

Lichtsignalanlagen

Abschätzen der Leistungsfähigkeit

Installations de feux de circulation:
Evaluation de la capacité

Ingenieurbüro Pitzinger, Zürich
Peter Pitzinger, Dr. techn. dipl. Ing. SIA

Forschungsauftrag 31/95 auf Antrag der
Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS)

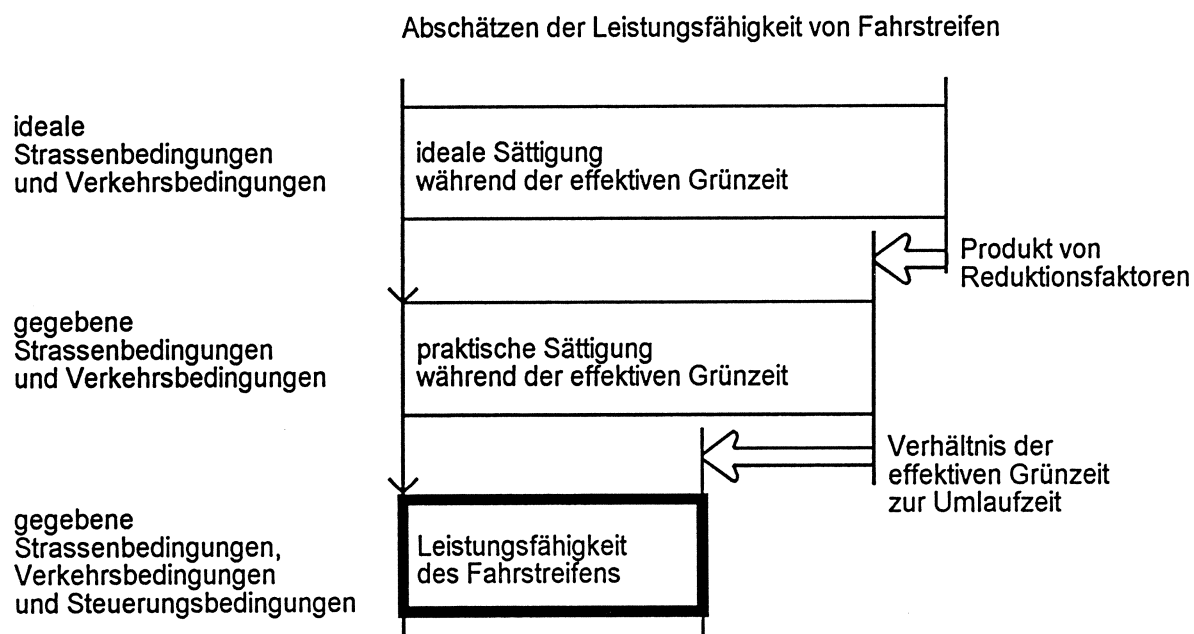
August 1996

381

Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement
Bundesamt für Strassenbau

Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS
Forschungsauftrag Nr. 31/95

Lichtsignalanlagen: Abschätzen der Leistungsfähigkeit



Zürich, August 1996

1. INHALT

2. Zusammenfassung / Résumé	3,4
3. Gegenstand	5
4. Zweck	5
5. Begriffe	5
6. Das Vorgehen beim Erarbeiten des Verfahrens	6
7. Das Verfahren zum Abschätzen der Leistungsfähigkeit	7
7.1 Grundlagen	7
7.2 Reduktionsfaktor für Fahrstreifenbreiten	8
7.3 Reduktionsfaktor für die Längsneigung	8
7.4 Reduktionsfaktor für Haltestellen des öffentlichen Verkehrs auf Fahrstreifen	8
7.5 Reduktionsfaktor für Fahrstreifen mit angrenzender Parkierung	9
7.6 Reduktionsfaktoren für kurze Stauräume	9
7.7 Reduktionsfaktor für Abbiegestreifen mit vortrittsberechtigten Abbiegern	10
7.8 Reduktionsfaktor für Mischstreifen mit vortrittsberechtigten Abbiegern	10
7.9 Reduktionsfaktor für Abbiegestreifen mit vortrittsbelasteten Abbiegern	11
7.10 Reduktionsfaktor für Mischstreifen mit einem vortrittsbelasteten Abbiegestrom	12
7.11 Reduktionsfaktor für Mischstreifen mit zwei vortrittsbelasteten Abbiegeströmen	13,14
7.12 Reduktionsfaktoren bei Privilegierung des öffentlichen Verkehrs auf Eigentrasse	15
7.13 Reduktionsfaktoren bei Privilegierung des öffentlichen Verkehrs ohne Eigentrasse	16
7.14 Bemessung der Umlaufzeit und der Grünzeiten	17

8.	Anhang 1:	Messung der idealen Sättigungsrate s [PWE/h]	18
9.	Anhang 2:	Vergleich der idealen Sättigungsraten	19
10.	Anhang 3:	Sättigung und effektive Grünzeit g [s]	20
11.	Anhang 4:	Messung der praktischen Sättigungsrate s_p [PWE/h]	21
12.	Anhang 5:	Messung der Belastung q [PWE/h] bei Überlastung	22-24
13.	Anhang 6:	Vergleich der Reduktionsfaktoren für Fahrstreifenbreiten	25
14.	Anhang 7:	Vergleich der Reduktionsfaktoren für die Längsneigung	26
15.	Anhang 8:	Ableitung der Reduktionsfaktoren für Haltestellen des öffentlichen Verkehrs auf Fahrstreifen	27
16.	Anhang 9:	Ableitung der Reduktionsfaktoren für Fahrstreifen mit angrenzender Parkierung	28
17.	Anhang 10:	Ableitung der Reduktionsfaktoren für kurze Stauräume	29-31
18.	Anhang 11:	Vergleich der Reduktionsfaktoren für Abbiegestreifen mit vortrittsberechtigten Abbiegern	32
19.	Anhang 12:	Ableitung der generellen Reduktionsfaktoren für Mischstreifen	33
20.	Anhang 13:	Ableitung der Reduktionsfaktoren für Mischstreifen mit vortrittsberechtigten Abbiegern	34
21.	Anhang 14:	Ableitung von Grünzeit und Sättigung vortrittsbelasteter Abbieger auf Abbiege- und Mischstreifen	35
		21.1 Grünzeit vortrittsbelasteter Abbieger	35
		21.2 Sättigung vortrittsbelasteter Abbieger	36-37
22.	Anhang 15:	Ableitung der Reduktionsfaktoren bei Privilegierung des öffentlichen Verkehrs auf Eigentrasse	38-42
23.	Anhang 16:	Ableitung der Reduktionsfaktoren bei Privilegierung des öffentlichen Verkehrs ohne Eigentrasse	43-45
24.	Quellenangaben		46

2. ZUSAMMENFASSUNG

Gegenstand der Forschungsarbeit ist ein Verfahren zum Abschätzen der Leistungsfähigkeit von Fahrstreifen des Individualverkehrs an Lichtsignalanlagen.

Die Leistungsfähigkeit von Fahrstreifen an Lichtsignalanlagen hängt von zahlreichen Strassen-, Verkehrs und Steuerungsbedingungen ab. In bestehenden Knoten, die vom Verkehr in Spitzenstunden ausgelastet oder überlastet sind, lässt sich die Leistungsfähigkeit der Fahrstreifen zwar direkt messen, aber nicht in Knoten ohne Auslastung, in geänderten oder in neuen Knoten. Dort ist es nötig, die Leistungsfähigkeit abzuschätzen. Dafür wird hier ein Verfahren angeboten.

Das Verfahren geht von einer idealen Sättigungsrate $s[\text{PWE/h}]$ während einer effektiven Grünzeit $g[\text{s}]$ aus. Die praktische Sättigungsrate $s_p[\text{PWE/h}] = s \cdot \prod f$ bei gegebenen Strassen- und Verkehrsbedingungen ergibt sich aus dieser ideale Sättigungsrate, multipliziert mit dem Produkt von bis zu zwölf verschiedene Reduktionsfaktoren $\prod f$. Schliesslich berücksichtigt das Verhältnis der effektiven Grünzeit $g[\text{s}]$ zur Umlaufzeit $Z[\text{s}]$ die gegebenen Steuerungsbedingungen. Die Leistungsfähigkeit von Fahrstreifen des Individualverkehrs an

Lichtsignalanlagen ist dann $I[\text{PWE/h}] = s \cdot \prod f \cdot \frac{g}{Z}$, mit der Fahrstreifenbelastung $q[\text{PWE/h}]$

wird der Auslastungsgrad zu $x = \frac{q[\text{PWE/h}]}{I[\text{PWE/h}]}$.

Das Verfahren beruht auf Messungen der idealen und der praktischen Sättigungsrate. Für die einzelnen Reduktionsfaktoren wurden Formeln abgeleitet und durch Messungen überprüft. Schliesslich wurden die Formeln für die Reduktionsfaktoren mit ausländischen Normen verglichen und angepasst. Das Verfahren liefert eine gute Näherung für die Praxis.

Mit den Angaben: $q_i[\text{PWE/h}]$
 $s_{pi}[\text{PWE/h}]$
 $t_{zi}[\text{s}]$

i

$$t_l = \left(\sum_i t_{zi} - i \right)$$

Belastungen der kritische Fahrstreifen pro Phase,
 praktische Sättigungsrate der kritische Fahrstreifen,
 Zwischenzeiten von aufeinanderfolgenden
 kritischen Fahrstreifen (gemäss SN 640838),
 Anzahl kritischer Fahrstreifen, Phasenzahl,

Verlustzeit pro Umlauf,

ergibt sich die Mindestumlaufzeit zu

$$Z_{\min}[\text{s}] = \frac{t_l}{1 - \sum_i \frac{q_i}{s_{pi}}},$$

die effektiven Grünzeiten sind bei gleichem Auslastungsgrad der kritische Fahrstreifen und

bei einer gewählten Umlaufzeit $Z[\text{s}]$

$$g_i[\text{s}] = \frac{\frac{q_i}{s_{pi}} \cdot (Z - t_l)}{\sum_i \frac{q_i}{s_{pi}}}.$$

Die effektiven Grünzeiten g_i hängen von den praktischen Sättigungsrate s_{pi} und damit von den Reduktionsfaktoren ab. Die Reduktionsfaktoren für kurze Stauräume, für vortrittsbelastete Abbieger und für die Privilegierung des öffentlichen Verkehrs sind wiederum Funktionen der effektiven Grünzeiten. In diesen Fällen ist eine Iterationsrechnung nötig. Eine erste Näherung für die effektiven Grünzeiten lässt sich dabei aus den Normen SN 640833 und SN 640834 ermitteln.

RÉSUMÉ

L'objet de l'étude est une méthode d'évaluation de la capacité des voies du trafic individuel aux installations de feux de circulation.

La capacité des voies aux installations de feux de circulation dépend de nombreuses conditions telles qu'état de la chaussée, du trafic et de la régulation. Dans les carrefours existants, chargés ou surchargés par le trafic aux heures de pointe, il est bien entendu possible de mesurer directement la capacité, mais pas pour les carrefours n'ayant qu'un trafic réduit, ceux modifiés ou à créer. Dans ce cas il est nécessaire d'estimer la capacité. La méthode présentée est utile à cette fin.

La méthode se base sur une saturation idéale $s[\text{uvp/h}]$ des voies de circulation pendant une durée de temps vert effectif $g[s]$. Cette saturation idéale est adaptée par le produit d'au plus 12 différents facteurs de réduction Πf à la saturation effective $s_p[\text{uvp/h}] = s \cdot \Pi f$ pour des conditions de voirie et circulation données. Enfin le rapport entre la durée de temps vert effectif $g[s]$ et la durée du cycle $Z[s]$ permet de tenir compte des propriétés de la régulation. La capacité des voies du trafic individuel aux installations de feux est alors

$$l[\text{uvp/h}] = s \cdot \prod f \cdot \frac{g}{Z}, \text{ avec le débit des voie de circulation } q[\text{uvp/h}] \text{ le degré d'utilisation est}$$

$$x = \frac{q[\text{uvp/h}]}{l[\text{uvp/h}]}.$$

La méthode est basée sur des mesures de saturation idéale et effective. Des formules en ont dérivé pour les différents facteurs de réduction et elles ont été contrôlées par des mesures. Enfin ces facteurs de réduction ont été comparés à ceux de normes étrangères et adaptées. Dans la pratique cette méthode donne une bonne approximation.

Avec les donnés: $q_i[\text{uvp/h}]$
 $s_{pi}[\text{uvp/h}]$
 $t_{zi}[s]$

i

$$t_1 = \left(\sum_i t_{zi} - i \right)$$

débit des voies critiques par phase,
 saturation effective des voies critiques
 temps interverts entre voies critiques
 consécutives (selon SN 640838),
 nombre des voies critiques, nombre des phases,

temps perdu par cycle,

on obtient une durée de cycle minimum

$$Z_{\min}[s] = \frac{t_1}{1 - \sum_i \frac{q_i}{s_{pi}}},$$

les temps verts effectifs sont, pour un même degré d'utilisation des voies critiques et pour

une durée choisie de cycle $Z[s]$

$$g_i[s] = \frac{\frac{q_i}{s_{pi}} \cdot (Z - t_1)}{\sum_i \frac{q_i}{s_{pi}}}.$$

Le temps vert effectif g_i dépend du valeur de saturation effective s_p , et donc des facteurs de réduction. Les facteurs de réduction pour les voies de stockage courtes, pour les mouvements avec perte de priorité et pour la priorité des transports publics sont à leur tour dépendants du temps vert effectif. Dans ce cas il est nécessaire de faire appel à un calcul itératif. Une première approximation des temps verts effectifs peut être faite à partir des normes SN 640833 et SN 640834.

3. GEGENSTAND

Gegenstand der Forschungsarbeit ist ein Verfahren zum Abschätzen der Leistungsfähigkeit von Fahrstreifen an Lichtsignalanlagen.

4. ZWECK

Lichtsignalanlagen sind ein komplexes Element des Verkehrssystems. Die Leistungsfähigkeit von Fahrstreifen an Lichtsignalanlagen hängt von zahlreichen Randbedingungen ab. Diese umfassen zunächst verschiedene Strassenbedingungen - Breite und Neigung der Fahrstreifen, Haltestellen des öffentlichen Verkehrs auf Fahrstreifen, an Fahrstreifen angrenzende Parkierungen, und die Markierung von Fahrstreifen ausschliesslich für Geradeausfahrer oder Abbieger, bzw. Mischstreifen mit Geradeausfahrern und Abbiegern. Dazu kommen unterschiedliche Verkehrsbedingungen - vortrittsberechtigte Abbieger, vortrittsbelastete Abbieger, deren Ablauf vom vortrittsberechtigten Individual-, öffentlichen bzw. Fussgängerverkehr abhängt, und privilegierte Kursfahrzeuge des öffentlichen Verkehrs mit und ohne Eigentrasse. Schliesslich bestimmen noch die Steuerungsbedingungen die Leistungsfähigkeit - die Grünzeiten und die Umlaufzeit der Lichtsignalsteuerung.

In bestehenden Knoten, die vom Verkehr in Spitzenstunden ausgelastet oder überlastet sind, lässt sich die Leistungsfähigkeit der Fahrstreifen direkt messen. Bei einem Knoten ohne Auslastung, in einem bestehenden Knoten wo z.B. nur die Aufteilung der Fahrstreifen geändert werden soll, oder schliesslich in einem neuen Knoten ist dies nicht möglich. Dort ist es nötig, die Leistungsfähigkeit abzuschätzen. Dazu wird hier ein Verfahren angeboten.

5. BEGRIFFE

ideale Sättigungsrate, ideale Sättigung $s[PWE/h]$:

die grösste Verkehrsmenge, die einen Fahrstreifen einer Lichtsignalanlage bei idealen Strassen- und Verkehrsbedingungen während der effektiven Grünzeit $g[s]$ durchfahren kann.

Als ideale Strassen- und Verkehrsbedingungen gelten Fahrstreifen mit den Parametern: ausschliesslicher Geradeausverkehr, Fahrstreifenbreiten von ca. 3.25m, Strassenneigungen von ca. 0%, Fahrstreifen ohne Haltestelle und ohne angrenzende Parkierung, Fahrstreifen ohne Privilegierungen des öffentlichen Verkehrs und schliesslich Fahrstreifen mit ausreichender Stauraumlänge.

Praktisch Sättigungsrate, praktische Sättigung $s_p[PWE/h]$:

die grösste Verkehrsmenge, die einen Fahrstreifen einer Lichtsignalanlage bei gegebenen Strassen- und Verkehrsbedingungen während der effektiven Grünzeit $g[s]$ durchfahren kann.

Reduktionsfaktor f

das Verhältnis der praktischen Sättigungsrate $s_p[PWE/h]$ zur idealen Sättigungsrate $s[PWE/h]$ für den bestimmten Parameter, um den die gegebenen Strassen- und Verkehrsbedingungen von den idealen abweichen.

Leistungsfähigkeit $I[PWE/h]$:

die grösste Verkehrsmenge pro Zeitintervall, die einen Fahrstreifen einer Lichtsignalanlage bei gegebenen Strassen-, Verkehrs- und Steuerungsbedingungen (effektive Grünzeit $g[s]$, Umlaufzeit $Z[s]$) durchfahren kann.

effektive Grünzeit $g[s]$:

die vom Signal angezeigte Grünzeit + 1 Sekunde.

Umlaufzeit $Z[s]$:

Dauer eines Zyklus der Signalzeiten.

6. DAS VORGEHEN BEIM ERARBEITEN DES VERFAHRENS

Der erste Schritt beim Erarbeiten des Verfahrens waren Messungen der praktischen Sättigungsrate an Fahrstreifen von Lichtsignalanlagen. Die Messungen erfolgten im Verlauf einer langjährigen Praxis mit Lichtsignalanlagen. Es handelte sich dabei vorwiegend um ausgelastete oder überlastete Zufahrten zu Lichtsignalanlagen in der Stadt Zürich. Zusätzlich zur praktischen Sättigungsrate wurden die Parameter notiert, die in diesen Zufahrten von den idealen Strassen- und Verkehrsverhältnissen abweichen - die Fahrstreifenbreiten, Strassenneigungen, Haltestellen des öffentlichen Verkehrs im Fahrstreifen, angrenzende Parkierungen mit dem signalisierten Parkierungsregime, die Anteile der vortrittsberechtigten und der vortrittsbelasteten Abbieger an der Streifenbelastung, Privilegierungen des öffentlichen Verkehrs und schliesslich Stau-raumlängen. Diese Messungen dienten ursprünglich zum Leistungsnachweis bei den vor allem im Auftrag der Stadtpolizei Zürich bearbeiteten Lichtsignalanlagen; hier dienen sie als Unterlagen zur Forschungsarbeit.

In einem zweiten Schritt wurden die idealen Sättigungsraten an Fahrstreifen von Lichtsignalanlagen in der Stadt Zürich und in den Städten Bern, Lausanne, Lugano, St.Gallen und Winterthur gemessen. Die ideale Sättigungsrate ist eine Ausgangsgrösse der Leistungsschätzung.

Der dritte Arbeitsschritt war die Ableitung theoretischer Formeln für die Reduktionsfaktoren. Grundlage für einzelne der abgeleiteten Formeln waren ausländischen Normen. Die Formeln für die verschiedenen Reduktionsfaktoren entsprechen theoretischen Überlegungen zum Einfluss derjenigen Parameter, um die gegebene Strassen- und Verkehrsbedingungen von den idealen Verhältnissen abweichen. Beim Ableiten der Formeln konnte näherungsweise angenommen werden, dass die einzelnen Reduktionsfaktoren voneinander unabhängig sind.

In einem vierten Schritt wurden die theoretischen Formeln für die einzelnen Reduktionsfaktoren durch Messungen der praktischen Sättigungsrate und der idealen Sättigungsrate überprüft und korrigiert. Schliesslich wurden die Formeln für die Reduktionsfaktoren mit ausländischen Normen verglichen und angepasst.

Als Einschränkung gilt, dass das angebotene Verfahren zum Abschätzen der Leistungsfähigkeit von Fahrstreifen an Lichtsignalanlagen nur über den Individualverkehr aussagt. Denn in der Praxis gibt es kaum Lichtsignalanlagen, wo die Leistungsfähigkeit der Fussgängerstreifen, der Velostreifen oder der Fahrstreifen des öffentlichen Verkehrs ein Problem darstellen. Deshalb ist auch die praktische Sättigungsrate dieser Verkehrsteilnehmer kaum messbar.

Angaben zu idealen Sättigungsraten von Fussgängern und öffentlichen Verkehrsmitteln bringt das Verfahren nur dort, wo bei der Lichtsignalsteuerung der vortrittsbelastete, abbiegende Individualverkehr gleichzeitig mit vortrittsberechtigten Fussgängern und öffentlichen Verkehrsmitteln abläuft.

Das Ergebnis der Arbeitsschritte ist das Verfahren zum Abschätzen der Leistungsfähigkeit von Fahrstreifen an Lichtsignalanlagen, das auf den folgenden Seiten gestrafft dargestellt ist. Das Verfahren bildet die Grundlage für eine neue SN - Norm „Lichtsignalanlagen: Abschätzen der Leistungsfähigkeit“.

Ausführlich zeigen anschliessend 16 Anhänge die Ableitungen zu den einzelnen Teilen des Verfahrens, Verkehrsmessarten und Vergleiche mit ausländischen Richtlinien auf.

7. DAS VERFAHREN ZUM ABSCHÄTZEN DER LEISTUNGSFÄHIGKEIT

7.1 Grundlagen

Die Leistungsfähigkeit von Fahrstreifen des Individualverkehrs an Lichtsignalanlagen ist

$$l[PWE/h] = s \cdot \prod f \cdot \frac{g}{Z},$$

mit $s[PWE/h]=2000$

f

ideale Sättigungsrate

(Anhang 1: Messung der idealen Sättigungsrate $s[PWE/h]$)

(Anhang 2: Vergleich der idealen Sättigungsraten),

Reduktionsfaktoren für Strassen- und Verkehrsverhältnisse, die von den idealen Verhältnissen abweichen:

- für Fahrstreifenbreiten
- für die Längsneigung
- für Haltestellen des öffentlichen Verkehrs auf Fahrstreifen
- für Fahrstreifen mit angrenzender Parkierung
- für kurze Stauräume
- für Abbiegestreifen mit vortrittsberechtigten Abbiegern
- für Mischstreifen mit vortrittsberechtigten Abbiegern
- für Abbiegestreifen mit vortrittsbelasteten Abbiegern
- für Mischstreifen mit einem vortrittsbelasteten Abbiegestrom
- für Mischstreifen mit zwei vortrittsbelasteten Abbiegeströmen
- bei Privilegierung des öffentlichen Verkehrs auf Eigentrasse
- bei Privilegierung des öffentlichen Verkehrs ohne Eigentrasse.

$\prod f$

Produkt von Reduktionsfaktoren

$g[s]$

effektive Grünzeit, um 1 Sekunde grösser als die vom Signal angezeigte Grünzeit

(Anhang 3: Sättigung und effektive Grünzeit),

$Z[s]$

Umlaufzeit.

