan

Prüfe BUS Anmeldung B1, B3 in Df2:
 JA Df2 = 0 oder sofortiger Abbruch
 NEIN ... weiter laut Signalzeitenplan

3.6 Bauliche Beschleunigungsmaßnahmen Straßenbahn

Neben den im Punkt 3.5 beschriebenen softwaretechnischen Maßnahmen zur Beschleunigung des ÖPNVs, gibt es auch bauliche Maßnahmen zur Bevorrangung. Für die Straßenbahn sehen diese wie folgt aus:

3.6.1 Eigener Bahnkörper

Dabei handelt es sich um einen Schienenverkehrsweg, auf dem sich nur die Straßenbahn fortbewegen kann. Er ist aufgrund seiner straßenverkehrstechnischen Einrichtungen und straßenverkehrsrechtlichen Angelegenheiten unabhängig von den restlichen Verkehrsmodi. (vgl. RVS 02.03.11, S. 3) Somit bietet der eigene Bahnkörper die höchste Qualität für die Straßenbahn, da sie nur noch bei Haltestellen und VLSAn stehen bleiben muss. Die Beeinflussung der VLSA soll zu einer ÖPNV-Optimierung führen und somit auch die Reisezeit verkürzen. (vgl. RVS 02.03.11, S. 6)

Abbildung 26 Eigener Bahnkörper, eigene Aufnahme



3.6.2 Selbstständiger Gleiskörper

Dieser Gleiskörper ist durch bauliche Einrichtungen von anderen Fahrbahnen bzw. Verkehrsflächen getrennt. Unter baulich trennenden Einrichtungen fallen beispielsweise Längsschwellen, Poller oder Ähnliches (vgl. RVS 02.03.11, S. 3f). Dennoch kann es hier – im Gegensatz zum eigenen Bahnkörper – zu Behinderungen für die Straßenbahn kommen, die eine Verzögerung der Reisezeit verursachen. Um einen weitgehend reibungslosen Straßenbahnbetrieb zu ermöglichen, gibt es folgende bauliche Maßnahmen:

- Bordsteine und Längsschwellen:

Durch Bordsteine kann eine Abgrenzung zwischen der Fahrbahn und dem Gleiskörper auf verschiedenen Höhenniveaus hergestellt werden. Im Gegensatz dazu liegt bei Längsschwellen ein gleiches Höhenniveau vor. Die beiden Varianten können sowohl als nicht überfahrbar oder (im Notfall) überfahrbar für andere Fahrzeuge ausgeführt werden.

- Vertikale Abgrenzungselemente:

Darunter versteht man Poller, Zäune, Geländer oder Ähnliches. Sie dienen entweder allein oder in Kombination mit Bordsteinen als Abgrenzung. (vgl. RVS 02.03.11, S. 6)

Abbildung 27 Selbstständiger Gleiskörper mit Längsschwellen, eigene Aufnahme



3.6.3 Straßenbündiger Gleiskörper

Besteht keine Möglichkeit zu einer baulichen Abtrennung, wird ein straßenbündiger Gleiskörper errichtet. Hier ist davon auszugehen, dass die Straßenbahn durch andere Fahrzeuge behindert werden kann. Diese Behinderungen können unter anderem folgende Ursachen haben:

- *Stop-and-go-Verkehr auf dem Gleis*
- *Rückstau vor VLSA*
- *Wartende Abbieger auf dem Gleiskörper*
- *Häufige Parkvorgänge*
- *Behinderungen im Begegnungsfall insbesondere mit LKW und Bussen infolge zu schmaler Fahrbahnquerschnitte*
- *Behinderungen durch parallel fahrende Radfahrer*innen, die von der Straßenbahn nicht überholt werden können. (vgl. RVS 02.03.11, S. 6-9)*

Durch folgende Maßnahmen können Reisezeitverluste minimiert werden:

- **Fahrstreifenbreite:**
Eine ausreichende Fahrstreifenbreite ist nötig, damit die Straßenbahn einerseits ohne Behinderung Radfahrer*innen überholen kann und andererseits genügend Platz bei Begegnungen mit LKWs und Bussen vorfindet. Die maximal zulässige Geschwindigkeit für den Begegnungsverkehr ist abhängig von der Fahrbahnbreite.
- **Dauerhafte Abtrennung vom übrigen Fahrzeugverkehr:**
Eine ungehinderte Fahrt der Straßenbahn kann nur erreicht werden, wenn sie vom übrigen Fließverkehr so getrennt wird, dass sie die Fahrgeschwindigkeit nicht reduzieren muss. Dies kann durch folgende Maßnahmen geschehen:
 - Sperrlinien und Sperrflächen
 - Leit- und Warnlinien
 - Abgetrennte Führung von Radfahrer*innen
- **Temporär verfügbare eigene Fahrstreifen:**
Hierbei handelt es sich um Fahrstreifen, deren Nutzung (auch abschnittsweise) temporär nur der Straßenbahn erlaubt ist. Dies kann durch Verordnungen oder Fahrstreifensignale umgesetzt werden.
- **Vorgelagerte VLSA zur Dosierung des zufließenden Kfz-Verkehrs:**
Eine VLSA drosselt in Mischverkehrsbereichen die einfahrenden Fahrzeuge sobald sich eine Straßenbahn der VLSA nähert.
- **Vorausende Beeinflussung von VLSA zur Abflusssteigerung.**
(ebd.)

Sollte es zu einem Rückstau vor einer VLSA kommen, so kann bei Bedarf die Grünphase entsprechend verlängert werden, damit die Straßenbahn ungehindert einfahren kann. Dabei ist darauf zu achten, dass andere Verkehrsströme, in denen auch ÖPNV-Linien fahren, nicht ausgebremst werden. (ebd.)

Abbildung 28 Straßenbündiger Gleiskörper, eigene Aufnahme



3.6.4 Vorrangregelungen und unvollständige VLSA

Bei unregelmäßigen Kreuzungen sind die Vorrangverhältnisse so anzupassen, dass sie zugunsten der Straßenbahn ausgelegt sind. Durch eine unvollständige VLSA kann der Straßenbahn ebenfalls ein Vorrang eingerichtet werden, indem bei einer finsternen Anlage dem konkurrierenden Verkehrsstrom rotes Licht signalisiert wird. (vgl. RVS 02.03.11, S. 10)

3.6.5 Punktuelle verkehrsorganisatorische Maßnahmen

Kommt es an besonderen Punkten im Straßen- und Streckennetz immer wieder zu Behinderungen der Straßenbahn, können

- *geänderte Verkehrsführungen,*
- *Fahrtrichtungsgebote oder*
- *Beschränkungen wie etwa Abbiegeverbote oder Ähnliches angewandt werden. (RVS 02.03.11, S. 10)*

3.6.6 Gestaltung von Querungen

- Querungen selbstständiger und straßenbündiger Gleiskörper durch Fahrzeugverkehr: Grundsätzlich dürfen andere Fahrzeuge einen selbstständigen Gleiskörper queren. Jedoch ist darauf zu achten, dass diese Querungsmöglichkeiten auf VLSA-geregelte Kreuzungen konzentriert wird. Ist es dennoch nötig, an anderen Stellen eine Querungsmöglichkeit zu schaffen, ist die Anzahl an Querungen so gering wie möglich zu halten.
- Querungen selbstständiger Gleiskörper durch Fuß- und Radverkehr: Fußgänger*innen und Radfahrer*innen haben durchaus flächenhafte Querungsbedürfnisse, welche grundsätzlich nicht baulich unterbunden werden sollen. Eine Konzentration der Anbindungspunkte sollte dennoch forciert werden. (vgl. RVS 02.03.11, S. 10)

3.7 Bauliche Beschleunigungsmaßnahmen Bus

Dieselben speziellen Ausführungen und verkehrsorganisatorische Maßnahmen, die für die Straßenbahn aufgezählt wurden, gelten grundsätzlich auch für den Bus. Das gilt ebenso für die Beeinflussungen an Verkehrslichtsignalanlagen. Anders als die Straßenbahn fährt der Bus aber in der Regel mit dem Mischverkehr mit. Bei hohem Verkehrsaufkommen kann dies zu Verzögerungen und Behinderungen führen, welche durch folgende Maßnahmen verringert werden können:

3.7.1 Eigene Straßen und Fahrstreifen für Omnibusse (Busfahrstreifen)

Busfahrstreifen können angewandt werden, wenn:

- dafür geeignete Straßen bzw. Fahrstreifenbreiten zur Verfügung stehen,
- keine Konflikte im Zusammenhang mit der diesbezüglichen StVO-Regelungen bestehen,
- auf diesem Abschnitt keine weiteren als die gesetzlich verankerten Verkehrsteilnehmer*innen in Form von Ausnahmen für die Benutzung zugelassen werden. (RVS 02.03.11, S. 11f)

Es besteht die Möglichkeit Busfahrstreifen temporär, beispielsweise zu Hauptverkehrszeiten, zu verordnen, wodurch z. B.: das Halten und Parken außerhalb dieser Zeiten gestattet wäre. Weiters wird eine Mindestbreite von 3,5 m vorgeschrieben, wenn Busfahrstreifen zwischen einem Fahrstreifen in gleicher Richtung und einem Parkstreifen liegen. Dürfen Radfahrer*innen den Busfahrstreifen mitbenutzen, so sind in der Regel Breitenzuschläge anzuwenden. Ist dies nicht möglich, so ist die Mitbenutzung nur bei schwachen

Radverkehrsstärken vorgesehen, da ansonsten die Beschleunigungsmaßnahme verloren geht. (ebd.)



3.7.2 Befahren des Gleiskörpers durch Busse

Benutzt der Bus den Gleiskörper einer Straßenbahn mit, so ist darauf zu achten, dass im Begegnungsfall und bei zulässiger Höchstgeschwindigkeit die erforderlichen Sicherheitsabstände, Bogenzuschläge und Fahrflächenverbreiterungen vorhanden sind. (vgl. RVS 02.03.11, S. 12)

3.8 Maßnahmen bei Störungen

Wie bereits in Punkt 3.3 angeführt, legen die Wiener Linien Fahrplantreue mit +/- 2 Minuten aus. Jedoch wird das Fahrpersonal von Bussen und Straßenbahnen, sobald das von ihnen gelenkte ÖV-Fahrzeug eine Fahrplanabweichung aufweist, vom RBL darauf hingewiesen – das Fahrpersonal sieht auf einem Display, ob und um wie viele Minuten sie vom Fahrplan abweichen. Bei Verspätungen bzw. Verfrühungen wird dies mit einem „+“ bzw. „-“ und der Minutenanzahl angezeigt. Ist das Fahrzeug pünktlich, ist ein „=“ auf dem Display zu sehen. Überschreitet die Fahrplanabweichung die 4-Minuten-Grenze, wird der zuständige Disponent in der Leitzentrale aktiv. Dieser kann dann diverse Maßnahmen einleiten, um dieser Unpünktlichkeit gegenzusteuern. (vgl. Interview Luksch, 05.2020)

Maßnahmen bei Verspätung / Ausfall einer Garnitur oder bei Störungen können wie folgt aussehen:

- Der Bus bzw. die Straßenbahn, die vor der unpünktlichen Garnitur fährt, kann sich zurückfallen lassen. Dadurch baut ein im Grunde pünktlicher Zug zwar eine Verspätung auf, jedoch wird die Regelmäßigkeit wieder verbessert. (ebd.)
- Die hintere Garnitur kann „aufholen“. Natürlich muss sich das Fahrpersonal an die Geschwindigkeitsgrenzen halten, jedoch kann sich die Fahrzeit durch wenig Verkehr oder einer vorteilhaften VLSA-Schaltung verkürzen und anstatt in der Station zu warten, um die Verfrühung abzubauen, kann der Zug ein paar Minuten aufholen. Somit kann die Regelmäßigkeit verbessert werden. (ebd.)

Kurzführungen sind eine weitere Möglichkeit zur (Wieder-)Herstellung der Regelmäßigkeit eines Fahrplans. Dabei werden ÖV-Linien an zuvor definierten Stellen auf der Stammstrecke in eine Umkehrschleife geführt, um dann in die andere Richtung weiterzufahren. (vgl. WL Störungsszenarien Linie 46)

- Bei Ablenkungen wird die ÖV-Linie auf eine andere Route gelenkt. Dabei werden zwar die Endhaltestellen angefahren, dazwischen fahren sie aber nicht auf der Stammstrecke, sondern auf einer anderen Route. (ebd.)
- Ist eine ÖV-Linie massiv in ihrer Routenführung eingeschränkt, kann es vorkommen, dass eine andere ÖV-Linie verlängert wird, um die bei eingeschränkter Route nicht angefahrenen Haltestellen zu bedienen.
(ebd.)

In der Regel geht es bei all diesen Maßnahmen nicht darum die Pünktlichkeit der einzelnen Fahrzeuge wiederherzustellen, sondern um die Herstellung der Regelmäßigkeit des Fahrplans.

4 Cooperative Intelligent Transport System (C-ITS)

Unter C-ITS versteht man kooperative intelligente Verkehrssysteme. Sie basieren auf vernetzter Datenkommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur. Die Kommunikation von Fahrzeugen mit anderen Kommunikationseinheiten wird unter dem Begriff V2X (Vehicle to X) zusammengefasst. Hierbei unterscheidet man zwischen V2I (Fahrzeug zu Infrastruktur Kommunikation) und V2V (Fahrzeug zu Fahrzeug Kommunikation). (vgl. BMVIT / BMK Juni 2016, S. 5)

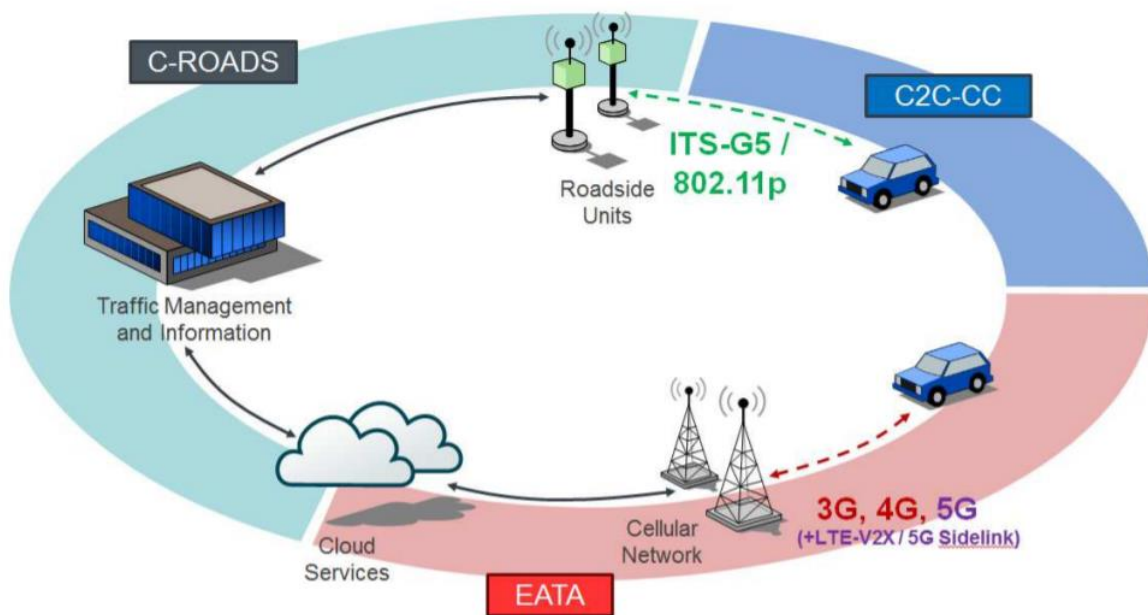
In Österreich gibt es eine eigene Gesetzesgrundlage für intelligente Verkehrssysteme. Das IVS-Gesetz soll Unterstützung für eine koordinierte Einführung und Nutzung von intelligenten Verkehrssystemen bieten. (vgl. Bundeskanzleramt Österreich Nr. 38/2013, S. 2)

Die europäische Kommission hat durch eine Rechtssetzung die Funkfrequenzen im Bereich von 5,9 GHz für C-ITS reserviert. Dadurch gibt es für die ganze Europäische Union dieselbe Standardfrequenz, über die C-ITS-Nachrichten versendet werden können. Dieses Versenden und Empfangen von Nachrichten wird mittels Cooperative Awareness Message (CAM) umgesetzt. Dabei werden Informationen, unter anderem Daten zur aktuellen Geschwindigkeit, Bewegungsrichtung und Position, im Millisekundenbereich ausgetauscht. (vgl. BMVIT / BMK Juni 2016, S. 5-6)

Die C-ITS Technologie bietet zwei verschiedene Arten der Datenübertragung. In beiden Fällen benötigt man eine Verkehrsleitzentrale, die sowohl Daten sendet als auch empfängt. Ausgehend von dieser können zwei Wege gegangen werden:

- Die Daten werden mittels einer Roadside-Unit (RSU) über das geschützte Frequenzband an die Fahrzeuge übertragen. Die RSUs sind stationäre oder mobile Einheiten die entlang der Straßen bzw. der Infrastruktur (z. B.: öffentliche Beleuchtung) montiert sind. Sobald die Fahrzeuge in den betroffenen Streckenabschnitt einfahren, bekommen sie die Meldung der Verkehrsleitzentrale übermittelt. Die Fahrzeuge schicken dann ebenfalls eine Nachricht an die RSU und diese leitet sie weiter an die Verkehrsleitzentrale. Auf diese Weise können sowohl die Verkehrsleitzentrale als auch das Fahrzeug Daten senden und empfangen.
- Der andere Weg geht über das Funknetz der Telekommunikationsanbieter. Hier werden die Daten an eine Cloud geschickt und diese leitet sie über das Funknetz an die Fahrzeuge weiter. Dabei werden die Daten über die gängige 4G-Technologie versendet. Sobald es einen flächendeckenden 5G-Ausbau gibt, können die Daten dementsprechend schneller übertragen werden. Auch hier können in beide Richtungen (Verkehrsleitzentrale ↔ Fahrzeug) Daten übertragen werden. (vgl. C-Roads 09/2017, S. 3ff)

Abbildung 30 Cooperation model to cover the full value chain of C-ITS, Quelle: C-Roads 09.2017



4.1 Einsatzgebiet von C-ITS / Warum C-ITS?

Eines der Hauptziele von C-ITS ist die Erhöhung der Verkehrssicherheit aller Verkehrsteilnehmer*innen durch Übermittlung rascher und präziser Warnungen. So können die Ermittlungen von Störungen im Verkehr, Stauwarnungen oder auch gefährliche Witterungsbedingungen schnell an die Verkehrsteilnehmer*innen, die sich im betroffenen Streckenabschnitt befinden, gesendet werden. Der Vorteil der raschen Übertragung von Verkehrsinformationen an alle Betroffenen ist deshalb gegeben, da diese Technologie die einzige ist, die eine direkte Verbindung mit der Verkehrsleitzentrale hat. (vgl. BMVIT / BMK Juni 2016, S. 6)

Neben der Verkehrssicherheit werden auch andere Ziele wie beispielsweise die Priorisierung des öffentlichen Verkehrs verfolgt. Durch die Ausstattung mit C-ITS können verschiedene Parameter des Fahrzeugs, wie zeitlicher Fahrplan oder Besetzungsgrad, sowie der Signalzustand der VLSA eruiert werden, um dadurch eine entsprechende Freiphase für die Durchfahrt anzufordern. Durch diese Art der Beeinflussung können Emissionen verringert und gleichzeitig der ÖPNV attraktiver gestaltet werden. (vgl. BMVIT / BMK Juni 2016, S. 13)

Das Ziel der Verbesserung des ÖPNVs bildet die Grundlage für diese Arbeit. Denn die Anwendungsfelder von C-ITS sind hauptsächlich für den MIV ausgelegt und nur ein Teil davon ist, wie im Folgenden zu sehen sein wird, für den ÖV relevant.

Die aktuell verfügbaren bzw. bereits ausspezifizierten Anwendungen, sogenannte „Day 1 Applications“, werden so definiert, dass sie sowohl auf der Fahrzeug- als auch Infrastrukturseite ein breites Einsatzgebiet abdecken. Die Liste bietet folgende Anwendungen für Day 1:

- *Hazardous location notifications:*
 - *Slow or stationary vehicle(s) & traffic ahead warning;*
 - *Road works warning;*
 - *Weather conditions;*
 - *Emergency brake light;*
 - *Emergency vehicle approaching;*
 - *Other hazards.*
- *Signage applications:*
 - *In-vehicle signage;*
 - *In-vehicle speed limits;*
 - *Signal violation / intersection safety;*
 - *Traffic signal priority request by designated vehicles;*
 - *Green light optimal speed advisory;*
 - *Probe vehicle data;*
 - *Shockwave damping (falls under European Telecommunication Standards Institute (ETSI) category 'local hazard warning').*
(Europ. Kommission Nov. 2016, S. 6)

Diese 13 Anwendungsmöglichkeiten von C-ITS greifen in viele alltägliche Situationen ein und können vor gefährlichen Situationen warnen. Für die Optimierung des ÖPNVs sind vor allem die Punkte traffic signal priority request by designated vehicles (TSP) und green light optimal speed advisory (GLOSA) wichtig.

Die erstere der beiden Anwendungen ist für die Beeinflussungen von VLSA zuständig. Zur Beeinflussung gehört auch eine Priorisierung zwischen den unterschiedlichen Fahrzeugen der ÖV-Linien zu bestimmen. Denn ist ein Fahrzeug beispielsweise verfrüht und ein anderes verspätet, so kann mit TSP entschieden werden, welches der beiden zuerst die VLSA beeinflussen kann.

Bei GLOSA gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten der Anwendung. Einerseits kann dem Fahrpersonal angezeigt werden wie lange die VLSA noch Grün hat und wie schnell es fahren muss, um noch bei Grün zur VLSA zu kommen. Für den Fall, dass die VLSA Rot anzeigt, kann via GLOSA dem Fahrpersonal mitgeteilt werden, dass es die Geschwindigkeit drosseln soll, sodass die VLSA zu Grünbeginn erreicht wird. Andererseits kann auch die Zeit angezeigt werden, wie lange noch Rot ist.

Dadurch weiß das Fahrpersonal, ob es sich beim Fahrgastwechsel Zeit lassen oder diesen in normaler Manier abwickeln kann.

Ein weiterer Punkt, der zu Verbesserungen führen kann, ist *slow or stationary vehicles & traffic ahead warning*. Die Information, ob Fahrzeuge auf der ÖV-Linie langsamer fahren bzw. zum Stehen gekommen sind, ist wichtig für das Fahrpersonal. Somit kann es die Geschwindigkeit bereits früher als gewohnt (bisher nur auf Sicht) reduzieren und dadurch Auffahrunfälle oder abrupte Bremsmanöver, die für Fahrgäste gefährlich werden können, verhindern. Für den Disponenten spielen diese Informationen ebenfalls eine große Rolle. Denn dieser kann schneller reagieren und ÖV-Linien ablenken bzw. das Fahrpersonal über mögliche Behinderungen in Kenntnis setzen.

In der zweiten Phase von C-ITS gibt es noch weitere Anwendungsmöglichkeiten. Diese sind unter der *Day 1,5 Applications* aufgelistet:

- *Information on fuelling & charging stations for alternative fuel vehicles;*
- *Vulnerable road user protection;*
- *On street parking management & information;*
- *Off street parking information;*
- *Park & ride information;*
- *Connected & cooperative navigation into and out of the city (first and last mile, parking, route advice, coordinated traffic lights);*
- *Traffic information & smart routing.*

(Europ. Kommission Nov. 2016, S. 6)

Diese sind für die Optimierung des ÖPNVs nicht so relevant wie die *Day 1* Anwendungen, daher wird auf diese auch nicht genauer eingegangen.

4.2 Anwendungen von C-ITS

Bereits im Jahr 2013 haben sich die Niederlande, Deutschland und Österreich auf einen gemeinsamen Länderkorridor geeinigt, in welchem es zwischen Rotterdam-Frankfurt-Wien zu einem großangelegten Einsatz von C-ITS auf Autobahnen kommen soll. Entlang dieses Korridors, sollen drei Dienste angeboten werden: Road Works Warning (RWW), Probe Vehicle Data (PDV) sowie CAM Aggregation. Seit 2019 wird an der Umsetzung dieses Vorhabens gearbeitet, da bis dahin noch Detailspezifikationen erstellt und verschiedene Tests durchgeführt werden mussten. (vgl. BMVIT / BMK Juni 2016, S. 15-16)

Durch diese drei Dienste soll vor allem die Verkehrssicherheit erhöht werden. Die RWW soll dazu dienen, auf mobile Baustellen auf Autobahnen aufmerksam zu machen, da es bei diesen öfters zu Unfällen kommt als bei stationären Baustellen. Somit werden durch lokale Warnungen sowohl die Autofahrer als auch das Personal auf den Baustellen besser geschützt. Mittels PVD oder CAM Aggregation sind die Infrastrukturanbieter besser über die Lage auf den Straßen informiert als bisher und können bei bestimmten Situationen präzisere Warnungen an die Fahrzeuge übermitteln. (vgl. BMVIT / BMK Juni 2016, S. 16)

Jedoch gibt es in Österreich bisher keine C-ITS-Anwendung für den ÖPNV. Aus diesem Grund werden in den folgenden Abschnitten C-ITS-Projekte mit Bezug zur Verbesserung des ÖPNVs in anderen Ländern untersucht.

