


# Auswirkungen des Grünblinkens auf die Leistungsfähigkeit von lichtsignalgesteuerten Knoten

**Journal Article****Author(s):**

Köll, Helmut; Bader, Michael; Axhausen, Kay W. 

**Publication date:**

2004

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004753161>

**Rights / license:**

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

**Originally published in:**

Strassenverkehrstechnik 48(8)

# AUSWIRKUNGEN DES GRÜNBLINKENS AUF DIE LEISTUNGSFÄHIGKEIT VON LICHTSIGNAL- GESTEUERTEN KNOTEN

(H. Köll, K.W. Axhausen, M. Bader)

## 1 Ausgangslage

Lichtsignalanlagen für Kraftfahrzeuge haben in Österreich die Signalfolge GRÜN - GRÜNBLINKEN - GELB - ROT - GELB/ROT - GRÜN. Mit viermaligem GRÜNBLINKEN vor der Schaltung des Übergangssignalzeichens GELB weisen die Lichtsignalanlagen in Österreich eine Besonderheit auf, die innerhalb Europas kaum anzutreffen ist.

Der ausschlaggebende Grund für die Einführung des Grünblinkens in Österreich im Jahre 1969 war nicht mehr eruiert. Tatsache ist jedoch, dass bis ca. Mitte der 70er Jahre der Übergang von Grün auf Rot ein weites Betätigungsfeld in der Verkehrsforschung und Thema zahlreicher Arbeiten in Europa und in den USA war. Beispielsweise wurde von WENIGER (1961) gleichzeitig Grün und Gelb als Übergangssignal vorgeschlagen, jedoch aufgrund verschiedener Fehlschläge und internationaler Vereinbarungen nicht weiter verfolgt. In Pittsburgh, Pennsylvania wurde 3 Sekunden überlappendes Gelb und Grün und anschließend 2 Sekunden Gelb bis Ende der 60er Jahre bei 575 Kreuzungen installiert. In Chicago, Illinois wurde an einigen Kreuzungen mit Gelb und Grün aber auch mit Gelb und Rot als Übergangssignal experimentiert (MAY 1968).

Sehr ausführlich berichtet BEHRENDT (1970) über Versuche mit Vorsignalen in Deutschland. Beispielsweise ein Signal zur Anzeige der Sperr- und Freigabezeiten oder ein Blinksignal, welches in der Zufahrt den Kraftfahrer auf die zu erwartende Signaländerung aufmerksam macht. In Bochum und Lippstadt wurden zweifeldrige Signalgeber als Vorsignal eingerichtet, ein gelb blinkendes Signal zur Ankündigung von Gelb und ein grünes Signal zur Anzeige der Grünzeit.

Eine andere Art der Entscheidungshilfe sind Querstreifen über den Fahrstreifen in einem gewissen Abstand von der Haltelinie (WENIGER 1961, MAY 1968). Hat man bei Gelbbeginn diesen Streifen bereits passiert, sollten sich die FahrzeuglenkerInnen positiv entscheiden, d.h. durchfahren.

Ab Mitte der 70er Jahre wurde es wieder relativ ruhig um Ankündigungssignale, da die verschiedenen Tests nicht erfolgreich verliefen, keine eindeutige Präferenz zuließen oder die Entscheidungshilfen aus Kostengründen nicht realisierbar waren. Lediglich Grünblinken wurde in Österreich flächendeckend eingeführt und in Spanien scheint trotz gegenteiliger internationaler Vereinbarung Gelb und Grün vor Gelb verbreitet. In Israel wurde zumindest teilweise Grünblinken eingeführt und in den 80er Jahren einige Studien durchgeführt.

Aktuellere Versuche mit Warnsignalen vor Kreuzungen mit hoher Zufahrtsgeschwindigkeit sind aus Ohio (USA) bekannt (PANT und XIE 1995). Es handelt sich dabei um ein statisches Signal mit permanentem Warnblinker und zwei dynamische Signale mit jeweils zwei Einkammersignalen, die einige

Sekunden vor Gelbbeginn zu blinken beginnen. Zwischen den beiden Signalgebern befindet sich eine Tafel mit einem Ampelsymbol oder eine Tafel mit der Aufschrift "Prepare to stop when flashing". JOHNSTON (2001) berichtet ganz aktuell ebenfalls von "Prepare to Stop"-Warnsignalen, deren Geometrie, Aufstellungsort und technische Spezifikation.

In Österreich hat man den Eindruck, dass das inzwischen viele Jahre betriebene GRÜNBLINKEN von den AutofahrerInnen überwiegend geschätzt wird. Andererseits wird die Signalfolge von vielen Steuerungsexperten insbesondere bei der verkehrsabhängigen Steuerung im allgemeinen als starke Einschränkung empfunden, und die obengenannten Studien lassen auch die positive Wirkung auf die Verkehrssicherheit anzweifeln. Aus diesem Grund wurde vom Österreichischen Verkehrssicherheitsfonds sowie mehreren Städten und Bundesländern in Österreich eine Forschungsarbeit zur Ermittlung der Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und Leistungsfähigkeit gefördert (KÖLL et. al 2003).

In KÖLL et al. (2001, 2002, 2004a, 2004b) wurden bereits einige Ergebnisse betreffend regelwidrigem Fahrverhalten (Rot- und Gelbüberfahrten), Entscheidungsverhalten (Anhalten/Durchfahren) und Verkehrssicherheit vorgestellt. Besonders die Erkenntnisse zum Entscheidungsverhalten bilden die Grundlage für die im vorliegenden Beitrag beschriebenen Auswirkungen des Grünblinkens auf die Leistungsfähigkeit von lichtsignalgesteuerten Knoten.