In Fahrstreifen von bestehenden Knoten, die vom Verkehr in Spitzenstunden ausgelastet oder überlastet sind, ist es empfehlenswert, die praktische Sättigungsrate $s_p[PWE/h]$ direkt zu messen (Anhang 4: Messung der praktischen Sättigungsrate $s_p[PWE/h]$). Die Leistungsfähigkeit von Fahrstreifen des Individualverkehrs an Lichtsignalanlagen ist dann

$$l[PWE/h] = s_p \cdot \frac{g}{Z},$$

mit $s_p[PWE/h] = s \cdot \prod f$

praktische Sättigungsrate,

$g[s]$

effektive Grünzeit, um 1 Sekunde grösser als die vom Signal angezeigte Grünzeit

(Anhang 3: Sättigung und effektive Grünzeit),

$Z[s]$

Umlaufzeit.

Der Auslastungsgrad von Fahrstreifen des Individualverkehrs an Lichtsignalanlagen ist

$$x = \frac{q[PWE/h]}{l[PWE/h]},$$

mit $l[PWE/h]$
 $q[PWE/h]$

Leistungsfähigkeit von Fahrstreifen des Individualverkehrs,
Belastung von Fahrstreifen des Individualverkehrs

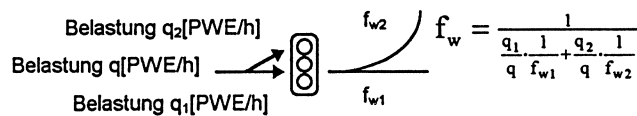
(Anhang 5: Messung der Belastung $q[PWE/h]$ bei Überlastung).

7.2 Reduktionsfaktor für Fahrstreifenbreiten

Der Reduktionsfaktor ist etwa $f_w = 1 + \frac{w - 3.25}{20}$ für Fahrstreifenbreiten $2.5 \leq w[m] \leq 4.5$. Der

Reduktionsfaktor gilt für die kleinste Fahrstreifenbreite auf der Distanz $g \cdot s \cdot f_w$ [PWE] in der Knotenzufahrt oder in der Knotenwegfahrt, bei einer idealen Sättigung s [PWE/s] und einer effektiven Grünzeit g [s].

Bei Mischstreifen gilt für den Reduktionsfaktor der Knotenwegfahrt gemäss der Skizze:



Bei verschieden grossen Reduktionsfaktoren in der Knotenzufahrt und in der Knotenwegfahrt gilt der kleinere.

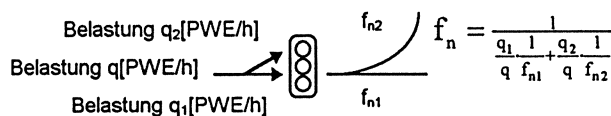
(Anhang 6: Vergleich der Reduktionsfaktoren für Fahrstreifenbreiten)

7.3 Reduktionsfaktor für die Längsneigung

Der Reduktionsfaktor ist etwa $f_n = 1 - \frac{n}{50}$ für Strassenneigungen von $0 \leq n[\%] < +10$. Der

Reduktionsfaktor gilt für die Distanz $g \cdot s \cdot f_n$ [PWE] in der Knotenzufahrt oder in der Knotenwegfahrt, bei einer idealen Sättigung s [PWE/s] und einer effektiven Grünzeit g [s].

Bei Mischstreifen gilt für den Reduktionsfaktor der Knotenwegfahrt gemäss der Skizze:



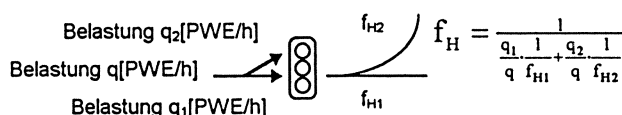
Bei verschieden grossen Reduktionsfaktoren in der Knotenzufahrt und in der Knotenwegfahrt gilt der kleinere.

(Anhang 7: Vergleich der Reduktionsfaktoren für die Strassenneigung)

7.4 Reduktionsfaktor für Haltestellen des öffentlichen Verkehrs auf Fahrstreifen

Der Reduktionsfaktor ist etwa $f_H = 1 - 25 \cdot q_o$ für eine Belastung der Haltestelle von q_o [Kurse/s]. Der Reduktionsfaktor gilt für die Distanz $g \cdot s \cdot f_H$ [PWE] in der Knotenzufahrt oder in der Knotenwegfahrt, bei einer idealen Sättigung s [PWE/s] und einer effektiven Grünzeit g [s].

Bei Mischstreifen gilt für den Reduktionsfaktor der Knotenwegfahrt gemäss der Skizze:

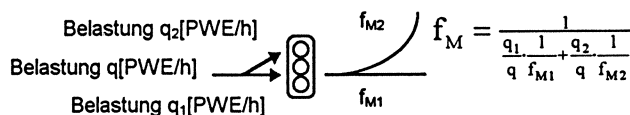


Bei verschieden grossen Reduktionsfaktoren in der Knotenzufahrt und in der Knotenwegfahrt gilt der kleinere.

(Anhang 8: Ableitung der Reduktionsfaktoren für Haltestellen des öffentlichen Verkehrs auf Fahrstreifen)

7.5 Reduktionsfaktor für Fahrstreifen mit angrenzender Parkierung

Der Reduktionsfaktor ist etwa $f_M = 1 - 20 \cdot q_M$ für eine Frequenz der Parkierungsmanöver von $q_M [\text{Manöver} / \text{s}]$. Der Reduktionsfaktor gilt für die Distanz $g \cdot s \cdot f_M [\text{PWE}]$ in der Knotenzufahrt oder in der Knotenwegfahrt, bei einer idealen Sättigung $s [\text{PWE} / \text{s}]$ und einer effektiven Grünzeit $g [\text{s}]$. Bei Mischstreifen gilt für den Reduktionsfaktor der Knotenwegfahrt gemäss der Skizze:



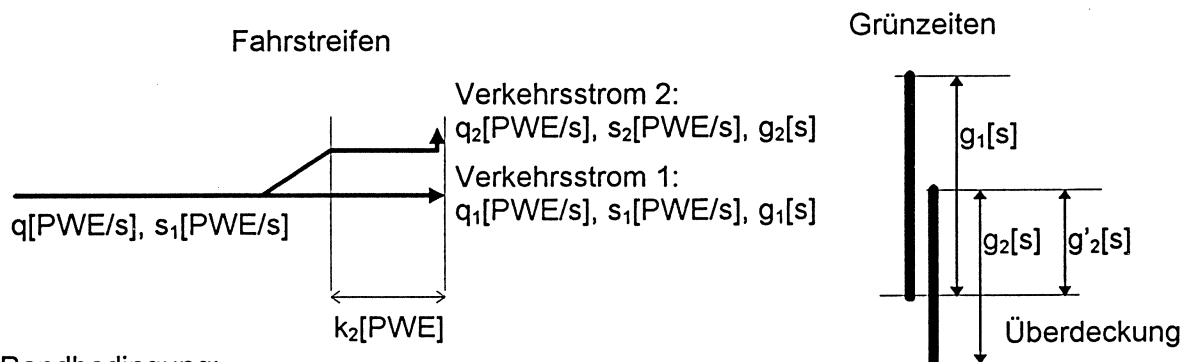
$$f_M = \frac{1}{\frac{q_1}{f_{M1}} + \frac{q_2}{f_{M2}}}$$

Bei verschiedenen grossen Reduktionsfaktoren in der Knotenzufahrt und in der Knotenwegfahrt gilt der kleinere.

(Anhang 9: Ableitung der Reduktionsfaktoren für Fahrstreifen mit angrenzender Parkierung).

7.6 Reduktionsfaktoren für kurze Stauräume

Angaben: Belastungen, Sättigungsraten, Grünzeiten und Stauraum der Fahrstreifen, und Überdeckung der Grünzeiten gemäss der Skizze



Randbedingung:

Es gelten Reduktionsfaktoren für kurze Stauräume, wenn $k_2 [\text{PWE}] < (g_1 \cdot s_1)$, oder $k_2 [\text{PWE}] < (g_2 \cdot s_2)$.

Reduktionsfaktoren:

Verkehrsstrom 1:

$$f_1 = \frac{g_2 \cdot s_2 + k_2 \cdot \frac{q_2}{q_1}}{g_2 \cdot s_2 + g_1 \cdot s_1 \cdot \frac{q_2}{q_1}} \leq 1$$

Verkehrsstrom 2: für

$$\frac{g'_2}{g_2} \geq 1 - \frac{k_2}{s_2 \cdot g_2}$$

$$f_2 = \frac{g_1 \cdot s_1 + k_2 \cdot \frac{q_1}{q_2}}{g_1 \cdot s_1 + g_2 \cdot s_2 \cdot \frac{q_1}{q_2}} \leq 1$$

für

$$\frac{g'_2}{g_2} \leq 1 - \frac{k_2}{s_2 \cdot g_2}$$

$$f_2 = \frac{g_1 \cdot s_1 \cdot \left(\frac{g'_2}{g_2} + \frac{k_2}{g_2 \cdot s_2} \right) + k_2 \cdot \frac{q_1}{q_2}}{g_1 \cdot s_1 + g_2 \cdot s_2 \cdot \frac{q_1}{q_2}} \leq 1$$

Leistung:

Verkehrsstrom 1:

$$l_1 [\text{PWE} / \text{s}] = s_1 \cdot f_1 \cdot \frac{g_1}{Z}$$

Verkehrsstrom 2:

$$l_2 [\text{PWE} / \text{s}] = s_2 \cdot f_2 \cdot \frac{g_2}{Z}$$

(Anhang 10: Ableitung der Reduktionsfaktoren für kurze Stauräume).

7.7 Reduktionsfaktor für Abbiegestreifen mit vortrittsberechtigten Abbiegern

Aus Messungen folgt der Reduktionsfaktor für Abbiegestreifen mit vortrittsberechtigten Abbiegern zu etwa $f_r = \frac{1}{1 + \frac{1.5}{r}}$ für einen Abbiegeradius $r[m]$.

Mit der idealen Sättigung $s[PWE/h]$, der Grünzeit $g[s]$ und dem Umlauf $Z[s]$ ergibt sich die Leistung des Abbiegestreifen mit vortrittsberechtigten Abbiegern dann zu

$$I[PWE/h] = s \cdot f_r \cdot \frac{g}{Z}$$

(Anhang 11: Vergleich der Reduktionsfaktoren für Abbiegestreifen mit vortrittsberechtigten Abbiegern)

7.8 Reduktionsfaktor für Mischstreifen mit vortrittsberechtigten Abbiegern

Mit den Angaben zu den Belastungen der einzelnen Teilströme und den Radien der Abbiegeströme auf einem Mischstreifen gemäss der Skizze



ergeben sich die Äquivalenzwerte der beiden Abbiegeströme 2 und 3 zu

$$E_2 = 1 + \frac{1.5}{r_2} \text{ und } E_3 = 1 + \frac{1.5}{r_3},$$

und der Reduktionsfaktor für Mischstreifen mit vortrittsberechtigten Abbiegern wird zu

$$f = \frac{1}{1 + \frac{1.5}{q} \cdot \left(\frac{q_2}{r_2} + \frac{q_3}{r_3} \right)}$$

Mit der idealen Sättigung $s[PWE/h]$, der Grünzeit $g[s]$ und dem Umlauf $Z[s]$ ergibt sich die Leistung des Mischstreifens mit vortrittsberechtigten Abbiegern dann zu

$$I[PWE/h] = s \cdot f \cdot \frac{g}{Z}$$

(Anhang 12: Ableitung der generellen Reduktionsfaktoren für Mischstreifen

(Anhang 13: Ableitung der Reduktionsfaktoren für Mischstreifen mit vortrittsberechtigten Abbiegern)

7.9 Reduktionsfaktor für Abbiegestreifen mit vortrittsbelasteten Abbiegern

Angaben zu den vortrittsbelasteten Abbiegern:

$g[s]$	gemeinsame Grünzeit der Vortrittsbelasteten mit den Vortrittsberechtigten
$Z[s]$	gemeinsamer Zyklus der Vortrittsbelasteten mit den Vortrittsberechtigten
$s[PWE/s]$	ideale Sättigung
$k_2[PWE]$	Stauraum zwischen der Haltelinie und den ersten Vortrittsberechtigten

Angaben zu den Vortrittsberechtigten:

Verkehrsart	Streifenbelastung	Gesamtbelastung	Richtwerte Sättigung s_v	Richtwerte Sättigung $s_2[PWE/s]$
Individualverkehr	$q_{v,IV}[PWE/s]$	$\Sigma q_{v,IV}[PWE/s]$	0.55PWE/s Leistungsrechnung	$\Sigma q_{v,IV} \leq 0.33PWE/s:$ $s_2 = \frac{5}{12} - \frac{5}{6} \cdot \Sigma q_{v,IV}$ mehrstreifig, $\Sigma q_{v,IV} > 0.33PWE/s:$ $s_2 = \frac{5}{24} - \frac{5}{24} \cdot \Sigma q_{v,IV}$
Öffentlicher Verkehr	$q_{v,\text{ÖV}}[\text{Kurse/s}]$	$\Sigma q_{v,\text{ÖV}}[\text{Kurse/s}]$	0.17Kurse/s	$s_2 = \frac{5}{12} - 3 \cdot \Sigma q_{v,\text{ÖV}}$
Fussgänger	$q_{v,FG}[Fg/s]$	$\Sigma q_{v,FG}[Fg/s]$	2.22Fg/s	$s_2 = \frac{5}{12} - \frac{3}{5} \cdot \Sigma q_{v,FG}$
Individualverkehr Öffentlicher Verkehr Fussgänger		$\Sigma q_v = \Sigma q_{v,IV} + 18/5 \cdot \Sigma q_{v,\text{ÖV}} + 18/25 \cdot \Sigma q_{v,FG}$		$\Sigma q_v \leq 0.33PWE/s:$ $s_2 = \frac{5}{12} - \frac{5}{6} \cdot \Sigma q_v$ $\Sigma q_v > 0.33PWE/s:$ $s_2 = \frac{5}{24} - \frac{5}{24} \cdot \Sigma q_v$

Ergebnisse:

$$g_{v,u}[s] = g - \frac{(Z - g) \cdot q_v}{s_v - q_v} \quad \text{ungesättigte Grünzeit der Vortrittsberechtigten (s}_v \text{ gemäss Tabelle)}$$

sind mehrere Verkehrsarten vortrittsberechtigt, dann sind die ungesättigten Grünzeiten pro Verkehrsart zu ermitteln, es gilt die kleinste der ungesättigten Grünzeiten $g_{v,u}$.

$$g_2[s] = g_{v,u} + \frac{k_2}{s_2} \leq g \quad \text{Grünzeit der vortrittsbelasteten Abbieger (s}_2 \text{ gemäss Tabelle)}$$

$$E_2 = \frac{g \cdot s}{g_2 \cdot s_2} \quad \text{Äquivalenzwert der vortrittsbelasteten Abbieger}$$

$$f_2 = \frac{1}{E_2} \quad \text{Reduktionsfaktor der vortrittsbelasteten Abbieger}$$

$$I_2[PWE/s] = s \cdot f_2 \cdot \frac{g}{Z} \quad \text{Leistung der vortrittsbelasteten Abbieger}$$

(Anhang 14: Ableitung von Grünzeit und Sättigung vortrittsbelasteter Abbieger auf Abbiege- und Mischstreifen)

7.10 Reduktionsfaktor für Mischstreifen mit einem vortrittsbelasteten Abbiegestrom

Angaben zum Mischstreifen:

$q[\text{PWE/s}]$	Belastung
$g[\text{s}]$	gemeinsame Grünzeit der Vortrittsbelasteten mit den Vortrittsberechtigten
$Z[\text{s}]$	gemeinsamer Zyklus der Vortrittsbelasteten mit den Vortrittsberechtigten
$s[\text{PWE/s}]$	ideale Sättigung

Angaben zu den Geradeausfahrern im Mischstreifen:

$q_1[\text{PWE/s}]$	Belastung der Geradeausfahrer im Mischstreifen
$s[\text{PWE/s}]$	ideale Sättigung

Angaben zu den vortrittsbelasteten Abbiegern im Mischstreifen:

$q_2[\text{PWE/s}]$	Belastung der vortrittsbelasteten Abbieger im Mischstreifen
$k_2[\text{PWE}]$	Stauraum zwischen der Haltelinie und den ersten Vortrittsberechtigten

Angaben zu den Vortrittsberechtigten:

Verkehrsart	Streifenbelastung	Gesamtbelastung	Richtwerte Sättigung s_v	Richtwerte Sättigung $s_2[\text{PWE/s}]$
Individualverkehr	$q_{v,IV}[\text{PWE/s}]$	$\Sigma q_{v,IV}[\text{PWE/s}]$	0.55PWE/s Leistungsrechnung	$\Sigma q_{v,IV} \leq 0.33\text{PWE/s}:$ $s_2 = \frac{5}{12} - \frac{5}{6} \cdot \Sigma q_{v,IV}$ mehrstreifig, $\Sigma q_{v,IV} > 0.33\text{PWE/s}:$ $s_2 = \frac{5}{24} - \frac{5}{24} \cdot \Sigma q_{v,IV}$
Öffentlicher Verkehr	$q_{v,\text{ÖV}}[\text{Kurse/s}]$	$\Sigma q_{v,\text{ÖV}}[\text{Kurse/s}]$	0.17Kurse/s	$s_2 = \frac{5}{12} - 3 \cdot \Sigma q_{v,\text{ÖV}}$
Fussgänger	$q_{v,FG}[\text{Fg/s}]$	$\Sigma q_{v,FG}[\text{Fg/s}]$	2.22Fg/s	$s_2 = \frac{5}{12} - \frac{3}{5} \cdot \Sigma q_{v,FG}$
Individualverkehr Öffentlicher Verkehr Fussgänger		$\Sigma q_v = \Sigma q_{v,IV} + 18/5 \cdot \Sigma q_{v,\text{ÖV}} + 18/25 \cdot \Sigma q_{v,FG}$		$\Sigma q_v \leq 0.33\text{PWE/s}:$ $s_2 = \frac{5}{12} - \frac{5}{6} \cdot \Sigma q_v$ $\Sigma q_v > 0.33\text{PWE/s}:$ $s_2 = \frac{5}{24} - \frac{5}{24} \cdot \Sigma q_v$

Ergebnisse:

$$g_{v,u}[s] = g - \frac{(Z - g) \cdot q_v}{s_v - q_v} \quad \text{ungesättigte Grünzeit der Vortrittsberechtigten;}$$

sind mehrere Verkehrsarten vortrittsberechtigt, dann sind die ungesättigten Grünzeiten pro Verkehrsart zu ermitteln, es gilt die kleinste ungesättigte Grünzeit. (s_v gemäss Tabelle)

$$g_2[s] = g_{v,u} + \frac{k_2}{s_2} \cdot \left(1 + \frac{q_1 \cdot s_2}{q_2 \cdot s}\right) \leq g \quad \text{Grünzeit Abbieger und Geradeausfahrer (s_2 gem. Tabelle)}$$

$$E_1 = \frac{g}{g_2}, \quad E_2 = \frac{g \cdot s}{g_2 \cdot s_2} \quad \text{Äquivalenzwerte, Geradeausfahrer und Abbieger}$$

$$f = \frac{1}{\frac{q_1}{q} \cdot E_1 + \frac{q_2}{q} \cdot E_2}, \quad l[\text{PWE/s}] = s \cdot f \cdot \frac{g}{Z} \quad \text{Reduktionsfaktor, Leistung des Mischstreifens.}$$

(Anhang 14: Ableitung von Grünzeit und Sättigung vortrittsbelasteter Abbieger auf Abbiege- und Mischstreifen)

7.11 Reduktionsfaktor für Mischstreifen mit zwei vortrittsbelasteten Abbiegeströmen

Angaben zum Mischstreifen:

q[PWE/s]	Belastung
g[s]	gemeinsame Grünzeit der Vortrittsbelasteten mit den Vortrittsberechtigten
Z[s]	gemeinsamer Zyklus der Vortrittsbelasteten mit den Vortrittsberechtigten
s[PWE/s]	ideale Sättigung

Angaben zu den Geradeausfahrern im Mischstreifen:

q ₁ [PWE/s]	Belastung der Geradeausfahrer im Mischstreifen
s[PWE/s]	ideale Sättigung

Angaben zu den vortrittsbelasteten Abbiegern im Mischstreifen:

q ₂ , q ₃ [PWE/s]	Belastungen der vortrittsbelasteten Abbieger im Mischstreifen
k ₂ , k ₃ [PWE]	Stauräume zwischen der Haltelinie und den ersten Vortrittsberechtigten

Angaben zu den Vortrittsberechtigten der vortrittsbelasteten Abbieger 2 und 3:

Verkehrsart	Streifen- belastung	Gesamt- belastung	Richtwerte Sättigung s _v	Richtwerte Sättigung s ₂ [PWE/s] *
Individualverkehr	q _{v,IV2} [PWE/s] q _{v,IV3} [PWE/s]	Σq _{v,IV2} [PWE/s] Σq _{v,IV3} [PWE/s]	0.55PWE/s Leistungs- rechnung	Σq _{v,IV} ≤ 0.33PWE / s: $s_2 = \frac{5}{12} - \frac{5}{6} \cdot \sum q_{v,IV}^*$ mehrstreifig, Σq _{v,IV} > 0.33PWE / s: $s_2 = \frac{5}{24} - \frac{5}{24} \cdot \sum q_{v,IV}^*$
Öffentlicher Verkehr	q _{v,ÖV2} [Kurse/s] q _{v,ÖV3} [Kurse/s]	Σq _{v,ÖV2} [Kurse/s] Σq _{v,ÖV3} [Kurse/s]	0.17Kurse/s	$s_2 = \frac{5}{12} - 3 \cdot \sum q_{v,ÖV}^*$
Fussgänger	q _{v,Fg2} [Fg/s] q _{v,Fg3} [Fg/s]	Σq _{v,Fg2} [Fg/s] Σq _{v,Fg3} [Fg/s]	2.22Fg/s	$s_2 = \frac{5}{12} - \frac{3}{5} \cdot \sum q_{v,FG}^*$
Individualverkehr Öffentlicher Verkehr Fussgänger		Σq _{v2} =Σq _{v,IV2} + +18/5·Σq _{v,ÖV2} + +18/25·Σq _{v,Fg2} Σq _{v3} =Σq _{v,IV3} + +18/5·Σq _{v,ÖV3} + +18/25·Σq _{v,Fg3}		Σq _v ≤ 0.33PWE / s: $s_2 = \frac{5}{12} - \frac{5}{6} \cdot \sum q_v^*$ Σq _v > 0.33PWE / s: $s_2 = \frac{5}{24} - \frac{5}{24} \cdot \sum q_v^*$

* gilt analog auch für s₃.

