

Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Radverkehrsanlagen

Christian Pestalozzi, dipl. Ing. ETH/SIA
Pestalozzi & Stäheli, 4052 Basel
Ingenieurbüro Umwelt Mobilität Verkehr
www.ps-ing.ch

Themen

- Einführung und Grundlagen
- Charakteristik Radverkehr
- Qualitätskriterien und Messgrößen für den Radverkehr
- Bewertungsverfahren für Radverkehrsanlagen

Was ist Leistungsfähigkeit?

Grundlage: VSS-Norm SN 640 017a

(Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit;
Grundlagennorm)

„Unter **Leistungsfähigkeit** einer Verkehrsanlage wird die grösstmögliche Verkehrsstärke verstanden, von der erwartet werden kann, dass sie einen Abschnitt dieser Anlage während eines gegebenen Zeitintervalls, bei gegebenen Strassen-, Verkehrs- und Betriebsbedingungen, durchfahren kann.“

Was ist Verkehrsqualität?

Gemäss VSS-Norm SN 640 017a:

- „Unter **Verkehrsqualität** wird der Grad der gegenseitigen Behinderungen der Verkehrsteilnehmer verstanden.“
- „Unter **Mass der Verkehrsqualität** werden die Kriterien verstanden, mit welchen sich die Behinderungen der Verkehrsteilnehmer beschreiben lassen.“
- „Eine bestimmte **Verkehrsqualitätsstufe** wird durch einen (oberen) Wert des Masses der Verkehrsqualität definiert.“

6 Verkehrsqualitätsstufen

(auch LOS: Level of service)

Qualitätsstufe	Ausprägung
Stufe A	Die einzelnen Verkehrsteilnehmer werden von den anderen nicht beeinflusst . Sie besitzen die von der Verkehrsanlage her mögliche Bewegungsfreiheit im vollen Umfang.
Stufe B	Die Anwesenheit anderer Verkehrsteilnehmer macht sich bemerkbar, bewirkt aber keine direkte Beeinträchtigung des Einzelnen. Ein leichter Einfluss auf die Bewegungsfreiheit und das Verhalten der Verkehrsteilnehmer ist jedoch festzustellen. Der Verkehrszustand ist äusserst stabil.
Stufe C	Der Verkehrszustand ist in jedem Fall stabil, aber die Beeinträchtigungen der Verkehrsteilnehmer untereinander nehmen zu. Das individuelle Fahrverhalten hängt nun in stärkerem Mass von dem Fahrverhalten der anderen Strassenbenutzer ab. Die Bewegungsfreiheit ist eingeschränkt , aber teilweise noch gegeben.
Stufe D	Der Verkehrsablauf ist gekennzeichnet durch hohe Belastungen mit deutlichen Beeinträchtigungen und Behinderungen in der Bewegung der Verkehrsteilnehmer. Interaktionen zwischen ihnen finden nahezu ständig statt. Noch immer ist aber eine Stabilität des Verkehrsflusses gewährleistet.
Stufe E	Der Verkehrsfluss wird instabil . Bei dieser Stufe wird die Leistungsfähigkeit erreicht . Dies bedeutet: Geringe Zunahmen in der Verkehrsstärke können zum Zusammenbruch bzw. Abbruch des Verkehrsflusses führen. Die Verkehrsqualität kann plötzlich auf ein deutlich niedrigeres Niveau abfallen. Es gibt keine Bewegungsfreiheit für die einzelnen Verkehrsteilnehmer mehr. Es treten ständige gegenseitige Behinderungen zwischen den Verkehrsteilnehmern auf.
Stufe F	In diesem Verkehrszustand ist auf der Verkehrsanlage die Nachfrage grösser als die grösstmögliche Verkehrsstärke, d.h. die Leistungsfähigkeit. Dies bedeutet: Die Verkehrsströme fliessen nur noch mit einem sehr geringen Qualitätsniveau. Es bilden sich wachsende Fahrzeugkolonnen. Die Verkehrsanlage ist überlastet . Der Verkehr bricht zusammen.

Was ist Verkehrsqualität?

Mögliche **Messgrößen/Kriterien** der Verkehrsqualität:

- Geschwindigkeiten
- Reisezeiten
- Überholmöglichkeiten
- Wartezeiten
- Auslastungsgrad
- Anzahl Halte
- Weitere je nach Element

„Unter **zugeordneter Verkehrsstärke** wird die höchste Verkehrsstärke verstanden, die einen Querschnitt der Verkehrsanlagen pro Zeitintervall durchfahren kann, ohne dass sich die Verkehrsqualität über die gewählte Verkehrsqualitätsstufe hinaus verschlechtert.“

Vorhandene Bemessungsgrundlagen im VSS Normenwerk

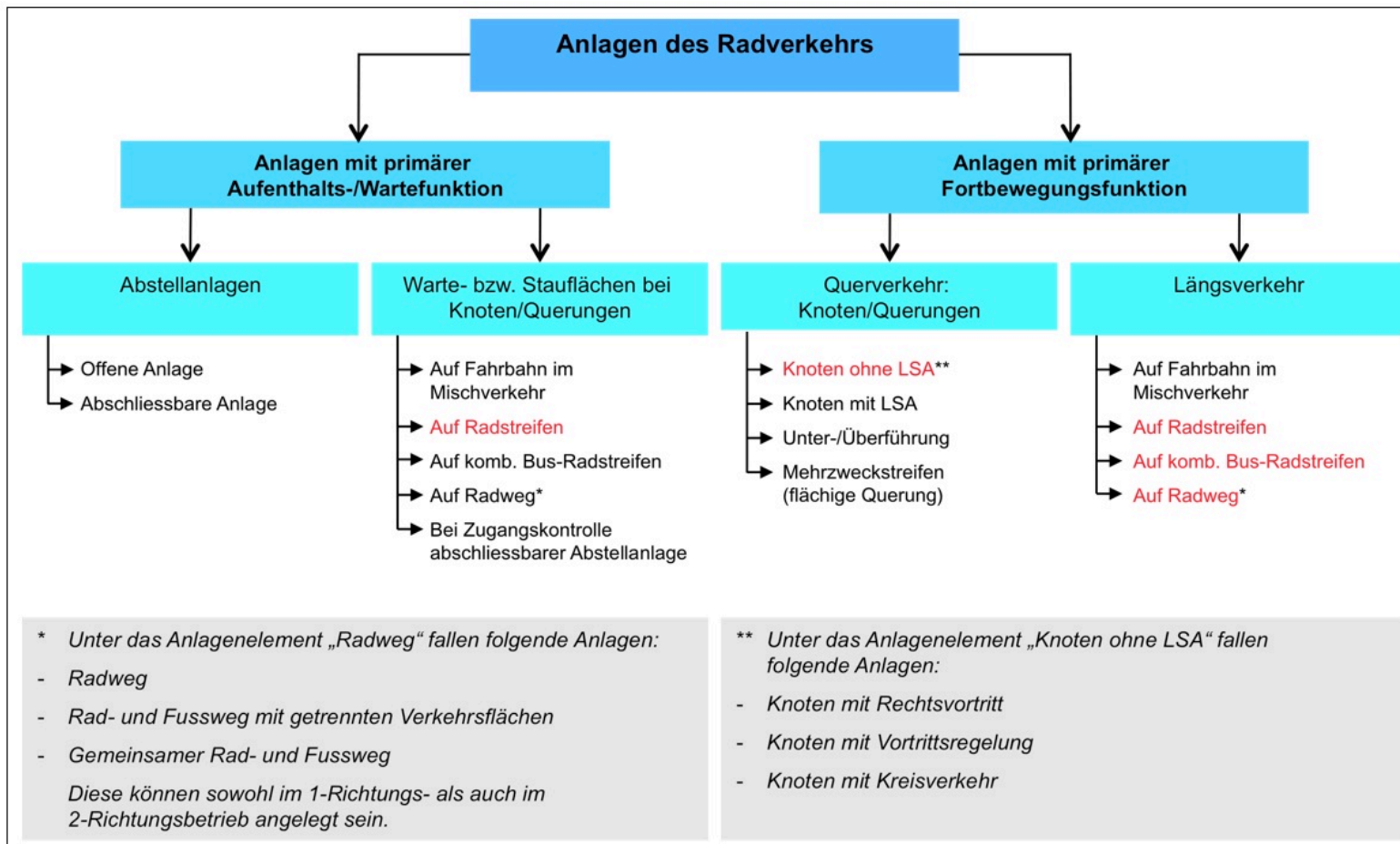
Norm	Anlagenart	Qualitätskriterium (Mass Verkehrsqualität)
SN 640 017a	Grundlagennorm	
SN 640 018a	Freie Strecke auf Autobahnen	Auslastungsgrad
SN 640 019	Einfahrten in Hochleistungsstrassen	Auslastungsgrad
SN 640 020	Hauptverkehrs- und Verbindungsstrassen	Verkehrsdichte
SN 640 022	Knoten ohne LSA	Mittlere Wartezeit
SN 640 023	Knoten mit LSA	Mittlere Wartezeit
SN 640 024a	Knoten mit Kreisverkehr	Mittlere Wartezeit

➔ Sämtliche Normen sind nur auf den
Motorisierten Individualverkehr ausgerichtet!