## **2 Methode**

Die Auswirkungen des Grünblinkens auf die gewünschten Indikatoren wie Staulängen, mittlere Wartezeiten, Verlustzeiten öffentlicher Verkehrsmittel und Kapazitäten lassen sich nicht generalisieren. Andere Einflüsse auf die Leistungsfähigkeit wie Steuerungsmethoden, Zuflussbedingungen und Knotengeometrien sind zu vielfältig. Bestenfalls ist es möglich, einen Rahmen für die Unterschiede bei lichtsignalgesteuerten Knoten mit und ohne Grünblinken abzustecken.

Aus diesem Grund sollen mehrere Fallbeispiele in einem Simulationsmodell abgebildet und die Auswirkungen ermittelt werden.

### **2.1 Adaptierung des Simulationsmodelles**

Bei der Simulation (Abbildung 1) kommt das weit verbreitete Programmsystem VISSIM (PTV AG 2001) in einer aktuellen und speziell für diese Arbeit erweiterten Version zur Anwendung. Während in älteren Versionen der Anhalte-Vorgang bei Lichtsignalanlagen programmintern durch eine in der zweiten Gelbsekunde plötzlich an der Haltelinie auftauchende Barriere simuliert wurde, wird in einer speziell adaptierten Versionen die Anhalte-Wahrscheinlichkeit der einzelnen Fahrzeuge in Abhängigkeit von der aktuellen Geschwindigkeit und der Entfernung von der Haltelinie nach folgender Formel berechnet:

$$p = \frac{1}{1 + e^{(-\alpha - \beta_1 X_1 - \beta_2 X_2)}}$$

p.....Anhalte-Wahrscheinlichkeit

$\alpha$  ..... Konstante

$\beta_1, \beta_2$  ..... Parameter

$X_1$  .....aktuelle Geschwindigkeit für Modell Deutschland/Schweiz bzw. potentielle Zeit für Modell Österreich

$X_2$  .....potentielle Zeit für Modell Deutschland/Schweiz bzw. quadrierte potentielle Zeit für Modell Österreich

Die Parameter sind das Ergebnis der Analyse des Entscheidungsverhaltens an Lichtsignalanlagen mit und ohne Grünblinken (KÖLL et. al 2003) und in Tabelle 1 dargestellt. Für die Simulation mit Grünblinken mussten noch die 4 Sekunden Grünblinken und die 3 Gelbsekunden durch insgesamt 7 Gelbsekunden abgebildet werden. Dies war erforderlich, da Grünblinken einerseits in der Simulation nicht dargestellt wird und andererseits die Entscheidung Anhalten / Durchfahren bei Gelbbeginn ermittelt wird. Damit ist zwar der Phasenübergang am Bildschirm nicht wirklichkeitsgetreue zu sehen, jedoch wird das Entscheidungsverhalten richtig nachgebildet.



Abb. 1: Ausschnitt einer Simulation mit VISSIM

Modell	Parameter		
	$\alpha$	$\beta_1$	$\beta_2$
Österreich	-4,208982	-0,135050	0,130772
Schweiz/Deutschland	-5,371024	-0,034082	2,376612

Tab. 1: Parameter für die Entscheidungsmodelle in VISSIM

## 2.2 Auswahl der Fallbeispiele

Die untersuchten Beispiele beinhalten eine breite Palette an unterschiedlichen Knotengeometrien und Steuerungskonzepten, die sich im wesentlichen in drei Gruppen einteilen lassen:

- Festzeitgesteuerte Knoten mit Auswirkungen nur aufgrund der höheren Anhalte-Wahrscheinlichkeiten bei Signalfolgen mit Grünblinken
- verkehrabhängig gesteuerte Knoten mit Freigabezeitanpassung und Bedarfsphasenanforderung (Zeitlücken- und/oder Staubedingungen)
- koordinierte VLSA-Ketten nur mit Maßnahmen zur Beschleunigung des öffentlichen Verkehrs

Aus diesen Gruppen wird je ein Beispiel ausgewählt und vorgestellt:

- Teststrecke mit unterschiedlichen Umlauf- und Grünzeiten, Verkehrszusammensetzungen und Zufahrtsgeschwindigkeiten zur Ermittlung der Fahrstreifen-Leistungsfähigkeit
- Kreuzung B171 Tiroler Straße / Löfflerweg in Hall in Tirol  
Isolierter verkehrabhängig gesteuerter 4-armiger Knoten, Signalprogrammanpassung mit Zeitlücken- und Staubedingungen, spezielle Absicherung eines beschränkten Bahnüberganges der Westbahnstrecke, hohe Verkehrsbelastung; realisiert November 2003.
- VLSA-Kette Bienenstraße - Tschurtschenthalerstraße in Innsbruck  
4 koordiniert gesteuerte Knoten mit Maßnahmen zur ÖV-Beschleunigung, spezielle Überlegungen für Haltestellen unmittelbar vor der VLSA; niedrige Verkehrsbelastung; realisiert Jänner 2002.

Bei den Simulationen mit Grünblinken (Entscheidungsverhalten mit Parametersatz "Österreich") werden die Knoten mit der bestehenden Lage der Detektoren und Meldepunkte und der bestehenden Logik modelliert. Ohne Grünblinken (Entscheidungsverhalten mit Parametersatz "Deutschland/Schweiz") werden bei Bedarf geringfügige Anpassungen vorgenommen. Beispielsweise werden Detektoren entsprechend den Empfehlungen der RILSA näher zur Haltelinie verlegt oder die minimale und maximale Phasenlaufzeit angepasst. Inhaltliche Änderungen der Logik werden nicht vorgenommen.

Bei den Lichtsignalanlagen mit ÖV-Beschleunigung werden die Reise- und Verlustzeiten getrennt für öffentliche Verkehrsmittel und Pkw/Lkw mit und ohne Grünblinken ermittelt und gegenübergestellt.

Bei den Knoten mit Freigabezeitanpassung oder Bedarfsphasenanforderung werden in Anlehnung an BRILON et al. (1994) die Stufen der Verkehrsqualität über die mittlere Wartezeit in Sekunden pro Fahrzeug ermittelt (Tabelle 2) und über Stauzähler mittlere Staulängen erfasst.