Ergebnisse:

ungesättigte Grünzeit der Vortrittsberechtigten der Abbiegeströme 2 und 3.

$$g_{v,u2}[s] = g - \frac{(Z-g) \cdot q_{v2}}{s_{v2} - q_{v2}}, \quad (s_{v2} \text{ gemäss Tabelle})$$

$$g_{v,u3}[s] = g - \frac{(Z-g) \cdot q_{v3}}{s_{v3} - q_{v3}}, \quad (s_{v3} \text{ gemäss Tabelle})$$

Sind mehrere Verkehrsarten vortrittsberechtigt, dann sind die ungesättigten Grünzeiten pro Verkehrsart zu ermitteln, es gilt die kleinste ungesättigte Grünzeit.

Massgebende Grünzeit der Abbiegeströme

$$g_2[s] = g_{v,u2} + \frac{k_2}{s_2} \cdot \left(1 + \frac{q_1 \cdot s_2}{q_2 \cdot s} + \frac{q_3 \cdot s_2}{q_2 \cdot s_3}\right) \leq g \quad \text{Grünzeit des Abbiegestroms 2}$$

$$g_3[s] = g_{v,u3} + \frac{k_3}{s_3} \cdot \left(1 + \frac{q_1 \cdot s_3}{q_2 \cdot s} + \frac{q_2 \cdot s_3}{q_3 \cdot s_2}\right) \leq g \quad \text{Grünzeit des Abbiegestroms 3}$$

(s_2 und s_3 gemäss Tabelle)

massgebend ist die kleinere der Grünzeiten der Abbiegeströme $g_{<}[s]$

Äquivalenzwerte der Geradeausfahrer und der Abbiegeströme

$$E_1 = \frac{g}{g_{<}}, \quad E_2 = \frac{g \cdot s}{g_{<} \cdot s_2}, \quad E_3 = \frac{g \cdot s}{g_{<} \cdot s_3}$$

Reduktionsfaktor des Mischstreifens

$$f = \frac{1}{\frac{q_1}{q} \cdot E_1 + \frac{q_2}{q} \cdot E_2 + \frac{q_3}{q} \cdot E_3}$$

Leistung des Mischstreifens

$$l[\text{PWE} / s] = s \cdot f \cdot \frac{g}{Z}$$

(Anhang 14: Ableitung von Grünzeit und Sättigung
vortrittsbelasteter Abbieger auf Abbiege- und Mischstreifen)

7.12 Reduktionsfaktoren bei Privilegierung des öffentlichen Verkehrs auf Eigentrasse

Angaben:

q_o [Kurse/s]	Belastung des privilegierten öffentlichen Verkehrs
g_P [s]	die zum öffentlichen Verkehr gleichzeitig ablaufenden, freundlichen Grünzeiten des Individualverkehrs
g_N [s]	die zum öffentlichen Verkehr feindlichen Grünzeiten des Individualverkehrs

Randbedingung:

Der Detektor zum Erfassen der Kursfahrzeuge wird in einer Distanz von der Haltelinie angeordnet, die mindestens einer Fahrzeit von 14s entspricht.

Reduktionsfaktoren:

Art der Priorität	Randbedingung	Reduktionsfaktor f_P	Reduktionsfaktor f_N
gleitender <u>Nachlauf</u> bis 20s nach Ende g_P	$g_N[s] \leq 26$	$1 + \frac{q_o}{g_P} \left[200 - \frac{(26 - g_N)^2}{2} \right]$	$1 - \frac{q_o}{g_N} \left[200 - \frac{(26 - g_N)^2}{2} \right]$
	$g_N[s] \geq 26$	$1 + \frac{q_o}{g_P} \cdot 200$	$1 - \frac{q_o}{g_N} \cdot 200$
gleitender <u>Vorlauf</u> ab 20s vor Beginn g_P	$g_N[s] \leq 26$	$1 + \frac{q_o}{g_P} \cdot (g_N - 6) \left(17 + \frac{g_N}{2} \right)$	$1 - q_o \cdot \left(1 - \frac{6}{g_N} \right) \left(17 + \frac{g_N}{2} \right)$
	$g_N[s] \geq 26$	$1 + \frac{q_o}{g_P} \cdot 20(g_N + 4)$	$1 - q_o \cdot 20 \left(1 + \frac{4}{g_N} \right)$
gleitender <u>Nachlauf</u> bis 20s nach Ende g_P , gleitender <u>Vorlauf</u> ab 20s vor Beginn g_P		$1 + \frac{q_o}{g_P} \cdot 20(g_N - 6)$	$1 - q_o \cdot 20 \left(1 - \frac{6}{g_N} \right)$
gleitender <u>Nachlauf</u> bis 20s nach Ende g_P , <u>Zwischenphase</u> während $g_N - 26$ s, gleitender <u>Vorlauf</u> ab 20s vor Beginn g_P	$g_N[s] \leq 26$	$1 + \frac{q_o}{g_P} \cdot 20(g_N - 6)$	$1 - q_o \cdot 20 \left(1 - \frac{6}{g_N} \right)$
	$g_N[s] \geq 26$	$1 + \frac{q_o}{g_P} \cdot 6(g_N + 40.67)$	$1 - q_o \cdot 14 \left(1 + \frac{2.57}{g_N} \right)$

Leistung:

s_P [PWE/s]	ideale Sättigung des zum öffentlichen Verkehr freundlichen Individualverkehrs
s_N [PWE/s]	ideale Sättigung des zum öffentlichen Verkehr feindlichen Individualverkehrs

$$I_P[\text{PWE} / \text{s}] = s_P \cdot f_P \cdot \frac{g_P}{Z}$$

Leistung des zum öffentlichen Verkehr freundlichen Individualverkehrs

$$I_N[\text{PWE} / \text{s}] = s_N \cdot f_N \cdot \frac{g_N}{Z}$$

Leistung des zum öffentlichen Verkehr feindlichen Individualverkehrs

(Anhang 15: Ableitung der Reduktionsfaktoren
bei Privilegierung des öffentlichen Verkehrs auf Eigentrasse)

7.13 Reduktionsfaktoren bei Privilegierung des öffentlichen Verkehrs ohne Eigentrasse

Angaben:

q_0 [Kurse/s]	Belastung des privilegierten öffentlichen Verkehrs
g_P [s]	die zum öffentlichen Verkehr gleichzeitig ablaufenden, freundlichen Grünzeiten des Individualverkehrs
g_N [s]	die zum öffentlichen Verkehr feindlichen Grünzeiten des Individualverkehrs

Randbedingung:

Der Detektor zum Erfassen der Kursfahrzeuge wird in einer Distanz von der Haltelinie angeordnet, die mindestens einer Fahrzeit von 24s entspricht.

Reduktionsfaktoren:

Art der Priorität	Randbedingung	Reduktionsfaktor f_P	Reduktionsfaktor f_N
gleitender <u>Nachlauf</u> bis 30s nach Ende g_P	$g_N[s] \leq 36$	$1 + \frac{q_0}{g_P} \left[450 - \frac{(36 - g_N)^2}{2} \right]$	$1 - \frac{q_0}{g_N} \left[450 - \frac{(36 - g_N)^2}{2} \right]$
	$g_N[s] \geq 36$	$1 + \frac{q_0}{g_P} \cdot 450$	$1 - \frac{q_0}{g_N} \cdot 450$
gleitender <u>Vorlauf</u> ab 30s vor Beginn g_P	$g_N[s] \leq 36$	$1 + \frac{q_0}{g_P} \cdot (g_N - 6) \left(27 + \frac{g_N}{2} \right)$	$1 - q_0 \cdot \left(1 - \frac{6}{g_N} \right) \left(27 + \frac{g_N}{2} \right)$
	$g_N[s] \geq 36$	$1 + \frac{q_0}{g_P} \cdot 30(g_N + 9)$	$1 - q_0 \cdot 30 \left(1 + \frac{9}{g_N} \right)$
gleitender <u>Nachlauf</u> bis 30s nach Ende g_P , gleitender <u>Vorlauf</u> ab 30s vor Beginn g_P		$1 + \frac{q_0}{g_P} \cdot 30(g_N - 6)$	$1 - q_0 \cdot 30 \left(1 - \frac{6}{g_N} \right)$
gleitender <u>Nachlauf</u> bis 30s nach Ende g_P , <u>Zwischenphase</u> während $g_N - 36$ s, gleitender <u>Vorlauf</u> ab 30s vor Beginn g_P	$g_N[s] \leq 36$	$1 + \frac{q_0}{g_P} \cdot 30(g_N - 6)$	$1 - q_0 \cdot 30 \left(1 - \frac{6}{g_N} \right)$
	$g_N[s] \geq 36$	$1 + \frac{q_0}{g_P} \cdot 6(g_N + 114)$	$1 - q_0 \cdot 24 \left(1 + \frac{15}{g_N} \right)$

Leistung:

s_P [PWE/s] ideale Sättigung des zum öffentlichen Verkehr freundlichen Individualverkehrs

s_N [PWE/s] ideale Sättigung des zum öffentlichen Verkehr feindlichen Individualverkehrs

l_P [PWE / s] = $s_P \cdot f_P \cdot \frac{g_P}{Z}$ Leistung des zum öffentlichen Verkehr freundlichen Individualverkehrs

l_N [PWE / s] = $s_N \cdot f_N \cdot \frac{g_N}{Z}$ Leistung des zum öffentlichen Verkehr feindlichen Individualverkehrs

(Anhang 16: Ableitung der Reduktionsfaktoren
bei Privilegierung des öffentlichen Verkehrs ohne Eigentrasse)

7.14 Bemessung der Umlaufzeit und der Grünzeiten

Mit den Angaben:

q_i [PWE/h]	Belastungen der kritische Fahrstreifen pro Phase
s_{pi} [PWE/h]	praktische Sättigungsraten der kritische Fahrstreifen
t_{zi} [s]	Zwischenzeiten zwischen aufeinanderfolgenden kritischen Fahrstreifen (gemäss SN 640838)
i	Anzahl kritischer Fahrstreifen, Phasenzahl
$t_l = \sum_i t_{zi} - i$	Verlustzeit pro Umlauf

ergibt sich die Mindestumlaufzeit bei gleichem Auslastungsgrad der kritische Fahrstreifen zu

$$Z_{\min}[s] = \frac{t_l}{1 - \sum_i \frac{q_i}{s_{pi}}}$$

Wird die Umlaufzeit $Z[s]$ gewählt, dann folgen die effektiven Grünzeiten der kritische Fahr-

streifen zu

$$g_i[s] = \frac{\frac{q_i}{s_{pi}} \cdot (Z - t_l)}{\sum_i \frac{q_i}{s_{pi}}}$$

Wird der Auslastungsgrad der einzelnen kritische Fahrstreifen x_i gewählt, dann wird die

Mindestumlaufzeit

$$Z_{\min}[s] = \frac{t_l}{1 - \sum_i \frac{q_i}{s_{pi} \cdot x_i}},$$

und die effektiven Grünzeiten der kritische Fahrstreifen bei einer gewählten Umlaufzeit $Z[s]$

werden

$$g_i[s] = \frac{\frac{q_i}{s_{pi} \cdot x_i} \cdot (Z - t_l)}{\sum_i \frac{q_i}{s_{pi} \cdot x_i}}.$$

Wird die errechnete Grünzeit g_i für einen kritischen Fahrstreifen kleiner als die vorgeschriebene Mindestgrünzeit $g_{\min}$ (gemäss SN 640837), dann gilt in den Formeln für $Z_{\min}$ und g_i für die Verlustzeit pro Umlauf $t_l = \sum_i t_{zi} + g_{\min} - (i - 1)$, und der entsprechende Fahrstreifen mit der Mindestgrünzeit $g_{\min}$ wird im Nenner der Formeln nicht berücksichtigt.

Die errechneten effektiven Grünzeiten g_i hängen von den praktischen Sättigungsraten s_{pi} und damit von den Reduktionsfaktoren ab. Die Reduktionsfaktoren für kurze Stauräume, für vortrittsbelastete Abbieger auf Abbiegestreifen oder auf Mischstreifen, und für die Privilegierung des öffentlichen Verkehrs mit oder ohne Eigentrasse sind wiederum Funktionen der effektiven Grünzeiten. In diesen Fällen erfordert die Ermittlung der Reduktionsfaktoren bzw. der effektiven Grünzeiten eine Iterationsrechnung. Eine erste Näherung für die effektiven Grünzeiten lässt sich dabei aus den Normen SN 640833 und SN 640834 ermitteln. Zur Beurteilung der Verkehrsqualität (Rückstau, Wartezeit) wird ebenfalls auf die Normen SN 640833 und SN 640834 verwiesen.

8. ANHANG 1: Messung der idealen Sättigungsrate s [PWE/s]

Ort und Zeitpunkt:

Voraussetzungen:

1. Messung:

2. Messung:

3. Messung:

Auswertung:

Fahrstreifen mit Geradeausverkehr, Breite ca. 3.25m, Neigung ca. 0%, ohne Haltestelle und angrenzende Parkierung, ausreichender Stauraum Stau vor Haltelinie während der Messung, Messung von ca. 16 Zyklen, Zeit[s], wenn Hinterachse des 3. Fz nach Grünbeginn die Haltelinie quert. Fahrzeugzählung.

Zeit[s], wenn Hinterachse des letzten Fz der geschlossenen Kolonne die Haltelinie quert.

Zeitdifferenz[s] zwischen 1. und 2. Messung bestimmen, umrechnen von $1LW=2PWE$, $1MR=1/2 PWE$, $1FR=1/4PWE$, $s[PWE/s]=PWE/(Zeitdifferenz[s] \text{ zwischen 1. und 2. Messung})$

1. Messung

2. Messung

3. Messung

Zeitdifferenz, PWE

$s[PWE/s]$

1. Zyklus		2. Zyklus		3. Zyklus		4. Zyklus	
Zeit [s]	FZ	Zeit [s]	FZ	Zeit [s]	FZ	Zeit [s]	FZ
	PW:		PW:		PW:		PW:
	LW:		LW:		LW:		LW:
	MR:		MR:		MR:		MR:
	FR:		FR:		FR:		FR:
	PWE:		PWE:		PWE:		PWE:

1. Messung

2. Messung

3. Messung

Zeitdifferenz, PWE

$s[PWE/s]$

5. Zyklus		6. Zyklus		7. Zyklus		8. Zyklus	
Zeit [s]	FZ	Zeit [s]	FZ	Zeit [s]	FZ	Zeit [s]	FZ
	PW:		PW:		PW:		PW:
	LW:		LW:		LW:		LW:
	MR:		MR:		MR:		MR:
	FR:		FR:		FR:		FR:
	PWE:		PWE:		PWE:		PWE:

1. Messung

2. Messung

3. Messung

Zeitdifferenz, PWE

$s[PWE/s]$

9. Zyklus		10. Zyklus		11. Zyklus		12. Zyklus	
Zeit [s]	FZ	Zeit [s]	FZ	Zeit [s]	FZ	Zeit [s]	FZ
	PW:		PW:		PW:		PW:
	LW:		LW:		LW:		LW:
	MR:		MR:		MR:		MR:
	FR:		FR:		FR:		FR:
	PWE:		PWE:		PWE:		PWE:

1. Messung

2. Messung

3. Messung

Zeitdifferenz, PWE

$s_i[PWE/s]$

13. Zyklus		14. Zyklus		15. Zyklus		16. Zyklus	
Zeit [s]	FZ	Zeit [s]	FZ	Zeit [s]	FZ	Zeit [s]	FZ
	PW:		PW:		PW:		PW:
	LW:		LW:		LW:		LW:
	MR:		MR:		MR:		MR:
	FR:		FR:		FR:		FR:
	PWE:		PWE:		PWE:		PWE:

Ergebnis: ideale Sättigungsrate $s[PWE/s]=\dots\dots\dots$

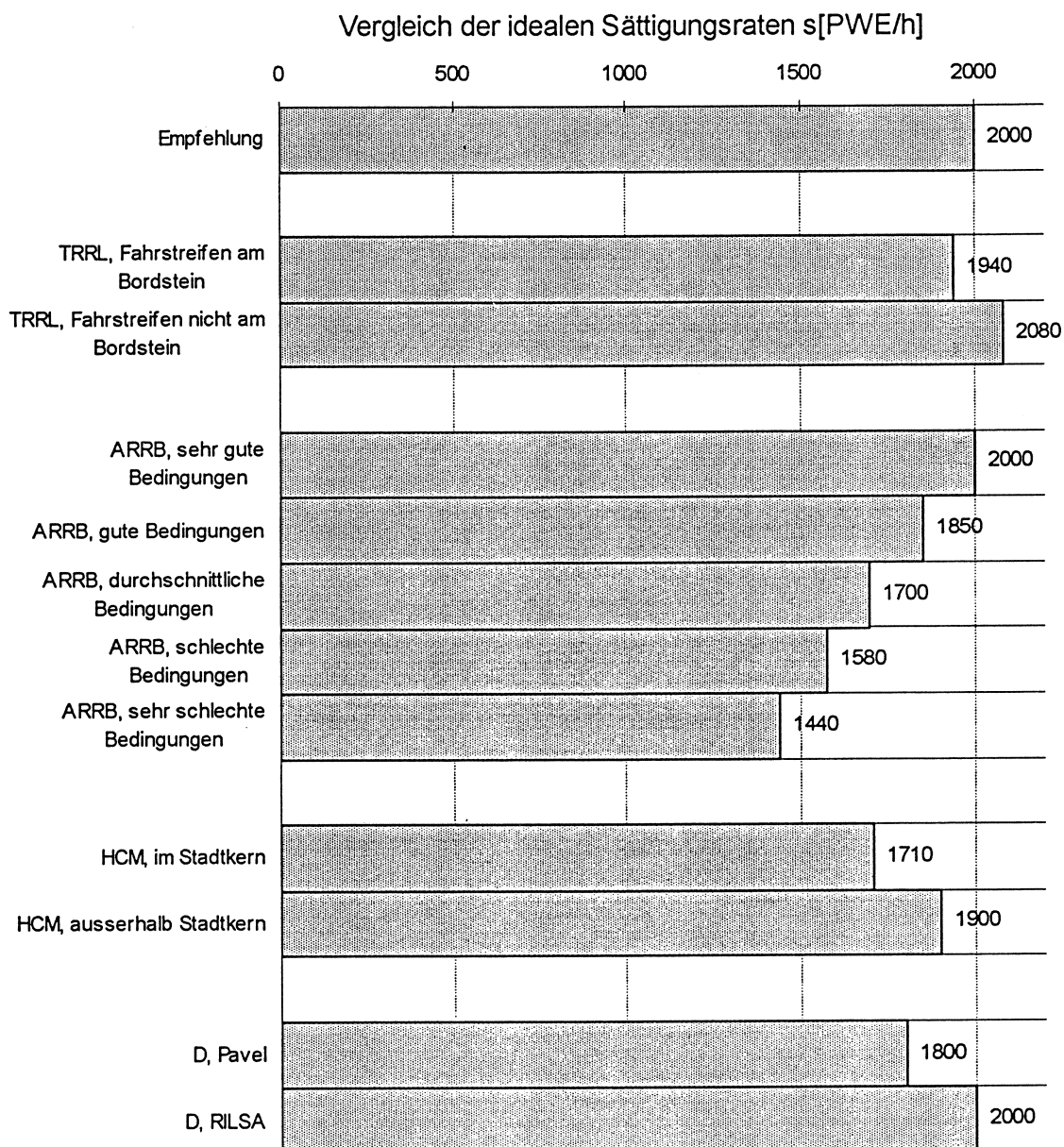
9. ANHANG 2: Vergleich der idealen Sättigungsraten

Aus Messungen folgt die ideale Sättigungsrate des Individualverkehrs zu etwa $s[PWE/h] = 2000$ bzw. zu $s[PWE/s] = 0.555$.

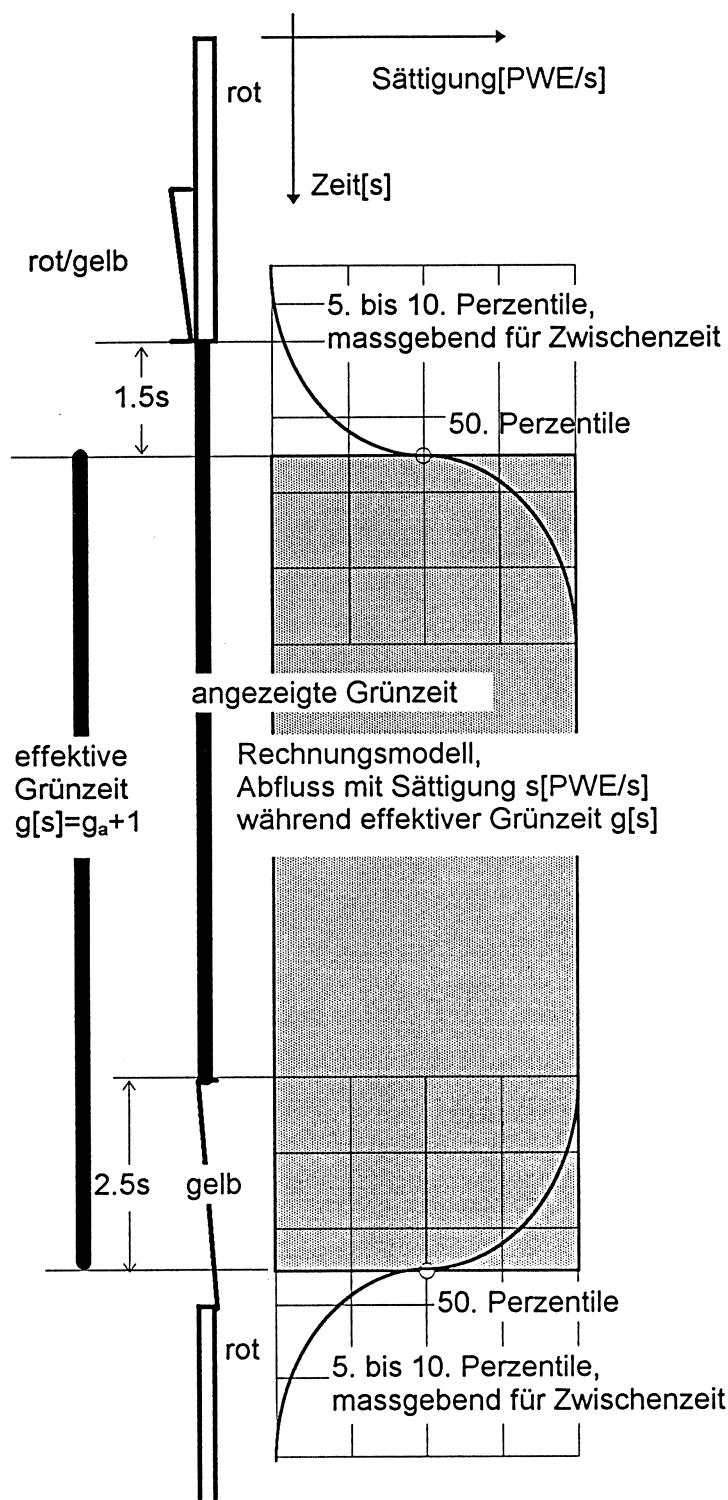
Die ideale Sättigungsrate des Individualverkehrs gilt für Fahrstreifen mit den Parametern: ausschliesslicher Geradeausverkehr, Fahrstreifenbreiten von ca. 3.25m, Strassenneigungen von ca. 0%, Fahrstreifen ohne Haltestelle und ohne angrenzende Parkierung, und für Fahrstreifen ohne Privilegierungen des öffentlichen Verkehrs. Voraussetzung ist auch eine ausreichenden Länge des Fahrstreifens, damit der Abfluss während der ganzen Grünzeit mit der ideale Sättigungsrate gewährleistet ist.