Fehlende Bemessungsgrundlagen

- Für Radverkehr: bislang keine Bemessungsgrundlagen vorhanden
- Forschung VSS 2007/305 und 306 im Gang zu den Themen
 - Öffentlicher Verkehr
 - Radverkehr
 - Fussverkehr
- Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr
 - Bislang werden Verkehrsmittel jeweils für sich betrachtet – keine multimodale Betrachtung
 - Vorstudie von Scherer (2010) im Auftrag des SVI 2007/005
 - Vorstudie besagt: Multimodale Betrachtung setzt voraus, dass zuvor für jeweils einzelne Verkehrsmittel Bemessungsgrundlagen vorhanden

Forschung: Relevante Radverkehrsanlagen



Themen

- Einführung und Grundlagen
- **Charakteristik Radverkehr**
- Qualitätskriterien und Messgrößen für den Radverkehr
- Bewertungsverfahren für Radverkehrsanlagen

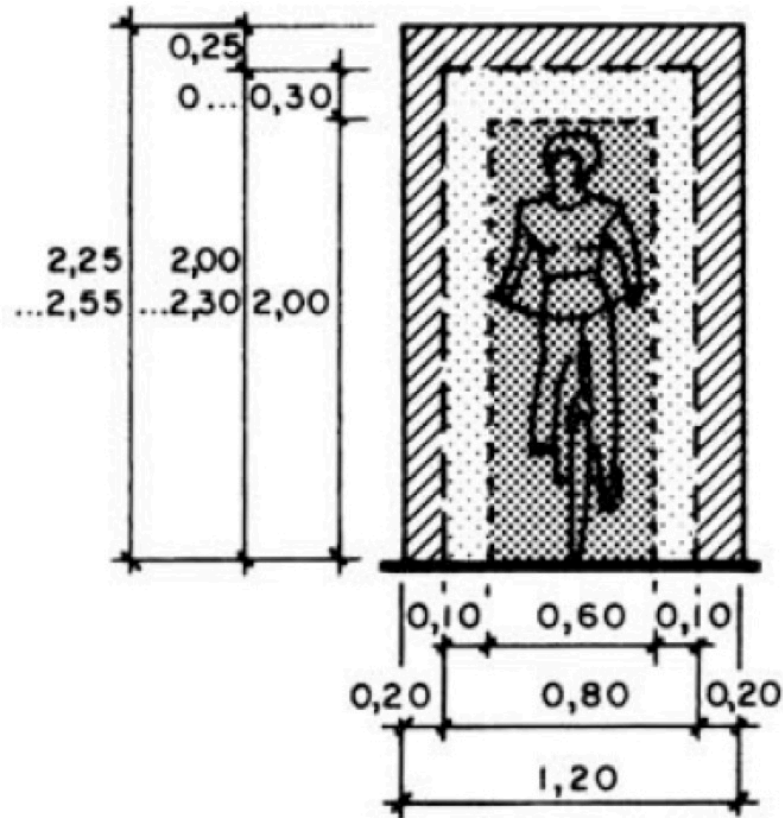
Nutzergruppen

- Verkehrsverhalten Radfahrer wird beeinflusst durch
 - Ausgestaltung der Verkehrsanlage
 - technischen Möglichkeiten der leichten Zweiräder
 - Fahrkönnen der Radfahrer (bedeutend stärker als bei MIV)
 - Einsatzzweck des Radfahrens (bedeutend stärker als bei MIV)
- Fahrkönnen wird beeinflusst durch
 - körperliche Konstitution
 - Verkehrsausbildung
 - Erfahrung
 - Grundhaltung (Selbstvertrauen, Ängstlichkeit)
- Radfahrende mit gleicher körperlicher Konstitution, Verkehrsausbildung, Erfahrung und Grundhaltung werden in Benutzergruppen zusammengefasst. Dabei spielt das Alter meist eine zentrale Rolle.

Verkehrszwecke

- Verkehrszweck = Zweck der Verkehrsteilnahme
 - Arbeitsweg
 - Einkaufen
 - Transport
 - Reisen, Freizeit
 - Schulweg, Spiel
- Routen für Radverkehr werden unterschieden in
 - Alltagsverkehr
 - möglichst geringe Reisezeit in Bezug auf den Reiseweg A nach B (Pendler)
 - Kriterium: Abweichung von der gewünschten Reisezeit
 - Bedürfnisse variabel je nach Benutzergruppe
 - Freizeitverkehr
 - möglichst grosse Benutzerfreundlichkeit
 - Qualitätsbeurteilung vorwiegend subjektiv
 - Deswegen: Zusammenhang mit Verkehrsmenge schwer herstellbar

Flächenbedarf



Geometrisches Normalprofil gemäß VSS-Norm SN 640 201

Lichte Breite Radfahrer:

- Grundabmessung: 0.60 m
- Bewegungsspielraum:
 - normal: 0.10 m
 - in Steigungen: 0.20 bis 0.40 m
- Sicherheitszuschlag: 0.20 m
- Gesamte lichte Breite bei Steigungen < 4%: 1.20 m

Begegnungsfälle mit RF und MIV:
Zuschlag notwendig:

- 0 bis 30 km/h: 0.00 m
- ab 30 bis 50 km/h: 0.20 m
- ab 50 km/h: 0.50 m

Flächenbedarf

Ausgehend von den Normangaben in SN 640 201 werden in der Schweiz häufig folgende Abmessungen für Radverkehrsanlagen angewendet:

Anlage	Minimal	Normal	Maximal
Radstreifen	1.25 m	1.50 m	1.80 m
Radweg			
<i>1-Richtungsverkehr</i>	1.50 m	2.00 m	2.50 m
<i>2-Richtungsverkehr</i>	2.50 m	3.00 m	3.50 m
Gemeinsamer Rad- und Fussweg			
<i>1-Richtungsverkehr</i>	2.50 m	3.00 m	3.50 m
<i>2-Richtungsverkehr</i>	3.00 m	3.50 m	4.00 m
Kombinierter Bus- und Radstreifen			
<i>ohne Überholmöglichkeit für Bus</i>		3.00 m	
<i>mit Überholmöglichkeit für Bus</i>		≥ 4.00 m	
Ausgeweiteter Radstreifen	L = 3.00 m	L = 4.00 m	L = 5.00 m

Geschwindigkeitsverhalten

- USA: Highway Capacity Manual HCM2000
 - Radstreifen: Geschwindigkeiten zwischen 12 und 20 km/h, Standardabweichung von ± 1.5 bis 4.5 km/h
 - Radwege: Durchschnittsgeschwindigkeit von 18 km/h, Standardabweichung von ± 3 km/h
- D: Bundesanstalt für Strassenwesen bast (2003)
 - Radweg: Durchschnittsgeschwindigkeit 17 km/h
- CH: VSS Forschungsvorhaben 2007/306 (laufend)
 - Geschwindigkeit stark abhängig von Neigung, Anlagenart und Nutzergruppe
 - Radweg (Breite 2.40 m): 12.4 km/h bei hoher Steigung (8%)
 - Radstreifen mit vorw. Pendlerverkehr: 25.9 km/h bei geringem Gefälle (2%)
 - Standardabweichung: $\pm 5 - 7$ km/h

Themen

- Einführung und Grundlagen
- Charakteristik Radverkehr
- **Qualitätskriterien und Messgrößen für den Radverkehr**
- Bewertungsverfahren für Radverkehrsanlagen

Qualität der Verkehrsanlage

**Bedürfnisse Benutzergruppe
+ Bedürfnisse Verkehrszweck
= Wünsche an Qualität**

- ➔ Resultierend aus unterschiedlichen Anforderungen an Reisegeschwindigkeit, Breitenbedarf, Abstandsverhalten, Umfeldqualität usw.
- ➔ Geschwindigkeit oder Reisezeit als ausschlaggebendes Kriterium greift zu kurz!