Qualitätsstufe	nicht koordiniert		koordiniert	
	mittl. Wartezeit [s/Fz]	Auslastungsgrad	mittl. Wartezeit [s/Fz]	Auslastungsgrad
<b>A</b>	<= 25	-	<= 5	-
<b>B</b>	<= 40	-	<= 15	-
<b>C</b>	<= 60	-	<= 40	-
<b>D</b>	<= 80	<= 0,85	<= 60	<= 0,85
<b>E</b>	<= 100	<= 1,00	<= 100	<= 1,00
<b>F</b>	> 100	> 1,00	> 100	> 1,00

Tab. 2: Grenzwerte der Qualitätskriterien für Kraftfahrzeuge an den Zufahrten zu Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage (BRILON et al. 1994)

Pro Planfall werden 5 Simulationsläufe mit unterschiedlich initialisiertem Zufallsgenerator vorgenommen und die Messwerte aus diesen Simulationen gemittelt.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Festzeitsteuerung

Im Simulationsmodell wurde eine gerade Strecke mit einem Signalgeber abgebildet und ein Zufluss von 2.000 Kfz/h (davon 0% oder 10% Lkw) angesetzt. Damit befindet sich in jedem Umlauf eine stehende Kolonne vor der Haltelinie. Umlauf, Grünzeit, Verkehrszusammensetzung und Wunschgeschwindigkeitsverteilung wurden variiert. Die Ergebnisse von 5 Simulationsläufen in Form von Differenzen zwischen den Modellen mit und ohne Grünblinken sind in Tabelle 3 dargestellt.

Bei Grünzeiten von 40 Sekunden und 90-Sekunden-Umlauf sinkt bei Grünblinken die Kapazität um 1,6% bis 3,0%. Durch die höhere Anhalte-Wahrscheinlichkeit passieren pro Grünphase zwischen 0,4 und 0,8 Fahrzeuge weniger die Haltelinie.

Bei kürzeren Grünzeiten fällt der sprunghafte Kapazitätseinbruch ab Wunschgeschwindigkeiten von 40-50 km/h auf, während die Werte bei niedrigeren Geschwindigkeiten im obengenannten Bereich liegen. Dies liegt daran, dass sich bei den kurzen Grünzeiten die Fahrzeuge mit Wahlmöglichkeit Halten/Durchfahren zum Entscheidungszeitpunkt noch im Beschleunigungsvorgang befinden. Mit Grünblinker werden die Entscheidungen früher, d.h. mit entsprechend niedriger Geschwindigkeit getroffen. Die Anhalte-Wahrscheinlichkeit ist damit vergleichsweise noch höher.

Verkehr	Steuerung	Kapazitätseinbussen mit Grünblinker	
		[%]	[Kfz pro Phase]
nur Pkw 30-40km/h	tgr = 20s tu = 70s	-3,3%	-0,4
	tgr = 40s tu = 90s	-2,5%	-0,6
nur Pkw 40-50km/h	tgr = 20s tu = 70s	-8,4%	-1,2
	tgr = 40s tu = 90s	-1,6%	-0,4
nur Pkw 50-60km/h	tgr = 20s tu = 70s	-11,1%	-1,6
	tgr = 40s tu = 90s	-3,0%	-0,8
10% Lkw-Anteil Pkw 45-60km/h Lkw 40-50km/h	tgr = 20s tu = 70s	-8,7%	-1,1
	tgr = 40s tu = 90s	-2,5%	-0,6

tu ..... Umlaufzeit [s]  
tgr ... Grünzeit [s]

Tab. 3: Kapazitätseinbussen bei Signalfolge mit Grünblinker auf einem isolierten Fahrstreifen mit sehr hoher Zufahrtsbelastung

### 3.2 Verkehrsabhängige Steuerung mit Freigabezeitanpassung und Bedarfsphasenanforderung

Die Kreuzung B171 Tiroler Straße / Löfflerweg befindet sich am westlichen Ortseingang von Hall in Tirol im Gewerbegebiet Hall / Thaur. In Ost-West-Richtung verläuft die in diesem Bereich zweistreifige Bundesstraße. Der Löfflerweg als südlicher Knotenast verbindet die B171 mit der Autobahnanschlussstelle A12/Hall West. Nach Norden führt über einen niveaugleichen Bahnübergang mit Halbschrankenanlage eine Verbindung zur L8 Dörferstraße nach Thaur und Absam (Abbildung 2).

Detektoren mit Zeitlückenmessung sind auf der B171 Tiroler Straße West (Richtung 1) und im Löfflerweg (Richtung 4) 60m vor der Haltelinie (Sonden 11 und 41) und auf der B171 Tiroler Straße Ost (Richtung 2) 50m vor der Haltelinie (Sonde 21) angeordnet. Die Sonde 22 auf dem Linksabbiegefahrstreifen von 2 nach 1 befindet sich 40m vor der Haltelinie und dient der Belegungs- und Zeitlückenmessung. Die gezählte Gesamtzufahrtsbelastung in der Abendspitzenstunde betrug 2.687 Pkw-E/h (Abbildung 3).