Die empfohlene ideale Sättigungsrate des Individualverkehrs liegt etwa im Rahmen ausländischer Normen. Das Diagramm zeigt dazu einen Vergleich:

TRRL Transport and Road Research Laboratory
 ARRB Australian Road Research Board
 HCM Highway Capacity Manual
 D.Pavel Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, D.Pavel
 RILSA Richtlinien für Lichtsignalanlagen



10. ANHANG 3: Sättigung und effektive Grünzeit



Messungen zeigen, dass der Abfluss über die Haltelinie schon vor Beginn der Grünzeit einsetzt, und etwa $0.5s$ vor Grünbeginn ca. 5 bis 10% der Sättigung erreicht. Diese Perzentilen sind massgebend für das Einfahrintervall beim Ermitteln der Zwischenzeiten. Etwa $1.5s$ nach Grünbeginn ergeben die Messungen ca. 50% der Sättigung und wenige Sekunden danach die volle Sättigung, die dann während der Grünzeit etwa erhalten bleibt.

Mit dem Grünende fällt die gemessene Sättigung ab. Sie beträgt etwa $2.5s$ nach dem Grünende ca. 50%, und etwa $4s$ danach ca. 5% bis 10% der vollen Sättigung. Die 5. bis 10. Perzentile ist massgebend für das Räumintervall beim Ermitteln der Zwischenzeiten.

Die Leistungsrechnung vereinfacht diesen gemessenen Ablauf. Sie geht von den beiden 50. Perzentilen der Sättigung nach Grünbeginn und nach Grünende aus. Zwischen diesen beiden Perzentilen wird angenommen, dass der Verkehr mit der vollen Sättigung abfließt. Die Zeit zwischen den beiden 50. Perzentilen ist dann die effektive Grünzeit $g[s]$. Sie ergibt sich deshalb zu etwa $g[s] = g_a - 1.5 + 2.5 = g_a + 1$, dabei ist $g_a[s]$ die vom Signal angezeigte Grünzeit. Bei der Leistungsrechnung ist deshalb die effektive Grünzeit $g[s]$ um 1 Sekunde grösser als die vom Signal angezeigte Grünzeit $g_a[s]$ einzusetzen.

Die Skizze stellt das einfache Modell der Leistungsrechnung dem gemessenen Verkehrsablauf gegenüber.

11. ANHANG 4:

Ort und Zeitpunkt:

Angaben zum

Fahrstreifen:

1. Messung:

2. Messung:

3. Messung:

Auswertung:

Messung der praktischen Sättigungsrate s_p [PWE/s]

Breite, Neigung, Radius, Parkierung, Haltestelle, Priorität ÖV, Stauraum, Anteil vortrittsberechtigter bzw. vortrittsbelasteter Abbieger, bei vortrittsbelasteten Abbieger Art und Belastung der Vortrittsberechtigten. Zeit[s], wenn Hinterachse des 3. Fz nach Grünbeginn die Haltelinie quert. Fahrzeugzählung.

Zeit[s], wenn Hinterachse des letzten Fz der geschlossenen Kolonne die Haltelinie quert.

Zeitdifferenz[s] zwischen 1. und 2. Messung bestimmen, umrechnen von $1LW=2PWE$, $1MR=1/2 PWE$, $1FR=1/4PWE$, $s_p[PWE/s]=PWE/(Zeitdifferenz[s] \text{ zwischen 1. und 2. Messung})$

1. Messung

2. Messung

3. Messung

Zeitdifferenz, PWE

 $s_p[PWE/s]$

1. Zyklus		2. Zyklus		3. Zyklus		4. Zyklus	
Zeit [s]	FZ	Zeit [s]	FZ	Zeit [s]	FZ	Zeit [s]	FZ
	PW:		PW:		PW:		PW:
	LW:		LW:		LW:		LW:
	MR:		MR:		MR:		MR:
	FR:		FR:		FR:		FR:
	PWE:		PWE:		PWE:		PWE:

1. Messung

2. Messung

3. Messung

Zeitdifferenz, PWE

 $s_p[PWE/s]$

5. Zyklus		6. Zyklus		7. Zyklus		8. Zyklus	
Zeit [s]	FZ	Zeit [s]	FZ	Zeit [s]	FZ	Zeit [s]	FZ
	PW:		PW:		PW:		PW:
	LW:		LW:		LW:		LW:
	MR:		MR:		MR:		MR:
	FR:		FR:		FR:		FR:
	PWE:		PWE:		PWE:		PWE:

1. Messung

2. Messung

3. Messung

Zeitdifferenz, PWE

 $s_p[PWE/s]$

9. Zyklus		10. Zyklus		11. Zyklus		12. Zyklus	
Zeit [s]	FZ	Zeit [s]	FZ	Zeit [s]	FZ	Zeit [s]	FZ
	PW:		PW:		PW:		PW:
	LW:		LW:		LW:		LW:
	MR:		MR:		MR:		MR:
	FR:		FR:		FR:		FR:
	PWE:		PWE:		PWE:		PWE:

1. Messung

2. Messung

3. Messung

Zeitdifferenz, PWE

 $s_p[PWE/s]$

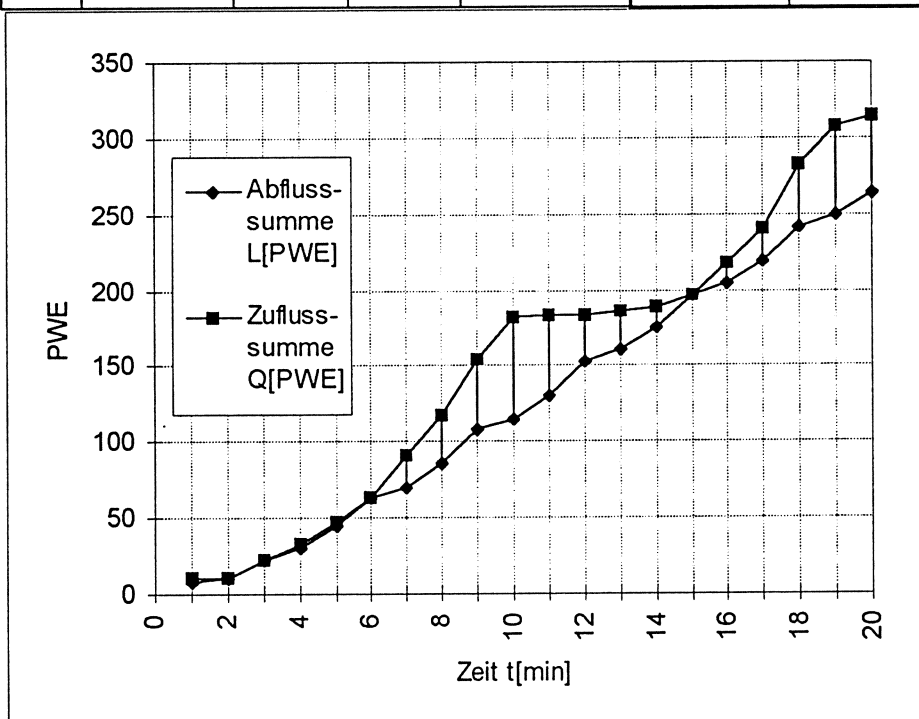
13. Zyklus		14. Zyklus		15. Zyklus		16. Zyklus	
Zeit [s]	FZ	Zeit [s]	FZ	Zeit [s]	FZ	Zeit [s]	FZ
	PW:		PW:		PW:		PW:
	LW:		LW:		LW:		LW:
	MR:		MR:		MR:		MR:
	FR:		FR:		FR:		FR:
	PWE:		PWE:		PWE:		PWE:

Ergebnis: praktische Sättigungsrate $s_p[PWE/s]=\dots\dots\dots$

12. ANHANG 5: Messung der Belastung $q[\text{PWE/h}]$ bei Überlastung

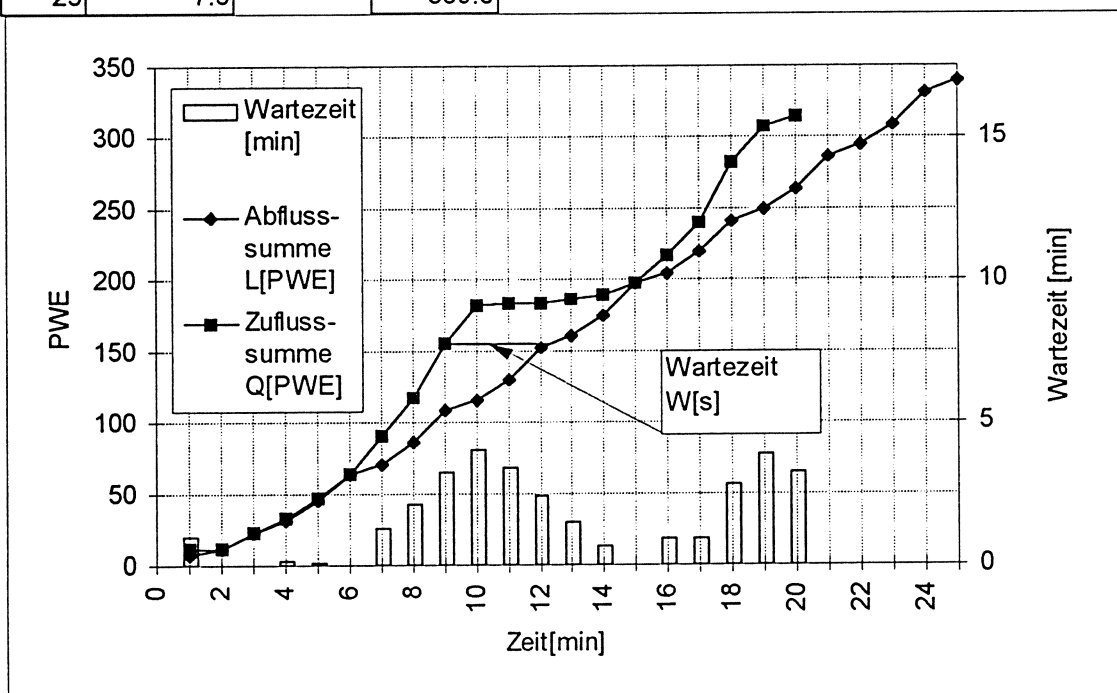
Die Belastung lässt sich mit Querschnittszählungen am Knoten nur dann korrekt messen, wenn eine Zufahrt nicht überlastet ist. Bei Überlastung misst man am Knoten nur noch die Leistung der Zufahrt. Die Tabelle und das Diagramm zeigen dazu eine 20-minütige Zählung in einer Knotenzufahrt mit Minutenintervallen. Anschaulich stellt das Diagramm den zeitliche Verkehrsablauf mit der gemessenen Abfluss- und der errechneten Zuflusssummenlinien dar. Die vertikale Differenz zwischen beiden Linien entspricht der Stausumme. Die Tabelle errechnet den Zufluss bzw. die Belastung der Zufahrt bei Überlastung aus den gemessenen Abfluss- und Stausummen.

Zeit t[min]	Abflussrate I[PWE/min]	Stau- summe K[PWE]	Abfluss- summe L[PWE]	Staurate k[PWE/min]	Zuflussrate q[PWE/min]	Zufluss- summe Q[PWE]
0						
1	7.5	3.5	7.5	3.5	11	11
2	3.5	0	11	-3.5	0	11
3	12	0	23	0	12	23
4	7.5	2.5	30.5	2.5	10	33
5	15	1.5	45.5	-1	14	47
6	17.5	0	63	-1.5	16	63
7	7.5	20.5	70.5	20.5	28	91
8	15	31.5	85.5	11	26	117
9	22.5	47	108	15.5	38	155
10	7.5	66.5	115.5	19.5	27	182
11	15	53.5	130.5	-13	2	184
12	22.5	31	153	-22.5	0	184
13	7.5	25.5	160.5	-5.5	2	186
14	15	13.5	175.5	-12	3	189
15	21.5	0	197	-13.5	8	197
16	7.5	13.5	204.5	13.5	21	218
17	15	20.5	219.5	7	22	240
18	22.5	41	242	20.5	43	283
19	7.5	58.5	249.5	17.5	25	308
20	15	50.5	264.5	-8	7	315



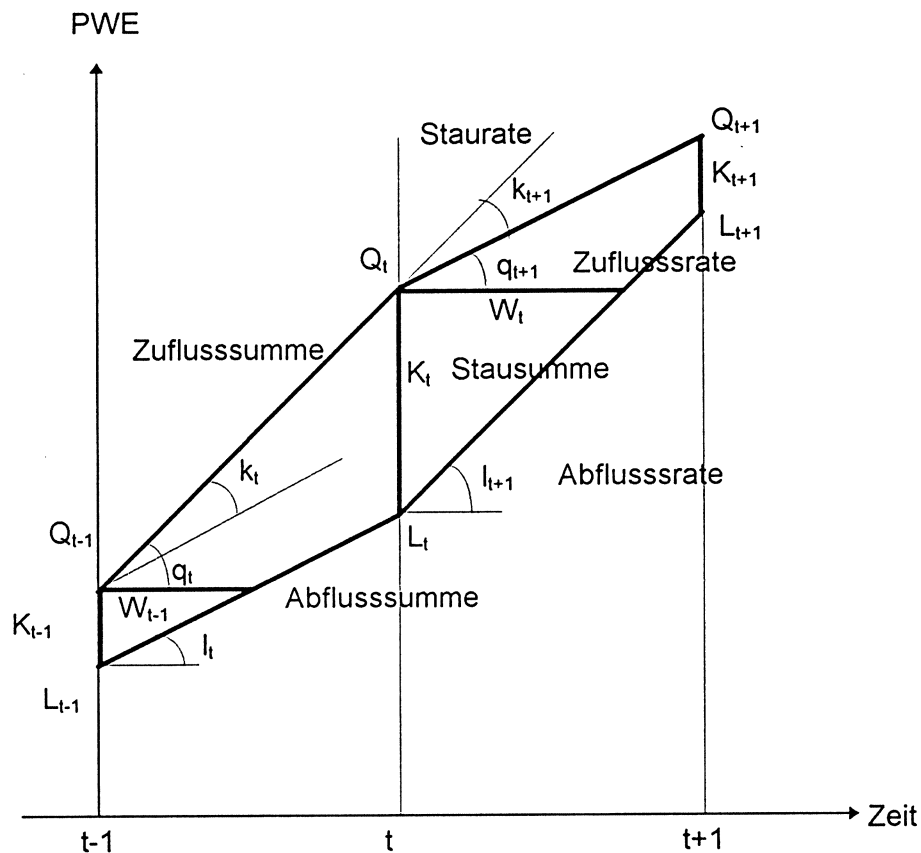
Wartezeiten lassen sich in überlasteten Knotenzufahrten mit Reisezeitmessungen oft einfacher erheben, als Stau. Die Tabelle und das Diagramm zeigen dazu eine 20-minütige Messung der Abflussrate und der Wartezeiten. Im Diagramm sind die Abflusssummenlinie und zusätzlich die Wartezeiten als Säulen aufgetragen. Die Tabelle errechnet daraus die Zuflusssummenlinie, die dann ebenfalls im Diagramm dargestellt ist. Die horizontale Differenz zwischen der Zufluss- und der Abflusssummenlinie entspricht der Wartezeit.

Zeit t[min]	Abflussrate l[PWE/min]	Wartezeit [min]	Abflusssumme L[PWE]	Stausumme K[PWE]	Staurate k[PWE/min]	Zuflussrate q[PWE/min]	Zuflusssumme Q[PWE]
0							
1	7.5	1.000	7.5	3.5	3.5	11.0	11.0
2	3.5	0.000	11.0	0.0	-3.5	0.0	11.0
3	12	0.000	23.0	0.0	0.0	12.0	23.0
4	7.5	0.167	30.5	2.5	2.5	10.0	33.0
5	15	0.086	45.5	1.5	-1.0	14.0	47.0
6	17.5	0.000	63.0	0.0	-1.5	16.0	63.0
7	7.5	1.244	70.5	20.5	20.5	28.0	91.0
8	15	2.100	85.5	31.5	11.0	26.0	117.0
9	22.5	3.267	108.0	47.0	15.5	38.0	155.0
10	7.5	4.000	115.5	66.5	19.5	27.0	182.0
11	15	3.395	130.5	53.5	-13.0	2.0	184.0
12	22.5	2.396	153.0	31.0	-22.5	0.0	184.0
13	7.5	1.490	160.5	25.5	-5.5	2.0	186.0
14	15	0.629	175.5	13.5	-12.0	3.0	189.0
15	21.5	0.000	197.0	0.0	-13.5	8.0	197.0
16	7.5	0.900	204.5	13.5	13.5	21.0	218.0
17	15	0.910	219.5	20.5	7.0	22.0	240.0
18	22.5	2.820	242.0	41.0	20.5	43.0	283.0
19	7.5	3.900	249.5	58.5	17.6	25.1	308.0
20	15	3.245	264.5	50.5	-8.0	7.0	315.0
21	22.5		287.0				
22	7.5		294.5				
23	15		309.5				
24	22.5		332.0				
25	7.5		339.5				



Werden in einer überlasteten Zufahrt die Abflussrate $l_t[\text{PWE/min}]$ und die Stausumme $K_t[\text{PWE}]$ in jedem Minutenintervall gemessen, dann folgt daraus die Staurate zu $k_t[\text{PWE/min}] = \frac{K_t - K_{t-1}}{1}$. Die Zuflussrate ergibt sich dann zu $q_t[\text{PWE/min}] = l_t + k_t$.

Die Skizze stellt diese Zusammenhänge dar, sie greift dazu zwei Minutenintervalle aus einer längeren Zählung heraus.



Werden in einer überlasteten Zufahrt die Abflussrate $l_t[\text{PWE/min}]$ und die Wartezeit $W_t[\text{min}]$ pro Minutenintervall gemessen, dann folgt daraus die Stausumme für $W_t[\text{min}] \leq 1$ zu $K_t[\text{PWE}] = W_t \cdot l_{t+1}$,

für $W_t[\text{min}] \leq 2$ zu $K_t[\text{PWE}] = l_{t+2} \cdot (W_t - 1) + l_{t+1}$,

für $W_t[\text{min}] \leq 3$ zu $K_t[\text{PWE}] = l_{t+3} \cdot (W_t - 2) + l_{t+1} + l_{t+2}$, und schliesslich allgemein

für $W_t[\text{min}] \leq n$ zu $K_t[\text{PWE}] = l_{t+n} \cdot (W_t - (n-1)) + \sum_{i=1}^{n-1} l_{t+i}$.

Die Staurate ist wiederum $k_t[\text{PWE/min}] = \frac{K_t - K_{t-1}}{1}$, und die Zuflussrate ergibt sich zu

$q_t[\text{PWE/min}] = l_t + k_t$.

13. ANHANG 6: Vergleich der Reduktionsfaktoren für Fahrstreifenbreiten

Aus Messungen folgt der Reduktionsfaktor für Fahrstreifenbreiten zu etwa $f_w = 1 + \frac{w - 3.25}{20}$

für die Fahrstreifenbreiten $2.5 \leq w[m] \leq 4.5$. Für Fahrstreifenbreiten von $w[m]=3.25$ gilt demnach die ideale Sättigung $s[PWE/h]$. Für abweichende Fahrstreifenbreiten ergibt sich mit der idealen Sättigung $s[PWE/h]$, der Grünzeit $g[s]$ und dem Umlauf $Z[s]$ die Leistung des Fahrstreifens dann zu

$$l[PWE/h] = s \cdot f_w \cdot \frac{g}{Z}$$

Der empfohlene Reduktionsfaktor f_w liegt etwa im Rahmen ausländischer Normen:

Nach dem „Transport and Road Research Laboratory, GB 1986“ ist der Reduktionsfaktor etwa $f_w = 1 + \frac{w - 3.25}{20.1}$ für die Fahrstreifenbreiten $2.4 \leq w[m] \leq 4.4$. Nach dem „Australian

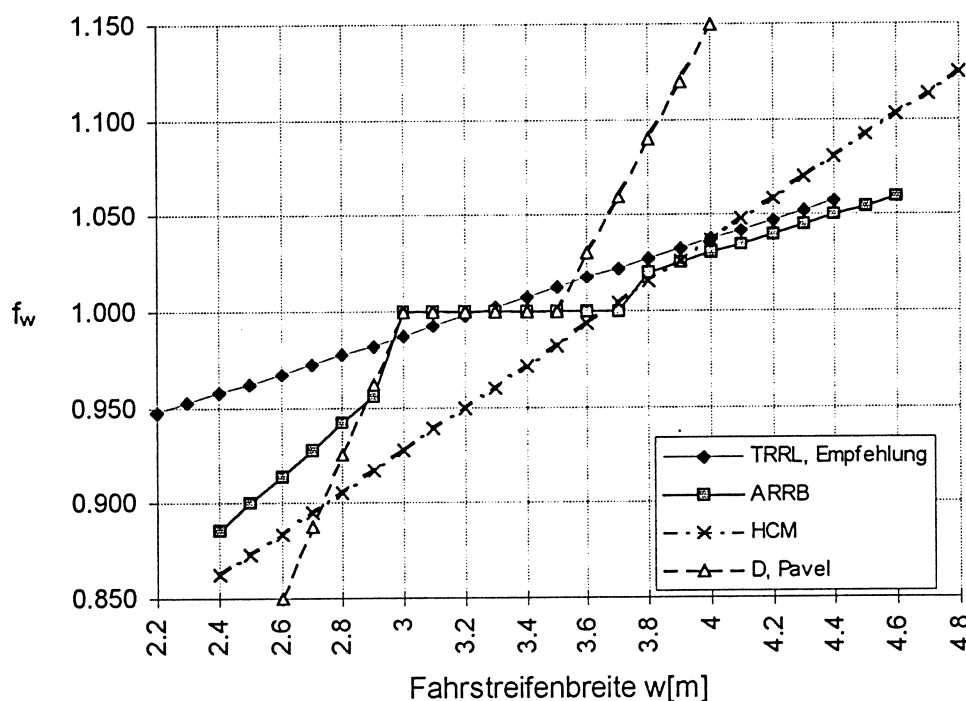
Road Research Board, 1993“ ist für Fahrstreifenbreiten $w[m] < 3.00$ der Reduktionsfaktor $f_w = 0.55 + 0.14 \cdot w$, für Fahrstreifenbreiten $3.00 \leq w[m] \leq 3.70$ ist der Reduktionsfaktor $f_w = 1.00$, und schliesslich für Fahrstreifenbreiten $w[m] > 3.70$ ist der Reduktionsfaktor $f_w = 0.83 + 0.05 \cdot w$.