Erweiterung des Begriffs Verkehrsqualität

Scherer erweitert den Begriff der Verkehrsqualität in der Forschung
„Multimodale Verkehrsqualitätsstufen“:

„Unter **Verkehrsqualität** wird **die vom Verkehrsteilnehmer wahrgenommene und beurteilte Güte des Verkehrsablaufs** verstanden.“
(bisher gemäss Norm: „Grad der gegenseitigen Behinderung“)

Die Verkehrsqualität des Radverkehrs für ein Anlagenelement bestimmt sich demnach als Kombination der Einflussfaktoren:

- Zeit
- Raum
- Behinderungen
- Zuverlässigkeit
- Verfügbarkeit
- Benutzerfreundlichkeit

Qualitätskriterien für den Radverkehr

In der Literatur sind umfangreiche Informationen zu den Qualitätskriterien für die Beschreibung der Verkehrsqualität vorhanden:

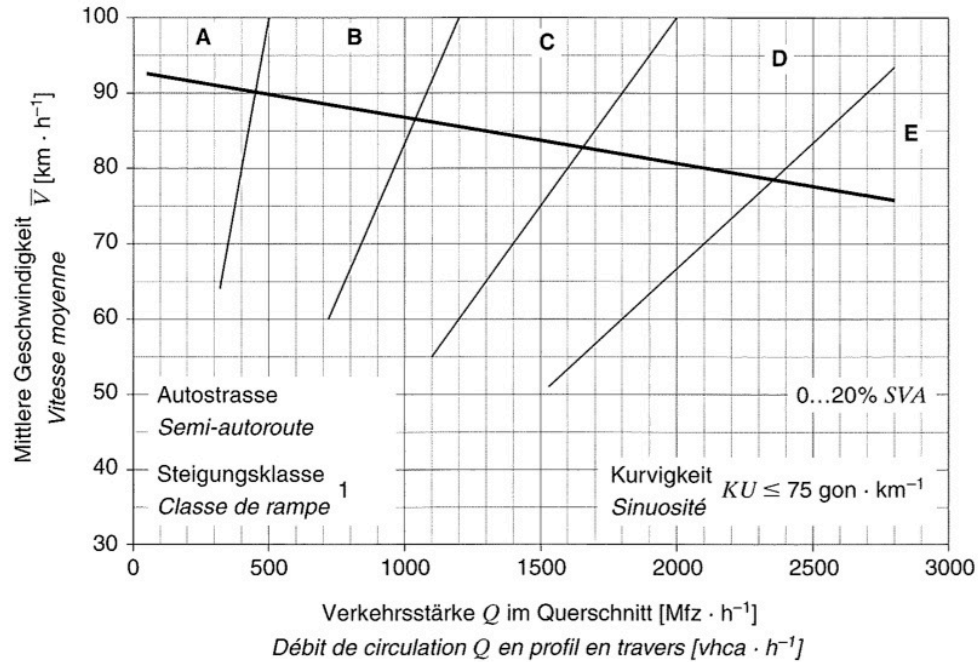
- Zeit (z.B. Direktheit, Wartezeiten, **Geschwindigkeit**)
- Raum (z.B. zugewiesener Raum)
- Behinderungen (z.B. **Behinderungen durch andere Verkehrsteilnehmer**)
- Zuverlässigkeit (z.B. Homogenität, Reisezeit)
- Verfügbarkeit (z.B. Verfügbarkeit einer Anlage)
- Benutzerfreundlichkeit (z.B. Orientierung, Einfluss der Umgebung)

Vgl. Qualitätsanforderungen im Handbuch
„Planung von Velorouten“ (ASTRA 2008)

Qualitätskriterien für den Radverkehr

Eignung der Kriterien – Beispiele

- **Kriterium Behinderungen**
 - Anzahl der Behinderungen pro Zeiteinheit oder Streckenlänge aus Überholen, Gegenverkehr, Bremsen
 - Ergibt sich aus Geschwindigkeitsverteilung und Verkehrsmenge
 - Geeignet, da Gesamtheit der unterschiedlichen Verhalten berücksichtigt werden können
- **Kriterium Geschwindigkeit**
 - Z. B.: effektive Fahrgeschwindigkeit, durchschnittliche Reisezeit
 - Ungeeignet, da RF sehr unterschiedliche Bedürfnisse/Möglichkeiten haben, ≠ MIV: alle MIV fahren i.d.R signalisierte Geschwindigkeit
 - Anhand der gefahrenen Geschwindigkeit lässt sich beim MIV der Grad der Behinderung ablesen – nicht so beim Radverkehr