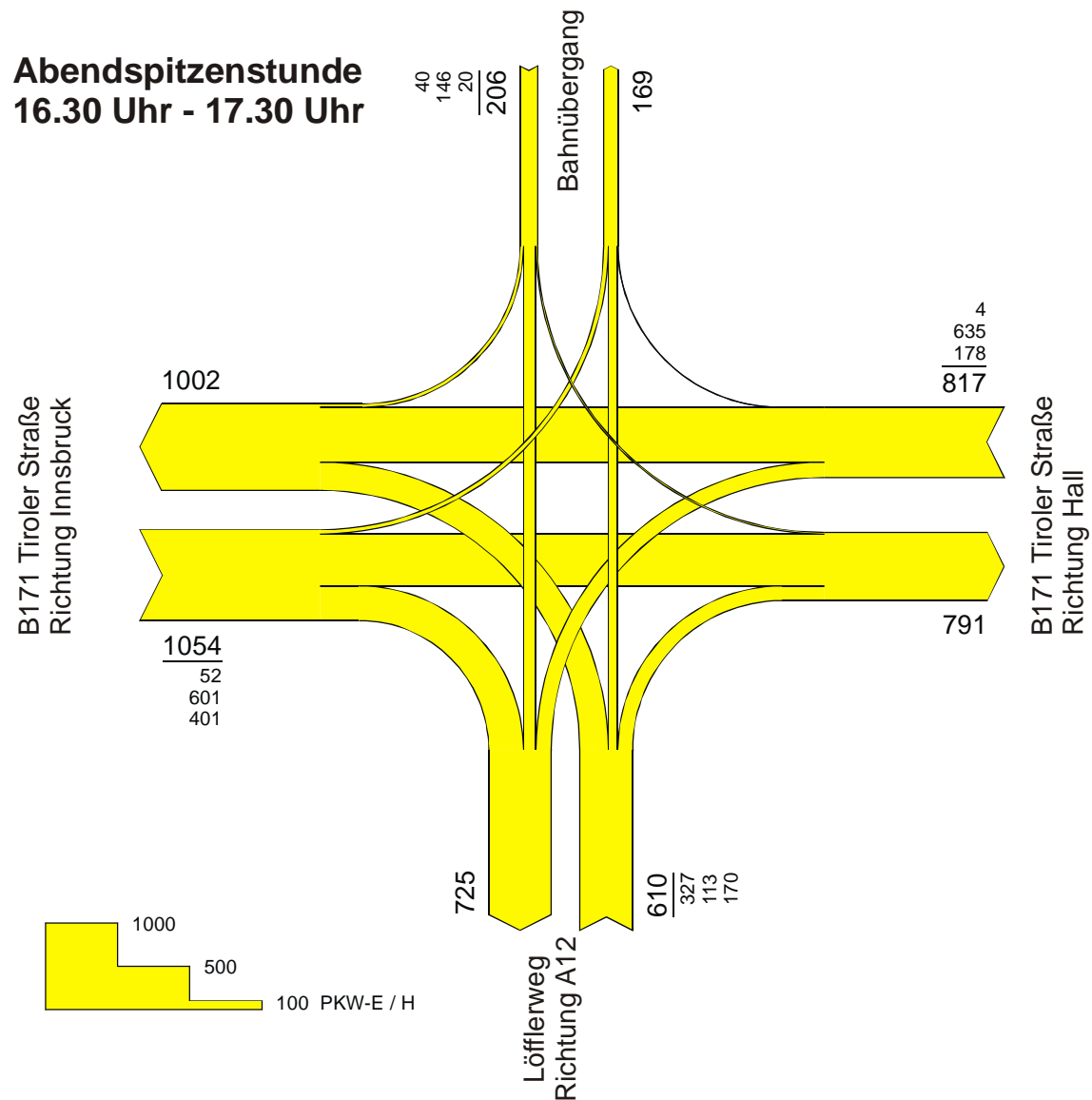


Abb. 3: Knotenstrombelastung Kreuzung B171 Tiroler Straße / Löfflerweg in Hall in Tirol