Nach dem „Highway Capacity Manual, US 1994“ gilt ein Reduktionsfaktor $f_w = 1 + \frac{w - 3.66}{9.144}$

für Fahrstreifenbreiten $2.44 \leq w[m] \leq 4.88$. Nach der „Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, D, Pavel 1974“ ist für Fahrstreifenbreiten $2.60 \leq w[m] \leq 3.00$ der Reduktionsfaktor $f_w = 0.375 \cdot w - 0.125$, für Fahrstreifenbreiten $3.00 \leq w[m] \leq 3.50$ ist der Reduktionsfaktor $f_w = 1.00$, und schliesslich für Fahrstreifenbreiten $w[m] > 3.50$ ist der Reduktionsfaktor $f_w = 0.3 \cdot w - 0.05$.

Das Diagramm zeigt einen Vergleich.

Vergleich der Reduktionsfaktoren



14. ANHANG 7: Vergleich der Reduktionsfaktoren für die Strassenneigung

Aus Messungen folgt der Reduktionsfaktor für die Strassenneigung zu etwa $f_n = 1 - \frac{n}{50}$ für

Strassenneigungen $0 \leq n[\%] < +10$.

Mit der idealen Sättigung $s[\text{PWE}/h]$, der Grünzeit $g[s]$ und dem Umlauf $Z[s]$ ergibt sich die

Leistung des Fahrstreifens zu $l[\text{PWE}/h] = s \cdot f_n \cdot \frac{g}{Z}$.

Der empfohlene Reduktionsfaktor f_n liegt etwa im Rahmen ausländischer Normen:

Nach dem „Transport and Road Research Laboratory, GB 1986“ ist für Strassenneigungen

$0 \leq n[\%] < +10$ der Reduktionsfaktor $f_n = 1 - \frac{n}{47.86}$. Nach dem „Australian Road Research

Board, 1993“ ist für Strassenneigungen $-6 \leq n[\%] < +10$ der Reduktionsfaktor $f_n = 1 - \frac{n}{200}$.

Nach dem „Highway Capacity Manual, US 1994“ ist für Strassenneigungen $-6 \leq n[\%] < +10$

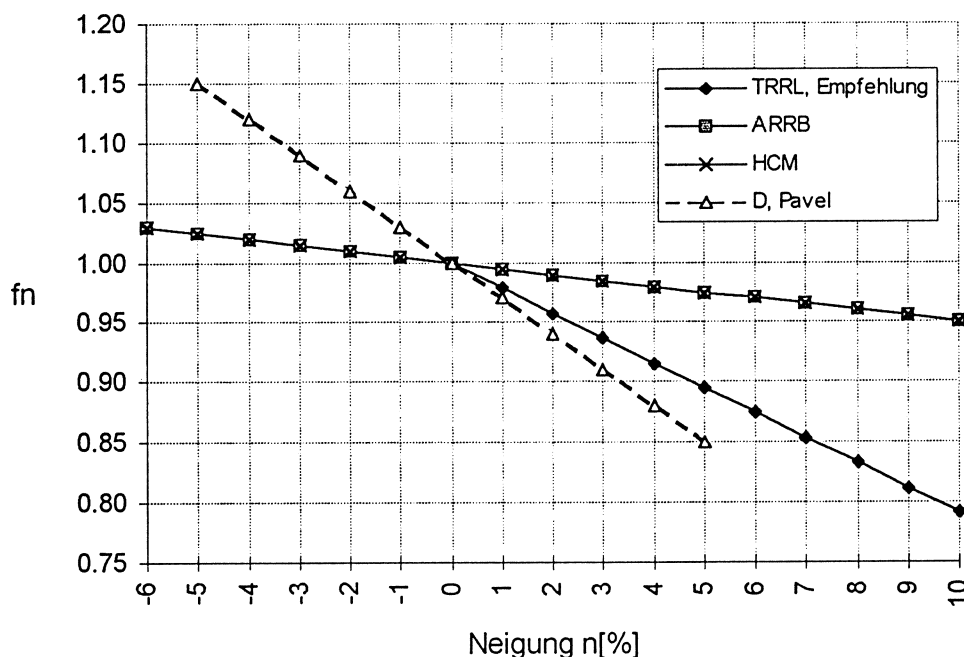
der Reduktionsfaktor ebenfalls $f_n = 1 - \frac{n}{200}$.

Nach der „Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, D, Pavel 1974“ ist für

Strassenneigungen $-5 \leq n[\%] < +5$ der Reduktionsfaktor $f_n = 1 - \frac{n}{33}$.

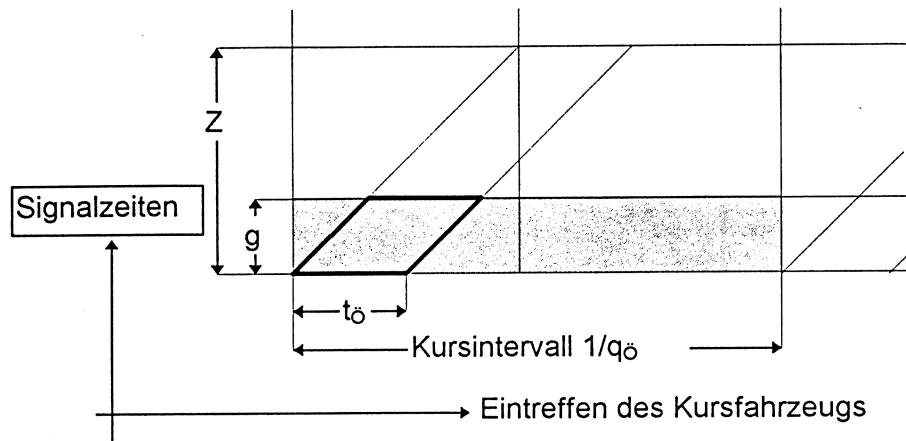
Das Diagramm zeigt einen Vergleich.

Vergleich der Reduktionsfaktoren



15. ANHANG 8: Ableitung der Reduktionsfaktoren für Haltestellen des öffentlichen Verkehrs auf Fahrstreifen

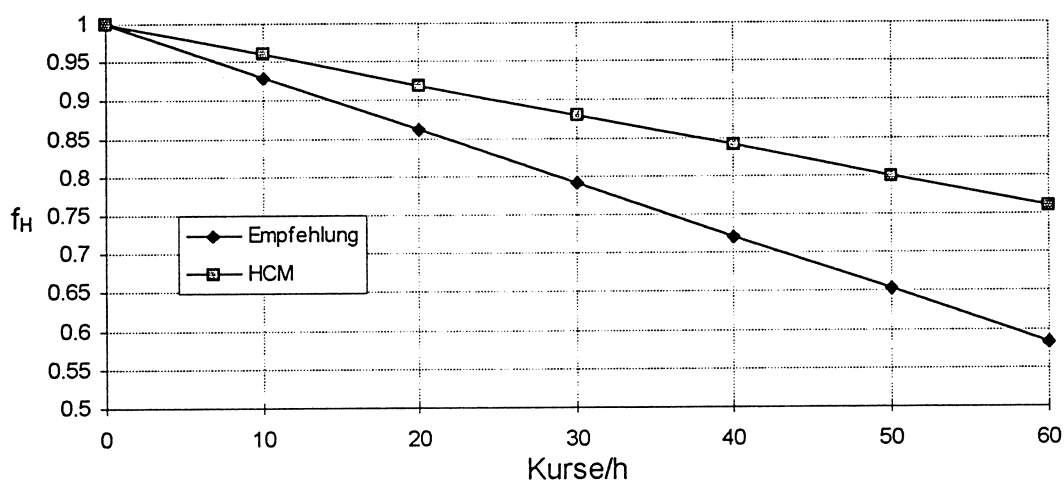
Sind Haltestellen des öffentlichen Verkehrs auf Fahrstreifen markiert, dann blockieren die Kursfahrzeuge während ihres Haltestellenaufenthalts den Abfluss des Individualverkehrs. Die Skizze trägt dazu auf der Abszisse das Eintreffen der Kursfahrzeuge und auf der Ordinate die Signalzeiten auf. Der Reduktionsfaktor ergibt sich dann aus dem Verhältnis der durch das Kursfahrzeug gestörten zur ungestörten Grünzeit $g[s]$ während eines Kursintervalls. Mit einem durchschnittlichen Haltestellenaufenthalt von $t_0[s]$ und der Belastung des öffentlichen Verkehrs $q_0[\text{Kurse/s}]$ folgt der Reduktionsfaktor zu $f_H = 1 - t_0 \cdot q_0$. Der gemessene, durchschnittlichen Haltestellenaufenthalt beträgt etwa $t_0[s]=25$.



Der Reduktionsfaktor für Haltestellen des öffentlichen Verkehrs auf Fahrstreifen ist gemäss Messungen $f_H = 1 - 25 \cdot q_0$ für eine Belastung des öffentlichen Verkehrs von $q_0[\text{Kurse/s}]$. Mit der idealen Sättigung $s[\text{PWE/h}]$, der Grünzeit $g[s]$ und dem Umlauf $Z[s]$ ergibt sich die Leistung des Fahrstreifens zu $I[\text{PWE/h}] = s \cdot f_H \cdot \frac{g}{Z}$.

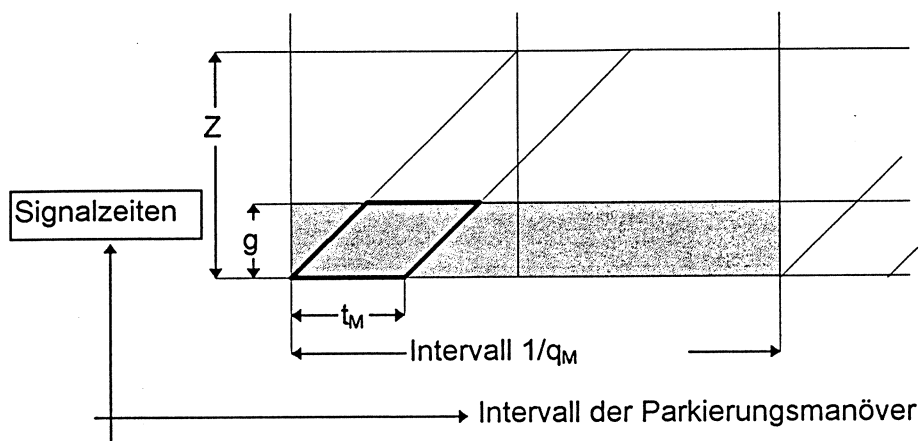
Der empfohlene Reduktionsfaktor unterscheidet sich von ausländischen Normen. Nach dem „Highway Capacity Manual, US 1994“ und nach dem „Australian Road Research Board, 1993“ ist der Reduktionsfaktor für Bushaltestellen auf Fahrstreifen $f_H = 1 - 14.4 \cdot q_0$. Der Unterschied zur Empfehlung entsteht wegen des durchschnittlichen Haltestellenaufenthalt von $t_0[s]=14.4$ anstatt $t_0[s]=25$. Das Diagramm zeigt den Unterschied graphisch.

Vergleich der Reduktionsfaktoren



16. ANHANG 9: Ableitung der Reduktionsfaktoren für Fahrstreifen mit angrenzender Parkierung

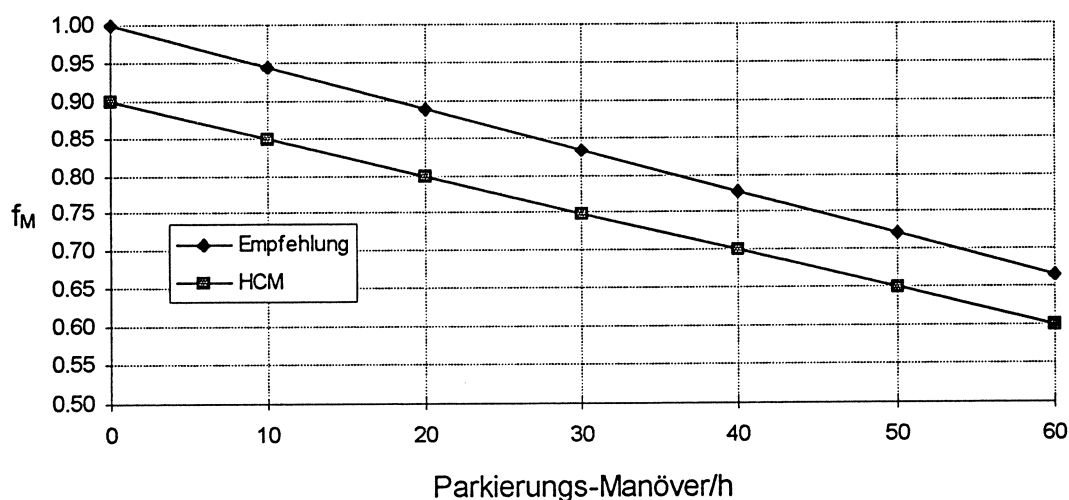
Sind Parkplätze entlang eines Fahrstreifens markiert, dann blockieren Parkierungsmanöver den Abfluss des Individualverkehrs. Die Skizze trägt dazu auf der Abszisse das durchschnittliche Intervall der Parkierungsmanöver und auf der Ordinate die Signalzeiten auf. Der Reduktionsfaktor ergibt sich dann aus dem Verhältnis der durch die Parkierungsmanöver gestörten zur ungestörten Grünzeit $g[s]$ während eines Intervalls $1/q_M$. Mit der durchschnittlichen Dauer eines Manövers von $t_M[s]$ und der Frequenz der Manöver $q_M[\text{Manöver/s}]$ folgt der Reduktionsfaktor zu $f_M = 1 - t_M \cdot q_M$. Die gemessene, durchschnittliche Dauer eines Manövers beträgt etwa $t_M[s]=20$.



Der Reduktionsfaktor für Fahrstreifen mit angrenzender Parkierung ist gemäss Messungen $f_M = 1 - 20 \cdot q_M$ für eine Frequenz der Manöver $q_M[\text{Manöver/s}]$. Mit der idealen Sättigung $s[\text{PWE/h}]$, der Grünzeit $g[s]$ und dem Umlauf $Z[s]$ ergibt sich die Leistung des Fahrstreifens zu $I[\text{PWE/h}] = s \cdot f_M \cdot \frac{g}{Z}$.

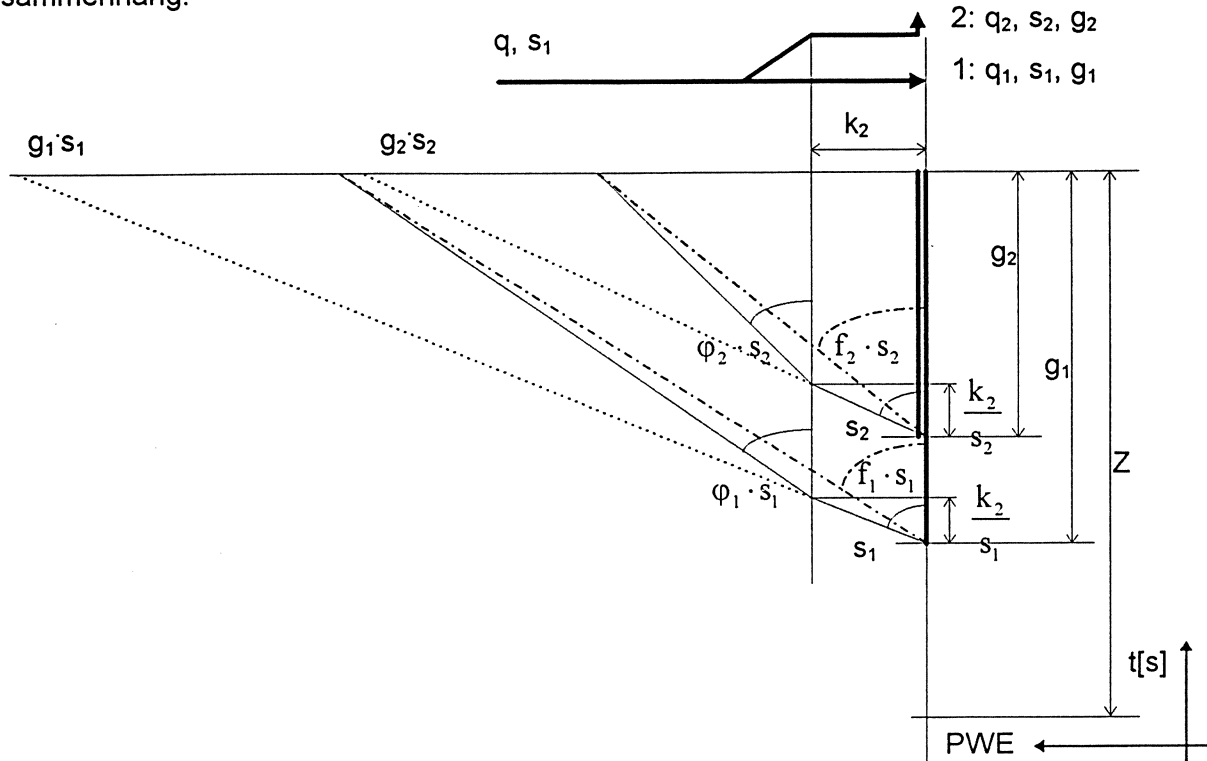
Der empfohlene Reduktionsfaktor unterscheidet sich von ausländischen Normen. Nach dem „Highway Capacity Manual, US 1994“ und nach dem „Australian Road Research Board, 1993“ ist der Reduktionsfaktor für angrenzende Parkierung $f_M = 0.9 - 18 \cdot q_M$. Im Unterschied zur Empfehlung entsteht bereits durch die markierte Parkierung -ohne Parkierungsmanöver- ein Reduktionsfaktor von 0.9. Das Diagramm zeigt den Unterschied graphisch.

Vergleich der Reduktionsfaktoren



17. ANHANG 10: Ableitung der Reduktionsfaktoren für kurze Stauräume

Bei kurzen Stauräumen kann der Verkehr nur in einem ersten Teil der Grünzeit mit den entsprechenden Sättigungen der einzelnen Zufahrtstreifen abfliessen. Im zweiten Teil der Grünzeit fliesst der Verkehr aus dem gemeinsamen Zufahrtstreifen mit einer reduzierten Sättigung, wie bei den Reduktionsfaktoren für Mischstreifen im Anhang 12 abgeleitet wird. Daraus ergeben sich Reduktionsfaktoren für kurze Stauräume. Die Skizze zeigt diesen Zusammenhang:



Ein Stauraum zu kurz, wenn $k_2[PWE] < (g_1 \cdot s_1)$ oder $k_2[PWE] < (g_2 \cdot s_2)$. Gemäss der Skizze gilt dann $k_2 + \varphi_2 \cdot s_2 \cdot (g_2 - \frac{k_2}{s_2}) = f_2 \cdot g_2 \cdot s_2$ und $k_2 + \varphi_1 \cdot s_1 \cdot (g_1 - \frac{k_2}{s_1}) = f_1 \cdot g_1 \cdot s_1$.

Aus der Ableitung der Reduktionsfaktoren für Mischstreifen (Anhang 12) sind

$$\varphi_1 = \frac{1}{1 + \frac{q_2}{q_1} \cdot \frac{E_2}{E_1}} \text{ bzw. } \varphi_2 = \frac{1}{1 + \frac{q_1}{q_2} \cdot \frac{E_1}{E_2}},$$

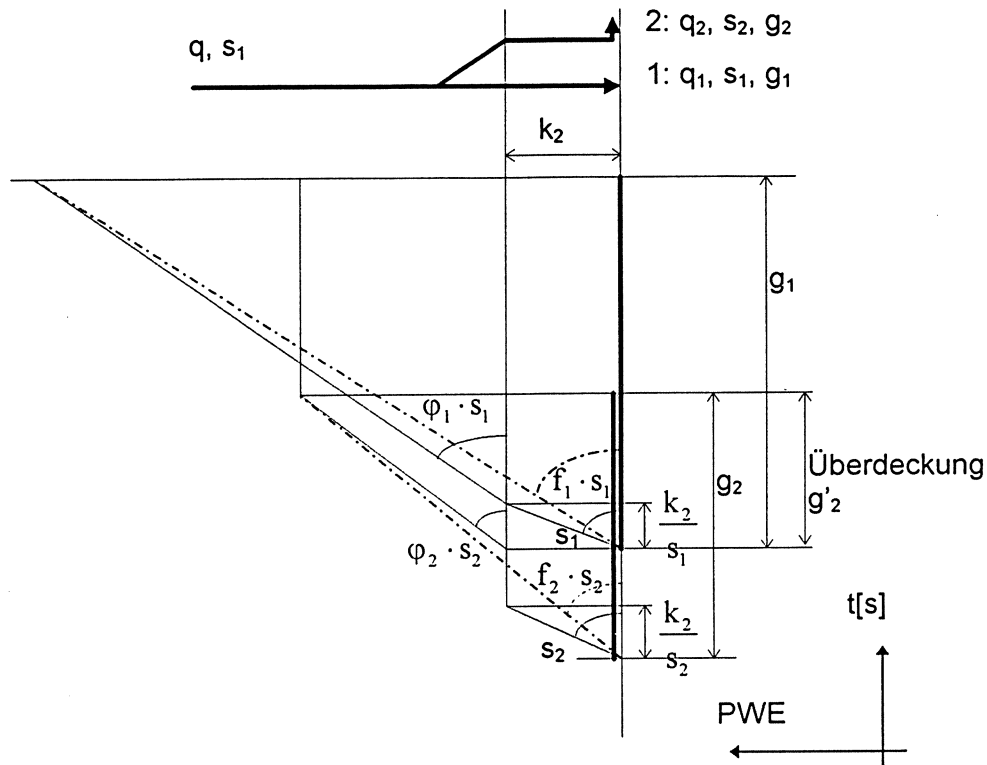
und die Äquivalenzzwerte für die Verkehrsströme 1 bzw. 2 sind $E_1 = 1$ bzw. $E_2 = \frac{g_1 \cdot s_1}{g_2 \cdot s_2}$.

Die Reduktionsfaktoren für die beiden Verkehrsströme 1 bzw. 2 mit zu kurzen Stauräumen folgen aus diesen Gleichungen zu:

$$f_1 = \frac{k_2}{g_1 \cdot s_1} + \frac{1 - \frac{k_2}{g_1 \cdot s_1}}{1 + \frac{q_2}{q_1} \cdot E_2} \leq 1 \text{ bzw. } f_2 = \frac{k_2}{g_2 \cdot s_2} + \frac{1 - \frac{k_2}{g_2 \cdot s_2}}{1 + \frac{q_1}{q_2} \cdot \frac{1}{E_2}} \leq 1.$$

Als Voraussetzung gilt bei diesen beiden Reduktionsfaktoren - wie es bei der Ableitung der Reduktionsfaktoren für Mischstreifen selbstverständlich war - dass die grössere der beiden Grünzeiten g_1 die kleinere g_2 Grünzeit überdeckt.