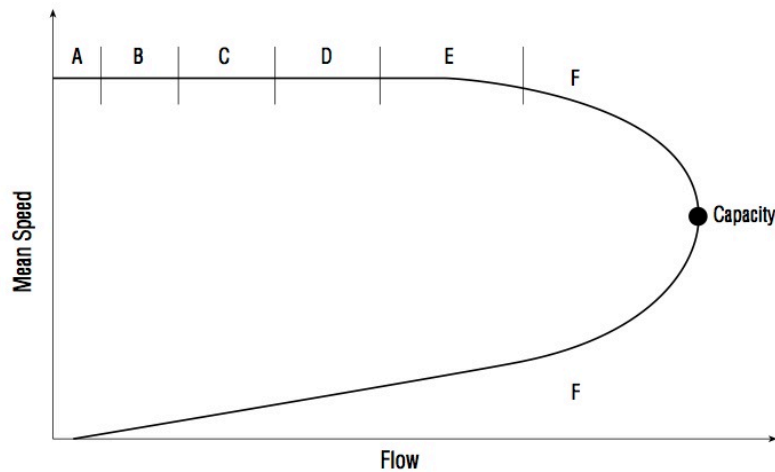


Motorisierter Individualverkehr MIV

SN 640 020a

Mittlere Geschwindigkeit v in Abhängigkeit der Verkehrsstärke Q

→ Q hat bereits früh und kontinuierlich Einfluss auf v



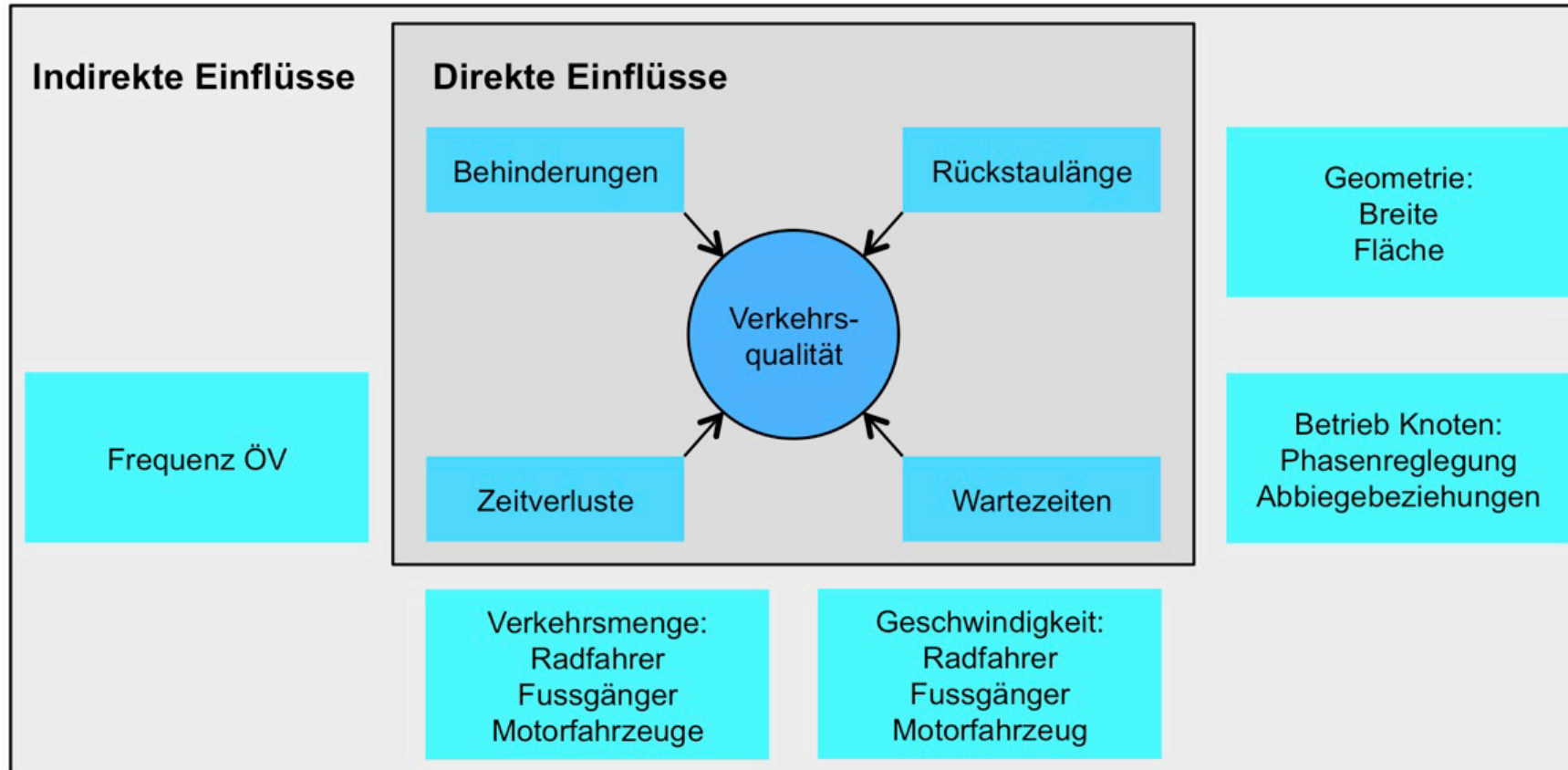
Radfahrer RF

HCM2000

Mittlere Geschwindigkeit v in Abhängigkeit der Verkehrsstärke Q

→ Q (Flow) hat erst sehr spät Einfluss auf v (mean speed)

Relevante Einflussfaktoren



Kombination mit qualitativen Kriterien?
Gesamtbeurteilung?

Einflussfaktoren je nach Anlage

Anlage	Direkte Einflussfaktoren	Indirekte Einflussfaktoren
Warteraum bei Knoten mit LSA auf Radstreifen	Rückstaulänge [m] (als Mass für den Zeitverlust bei der Abfahrt)	Verkehrsmenge Radfahrer [RF/h] Dauer Rotphase [s] Fläche Warteraum[m ²]
Radweg-Querung ohne LSA	Mittlere Wartezeit [s]	Verkehrsmenge Radfahrer [RF/h] Verkehrsmenge Querverkehr [Fz/h] Breite Radweg [m]
Radweg, Fuss- und Radweg	Anzahl Behinderungen durch - Begegnungen - Verzögerungen oder - Zeitanteile Freie Fahrt	Verkehrsmenge Radfahrer [RF/h] Verkehrsmenge Fussgänger [FG/h] Geschwindigkeit Radfahrer [km/h] Geschwindigkeit Fussgänger [km/h] Breite Radweg/Fuss- und Radweg [m]
Radstreifen	Anzahl Behinderungen durch - Begegnungen - Verzögerungen oder - Zeitanteile Freie Fahrt	Verkehrsmenge Radfahrer [RF/h] Verkehrsmenge Motorfahrzeuge [Mfz/h] Geschwindigkeit RF/Mfz [km/h] Breite Radstreifen [m] Breite Fahrstreifen MIV [m]
Kombinierte Bus- und Radstreifen	Anzahl Behinderungen durch - Begegnungen - Zeitverluste oder - Zeitanteile Freie Fahrt	Verkehrsmenge Radfahrer [RF/h] Frequenz Bus [Bus/h] Haltestellenabstand Geschwindigkeit RF/Bus[km/h] Breite Bus-/Radstreifen [m]

Themen

- Einführung und Grundlagen
- Charakteristik Radverkehr
- Qualitätskriterien und Messgrößen für den Radverkehr
- **Bewertungsverfahren für Radverkehrsanlagen**

Warteraum bei Knoten mit LSA

Betrachtungsgegenstand

- Knoten mit LSA mit zuführendem Radstreifen
- Knoten mit LSA mit ausgeweitetem Radstreifen
- Bislang keine Grundlagen zur Bemessung vorhanden

Messgrösse für VQ: Rückstaulänge L

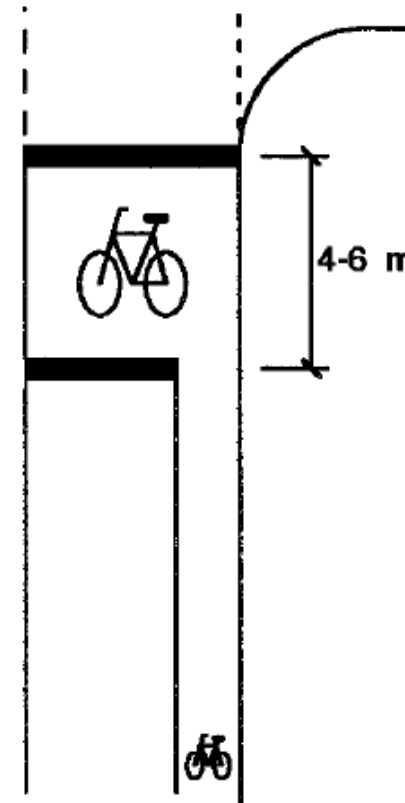
$$L_{\text{Rückstau}} = f(Q_{\text{RF}}, t_{\text{Rot}}, B, A)$$

mit Q_{RF} = Verkehrsmenge Radfahrer [Rf/h]

t_{Rot} = Dauer Rotphase [s]

B = Breite Radstreifen [m]

A = Fläche ausgeweiteter Radstreifen [m²]



Warteraum bei Knoten mit LSA

Erhebungsmethode

- Videobeobachtung
- Breite des Radstreifens bzw. Fläche der Ausweitung
- Hilfsmittel für Beobachtung: Markierungen im Abstand von 1.00 m
- Erfasste Parameter:
 - Dauer der Rotphase in s
 - Dauer der Grünphase in s
 - Anzahl der RF, die bei Grün fahren
 - Anzahl der RF, die bei Rot halten
 - Anzahl der RF, die das Rotsignal missachten
 - Länge des Rückstaus in m
 - Dauer der Räumzeit in s



Warteraum bei Knoten mit LSA

Ergebnisse der Erhebung

Grundsätzlich

- Keine ausreichende Anzahl von Radfahrenden an verschiedenen Radverkehrsanlagen im Rahmen der Videoaufnahmen zu beobachten
- Voraussetzungen für Zusammenstellung notwendiger Daten und damit aussagekräftiger Resultate in der Schweiz nur unzulänglich möglich
- Somit keine statistisch fundierten Aussagen zu Qualitätsstufen möglich

Warteraum bei Knoten mit LSA



Warteraum in Kopenhagen – andere Verhältnisse als in der Schweiz

Warteraum bei Knoten mit LSA

Ergebnisse der Erhebungen

Viertelstundenwert

- Kann sinnvoll sein bei starken Schwankungen innerhalb der Spitzenstunde für die Ermittlung der massgebenden Verkehrsmenge zur Berechnung der Verkehrsqualität
- Der 4-fache 1/4h-Wert liegt 30 % über 1h-Wert
- Deckt sich mit den Erkenntnissen aus deutscher Forschung (bast 2003)
- Zum Vergleich MIV: 20% gemäss SN 640 023

Halten beim Rotlicht

- In Realität halten beim Rotlicht an Lichtsignalanlagen weniger Radfahrer als theoretisch anzunehmen ist (ca. 55-85%).
- Gründe: Anpassung Geschwindigkeit, um nicht anzuhalten/abzusteigen
- **Dadurch wird Berechnung der Anzahl der wartenden Velos aus der Verkehrsmenge schwierig!**

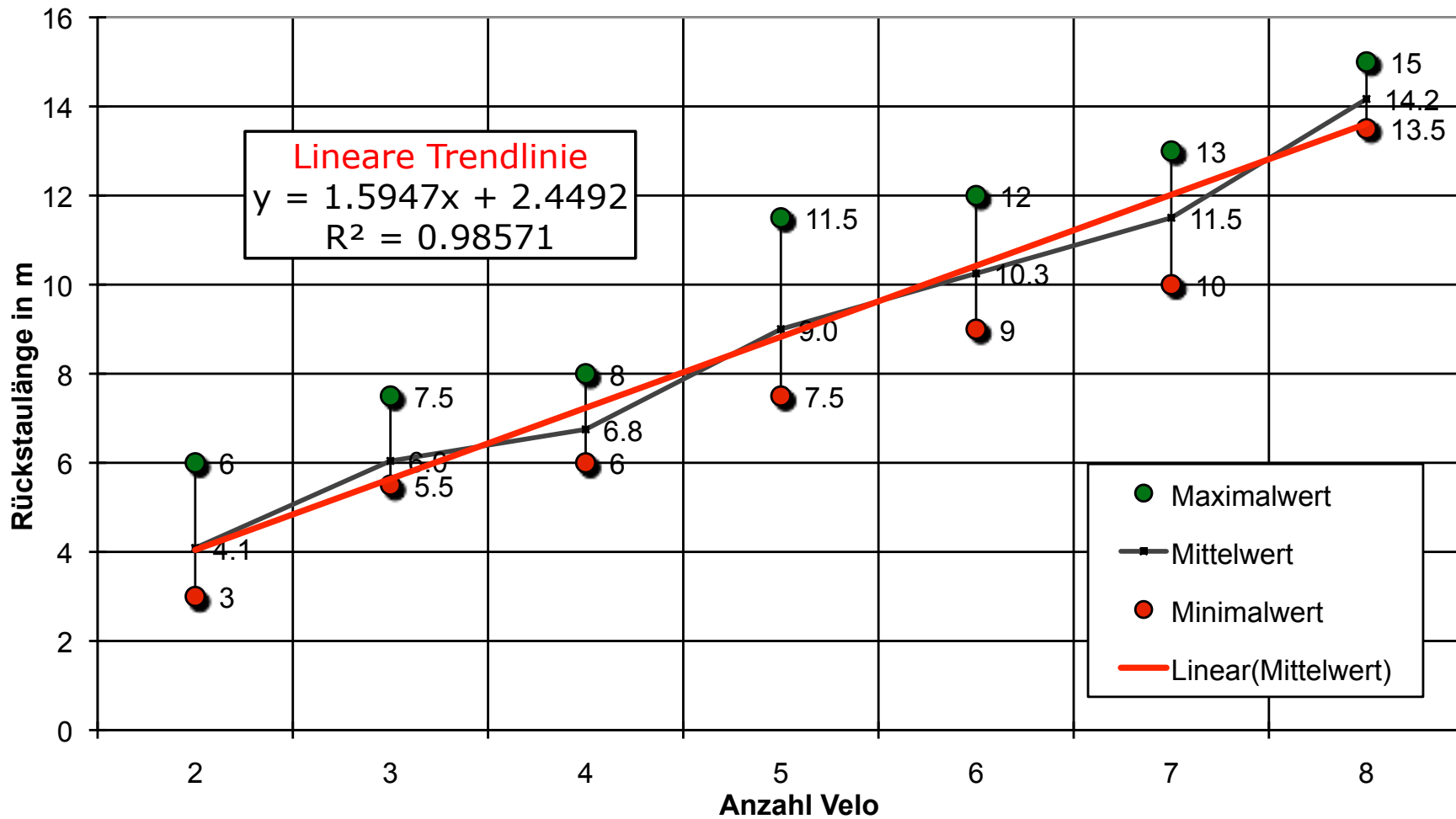
Warteraum bei Knoten mit LSA

Ergebnisse der Erhebungen

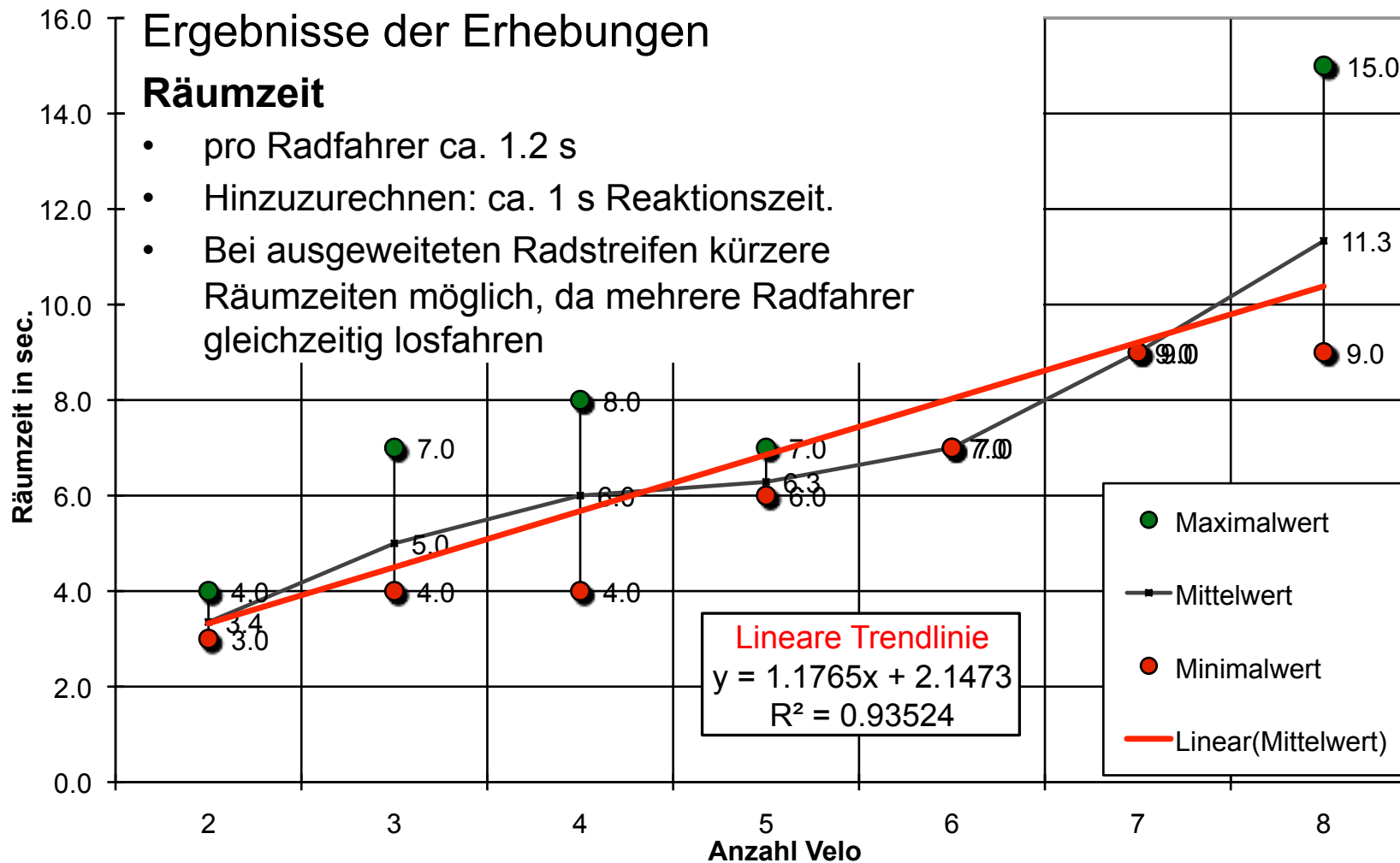
Rückstaulänge

- Zur Erinnerung - Geometrisches Normalprofil (SN 640 201)
lichte Breite Radfahrer: 1.20 m; Länge ca. 2.00 m
- Radstreifen
 - ca. 1.50 m Breite → Rückstaulänge ca. 1.60m pro Radfahrer
→ teilweise nebeneinander aufstellen
 - Je schmaler der zur Verfügung stehende Wartebereich, umso geringer die Bereitschaft, sich nebeneinander aufzustellen.
- Ausgeweitete Radstreifen
 - 4 x 4 m Fläche → bis zu 5 Radfahrern im ausgeweiteten Bereich
 - Nutzung der Fläche vom Verhalten der Autofahrer beeinflusst:
verunmöglichen es teilweise
 - Bei anschließende Radstreifenbreite von ca. 1.00 m → Rückstaulänge pro Radfahrer 2.00 m.