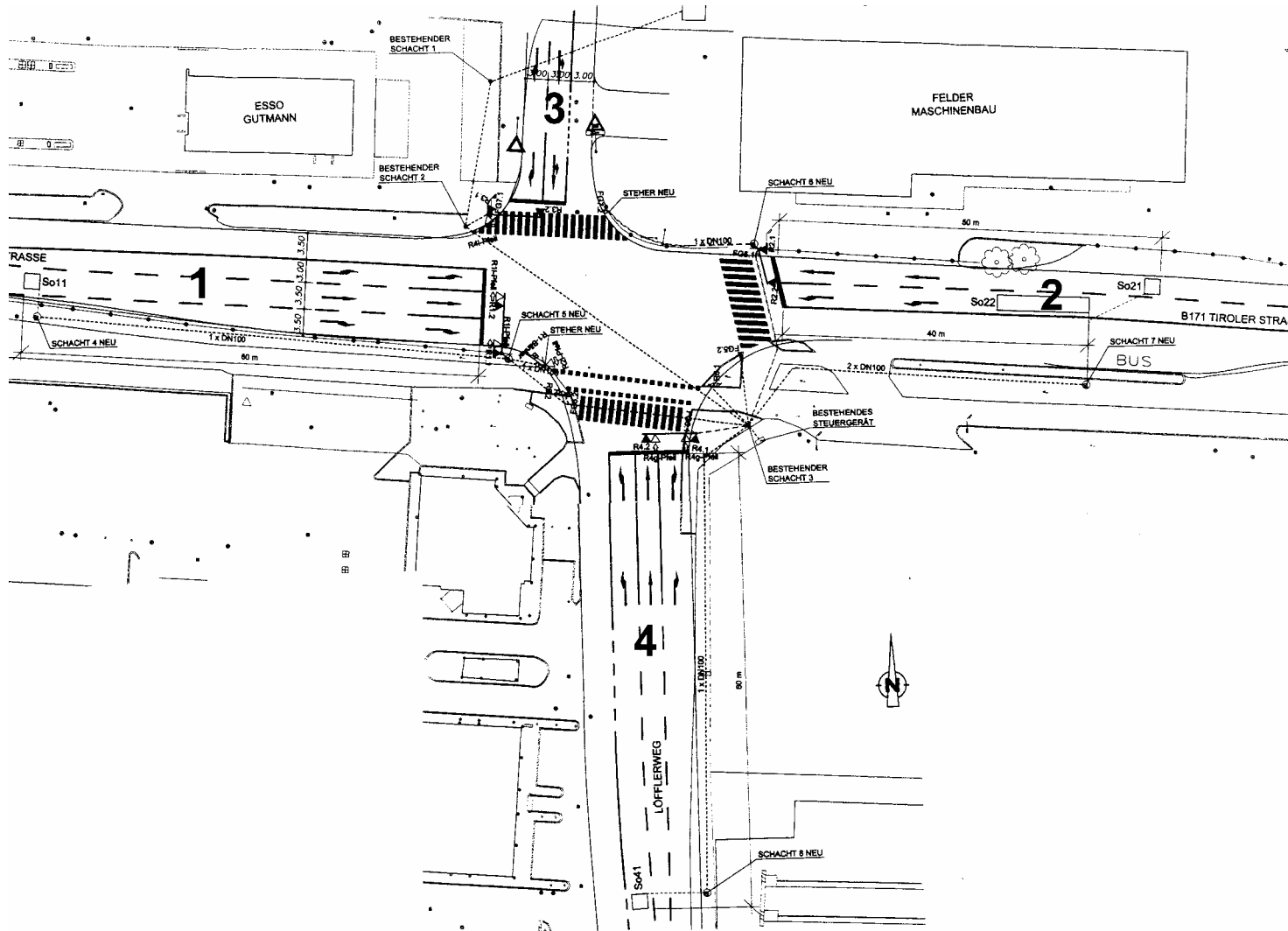


Abb. 2: Signal- und Detektorlageplan der Kreuzung B171 Tiroler Straße / Löfflerweg

Die Steuerung ist relativ komplex, da neben der hohen Verkehrsbelastung und den begrenzten Stauräumen das Zustauen des kurzen Bereiches vor der geschlossenen Schrankenanlage verhindern werden muss und bei einer Bahnanmeldung das Räumen der Eisenbahnkreuzung höchste Priorität hat. Die Steuerungslogik sieht vor, dass in jeder Sekunde das Vorhandensein einer Bahnanmeldung abgefragt wird. Die Bahnanmeldung wird als potentialfreier Kontakt von den Österreichischen Bundesbahnen zur Verfügung gestellt. Abgesehen von diesen Besonderheiten folgt grundsätzlich auf die Hauptrichtung B171 die Nebenrichtung Löfflerweg/Eisenbahnkreuzung. Bei Belegung der Stauschleife So22 auf dem Linksabbiegefahrstreifen wird ein Nachlauf für die Zufahrt Hall aktiviert. Der Löfflerweg erhält grundsätzlich ein Zugabegrün. Eine Grünzeitbemessung erfolgt über die Detektoren So11, So21 und So 41.

Ohne Grünblinken wurden die Sonden 21 und 41 entsprechend den Empfehlungen der RILSA etwas verschoben und 40m vor der Haltelinie angeordnet. Die Logik bleibt grundsätzlich unverändert, lediglich die Phasenübergänge wurden um die 4 Sekunden Grünblinken gekürzt und die minimalen und maximalen Phasendauern entsprechend um 4 Sekunden erhöht.

Es wurde in 5 Simulationsläufen mit unterschiedlichen Startzufallszahlen die Abendspitzenstunde simuliert und dann die Zufahrtsbelastung um 10%, 20% und 30% erhöht. Tabelle 4 zeigt, dass bei relativ geringer Auslastung mit allen Zufahrten im Bereich der Qualitätsstufen A oder B die Wartezeitreduktionen ohne Grünblinken nur gering sind. Grund dafür ist, dass die verkehrsabhängige Steuerung nur selten greift und daher überwiegend die Mindestgrünzeiten geschaltet werden.

Bei Erhöhung aller Zufahrtsbelastungen um +10% und +20% sind die Auswirkungen bereits deutlich spürbar. Die Wartezeiten reduzieren sich im Mittel über alle Fahrzeuge um 13,0% bzw. 17,5%, die Gesamtstaulänge an allen betrachteten Zufahrten wird um 19,4% bzw. 26,5% reduziert. Auch hier profitieren insgesamt die stärker ausgelasteten Zufahrten, bei denen sich die Wartezeiten um bis zu 30% verringern und eine Qualitätsstufe gewonnen wird. Eine Ausnahme bilden hier die Linksabbieger von 2 nach 4, die wegen sehr eingeschränkter Flexibilität nicht im erforderlichen Ausmaß begünstigt werden. Die mittleren Staulängen verringern sich insbesondere am Löfflerweg um bis zu 35,6%.

Bei um 30% höherer Zufahrtsbelastung kann beobachtet werden, dass sich die Reduktionen von Wartezeit und Staulängen deutlich abschwächen. Die Leistungsgrenze ist aber an mehreren Zufahrten noch nicht erreicht und es können immer noch die Wartezeiten um über 30% reduziert werden. Gerade bei den Routen mit schlechter Verkehrsqualität wird eine Stufe gewonnen. Die Rückstaulängen werden ebenfalls bei den am stärksten ausgelasteten Fahrstreifen (Ausnahme der obengenannte Linksabbieger von 2 nach 4) am stärksten reduziert.

Wartezeit pro Fz in [s] und Stufe der Verkehrsqualität	Verkehrsbelastung																			
	Abendspitze			Abendspitze + 10%			Abendspitze + 20%			Abendspitze + 30%										
	mit Gb	ohne Gb	Differenz	mit Gb	ohne Gb	Differenz	mit Gb	ohne Gb	Differenz	mit Gb	ohne Gb	Differenz								
von 1 nach 2	15,2	A	14,9	A	-2,0%	18,9	A	16,5	A	-12,7%	39,3	B	30,8	B	-21,7%	61,5	D	48,3	C	-21,5%
von 2 nach 1	12,6	A	12,7	A	1,4%	13,1	A	12,8	A	-2,5%	13,5	A	13,2	A	-2,0%	17,4	A	16,0	A	-8,3%
von 2 nach 4	40,0	B	40,4	B	1,2%	57,3	C	48,1	C	-15,9%	60,6	D	58,3	C	-3,8%	81,3	E	74,5	D	-8,4%
von 4 nach 1	30,9	B	26,7	B	-13,6%	39,3	B	30,9	B	-21,2%	47,5	C	33,3	B	-29,9%	61,1	D	42,0	C	-31,3%
alle	19,5		18,9		-3,3%	24,3		21,1		-13,0%	33,3		27,5		-17,5%	46,5		37,5		-19,2%