4.2.1 Brünn

Die tschechische Stadt Brünn hat eines der größten C-ITS-Projekte umgesetzt. In drei Projekten wurden 750 ÖPNV-Fahrzeuge und 92 VLSA mit C-ITS ausgestattet. Dabei wurden die Dienste ÖPNV-Priorisierung, Annäherung eines Einsatzfahrzeuges, GLOSA, Warnnachrichten und Direktnachrichten im Fahrzeug umgesetzt. Weiters wurden noch 25 RSUs auf der Autobahn verbaut und 30 Warnanhänger bzw. 40 Einsatzfahrzeuge mit C-ITS ausgerüstet. (vgl. Cross 2020, S. 14)

Im Vergleich zu anderen internationalen Projekten hat Brno einen wesentlich größeren Ansatz gewählt. Zunächst wurde ein Parallelbetrieb der alten Radiotechnologie und der neuen C-ITS-Technologie erprobt. Nach erfolgreicher Testphase wurde das überalterte Radiosystem durch C-ITS ersetzt. Somit ist die ÖPNV-Priorisierung in Brno auf dem neusten Stand der Technik. (vgl. Cross 2020, S. 16)

Die Stadt Brünn ist somit ein Vorreiter für die Umrüstung auf C-ITS. Es wurden alle betroffenen VLSAn sowie die ÖV-Linien mit C-ITS ausgestattet. Dies ist ein enormer Aufwand und auch mit hohen finanziellen Mitteln verbunden, welche die Stadt jedoch auf sich genommen hat, um zu einer der innovativsten in Sachen ÖPNV-Beeinflussung in Europa zu werden.

4.2.2 Düsseldorf

In der deutschen Stadt Düsseldorf wurde im Jahr 2019 das Projekt kooperative Mobilität im digitalen Testfeld Düsseldorf (KoMo:D) abgeschlossen. In diesem Projekt wurden mehrere Gebiete in der Stadt mit C-ITS-Infrastruktur ausgestattet, um die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten dieser Technologie zu testen und einzusetzen. Einer davon ist die ÖPNV-Priorisierung. (vgl. Stadt Düsseldorf, KoMo:D)

In einem kleinen Gebiet in Düsseldorf wurden fünf VLSAn mit C-ITS ausgestattet, um eine Priorisierung einer Buslinie zu implementieren. Es wird nicht nur die VLSA beeinflusst, sondern es wird im Bus auch angezeigt, wie lange die Relation des Busses an der VLSA noch Grün hat bzw. wie schnell er fahren muss um das Kreuzungsplateau ohne Aufenthalt passieren zu können. Sollte der Bus trotz Beeinflussung bei der VLSA zum Stehen kommen, wird ihm angezeigt, wie lange seine Wartezeit auf Grün ist. (vgl. Interview Hilgers, 09.2020)

Es wird somit versucht eine Alternative zu den herkömmlichen Beeinflussungsarten – wie RBL – zu implementieren. Um einen flächendeckenden Einsatz von C-ITS zu ermöglichen, müssen noch weitere Tests und Verbesserungen am bestehenden System durchgeführt werden. (ebd.)

4.2.3 Kassel

Von 2017 bis 2019 wurde in der deutschen Stadt Kassel das Projekt VERONIKA – Vernetztes Fahren des öffentlichen Nahverkehrs in Kassel umgesetzt. In diesem Projekt ging es vor allem um ein energiesparendes Fahrverhalten und um eine Verbesserung der VLSA-Steuerung. Es wurden 15 VLSAn und Busse sowie Straßenbahnen mit C-ITS ausgestattet. (vgl. Stadt Kassel, VERONIKA)

In Kassel werden ähnlich wie in Wien Datentelegramme versendet, die auf den VDV-Richtlinien basieren. Da diese Technologie aus den Achtzigerjahren stammt, ist sie technisch überholt und es braucht innovativere Ansätze – weshalb das Projekt VERONIKA entstand. Es wurden sowohl die Beeinflussungen an VLSAn also auch die Anzeige wie lange noch Grün ist, umgesetzt. C-ITS wurde parallel zu der bestehenden Technologie eingesetzt und es wurde bewiesen, dass es als sehr gute Alternative eingesetzt werden kann. Darüber hinaus kann C-ITS schrittweise implementiert werden, wodurch die Umrüstung nicht auf einmal vonstattengehen muss, sondern über mehrere Jahre hinweg geschehen kann. (ebd.)

4.2.4 Stakeholder Wien

In Wien gibt es verschiedene Akteur*innen die für C-ITS verantwortlich sind. Zum einen die Magistratsabteilung Wien leuchtet, die als Infrastrukturanbieter die RSUs zur Verfügung stellen muss. Sie gibt auch die Anwendungen vor, welche die RSUs besitzen sollen. Daher ist es wichtig, sich mit den anderen Stakeholdern wie mit den Wiener Linien genauestens zu koordinieren. Es hat keinen Sinn, wenn die Stadt Wien C-ITS-Dienste anbietet, die von den WL nicht genutzt werden können. Daher sind die WL neben der MA Wien leuchtet ein wichtiger Akteur. Denn diese müssen ebenfalls entscheiden, welche Dienste sie von C-ITS nutzen wollen und auch in ihren Fahrzeugflotten einbauen.

Neben diesen beiden ist AustriaTech ebenfalls ein weiterer Stakeholder. AustriaTech ist sozusagen der Projektleiter im Namen des Bundesministeriums Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie von dem gesamten C-ITS Projekt und beantragt die finanziellen Mittel und Förderungen von der europäischen Union.

Partner in diesem Projekt sind die Stadt Graz, Stadt Salzburg und die ASFINAG.

5 Forschungsarbeit

Die vorliegende Arbeit behandelt die Identifikation von Anwendungsmöglichkeiten von C-ITS zur Verbesserung des ÖPNV. Das Optimierungspotenzial aufgrund des Einsatzes von C-ITS im ÖPNV soll anhand folgender Kriterien untersucht werden:

- Optimierung der ÖPNV-Priorisierung
- Optimierung des Stationsaufenthalts
- Ökonomischeres Fahrverhalten

Weiters soll geklärt werden, welche Voraussetzungen jeweils nötig sind, damit C-ITS sinnvoll angewendet werden kann.

5.1 Kriterium 1: Optimierung der ÖPNV-Priorisierung

Es gibt verschiedenste Szenarien, weshalb ein Bus oder eine Straßenbahn vom Fahrplan abweichen kann. Das Fahrzeug kann beispielsweise durch ein einparkendes Auto behindert werden, auf einem gemeinsamen Fahrstreifen mit dem MIV von diesem aufgehalten werden, oder im Zuge einer Überlastung in den Verkehrsspitzen nicht wie geplant vorwärtskommen. Dies sind aber nur ein paar wenige Beispiele die aufzeigen, wodurch es zu einem Zeitverlust kommen kann und infolgedessen der ÖPNV vom Fahrplan abweicht.

Bei Kriterium 1 soll es vor allem um die Beeinflussung von VLSAn gehen. Denn mit diesen kann C-ITS kurz- bis mittelfristig am meisten bewirken. Langfristig gesehen – wenn alle Fahrzeuge im Straßenverkehr mit C-ITS ausgestattet sein werden – wird das System noch viel größeren Einfluss auf den gesamten Verkehr haben. Aber bis es so weit ist, werden jene Möglichkeiten untersucht, die von keiner Massendurchdringung im privaten Pkw-Besitz abhängig sind.

Die Wiener Linien nutzen bereits unterschiedliche Beeinflussungsarten mit denen Priorisierungen an der VLSA geschaltet werden können. Die verbreitetsten sind Oberleitungskontakte (OLK) und RBL. Wobei die OLK in der Regel nur noch dort eingesetzt werden, wo es zu Einzugsfahrten, Reparaturfahrten, Nostalgiefahrten mit Oldtimerstraßenbahnen, Ablenkungsfahrten, etc. kommt. Oder aber auch, wenn es noch ein Altbestand ist, und die Umstellung auf RBL noch nicht vollzogen wurde. Das RBL basiert, ebenso wie C-ITS, auf einer Funktechnologie und es bietet – obwohl es schon ca. zwei Jahrzehnte im Einsatz ist – sehr viele Funktionen, die auch mittels C-ITS möglich sind. Ein Forschungsschwerpunkt dieser Arbeit ist daher die Fragestellung, unter welchen Voraussetzungen C-ITS die bessere Alternative zu RBL ist und somit zu einer optimierten Fahrplanteue des ÖPNV beitragen kann.

5.2 Kriterium 2: Optimierung des Stationsaufenthalts

Für diese Arbeit wurden drei Typen von ÖPNV-Haltestellen definiert, die im Rahmen der weiteren Untersuchungen betrachtet werden sollen: Die Station kann vor bzw. nach einer VLSA liegen oder sie befindet sich auf einem Streckenabschnitt ohne VLSA. Da es hier vor allem um Verbesserungen des ÖPNV geht, werden in erster Linie jene Stationen betrachtet, die sich vor einer VLSA befinden. Der Grund dafür ist, dass bei einem Stationsaufenthalt in Stationen, die nach einer VLSA bzw. in Stationen, die bei keiner VLSA liegen, sofort nach dem Fahrgastwechsel weitergefahren werden kann und somit keine Einschränkung durch eine VLSA gegeben ist.

Bei Stationen, die direkt oder etwas abgesetzt vor einer VLSA liegen, sieht die Situation hingegen anders aus: Wird der Fahrgastwechsel vollzogen und die ÖV-Garnitur ist abfahrbereit, bedeutet das noch nicht, dass sie auch ungehindert weiterfahren kann. Denn vor ihr liegt noch die VLSA, welche erst auf Grün umschalten muss. Und genau diese Zeit, vom vollzogenen Fahrgastwechsel bis zur Freiphase für den ÖPNV an der VLSA, wird in dieser Arbeit genauer betrachtet. Hier liegt ein Verbesserungspotenzial vor, das vor allem für die Fahrgäste von Bedeutung ist. Denn viele kennen die ärgerliche Situation, dass einem der Bus oder die Straßenbahn die Türen vor der Nase schließt, nur um dann unnötigerweise kurz darauf vor dem roten Signal an der VLSA wieder zu stehen kommt.

Aber auch das Fahrpersonal kann von dem Wissen, zu welchem Zeitpunkt die VLSA auf Grün umschaltet, profitieren: Sie könnten den Stationsaufenthalt – ohne Stress ihn so schnell wie möglich durchführen zu müssen – gegebenenfalls auch verlängern. Ebenso im umgekehrten Fall, wenn die ÖV-Garnitur zu Beginn ihrer Freiphase in die Station einfährt und den Fahrgastwechsel noch durchführen muss: Hier kann unter Anwendung von C-ITS dem Fahrpersonal angezeigt werden, wann bei der VLSA die Freiphase zu Ende gehen wird. Dadurch kann das Fahrpersonal entscheiden, ob es sich beeilt, noch bei Grün loszufahren oder sich Zeit lässt, weil es die VLSA ohnedies nicht mehr bei Grün erreicht. In dieser Arbeit soll untersucht werden, an welchen ÖPNV-Stationen der Einsatz von C-ITS zur Optimierung des Stationsaufenthalts sinnvoll ist.

5.3 Kriterium 3: Ökonomisches Fahrverhalten

Ein weiterer Aspekt zur Optimierung des ÖPNV ist das Erreichen eines verbesserten (ökonomischen) Fahrverhaltens. Liegt eine VLSA auf freier Strecke, d.h. es befindet sich keine Station vor oder nach der VLSA, wird sie in der Regel dahingehend beeinflusst, dass die ÖV-Linie ohne Aufenthalt und Geschwindigkeitsverlust durchfahren kann. Es kann aus unterschiedlichen Gründen aber trotzdem dazu kommen, dass der ÖPNV einen ungeplanten Aufenthalt bei der VLSA einlegen muss.

Das Fahrpersonal kann je nach Streckenverlauf in der Regel bereits aus der Ferne erkennen, ob ihre Freiphase aktiv ist oder nicht. Jedoch weiß es nicht, wann die Freiphase endet bzw. anfängt. Dies

spielt aber eine wichtige Rolle für das Fahrverhalten: Wenn das Fahrpersonal erst spät erkennt, dass die Freiphase endet, wird sie bis zur VLSA in der vorgegebenen Geschwindigkeit weiterfahren und erst knapp vor der VLSA abbremsen. Dieser ungeplante Halt kann für die Fahrgäste unangenehm sein, weil sie damit nicht rechnen und sich somit nicht darauf vorbereitet haben. Aber es ist auch aus wirtschaftlicher Sicht nicht von Vorteil. Muss eine ÖV-Linie einen ungeplanten Halt einlegen, führt das zu einem höheren Energieverbrauch und die Fahrzeit wird dadurch verlängert (vgl. Tanzler 2010, S. 48ff).

Ist die Freiphase aktiv, so wird das Fahrpersonal versuchen, mit der erlaubten Höchstgeschwindigkeit die VLSA noch vor Ende der Freiphase zu überqueren, um einen ungeplanten Aufenthalt und die damit resultierende Fahrzeiterhöhung zu verhindern. Schaltet die VLSA jedoch vor dem Eintreffen der ÖV-Linie von der Freiphase in die Sperrphase, kommt es zu einem abrupten Bremsvorgang, welcher aus oben genannten Gründen zu gefährlichen Situationen führen kann. Dies kann eine Stressreaktion des Fahrpersonals hervorrufen und vor allem auch die Fahrgäste gefährden.

Mittels C-ITS kann dem Fahrpersonal mitgeteilt werden, wie lange bei der VLSA die Frei- bzw. die Sperrphase noch aktiv ist. Es ist somit möglich, dem Fahrpersonal anzuzeigen, mit welcher Geschwindigkeit es fahren muss, damit die ÖV-Garnitur zur Freiphase bei der VLSA eintrifft. Ist die Freiphase bei der VLSA nicht aktiv, kann dem Fahrpersonal angezeigt werden, um wie viel es die Geschwindigkeit reduzieren muss, damit es zu Beginn der Freiphase bei der VLSA eintrifft. Mit dieser Änderung des Fahrverhaltens wird sowohl Energie, als auch Zeit gespart (vgl. Tanzler 2010, S. 48 ff Diplomarbeit). Sollte die Freiphase wider Erwarten aufgrund einer anderweitigen VLSA-Beeinflussung abgebrochen werden, so kann das Fahrpersonal ebenfalls die Geschwindigkeit reduzieren und einen sanften Bremsvorgang vorbereiten.

Die Arbeit soll aufzeigen, in welchen Fällen C-ITS angewendet werden kann, um das Fahrpersonal bei der Umsetzung eines wirtschaftlichen Fahrverhaltens zu unterstützen.

5.4 Typen der Anwendungsart

Nachdem die drei Forschungskriterien definiert sind, werden nun Kreuzungen im Wiener Straßenraum eruiert, an denen die Voraussetzungen für einen sinnvollen Einsatz von C-ITS erfüllt sind. Dabei werden die Kreuzungstypen wie folgt unterschieden:

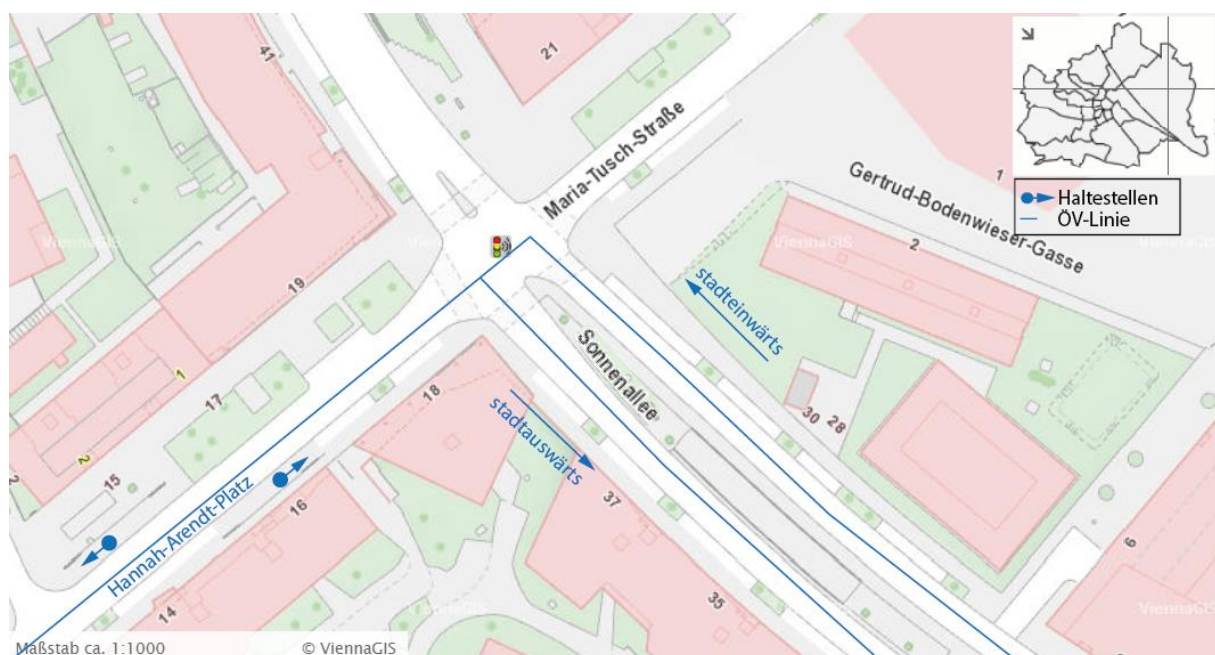
- Typ 1: alle drei Kriterien können sinnvoll eingesetzt werden
- Typ 2: zwei Kriterien können sinnvoll eingesetzt werden
- Typ 3: nur ein Kriterium kann sinnvoll eingesetzt werden
- Typ 4: kein sinnvoller Einsatz von C-ITS

5.4.1 Typ 1: Alle Kriterien

Beim Kreuzungs-Typ 1 geht es darum, einen Einsatzfall zu finden, in dem alle drei Kriterien gemeinsam angewandt werden können. Bei der Kreuzung Sonnenallee # Maria-Tusch-Straße im 22. Gemeindebezirk ist dies der Fall.

Hierbei handelt es sich um eine vierarmige Kreuzung in der Seestadt Aspern, welche von der Buslinie 84A befahren wird. Die Buslinie fährt von der U2-Station Seestadt in Richtung stadteinwärts zur U2-Station Aspernstraße (vgl. Wiener Linien, Fahrplan 84A). Richtung stadteinwärts fährt der Bus auf der Sonnenallee und biegt links in die Maria-Tusch-Straße ein. Die Haltestelle Hannah-Arendt-Platz befindet sich ca. 80 m nach der Kreuzung. In der stadtauswärtigen Fahrtrichtung – also zur U2-Station Seestadt – befindet sich die Haltestelle ca. 45 m vor der Kreuzung. Der Bus biegt von der Maria-Tusch-Straße rechts in die Sonnenallee ein.

Abbildung 31 Buslinie 48A, Quelle: Stadtplan Wien, eigene Darstellung



Für das erste Kriterium muss die derzeitige VLSA-Schaltung genauer betrachtet werden. Im Signalzeitenplan (Abbildung 33) erkennt man, dass es sich um eine 2-Phasen-Regelung mit einer Umlaufzeit von 60 Sekunden handelt. In der ersten Phase bekommt die Sonnenallee (Haupttrichtung) mit den Relationen R1 und R3 bzw. die beiden Schutzwege Ü2 und Ü4 ihre Grünphase. In der zweiten Phase bekommt die Maria-Tusch-Straße (Querrichtung) mit den Relationen R2 und R4 bzw. die beiden Schutzwege Ü1/F1 und Ü3/F3 sowie die Radfahrrelationen Rf1 und Rf3 ihre Grünphase. An dieser VLSA gibt es keine Beeinflussung durch den ÖPNV. Die Grünzeit zwischen den beiden Phasen sind mit 28 Sekunden Grün für die Sonnenallee und 20 Sekunden Grün für die Maria-Tusch-Straße annähernd gleich verteilt. (vgl. Stadt Wien MA33: V22133, S. 4f)

Abbildung 32 Signallageplan V21033, Quelle: Stadt Wien MA33 – V22133_BA_20141120

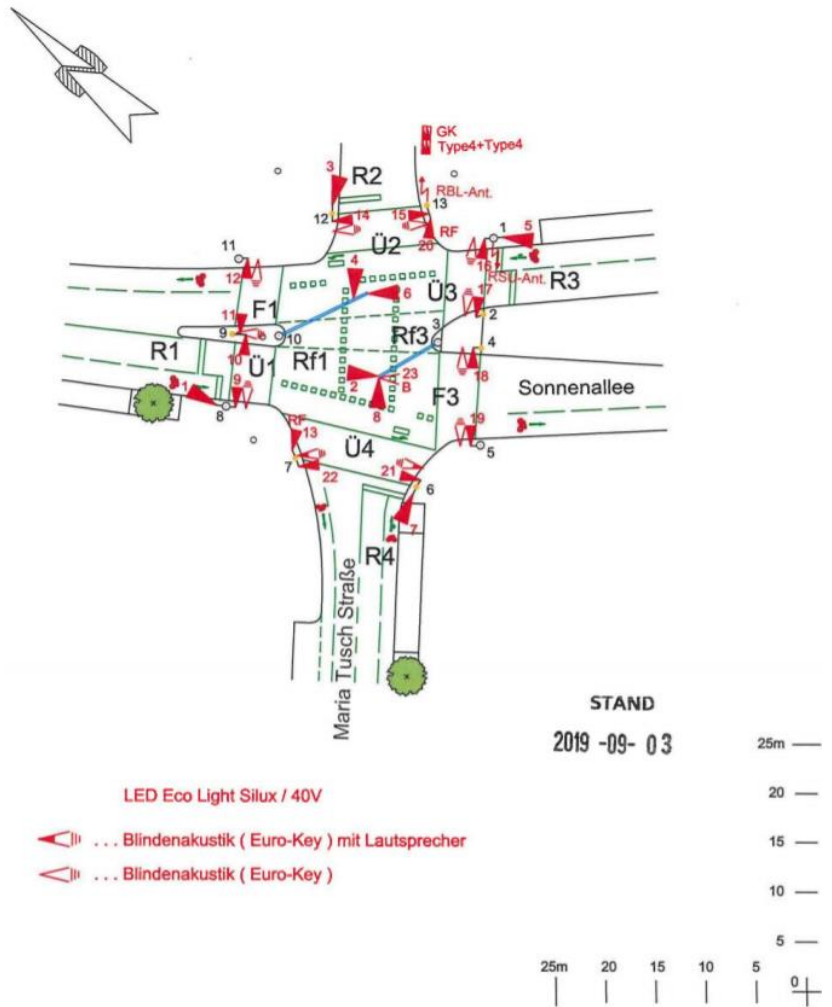
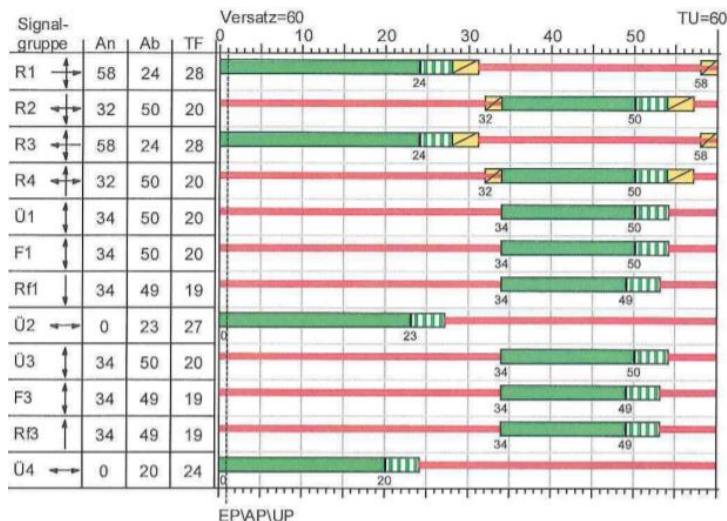


Abbildung 33 Sinalzeitenplan V21033, Quelle: Stadt Wien MA33 – V22133_BA_20141120



Die hier mögliche Beeinflussungsart an der VLSA für den Bus ist je nach Fahrtrichtung unterschiedlich. Er biegt auf den Relationen R3 (stadteinwärts) und R4 (stadtauswärts) einmal aus der Hauptrichtung und einmal aus der Querrichtung ab. Fährt der Bus stadteinwärts, hat er ca. 250 m vor der Kreuzung Sonnenallee # Maria-Tusch-Straße eine Haltestelle (Maria-Trapp-Platz), zwischen Haltestelle und VLSA hat er freie Fahrt und kann daher auf die zulässige Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h beschleunigen. Die stadtauswärtsführende Richtung hat eine andere Typologie. Der Bus hat ca. 40 m vor der Kreuzung eine Haltestelle und das Fahrpersonal kann daher während des Fahrgastwechsels bereits die VLSA und deren Schaltzustand beobachten.

5.4.1.1 Die Optimierung durch C-ITS für die stadteinwärtige Relation R3 kann wie folgt aussehen:

Der Bus benötigt von der Haltestelle Maria-Trapp-Platz ca. 30 Sekunden zur VLSA. Im Idealfall fährt der Bus in dem Moment aus der Haltestelle, wenn bei der VLSA der Grünbeginn der Querrichtung, also der Relation R4, beginnt. Denn diese ist mit 26 Sekunden bemessen und der Bus kommt während der bereits vier Sekunden laufenden Grünphase von R3 zur VLSA. Doch dieses Szenario ist natürlich nicht der Normalfall. Der schlimmste Fall der eintreten kann ist jener, in der der Bus in jenem Moment von der Haltestelle losfährt in dem die VLSA auf Grün für die Relation R3 schaltet. Dadurch kommt er genau zu dem Zeitpunkt bei der VLSA an, in der sie den Signalzustand von Grün auf Rot wechselt. Somit muss der Bus 32 Sekunden an der VLSA warten, bevor seine nächste Grünphase beginnt.