Im Gegensatz zu einem Mischstreifen müssen bei einem kurzen Stauraum die Grünzeiten der beiden Verkehrsströme einander nicht mehr überdecken. Dies schafft eine neue Randbedingung der Reduktionsfaktoren für kurze Stauräume.



In der Skizze überdeckt die Grünzeit g_2 die Grünzeit g_1 nur während g'_2 , es gilt dabei $g_1 > g_2$. Ist dann wie in der Skizze die Überdeckung $g'_2 \leq g_2 - \frac{k_2}{s_2}$, dann kann der Verkehrsstrom 2

aus dem gemeinsamen Zufahrtstreifen nicht mehr während der Grünzeit $g_2 - \frac{k_2}{s_2}$ abfließen, sondern nur noch während der Überdeckung g'_2 . Aus der Ableitung der Reduktionsfaktoren für Mischstreifen ist wieder $\varphi_2 = \frac{1}{1 + \frac{q_1}{q_2} \cdot \frac{1}{E_2}}$ und der Äquivalenzwert für den Ver-

kehrsstrom 2 ist wieder $E_2 = \frac{g_1 \cdot s_1}{g'_2 \cdot s_2}$.

Aus der Skizze folgt die Bedingung $k_2 + \varphi_2 \cdot s_2 \cdot g'_2 = f_2 \cdot g_2 \cdot s_2$.

Damit ergibt sich unter der Randbedingung

der Reduktionsfaktor für den Verkehrsstrom 2 neu zu

Der Reduktionsfaktor für den Verkehrsstrom 1 bleibt

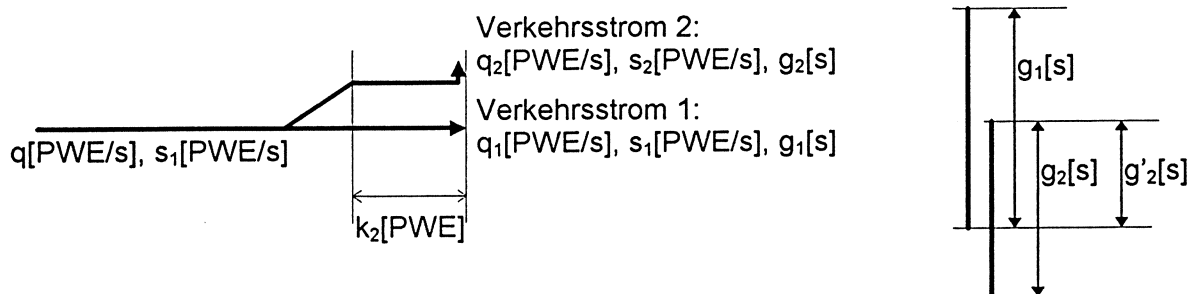
$$\frac{g'_2}{g_2} \leq 1 - \frac{k_2}{s_2 \cdot g_2}$$

$$f_2 = \frac{k_2}{g_2 \cdot s_2} + \frac{\frac{g'_2}{g_2}}{1 + \frac{q_1}{q_2} \cdot \frac{1}{E_2}} \leq 1$$

$$f_1 = \frac{k_2}{g_1 \cdot s_1} + \frac{1 - \frac{k_2}{s_2 \cdot g_2}}{1 + \frac{q_2}{q_1} \cdot E_2} \leq 1$$

Zusammenfassend ergeben sich die Reduktionsfaktoren für kurze Stauräume zu:

Angaben: Belastungen, Sättigungen, Grünzeiten und Stauraum der Fahrstreifen, und Überdeckung der Grünzeiten gemäss der Skizze



Randbedingung:

Es gelten Reduktionsfaktoren für kurze Stauräume,

wenn

$$k_2[\text{PWE}] < (g_1 \cdot s_1)$$

oder

$$k_2[\text{PWE}] < (g_2 \cdot s_2)$$

Reduktionsfaktoren:

Verkehrsstrom 1:

$$f_1 = \frac{g_2 \cdot s_2 + k_2 \cdot \frac{q_2}{q_1}}{g_2 \cdot s_2 + g_1 \cdot s_1 \cdot \frac{q_2}{q_1}} \leq 1$$

Verkehrsstrom 2:

für $\frac{g'_2}{g_2} \geq 1 - \frac{k_2}{s_2 \cdot g_2}$:

$$f_2 = \frac{g_1 \cdot s_1 + k_2 \cdot \frac{q_1}{q_2}}{g_1 \cdot s_1 + g_2 \cdot s_2 \cdot \frac{q_1}{q_2}} \leq 1$$

für $\frac{g'_2}{g_2} \leq 1 - \frac{k_2}{s_2 \cdot g_2}$:

$$f_2 = \frac{g_1 \cdot s_1 \cdot \left(\frac{g'_2}{g_2} + \frac{k_2}{g_2 \cdot s_2} \right) + k_2 \cdot \frac{q_1}{q_2}}{g_1 \cdot s_1 + g_2 \cdot s_2 \cdot \frac{q_1}{q_2}} \leq 1$$

Leistung:

Verkehrsstrom 1:

$$l_1[\text{PWE/s}] = s_1 \cdot f_1 \cdot \frac{g_1}{Z}$$

Verkehrsstrom 2:

$$l_2[\text{PWE/s}] = s_2 \cdot f_2 \cdot \frac{g_2}{Z}$$

18. ANHANG 11: Vergleich der Reduktionsfaktoren für Abbiegestreifen mit vortrittsberechtigten Abbiegern

Aus Messungen folgt der Reduktionsfaktor für Abbiegestreifen mit vortrittsberechtigten Abbiegern zu etwa $f_r = \frac{1}{1 + \frac{1.5}{r}}$ für einen Abbiegeradius r [m].

Mit der idealen Sättigung s [PWE/h], der Grünzeit g [s] und dem Umlauf Z [s] ergibt sich die Leistung des Abbiegestreifen mit vortrittsberechtigten Abbiegern dann zu

$$l[\text{PWE} / h] = s \cdot f_r \cdot \frac{g}{Z}$$

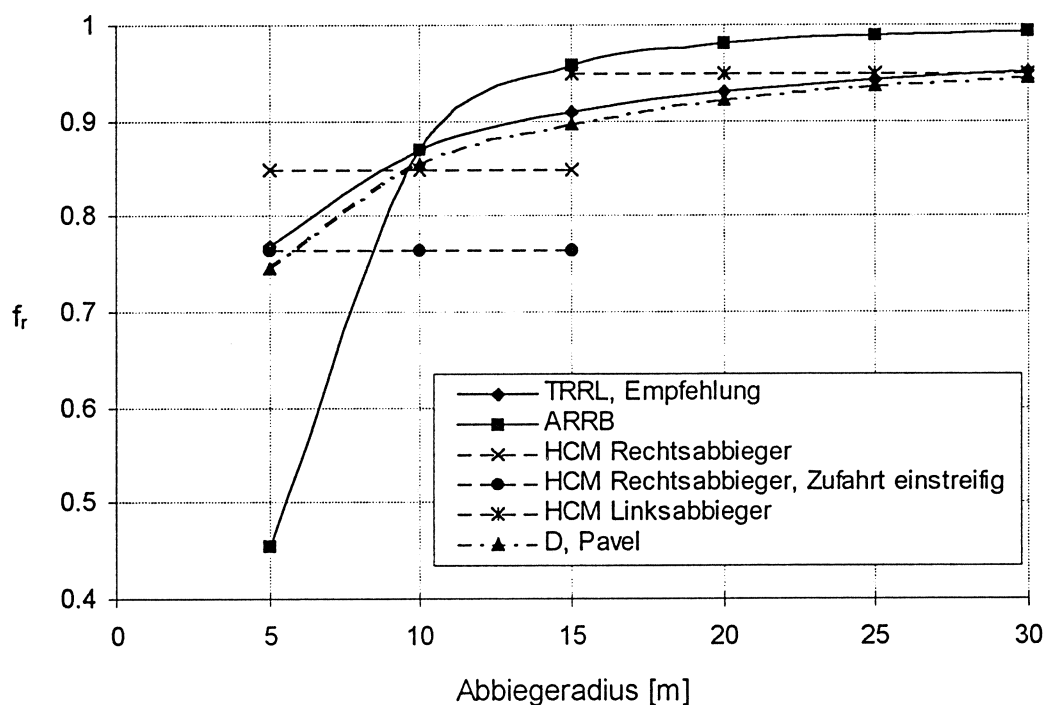
Der empfohlene Reduktionsfaktor f_r liegt etwa im Rahmen ausländischer Normen: Nach dem „Transport and Road Research Laboratory, GB 1986“ ist der Reduktionsfaktor für Abbiegeradien $f_r = \frac{1}{1 + \frac{1.5}{r}}$ für einen Abbiegeradius r [m]. Nach dem „Australian Road

Research Board, 1993“ ist der Reduktionsfaktor für Abbiegeradien $f_r = \frac{1}{1 + \frac{1.50}{r^3}}$ für einen

Abbiegeradius r [m]. Nach dem „Highway Capacity Manual, US 1994“ gelten unabhängig vom Abbiegeradius die Reduktionsfaktoren $f_r=0.85$ für vortrittsberechtigte Rechtsabbieger, $f_r=0.765$ für vortrittsberechtigte Rechtsabbieger in einstreifigen Zufahrten, und $f_r=0.95$ für vortrittsberechtigte Linksabbieger. Nach der „Forschungsgesellschaft für Strassen- und

Verkehrswesen, D, Pavel 1974“ ist der Reduktionsfaktor für Abbiegeradien etwa $f_r = \frac{1}{1 + \frac{1.7}{r}}$, bei einem Abbiegeradius r [m]. Das Diagramm zeigt einen Vergleich.

Vergleich der Reduktionsfaktoren



19. ANHANG 12: Ableitung der generellen Reduktionsfaktoren für Mischstreifen

Auf einem Mischstreifen mit der Belastung q [PWE/s], der Sättigung s [PWE/s] und der Grünzeit g [s], können mehrere Verkehrsströme q_1, q_2, q_3 mit verschiedenen Sättigungen s_1, s_2, s_3 und verschiedenen effektiven Grünzeiten g_1, g_2, g_3 abfließen (z.B. bei vortrittsbelasteten Abbiegern).

Bei gleichem Auslastungsgrad aller drei Verkehrsströme auf dem Mischstreifen gilt:

$$\frac{q}{f \cdot s \cdot g} = \frac{q_1}{\varphi_1 \cdot s_1 \cdot g_1} = \frac{q_2}{\varphi_2 \cdot s_2 \cdot g_2} = \frac{q_3}{\varphi_3 \cdot s_3 \cdot g_3}, \text{ und } \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 1$$

Daraus ergibt sich der Reduktionsfaktor des Mischstreifens bezogen auf die Grünzeit g und

die Sättigung s zu
$$f = \frac{1}{\frac{q_1}{q} \cdot E_1 + \frac{q_2}{q} \cdot E_2 + \frac{q_3}{q} \cdot E_3}.$$

E_1, E_2, E_3 sind dabei die Äquivalenzwerten der einzelnen Verkehrsströme:

$$E_1 = \frac{g \cdot s}{g_1 \cdot s_1}, \quad E_2 = \frac{g \cdot s}{g_2 \cdot s_2}, \quad E_3 = \frac{g \cdot s}{g_3 \cdot s_3}.$$

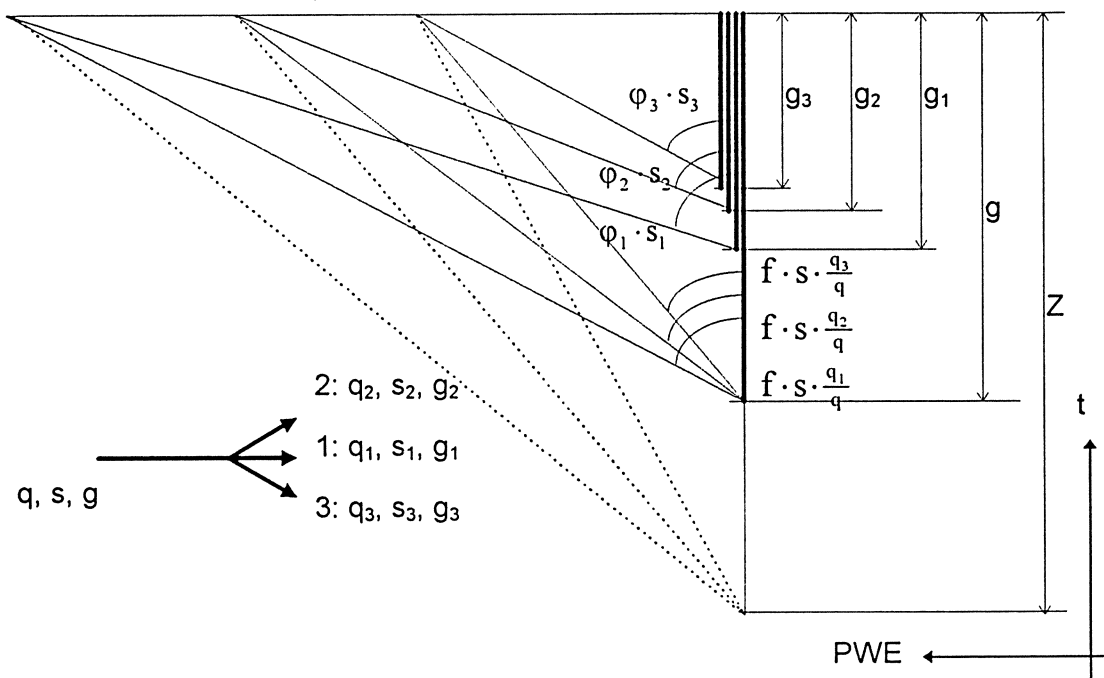
Die Reduktionsfaktoren der einzelnen Verkehrsströme auf dem Mischstreifen, bezogen auf die jeweiligen Sättigungen s_1, s_2, s_3 und auf die effektiven Grünzeiten g_1, g_2, g_3 folgen aus

$$\varphi_1 = f \cdot \frac{q}{q_1} \cdot E_1 \quad \varphi_2 = f \cdot \frac{q}{q_2} \cdot E_2 \quad \text{und} \quad \varphi_3 = f \cdot \frac{q}{q_3} \cdot E_3 \quad \text{zu}$$

$$\varphi_1 = \frac{1}{1 + \frac{q_2}{q_1} \cdot \frac{E_2}{E_1} + \frac{q_3}{q_1} \cdot \frac{E_3}{E_1}} \quad \varphi_2 = \frac{1}{1 + \frac{q_1}{q_2} \cdot \frac{E_1}{E_2} + \frac{q_3}{q_2} \cdot \frac{E_3}{E_2}} \quad \text{und} \quad \varphi_3 = \frac{1}{1 + \frac{q_1}{q_3} \cdot \frac{E_1}{E_3} + \frac{q_2}{q_3} \cdot \frac{E_2}{E_3}}.$$

Die Skizze veranschaulicht den Zusammenhang bei einem ausgelasteten Mischstreifen.

$$\varphi_1 \cdot s_1 \cdot g_1 = f \cdot \frac{q_1}{q} \cdot s \cdot g \quad \varphi_2 \cdot s_2 \cdot g_2 = f \cdot \frac{q_2}{q} \cdot s \cdot g \quad \varphi_3 \cdot s_3 \cdot g_3 = f \cdot \frac{q_3}{q} \cdot s \cdot g$$

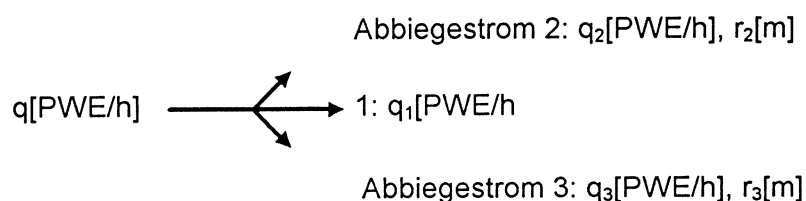


20. ANHANG 13: Ableitung der Reduktionsfaktoren für Mischstreifen mit vortrittsberechtigten Abbiegern

Der Reduktionsfaktor für Abbiegeradien ist $f_r = \frac{1}{1 + \frac{1.5}{r}}$ (gemäss Anhang 11), bei einem

Abbiegeradius $r[m]$. Der Äquivalenzwert der Abbieger mit dem Abbiegeradius $r[m]$ folgt dann zu $E_r = \frac{1}{f_r} = 1 + \frac{1.5}{r}$. Auf Mischstreifen gilt dieser Äquivalenzwert jeweils für die vortrittsberechtigten Abbieger.

Mit den untenstehenden Angaben zu den Belastungen der einzelnen Teilströme und den Radien der Abbiegeströme auf einem Mischstreifen



ergeben sich die Äquivalenzwerte der beiden Abbiegeströme 2 und 3 zu

$$E_2 = 1 + \frac{1.5}{r_2} \text{ und } E_3 = 1 + \frac{1.5}{r_3},$$

und der Reduktionsfaktor für Mischstreifen mit vortrittsberechtigten Abbiegern wird mit

$$f = \frac{1}{\frac{q_1}{q} \cdot E_1 + \frac{q_2}{q} \cdot E_2 + \frac{q_3}{q} \cdot E_3} \text{ gemäss der generellen Ableitung in Anhang 12 zu}$$

$$f = \frac{1}{\frac{q_1}{q} + \frac{q_2}{q} \cdot \left(1 + \frac{1.5}{r_2}\right) + \frac{q_3}{q} \cdot \left(1 + \frac{1.5}{r_3}\right)}, \text{ und schliesslich vereinfachend zu}$$

$$f = \frac{1}{1 + \frac{1.5}{q} \cdot \left(\frac{q_2}{r_2} + \frac{q_3}{r_3}\right)}.$$

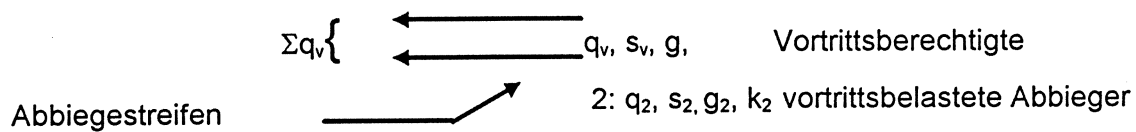
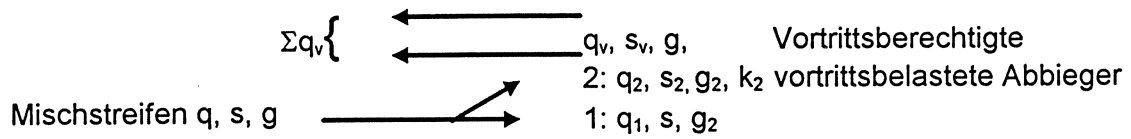
Mit der idealen Sättigung $s[PWE/h]$, der Grünzeit $g[s]$ und dem Umlauf $Z[s]$ ergibt sich die Leistung des Mischstreifens mit vortrittsberechtigten Abbiegern dann zu

$$l[PWE/h] = s \cdot f \cdot \frac{g}{Z}$$

21. ANHANG 14: Ableitung von Grünzeit und Sättigung vortrittsbelasteter Abbieger auf Abbiege- und Mischstreifen

21.1 Grünzeit vortrittsbelasteter Abbieger

Vortrittsbelastete Abbieger sind während ihrer gemeinsamen Grünzeit mit Vortrittsberechtigten g solange blockiert, wie die Vortrittsberechtigten mit ihrer Sättigung s_v abfließen. Erst in der ungesättigten Grünzeit $g_{v,u}$, wenn die Vortrittsberechtigten mit ihrer Belastung q_v fließen, queren die vortrittsbelasteten Abbieger sie mit ihrer Sättigung s_2 . Die Grünzeit g_2 der vortrittsbelasteten Abbieger hängt zusätzlich noch vom Stauraum k_2 zwischen der Haltelinie und den Vortrittsberechtigten im Verkehrsschatten von Inseln ab.



Mit den Angaben der beiden Skizzen ergibt sich die ungesättigte Grünzeit der Vortrittsberechtigten zu

$$g_{v,u} = g - \frac{(Z - g) \cdot q_v}{s_v - q_v}$$

Besteht für vortrittsbelastete Abbieger zwischen der Haltelinie und den Vortrittsberechtigten kein Stauraum k_2 im Verkehrsschatten von Inseln,

wird $g_2 = g_{v,u}$, bei einem Stauraum k_2 wird $g_2 = g_{v,u} + \frac{k_2}{\phi_2 \cdot s_2} \leq g$. Die vortrittsbelasteten Ab-

bieger können mit dem Beginn der Grünzeit g über die Haltelinie in den Stauraum k_2 einfahren. Damit vergrößert sich ihre Grünzeit $g_{v,u}$ um die Zeit $k_2/(\phi_2 \cdot s_2)$, während der sich der Stauraum füllt. Die Summe $g_{v,u} + k_2/(\phi_2 \cdot s_2)$ darf dabei die Grünzeit g nicht überschreiten.

Die Skizze stellt den Zusammenhang dar.

Für Abbiegestreifen wird gem. Anhang 12

$\phi_2 = 1$, und mit dem Äquivalenzwert

$$E_2 = \frac{g \cdot s}{g_2 \cdot s_2}$$

$$\text{Abbiegestreifens } f_2 = \frac{1}{E_2}$$

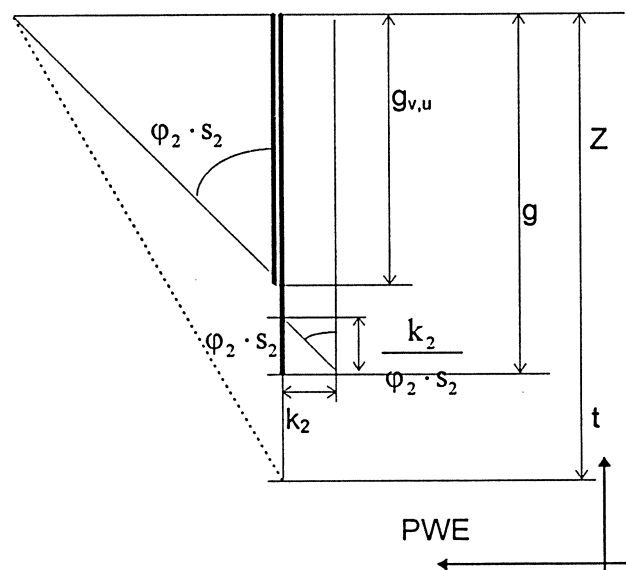
Für Mischstreifen ist gem. Anhang 12

$$\phi_2 = \frac{1}{1 + \frac{q_1}{q_2} \cdot \frac{E_1}{E_2}}$$

längswerten $E_1 = \frac{g}{g_2}$ und $E_2 = \frac{g \cdot s}{g_2 \cdot s_2}$ wird

der Reduktionsfaktor des Mischstreifens

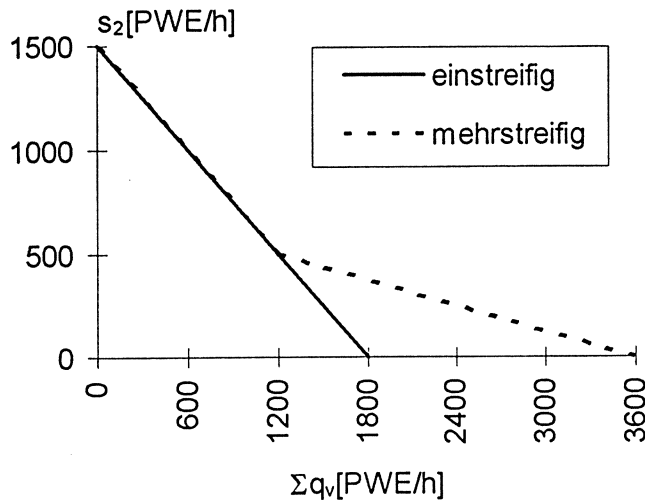
$$f = \frac{1}{\frac{q_1}{q} \cdot E_1 + \frac{q_2}{q} \cdot E_2}$$



Die Sättigung der vortrittsbelasteten Abbieger s_2 wird im folgenden Abschnitt abgeleitet. Dort finden sich auch Angaben zur Sättigung der Vortrittsberechtigten s_v .