Warteraum bei Knoten mit LSA



Warteraum bei Knoten mit LSA



Warteraum bei Knoten mit LSA

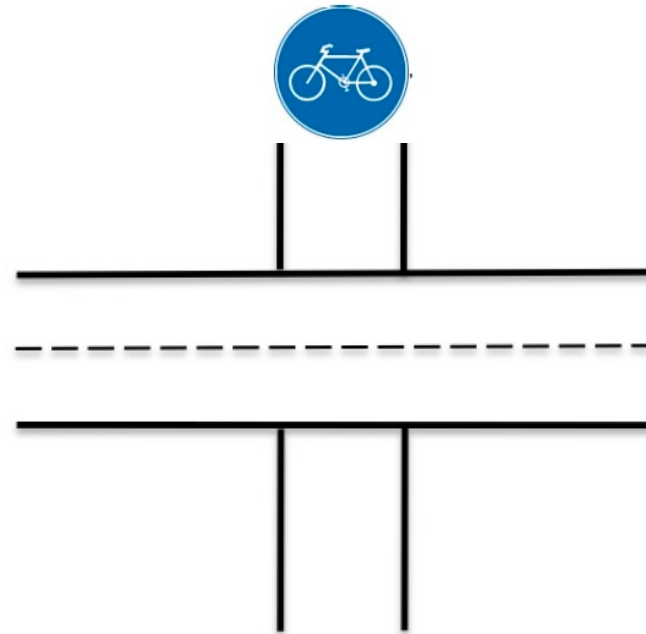
Fazit

- Formel zur Berechnung der Anzahl wartender Velos schwierig
- Rückstaulänge in Abhängigkeit der Anzahl wartender Velos für Radstreifen mit $B = 1.50$ m bekannt
- Räumzeit in Abhängigkeit der Anzahl wartender Velos für Radstreifen mit $B = 1.50$ m bekannt
- Angaben jedoch statistisch ungenügend abgesichert
- Fundierte Aussagen zu Qualitätsstufen nicht möglich

Radweg-Querung ohne LSA

Betrachtungsgegenstand

- Querung ohne LSA eines unabhängig geführten Radweges über eine Strasse
- Vorhandene Bemessungsgrundlagen
 - USA: HCM2000
 - D: bast 2003
- Wartezeit als massgebender Faktor
- Mögliche Methode: Grenzzeittheorie für Knoten ohne LSA gemäss VSS-Norm SN 640 022

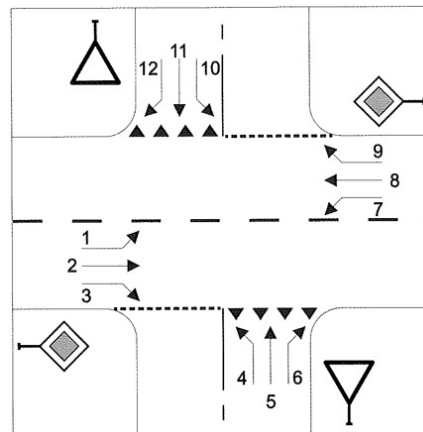


Messgrösse ist mittlere Wartezeit w (s)

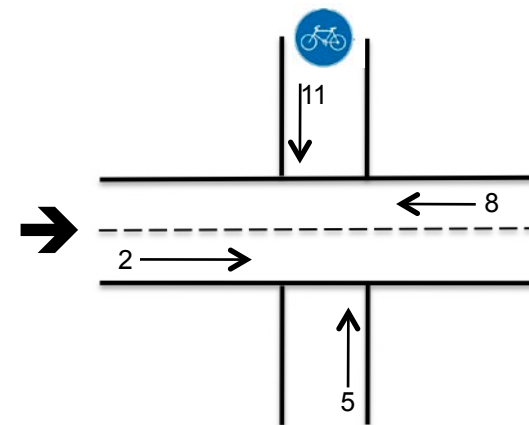
Radweg-Querung ohne LSA

Vorgehen zur Ermittlung der Verkehrsqualität einer Radwegquerung

Schritt 1:
Relevante Ströme festlegen



Bezeichnung der Verkehrsströme gemäss SN 640 022



Übertragen auf relevante Situation (abbiegende Velos vernachlässigt)

Schritt 2:
Ermittlung der massgebenden Hauptstrombelastung
(Hauptströme = vortrittsberechtigende Ströme):

$$q_{p5} = q_{p11} = q_2 + q_8$$

Radweg-Querung ohne LSA

Schritt 3:

Zur Ermittlung der Verkehrsqualität für den Motorfahrzeugverkehr werden die verschiedenen Fahrzeugtypen in sogenannte Personenwageneinheiten PWE umgerechnet, da ein Lastwagen zum Kreuzen länger braucht als ein PW.

Beim Radverkehr wird eine analoge Umrechnung in Radfahrereinheiten RFE für das (teilweise) nebeneinander Aufstellen eingeführt:

$$q \text{ (RFE)} = f * q \text{ (RF)}$$

Mit folgenden Annahmen:

Umrechnungsfaktor für Radweg mit Breite 1.50 m: $f = 0.8$

Umrechnungsfaktor für Radweg mit Breite 2.50 m: $f = 0.5$

Die weiteren Schritte beruhen auf der Annahme, dass die Grenz- und Folgezeitlücken für den Radverkehr identisch mit denjenigen für den Motorfahrzeugverkehr sind.

Radweg-Querung ohne LSA

Schritt 4:

Grundleistungsfähigkeit G anhand Diagramm ablesen (SN 640 022; PWE statt RFE)

Schritt 5:

Maximale Leistungsfähigkeit entspricht Grundleistungsfähigkeit (bei Vernachlässigung abbiegender Velos)

$$L = G$$

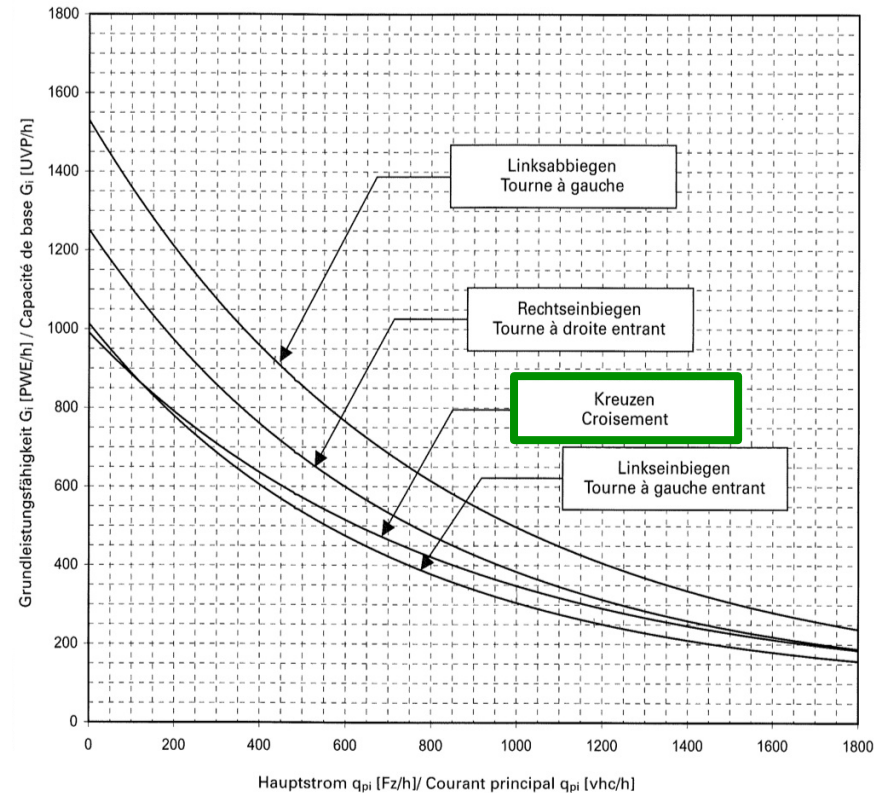
mit $L = \text{Leistungsfähigkeit (RFE/h)}$
 $G = \text{Grundleistungsfähigkeit (RFE/h)}$

Schritt 6:

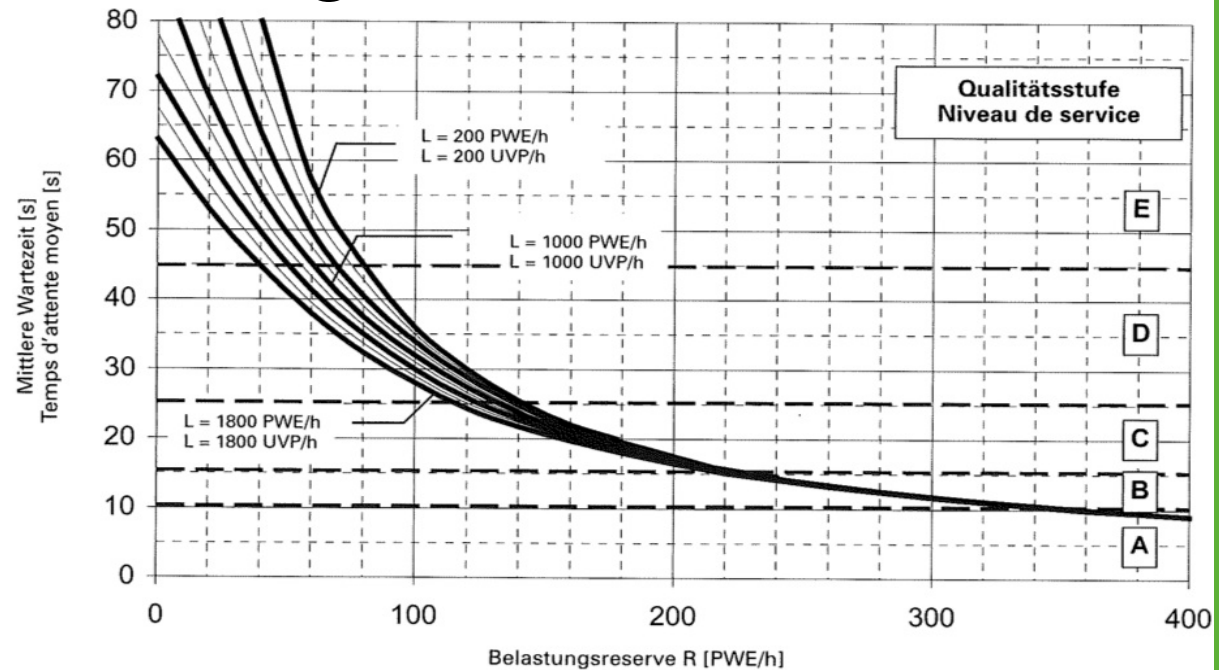
Leistungsreserve R

$$R = L - q$$

mit $R = \text{vorhandene Belastungsreserve (RFE/h)}$
 $q = \text{vorhandene Verkehrsstärke (RFE/h)}$
 $L = \text{Leistungsfähigkeit (RFE/h)}$



Radweg-Querung ohne LSA



Schritt 7:

Mittlere Wartezeit w ermitteln

$$w = f(L, R)$$

mit f = gemäss Diagramm (PWE statt RFE)
 R = vorhandene Belastungsreserve (RFE/h)
 L = Leistungsfähigkeit (RFE/h)

Radweg-Querung ohne LSA

Schritt 8:

Qualitätsstufe ermitteln anhand Tabelle (SN 640 022, S. 10)

Qualitätsstufe	Mittlere Wartezeit w (s)	Beurteilung
A	< 10	Sehr gut
B	10-15	Sehr gut
C	15-25	Gut
D	25-45	Ausreichend
E	> 45	Kritisch

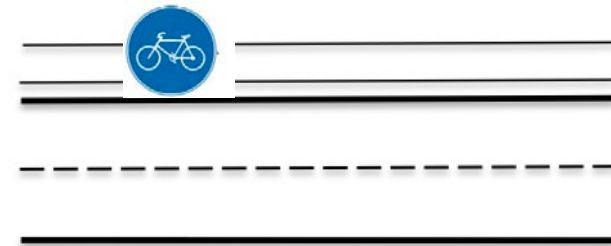
Radweg

Betrachtungsgegenstand

- Radweg
- Vorhandene Bemessungsgrundlagen
 - USA/HCM2000: Anzahl Behinderungen durch Überhol- und Begegnungsvorgänge
 - D/bast 2003: Anteile pro Zeiteinheit „Freie Fahrt“
 - Problem: zugrunde gelegte Durchschnittsgeschwindigkeit USA und D

Messgrösse ist Anzahl Behinderungen

- Behinderung als Resultat von Überhol- und Begegnungsvorgängen
- Behinderungen sind abhängig von
 - Regime (1- oder 2-Richtungsradweg)
 - Verkehrsmenge RF
 - Richtungsanteil RF
 - Geschwindigkeitsverteilung
 - Radwegbreite



Radweg

HCM 2000: LOS basiert auf einer Anzahl von Begegnungs- und Vorbeifahvents

Formel für Zweirichtungsrادweg gemäss HCM2000

$$F_p = 0.188 * q_s$$

$$F_m = 2 * q_o$$

$$F = 0.5 * F_m + F_p$$

F_p = Anzahl Überholvorgänge pro Stunde

F_m = Anzahl Begegnungsfälle pro Stunde

F = Total Anzahl Interaktionen pro Stunde

q_s = Anzahl Radfahrende in Betrachtungsrichtung pro Stunde

q_o = Anzahl Radfahrende in Gegenrichtung pro Stunde

Annahmen

- 2-spurige Radwege: Breite = 2.4 m,
- 3-spurige Radwege: Breite = 3.0 m
- Durchschnittsgeschwindigkeit 18 km/h, Standardabweichung 3 km/h
- Beinhaltet nicht die Auswirkungen seitlichen Hindernissen und anderen Faktoren
- Analyse basiert auf 15-Minuten Spitzenbelastung

Radweg

Level of Service für Radweg gemäss HCM2000

LOS	Frequency of Events 2-Way, 2-Lane-Paths (Events/h)	Frequency of Events 2-Way, 3-Lane-Paths (Events/h)
A	< 40	< 90
B	> 40 - 60	> 90 - 140
C	> 60 - 100	> 140 - 210
D	> 100 - 150	> 210 - 300
E	> 150 - 195	> 300 - 375
F	> 195	> 375

Radweg

Bast 2003: basiert auf dem Anteil frei fahrender Radfahrer

Eingangsgrösse zur Ermittlung LOS ist Verkehrsstärke q (Radfahrer/h Fahrstreifen)

→ Werte basieren auf umfangreichen Simulationen

Annahmen

- Einrichtungsrادweg
- Breite 1.50 m
- Durchschnittsgeschwindigkeit 17 km/h

Radweg

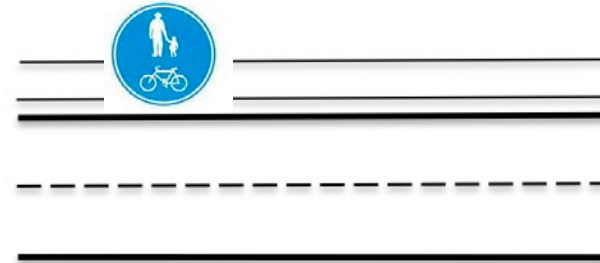
Qualitätsstufen für Radweg mit Einrichtungsbetrieb gemäss
 bast 2003

QSV	Q RF/h auf Fahrstreifen	Anteil frei fahrender RF in % bei angegebener Verkehrsstärke q	K (Dichte in RF/km)	Richtungsänderungen (Ausweichen, Überholen) mit Geschwindigkeitsreduzierung je km
A	< 150	> 95	< 10	< 1
B	< 300	91 - 95	< 18	< 3
C	< 550	81 - 90	< 32	< 5
D	< 1.000	71 - 80	< 60	> 10
E	> 1.000	< 71	> 60	
F	Real nicht existent			

Rad- und Fussweg

Betrachtungsgegenstand

- Rad- und Fussweg
- Vorhandene Bemessungsgrundlage
 - USA/HCM2000: Anzahl Behinderungen durch Überhol- und Begegnungsvorgänge
RF – RF, RF – FG
 - Problem: zugrunde gelegte Durchschnittsgeschwindigkeit USA



Messgrösse ist Anzahl Behinderungen

- Behinderung als Resultat von Überhol- und Begegnungsvorgängen
- Behinderungen sind abhängig von
 - Regime (1- oder 2-Richtungsradweg)
 - Verkehrsmenge RF und FG
 - Richtungsanteil RF und FG
 - Geschwindigkeitsverteilung RF und FG
 - Rad- und Fusswegbreite

Rad- und Fussweg

LOS basiert auf einer Anzahl von Begegnungs- und Vorbeifahrevents

Formel für Rad- und Fussweg mit Zweirichtungsverkehr gemäss HCM2000

$$F_p = 3q_{ps} + 0.188 \cdot q_{bs}$$

$$F_m = 5q_{po} + 2 \cdot q_{bo}$$

$$F = 0.5 \cdot F_m + F_p$$

F_p = Anzahl Überholvorgänge pro Stunde

F_m = Anzahl Begegnungsfälle pro Stunde

F = Total Anzahl Interaktionen pro Stunde

q_{ps} = Anzahl Fussgänger in Betrachtungsrichtung pro Stunde

q_{bs} = Anzahl Radfahrende in Betrachtungsrichtung pro Stunde

q_{po} = Anzahl Fussgänger in Gegenrichtung pro Stunde

q_{bo} = Anzahl Radfahrende in Gegenrichtung pro Stunde

Annahmen

- 2-spurige Rad- und Fusswege: Breite = 2.4 m
- 3-spurige Rad- und Fusswege: Breite = 3.0 m
- Durchschnittsgeschwindigkeit RF 18 km/h, Standardabweichung 3 km/h
- Durchschnittsgeschwindigkeit FG 4.5 km/h
- Beinhaltet nicht die Auswirkungen seitlichen Hindernissen und anderen Faktoren
- Analyse basiert auf 15-Minuten Spitzenbelastung

Rad- und Fussweg

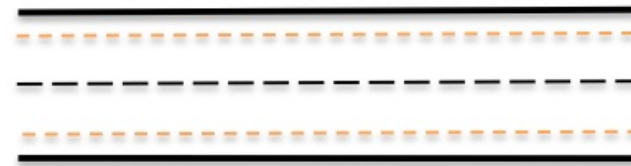
Level of Service für Rad- und Fussweg gemäss HCM2000

LOS	Frequency of Events 2-Way, 2-Lane-Paths (Events/h)	Frequency of Events 2-Way, 3-Lane-Paths (Events/h)
A	< 40	< 90
B	> 40 - 60	> 90 - 140
C	> 60 - 100	> 140 - 210
D	> 100 - 150	> 210 - 300
E	> 150 - 195	> 300 - 375
F	> 195	> 375

Radstreifen

Betrachtungsgegenstand

- Radstreifen
- Vorhandene Bemessungsgrundlagen
 - USA/HCM2000: Anzahl Behinderungen durch Überholvorgänge
 - Problem: zugrunde gelegte Durchschnittsgeschwindigkeit USA



Messgrösse ist Anzahl Behinderungen

- Behinderung als Resultat von Überholvorgängen
- Behinderungen sind abhängig von
 - Verkehrsmenge RF und Mfz
 - Geschwindigkeitsverteilung RF und Mfz
 - Fahrstreifenbreite
 - Radstreifenbreite

Radstreifen

LOS basiert auf einer Anzahl von Behinderungen

Formel für Radstreifen gemäss HCM2000

$$\text{Number of Events} = \frac{2 * \text{Bicycle Flow Rate} * \text{Standard Deviation}}{\text{Mean Bicycle Speed} * \sqrt{\pi}}$$

Annahmen

- Radstreifenbreite = 1.20 m bis 1.80 m
- Durchschnittsgeschwindigkeit RF 18 km/h,
- Standardabweichung Freizeitverkehr 4.5 km/h
- Standardabweichung Nuttermischung 3.0 km/h
- Standardabweichung Pendlerverkehr 1.5 km/h
- Beinhaltet nicht die Auswirkungen seitlichen Hindernissen und anderen Faktoren
- Analyse basiert auf 15-Minuten Spitzenbelastung
- LOS basiert auf einer Anzahl von Behinderungen

Radstreifen

Level of Service für Radstreifen gemäss HCM2000

Bicycle Flow Rate (bicycles/h)	Standard Deviation ^a (km/h)	Number of Events = $\frac{2 * \text{Bicycle Flow Rate} * \text{Standard Deviation}}{\text{Mean Bicycle Speed} * \sqrt{\pi}}$								
		Bicycle Mean Speed (km/h)								
		12	13	14	15	16	17	18	19	20
100	1.5	14	13	12	11	11	10	9	9	8
	3.0	28	26	24	23	21	20	19	18	17
	4.5	42	39	36	34	32	30	28	27	25
200	1.5	28	26	24	23	21	20	19	18	17
	3.0	56	52	48	45	42	40	38	36	34
	4.5	85	78	73	68	63	60	56	53	51
300	1.5	42	39	36	34	32	30	28	27	25
	3.0	85	78	73	68	63	60	56	53	51
	4.5	127	117	109	102	95	90	85	80	76

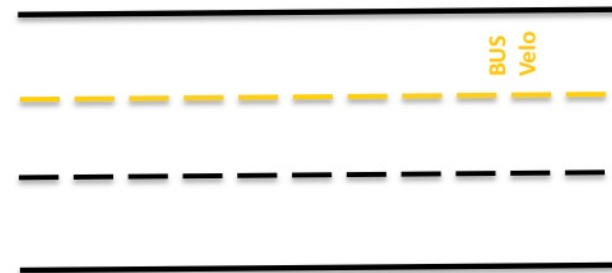
Notes:

- a. Standard deviation of bicycle speeds. If standard deviation data are unavailable, use the following default values:
 - 1.5 km/h for facilities used primarily by commuters
 - 3.0 km/h for facilities used by various user types
 - 4.5 km/h for facilities used primarily for recreational purposes.

Kombinierte Bus- und Radstreifen

Betrachtungsgegenstand

- Kombinierte Bus- und Radstreifen
- Keine Bemessungsgrundlagen vorhanden
- Bisher nur Erkenntnisse bzgl. Anforderung an die Streifenbreite



Messgröße ist Anzahl Behinderungen

- Behinderung als Resultat von Überholvorgängen Bus – RF, RF - RF
- Behinderungen sind abhängig von
 - Verkehrsmenge RF
 - Frequenz Bus
 - Haltestellenabstand
 - Geschwindigkeitsverteilung RF und Bus
 - Breite des kombinierten Bus- und Radstreifens

Fazit

Erkenntnisse aus der Forschungsarbeit

- Bemessungsverfahren zur Bestimmung der Verkehrsqualität für einzelne Anlagen möglich
- Radverkehrsaufkommen in CH jedoch moderat, so dass fraglich, ob verkehrsmengenbezogene Verkehrsqualität einer Anlage sinnvoll ist
- Qualitative Bewertungskriterien sind für den Radverkehr von zentraler Bedeutung

Ausblick

- Ist es sinnvoll, Leistungsfähigkeit für Radverkehrsanlagen analog Anlagen für den Mfz zu berechnen?
- Alternative: ASTRA Handbuch: Planung von Velorouten
 - Berücksichtigung qualitativer und quantitativer Kriterien
 - Problem: Bewertung von Streckenabschnitten A – B als Kombination verschiedener Anlagenelemente und weiterer Faktoren