Das bedeutet, dass der Bus an der VLSA eine Wartezeit von 0 bis 32 Sekunden haben kann. Um die Wartezeit so kurz wie möglich zu halten, kann hier C-ITS eingesetzt werden. Die Entfernung von der Haltestelle zur VLSA beträgt 250 m und wird mit mehreren Meldepunkten, die in einem regelmäßigen Abstand liegen, ausgestattet.

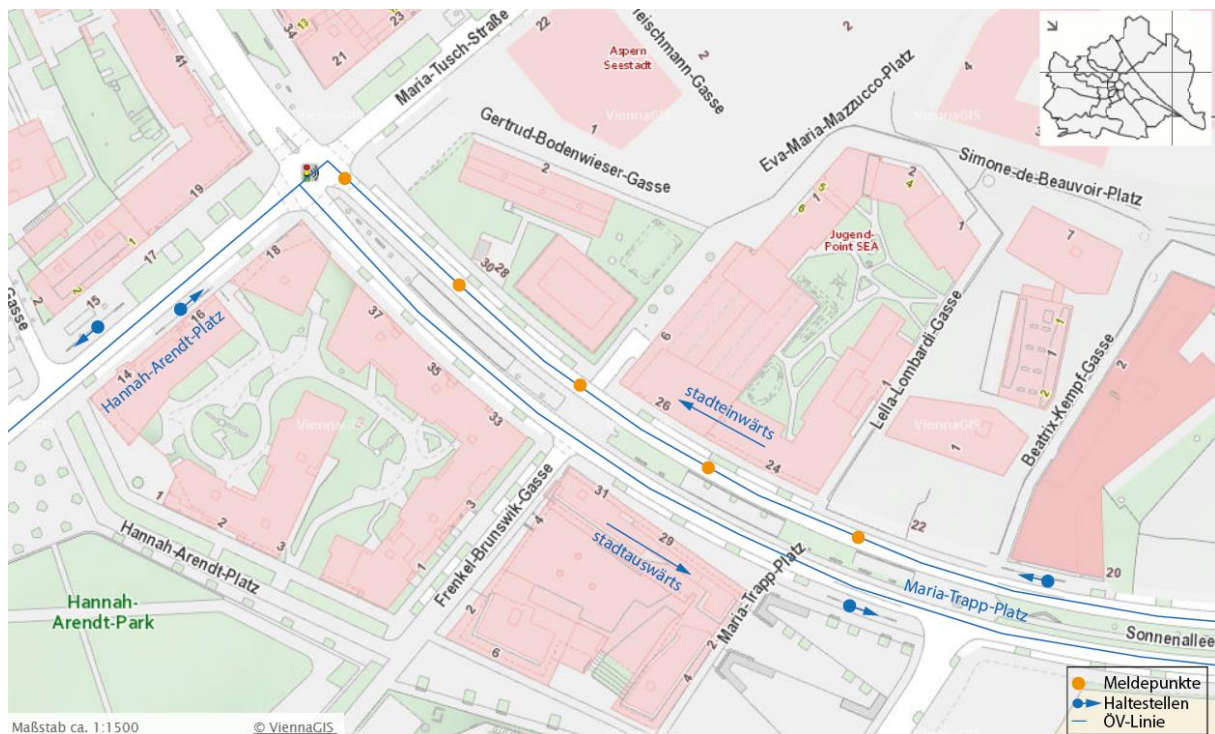
Ist der Fahrgastwechsel abgeschlossen, betätigt das Fahrpersonal die „Fertigtaste“ wodurch ein erster Anmeldeimpuls – die Hauptanmeldung – an die VLSA gesendet wird. Nachdem der Bus aus der Haltestelle weggefahren ist, passiert er ca. alle 50 m einen Meldepunkt, den er bei einer Geschwindigkeit von 30 km/h nach 6 Sekunden erreicht. Somit weiß die VLSA alle 50 m bzw. 6 Sekunden, wie weit der Bus noch entfernt ist und kann so die optimalen Schaltbefehle setzen.

Die Beeinflussung kann nun folgende Auswirkungen haben:

- Der Bus kann seine eigene Phase um bis zu neun Sekunden verlängern.
- Der Bus kann die Phase der Querrichtung abbrechen.
- Der Bus kann seine eigene Phase abbrechen und die Querrichtung schalten.

Je nachdem zu welchem Zeitpunkt sich der Bus anmeldet, kann eine dieser Beeinflussungsarten in Kraft treten.

Abbildung 34 Buslinie 48A mit Meldepunkten, Quelle: Stadtplan Wien, eigene Darstellung



Meldet sich der Bus im Idealfall, also zu Grünbeginn der Querrichtung, an, müsste es im Grunde keine Beeinflussung geben, weil er genau zu Grünbeginn seiner eigenen Phase ankommt. Jedoch kann es sein, dass sich vor ihm noch andere Fahrzeuge befinden und ihn blockieren. Daher kann auch hier eine Verbesserung durchgeführt werden. Durch die Hauptanmeldung wird der VLSA übermittelt, dass der Bus in ca. 30 Sekunden eintrifft. Mittels der Meldepunkte weiß die VLSA genau, wie weit er noch entfernt ist und kann somit die Querrichtung um bis zu neun Sekunden verkürzen, wodurch die Haupttrichtung neun Sekunden früher starten kann. Somit könnten die Fahrzeuge, die sich vor dem Bus befinden, abfließen und der Bus kann ungehindert in die Kreuzung einfahren.

Meldet er sich im schlimmsten Fall zu Grünbeginn seiner eigenen Phase an, kann der Bus seine Phase um maximal neun Sekunden verlängern. Er würde somit seine 28 Sekunden Grünzeit auf maximal 37 Sekunden Grünzeit erhöhen. Die Verlängerung um neun Sekunden geht auf Kosten der Querrichtung. Diese hätte in diesem Umlauf neun Sekunden weniger und somit nur noch eine Grünzeit von 10 Sekunden, dies entspricht der Mindestgrünzeit in Wien. Aufgrund der fünf Meldepunkte kann die Beeinflussung jedoch noch verbessert werden. Im Normalfall erreicht der Bus alle sechs Sekunden den nächsten Meldepunkt und wäre somit nach 30 Sekunden bei der VLSA und müsste seine eigene Phase nur um 2 Sekunden verlängern. Erreicht der Bus jedoch nicht nach sechs Sekunden den nächsten Meldepunkt, erkennt das System, dass der Bus (beispielsweise durch zurückstauenden MIV) aufgehalten wurde und verlängert die Grünphase um die entsprechende Zeit. Überschreitet diese Zeit jedoch die maximal mögliche Verlängerung, hebt sich der Effekt auf und der Bus würde

wiederum bei der VLSA zum Stehen kommen. Ist absehbar, dass dieses Szenario eintritt, dann soll in diesem Fall die Logik der VLSA die Verlängerung für den Bus nicht schalten, sondern gleich die Querrichtung bringen. Somit würde es keine unnötige Verlängerung geben und sowohl der Bus als auch die anderen Verkehrsteilnehmer*innen werden nicht behindert.

Meldet er sich zu einem Zeitpunkt in seiner eigenen Phase an, bei dem eine Verlängerung seiner Phase nichts bringen würde, könnte er seine eigene Phase abbrechen und die VLSA schaltet die Querrichtung, welche auf das Mindestgrün von 10 Sekunden verkürzt wird. Somit erhält die Querrichtung zwar nur kurz, aber dafür schneller Grün und der Bus hat keinen bzw. einen nicht so langen Aufenthalt bei der VLSA.

Mit Hilfe von C-ITS könnte man auch noch vor der Haltestelle Meldepunkte setzen, um für den Fall, dass niemand ein- bzw. aussteigen möchte, die Beeinflussung der VLSA noch früher beginnen lassen zu können. Jedoch würde das bei der hier betrachteten Kreuzung keine wesentliche Verbesserung der Beeinflussung mit den vorhandenen Meldepunkten nach der Haltestelle darstellen.

5.4.1.2 Die Optimierung durch C-ITS für die stadtauswärtige Relation R4 kann wie folgt aussehen:

Nachdem der Bus ca. 40 m vor der VLSA seine Haltestelle hat, ist es ausreichend, wenn nur die Meldepunkte vor und in der Haltestelle versorgt werden, denn der Bus benötigt lediglich fünf Sekunden von der Haltestelle zur VLSA. Durch die kurze Fahrzeit ergeben sich andere Szenarien als für den stadteinwärts fahrenden Bus. Hier wäre der Idealfall, dass der Fahrgastwechsel zu Beginn der Freiphase abgeschlossen ist, denn somit kann, sofern ein MIV vor der VLSA zum Stehen gekommen ist, dieser die Kreuzung verlassen und der Bus kann ohne Beeinträchtigungen zur VLSA vorfahren und abbiegen. Der schlimmste Fall für diese Fahrtrichtung ist jener, in dem der Fahrgastwechsel abgeschlossen wurde, der Bus losfährt und die VLSA plötzlich die Phase wechselt und die Hauptrichtung Grün bekommt.

Der Bus kann somit eine Wartezeit von 0 bis 40 Sekunden haben. Damit diese so kurz wie möglich ist, kann auch hier C-ITS eingesetzt werden. Der Meldepunkt vor der Haltestelle dient als Voranmeldung und liegt ca. 10 m vor der Haltestelle. Der Meldepunkt in der Haltestelle dient als Hauptanmeldung. Die Voranmeldung erfolgt – wie auch für den Bus aus der Gegenrichtung – automatisch, die Hauptanmeldung wird durch das Fahrpersonal ausgelöst. Das Fahrpersonal aktiviert sie nach dem Fahrgastwechsel mit der „Fertig-Taste“. Sobald die Hauptanmeldung erfolgt ist, können je nach Signalzustand der VLSA folgende Szenarien eintreten:

- Der Bus kann seine eigene Phase um bis zu 14 Sekunden verlängern.
- Der Bus kann die Phase der Hauptrichtung abbrechen.
- Der Bus kann seine eigene Phase abbrechen und die Hauptrichtung schalten.

Das sind im Grunde dieselben Arten der Beeinflussung wie für den stadteinwärts fahrenden Bus, jedoch werden sie zu anderen Zeitpunkten geschaltet und die Verlängerung kann 14 Sekunden betragen, weil die Hauptrichtung um vier Sekunden mehr gekürzt werden kann bis die Mindestgrünzeit von 10 Sekunden erreicht wird.

Meldet sich der Bus im Idealfall an, wird im Grunde keine Beeinflussung benötigt, denn er hat 20 Sekunden Grünzeit, um aus der Station auszufahren und die VLSA zu passieren. Sollte die Grünzeit, aus welchen Gründen auch immer, doch nicht ausreichen, hat er immer noch die Möglichkeit, seine Phase um bis zu 40 Sekunden zu verlängern.

Fährt der Bus zum ungünstigsten Zeitpunkt aus der Station und kommt vor der VLSA zu stehen, dann kann er die Hauptrichtung um 14 Sekunden verkürzen, damit seine Wartezeit von 40 auf 26 Sekunden reduziert wird.

Meldet sich der Bus zu irgendeinem Zeitpunkt während seiner Phase an, dann kann er seine Grünzeit je nach Bedarf um bis zu 14 Sekunden verlängern und umgeht somit einen ungeplanten Aufenthalt bei der VLSA.

Erfolgt die Anmeldung während der Freiphase der Hauptrichtung, dann wird diese nach Ablauf der Mindestgrünzeit von 10 Sekunden abgebrochen und der Aufenthalt des Busses bei der VLSA wird um diese Zeit verringert.

Die Voranmeldung kommt dann zum Tragen, wenn der Bus in die Haltestelle einfährt und die eigene Phase bereits läuft. In diesem Fall muss der Fahrgastwechsel noch durchgeführt werden, wodurch es sinnvoller ist, die eigene Phase abubrechen und die Hauptrichtung mit der Mindestgrünzeit zu schalten. Während dieser Zeit kann das Fahrpersonal ohne Stress den Fahrgastwechsel durchführen und hat, wenn überhaupt, nur einen kurzen Aufenthalt bei der VLSA.

5.4.1.3 Die Optimierung des Stationsaufenthalts durch C-ITS:

Bei der Haltestelle Hannah-Arendt-Platz, die ca. 40m von der VLSA entfernt liegt, kann mittels C-ITS der Stationsaufenthalt optimiert werden. Die VLSA sendet mittels der C-ITS-Technologie den Signalzustand in das Fahrzeug wodurch das Fahrpersonal während des Stationsaufenthalts die Information bekommt, wie lange es noch in der Haltestelle verweilen kann damit es den richtigen Zeitpunkt zum Abfahren erwischt. Dem Fahrpersonal wird aber angezeigt, wann es losfahren soll, damit die VLSA zu Grünbeginn erreicht wird.

Das bedeutet, der Stationsaufenthalt kann verlängert werden, um keine unnütze Stehzeit bei der roten VLSA zu haben. Im Grunde ist es für die Fahrzeit egal, ob man in der Haltestelle oder bei der VLSA steht, jedoch stellt dieser Punkt eine wesentliche Verbesserung für die Fahrgäste dar. Steht der

ÖPNV länger in der Haltestelle anstatt bei der VLSA, so können Fahrgäste, die sich verspätet haben, noch die ÖV-Garnitur erreichen.

Im Umkehrschluss kann das Fahrpersonal den Fahrgastwechsel so kurz wie möglich halten, damit die ÖV-Garnitur noch in der Freiphase die VLSA passieren kann. In diesem Fall steht die Einhaltung des Fahrplans im Vordergrund.

Für die Haltestelle Maria-Trapp-Platz, die ca. 250 m von der VLSA entfernt liegt, ist die Anwendung nicht mehr sinnvoll. Aufgrund der großen Entfernung und der niedrigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h wird C-ITS nicht für die Optimierung des Stationsaufenthalts verwendet.

5.4.1.4 *Verbessertes / Wirtschaftliches Fahrverhalten durch C-ITS:*

Bei diesem Kriterium soll mittels C-ITS dem Fahrpersonal die Information übermittelt werden, wie lange bei der VLSA noch Grün bzw. Rot ist und welche Geschwindigkeit gefahren werden soll, damit man einen ungeplanten Aufenthalt so gut wie möglich verhindern kann. In diesem Fall wird es vor allem für die stadteinwärtige Relation zur Anwendung kommen. Denn die stadtauswärtige Relation hat ihre Haltestelle zu nahe an der Kreuzung, als das damit der Einsatz sinnvoll wäre.

Nachdem der Bus seine Haltestelle verlassen hat, wird ihm die Zeit übermittelt, wie lange die VLSA noch Grün geschaltet hat. Dabei wird gleichzeitig errechnet, wie schnell der Bus fahren muss, um noch bei Grün an der VLSA anzukommen. Die zugelassene Höchstgeschwindigkeit darf jedoch nicht überschritten werden. In diesem Fall würde das bedeuten, dass die empfohlene Geschwindigkeit nicht höher als 30 km/h betragen darf. Die Überschreitung der Höchstgeschwindigkeit stellt eine grobe Dienstrechtsverletzung durch das Fahrpersonal dar, weshalb nur niedrigere Geschwindigkeiten angezeigt werden dürfen.

Fährt der Bus aus der Haltestelle und seine Relation hat noch Rot, so wird dies dem Fahrpersonal mitgeteilt und eine entsprechende Geschwindigkeitsempfehlung mitgesendet. So kann dem Fahrpersonal beispielsweise angezeigt werden, dass es mit 20 km/h fahren soll, damit es zu Grünbeginn bei der VLSA ankommt. Dadurch würde man sich einen Aufenthalt ersparen, dies trägt zu einem besseren Fahrverhalten bei. Weiters würde dadurch auch Energie gespart werden, weil ein langsames Fahren weniger Energie benötigt als ein komplettes Abbremsen und neu Beschleunigen (vgl. Tanzler 2010, S. 48 ff Diplomarbeit).

Aufgrund der VLSA-Beeinflussung durch C-ITS kann es durchaus vorkommen, dass sich die Grün- bzw. Rotzeit der Haupt- und Querrichtung plötzlich verändern. Würde man die Information über den Signalzustand bereits vor der Haltestelle – und somit auch vor der Anmeldung durch den Bus – an das Fahrzeug schicken, so würde beispielsweise angezeigt werden, dass erst in 30 Sekunden Grün wird. Meldet sich der Bus dann durch seinen ersten Meldepunkt an, wird die Grünzeit der Querrichtung

gekürzt und der Bus bekommt anstatt in 30 Sekunden bereits in 15 Sekunden seine Freiphase. Dies würde einem massiven Sprung entsprechen und beim Fahrpersonal eher Misstrauen gegenüber der Richtigkeit und auch Stress beim Fahrgastwechsel auslösen. Daher ist es wichtig, den genauen Zeitpunkt festzulegen, ab wann die Information dem Fahrpersonal zur Verfügung gestellt wird.

Damit diese Sprünge der Zeitanzeige nicht vorkommen, muss klar definiert werden, welche Relation Vorrang hat. Entweder wird festgelegt, dass jene Relation, die sich zuerst angemeldet hat, zuerst die Beeinflussung an der VLSA schalten darf. Oder es wird festgelegt, dass eine der Relationen immer gegenüber der anderen priorisiert wird. In diesem Fall könnte jedoch nur die stadteinwärts fahrende Relation diese interne Priorisierung erhalten, weil die stadtauswärtsfahrende Relation eine kaum erwähnenswerte Fahrzeit bis zur VLSA hat.

5.4.1.5 *Conclusio Typ 1:*

An der Kreuzung Sonnenallee # Maria-Tusch-Straße können alle drei Anwendungsmöglichkeiten von C-ITS angewandt werden. Da es derzeit noch keine Priorisierung für den ÖPNV gibt, musste diese erst definiert werden. Durch den Einsatz von C-ITS kann sowohl die ÖPNV-Priorisierung, der Stationsaufenthalt als auch das Fahrverhalten für die Buslinie 84A optimiert werden. Der derzeit ungeplante Aufenthalt des Busses kann bis zu 32 Sekunden lang sein. Mittels Priorisierung durch C-ITS kann die maximale Wartezeit auf 23 Sekunden verkürzt werden. Zudem kann die Fahrplantage durch eine Verlängerung der Freiphase verbessert werden, weil es somit zu keinem Aufenthalt mehr bei der VLSA kommt.

Vergleicht man C-ITS und RBL erkennt man, dass die verschiedenen Beeinflussungsmöglichkeiten mit beiden Systemen umgesetzt werden können. Jedoch bietet C-ITS den Vorteil, dass eine höhere Anzahl an Meldepunkten definiert werden kann, wodurch die Beeinflussung für die stadteinwärts fahrende Richtung optimaler ausgeführt wird. Für die Fahrtrichtung stadtauswärts gibt es zwischen C-ITS und RBL keinen Unterschied in der Beeinflussung.

Die Optimierung des Stationsaufenthalts durch C-ITS ist definitiv gegeben und stellt eine absolute Verbesserung, sowohl für das Fahrpersonal als auch für die Fahrgäste, dar. Denn das Fahrpersonal kann durch die Information wann loszufahren ist, um rechtzeitig bei der VLSA anzukommen, den Zeitdruck während des Fahrgastwechsels nehmen. Und durch das längere Stehen in der Station besteht für die Fahrgäste die Möglichkeit, den Bus noch zu erreichen, obwohl der Fahrgastwechsel sonst schon abgeschlossen wäre.

Das Fahrverhalten kann auch deutlich verbessert werden. Auch wenn dieser Aspekt hauptsächlich für die stadteinwärts fahrende Relation eine Rolle spielt, kann die Geschwindigkeit so angepasst werden, dass es zu einem ökonomischen Fahrverhalten kommt. Dadurch wird einerseits das Stop-and-go-

Verhalten reduziert und andererseits werden die Verschleißteile des Fahrzeugs wie Bremsen, Räder, etc. nicht so stark beansprucht. Insgesamt ist es für die Fahrgäste ein angenehmeres Fahren und das Fahrzeug wird dabei auch noch geschont.

5.4.2 Typ 2: Kombination zweier Kriterien

Beim Typ 2 geht es darum einen Einsatzfall zu finden, bei dem nur zwei der drei Kriterien sinnvoll eingesetzt werden können. Für eine bessere Übersicht der unterschiedlichen Kombinationen dient die folgende Matrix.

	ÖPNV-Priorisierung	Stationsaufenthalt	Fahrverhalten
Kombination 1	X	X	-
Kombination 2	X	-	X
Kombination 3	-	X	X

5.4.2.1 Kombination 1

Die erste Kombination von Kriterien ist die Optimierung der ÖPNV-Priorisierung mit der Verbesserung des Stationsaufenthalts. Damit nur diese beiden Kriterien schlagend werden, müssen verschiedene Voraussetzungen erfüllt sein. So muss die VLSA ein Vorsignal besitzen, damit die Anwendung von C-ITS für ein ökonomisches Fahrverhalten bereits gegeben ist. Weiters muss sich eine Station vor der VLSA befinden, um den Stationsaufenthalt verbessern zu können. Aber auch die VLSA-Beeinflussung durch den ÖPNV muss durch C-ITS verbessert werden können.

Diese Bedingungen sind bei der VLSA Quellenstraße # Steudlgasse im 10. Bezirk gegeben. Hier wird die Quellenstraße von den Straßenbahnlinien 6 und 11 befahren. Wie im Signallageplan (Abbildung 35) zu sehen ist, haben beide Straßenbahnrelationen ein Vorsignal. Die Straßenbahnen fahren hier auf einem straßenbündigen Gleiskörper, der teilweise vom MIV befahren werden darf. Somit kann es vorkommen, dass die Straßenbahnen durch den ÖPNV behindert werden können. Vor dieser VLSA befinden sich die Stationen Gellertplatz und Schrankenberggasse, welche ca. 160 m bzw. ca. 300 m entfernt liegen (Abbildung 36). (vgl. Stadt Wien MA33: V10066, S3f)

Die VLSA-Schaltung besteht aus einer 2-Phasenregelung. Die erste Phase – Hauptphase – ist die Quellenstraße mit einer Grünzeit von 32 Sekunden. Die zweite Phase – Querphase – ist die Steudlgasse mit einer Grünzeit von 31 Sekunden. Die Straßenbahn kann sich ihre eigene Phase um bis zu 25 Sekunden verlängern. Weiters kann sie die Querrichtung abrechen und sich eine Voreilung gegenüber R1 und R3 schalten, wenn die Anmeldung zu Beginn der Hauptphase vorliegt. Sofern keine Straßenbahnanmeldung vorliegt, kann sich die Steudlgasse ihre eigene Phase ebenfalls um bis zu 25 Sekunden verlängern. (ebd.)