21.2 Sättigung vortrittsbelasteter Abbieger

Die Sättigungen s_2 der vortrittsbelasteten Abbieger während der ungesättigten Grünzeit der Vortrittsberechtigten $g_{v,u}$, sind Funktionen der Verkehrsarten und der Belastungen der Vortrittsberechtigten. Praktische Messungen deuten dabei auf lineare Funktionen bei den verschiedenen Verkehrsarten hin.



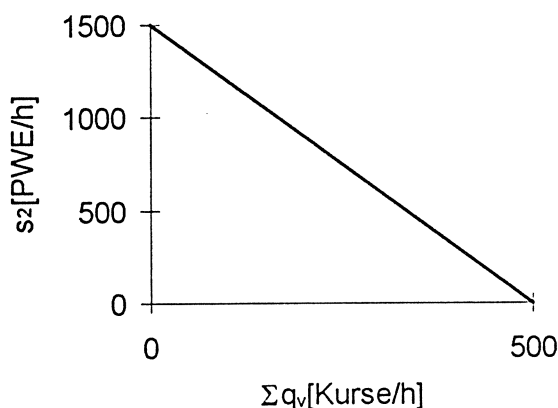
Beim vortrittsberechtigten Individualverkehr ergeben Messungen etwa

$$s_2 = \frac{5}{12} - \frac{5}{6} \cdot \sum q_{v,IV}$$

Die Funktion gilt für einstreifigen, vortrittsberechtigten Individualverkehr, und sie ist bis zu hohen Belastungen der Vortrittsberechtigten auch eine gute Näherung für mehrstreifigen Individualverkehr.

Über einer Belastung des mehrstreifigen vortrittsberechtigten Individualverkehr von etwa 1200 PWE/h (0.333 PWE/s) gilt $s_2 = \frac{5}{24} - \frac{5}{24} \cdot \sum q_{v,IV}$. Beim Ermitteln von s_2 ist in den Formeln mit der Gesamtbelastung des vortrittsberechtigten Individualverkehrs zu rechnen.

Die Skizze zeigt die Funktionen mit der Dimension [PWE/h]; in den Formeln sind [PWE/s] einzusetzen.



Beim vortrittsberechtigten öffentlichen Verkehr ergibt sich etwa

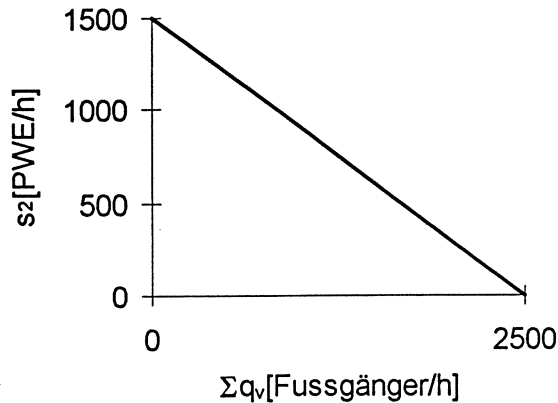
$$s_2 = \frac{5}{12} - 3 \cdot \sum q_{v,\alpha}$$

Die Funktion gilt für einstreifigen, vortrittsberechtigten öffentlichen Verkehr, und sie ist bis zu hohen Belastungen der Vortrittsberechtigten auch eine gute Näherung für mehrstreifigen, vortrittsberechtigten, öffentlichen Verkehr. Beim Ermitteln von s_2 ist deshalb in der Formel mit der Gesamtbelastung des vortrittsberechtigten öffentlichen Verkehrs zu rechnen.

Die Skizze zeigt die Funktion mit den Dimensionen [PWE/h] auf der Ordinate und [Kurse/h] auf der Abszisse; in der Formel sind [Kurse/s] einzusetzen und [PWE/s] zu errechnen.

Bei vortrittsberechtigten Fussgängern gilt

$$\text{etwa } s_2 = \frac{5}{12} - \frac{3}{5} \cdot \sum q_{v,FG}$$



Die Skizze zeigt die Funktion mit den Dimensionen [PWE/h] auf der Ordinate und [Fussgänger/h] auf der Abszisse.

In der Formel sind [Fussgänger/s] einzusetzen und [PWE/s] zu errechnen.

Wenn vortrittsbelastete Abbieger verschiedene vortrittsberechtigten Verkehrsarten wie Individualverkehr und öffentlichen Verkehr und Fussgänger queren müssen, dann lassen sich zuerst die Belastungen der einzelnen Verkehrsarten mit Äquivalenzwerten auf vortrittsberechtigten Individualverkehr umrechnen $\sum q_v = \sum q_{v,IV} + \frac{18}{5} \cdot \sum q_{v,\text{ÖV}} + \frac{18}{25} \cdot \sum q_{v,FG}$.

Die Sättigung s_2 der vortrittsbelasteten Abbieger folgt dann zu $s_2 = \frac{5}{12} - \frac{5}{6} \cdot \sum q_v$ für

$\sum q_v \leq 0.333 \text{ PWE/s}$, und zu $s_2 = \frac{5}{24} - \frac{5}{24} \cdot \sum q_v$ für $\sum q_v > 0.333 \text{ PWE/s}$.

Zusammenfassend bringt die Tabelle Richtwerte zur Sättigung der Vortrittsberechtigten s_v und Richtwerte für die Sättigungen der vortrittsbelasteten Abbieger s_2 [PWE/s]:

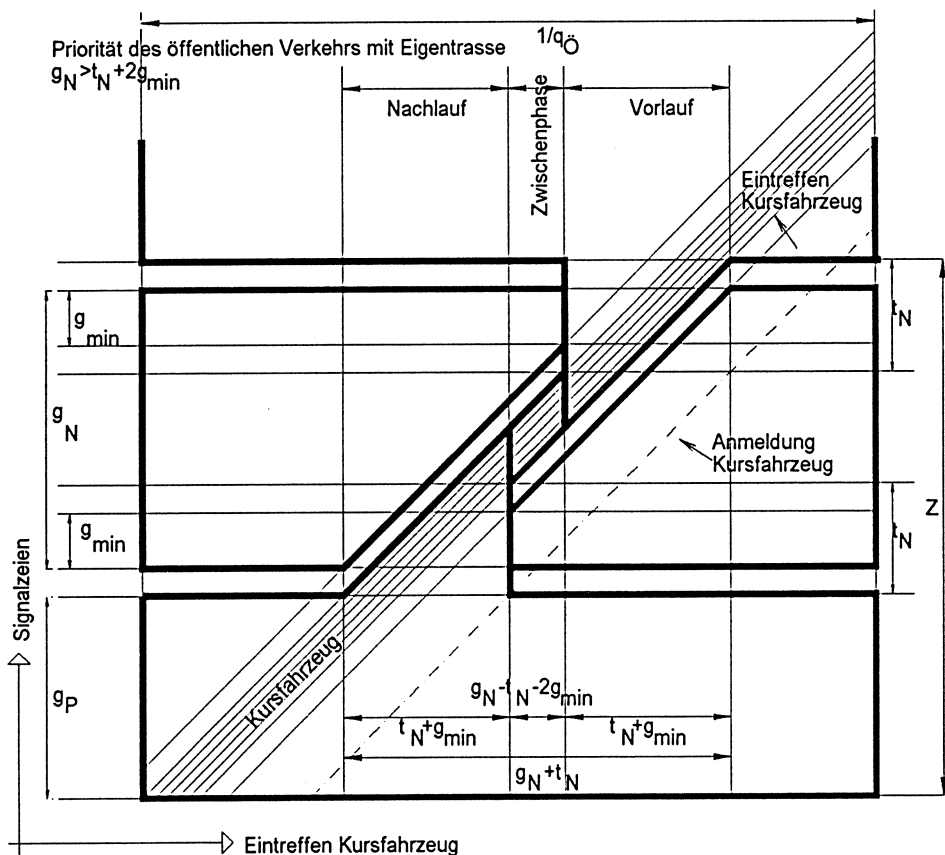
Verkehrsart	Streifenbelastung	Gesamtbelastung	Richtwerte Sättigung s_v	Richtwerte Sättigung s_2 [PWE/s]
Individualverkehr	$q_{v,IV}$ [PWE/s]	$\sum q_{v,IV}$ [PWE/s]	0.55 PWE/s Leistungsrechnung	$\sum q_{v,IV} \leq 0.33 \text{ PWE/s}:$ $s_2 = \frac{5}{12} - \frac{5}{6} \cdot \sum q_{v,IV}$ mehrstreifig, $\sum q_{v,IV} > 0.33 \text{ PWE/s}:$ $s_2 = \frac{5}{24} - \frac{5}{24} \cdot \sum q_{v,IV}$
Öffentlicher Verkehr	$q_{v,\text{ÖV}}$ [Kurse/s]	$\sum q_{v,\text{ÖV}}$ [Kurse/s]	0.17 Kurse/s	$s_2 = \frac{5}{12} - 3 \cdot \sum q_{v,\text{ÖV}}$
Fussgänger	$q_{v,FG}$ [Fg/s]	$\sum q_{v,FG}$ [Fg/s]	2.22 Fg/s	$s_2 = \frac{5}{12} - \frac{3}{5} \cdot \sum q_{v,FG}$
Individualverkehr Öffentlicher Verkehr Fussgänger		$\sum q_v = \sum q_{v,IV} + \frac{18}{5} \sum q_{v,\text{ÖV}} + \frac{18}{25} \sum q_{v,FG}$		$\sum q_v \leq 0.33 \text{ PWE/s}:$ $s_2 = \frac{5}{12} - \frac{5}{6} \cdot \sum q_v$ $\sum q_v > 0.33 \text{ PWE/s}:$ $s_2 = \frac{5}{24} - \frac{5}{24} \cdot \sum q_v$

22. Anhang 15: Ableitung der Reduktionsfaktoren bei Privilegierung des öffentlichen Verkehrs auf Eigentrasse

Die Privilegierung des öffentlichen Verkehrs modifiziert die Signalzeiten so, dass sie zu einer Funktion des Eintreffens der Kursfahrzeuge werden. Von der Privilegierung profitiert dabei nicht nur der öffentliche Verkehr, sondern auch die zum öffentlichen Verkehr gleichzeitig ablaufenden, freundlichen Grünzeiten g_p . Die zum öffentlichen Verkehr feindlichen Grünzeiten g_N werden durch die Privilegierung der Kursfahrzeuge kürzer. Daraus resultieren die Reduktionsfaktoren f_p bzw. f_N für die Privilegierung des öffentlichen Verkehrs.

Die Skizze geht von einer vollen Privilegierung des öffentlichen Verkehrs auf Eigentrasse und von einer grossen feindlichen Grünzeiten g_N aus. Auf der Abszisse ist der Zeitpunkt des Eintreffens der Kursfahrzeuge aufgetragen, und auf der Ordinate die entsprechenden Signalzeiten. Solange ein Kursfahrzeug in der freundlichen Grünzeiten g_p eintrifft, ändern sich die Signalzeiten nicht. Trifft anschliessend ein Kursfahrzeug am Beginn der feindlichen Grünzeiten g_N ein, dann wird die freundliche Grünzeiten in einem gleitenden Nachlauf verlängert. Es wird dabei vorausgesetzt, dass der Detektor zum Erfassen der Kursfahrzeuge in einer Distanz von der Haltelinie angeordnet wird, die mindestens der Fahrzeit $t_N = g_{\min} + 2t_z$ entspricht. So kann vor Eintreffen des Kursfahrzeugs eine feindliche Phase mit der Mindestgrünzeit $g_{\min}$ und mit den entsprechenden zwei Zwischenzeiten t_z ablaufen und anschliessend abgebrochen werden. Die Zugriffszeit zum Nachlauf und seine maximale Dauer betragen dann $t_N + g_{\min}$. Analoges gilt für das Eintreffen des Kursfahrzeugs vor Beginn der freundlichen Grünzeit g_p - in einem gleitenden Vorlauf wird dann die freundliche Grünzeit vorgezogen, seine maximale Dauer beträgt wiederum $t_N + g_{\min}$. Ist die feindliche Grünzeit $g_N > t_N + 2g_{\min}$, dann wird zwischen Nachlauf und Vorlauf während $g_N - t_N - 2g_{\min}$ eine gleitenden Zwischenphase mit der Dauer t_N eingeschaltet. Die ganze Zugriffszeit der Privilegierung ist $g_N + t_N$.

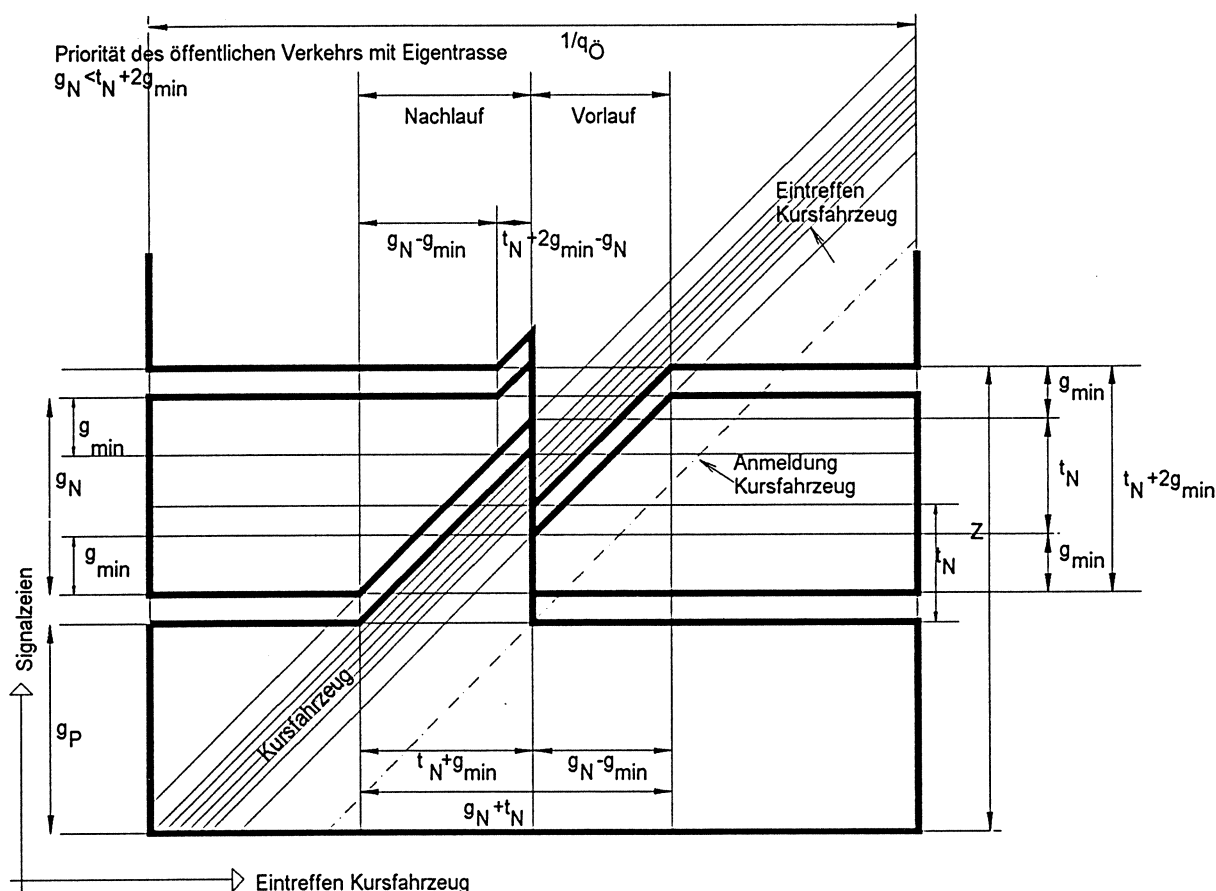
Auf diese Weise erhält das Kursfahrzeug beim Eintreffen während dem ganzen Umlauf Grün, und trotz voller Priorität erscheint die feindliche Grünzeit in jedem Umlauf zumindest mit der Mindestgrünzeit $g_{\min}$. Die Skizze zeigt Nachlauf, Zwischenphase und Vorlauf bei einer feindliche Grünzeit $g_N > t_N + 2g_{\min}$.



Die Skizze geht von einer vollen Privilegierung des öffentlichen Verkehrs auf Eigentrasse, und diesmal von einer kleinen feindlichen Grünzeiten $g_N < t_N + 2g_{\min}$ aus. In dieser kleinen feindlichen Grünzeit lässt sich keine Zwischenphase einschalten. Es wird wieder vorausgesetzt, dass der Detektor zum Erfassen der Kursfahrzeuge in einer Distanz von der Haltelinie angeordnet wird, der mindestens der Fahrzeit $t_N = g_{\min} + 2t_z$ entspricht. Auf der Abszisse ist wiederum der Zeitpunkt des Eintreffens der Kursfahrzeuge aufgetragen, und auf der Ordinate die entsprechenden Signalzeiten.

Solange ein Kursfahrzeug in der freundlichen Grünzeiten g_P eintrifft, ändern sich die Signalzeiten nicht. Trifft anschliessend ein Kursfahrzeug am Beginn der feindlichen Grünzeit g_N ein, dann wird die freundliche Grünzeit in einem gleitenden Nachlauf verlängert. Die Zugriffszeit zum Nachlauf und seine maximale Dauer betragen dann $t_N + g_{\min}$. Beim Eintreffen des Kursfahrzeugs vor Beginn der feindlichen Grünzeit g_P wird mit einem gleitenden Vorlauf die freundliche Grünzeit vorgezogen. Die Zugriffszeit des Vorlaufs und seine maximale Dauer betragen dann $g_N - g_{\min}$. Die ganze Zugriffszeit der Privilegierung ist $g_N + t_N$.

Auf diese Weise erhält das Kursfahrzeug beim Eintreffen während dem ganzen Umlauf grün, und trotz voller Priorität erscheint die feindliche Grünzeit in jedem Umlauf zumindest mit der Mindestgrünzeit $g_{\min}$. Die Skizze zeigt Vorlauf und Nachlauf bei einer feindlichen Grünzeit $g_N < t_N + 2g_{\min}$. Diese skizzierte Ablauf wiederholt sich mit jedem Kursfahrzeug.



Privilegierung des öffentlichen Verkehrs auf Eigentrasse mit Vorlauf, Nachlauf und Zwischenphase

Die Reduktionsfaktoren f_P bzw. f_N ergeben sich aus dem Verhältnis der durch den öffentlichen Verkehr modifizierten Grünzeiten zu den unmodifizierten Grünzeiten g_P und g_N . Dieses Verhältnis lässt sich aus den beiden vorangegangenen Skizzen ableiten. Pro Intervall der Kursfahrzeuge $1/q_0[s/Kurs]$ bilden die modifizierten Grünzeiten Flächen in den Diagrammen, und die Reduktionsfaktoren sind dann das Verhältnis der modifizierten zu den unmodifizierten Flächen:

$$\text{Für } g_N \leq t_N + 2 \cdot g_{\min} \text{ wird } f_P = 1 + \frac{q_0 \cdot (g_N - g_{\min})(g_{\min} + t_N)}{g_P}$$

$$\text{und } f_N = 1 - \frac{q_0 \cdot (g_N - g_{\min})(g_{\min} + t_N)}{g_N}.$$

$$\text{Für } g_N \geq t_N + 2 \cdot g_{\min} \text{ wird } f_P = 1 + \frac{q_0 [g_{\min} \cdot (g_N - g_{\min}) + t_N (g_{\min} + t_N)]}{g_P}$$

$$\text{und } f_N = 1 - \frac{q_0 \cdot (g_N \cdot t_N + g_{\min}^2)}{g_N}.$$

Privilegierung des öffentlichen Verkehrs auf Eigentrasse mit Nachlauf

Die Reduktionsfaktoren f_P bzw. f_N ergeben sich aus dem Verhältnis der durch den öffentlichen Verkehr modifizierten Grünzeiten zu den unmodifizierten Grünzeiten g_P und g_N . Dieses Verhältnis lässt sich aus den beiden Skizzen ableiten. Pro Intervall der Kursfahrzeuge $1/q_0[s/Kurs]$ bilden die modifizierten Grünzeiten Flächen in den Diagrammen, und die Reduktionsfaktoren sind das Verhältnis der modifizierten zu den unmodifizierten Flächen:

$$\text{Für } g_N \leq t_N + 2 \cdot g_{\min} \text{ wird } f_P = 1 + \frac{q_0 \cdot \frac{1}{2} [(g_{\min} + t_N)^2 - (t_N + 2g_{\min} - g_N)^2]}{g_P}$$

$$\text{und } f_N = 1 - \frac{q_0 \cdot \frac{1}{2} [(g_{\min} + t_N)^2 - (t_N + 2g_{\min} - g_N)^2]}{g_N}.$$

$$\text{Für } g_N \geq t_N + 2 \cdot g_{\min} \text{ wird } f_P = 1 + \frac{q_0 \cdot \frac{1}{2} (g_{\min} + t_N)^2}{g_P}$$

$$\text{und } f_N = 1 - \frac{q_0 \cdot \frac{1}{2} (g_{\min} + t_N)^2}{g_N}.$$

Privilegierung des öffentlichen Verkehrs auf Eigentrasse mit Vorlauf

Ist $g_N \leq t_N + 2 \cdot g_{\min}$, dann wird gemäss den beiden vorangegangenen Skizzen die Zugriffszeit zum maximalen Vorlauf zu $t_N + g_{\min}$ und zum mittleren Vorlauf zu $g_N - g_{\min}$. Die maximale Dauer des Vorlaufs ist $g_N - g_{\min}$. Damit ergeben sich die Reduktionsfaktoren f_P bzw. f_N zu:

$$\text{Für } g_N \leq t_N + 2 \cdot g_{\min} \text{ wird } f_P = 1 + \frac{q_0}{g_P} \left[(t_N + g_{\min})(g_N - g_{\min}) + \frac{1}{2}(g_N - g_{\min})^2 \right]$$

$$\text{und. } f_N = 1 - \frac{q_0}{g_N} \left[(t_N + g_{\min})(g_N - g_{\min}) + \frac{1}{2}(g_N - g_{\min})^2 \right]$$

Für $g_N \geq t_N + 2 \cdot g_{\min}$ wird gemäss den beiden vorangegangenen Skizzen die Zugriffszeit zum maximalen Vorlauf zu $g_N - g_{\min}$ und zum mittleren Vorlauf zu $t_N + g_{\min}$. Die maximale Dauer des Vorlaufs ist $t_N + g_{\min}$. Damit ergeben sich die Reduktionsfaktoren f_P bzw. f_N zu:

$$\text{Für } g_N \geq t_N + 2 \cdot g_{\min} \text{ wird } f_P = 1 + \frac{q_0}{g_P} \left[(t_N + g_{\min})(g_N - g_{\min}) + \frac{1}{2}(t_N + g_{\min})^2 \right]$$

$$\text{und. } f_N = 1 - \frac{q_0}{g_N} \left[(t_N + g_{\min})(g_N - g_{\min}) + \frac{1}{2}(t_N + g_{\min})^2 \right]$$

Privilegierung des öffentlichen Verkehrs auf Eigentrasse mit Vorlauf und Nachlauf

Für $g_N \leq t_N + 2 \cdot g_{\min}$ ergeben sich die Reduktionsfaktoren f_P bzw. f_N aus dem Verhältnis der durch den öffentlichen Verkehr modifizierten Grünzeiten zu den unmodifizierten Grünzeiten g_P und g_N . Dieses Verhältnis lässt sich aus den vorangegangenen Skizzen ableiten.

$$\text{Für } g_N \leq t_N + 2 \cdot g_{\min} \text{ wird } f_P = 1 + \frac{q_0 \cdot (g_N - g_{\min})(g_{\min} + t_N)}{g_P}$$

$$\text{und } f_N = 1 - \frac{q_0 \cdot (g_N - g_{\min})(g_{\min} + t_N)}{g_N}$$

Für $g_N \geq t_N + 2 \cdot g_{\min}$ ist die Zugriffszeit zum Nachlauf $t_N + g_{\min}$ und seine durchschnittliche Dauer ist $1/2(t_N + g_{\min})$. Die Zugriffszeit zum maximalen Vorlauf wird $g_N - t_N - 2g_{\min}$, und seine maximale Dauer wird zu $t_N + g_{\min}$. Die Zugriffszeit zum mittleren Vorlauf ist $t_N + g_{\min}$. Damit ergeben sich die Reduktionsfaktoren f_P bzw. f_N zu:

$$\text{Für } g_N \geq t_N + 2 \cdot g_{\min} \text{ wird } f_P = 1 + \frac{q_0 \cdot (g_N - g_{\min})(g_{\min} + t_N)}{g_P}$$

$$\text{und. } f_N = 1 - \frac{q_0 \cdot (g_N - g_{\min})(g_{\min} + t_N)}{g_N}$$

Beim Privilegieren des öffentlichen Verkehrs auf Eigentrasse gelten in der Praxis etwa $g_{\min}[s]=6$, $t_z[s]=4$ und $t_N[s]=14$. Die Formeln für die Reduktionsfaktoren f_P bzw. f_N lassen sich dann vereinfachen und zusammenfassen.