mittlere Staulänge in [m]	Verkehrsbelastung																			
	Abendspitze			Abendspitze + 10%			Abendspitze + 20%			Abendspitze + 30%										
	mit Gb	ohne Gb	Differenz	mit Gb	ohne Gb	Differenz	mit Gb	ohne Gb	Differenz	mit Gb	ohne Gb	Differenz								
Zufahrt 1G	14,5		13,5		-6,9%	21,0		17,0		-19,0%	92,5		65,5		-29,2%	202,0		144,0		-28,7%
Zufahrt 2G	10,0		10,3		3,0%	12,0		11,5		-4,2%	13,3		13,0		-2,3%	22,0		18,5		-15,9%
Zufahrt 2L	5,5		6,0		9,1%	11,5		9,0		-21,7%	14,8		12,5		-15,5%	23,8		21,0		-11,8%
Zufahrt 4L	12,8		10,8		-15,6%	18,5		13,3		-28,1%	25,3		16,3		-35,6%	38,8		24,5		-36,9%
alle	42,8		40,6		-5,1%	63,0		50,8		-19,4%	145,9		107,3		-26,5%	286,6		208,0		-27,4%

Tab. 4: Wartezeiten und Staulängen an der Kreuzung B171 Tiroler Straße / Löfflerweg in Hall in Tirol mit und ohne Grünblinken

### 3.3 Verkehrsabhängige Steuerung mit ÖV-Beschleunigung

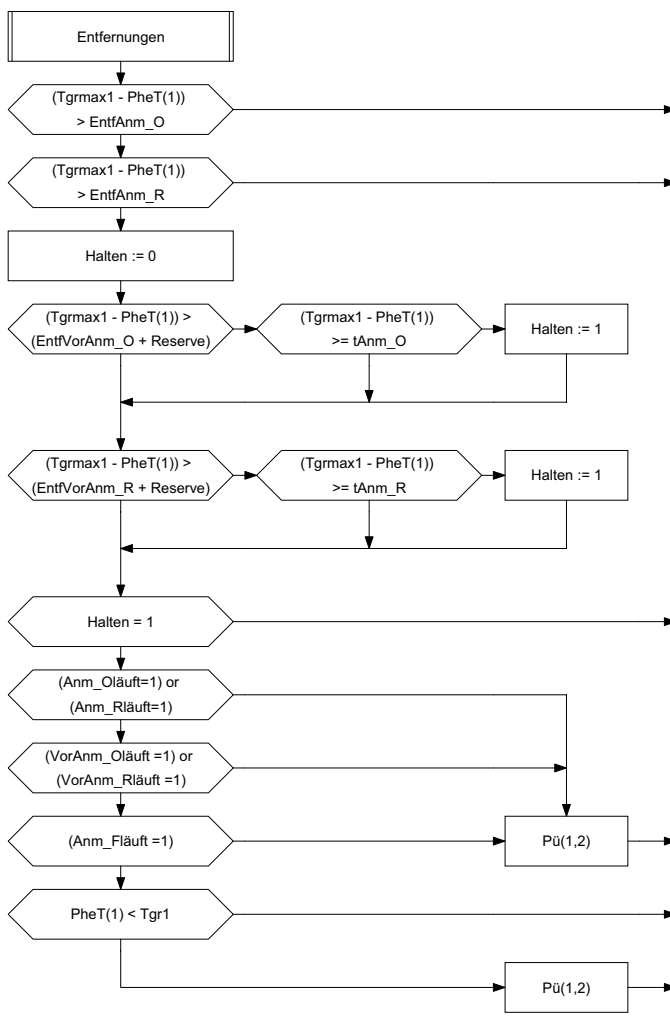
Die VLSA-Kette Bienerstraße - Tschurtschenthalerstraße liegt nördlich des Stadtzentrums von Innsbruck im Stadtteil Saggen. Bis vor kurzer Zeit wurde der gesamte Straßenzug Bienerstraße - Tschurtschenthalerstraße mit den 4 VLSA-gesteuerten Knoten als Einbahn in Ost-West-Richtung geführt. Im Zuge der Umstellung des Liniennetzes der Innsbrucker Verkehrsbetriebe wurde inzwischen die Gegenrichtung geöffnet.

Insgesamt verkehren 6 Bus- und Straßenbahnlinien der Innsbrucker Verkehrsbetriebe teilweise über mehrere Knoten. Am stärkstfrequentierten Knoten queren in der Abendspitzenstunde 36 Busse. Teilweise liegen die Haltestellen unmittelbar vor der Kreuzung. In einem Fall musste das Linksabbiegen aufgrund der schlechten Sichtverhältnisse für den Individualverkehr verboten werden, es ist deshalb nur ein kurzer Linksabbiegefahrstreifen exklusiv für Busse angeordnet.

Die Verkehrsbelastung ist generell niedrig, der Auslastungsgrad liegt in der Abendspitzenstunde teilweise bei nur 30%. Die Geradeausrichtungen sind sehr dominant, Linksabbieger sind nur selten anzutreffen.

Die Busbeschleunigung wird außer in einem Fall durch Verlängerung oder Abbruch einer Phase erreicht. Nach der Mindestgrünzeit werden vorliegende Anmeldungen abgefragt und die zeitliche Entfernung der öffentlichen Verkehrsmittel berechnet. Wenn die Durchfahrt noch innerhalb der maximalen Phasendauer möglich ist, wird die Phase gehalten, ansonsten erfolgt ein vorzeitiger Abbruch. Eine Sonderbehandlung erhalten die Linien mit Haltestellen unmittelbar vor der Haltelinie. Hier besteht das Problem, dass durch unterschiedliche und nicht exakt vorhersehbare Fahrgastwechselzeiten falsche Prognosen zum Eintreffen an der Haltelinie und damit zuerst eine Grünzeitverlängerung und dann ein Grünabbruch "vor der Nase" erfolgen könnten. Diese Gefahr ist umso geringer, je früher innerhalb der Freigabezeit der Haltestellenaufenthalt durchgeführt wird, bzw. wenn der Haltestellenaufenthalt am Ende der "feindlichen" Phase erfolgt. Aus diesem Grund wurde eine Voranmeldung platziert, die unter gewissen Voraussetzungen die "feindliche" Phase vorzieht (Abbildung 4). Die Anmeldung selbst gewährleistet die schnellstmögliche Rückkehr und Freigabe für die ÖV-Linie nach dem Haltestellenaufenthalt.

In Ost-West-Richtung wurde die bestehende Grüne Welle mit einer Umlaufzeit von 80 Sekunden beibehalten. In der geringer belasteten Gegenrichtung ist ebenfalls ein Grünband, jedoch mit geringerer Qualität möglich. Die Logik sorgt für den schnellstmöglichen Wiederaufbau der Koordination nach einem Buseingriff. Eine Grünzeitbemessung durch den motorisierten Individualverkehr ist mangels Detektoren nicht möglich, Eingriffe in das Signalprogramm erfolgen demnach ausschließlich durch den Datenfunk der öffentlichen Verkehrsmittel.



Sekundlich wird die Entfernung der Busse von der Haltelinie berechnet.

Wenn die angemeldete Buslinie O bzw. R noch vor der maximalen Phasendauer lt. Prognose die Haltelinie passieren kann, wird die Phase gehalten.

Wenn ein vorangemeldeter Bus noch vor der maximalen Phasendauer lt. Prognose die Haltelinie passieren kann, wird die Phase gehalten. Dabei wird noch eine Reservezeit für längeren Haltestellenaufenthalt hineingerechnet, um ein Auflaufen auf Rot auf alle Fälle zu verhindern.

Bei der zweiten Abfrage wird geprüft, ob die Anmeldung rechtzeitig erfolgt ist. Anderenfalls ist zwischen Voranmeldung und Anmeldung ein Problem aufgetreten und die Verlängerung muss abgebrochen werden.

Wenn eine Anmeldung oder Voranmeldung vorliegt, aber lt. obiger Abfrage nicht abgearbeitet werden kann, erfolgt sofort ein Abbruch.

Wenn eine Anmeldung der Linie F in der Querrichtung vorliegt, erfolgt sofort ein Abbruch.

Wenn keine Anmeldung vorliegt, wird nach Ablauf der "Normalgrünzeit" in Phase 2 weitergeschaltet.

Abb. 4: Ausschnitt aus der Logik

Ohne Grünblinker bleibt die Logik grundsätzlich unverändert, lediglich die Phasenübergänge wurden um die 4 Sekunden Grünblinker gekürzt und die minimalen und maximalen Phasendauern entsprechend um 4 Sekunden erhöht.

Vorweg ist anzumerken, dass aufgrund der Beschleunigungsmaßnahmen die durchschnittliche Reisezeit aller ÖV-Linien im simulierten Netz um 20 Sekunden oder 14% gegenüber der alten Festzeitsteuerung reduziert wurde. Massiv verringert wurde auch die Streuung der Reisezeiten um bis zu 55%. Im Individualverkehr werden einige Routen mit Reisezeitreduktionen bis -9% bevorzugt, andere müssen längere Reisezeiten mit bis zu +5,6% in Kauf nehmen. Im Mittel pro Fahrzeug sind die Reisezeiten identisch.

Durch den Wegfall von Grünblinker werden die Reisezeiten im öffentlichen Verkehr und im Individualverkehr im Mittel jeweils um weitere 1,3% reduziert. Die Wartezeiten werden im öffentlichen Verkehr um 2,4% reduziert. Im Individualverkehr beträgt die Reduktion 4,5%, die Stufen der Verkehrsqualität bleiben unverändert (Tabelle 5).

VLSA-Kette Bienerstraße - Tschurtschenthalerstraße	mittlere Wartezeit in [s]					
	Öffentlicher Verkehr			Individualverkehr		
	mit Gb	ohne Gb	Differenz	mit Gb	ohne Gb	Differenz
Route 1	124,9	120,1	-3,9%	39,3	30,7	-22,0%
Route 2	111,9	110,5	-1,3%	37,0	34,7	-6,4%
Route 3	84,1	83,2	-1,0%	kein IV auf Route 3		
Route 4	82,6	81,6	-1,1%	59,6	55,7	-6,5%
Route 5	102,7	99,9	-2,7%	47,0	42,8	-9,0%
Route 6	101,3	101,3	0,0%	28,4	29,3	3,2%
Route 7	22,5	22,0	-2,3%	11,5	10,9	-4,9%
Route 8	25,0	25,7	2,6%	11,8	11,1	-5,3%
Route 9	32,2	27,5	-14,5%	18,4	17,4	-5,7%
<b>Mittelwert</b>	62,2	60,7	-2,4%	17,0	16,2	-4,5%

Tab. 5: Veränderung der mittleren Wartezeiten für öffentliche Verkehrsmittel und den motorisierten Individualverkehr bei Steuerung der VLSA-Kette Bienerstraße - Tschurtschenthalerstraße ohne Grünblinker

Diese relativ geringen Differenzen sind dadurch zu erklären, dass die 4 Sekunden Grünblinker im Phasenübergang nur bei der Abmeldung der öffentlichen Verkehrsmittel zum Tragen kommen und zwar in der Weise, dass der Individualverkehr in der feindlichen Richtung oder auch ein wartender Bus

einen um 4 Sekunden längeren Aufenthalt hinnehmen muss. Gerade beim öffentlichen Verkehr tritt im konkreten Beispiel die Situation, dass 2 Linien in feindlichen Zufahrten aufeinandertreffen, relativ selten ein und deshalb sind im Mittel auch keine größeren Reisezeitreduktionen zu erwarten. Ohne ÖV-Anmeldung laufen die Anlagen festzeitgesteuert und wegen der geringen Auslastung sind hier nicht einmal Gewinne durch die geringere Anhalte-Wahrscheinlichkeit zu erwarten.

#### **4 Fazit**

Bei Festzeitsteuerungen wird die Kapazität nur durch die höhere Anhalte-Wahrscheinlichkeit bei Signalfolge mit Grünblinken reduziert, beispielsweise bei Vollaustattung, Grünzeiten von 40 Sekunden und 90-Sekunden-Umlauf um 1,6% bis 3,0%.

Bei verkehrsabhängigen Steuerungen lassen sich trotz der unterschiedlichen Logiken und Strategien einige Tendenzen klar erkennen: Bei relativ geringer Verkehrsbelastung mit allen Zufahrten im Bereich der Qualitätsstufen A oder B sind die Wartezeitreduktionen ohne Grünblinken nur gering, im Mittel etwa 3% bis 6%. Die größeren Staulängen werden bis zu 15% reduziert, die geringeren durch den vorzeitigen Grünabbruch auch etwas erhöht.

Bei mittleren Verkehrsbelastungen und einzelnen Zufahrten zumindest im Bereich der Qualitätsstufe C werden ohne Grünblinken die mittleren Wartezeiten um 10% bis 20%, die Staulängen bis zu 30% reduziert. Von den Reduktionen profitieren immer auch die stärker ausgelasteten Zufahrten.

Bei hohen Verkehrsbelastungen mit mehreren Zufahrten im Bereich der Qualitätsstufe C oder D kommt die verkehrsabhängige Steuerung voll zum Tragen. Die mittleren Wartezeiten werden ohne Grünblinken um ca. 15% bis 30%, auf einzelnen hochbelasteten Relationen um 30% bis 40% reduziert. Die größten Staulängen reduzieren sich um 30% bis 50%.

Bei den simulierten sehr hohen Verkehrsbelastungen mit erreichter Leistungsgrenze oder Überlastungen ist erkennbar, dass sich die Reduktionen von Wartezeit und Staulängen deutlich abschwächen. Es kommt aber immer noch zu Reduktionen der Wartezeit auf einzelnen Relationen von 30% bis 37%.

Bei einer Logik mit Funktionen ausschließlich zur Busbeschleunigung können in den untersuchten Fallbeispiel nur geringfügige Verbesserungen von im Mittel 2,4% bzw. 9,6% bei den ÖV-Wartezeiten erreicht werden. Dies deshalb, da bei der Planung durch frühzeitige Anmeldung auf die längeren Phasenübergänge bereits Rücksicht genommen wurde und deshalb eine Reduktion der Wartezeiten nur bei wartenden Bussen in der feindlichen Richtung eintritt. Ein Problem besteht darin, dass eine entsprechend frühe Anmeldung in manchen Fällen gar nicht möglich ist oder beispielsweise vor dem Haltestellenaufenthalt (mit der Unsicherheit der Aufenthaltsdauer) erfolgen muss.

Kapazitätsverluste, längere Wartezeiten und größere Staulängen bei Grünblinken können damit insbesondere bei verkehrsabhängiger Steuerung mit mittlerer bis hoher Verkehrsbelastung, aber auch bei Festzeitsteuerung eindeutig nachgewiesen werden.

## QUELLENVERZEICHNIS

BEHRENDT, J. (1970) Untersuchungen zur Gelblichtproblematik an Knotenpunkten mit Lichtsignalsteuerung, *Schriftenreihe Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, **101**, Bundesminister für Verkehr, Bonn.

BRILON, W., M. GROSSMANN und H. BLANKE (1994) Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufes auf Straßen, *Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, **669**, Bundesministerium für Verkehr, Bonn-Bad Godesberg.

Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen (1992) *Richtlinien für Lichtsignalanlagen - RILSA, Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr*, Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen, Köln

JOHNSTON, D. (1992) IMSA Traffic Signals: Another method of dilemma zone protection, *IMSA Journal*, **39** (4) 44-46.

KÖLL, H., M. BADER und K.W. AXHAUSEN (2001) Regelwidriges Fahrverhalten an Lichtsignalanlagen - Empirische Ergebnisse aus Österreich, Schweiz und Deutschland, *Straßenverkehrstechnik*, **45** (7) 313 - 317.

KÖLL, H., M. BADER und K.W. AXHAUSEN (2001) Entscheidungsverhalten an Lichtsignalanlagen mit und ohne Grünblinken als Ankündigung der Übergangszeit Gelb, *Straßenverkehrstechnik*, **46** (7) 339 - 345.

KÖLL, H., M. BADER und K.W. AXHAUSEN (2003) Auswirkungen des Grünblinkens auf die Verkehrssicherheit und Leistungsfähigkeit verkehrsabhängig gesteuerter Lichtsignalanlagen, Forschungsarbeiten aus dem Verkehrswesen, **126**, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien.

KÖLL, H., M. BADER und K.W. AXHAUSEN (2004a) Driver behaviour during flashing green before amber: a comparative study, *Accident Analysis and Prevention*, **36**, 273-280.

KÖLL, H., M. BADER und K.W. AXHAUSEN (2004b) Auswirkungen des Grünblinkens bei lichtsignalgesteuerten Knoten auf die Verkehrssicherheit, *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, **50** (3).

MAY, A.D. (1968) Clearance interval at traffic signals, *Highway Research Record*, **221**, 41-71.



PANT, D.P. und Y. XIE Y. (1995) Comparative study of advance warning signs at high speed signalized intersections, *Transportation Research Record*, **1495**, 28 - 35.

PTV AG (2001) VISSIM 3.6\* - Mikroskopische Verkehrsflusssimulation, Benutzerhandbuch, PTV AG, Karlsruhe.

WENIGER, H. (1961) Das Gelblichtproblem bei signalgesteuerten Straßenkreuzungen, *Polizei*, **8**, 230.