Abbildung 35 Signallageplan V10066, Quelle Stadt Wien MA33 – V10066_BA_20121024

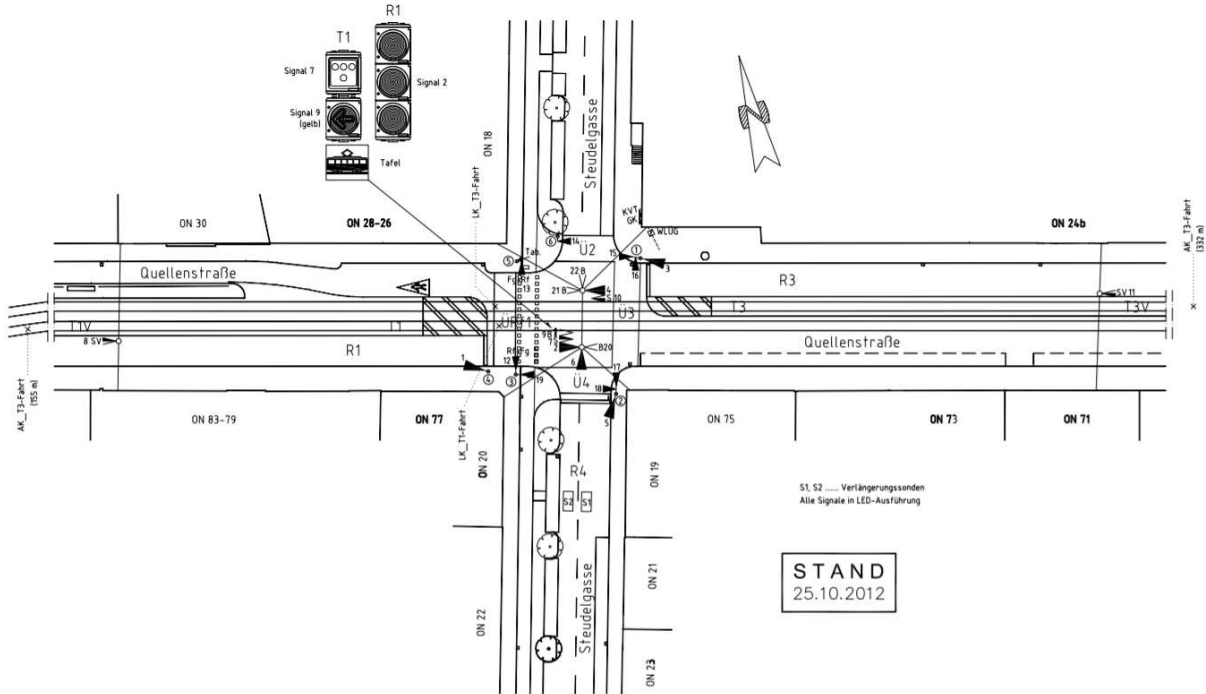
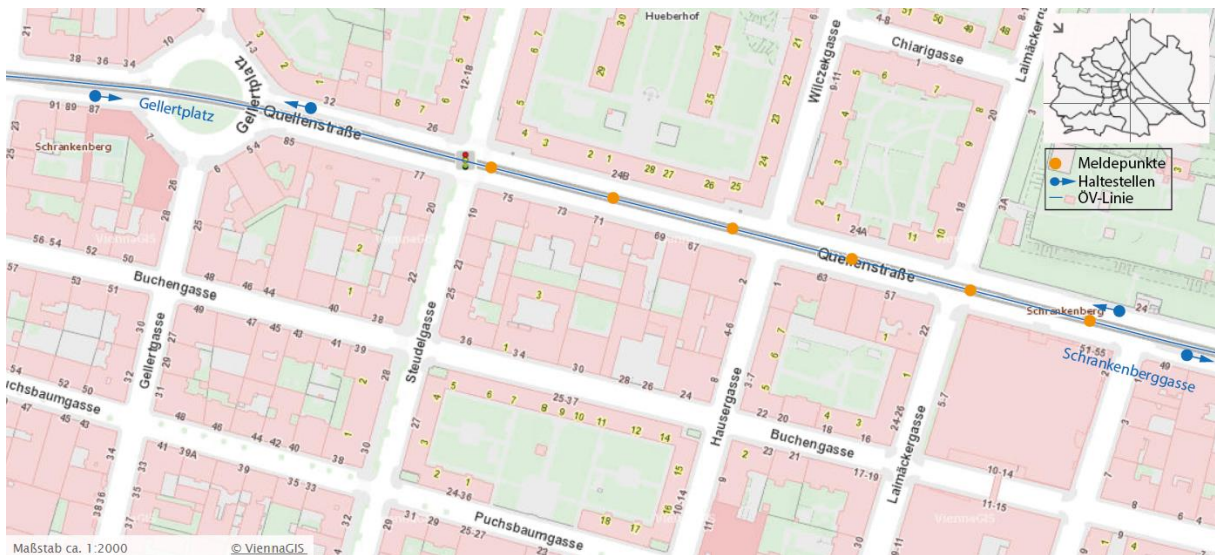


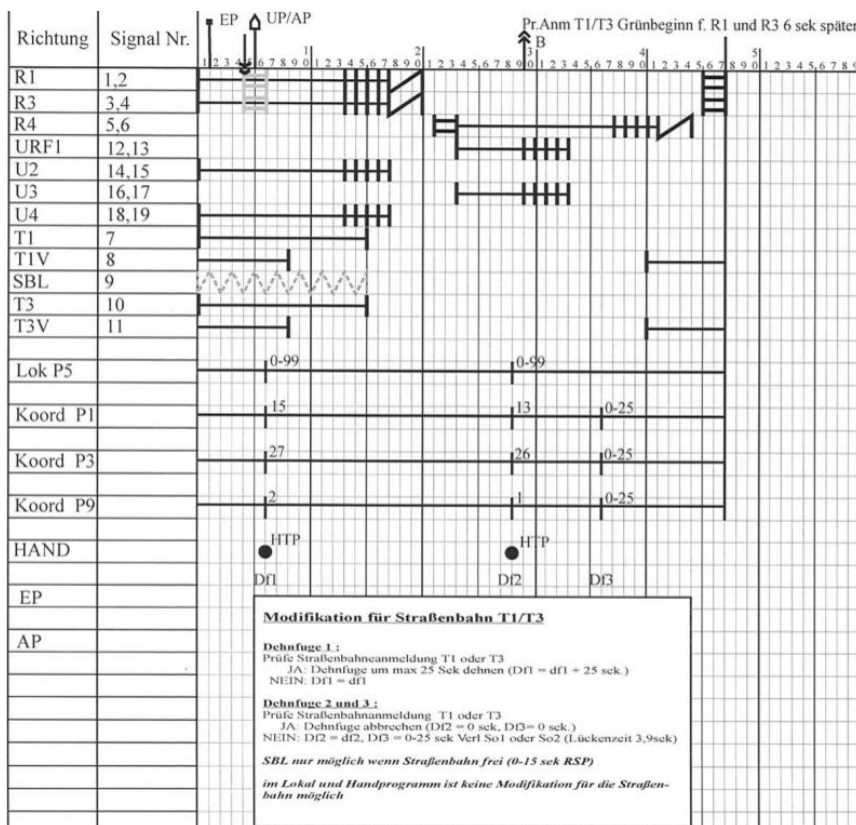
Abbildung 36 Straßenbahnlinie 6 und 11 mit Meldepunkten, Quelle: Stadtplan Wien, eigene Darstellung



Für die Straßenbahnrelation T1 besteht durch C-ITS keine Verbesserung der VLSA-Beeinflussung. Die Straßenbahn hat von der Station Gellertplatz bis zur VLSA einen straßenbündigen Gleiskörper, der mittels Sperrlinie vom MIV-Fahstreifen getrennt ist. Die Anmeldung erfolgt ca. 155 m vor der VLSA und benötigt daher ca. 12 Sekunden bis sie die VLSA erreicht hat. Somit hat sie noch 13 Sekunden Reserve bei der Verlängerungszeit.

Die Verbesserung des Stationsaufenthalts für die Straßenbahnrelation T3 wird ebenfalls nicht umgesetzt. Denn die Station Schrankenberggasse ist mit ca. 300 m bereits sehr weit von der VLSA entfernt. Zudem gibt es keinen eigenen Bahnkörper wie auf der Neilreichgasse, die im Punkt 5.4.3.2 behandelt wird.

Abbildung 37 Signalzeitenplan V10066, Quelle Stadt Wien MA33 – V10066_BA_20121024



5.4.2.1.1 Optimierung für die Straßenbahnrelation T3:

Laut Signallageplan befindet sich die Anmeldung der Straßenbahnrelation T3 ca. 332 m vor der VLSA. Die Position des Oberleitungskontakts (OLK) ist jedoch nicht mehr aktuell, denn durch den Umbau der Station Schrankenberggasse wäre der OLK mitten in der Station gewesen, was zu Problemen geführt hätte. Daher wurde der OLK unmittelbar hinter die Station verlegt, um so eine sinnvolle Anmeldung zu schaffen. Somit befindet sich der OLK ca. 300 m vor der VLSA. Nach Auslösung des OLKs benötigt die Straßenbahn bei einer Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h ca. 22 Sekunden bis zur VLSA.

Meldet sich die Straßenbahn im Idealfall, zu Beginn der Querphase, an, dann kommt sie zu Grünbeginn ihrer eigenen Phase bei der VLSA an. Meldet sie sich zum schlechtestmöglichen Zeitpunkt an, also wenn die eigene Phase noch läuft aber das Vorsignal bereits gesperrt signalisiert, kann keine Aufdehnung mehr stattfinden, weil der Phasenübergang von der Hauptphase in die Querphase schon eingeleitet wurde. Daher kann die Straßenbahn einen ungeplanten Aufenthalt von 16 Sekunden bei der VLSA haben. Wird die Anmeldung zu irgendeinem Zeitpunkt in der Hauptphase ausgelöst, kann sie sich mittels der Aufdehnung die Hauptphase um bis zu 25 Sekunden verlängern. Wird die Straßenbahn jedoch durch andere Verkehrsteilnehmer*innen aufgehalten und die Fahrzeit wird um einige Sekunden erhöht, kann sie trotz der 25 Sekunden Verlängerung die VLSA nicht mehr passieren und sie hat einen ungeplanten Aufenthalt. Die Wartezeit kann somit 0 bis 31 Sekunden lang dauern.

Die Voreilung gegenüber dem MIV wird immer geschaltet, wenn eine Straßenbahnanmeldung vorliegt. Meldet sich die Straßenbahn beispielsweise am Ende der Querphase an, ist sie erst aus der Station Schrankenberggasse ausgefahren. Das bedeutet, die Voreilung wird geschaltet, obwohl sie sich noch gar nicht bei der VLSA befindet. Dies ist sowohl für den MIV als auch für die Straßenbahn von Nachteil. Denn in dieser Zeit könnte der MIV bereits abfließen und auch links in die Steudelgasse abbiegen, wodurch es zu keinen Behinderungen für die Straßenbahn kommt.

Die Optimierung der Straßenbahn kann wie folgt aussehen:

- Die Straßenbahn kann die Hauptphase abbrechen und die Querphase mit Mindestgrün schalten.
- Die Straßenbahn soll die Voreilung nur bei tatsächlichem Bedarf schalten.

Werden in einem regelmäßigen Abstand von 60 m Meldepunkte gesetzt, sollte die Straßenbahn alle 4,5 Sekunden einen dieser Meldepunkte passieren. Damit weiß man immer, wann und wo sich die Straßenbahn befindet und es kann früher auf Behinderungen durch andere Verkehrsteilnehmer*innen reagiert werden. Wird die Hauptphase bereits durch die Straßenbahn verlängert und sie wird durch etwas auf der Strecke aufgehalten, dann kann man die Hauptphase abbrechen und die Querphase mit der Mindestgrünzeit schalten. Somit wird eine nicht benötigte Verlängerung abgebrochen und Wartezeit für die Querrichtung verringert. Die Wartezeit für die Straßenbahn vor der VLSA wird dadurch ebenfalls geringer. Dies ist abhängig, wann die Verzögerung erkannt wird und wie weit die Straßenbahn noch von der VLSA entfernt ist. Wird beispielsweise an den ersten Meldepunkten eine Verzögerung detektiert, kann bereits hier die Hauptphase abgebrochen und die Querphase geschaltet werden. Das bedeutet, die Straßenbahn wäre noch 240 m von der VLSA entfernt und würde noch mindestens 17 Sekunden benötigen. Dadurch käme die Straßenbahn während der Querphase bei der VLSA an und die Wartezeit würde 21 Sekunden

betragen. Umso später die Umschaltung von der Hauptphase in die Querphase erfolgt, desto höher wird die Wartezeit.

Das Schalten der Voreilung kann ebenfalls optimiert werden. Diese wird im Bestand durch den OLK, der ca. 300 m vor der VLSA liegt, ausgelöst. Die Anmeldung ist für diesen Anwendungsfall der VLSA-Beeinflussung viel zu früh, da es zu einer ungenutzten Voreilung kommen kann. Damit die Voreilung nur dann erfolgt, wenn sie auch wirklich benötigt wird, müsste sie zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen. Der ideale Zeitpunkt wäre der zweite Meldepunkt, welcher ca. 240 m vor der VLSA entfernt liegt. Von diesem Punkt benötigt die Straßenbahn ca. 17 Sekunden bis zur VLSA und wäre somit, wenn sich die Straßenbahn in der Querphase anmeldet, direkt zu Grünbeginn bei der VLSA und kann die Voreilung optimal nutzen. Kommt es auf der Strecke zu Verzögerungen, kann dies mittels der Meldepunkte erfasst werden und die Voreilung wird somit nicht geschalten.

5.4.2.1.2 Optimierung des Stationsaufenthalts für die Straßenbahnrelation T1:

Die Station Gellertplatz befindet sich ca. 160 m vor der VLSA und die Straßenbahn hat eine Fahrzeit von ca. 12 Sekunden bis sie diese erreicht hat. Damit der Stationsaufenthalt verbessert werden kann, muss der Anmeldepunkt geändert werden. Die Anmeldung muss vom Fahrpersonal mit der „Fertig-Taste“ ausgelöst werden. Dadurch steht die Straßenbahn noch in der Station während die Anmeldung aktiviert wird und ist jederzeit abfahrbereit.

Meldet sich die Straßenbahn im ungünstigsten Zeitpunkt an, also wenn ihr Vorsignal bereits gesperrt anzeigt und somit der Phasenübergang eingeleitet wurde, kommt sie ein paar Sekunden vor Grünbeginn der Querphase bei der VLSA an. Somit hat sie bei der VLSA einen ungeplanten Aufenthalt von 26 Sekunden. Diese Zeit könnte sie Mithilfe von C-ITS in der Station verbringen und somit eine Verbesserung für die Fahrgäste erreichen.

5.4.2.1.3 Conclusio Kombination 1

Durch die Definition von mehr als nur einem Meldepunkt kann die Beeinflussung der VLSA durch die Straßenbahn verbessert werden. So kann die im Idealfall maximale Wartezeit von 31 Sekunden auf 21 Sekunden gesenkt werden. Aber auch die Voreilung wird durch den Einsatz von C-ITS wesentlich effektiver geschalten. Davon profitieren auch die anderen Verkehrsteilnehmer*innen, weil die Leistungsfähigkeit der VLSA erhöht wird.

Der Stationsaufenthalt von der Haltestelle Gellertplatz kann um 26 Sekunden erhöht werden. Somit haben Fahrgäste fast eine halbe Minute länger Zeit nach dem eigentlichen Fahrgastwechsel noch in die Straßenbahn einzusteigen bzw. aus der Straßenbahn auszusteigen.

In beiden Fällen kann durch die Anwendung von C-ITS eine wesentliche Verbesserung für die Straßenbahn und für die Fahrgäste erzielt werden.

5.4.2.2 Kombination 2

Die zweite Kombination der Kriterien besteht aus der Optimierung der ÖPNV-Priorisierung und der Verbesserung eines ökonomischen Fahrverhaltens. Damit nur diese beiden Kriterien zum Einsatz kommen, müssen folgende Bedingungen erfüllt sein: Einerseits darf es keine Vorsignale geben, denn somit würde das Fahrpersonal wissen, welchen Signalzustand die VLSA bei ihrer Ankunft haben wird. Andererseits darf keine Haltestelle direkt vor der VLSA situiert sein, weil der ÖPNV somit einen Stationsaufenthalt einlegen muss und die Information welche Geschwindigkeit gefahren werden soll, um die VLSA zu passieren, hinfällig wird.

Bei der Kreuzung Mittersteig # Ziegelofengasse im 5. Bezirk sind diese Voraussetzungen gegeben. Die Buslinie 13A hat ihre Haltestelle direkt nach dem Schutzweg Ü3 (Abbildung 38). Weiters hat der Bus auf diesem Streckenabschnitt kein Vorsignal. Busse nutzen in der Regel nur dann ein Vorsignal, wenn sie auf einem Gleiskörper fahren und somit das Vorsignal der Straßenbahnen mitbenutzen können. Ähnlich wie bei der Kreuzung Sonnenallee # Maria-Tusch-Straße befindet sich eine Busstation ca. 240 m vor der VLSA. Auch hier wird von der Optimierung des Stationsaufenthalts aufgrund der weiten Entfernung zur VLSA und der niedrigen Höchstgeschwindigkeit abgesehen.

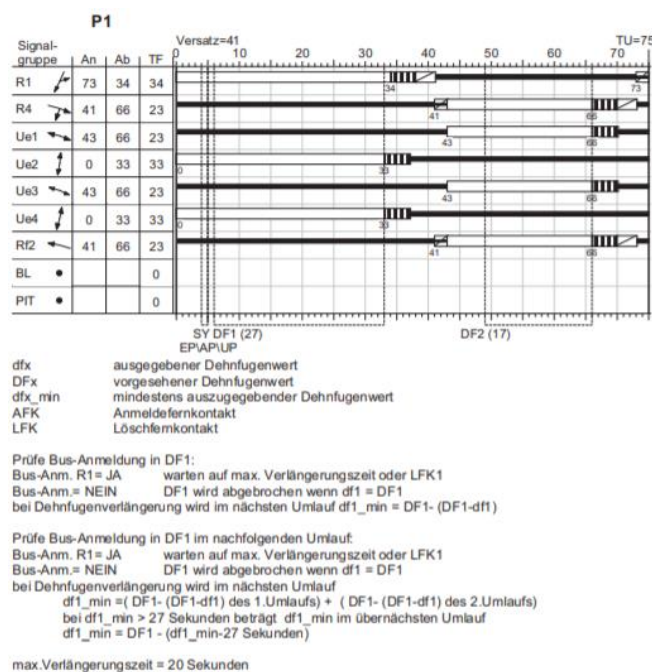
Abbildung 38 Signallageplan V05019, Quelle: Stadt Wien MA33 – V05019_BA_20131203



Die VLSA hat eine 2-Phasenregelung. In der ersten Phase – Hauptphase – hat die Ziegelofengasse eine Grünzeit von 38 Sekunden (inkl. Grünblinken) und in der zweiten Phase – Querphase – hat der Mittersteig eine Grünzeit von 27 Sekunden (inkl. Grünblinken). Der Bus kann die VLSA auf zwei Arten beeinflussen, einerseits kann er seine eigene Phase verlängern, andererseits kann er die Querphase kürzen bzw. abbrechen. (vgl. Stadt Wien MA33: V05019, S. 10f)

Die genaue Priorisierung sieht wie folgt aus: Meldet sich der Bus in seiner eigenen Phase an, kann er diese um bis zu 20 Sekunden verlängern. Die benötigte Verlängerungszeit wird im nächsten Umlauf der Hauptrichtung abgezogen. Durch diese Art der Beeinflussung bleibt die Grünzeit der Querrichtung unberührt und es wird nur die eigene Grünzeit manipuliert. Bei maximaler Verlängerung hat die Hauptrichtung 58 Sekunden und im nächsten Umlauf nur 18 Sekunden Grün. In Summe bleibt die Grünzeit gleich, sie wird nur „verschoben“. Meldet sich der Bus im nächsten Umlauf erneut an, kann er seine Phase wieder um maximal 20 Sekunden aufdehnen und der Zeitausgleich findet dann im darauffolgenden Umlauf statt. (ebd.)

Abbildung 39 Signalzeitenplan V05019, Quelle: Stadt Wien MA33 – V05019_BA_20131203



5.4.2.2.1 Die Optimierung für den Bus:

Die Buslinie 13A hat in der gesamten Ziegelofengasse keine eigene Busspur und fährt daher gemeinsam mit dem MIV auf einem Fahrstreifen. In diesem Bereich ist die Ziegelofengasse eine Einbahn und hat auf beiden Seiten parkende Autos. Dadurch kann der Bus sowohl durch viel Verkehr als auch durch ein- bzw. ausparkende Autos an seiner Weiterfahrt behindert werden.

Im Bestand meldet sich der Bus ca. 10 m nach der Haltestelle Ziegelofengasse an. Von diesem Punkt sind es ca. 210 m bis zur VLSA, das entspricht bei der hier höchstzulässigen Geschwindigkeit von 30 km/h, ca. 25 Sekunden Fahrzeit.

Im Idealfall meldet sich der Bus in der Hälfte der Grünzeit der Querrichtung an, so kommt er zu Grünbeginn seiner Phase bei der VLSA an. Meldet sich der Bus zum ungünstigsten Zeitpunkt – am Ende seiner Phase – an, wird die Hauptrichtung um 20 Sekunden aufgedehnt, obwohl der Bus 25 Sekunden bis zur VLSA in Anspruch nimmt. Dies ist nicht nur ein Nachteil für die Hauptrichtung, denn diese Phase wird sinnlos verlängert, sondern auch für die Querrichtung, deren Wartezeit dementsprechend verlängert wird. Meldet sich der Bus zu einem früheren Zeitpunkt seiner Phase an, würde die Verlängerung reichen, um die VLSA passieren zu können. Die Wartezeit kann für den Bus somit von 0 bis 37 Sekunden lang sein.

Die Optimierung der Beeinflussung kann wie folgt aussehen:

- Der Bus kann seine eigene Phase um zusätzliche sieben Sekunden verlängern.
- Der Bus kann die Querphase abbrechen.
- Der Bus kann die Hauptphase abbrechen und die Querrichtung mit Mindestgrün schalten.

Im Bestand hat der Bus nur einen Anmeldepunkt, der sich ca. 10 m nach der Station Ziegelofengasse befindet. Für eine Optimierung wird dieser Punkt beibehalten und zur Hauptanmeldung umfunktioniert. Es werden drei weitere Meldepunkte in einem regelmäßigen Abstand von ca. 50 m definiert. Vor der Hauptanmeldung wird ein neuer Meldepunkt, der ebenfalls 50 m entfernt liegt, gesetzt. Dieser soll als Voranmeldung dienen, um die Schaltung noch flexibler zu gestalten.

Wird die Hauptanmeldung im Idealfall, also in Sekunde 55, ausgelöst, kommt der Bus zu Beginn seiner Freiphase bei der VLSA an. Man könnte die Querrichtung zu diesem Zeitpunkt abbrechen, damit die Hauptrichtung einige Sekunden früher Grün bekommt, damit auch die Verkehrsteilnehmer*innen, die vor der VLSA zum Stehen gekommen sind, das Plateau verlassen können bevor der Bus eintrifft. Dadurch hätte der Bus garantiert freie Fahrt (und würde nicht durch andere aufgehalten werden).

Meldet sich der Bus im schlimmsten Fall an, würde er aufgrund seiner langen Fahrzeit von 25 Sekunden und der „kurzen“ Verlängerung von 20 Sekunden bei Rot an der VLSA ankommen. Damit dies nicht geschieht, kann die Verlängerung auf 27 Sekunden erhöht werden. Somit kann der Bus die VLSA ohne Aufenthalt passieren und die Hauptrichtung wird im nächsten Umlauf um diese Zeit gekürzt. Löst der Bus nicht alle sechs Sekunden den nächsten Meldepunkt aus bedeutet das, es gibt auf der Strecke eine Behinderung wodurch die Verlängerungszeit nicht mehr ausreichen wird. Wenn

dies eintritt, kann die Verlängerung abgebrochen und die Querrichtung mit Mindestgrün geschaltet werden.

Findet die Hauptanmeldung nach der Hauptphase bzw. in der Querphase statt, wird die Querphase auf die Mindestgrünzeit von 10 Sekunden gekürzt bzw. abgebrochen. Dadurch wird die Hauptphase schneller geschaltet und der Bus kommt zu Grünbeginn bei der VLSA an.

Die Voranmeldung spielt dann eine Rolle, wenn es zu keinem Fahrgastwechsel kommt. Sofern niemand in den Bus ein- bzw. aussteigen möchte, kann das Fahrpersonal bei der Haltestelle vorbeifahren. Wird die Voranmeldung und sieben Sekunden später die Hauptanmeldung ausgelöst, wurde kein Fahrgastwechsel durchgeführt. Durch diese Information kann das Programm nochmals flexibler geschaltet werden. Wird der Grenzwert von sieben Sekunden überschritten, muss damit gerechnet werden, dass ein Fahrgastwechsel durchgeführt wird. Ein solcher dauert in der Regel 20 bis 25 Sekunden, weshalb dies vor allem am Ende der Phase eine Rolle spielt. Wird nur die Voranmeldung ausgelöst, wird die Hauptrichtung abgebrochen und die Querrichtung mit Mindestgrünzeit geschaltet.

Abbildung 40 Buslinie 13A mit Meldepunkten, Quelle: Stadtplan Wien, eigene Darstellung



5.4.2.2.2 Ökonomisches Fahrverhalten durch C-ITS

Aufgrund der Ungewissheit, wann der Bus die Hauptanmeldung auslöst und welche Beeinflussungsmöglichkeit dadurch zum Tragen kommt, kann er zu jedem möglichen Zeitpunkt die VLSA erreichen. Zudem hat er eine Strecke von ca. 220 m ab der Hauptanmeldung vor sich. Daher kann C-ITS auf diesem Streckenabschnitt optimal zu einem ökonomischeren Fahrverhalten beitragen.

Wird der Bus beispielsweise durch ein ein- bzw. ausparkendes Fahrzeug behindert, und dem Fahrpersonal wird angezeigt, dass die VLSA noch Rot für die Hauptrichtung signalisiert, kann es entspannt warten bis das Fahrzeug den Parkvorgang abgeschlossen hat. Dem Fahrpersonal wird auch übermittelt, wie lange es noch Grün hat und dies kann in dieser Situation ebenfalls von Vorteil sein. Hat die Hauptrichtung noch lange Grün, besteht keine Eile an dem Fahrzeug vorbeizukommen. Ist die Grünzeit schon dem Ende nahe und ein Parkvorgang findet statt, dann bekommt das Fahrpersonal die Information, dass es sich nicht mehr ausgehen wird die VLSA bei Grün zu erreichen. Egal in welcher Situation sich der Bus befindet, dem Fahrpersonal ist dadurch auf jeden Fall geholfen und die Fahrgeschwindigkeit kann auf die jeweilige Lage angepasst werden.

5.4.2.2.3 Conclusio Kombination 2

Bei dem Kreuzungsplateau Ziegelofengasse # Mittersteig können zwei der drei Kriterien zu einer Verbesserung des ÖPNVs durch C-ITS angewandt werden. Bisher hatte der Bus eine mögliche Wartezeit bei einem ungeplanten Aufenthalt bei der VLSA von 0 bis 37 Sekunden. Durch die Optimierung der VLSA-Beeinflussung wurde die maximale Wartezeit auf 20 Sekunden gekürzt. Diese Reduktion der Wartezeit lässt sich vor allem auf das Kürzen der Querphase zurückführen, welche es bis dato nicht gegeben hat.

Man kann auch mittels RBL die Querphase um 17 Sekunden kürzen, jedoch hat man durch die vielen Meldepunkte, die mit C-ITS definiert werden können, die Möglichkeit, die VLSA viel flexibler zu schalten. Weiters kann aufgrund der vielen Meldepunkte sowohl auf die Verkehrslage als auch auf Behinderungen auf der Strecke besser eingegangen werden.

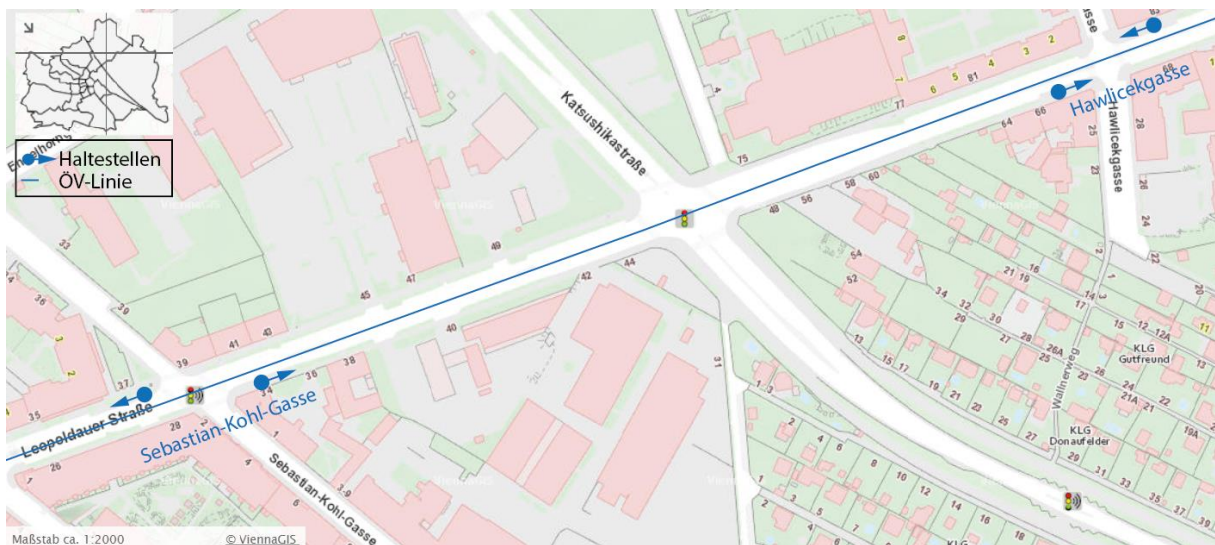
Das Fahrverhalten kann ebenfalls verbessert werden: Durch die Anzeige wie lange die VLSA noch Grün bzw. Rot signalisiert, erhält das Fahrpersonal eine zusätzliche Information, um das Fahrverhalten anzupassen. Dadurch, dass es weniger Bremsmanöver und ein langsames und kontinuierlicheres Fahren gibt, werden durch C-ITS auch die Verschleißteile des Busses geschont. Somit haben nicht nur die Fahrgäste eine angenehme Fahrt, sondern es kann auch das Fahrpersonal entspannter hinter einem ein- bzw. ausparkenden Fahrzeug warten.

5.4.2.3 Kombination 3

Die dritte Kombination setzt sich aus der Verbesserung des Stationsaufenthalts und der Optimierung des Fahrverhaltens zusammen. Auch hier müssen diverse Voraussetzungen erfüllt sein, damit die Kombination eingesetzt werden kann. Einerseits dürfen keine Vorsignale vorhanden sein, andererseits dürfen die Stationen nicht nach der VLSA situiert sein. Weiters muss die bestehende VLSA-Beeinflussung durch den ÖPNV bereits so gut sein, dass keine Verbesserung durch den Einsatz von C-ITS möglich ist.

Bei der Kreuzung Leopoldauer Straße # Katsushikastraße im 21. Bezirk sind diese Bedingungen gegeben. Die Buslinien 28A und 29A haben in diesem Abschnitt dieselbe Linienführung, weshalb die Verbesserungen für den ÖPNV für beide Linien möglich sind. Da es sich um Buslinien handelt, haben sie keine Vorsignale mit der sie den Signalzustand der VLSA bereits im Vorfeld als Information bekommen. Wie in Abbildung 41 zu erkennen ist, liegen die beiden Busstationen weit vor der VLSA. Die Haltestelle Sebastian-Kohl-Gasse ist ca. 200 m und die Haltestelle Hawlicekgasse ist ca. 210 m von der VLSA entfernt.

Abbildung 41 Buslinien 28A und 29A, Quelle: Stadtplan Wien, eigene Darstellung



Im Gegensatz zu den bisherigen Beispielen, wo die Haltestellen ebenfalls weit vor der VLSA entfernt liegen und die Optimierung des Stationsaufenthalts nicht umgesetzt wurde, ist hier eine durchaus andere Situation: Denn die zulässige Höchstgeschwindigkeit beträgt hier 50 km/h, dies trägt zu einer wesentlich kürzeren Fahrzeit bei, als bei den 30 km/h Zonen. Mit einer Entfernung von knapp 200 m sind die beiden Stationen auch ein wenig näher an der VLSA als die anderen Stationen (Maria-Trapp-Platz oder Ziegelofengasse) die bereits betrachtet wurden.

Die VLSA-Schaltung besteht aus einer 4-Phasen-Regelung, welche zudem vollkommen verkehrsabhängig ist. Die Grünzeit der einzelnen Phasen kann je nach Verkehrsaufkommen in jedem

Umlauf anders sein. Es gibt für jede Phase eine Mindestgrünzeit, die bei Bedarf aufgedehnt werden kann. Die erste Phase – Hauptphase – ist die Leopoldauer Straße mit einer Mindestgrünzeit von 19 Sekunden. Die zweite Phase ist die Katsushikastraße mit einer Mindestgrünzeit von 14 Sekunden. Die dritte Phase ist die Angyalförderstraße mit einer Mindestgrünzeit von 20 Sekunden. Die vierte Phase ist die stadtauswärtsführende Richtung R3 der Leopoldauer Straße mit einer Mindestgrünzeit von 10 Sekunden, hier geht es vor allem darum, dass die linksabbiegenden Fahrzeuge der Relation ZR3L von der Leopoldauer Straße auf die Katsushikastraße ungehindert (der Schutzweg Ü4 wird nicht geschaltet) abbiegen können. (vgl. Stadt Wien MA33: V21046, S. 4f)

Die VLSA kann in diesem Fall nicht nur vom Bus, sondern auch von der MIV beeinflusst werden. Wie im Signallageplan (Abbildung 42) ersichtlich, hat jede Relation Induktionsschleifen verbaut. Mittels dieser Schleifen wird das Verkehrsaufkommen gemessen und somit die jeweilige Phase verlängert. Die Busbeeinflussung ist im Grunde recht einfach: Meldet sich der Bus aus der Relation R1 oder R3 in der Hauptphase an, kann diese um bis zu 20 Sekunden verlängert werden. Erfolgt die Anmeldung vom Bus aus der Relation R1 in irgendeiner anderen Phase, wird die aktuelle Phase abgebrochen und alle Phasen danach mit Mindestgrün abgearbeitet bis die Relation R1 wieder geschaltet wird. Zudem wird die vierte Phase, wo die Relation Z3RL geschaltet wird, unterdrückt und gleich in die Hauptphase übergegangen. (ebd.)

Aufgrund dieser Beeinflussung würde der Einsatz von C-ITS keine Verbesserung für den Bus bringen. Man müsste lediglich die beiden Anmeldepunkte der Relationen auf die Höhe der Haltestellen zurückverlegen damit auch die Optimierung des Stationsaufenthalts genutzt werden kann.

Abbildung 42 Signallageplan V21046, Quelle: Stadt Wien MA33 – V21046_BA_20120413

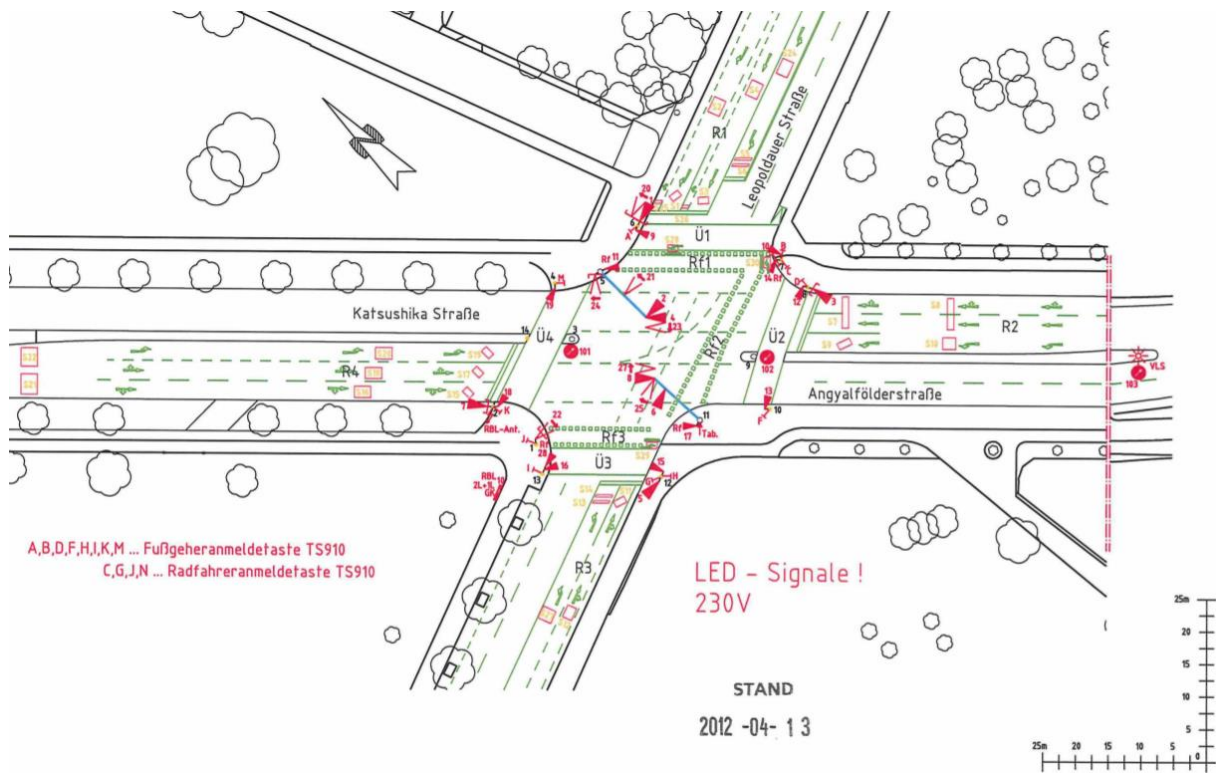
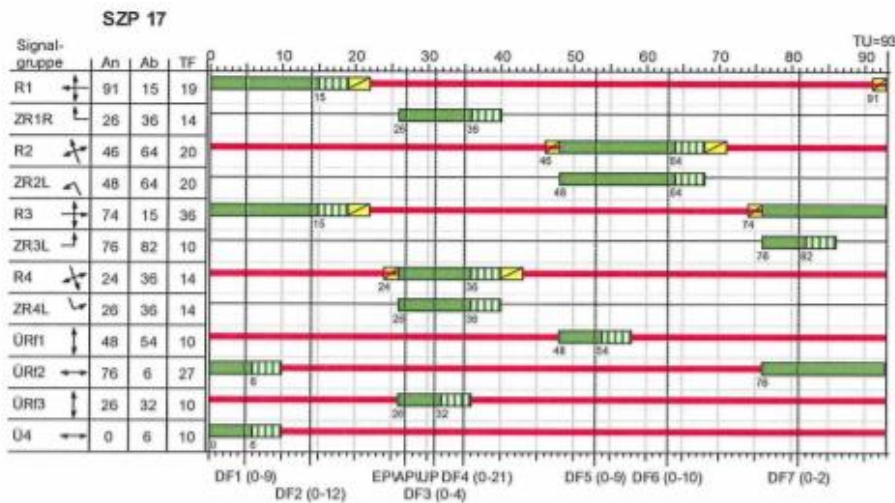


Abbildung 43 Signalzeitenplan V21046, Quelle: Stadt Wien MA33 – V21046_BA_20120413



Vollverkehrsabhängig mit Daueranmeldung aller Relationen und BUS-Boeinflussung

Prüfe BUS-Anmeldung R1, R3 in DF 1:
JA, NEINweiter laut Signalzeitenplan

Prüfe BUS-Anmeldung R1, R3 in DF 2:
JA Verlängerung DF 2 um max. 20 Sekunden
Nach Abmeldung Abbruch DF 2 und wechsel in Phase 2
NEIN weiter laut Signalzeitenplan

Prüfe BUS-Anmeldung R1 in DF 3:
JA DF 3, 4, 5, 6 = 0 oder Abbruch und wechsel in Phase 1
Verlängerung DF 2 um max. 20 Sekunden
Nach Abmeldung Abbruch DF 2 und wechsel in Phase 2
NEIN weiter laut Signalzeitenplan

Prüfe BUS-Anmeldung R3 in DF 3:
JA DF 3, 4, 5, 6 = 0 oder Abbruch
Verlängerung DF 2 um max. 20 Sekunden
Nach Abmeldung Abbruch DF 2 und wechsel in Phase 2
NEIN weiter laut Signalzeitenplan

Prüfe BUS-Anmeldung R1 in DF 4:
JA DF 4, 5, 6 = 0 oder Abbruch und wechsel in Phase 1
Verlängerung DF 2 um max. 20 Sekunden
Nach Abmeldung Abbruch DF 2 und wechsel in Phase 2
NEIN weiter laut Signalzeitenplan

Prüfe BUS-Anmeldung R3 in DF 4:
JA DF 4, 5, 6 = 0 oder Abbruch
Verlängerung DF 2 um max. 20 Sekunden
Nach Abmeldung Abbruch DF 2 und wechsel in Phase 2
NEIN weiter laut Signalzeitenplan

Prüfe BUS-Anmeldung R1 in DF 5:
JA DF 5, 6 = 0 oder Abbruch und wechsel in Phase 1
Verlängerung DF 2 um max. 20 Sekunden
Nach Abmeldung Abbruch DF 2 und wechsel in Phase 2
NEIN weiter laut Signalzeitenplan

Prüfe BUS-Anmeldung R3 in DF 5:
JA DF 5, 6 = 0 oder Abbruch
Verlängerung DF 2 um max. 20 Sekunden
Nach Abmeldung Abbruch DF 2 und wechsel in Phase 2
NEIN weiter laut Signalzeitenplan

Prüfe BUS-Anmeldung R1 in DF 6:
JA DF 6 = 0 oder Abbruch und wechsel in Phase 1
Verlängerung DF 2 um max. 20 Sekunden
Nach Abmeldung Abbruch DF 2 und wechsel in Phase 2
NEIN weiter laut Signalzeitenplan

Prüfe BUS-Anmeldung R3 in DF 6:
JA DF 6 = 0 oder Abbruch
Verlängerung DF 2 um max. 20 Sekunden
Nach Abmeldung Abbruch DF 2 und wechsel in Phase 2
NEIN weiter laut Signalzeitenplan

STAND

2012 -04- 13

5.4.2.3.1 Optimierung des Stationsaufenthalts der beiden Busrelationen

Die beiden Haltestellen sind nahezu gleich weit von der VLSA entfernt. Die Busse benötigen ca. 15 Sekunden von den Haltestellen zur VLSA. Betrachtet man den Signalzeitenplan (Abbildung 43), wo nur die Mindestgrünzeiten eingetragen sind, kann man erkennen, dass die Hauptphase der Sekunde 19 bis zur Sekunde 76 nicht geschaltet wird. Dies wäre dann der Fall, wenn sich ein Bus direkt nach dem Ende der Hauptphase anmeldet. Das bedeutet, der Bus hat in diesem Fall, abzüglich seiner Fahrzeit von 14 Sekunden, eine Wartezeit von 43 Sekunden bei der VLSA. Je später sich der Bus bei der VLSA anmeldet, desto kürzer wird dieser ungeplante Aufenthalt bei der VLSA. Jedoch ist es genau diese Wartezeit, die der Bus sinnvoller in seiner Haltestelle abwarten kann. Daher ist hier der Einsatz von C-ITS zur Verbesserung des Stationsaufenthalts ein großer Vorteil für die Fahrgäste.

5.4.2.3.2 Optimierung des Fahrverhaltens der beiden Busrelationen

Der Grund warum C-ITS bei dieser Kreuzung zu Verbesserung des Fahrverhaltens führt, liegt klar auf der Hand: Die Busse können jederzeit bei der VLSA ankommen, daher ist es für das Fahrpersonal wichtig zu wissen, in welchem Signalzustand sich die VLSA befindet. Mittels C-ITS wird diese Information in das ÖV-Fahrzeug gesendet. Somit kann das Fahrpersonal die empfohlene Geschwindigkeit auf dieser Strecke fahren.

5.4.2.3.3 Conclusio Kombination 3

Um den kombinierten Einsatz von C-ITS für die Verbesserung des Stationsaufenthalts und des Fahrverhaltens zu erreichen, darf es bei der VLSA-Schaltung kein Verbesserungspotenzial durch diese Technologie geben. Die VLSA-Schaltung könnte insofern für den ÖPNV verbessert werden, indem sich die Busse, je nach Abfahrtszeitpunkt, ein zweites oder drittes Fenster schalten. Jedoch kann dies genauso mit dem RBL umgesetzt werden, weil es im Grunde nur eine programmtechnische Änderung zur Folge hätte. Es benötigt hierzu kein Update auf eine neue Technologie.

Sowohl der Stationsaufenthalt als auch das Fahrverhalten der Buslinien kann verbessert werden. Vor allem der Stationsaufenthalt hat ein großes Optimierungspotenzial, weil der Bus eine Wartezeit von bis zu 43 Sekunden bei der VLSA haben kann. Diese Zeit kann er auch in der Station verbringen, wodurch die Fahrgäste mehr Zeit für den Ein- und Ausstieg aus dem ÖV-Fahrzeug haben. Jedoch werden durch den längeren Stationsaufenthalt die Verkehrsteilnehmer*innen die hinter dem Bus warten aufgehalten, was durchaus zu Problemen führen kann.

5.4.2.4 Conclusio Typ 2

Damit nur zwei Anwendungsmöglichkeiten von C-ITS eingesetzt werden können, müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein. So ist die Anwendung von Kombination 1, wo es um die Optimierung der VLSA-Schaltung und des Stationsaufenthalts geht, im Grunde nur bei Straßenbahnen

anzuwenden, weil diese in der Regel Vorsignale besitzen. Buslinien haben diese in den meisten Fällen nicht, daher ist diese Kombinationsmöglichkeit hier kaum anwendbar.

Im Umkehrschluss ist dafür die Kombination 2 mit der Optimierung der VLSA-Schaltung und des Fahrverhaltens kaum bei Straßenbahnlinien anwendbar, da sie eben dieses Vorsignal besitzen. Deswegen ist auch bei Kombination 3 eine Buslinie gewählt worden, weil diese über keine Vorsignale verfügt.

Trotz der Ausschließungsgründen von vielen Kreuzungsplateaus durch die verschiedenen Kombinationen, konnten Beispiele für den Einsatz von C-ITS gefunden werden, welche belegt haben, dass diese Technologie zur Verbesserung des ÖPNVs beitragen kann.

5.4.3 Typ 3: Anwendung einzelner Kriterien

Beim Typ 3 geht es darum Einsatzfälle zu finden, bei denen jeweils nur eines der drei Kriterien sinnvoll eingesetzt werden kann.

5.4.3.1 1. Einzelfall – ÖPNV-Priorisierung

Das erste Kriterium, welches betrachtet wird, ist die Optimierung der ÖPNV-Beeinflussung einer ÖV-Linie. Dafür müssen einerseits Vorsignale als auch A-Signale vorhanden sein. Bei der Kreuzung Siebensterngasse # Kirchengasse im 7. Bezirk sind diese Voraussetzungen erfüllt. Wie in Abbildung 44 zu sehen ist, hat die Straßenbahnrelation T1 eine Haltestelle vor der VLSA mit einem A-Signal und die Straßenbahnrelation T3 hat 54 m vor der Kreuzung ein Vorsignal.

Die VLSA verfügt über eine 2-Phasenregelung. Die erste Phase – Hauptphase – ist die Siebensterngasse mit einer Grünzeit von 38 Sekunden. Die zweite Phase – Querphase – ist die Kirchengasse mit einer Grünzeit von 22 Sekunden. Zunächst wird die derzeitige Priorisierung durch RBL genauer betrachtet. Die Straßenbahnlinie 49 kann aufgrund der unterschiedlichen Position der Haltestellen – vor bzw. nach der VLSA – verschiedene Beeinflussungsmöglichkeiten aktivieren, welche in Abbildung 45 beschrieben werden. (vgl. Stadt Wien MA33: V07022, S. 6f)

Die Relation T1 besitzt eine Voranmeldung die ca. 215 m vor der VLSA situiert ist. Wird diese in der Hauptphase ausgelöst, kann die Grünzeit der Hauptphase um bis zu acht Sekunden verlängert werden. Die Querphase wird um die Verlängerungszeit gekürzt, wodurch die Hauptphase maximal 46 Sekunden und die Querphase mindestens 14 Sekunden lang sein kann. Die Verlängerung durch T1 ist deshalb notwendig, damit die PKWs, die vor der Straßenbahn fahren noch bei Grün die VLSA passieren können. Dadurch kann die Straßenbahn in die Station einfahren und ungehindert den Fahrgastwechsel durchführen. Wird die Voranmeldung in der Querphase ausgelöst, wird diese um acht Sekunden gekürzt bzw. abgebrochen und die Hauptphase wird um diese Zeit verlängert.

Die Verlängerung der Hauptrichtung wird auch dann durchgeführt, wenn der Stationsaufenthalt der Straßenbahn bereits größer als 10 Sekunden ist, weil somit bereits ein großer Teil des Fahrgastwechsels durchgeführt ist und die Möglichkeit besteht, noch in der bestehenden Freiphase die VLSA zu passieren. (ebd.)

Löst die Relation T1 die Hauptanmeldung, ca. 45 m vor der VLSA, aus, und der Stationsaufenthalt ist noch länger als 10 Sekunden, wird die Hauptrichtung nicht verlängert und die Querrichtung geschaltet (ebd.). Würde dies nicht geschehen, hätte die Straßenbahn während des Fahrgastwechsels die Verlängerung konsumiert, obwohl sie es gar nicht benötigt hätte. Damit dies nicht eintritt, wird stattdessen die Querrichtung geschaltet und die Straßenbahn kann danach sofort losfahren.

Für die Gegenrichtung T3 ist die Beeinflussung wesentlich einfacher. Meldet sie sich in der Hauptphase an, wird diese um bis zu 8 Sekunden verlängert und die Querphase um die Verlängerungszeit gekürzt. Findet die Anmeldung in der Querphase statt, wird diese um bis zu 8 Sekunden gekürzt damit die Hauptphase um diese Zeit früher geschaltet wird. (ebd.)

Abbildung 44 Signallageplan V07022, Quelle: Stadt Wien MA33 – V07022_BA_20200721

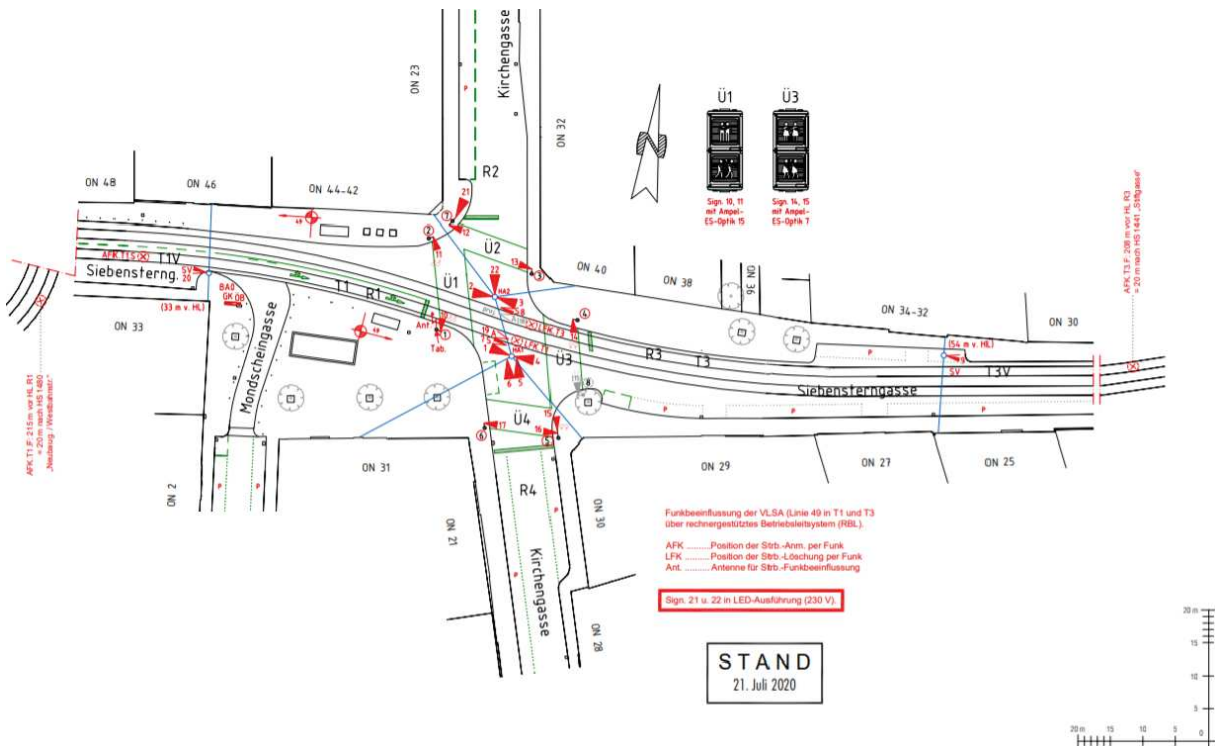
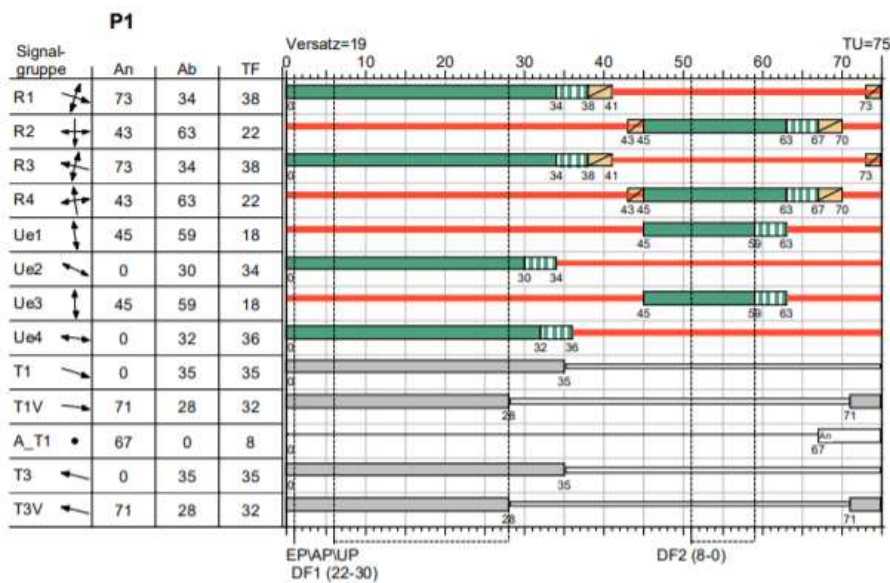


Abbildung 45 Signalzeitenplan V07022, Quelle: Stadt Wien MA33 – V07022_BA_20200721



PÜ 1.2 -> PÜ 2.1

Prüfe Voranmeldung von T1 in DF1:
 JA.....Verlängerung DF1 = DF1 + max. 8", DF2 = 8 bis 0 od. Stationsaufenthalt > 10s od. LF
 NEIN...weiter lt. SZP

Bei Hauptanmeldung von T1 in DF1 und Stationsaufenthalt < 10s:
 JA.....Abbruch Verlängerung DF1 und schalte in DF2
 NEIN...weiter lt. SZP

Prüfe Anm. T3 in DF1 und :
 JA.....Verlängerung DF1 = DF1 + max. 8", DF2 = 8 bis 0 od. LFK
 NEIN...weiter lt. SZP

Prüfe ANm T3 in DF2:
 JA.....DF2 = 0 oder Abbruch DF2
 NEIN...weiter lt. SZP

5.4.3.1.1 Optimierung für die Straßenbahnrelation T1:

Die Straßenbahn fährt in diesem Streckenabschnitt auf einem befahrbaren Gleiskörper, welcher auch vom MIV benutzt wird. Neben diesem befinden sich zudem Parkplätze. Somit kann es einerseits durch viel Verkehr, andererseits durch ein- bzw. ausparkende Fahrzeuge zu Behinderungen für die Straßenbahn kommen. Aber auch Radfahrer*innen können eine Verzögerung für die Straßenbahn bedeuten, weil diese aufgrund der räumlichen Gegebenheiten von der Straßenbahn nicht überholt werden können.

Für diese Relation geht es vor allem darum, dass die Straßenbahn in die Station einfahren kann, um ihren Fahrgastwechsel durchzuführen. Durch die Voranmeldung, welche ca. 215 m vor der VLSA liegt, wird die Hauptphase verlängert, damit keine anderen Verkehrsteilnehmer*innen zum Stehen kommen. Wird die Hauptanmeldung ausgelöst, wird überprüft, ob der Fahrgastwechsel inkl. der Verlängerung von acht Sekunden und eine anschließende Weiterfahrt durchgeführt werden kann oder nicht. Je nach Länge des Stationsaufenthalts wird die Verlängerung geschaltet oder nicht.

Die Optimierung der Beeinflussung kann wie folgt aussehen:

- Die Straßenbahn kann die Querphase abbrechen bzw. kürzen.

Im Bestand kann nur die Voranmeldung die Querphase direkt beeinflussen. Durch die Hauptanmeldung kann sie aufgrund der Verlängerung gekürzt werden, jedoch bei einer Anmeldung während der Querphase bleibt die Grünzeit mit 22 Sekunden unverändert. Die Straßenbahnbeeinflussung kann insofern verbessert werden, als sowohl die Haupt- als auch die Voranmeldung die Querphase kürzen bzw. abbrechen können. Wird durch die Hauptanmeldung die Hauptrichtung aufgrund des zu kurzen Stationsaufenthalts nicht verlängert und die Querrichtung wird geschaltet, kann diese um acht Sekunden gekürzt werden – wodurch sich die Wartezeit verringert.

5.4.3.1.2 Optimierung für die Straßenbahnrelation T3:

Ebenso wie die Straßenbahnrelation T1 fährt die Straßenbahnrelation T3 auf einem befahrbaren Gleiskörper. Es kann somit zu denselben Behinderungen wie für die Gegenrichtung kommen. Derzeit gibt es einen Anmeldepunkt für T3 welcher ca. 208 m vor der VLSA positioniert ist. Die Straßenbahn kann durch einen ungeplanten Aufenthalt eine Wartezeit von 0 bis 32 Sekunden haben.

Die bestehende Anmeldung wird beibehalten und als erste von fünf Meldepunkten passiert. Sobald sie ausgelöst wird, erhält die VLSA die Information, dass die Straßenbahn, sofern keine Behinderungen auf den Gleisen sind, in ca. 19 Sekunden bei der VLSA ankommt. Mittels der restlichen Meldepunkte, die in einem regelmäßigen Abstand von ca. 50 m auseinander liegen, kann dies auch überprüft werden. Im Normalfall muss die Straßenbahn alle 4,5 Sekunden einen Meldepunkt passieren, damit weiß die VLSA, wann die Straßenbahn eintrifft.

Im Idealfall fährt sie zum Ende der Querrichtung los, dadurch hätte die Hauptrichtung bereits drei Sekunden Grün, wenn die Straßenbahn bei der VLSA ankommt. Somit wären auch andere Verkehrsteilnehmer*innen, die bei Rot gestanden sind, losgefahren und würden die Straßenbahn nicht mehr behindern.

Im schlimmsten Fall meldet sie sich in Sekunde 23 beim ersten Meldepunkt an, denn damit würden ihr nur noch 18 Sekunden (inkl. Verlängerung) bleiben, damit sie die VLSA passieren kann. Die Straßenbahn benötigt von dem Anmeldepunkt bis zur VLSA jedoch ca. 19 Sekunden. Es ist zwar eine Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h erlaubt, jedoch wird diese nicht über die gesamte Länge gefahren, weshalb eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 40 km/h gewählt wurde.

Die Optimierung der Beeinflussung kann wie folgt aussehen:

- Die Straßenbahn kann die eigene Phase um bis zu acht Sekunden verlängern.
- Die Straßenbahn kann die Hauptphase abbrechen.
- Die Straßenbahn kann die eigene Phase abbrechen und die Querphase schalten.

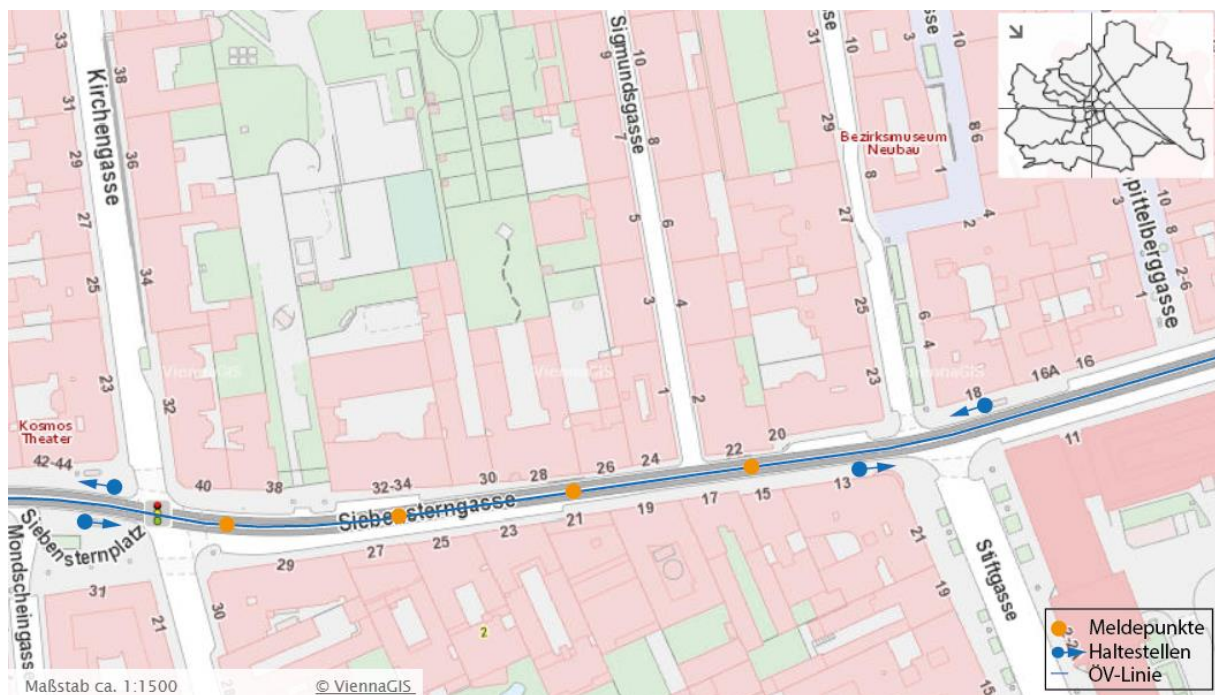
Im Bestand wird durch die Anmeldung von T3 die Hauptphase so lange verlängert, bis die Abmeldung ausgelöst wird. Wird die Anmeldung also erst am Ende der Hauptphase ausgelöst, wird diese um acht Sekunden aufgedehnt, obwohl die Straßenbahn noch lange nicht bei der VLSA angekommen ist (da sie eine Fahrzeit von 19 Sekunden hat). Somit wäre die Verlängerung in diesem Fall nicht notwendig und die Querrichtung wird auch nicht gekürzt. Die Straßenbahn kann die bestehende Beeinflussung besser einsetzen indem sie erst schlagend wird, wenn der dritte Meldepunkt passiert wurde. Dieser liegt ca. 90 m vor der VLSA, wodurch sich von diesem Punkt eine Fahrzeit von ca. acht Sekunden ergibt. Damit wäre hier der richtige Abfragezeitpunkt, ob die Hauptrichtung verlängert werden soll oder nicht.

Meldet sich die Straßenbahn im Idealfall an, muss die VLSA nicht beeinflusst werden. Sollte es durch irgendwelche Gründe zu Behinderungen kommen, kann sich die Straßenbahn ihre Phase immer noch um bis zu acht Sekunden verlängern.

Meldet sich die Straßenbahn zum schlechtmöglichsten Zeitpunkt an, kann die Hauptrichtung abgebrochen werden und die Querrichtung mit Mindestgrün geschaltet werden. Somit kommt es zwar zu einem Aufenthalt bei der VLSA, der jedoch so kurz wie möglich gehalten wird.

Findet die Anmeldung zu irgendeinem anderen Zeitpunkt während der Hauptphase statt, kann die Straßenbahn aufgrund der fünf Meldepunkte genau geortet werden und eine der drei möglichen Varianten schalten.

Abbildung 46 Straßenbahnlinie 49 mit Meldepunkten, Quelle: Stadtplan Wien, eigene Darstellung



5.4.3.1.3 Conclusio 1. Einzelfall (Kriterium 1):

An der Kreuzung Siebensterngasse # Kirchengasse kommt C-ITS nur für die Optimierung der Straßenbahnbeeinflussung zum Einsatz. Aufgrund des A-Signals bei T1, bekommt das Fahrpersonal acht Sekunden vor Abfahrt die Information wann die VLSA auf Grün umschaltet. Durch das Vorsignal bei T3 kann das Fahrpersonal bereits früher erkennen, welchen Signalzustand die VLSA anzeigt und somit die Geschwindigkeit anpassen.

Die bestehende Priorisierung der Straßenbahn kann mittels C-ITS flexibler gestaltet werden. Für beide Relationen kann die Wartezeit von maximal 32 auf 27 Sekunden gesenkt werden.

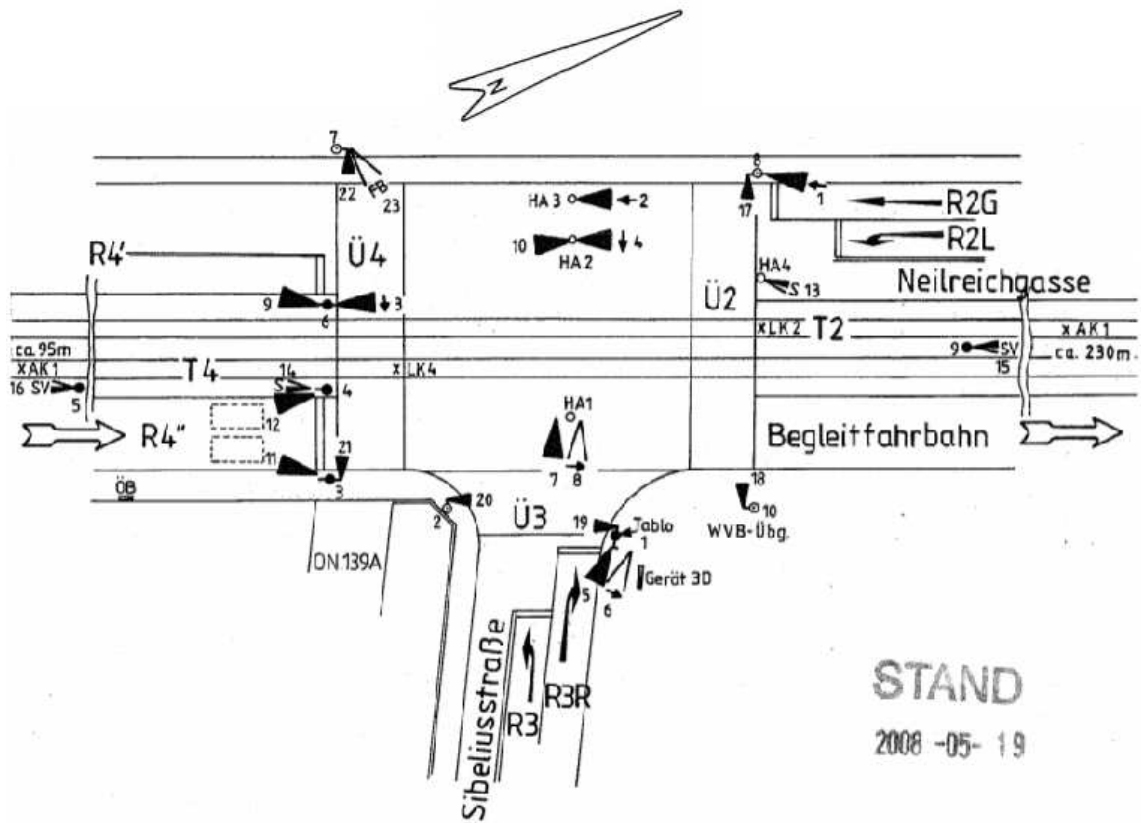
Für die Relation T1 muss jedoch gesagt werden, dass die Optimierung auch mittels RBL umgesetzt werden könnte. Für T3 kann durch C-ITS die Verlängerung sinnvoller geschaltet werden. Weiters wird durch das ständige Abfragen der Straßenbahnposition die VLSA-Schaltung effektiver. Das hat nicht nur für die Straßenbahnen einen positiven Einfluss, sondern auch für die anderen Verkehrsteilnehmer*innen.

5.4.3.2 2. Einzelfall – Optimierung Stationsaufenthalt

Das zweite Kriterium, das einzeln betrachtet wird, ist die Optimierung des Stationsaufenthalts. Dafür müssen für den ÖPNV Vorsignale montiert sein und die Beeinflussung durch Bus oder Straßenbahn kann durch den Einsatz von C-ITS nicht verbessert werden. Zudem dürfen die Haltestellen nicht nach der VLSA situiert sein, weil ansonsten keine Verbesserung des Stationsaufenthalts durchgeführt werden kann.

Bei der Kreuzung Neilreichgasse # Sibeliusstraße im 10. Bezirk sind diese beiden Bedingungen erfüllt. Die Straßenbahnlinie 11 fährt hier auf einem eigenen Bahnkörper, der nur von Schienenfahrzeugen genutzt werden kann. Wie in Abbildung 47 zu entnehmen ist, gibt es für beide Straßenbahnrelationen Vorsignale. Weiters gibt es zwei Haltestellen, die unterschiedlich weit weg vor der VLSA positioniert sind. Die Haltestelle Sahulkastraße liegt ca. 280 m nördlich der VLSA, die Haltestelle Wienerfeldgasse liegt rund 100 m südlich der VLSA. In diesem Teil der Neilreichgasse gilt zwar eine 30 km/h Geschwindigkeitsbeschränkung, von dieser sind Straßenbahnen jedoch ausgenommen. Daher kann hier, anders als bei den bisher betrachteten Haltestellen Maria-Trapp-Platz und Ziegelofengasse, C-ITS zu einer Optimierung des Stationsaufenthalts herangezogen werden.

Abbildung 47 Signallageplan V10056, Quelle: Stadt Wien MA33 – 10056_BA_20080519I



Anm.: die Relationen R4' und R4'' sind im Signalzeitenplan (Abbildung 49) mit R4 bzw. R5 beschriftet

Abbildung 48 Straßenbahnlinie 11, Quelle: Stadtplan Wien, eigene Darstellung



Wie aus dem Signalzeitenplan abzulesen ist, besteht die VLSA-Schaltung aus einer 4-Phasenregelung. Die erste Phase – die Hauptphase – ist die stadtauswärtsführende Relation R2 der Neilreichgasse, gemeinsam mit der Rechtsabbieger Relation R3R aus der Sibeliusstraße mit einem Mindestgrün von 10 Sekunden. Die Straßenbahn kann die VLSA mittels Oberleitungskontakte beeinflussen. In der zweiten Phase haben beide Relationen der Neilreichgasse gemeinsam mit den Straßenbahnrelationen Grün. Die Grünzeit für die Neilreichgasse beträgt 30 Sekunden und für die Straßenbahnen 26 Sekunden. Die dritte Phase ist die Sibeliusstraße mit einer Grünzeit von 30 Sekunden. Zwischen der zweiten und dritten Phase gibt es noch eine vierte Phase, in der die Nebenfahrbahn R5 der Neilreichgasse geschaltet wird. In der Beschreibung der Logik (Abbildung 51) wird diese Phase mit 2a benannt. Sie erhält nur bei Bedarf eine Grünzeit von 8 Sekunden. Meldet sich kein Fahrzeug an, tritt der Signalablauf, welcher in der Abbildung 50 zu sehen ist, in Kraft. In diesem Fall ist die Grünzeit der zweiten Phase um 12 Sekunden länger und beträgt 42 Sekunden. (vgl. Stadt Wien MA33: V10066, S. 3f)

Abbildung 49 Signalzeitenplan V10056, Quelle: Stadt Wien MA33 – 10056_BA_20080519

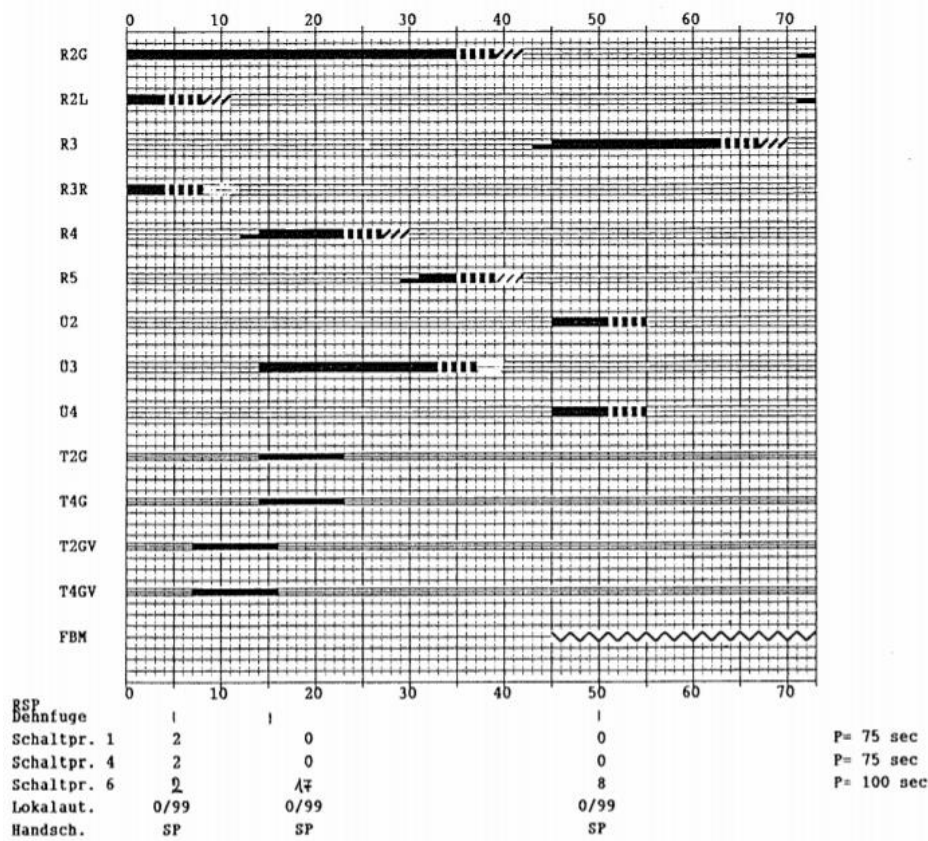
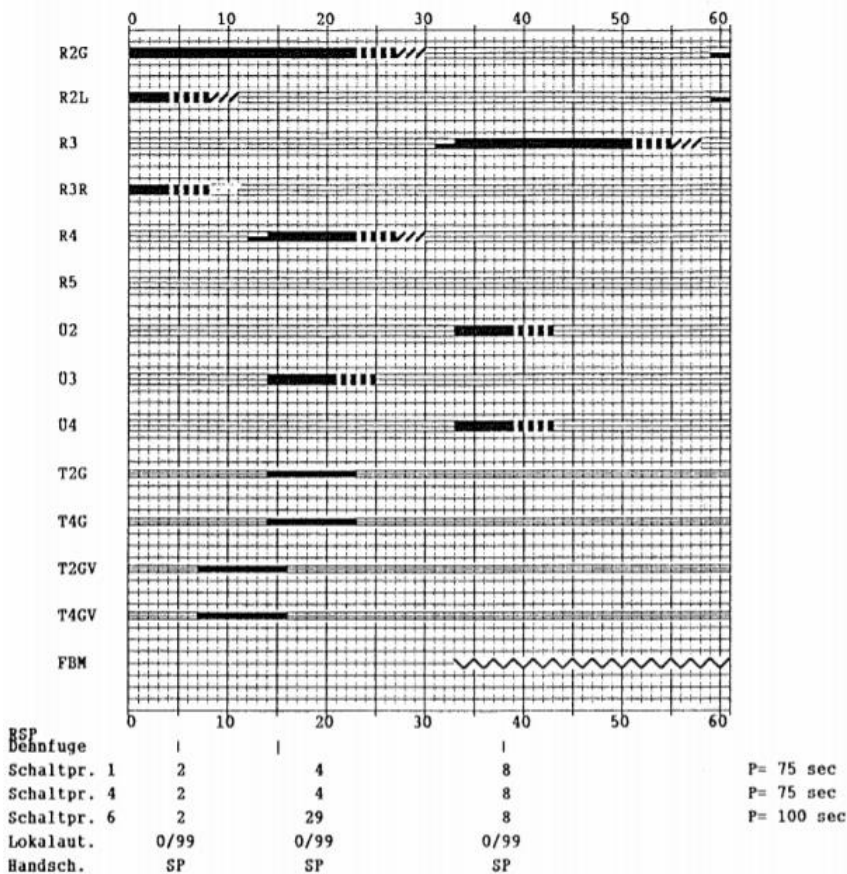


Abbildung 50 Signalzeitenplan ohne Phase 2a V10056, Quelle: Stadt Wien MA33 – 10056_BA_20080519



Die Straßenbahn kann die VLSA mittels Oberleitungskontakte (OLK) beeinflussen. Dabei ist die Beeinflussung für beide Straßenbahnrelationen ident. Meldet sich die Straßenbahn in der ersten Phase an, wird diese abgebrochen. Wird die Anmeldung in der zweiten Phase ausgelöst, kann diese um bis zu 50 Sekunden verlängert werden. Meldet sich die Straßenbahn in der Phase 2a oder in der dritten Phase an, dann wird diese abgebrochen und erneut die Phase zwei geschaltet. Auch in diesem Fall kann die Straßenbahn ihre Phase um bis zu 50 Sekunden verlängern. (ebd.)

Die Oberleitungskontakte für die Straßenbahnrelationen T2 und T4 hängen ca. 230 m bzw. 95 m vor der VLSA. Das bedeutet, T2 benötigt vom OLK ca. 17 Sekunden und T4 ca. sieben Sekunden bis zur VLSA. Aufgrund der jeweils kurzen Fahrt vom OLK zu der VLSA und der langen Verlängerungszeit gibt es hier kein Verbesserungspotenzial. Weiters bestehen für die Straßenbahnen die Möglichkeit, sich nach jeder Phase eine weitere Freiphase zu schalten, womit auch hier keine Optimierungen mehr vorgenommen werden können. Zudem fährt die Straßenbahn auf einem eigenen Bahnkörper und wird in ihrer Anfahrt zur VLSA somit auch nicht von anderen Verkehrsteilnehmer*innen behindert. Man müsste lediglich den OLK in die Haltestelle verlegen, damit die Anmeldung noch in der Station ausgelöst wird. Ansonsten erhält das Fahrpersonal eine falsche Information, wenn die Beeinflussung erst danach ausgelöst wird.

Abbildung 51 Beschreibung der Logik V10056, Quelle: Stadt Wien MA33 – 10056_BA_20080519

Phasenfolge bei Anmeldung
von T2G, T4G (AK1, AK3) :

Prüfe Anmeldung in Phase 1(RSP sec.3):

JA ... DF1=0 bzw. abbrechen, weiter gem. RSP mit ZPH 1/2
(Phase 2 folgt), in Phase 2 warten auf LK2,LK4, weiter
mit Phase 2a oder 3.
NEIN ... weiter gem. RSP+DF mit ZPH 1/2 (Phase 2 folgt).

Prüfe Anmeldung in Phase 2(RSP sec.15):

JA ... warten auf LK2,LK4, weiter mit Phase 2a oder 3.
NEIN ...Phase 1 vorangegangene Phase ... weiter
gem.RSP+DF mit ZPH 2/3 (Phase 3 folgt)bzw. bei Anm.R5
weiter gem. RSP+DF mit ZPH 2/2a (Phase 2a folgt,
anschl.Phase 3).

Phase 3 vorangegangene Phase ... weiter gem.RSP mit ZPH
2/1 (Phase 1 folgt).
Phase 2a vorangegangene Phase ... weiter gem. RSP mit ZPH
2/3 (Phase 3 folgt).

Prüfe Anmeldung in Phase 2a (RSP sec.32):

JA ... weiter gem.RSP mit ZPH 2a/2 (Phase 2 folgt),in
Phase 2 warten auf LK2,LK4, weiter mit Phase 3.
NEIN ... weiter gem.RSP mit ZPH 2a/3 (Phase 3 folgt).

Prüfe Anmeldung in Phase 3 (RSP sec.38):

JA ... DF3=0 bzw.abbrechen, weiter gem. RSP mit ZPH 3/2
(Phase 2 folgt), in Phase 2 warten auf LK2,LK4, weiter
mit Phase 1.
NEIN ... Phase 2 vorangegangene Phase ... weiter gem.
RSP+DF mit ZPH 3/1 (Phase 1 folgt).
Phase 2a vorangegangene Phase ... weiter gem.
RSP+DF mit ZPH 3/1 (Phase 1 folgt).

5.4.3.2.1 Optimierung des Stationsaufenthalts:

Mittels Einsatzes von C-ITS kann der Stationsaufenthalt insofern verbessert werden, als ein unnötiger Aufenthalt mit ungewisser Wartezeit vermieden wird. Vor allem für die Relation T4, welche nur 7 Sekunden von dem OLK zur VLSA benötigt, wäre dies ein großer Vorteil. Meldet sie sich direkt nach ihrer eigenen Phase an, hätte sie bei der VLSA eine Wartezeit von 31 Sekunden bis sie die Freiphase bekommt. Diesen Aufenthalt kann sie in der Station wesentlich besser nutzen. Aber auch die Relation T4 kann den Stationsaufenthalt um 14 Sekunden verlängern. Diese Optimierungen sind vor allem für die Fahrgäste von Vorteil.

5.4.3.2.2 Conclusio 2. Einzelfall (Kriterium 2):

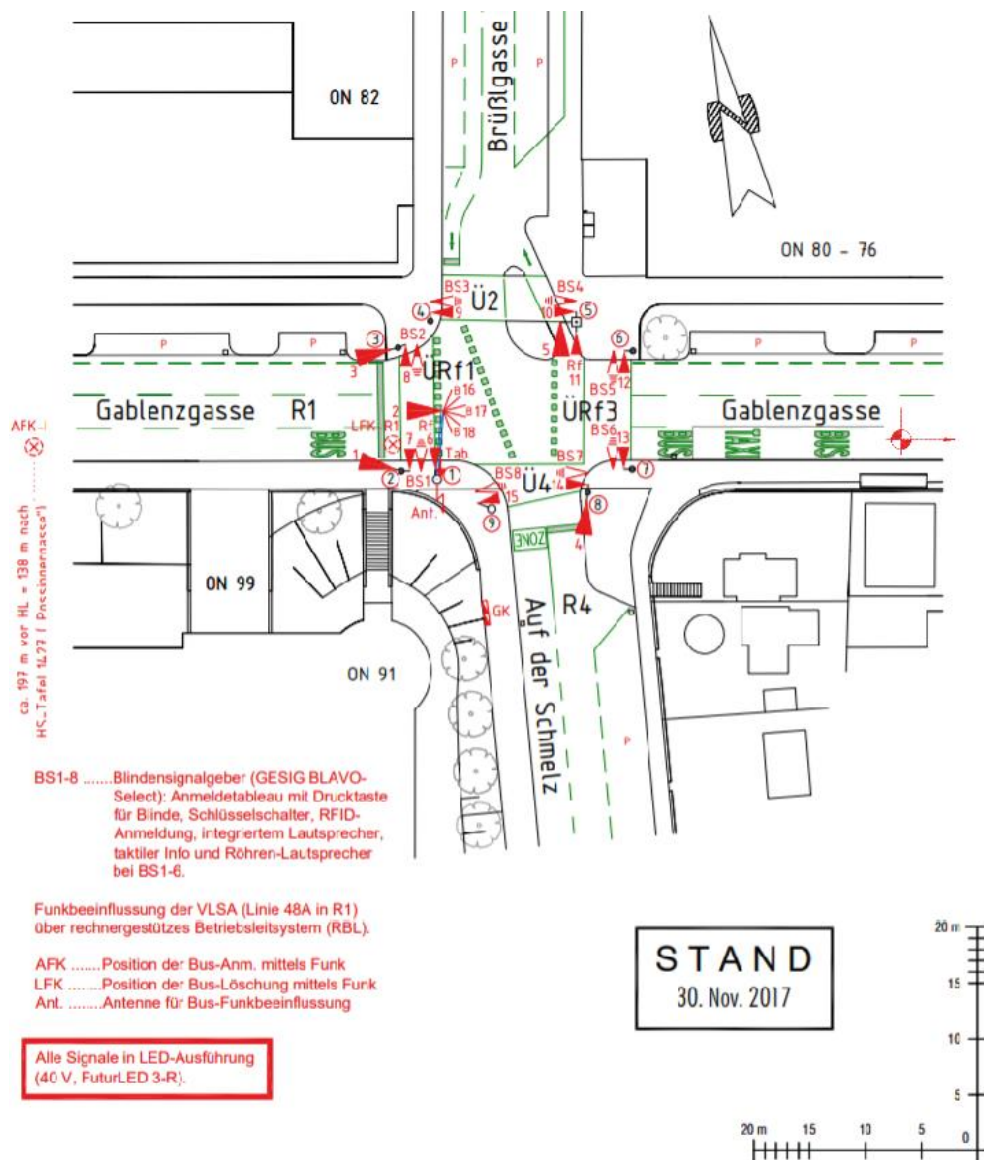
Aufgrund der guten Straßenbahnbeeinflussung und der vorhandenen Vorsignale ist an diesem Kreuzungsplateau nur noch die Optimierung des Stationsaufenthalts mit C-ITS durchführbar. Diese Verbesserung hilft auch dem Fahrpersonal während des Fahrgastwechsels, denn es besteht einerseits die Möglichkeit sich mehr Zeit zu lassen, und andererseits bekommt man die Information, dass bereits Grün ist und der Fahrgastwechsel abgeschlossen werden kann.

5.4.3.3 3. Einzelfall – Ökonomischeres Fahrverhalten

Das dritte Kriterium ist die Verbesserung des ökonomischen Fahrverhaltens. Hierbei geht es darum, eine VLSA zu finden, bei der es keine Vorsignale gibt und wo die ÖPNV-Haltestelle nach der Kreuzung positioniert ist. Weiters darf kein Optimierungspotenzial der bestehenden RBL-Beeinflussung durch C-ITS möglich sein.

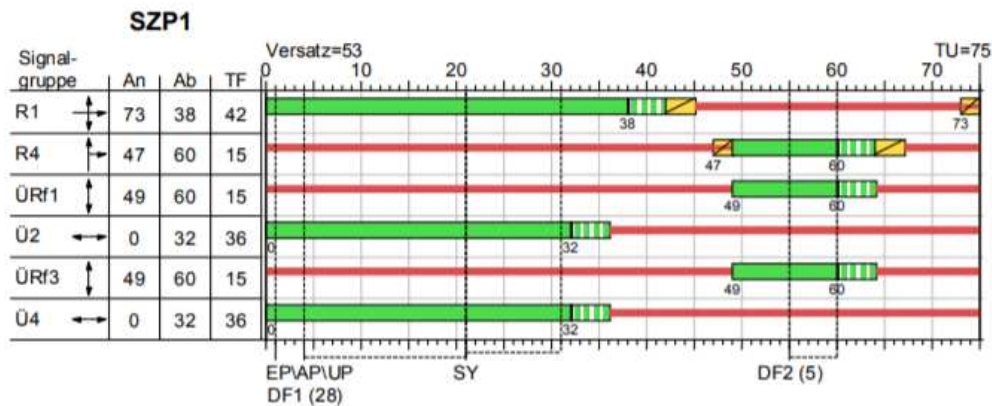
Diese Gegebenheiten treffen auf die Kreuzung Gablenzgasse # Brüßlgasse zu. Hier fährt die Buslinie 48A, die, wie auch schon die anderen in dieser Arbeit gezeigten Beispiele, über keine Vorsignale verfügt. Sie fährt entlang der Gablenzgasse auf einer Busspur, die stadteinwärts führt. Die Busspur dürfen neben den Buslinien der Wiener Linien auch Taxis, Transporte für behinderte Personen und Radfahrende benutzen.

Abbildung 52 Signallageplan V16043, Quelle: Stadt Wien MA33 – V16043_BA_20171130



Die VLSA-Schaltung besteht aus einer simplen 2-Phasenregelung (Abbildung 53). Die erste Phase – die Hauptphase – ist die Gablenzgasse mit einer Grünzeit von 42 Sekunden. Die zweite Phase – die Querphase – ist die Brüßlgasse bzw. Auf der Schmelz mit einer Grünzeit von 15 Sekunden. Der Bus kann bei Bedarf seine eigene Phase um bis zu 20 Sekunden aufdehnen. Die benötigte Verlängerungszeit wird im nächsten Umlauf der Hauptrichtung abgezogen. (vgl. Stadt Wien MA33: V16043, S. 6f)

Abbildung 53 Signalzeitenplan V16043, Quelle: Stadt Wien MA33 – V16043_BA_20171130



Prüfe Bus-Anmeldung (RBL) in DF1:

Ja: $DF1 = DF1_NP + (0-20)$

Abbruch bei Stationseinfahrt

Nachfolgende DF1 = $DF1_NP$ - Busverlängerung

Auf den ersten Blick könnte man annehmen, dass die Busbeeinflussung noch verbessert werden kann indem man die Verlängerung erhöht oder die Querrichtung kürzen kann; tatsächlich erscheint dies aber nicht nötig. Der Grund dafür liegt in der Koordinierung dieser VLSA mit der VLSA Gablenzgasse # Possingergasse, die ca. 230 m davor liegt.

Der Bus fährt auf der Relation R4, welche in der Sekunde 40 Grün bekommt. Die Grünzeit von R4 beträgt 28 Sekunden und kann durch die Buslinie 10A, welche auf der Relation R1 fährt um fünf Sekunden gekürzt werden. Das bedeutet, der Bus 48A kann nur in einem bestimmten Fenster – das 23 bis 28 Sekunden lang ist – welches in der 40. Sekunde startet, die VLSA Gablenzgasse # Possingergasse passieren. (vgl. Stadt Wien MA33: V16013, S. 5f)

Abbildung 54 Signallageplan V16013, Quelle: Stadt Wien MA33 – V16013_BA_20150326

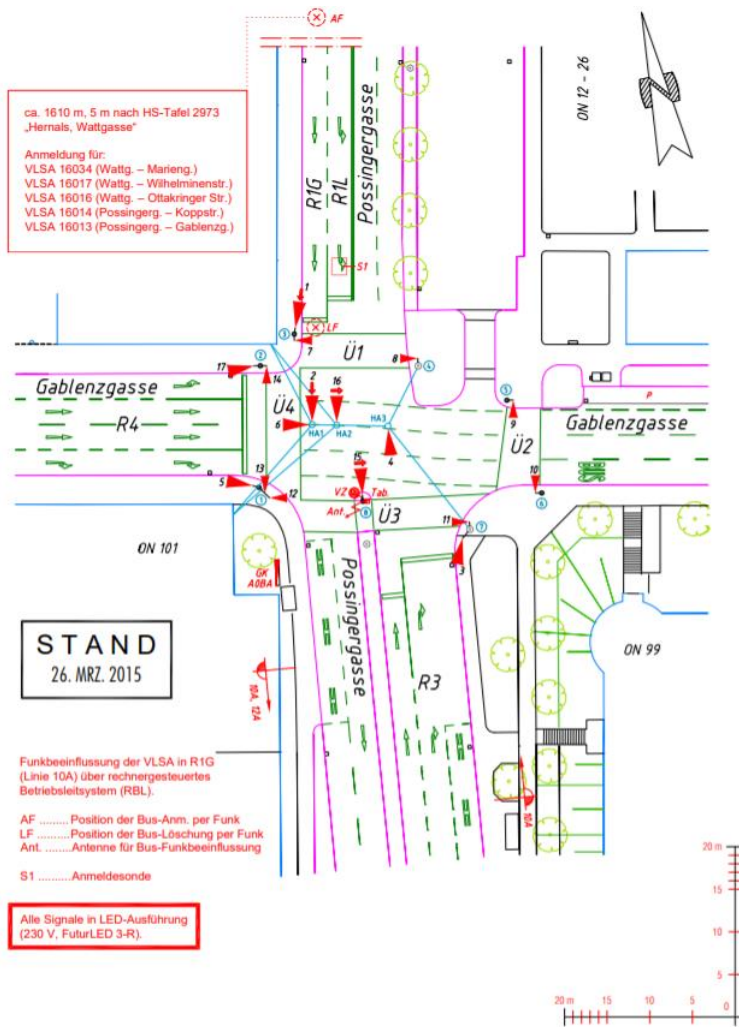
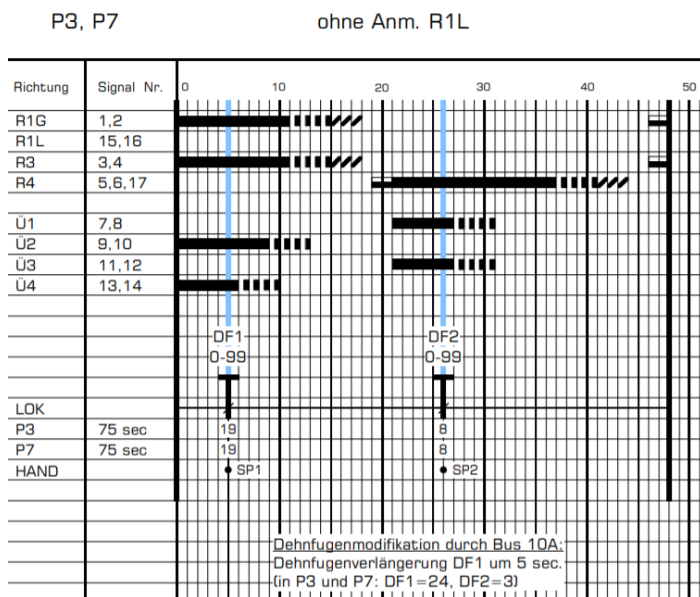


Abbildung 55 Signalzeitenplan V16013, Quelle: Stadt Wien MA33 – V16013_BA_20150326



Betrachtet man die VLSA Gablenzgasse # Brüllgasse kann man in der Abbildung 53 erkennen, dass hier ein Nulllinienversatz von 53 angegeben ist. Das bedeutet, die Relation R1 startet nicht in der Sekunde 0, sondern in der Sekunde 53. (vgl. Stadt Wien MA33: V16043, S. 6f). Somit startet die Relation R1 bei dieser VLSA um 13 Sekunden später als die Relation R4 bei der VLSA Gablenzgasse # Possingergasse. Diese beiden VLSAn liegen ca. 230 m auseinander, man benötigt bei einer höchstzulässigen Geschwindigkeit von 50 km/h also ca. 16 Sekunden von der Possingergasse zur Brüllgasse.

Zusammengefasst bedeutet das, wenn man bei der VLSA Gablenzgasse # Possingergasse losfährt, kommt man bei der VLSA Gablenzgasse # Brüllgasse 16 Sekunden später an und die Hauptrichtung hat bereits drei Sekunden lang Grün. Aufgrund dieser guten Koordinierung benötigt man keine weitere Beeinflussung. Sollte doch etwas Unvorhergesehenes eintreten, kann der Bus seine Phase immer noch um 20 Sekunden verlängern. Daher ist eine Verbesserung der bestehenden VLSA-Beeinflussung nicht nötig.

5.4.3.3.1 Optimierung des Fahrverhaltens für den Bus:

Obwohl die Koordinierung der beiden VLSAn gut für den Bus ausgelegt ist, kann C-ITS dem Fahrpersonal hilfreiche Informationen liefern. Denn das Fahrpersonal weiß zwar, dass es in der Regel ohne Probleme die VLSA passieren kann, jedoch weiß es nie, wie lange die VLSA noch Grün signalisiert. Aufgrund der Mitbenutzung der Busspur durch andere Verkehrsteilnehmer*innen kann es immer wieder zu Behinderungen durch beispielsweise Radfahrende kommen. Denn die Busspur ist in diesem Bereich nicht breiter als 3,5 m, dies macht ein Überholen von Radfahrenden nicht möglich (außer der Bus weicht auf eine der beiden MIV-Fahrstreifen aus). Damit das Fahrpersonal jedoch ohne dieses Manöver auskommt, kann C-ITS eingesetzt werden. Durch den Einsatz von C-ITS wird dem Fahrpersonal die Information übermittelt, wie lange die VLSA noch Grün hat. Dadurch kann das Fahrverhalten den jeweiligen Umständen angepasst werden.

5.4.3.3.2 Conclusio 3. Einzelfall (Kriterium 3):

Das Fahrverhalten kann mit C-ITS bei dieser VLSA optimiert werden. Für die Verbesserung durch C-ITS müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein: Die VLSA-Beeinflussung muss bereits so gut umgesetzt sein, dass durch C-ITS keine Möglichkeit einer Verbesserung besteht. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn die Koordinierung zwischen den einzelnen VLSAn gut abgestimmt ist. Auch die Situierung von Haltestellen spielt eine große Rolle, da sich diese nicht vor der VLSA befinden dürfen.

5.4.3.4 *Conclusio Typ 3*

Die Einzelfälle von Typ 3 sind im Grunde die umgekehrten Anwendungsfälle von Typ 2. Sprich es mussten zwei Anwendungen bereits so gut abgestimmt sein, dass nur noch eine mittels C-ITS verbessert werden kann.

Da es in Wien nahezu für jede Straßenbahn Vorsignale und bei den Stationen, die vor einer VLSA liegen, A-Signale gibt, musste für den ersten Einzelfall nur eine VLSA gesucht werden, bei der die ÖPNV-Beeinflussung optimiert werden kann. Dies war angesichts der bereits guten VLSA-Schaltungen eine Herausforderung.

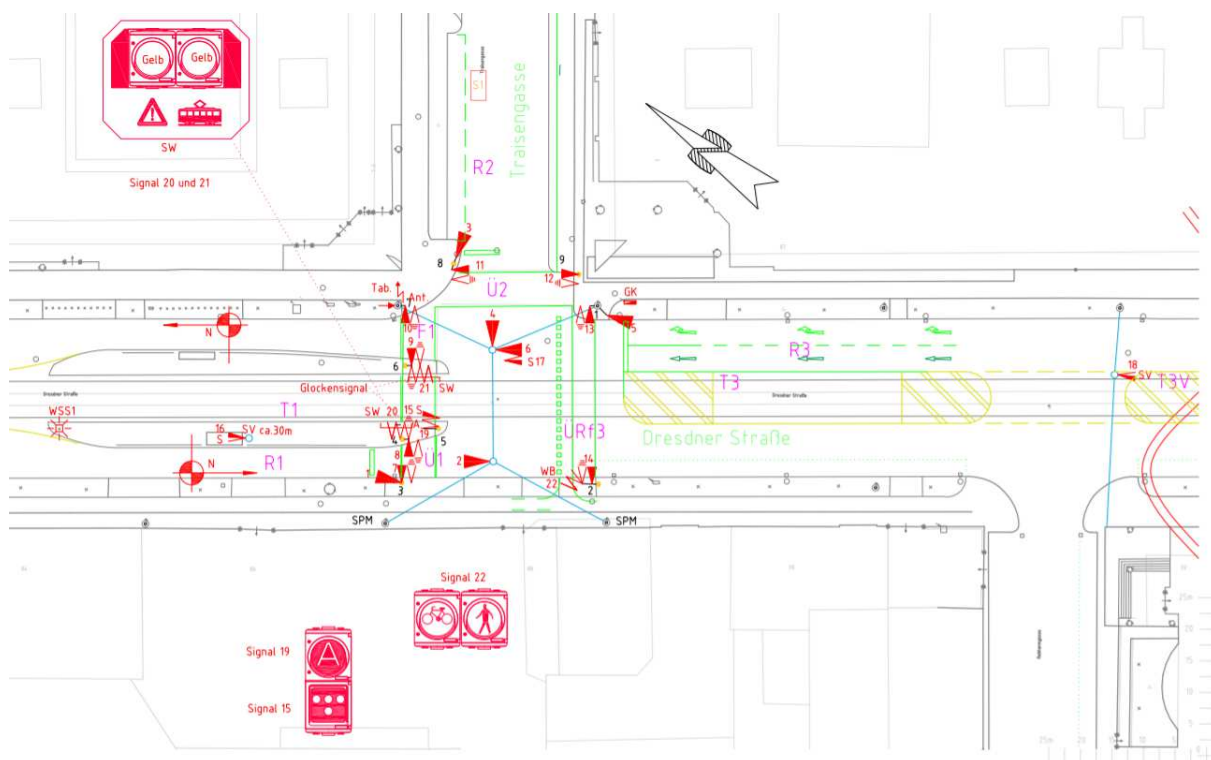
Beim zweiten Einzelfall lag der Fokus wieder auf den Straßenbahnlinien, da diese über Vorsignale verfügen und somit das Fahrverhalten bereits an die VLSA-Schaltung anpassen können. Für die Optimierung des Fahrverhaltens wurde beim dritten Einzelfall eine Buslinie gewählt, weil diese keine Vorsignale besitzt. Bei beiden Anwendungsfällen wurde darauf geachtet, dass die bestehende VLSA-Beeinflussung keiner Verbesserung bedarf. Weiters besitzen bei beiden Kreuzungen die ÖV-Linien eigene Fahrstreifen, wodurch sie in der Regel durch keine anderen Verkehrsteilnehmer*innen aufgehalten werden und somit die VLSA-Beeinflussung ohne Probleme abgewickelt werden kann.

5.4.4 Typ 4: Keine Anwendung von C-ITS

Beim Typ 4 soll jener Fall betrachtet werden, bei dem es durch den Einsatz von C-ITS zu keiner Verbesserung kommt. Dafür müssen verschiedene Kriterien erfüllt sein. Zum einen müssen Vorsignale als auch A-Signale vorhanden sein. Aber auch die bestehende VLSA-Beeinflussung vom ÖPNV muss bereits so gut funktionieren, dass durch C-ITS keine weiteren Optimierungen durchzuführen sind.

Beim Kreuzungsplateau Dresdner Straße # Traisengasse im 20. Bezirk sind all diese Kriterien erfüllt. Hier fährt die Straßenbahnlinie 2 auf einem straßenbündigen Gleiskörper, der mittels Sperrlinie vom MIV getrennt ist. Somit dürfen keine anderen Verkehrsteilnehmer*innen auf dem Gleiskörper fahren. Auf der Fahrrelation T1 gibt es jedoch eine Ausnahme, weil man bei der Gasteigergasse auf die Dresdner Straße auffahren bzw. von der Dresdner Straße in die Gasteigergasse abbiegen kann. Dasselbe Szenario gibt es auch zweimal für die Fahrrelation T3 bei der Rebhanngasse und der Pöchlarnstraße. Bei diesen Abzweigungen handelt es sich lediglich um Zufahrten zu Wohnhäusern bzw. zu Geschäftslokalen, welche nicht allzu stark befahren sind.

Abbildung 56 Signallageplan V20020, Quelle: Stadt Wien MA33 – V20020_BA_20140731



Die Straßenbahn hat bei beiden Relationen Vorsignale (Abbildung 56) zur Verfügung und bei der Haltestelle vor der VLSA befindet sich auch ein A-Signal. Dadurch kann das Fahrpersonal das Fahrverhalten an den jeweiligen Signalzustand anpassen und mittels des A-Signals kann es den Stationsaufenthalt mit einer guten Voraussicht abwickeln. Somit kann hier C-ITS keine Optimierungen erzielen.

Die VLSA-Schaltung besteht aus einer 2-Phasenregelung. In der ersten Phase – Hauptphase – wird die Dresdner Straße mit einer Grünzeit von 44 Sekunden geschaltet. In der zweiten Phase – Querphase – erhält die Traisengasse ebenfalls 44 Sekunden Grün. Die Straßenbahn kann die VLSA mittels RBL beeinflussen. Die Straßenbahnrelation T1 meldet sich ca. 90 m vor der VLSA an und kann die Hauptphase entweder um bis zu 40 Sekunden verlängern oder die Hauptphase abbrechen. Dies ist davon abhängig, wie lange ihr Stationsaufenthalt bisher gedauert hat. Ist die Aufenthaltsdauer unter 10 Sekunden und die Verlängerung würde aktiviert werden, wird die Hauptphase stattdessen abgebrochen und die Querphase mit einem Mindestgrün geschaltet. Ist die Aufenthaltsdauer größer als 10 Sekunden wird die Verlängerung durchgeführt, bis die Straßenbahn den Abmeldekontakt auslöst bzw. bis die 40 Sekunden aufgedehnt wurden. (vgl. Stadt Wien MA33: V20020, S. 10f)

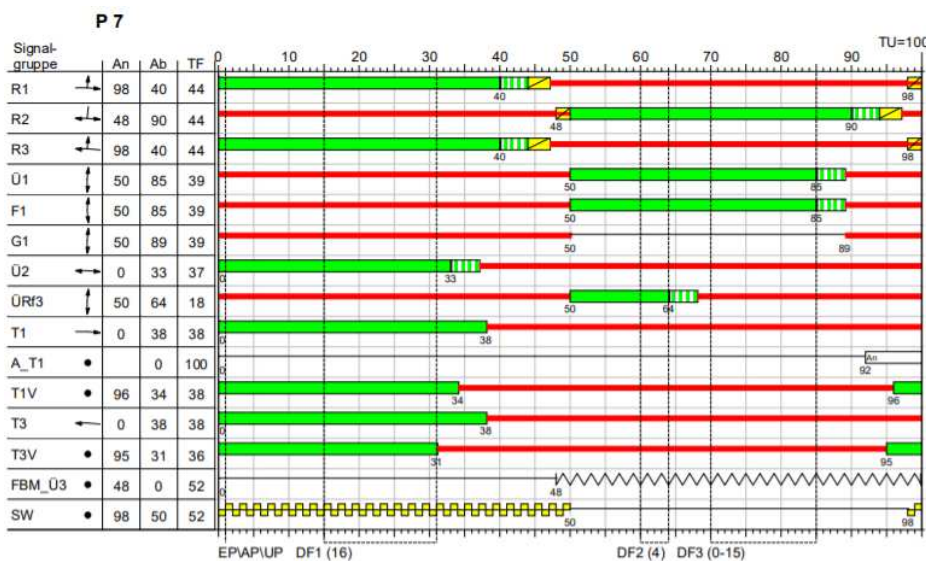
Die Straßenbahnrelation T3 hat ihre Anmeldung ca. 390 m vor der VLSA. Das bedeutet, sie benötigt bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h ca. 28 Sekunden vom Anmeldepunkt bis zur VLSA. Meldet sie sich in der Hauptphase an, kann sie diese um 40 Sekunden verlängern. Meldet sich

die Straßenbahn in der letztmöglichen Sekunde ihrer eigenen Phase an, muss sie diese um 28 Sekunden aufdehnen damit sie die VLSA noch passieren kann (ebd.). Sie hat demzufolge eine Reserve von 12 Sekunden, sollte es doch zu irgendwelchen Verzögerungen auf der Strecke kommen.

Findet eine Straßenbahnanmeldung in der Querphase statt, können beide Relationen die Querphase abrechnen bzw. kürzen. (ebd.)

Eine Verbesserung der Straßenbahnbeeinflussung durch C-ITS kann hier nicht erzielt werden. Sowohl für T1 als auch T3 sind die möglichen Beeinflussungen bereits vorhanden. T1 hat im Bestand zwei unterschiedliche Arten der Beeinflussung von der Hauptphase, welche auch sehr der Querphase entgegenkommt. Denn mittels der Abfrage der Aufenthaltsdauer wird bei Bedarf die Querphase zwar nur mit Mindestgrün aber dafür früher geschaltet und es muss keine Verlängerungszeit abgewartet werden. Die Aufdehnung von 40 Sekunden ist für T3 ausreichend und mit genügend Reserven verbunden. (ebd.)

Abbildung 57 Signalzeitenplan V20020, Quelle: Stadt Wien MA33 – V20020_BA_20140731



Der SYN Impuls wird ständig unterdrückt (Anlage freilaufend)

Prüfe Straßenbahnanmeldung T1, T3 in DF1:

JA T3 = JA ... Verlängerung DF1 um max. 40 Sekunden oder vorzeitiger Abbruch durch T3_LF

T3 = NEIN und T1 < 10 sec.... DF1 = 0 oder Abbruch

T3 = NEIN und T1 > 10 sec.... Verlängerung DF1 um max. 40 Sekunden oder vorzeitiger Abbruch durch T1_LF

NEIN ... weiter laut Signalzeitenplan

Prüfe Straßenbahnanmeldung T1, T3 in DF2:

JA DF2 = 0 oder Abbruch

NEIN ... weiter laut Signalzeitenplan

Prüfe Straßenbahnanmeldung T1, T3 in DF3:

JA DF3 = 0 oder Abbruch

NEIN ... Zeitlücke R2 < 4 sec. ... Verlängerung DF3

NEIN ... Zeitlücke R2 > 4 sec. ... Abbruch DF3

Das Glockensignal (G1) und der Wechselblinker (SW) werden durch Straßenbahnanmeldung beeinflusst.

Priorität:

1.) T3

2.) T1

3.) Bemessung R2

5.4.4.1 *Conclusio Typ 4*

Anhand dieses Kreuzungsplateaus wird ersichtlich, dass der Einsatz von C-ITS nicht überall sinnvoll und zielführend ist. An VLSAn wo bereits Vorsignale und A-Signale vorhanden sind und die bestehende ÖPNV-Beeinflussung so gut abgestimmt ist, dass diese keine Verbesserung benötigt, sind die Anwendungen von C-ITS nicht gefragt. Daher ist es wichtig im Vorfeld genau zu prüfen, wo Bedarf von C-ITS besteht und welche Optimierungen dadurch möglich sind.

6 Schlussbetrachtung – Conclusio

Der Einsatz von C-ITS an den angeführten Kreuzungsplateaus hat gezeigt, dass mittels dieser neuen Technologie eine Verbesserung für den ÖPNV erzielt werden kann. So kann die Wartezeit von ungeplanten Aufenthalten bei einer VLSA durch eine verbesserte ÖPNV-Beeinflussung reduziert werden. Der Stationsaufenthalt kann ebenfalls optimiert werden. So kann das Fahrpersonal, sofern die Möglichkeit besteht, den Fahrgastwechsel kurz halten damit der ÖPNV die VLSA noch bei Grün erreicht. Oder die ÖV-Garnitur bleibt auch noch nach erfolgtem Fahrgastwechsel in der Haltestelle stehen. Somit kann ein ohnehin ungeplanter Aufenthalt bei der VLSA verhindert werden und der längere Stationsaufenthalt kann sinnvoll für weitere Fahrgastwechsel genutzt werden. Weiters kann durch ein verbessertes Fahrverhalten die Geschwindigkeit so angepasst werden, damit eine ÖV-Garnitur zu Grünbeginn bei der VLSA ankommt und somit keinen Stopp einlegen muss. Dies hat sowohl für die Fahrgäste einen Vorteil, da sie so kein Stop-and-go-Verhalten mehr erleben, da dies im Stehen durchaus unangenehm sein kann. Aber auch der / die Fahrzeugerhalter*in selbst profitiert von dieser Fahrweise, da diese wesentlich schonender für die Verschleißteile ist als das ständige Bremsen und Anfahren.

Zur Verbesserung der VLSA-Beeinflussung muss gesagt werden, dass das bestehende RBL-System bereits viele Funktionen beinhaltet und dem C-ITS in Sachen VLSA-Beeinflussung kaum nachsteht. Die einzigen Nachteile von RBL sind die Reichweite und die Anzahl der Meldepunkte, die definiert werden können. Die Reichweite spielt jedoch kaum eine große Rolle, weil man selten Anmeldungen hat, die weiter als 500 m von der VLSA entfernt liegen. Durch die Anzahl der Meldepunkte kann die ÖPNV-Beeinflussung an einer VLSA jedoch verbessert werden, wobei man hier auch genügend Platz vor der VLSA benötigt, um ausreichend viele Meldepunkte zu definieren.

Die Anwendung zur Optimierung des Stationsaufenthalts kann nur dort eingesetzt werden, bei der die Haltestelle nicht direkt vor der VLSA positioniert ist, weil es in der Regel sonst ein A-Signal gibt, welches das Fahrpersonal über die kommende Grünphase informiert. Bleibt der ÖPNV wegen C-ITS nun länger in der Station stehen, kann es durchaus vorkommen, dass andere Verkehrsteilnehmer*innen dadurch aufgehalten werden. Dies ist vor allem dann ein Problem, wenn sich der ÖPNV und der MIV einen gemeinsamen Fahrstreifen teilen. Daher muss auch dies beim Einsatz von C-ITS mitbetrachtet werden. Weiters stellt sich die Frage: Wie hoch ist die Akzeptanz des Fahrpersonals für diese Anwendung? Das Fahrpersonal bekommt sehr viele Informationen, die verarbeitet werden müssen und während eines Stationsaufenthalts muss auch darauf geachtet werden, dass alle Fahrgäste ohne Probleme ein- bzw. aussteigen können. Wird nun eine zusätzliche Information im Fahrzeug angezeigt, muss auch mit dem Fahrpersonal abgeklärt werden, ob sie mit

dieser Information überfordert oder gestresst werden. Hierzu müssten Untersuchungen zur Akzeptanzbereitschaft der neuen Technologie durchgeführt werden.

Die Einsatzmöglichkeit zur Erreichung eines ökonomischen Fahrverhaltens wird nur dort angewandt, wo es keine Vorsignale gibt. Jedoch stellt sich die Frage, ob es nicht sinnvoll ist auch an diesen Kreuzungen diese Anwendung einzusetzen. Denn die Vorsignale befinden sich in der Regel 50 m bis 70 m vor der VLSA. Das bedeutet, der ÖPNV benötigt vom Vorsignal bis zur VLSA nur wenige Sekunden. Daher wäre es durchaus sinnvoll, diese Information bereits viel früher in das Fahrzeug zu übermitteln. Damit kann das Fahrpersonal schon weit vor dem Vorsignal die optimale Geschwindigkeit wählen. Hier gilt dasselbe wie beim Stationsaufenthalt: Es muss darauf geachtet werden, dass die anderen Verkehrsteilnehmer*innen dadurch nicht immens beeinträchtigt werden. Es ist nicht zielführend, dass der ÖPNV auf einem gemeinsamen Fahrstreifen nur mit 10 km/h fährt, um bei Grün bei der VLSA anzukommen. Daher gilt es abzuklären, welche Geschwindigkeitsreduktion sinnvoll ist.

In diesem Zusammenhang wird eine wichtige Frage aufgeworfen, deren Beantwortung allerdings nicht Inhalt dieser Arbeit ist: Wie werden dem Fahrpersonal die Informationen übermittelt? Dies ist auch noch ein wichtiger Punkt, der vor der Einführung geklärt werden muss. Es gibt verschiedene Arten der Anzeige, so kann beispielsweise für den Stationsaufenthalt ein Countdown angezeigt werden. Oder es erscheint ein grüner Balken für das Fahrverhalten neben der Tachometeranzeige. Benötigt man dafür ein eigenes Gerät, das eingebaut werden muss, oder kann man es in die bestehende Anzeigeeinheit einbauen?

Daher kann gesagt werden, dass C-ITS auf jeden Fall zur Verbesserung des ÖPNVs beitragen kann, wobei aber bestimmte Voraussetzungen gegeben sein müssen, um diese Technologie einzusetzen, da die bestehende Infrastruktur in Wien bereits sehr gut ausgebaut ist. Bevor C-ITS sinnvoll auf der Straße eingesetzt werden kann, müssen noch einige Fragen beantwortet werden, damit durch die Anwendungen keine Nachteile für andere Verkehrsteilnehmer*innen entstehen.

7 Quellenverzeichnis

Agentur für Passagier- und Fahrgastrechte (apf) (April 2017): Jahresbericht 2016

Bundeskanzleramt Österreich (Nr. 38/2013): Gesamte Rechtsvorschrift für IVS-Gesetz, Fassung vom 21.07.2020

BMK – Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (06/2019): Österreich unterwegs 2013/2014

BMK (06/2016): C-ITS Strategie Österreich – VerkehrsteilnehmerInnen vernetzen, Effizienz und Sicherheit im Verkehr fördern.

C-Roads (09/2017): Radio frequencies designated for enhanced road safety in Europe - C-Roads position on the usage of the 5.9 GHz band

Cross (09/2020): V2X für den Stadtverkehr – ÖPNV und Einsatzwagen-Bevorrechtigung

Europäische Kommission (11/2016): A European strategy on Cooperative Intelligent Transport Systems, a milestone towards cooperative, connected and automated mobility

Holding Graz (11/2014): Projektantrag Pünktlichkeitsoffensive ÖV

Holding Graz: Pünktlichkeitsoffensive ÖV – Jahresbericht 2015

Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr: RVS 02.03.11: Optimierung des ÖPNV – Freie Strecke und Haltestellen. Ausgabe 1. März 2019

Stadt Düsseldorf: KoMo:D, <https://www.komod-testfeld.org/testfeld/> - letzter Download 09.09.2020

Stadt Kassel: VERONIKA – Forschungsprojekt, https://www.kassel.de/buerger/verkehr_und_mobilitaet/verkehrsprojekte/veronika.php – letzter Download 22.09.2020

Persönliches Interview (05/2020) mit Gerhard Luksch – Wiener Linien, Disponent am Betriebsbahnhof Nußdorf am Währinger Gürtel 131

Persönliches Interview (06/2020) mit Elisabeth Waltjen – Wiener Linien, Referatsleiterin Qualität und Sicherheit im Bereich Straßenbahnbetrieb

Persönliches Interview (08/2020) mit Thomas Grieshofer – Wiener Linien, Referatsleiter F57f

Schriftliches Interview (09/2020) mit Torben Hilgers – Projektleiter KoMo:D

Stadt Wien, MA18 (2002): Masterplan Verkehr Wien. ISBN 3-902015-37-3

Stadt Wien, MA18 (06/2014): Smart City Wien. 2. Auflage 2016, ISBN 978-3-902576-88-0

Stadt Wien, MA18 (2014): STEP 2025 Stadtentwicklungsplan Wien.

Stadt Wien, MA18 (2015): STEP 2025 – Fachkonzept Mobilität. ISBN 978-3-902576-97-2

Stadt Wien, MA33 (05/2008): V10056_BA_20080519

Stadt Wien, MA33 (04/2012): V21046_BA_20120413

Stadt Wien, MA33 (10/2012): V10066_BA_20121024

Stadt Wien, MA33 (12/2013): V05019_BA_20131203

Stadt Wien, MA33 (07/2014): V20020_BA_20140731

Stadt Wien, MA33 (11/2014): V22133_BA_20141120

Stadt Wien, MA33 (03/2015): V16013_BA_20150326

Stadt Wien, MA33 (01/2015): V03003_BA_20150121

Stadt Wien, MA33 (05/2016): V03025_BA_20160512

Stadt Wien, MA33 (12/2016): V12070_BA_20161213

Stadt Wien, MA33 (09/2017): V09013_BA_20170906

Stadt Wien, MA33 (11/2017): V16043_BA_20171130

Stadt Wien, MA33 (09/2018): V02027_BA_20180912

Stadt Wien, MA33 (06/2019): V03029_BA_20190613

Stadt Wien, MA33 (11/2019): V03002_BA_20191119

Stadt Wien, MA33 (07/2020): V07022_BA_20200721

Stadt Wien: Grundsätze der Straßenbahnplanung

<https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/verkehrsplanung/strassenbahn/grundsaeetze.htm>

[| – letzter Download 07.10.2020](#)

Stadt Wien: Straßenverwaltung und Straßenbau (MA28)

<https://www.wien.gv.at/kontakte/ma28/index.html> – letzter Download 07.10.2020

Stadt Wien (04/2015): Wie finanziert sich der Öffentliche Verkehr in Wien?

<https://wien1x1.at/site/wie-finanziert-sich-der-oeffentliche-verkehr-in-wien/> – letzter Download

07.10.2020

Stadt Wien: Wiens Beleuchtung in Zahlen

<https://www.wien.gv.at/verkehr/strassen/einrichtungen/beleuchtung/zahlen.html> – letzter Download 7.10.2020

Stadt Wien: Zahlen und Fakten zum Wiener Straßennetz

<https://www.wien.gv.at/verkehr/strassen/fakten.html> – letzter Download 07.10.2020

Tanzler 2010: Ansätze zur effizienten Kapazitätsausnutzung bei S-Bahnsystemen

Tramway-Forum (07/2016): Thema – 20 Jahre RBL

<https://www.tramwayforum.at/index.php?topic=6988.0> – letzter Download 06.06.2020

Wiener Linien (2020):

<https://www.wienerlinien.at/eportal3/ep/contentView.do/pageTypeld/66528/programId/67199/contentTypeld/1001/channelId/-47395/contentId/68061> – letzter Download 07.10.2020

Wiener Linien (ohne Datum): Störungsszenarien Linie 46

Wiener Linien (12/2018): Ausbildungsunterlage für StraßenbahnfahrerInnen

Wiener Linien (09/2017): Fahrplan 84A

https://www.wienerlinien.at/media/download/2017/Linie_84A_02_09_2017_219911.pdf - letzter Download 12.09.2020

Wiener Linien: Unternehmensprofil

<https://www.wienerlinien.at/eportal3/ep/channelView.do/pageTypeld/66528/channelId/-47395> – letzter Download, 21.09.2020

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Oberleitungskontakt, eigene Aufnahme	21
Abbildung 2 Drehschalter, eigene Aufnahme	23
Abbildung 3 Induktionsschleifen, eigene Aufnahme.....	24
Abbildung 4 Optischer Sensor Variante 1, eigene Aufnahme	26
Abbildung 5 Optischer Sensor Variante 2, eigene Aufnahme	26
Abbildung 6 Abfertigungssignal, eigene Aufnahme	28
Abbildung 7 Quittierpfeil, eigene Aufnahme	29
Abbildung 8 Signallageplan V03002, Quelle: Stadt Wien MA33 – V03002_BA_20191119	31
Abbildung 9 Signalzeitenplan V03002, Quelle: Stadt Wien MA33 – V03002_BA_20191119	32
Abbildung 10 Signalzeitenplan mit eigenem Fenster V03002, Quelle: Stadt Wien MA33 – V03002_BA_20191119	32
Abbildung 11 Signallageplan V03029, Quelle: Stadt Wien MA33 – V03029_BA_20190613	33
Abbildung 12 Signalzeitenplan V03029, Quelle: Stadt Wien MA33 – V03029_BA_20190613	34
Abbildung 13 Signalzeitenplan mit 2. Freigabefenster V03029, Quelle: Stadt Wien MA33 – V03029_BA_20190613	34
Abbildung 14 Signallageplan V02027, Quelle: Stadt Wien MA33 – V02027_BA_20180912	36
Abbildung 15 Signalzeitenplan V02027, Quelle: Stadt Wien MA33 – V02027_BA_20180912	37
Abbildung 16 Signalzeitenplan mit Voreilung V02027, Quelle: Stadt Wien MA33 – V02027_BA_20180912	37
Abbildung 17 Signallageplan V12070, Quelle: Stadt Wien MA33 – V12070_BA_20161213	38
Abbildung 18 Signalzeitenplan V12070, Quelle: Stadt Wien MA33 – V12070_BA_20161213	39
Abbildung 19 Signalzeitenplan mit Voreilung V12070, Quelle: Stadt Wien MA33 – V12070_BA_20161213	39
Abbildung 20 Signallageplan V07022, Quelle: Stadt Wien MA33 – V07022_BA_20200721	40
Abbildung 21 Signalzeitenplan V07022, Quelle: Stadt Wien MA33 – V07022_BA_20200721	41
Abbildung 22 Signallageplan V03003, Quelle: Stadt Wien MA33 – V03003_BA_20150121	42
Abbildung 23 Signalzeitenplan V03003, Quelle: Stadt Wien MA33 – V03003_BA_20150121	43
Abbildung 24 Signallageplan V03025, Quelle: Stadt Wien MA33 – V03025_BA_20160512	44
Abbildung 25 Signalzeitenplan V03025, Quelle: Stadt Wien MA33 – V03025_BA_20160512	44
Abbildung 26 Signallageplan V09013, Quelle: Stadt Wien MA33 – V09013_BA_20170906	45
Abbildung 27 Signalzeitenplan V09013, Quelle: Stadt Wien MA33 – V09013_BA_20170906	46
Abbildung 28 Eigener Bahnkörper, eigene Aufnahme	47
Abbildung 29 Selbstständiger Gleiskörper mit Längsschwellen, eigene Aufnahme	48
Abbildung 30 Straßenbündiger Gleiskörper, eigene Aufnahme	50
Abbildung 31 Busfahrstreifen, eigene Aufnahme	52
Abbildung 32 Cooperation model to cover the full value chain of C-ITS, Quelle: C-Roads 09.2017.....	55
Abbildung 33 Buslinie 48A, Quelle: Stadtplan Wien, eigene Darstellung	64
Abbildung 34 Signallageplan V21033, Quelle: Stadt Wien MA33 – V22133_BA_20141120	65
Abbildung 35 Sinalzeitenplan V21033, Quelle: Stadt Wien MA33 – V22133_BA_20141120	65
Abbildung 36 Buslinie 48A mit Meldepunkten, Quelle: Stadtplan Wien, eigene Darstellung	67
Abbildung 37 Signallageplan V10066, Quelle Stadt Wien MA33 – V10066_BA_20121024	73
Abbildung 38 Straßenbahnlinie 6 und 11 mit Meldepunkten, Quelle: Stadtplan Wien, eigene Darstellung	73
Abbildung 39 Signalzeitenplan V10066, Quelle Stadt Wien MA33 – V10066_BA_20121024	74
Abbildung 40 Signallageplan V05019, Quelle: Stadt Wien MA33 – V05019_BA_20131203	77
Abbildung 41 Signalzeitenplan V05019, Quelle: Stadt Wien MA33 – V05019_BA_20131203	78

Abbildung 42 Buslinie 13A mit Meldepunkten, Quelle: Stadtplan Wien, eigene Darstellung	80
Abbildung 43 Buslinien 28A und 29A, Quelle: Stadtplan Wien, eigene Darstellung.....	82
Abbildung 44 Signallageplan V21046, Quelle: Stadt Wien MA33 – V21046_BA_20120413	84
Abbildung 45 Signalzeitenplan V21046, Quelle: Stadt Wien MA33 – V21046_BA_20120413	85
Abbildung 46 Signallageplan V07022, Quelle: Stadt Wien MA33 – V07022_BA_20200721	88
Abbildung 47 Signalzeitenplan V07022, Quelle: Stadt Wien MA33 – V07022_BA_20200721	89
Abbildung 48 Straßenbahnlinie 49 mit Meldepunkten, Quelle: Stadtplan Wien, eigene Darstellung .	91
Abbildung 49 Signallageplan V10056, Quelle: Stadt Wien MA33 – 10056_BA_20080519I.....	93
Abbildung 50 Straßenbahnlinie 11, Quelle: Stadtplan Wien, eigene Darstellung	94
Abbildung 51 Signalzeitenplan V10056, Quelle: Stadt Wien MA33 – 10056_BA_20080519	95
Abbildung 52 Signalzeitenplan ohne Phase 2a V10056, Quelle: Stadt Wien MA33 – 10056_BA_20080519	95
Abbildung 53 Beschreibung der Logik V10056, Quelle: Stadt Wien MA33 – 10056_BA_20080519	96
Abbildung 54 Signallageplan V16043, Quelle: Stadt Wien MA33 – V16043_BA_20171130	98
Abbildung 55 Signalzeitenplan V16043, Quelle: Stadt Wien MA33 – V16043_BA_20171130	99
Abbildung 56 Signallageplan V16013, Quelle: Stadt Wien MA33 – V16013_BA_20150326	100
Abbildung 57 Signalzeitenplan V16013, Quelle: Stadt Wien MA33 – V16013_BA_20150326	100
Abbildung 58 Signallageplan V20020, Quelle: Stadt Wien MA33 – V20020_BA_20140731	103
Abbildung 59 Signalzeitenplan V20020, Quelle: Stadt Wien MA33 – V20020_BA_20140731	104