Reduktionsfaktoren bei Privilegierung des öffentlichen Verkehrs auf Eigentrasse

Angaben:

q_0 [Kurse/s]	Belastung des privilegierten öffentlichen Verkehrs
g_P [s]	die zum öffentlichen Verkehr gleichzeitig ablaufenden, freundlichen Grünzeiten des Individualverkehrs
g_N [s]	die zum öffentlichen Verkehr feindlichen Grünzeiten des Individualverkehrs

Randbedingung:

Der Detektor zum Erfassen der Kursfahrzeuge wird in einer Distanz von der Haltelinie angeordnet, die mindestens einer Fahrzeit von 14s entspricht.

Reduktionsfaktoren:

Art der Priorität	Randbedingung	Reduktionsfaktor f_P	Reduktionsfaktor f_N
gleitender <u>Nachlauf</u> bis 20s nach Ende g_P	$g_N[s] \leq 26$	$1 + \frac{q_0}{g_P} \left[200 - \frac{(26 - g_N)^2}{2} \right]$	$1 - \frac{q_0}{g_N} \left[200 - \frac{(26 - g_N)^2}{2} \right]$
	$g_N[s] \geq 26$	$1 + \frac{q_0}{g_P} \cdot 200$	$1 - \frac{q_0}{g_N} \cdot 200$
gleitender <u>Vorlauf</u> ab 20s vor Beginn g_P	$g_N[s] \leq 26$	$1 + \frac{q_0}{g_P} \cdot (g_N - 6) \left(17 + \frac{g_N}{2} \right)$	$1 - q_0 \cdot \left(1 - \frac{6}{g_N} \right) \left(17 + \frac{g_N}{2} \right)$
	$g_N[s] \geq 26$	$1 + \frac{q_0}{g_P} \cdot 20(g_N + 4)$	$1 - q_0 \cdot 20 \left(1 + \frac{4}{g_N} \right)$
gleitender <u>Nachlauf</u> bis 20s nach Ende g_P , gleitender <u>Vorlauf</u> ab 20s vor Beginn g_P		$1 + \frac{q_0}{g_P} \cdot 20(g_N - 6)$	$1 - q_0 \cdot 20 \left(1 - \frac{6}{g_N} \right)$
gleitender <u>Nachlauf</u> bis 20s nach Ende g_P , <u>Zwischenphase</u> während $g_N - 26$ s, gleitender <u>Vorlauf</u> ab 20s vor Beginn g_P	$g_N[s] \leq 26$	$1 + \frac{q_0}{g_P} \cdot 20(g_N - 6)$	$1 - q_0 \cdot 20 \left(1 - \frac{6}{g_N} \right)$
	$g_N[s] \geq 26$	$1 + \frac{q_0}{g_P} \cdot 6(g_N + 40.67)$	$1 - q_0 \cdot 14 \left(1 + \frac{2.57}{g_N} \right)$

Leistung:

s_P [PWE/s]

ideale Sättigung des zum öffentlichen Verkehr freundlichen Individualverkehrs

s_N [PWE/s]

ideale Sättigung des zum öffentlichen Verkehr feindlichen Individualverkehrs

$$I_P[\text{PWE} / s] = s_P \cdot f_P \cdot \frac{g_P}{Z}$$

Leistung des zum öffentlichen Verkehr freundlichen Individualverkehrs

$$I_N[\text{PWE} / s] = s_N \cdot f_N \cdot \frac{g_N}{Z}$$

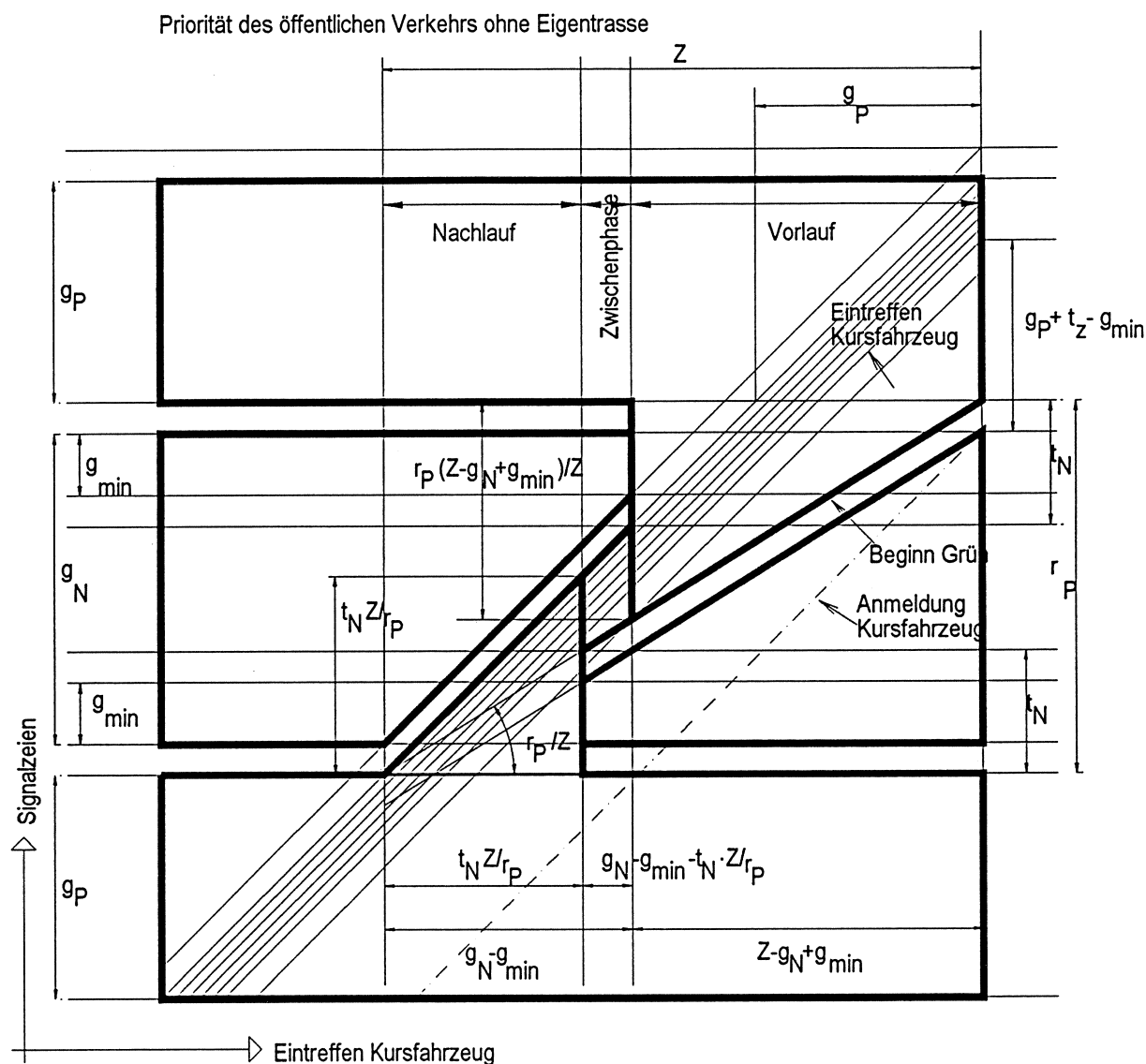
Leistung des zum öffentlichen Verkehr feindlichen Individualverkehrs

23. ANHANG 16: Ableitung der Reduktionsfaktoren bei Privilegierung des öffentlichen Verkehrs ohne Eigentrasse

Bei einer vollen Privilegierung ohne Eigentrasse sollte während der Zwischenphase und dem Vorlauf die Grünzeit g_P der gleichzeitig fliessenden Fahrzeuge schon beginnen, bevor das Kursfahrzeug eintrifft. So kann sich zuerst Stau auflösen und das Kursfahrzeug bleibt unbehindert.

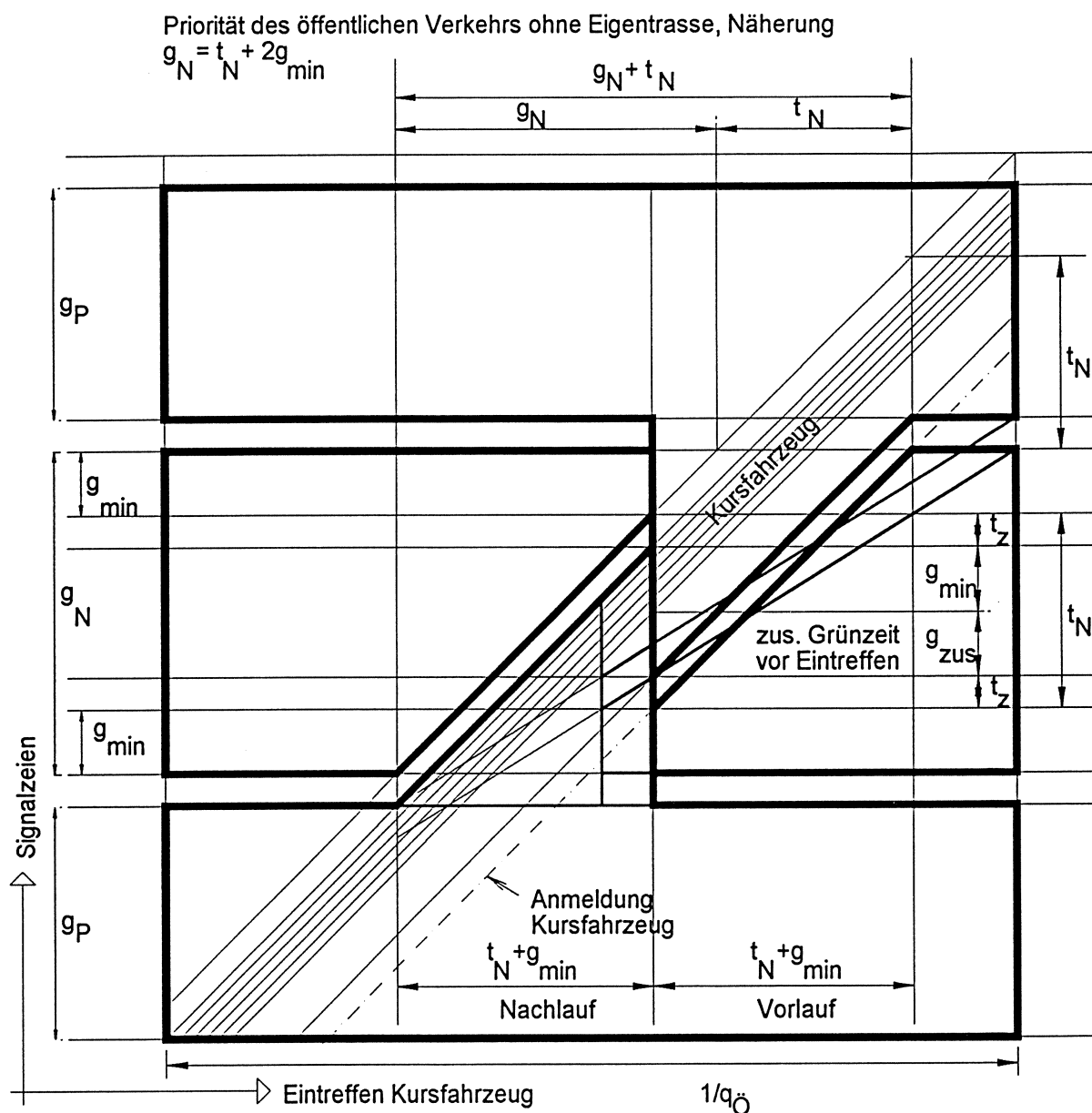
Die Skizze zeigt dazu die Signalzeiten als Funktion des Eintreffens der Kursfahrzeuge ohne Eigentrasse. Die Privilegierung des öffentlichen Verkehrs erfolgt wiederum mit Vorlauf, Nachlauf und Zwischenphase. Im Gegensatz zur Privilegierung auf Eigentrasse ist aber die Grünzeit g_P während der Zwischenphase und dem Vorlauf proportional zur vorher abgelauten Rotzeit r_P . Der nötige Detektorabstand wächst gegenüber der Privilegierung auf Eigentrasse von $g_{\min} + 2t_Z$ auf $g_P + t_Z - g_{\min}$.

Solange die Zufahrt nicht überlastet ist, wird so dem öffentlichen Verkehr volle Priorität angeboten. Bei überlasteten Zufahrten dagegen bringt die Forderung, dass der Stau vor dem Eintreffen der Kursfahrzeuge abfließen sollte, unrealistisch grosse Detektorabstände. Hier muss das Kursfahrzeug entweder warten, bis es den Detektor erreicht, oder der Zufluss des Individualverkehrs (ohne öffentlichen Verkehr) stromaufwärts von der Signalanlage wird entsprechend plafoniert.



Bei der Privilegierung des öffentlichen Verkehrs ohne Eigentrasse werden die Formeln für die Reduktionsfaktoren f_p bzw. f_N unhandlich. Der Grund dafür ist die Grünzeit g_p , die abhängig wird von der vorher abgelaufenen Rotzeit r_p . Es drängt sich deshalb eine Näherung auf, die eine konstante zusätzlich Grünzeit vor dem Eintreffen der Kursfahrzeuge annimmt.

Bei der Privilegierung auf Eigentrasse gilt ein Detektorabstand von mindestens $t_N[s]=g_{\min}+2t_z=14$. Bei der Privilegierung ohne Eigentrasse lässt sich annehmen, dass er sich etwa um die zusätzlich Grünzeit $g_{\text{zus}}[s]=10$ auf $t_N[s]=g_{\min}+g_{\text{zus}}+2t_z=24$ erhöht. Dann gelten näherungsweise auch die Formeln für die Reduktionsfaktoren ohne Eigentrasse, die vorne für die Privilegierung auf Eigentrasse abgeleitet wurden. Ein Vergleich zwischen dieser Näherung und errechneten Reduktionsfaktoren zeigt eine gute Übereinstimmung. Die Skizze stellt die Näherung dem korrekten Ablauf der Signalzeiten gegenüber, die Näherung ist dabei kräftiger eingetragen.



Beim Privilegieren des öffentlichen Verkehrs ohne Eigentrasse gelten in der Praxis etwa $g_{\min}[s]=6$, $t_z[s]=4$ und näherungsweise $t_N[s]=24$. Die Formeln für die Reduktionsfaktoren f_P bzw. f_N lassen sich dann vereinfachen und zusammenfassen.

Reduktionsfaktoren bei Privilegierung des öffentlichen Verkehrs ohne Eigentrasse

Angaben:

$q_0[\text{Kurse/s}]$	Belastung des privilegierten öffentlichen Verkehrs
$g_P[s]$	die zum öffentlichen Verkehr gleichzeitig ablaufenden, freundlichen Grünzeiten des Individualverkehrs
$g_N[s]$	die zum öffentlichen Verkehr feindlichen Grünzeiten des Individualverkehrs

Randbedingung:

Der Detektor zum Erfassen der Kursfahrzeuge wird in einer Distanz von der Haltelinie angeordnet, die mindestens einer Fahrzeit von 24s entspricht.

Reduktionsfaktoren:

Art der Priorität	Randbedingung	Reduktionsfaktor f_P	Reduktionsfaktor f_N
gleitender <u>Nachlauf</u> bis 30s nach Ende g_P	$g_N[s] \leq 36$	$1 + \frac{q_0}{g_P} \left[450 - \frac{(36 - g_N)^2}{2} \right]$	$1 - \frac{q_0}{g_N} \left[450 - \frac{(36 - g_N)^2}{2} \right]$
	$g_N[s] \geq 36$	$1 + \frac{q_0}{g_P} \cdot 450$	$1 - \frac{q_0}{g_N} \cdot 450$
gleitender <u>Vorlauf</u> ab 30s vor Beginn g_P	$g_N[s] \leq 36$	$1 + \frac{q_0}{g_P} \cdot (g_N - 6) \left(27 + \frac{g_N}{2} \right)$	$1 - q_0 \cdot \left(1 - \frac{6}{g_N} \right) \left(27 + \frac{g_N}{2} \right)$
	$g_N[s] \geq 36$	$1 + \frac{q_0}{g_P} \cdot 30(g_N + 9)$	$1 - q_0 \cdot 30 \left(1 + \frac{9}{g_N} \right)$
gleitender <u>Nachlauf</u> bis 30s nach Ende g_P , gleitender <u>Vorlauf</u> ab 30s vor Beginn g_P		$1 + \frac{q_0}{g_P} \cdot 30(g_N - 6)$	$1 - q_0 \cdot 30 \left(1 - \frac{6}{g_N} \right)$
gleitender <u>Nachlauf</u> bis 30s nach Ende g_P , <u>Zwischenphase</u> während g_N-36s , gleitender <u>Vorlauf</u> ab 30s vor Beginn g_P	$g_N[s] \leq 36$	$1 + \frac{q_0}{g_P} \cdot 30(g_N - 6)$	$1 - q_0 \cdot 30 \left(1 - \frac{6}{g_N} \right)$
	$g_N[s] \geq 36$	$1 + \frac{q_0}{g_P} \cdot 6(g_N + 114)$	$1 - q_0 \cdot 24 \left(1 + \frac{1.5}{g_N} \right)$

Leistung:

$s_P[\text{PWE/s}]$

ideale Sättigung des zum öffentlichen Verkehr freundlichen Individualverkehrs

$s_N[\text{PWE/s}]$

ideale Sättigung des zum öffentlichen Verkehr feindlichen Individualverkehrs

$$l_P[\text{PWE/s}] = s_P \cdot f_P \cdot \frac{g_P}{Z}$$

Leistung des zum öffentlichen Verkehr freundlichen Individualverkehrs

$$l_N[\text{PWE/s}] = s_N \cdot f_N \cdot \frac{g_N}{Z}$$

Leistung des zum öffentlichen Verkehr feindlichen Individualverkehrs

24. QUELLENANGABEN

Highway Capacity Manual, Special Report 209, Third Edition,
Transportation Research Board,
National Research Council, Washington, DC 1994

The prediction of saturation flows for road junctions controlled by traffic signals,
R.M. Kimber and M. McDonald and N.B. Hounsell (Southampton University)
Transportation and Road Research Laboratory, Department of transport,
Research Report 67, Crowthorne, Berkshire 1986

Calibrating SIDRA, (Second Edition, First Reprint)
R.Akcelik
Australian Road Research Board Ltd, Research Report No. 180, 1993

Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit
und der Qualität des Verkehrsablaufs auf Strassen,
Prof. W.Brilon, M.Grossmann, H.Blanke,
Forschung Strassenbau und Verkehrstechnik, Heft 669, 1994,
Herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Bonn-Bad Godesberg

Richtlinien für Lichtsignalanlagen RILSA,
Lichtzeitanlagen für den Strassenverkehr,
Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Köln, Ausgabe 1992

Schweizer Norm SN 640837 Lichtsignalanlagen Übergangszeiten und Mindestzeiten,
Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS, Mai 1992

Schweizer Norm SN 640838 Lichtsignalanlagen Zwischenzeiten,
Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS, Mai 1992

Schweizer Norm SN 640833 Lichtsignalanlagen Nutzen,
Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS, Mai 1996

Schweizer Norm SN 640834 Lichtsignalanlagen Phasentrennung,
Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS, Mai 1996

Nutzen einer Lichtsignalanlage,
P.Pitzinger,
Forschungsauftrag 15/92
auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS,
Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement,
Bundesamt für Strassenbau, Februar 1995

Phasentrennung bei Lichtsignalanlagen,
P.Pitzinger,
Forschungsauftrag 17/92
auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS,
Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement,
Bundesamt für Strassenbau, Februar 1995

Verkehrsmessungen bei Strassensperren oder bei Strasseneröffnungen
in ausgelasteten Strassennetzen,
P.Pitzinger,
Strasse und Verkehr 6/96,
Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS