Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des leichten Zweirad- und des Fussgängerverkehrs

Quality of traffic conditions and capacity of cycling and walking facilities

Qualité du trafic et capacité des infrastructures des deux-roues légers et des piétons

ETH Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule
Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT)
Prof. U. Weidmann
U. Kirsch, Dipl.-Ing. (FH)
E. Puffe, Dipl.-Ing. (FH)
D. Jacobs, Dipl.-Ing.

Pestalozzi & Stäheli, Ingenieurbüro Umwelt Mobilität Verkehr
C. Pestalozzi, dipl. Ing. ETH
V. Conrad, Dr.-Ing. Raumplanung

Forschungsauftrag VSS 2007/306 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Dezember 2013 **1444**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen beauftragten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que l' (les) auteur(s) mandaté(s) par l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 "Clôture du projet", qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

Il contenuto di questo rapporto impegna solamente l' (gli) autore(i) designato(i) dall'Ufficio federale delle strade. Ciò non vale per il modulo 3 «conclusione del progetto» che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e pertanto impegna soltanto questa.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) commissioned by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des leichten Zweirad- und des Fussgängerverkehrs

Quality of traffic conditions and capacity of cycling and walking facilities

Qualité du trafic et capacité des infrastructures des deux-roues légers et des piétons

ETH Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule
Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT)
Prof. Dr. U. Weidmann
U. Kirsch, Dipl.-Ing. (FH)
E. Puffe, Dipl.-Ing. (FH)
D. Jacobs, Dipl.-Ing. Univ.

Pestalozzi & Stäheli, Ingenieurbüro Umwelt Mobilität Verkehr
C. Pestalozzi, dipl. Ing. ETH
V. Conrad, Dr.-Ing. Raumplanung

Forschungsauftrag VSS 2007/306 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Dezember 2013 **1444**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung
Ulrich Weidmann

Mitglieder
Christian Pestalozzi
Vera Conrad
Uwe Kirsch
Enrico Puffe
Dietlind Jacobs

Federführende Fachkommission

Fachkommission 3: Verkehrstechnik

Begleitkommission

Präsident
Thorsten Koy

Mitglieder
Hermann Kaul
Arnd König
Patrick Maillard
Peter Pitzinger
Stephanie von Samson
Niklaus Schranz
Roger Siegrist

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von http://www.mobilityplatform.ch heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

Impressum **4**
Inhaltsverzeichnis **5**
Zusammenfassung **11**
Résumé **14**
Summary **17**

Teil A – Allgemeines **21**

1 Einleitung **22**
1.1 Ausgangslage 22
1.2 Ziel und Zweck des Forschungsprojektes 22
1.3 Einordnung in die bestehende Normengruppe 23
1.4 Vorstudie Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr 23
1.5 Projektorganisation und Vorgehen 23
1.5.1 Zusammenhang mit der Vorstudie 23
1.5.2 Projektorganisation und Verantwortlichkeiten 24
1.5.3 Vorgehen 26
1.6 Methodik 27
1.6.1 Allgemeines Verfahren 27
1.6.2 Angewandte Methoden 27
1.6.3 Methoden im Einzelnen 28

Teil B - Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des leichten Zweiradverkehrs **30**

2 Grundlagen **31**
2.1 Begriffe 31
2.2 Systematik der Radverkehrsanlagen 32
2.3 Charakteristika des Radverkehrs 33
2.3.1 Benutzergruppen und Verkehrszwecke 33
2.3.2 Flächenbedarf 33
2.3.3 Dynamik und Bewegungsverhalten 34

3 Literaturauswertung **35**
3.1 Einleitung 35
3.1.1 Was wünschen sich Radfahrer? 35
3.1.2 Anforderungen an Radverkehrsanlagen 36
3.2 Merkmale der Verkehrsqualität 36
3.2.1 Allgemeine Übersicht 36
3.2.2 Führungsart des Radverkehrs - allgemein 39
3.2.3 Mischverkehr 40
3.2.4 Radstreifen 43
3.2.5 Radwege 44
3.2.6 Busstreifen im Mischverkehr mit Veloverkehr 46
3.2.7 Knoten ohne LSA 48
3.3 Leistungsfähigkeit 49
3.3.1 Allgemein 49
3.3.2 Radwege 49
3.4 Verkehrsqualität und Bemessung 51
3.4.1 Netz / Strecken 51
3.4.2 Radstreifen 56
3.4.3 Radwege 57
3.4.4 Fuss- und Radwege 62
3.4.5 Knoten 62

3.5 Fazit der Literaturauswertung ... 63

4 Modellbildung ... 65
4.1 Grundmodell der Verkehrsqualität und Leistungsbemessung ... 65
4.2 Mögliche Kriterien zur Beschreibung der Verkehrsqualität ... 65
4.3 Massgebende Einflussfaktoren für Radverkehrsanlagen ... 66
4.4 Bewertungsverfahren ... 70
4.4.1 Warteräume ... 70
4.4.2 Radweg-Querungen ... 70
4.4.3 Radstreifen ... 71
4.4.4 Radwege, Rad- und Fusswege ... 72
4.4.5 Kombinierte Bus- und Radstreifen ... 73

5 Erhebungen und Videobeobachtungen ... 74
5.1 Konzept ... 74
5.2 Erhebungen zur Geschwindigkeitsverteilung ... 74
5.2.1 Vorgehen ... 74
5.2.2 Ergebnisse ... 75
5.2.3 Fazit ... 79
5.3 Videobeobachtung von Warteräumen ... 80
5.3.1 Vorgehen ... 80
5.3.2 Ergebnisse ... 82

6 Empfehlungen ... 94
6.1 Verkehrsqualität ... 94
6.1.1 Warteraum bei Knoten mit Lichtsignalanlage ... 94
6.1.2 Radwegquerung ohne Lichtsignalanlage ... 95
6.1.3 Anlagen für den Längsverkehr ... 95
6.1.4 Radstreifen ... 98
6.1.5 Radweg, Rad- und Fussweg ... 99
6.1.6 Kombinierter Bus-Radstreifen ... 99
6.1.7 Bemessungsempfehlung ... 100
6.2 Leistungsfähigkeit ... 100
6.3 Bemessungsverfahren ... 101
6.3.1 Warteraum bei Knoten mit Lichtsignalanlage ... 101
6.3.2 Radwegquerung ohne Lichtsignalanlage ... 106
6.3.3 Radstreifen ... 111
6.3.4 Radweg ... 115
6.3.5 Gemeinsamer Rad- und Fussweg ... 119
6.4 Qualitätsanforderungen ... 122
6.4.1 Übersicht ... 122
6.4.2 Umfeldqualität ... 123
6.4.3 Sicherheitsempfinden ... 123

7 Kommentierter Normierungsvorschlag ... 124
7.1 Einleitung ... 124
7.2 Allgemeines ... 124
7.2.1 Geltungsbereich ... 124
7.2.2 Gegenstand ... 124
7.2.3 Zweck ... 124
7.2.4 Anwendbarkeit ... 124
7.3 Begriffe ... 125
7.4 Radstreifen, Radwege, Rad- und Fusswege ... 125
7.4.1 Direkte Einflussgrössen für die Verkehrsqualität ... 125
7.4.2 Indirekte Einflussgrössen für die Verkehrsqualität ... 126
7.4.3 Kennwerte der indirekten Einflussgrössen für den Referenzzustand ... 126
7.4.4 Bemessungsverfahren ... 127
7.4.5 Verkehrsqualitätsstufen ... 130
7.5 Warteraum bei Knoten mit Lichtsignalanlage ... 131

7.5.1 Direkte Einflussgrössen für die Verkehrsqualität ... 132
7.5.2 Indirekte Einflussgrössen für die Verkehrsqualität ... 132
7.5.3 Kennwerte der indirekten Einflussgrössen für den Referenzzustand ... 133
7.5.4 Bemessungsverfahren ... 134
7.5.5 Verkehrsqualitätsstufen ... 135
7.6 Radwegquerung ohne Lichtsignalanlage ... 136
7.6.1 Generelles Vorgehen ... 136
7.6.2 Bezeichnung der Ströme und Rangfolge ... 136
7.6.3 Massgebende Hauptstrombelastung ... 137
7.6.4 Grundleistungsfähigkeit G ... 137
7.6.5 Maximale Leistungsfähigkeit L ... 138
7.6.6 Leistungsreserve R ... 140
7.6.7 Mittlere Wartezeit w ... 140
7.6.8 Verkehrsqualitätsstufen ... 140
7.7 Theoretische Leistungsfähigkeit ... 141
7.8 Belastbarkeit ... 141
7.8.1 Sicherheitsbedingte Belastbarkeit ... 141
7.8.2 Unterhaltsbedingte Belastbarkeit ... 142
7.9 Bewertung weiterer Qualitätsanforderungen ... 142

Teil C – Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des Fussgängerverkehrs ... 143

8 Grundlagen ... 144
8.1 Einleitung ... 144
8.2 Systematik von Fussgängerverkehrsanlagen ... 144
8.2.1 Schema ... 144
8.2.2 Fortbewegung - Nicht-mechanische Anlagen ... 146
8.2.3 Fortbewegung - Mechanische Anlagen ... 147
8.2.4 Anlagen des Aufenthalts ... 149
8.2.5 Anlagen der Verknüpfung ... 150
8.3 Normen und Handbücher ... 151
8.3.1 Überblick ... 151
8.3.2 Schweizerische Normen ... 151
8.3.3 Ausländische Normen ... 151
8.3.4 Ausländische Handbücher ... 152
8.3.5 Zusammenfassung ... 152
8.4 Literaturauswertung zur Leistungsfähigkeit ... 154
8.4.1 Vorbemerkung ... 154
8.4.2 Ebene Gehflächen ... 154
8.4.3 Niveauausgleichende Anlagen ... 168
8.4.4 Querverkehr ... 169
8.4.5 Mechanische Anlagen ... 171
8.4.6 Anlagen des Aufenthalts ... 180
8.4.7 Verknüpfungsanlagen ... 180
8.5 Literaturauswertung zur Verkehrsqualität ... 182
8.5.1 Allgemeine Erkenntnisse der Vorstudie ... 182
8.5.2 Ebene Gehflächen ... 186
8.5.3 Niveau ausgleichende Anlagen ... 190
8.5.4 Querverkehr ... 191
8.5.5 Mechanische Anlagen ... 192
8.5.6 Anlagen des Aufenthalts ... 192
8.5.7 Verknüpfungsanlagen ... 194
8.6 Literaturauswertung zur Dimensionierung ... 194
8.6.1 Grundbeziehungen und erforderliche Kennwerte der Dimensionierung ... 194
8.6.2 Dimensionierungsintervalle ... 195
8.6.3 Ebene Gehflächen ... 197
8.6.4 Niveauausgleichende Anlagen ... 199
8.6.5 Querverkehr ... 200
8.6.6 Mechanische Anlagen ... 201

8.6.7 Anlagen des Aufenthalts ... 203
8.6.8 Verknüpfungsanlagen ... 208
8.6.9 Simulation ... 208
8.7 Fazit der Literaturauswertung ... 211

9 Modellbildung ... 212
9.1 Modulkonzept ... 212
9.2 Grundelemente von Fussgängeranlagen ... 212
9.3 Kenngrössen und Dimensionierung ... 214

10 Erhebung und Mikrosimulation des Fussgängerverkehrs ... 216
10.1 Erhebung einer signalisierten Fussgängerquerung ... 216
10.1.1 Zielsetzung der Studie ... 216
10.1.2 Methodik ... 216
10.1.3 Durchführung der Erhebung ... 217
10.1.4 Auswertung ... 218
10.1.5 Vergleich mit Literatur, zusätzliche Erkenntnisse ... 223
10.2 Erhebung an einer Fahrtreppe ... 225
10.2.1 Zielsetzung der Studie ... 225
10.2.2 Methodik ... 225
10.2.3 Durchführung der Erhebung ... 225
10.2.4 Auswertung ... 227
10.2.5 Vergleich mit Literatur, zusätzliche Erkenntnisse ... 231
10.3 Erhebung an einer Liftanlage ... 232
10.3.1 Zielsetzung der Studie ... 232
10.3.2 Methodik ... 232
10.3.3 Durchführung der Erhebung ... 232
10.3.4 Beobachtungsergebnisse ... 234
10.3.5 Auswertung und Interpretation ... 236
10.3.6 Ermittlung der maximalen Kapazität ... 241
10.3.7 Berechnungsbeispiel ... 242
10.4 Untersuchung einer zweidimensionalen Situation ... 244
10.4.1 Zielsetzung ... 244
10.4.2 Methodik/Untersuchungskonzept ... 244
10.4.3 Durchführung der Mikrosimulation ... 246
10.4.4 Auswertung und Interpretation ... 246
10.4.5 Vergleich mit Literatur, zusätzliche Erkenntnisse ... 250

11 Dimensionierungsrichtwerte und Vorgehen bei der Qualitätsbeurteilung – kommentierter Normierungsvorschlag ... 251
11.1 Einleitung ... 251
11.2 Allgemeines ... 251
11.2.1 Geltungsbereich ... 251
11.2.2 Gegenstand ... 251
11.2.3 Zweck ... 251
11.2.4 Begriffe ... 252
11.3 Anlagentypen ... 252
11.3.1 Systematik der Fussgängeranlagen ... 252
11.3.2 Nicht behandelte Elemente ... 254
11.4 Verkehrsqualität ... 254
11.4.1 Grundkonzept ... 254
11.4.2 Beschreibung der Qualitätsstufen ... 254
11.5 Bemessungsverfahren ... 256
11.5.1 Generelles Vorgehen ... 256
11.5.2 Dimensionierungsnachfrage ... 256
11.5.3 Dimensionierungsqualitäten ... 258
11.6 Ebene Gehflächen (eindimensionale Bewegung) ... 258
11.6.1 Anlagenelemente ... 258
11.6.2 Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit ... 259

11.6.3 Verkehrsqualität ... 261
11.6.4 Dimensionierung ... 261
11.7 Niveau ausgleichende Anlagen ... 262
11.7.1 Anlagenelemente ... 262
11.7.2 Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit ... 262
11.7.3 Verkehrsqualität ... 265
11.7.4 Dimensionierung ... 266
11.8 Querverkehrsanlagen ... 266
11.8.1 Anlagenelemente ... 266
11.8.2 Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit ... 266
11.8.3 Bemessung der Grünphase ... 268
11.9 Mechanische Anlagen ... 269
11.9.1 Anlagenelemente ... 269
11.9.2 Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit ... 270
11.9.3 Verkehrsqualität ... 273
11.9.4 Dimensionierung ... 274
11.10 Anlagen mit primärer Aufenthaltsfunktion ... 276
11.10.1 Anlagenelemente ... 276
11.10.2 Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit ... 277
11.10.3 Verkehrsqualität ... 278
11.10.4 Dimensionierung ... 279
11.10.5 Gemischt genutzte Flächen ... 279
11.11 Hinweise zu Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit von Verknüpfungsanlagen ... 281
11.12 Anwendungsbeispiele ... 282
11.12.1 Ebener Gehweg ... 282
11.12.2 Platz ... 282
11.12.3 Fahrtreppe ... 283
11.12.4 Lift ... 283
11.13 Literaturverzeichnis ... 285

Teil D - Schlussfolgerungen ... 286

12 Synthese ... 287
12.1 Einleitung ... 287
12.2 Leichter Zweiradverkehr ... 287
12.3 Fussgängerverkehr ... 288
12.4 Offene Forschungsfragen ... 289
12.4.1 Leichter Zweiradverkehr ... 289
12.4.2 Fussgängerverkehr ... 290

Anhänge ... 292
I Kriterien und Messgrössen Radverkehr ... 273
II Normierungsvorschlag Radverkehr ... 275
III Abkürzungen Radverkehr ... 300
IV Begriffsdefinitionen Fussgängerverkehr ... 301
IV.1 Begriffe zu mechanischen und nichtmechanische Anlagen des FG-Verkehrs ... 301
IV.2 Begriffe zur Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität nach SN 640017a ... 302
V Materialien ... 304
V.1 Erhebungen ... 304
V.2 Simulationen ... 319
VI Normierungsvorschlag Fussgängerverkehr ... 311
VII Abkürzungen Fussgängerverkehr ... 344

Literaturverzeichnis Radverkehr ... 365
Literaturverzeichnis Fussgängerverkehr ... 367
Projektabschluss ... 369
Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen ... 372

Zusammenfassung

Für den leichten Zweirad- und den Fussgängerverkehr bestehen in der Schweiz bisher im Rahmen der Normengruppe „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität und Belastbarkeit“ keine Vorgaben und Regeln. Ausländische Richtwerte können nur teilweise für Planung und Projektierung herangezogen werden resp. fehlen sie z.B. für Querungen des leichten Zweiradverkehrs, Liftanlagen und Plätze gänzlich.

Das Ziel der Forschungsarbeit war daher die Erarbeitung von Normierungsvorschlägen zur Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität für die wichtigsten Anlagen des leichten Zweirad- und Fussgängerverkehrs. Die Repräsentativität der zu erarbeitenden Richtwerte für die Verhältnisse in der Schweiz war aufgrund von empirischen Erhebungen resp. Simulationen zu überprüfen. In einem weiteren Schritt soll später – basierend auf der Vorstudie zu den Intermodalen Verkehrsqualitätsstufen - die Aggregation mit den Gesetzmässigkeiten der anderen Verkehrsmodi zu einer multi-modalen Betrachtung erfolgen.

Die vorliegende Arbeit besteht aus zwei Hauptteilen, welche jeweils durch ein separates Projektteam bearbeitet wurden:

Leichter Zweiradverkehr

Im Rahmen der Forschung zum leichten Zweiradverkehr wurden folgende Anlagen untersucht:

- Warteflächen auf Radstreifen bei Knoten mit Lichtsignalanlage
  (mit und ohne ausgeweitetem Radstreifen)
- Radweg-Querungen ohne Lichtsignalanlage
- Radstreifen
- Radwege sowie Rad- und Fusswege
- Kombinierte Bus-Radstreifen

Die Auswertung der Literatur erfolgte nach den Aspekten Leistungsfähigkeit, Merkmale der Verkehrsqualität und Bemessungsverfahren. Werte zur Leistungsfähigkeit sind nur für Radstreifen und Radwege vorhanden, wobei die vorhandenen Angaben sehr stark variieren. Ebenso sind die Qualitätsmerkmale primär für die Elemente des Längsverkehrs vorhanden, fehlen aber weitgehend für Warteräume und Querungen. Für die Bemessung der Qualität finden sich in der Literatur ganz unterschiedliche Ansätze. Für Radstreifen und Radwege wurde der amerikanische Ansatz über die Anzahl der Begegnungsereignisse (Begegnen und Überholen) weiter verfolgt.

Für die Übertragbarkeit des Ansatzes aus dem Highway Capacity Manual wurden auf Radstreifen sowie Rad- und Fusswegen die Geschwindigkeitsverteilungen des Radverkehrs erhoben. Diese Messungen ergaben, dass die mittlere Geschwindigkeit deutlich über den verwendeten Werten in den USA, aber auch in Deutschland liegt und die Standardabweichung höher ist. Dieses Ergebnis ist u.a. auf das Vorhandensein von E-Bikes zurückzuführen. Da zur Beurteilung von Warteräumen in der Literatur keine Angaben zu finden waren, wurden verschiedene Warteräume mittels Videobeobachtungen untersucht. Die Resultate ermöglichten eine empirische Herleitung für ein Bemessungsverfahren.

Als Messgrösse für die Verkehrsqualität wird je nach Anlage folgendes empfohlen:

- Warteraum auf Radstreifen bei Knoten mit Lichtsignalanlage: Verhältnis von Räumzeit des Warteraums zu Grünzeit.
- Radweg-Querungen ohne Lichtsignalanlage: mittlere Wartezeit.

- Radstreifen, Radwege sowie Rad- und Fusswege: Anzahl Begegnungsereignisse pro Stunde über einen Kilometer.

Zur Berechnung der Räumzeit eines Warteraums wurde eine empirische Formel hergleitet, in welcher die Radverkehrsmenge, die Aspekte der Signalsteuerung und die Breite des Radstreifens bzw. das Vorhandensein einer Aufweitung berücksichtigt sind. Das Verfahren zur Beurteilung der Qualität einer Radwegquerung lehnt sich im Wesentlichen an das bekannte Verfahren für Knoten ohne Lichtsignalanlage an. Die Berücksichtigung gleichzeitig querender Radfahrer wurde empirisch aus den Videobeobachtungen ermittelt. Für die Längselemente Radstreifen, Radweg sowie Rad- und Fussweg wurde der amerikanische Ansatz übernommen. Die Übertragbarkeit für die Zuordnung der Anzahl Begegnungsereignisse zu den Verkehrsqualitätsstufen auf Schweizer Verhältnisse konnte dabei nicht überprüft werden. Für den Radverkehr auf kombinierten Bus-Radstreifen werden keine Verkehrsqualitätsstufen empfohlen. Bei diesem Anlagetyp steht die Qualität, insbesondere die Fahrplanstabilität, des öffentlichen Verkehrs im Vordergrund.

Die oben erwähnten Empfehlungen wurden in einem Normierungsvorschlag zusammengestellt. Im Weiteren wurden wesentliche weiterführende Forschungsfragen formuliert. Ein zentraler Aspekt für alle Anlagen ist die Befragung der Radfahrenden betreffend ihrer Einschätzung der Verkehrsqualität bei unterschiedlichen Randbedingungen. Die vorderhand empfohlenen Zuordnungen der Messgrössen zu den Verkehrsqualitätsstufen für Anlagen des Längsverkehrs stammen aus ausländischen Quellen und konnten nicht auf die Übertragbarkeit auf Schweizer Verhältnisse überprüft werden.

Fussgängerverkehr

Für folgende Anlagen des Fussgängerverkehrs wurden im Rahmen dieser Arbeit qualitätsorientierte Dimensionierungsrichtwerte erarbeitet:

- Gehwege
- Fussgängerrampen/Rampenwege
- Fussgängerübergänge und -querungen
- Warteräume (vor/an Haltestellen, Treppen, Fussgängerübergängen)
- Treppenanlagen im Bereich von Unter-/Überführungen
- Mechanische Anlagen (Fahrtreppe, Fahrsteig und Vertikallifts)

Grundlegend für die Entwicklung des Bemessungsverfahrens war die Herleitung einer allgemein gültigen Anlagensystematik. Sie gliedert sich in der obersten Betrachtungsebene nach den beiden Arten der primären Funktion: Fortbewegung oder Aufenthalt. Angesichts ihrer zunehmenden Verbreitung wurden mechanische Anlagen in Form von Personenaufzügen und Fahrtreppen ebenfalls erfasst.

Die Auswertung der vorhandenen Literaturquellen erfolgte geordnet nach Aspekten der Leistungsfähigkeit, der Verkehrsqualität sowie der Dimensionierung. Es zeigte sich, dass die bisherigen Untersuchungen zumindest teilweise Rückschlüsse auf die Ermittlung der Qualitätsstufen (VQS) zulassen. Bezüglich der Leistungsfähigkeit finden sich insbesondere für Anlagen des Aufenthalts und der Verknüpfung nur wenige verwertbare Angaben. Für Liftanlagen wurden im Ausland bereits Dimensionierungsansätze vorgestellt. Diese nehmen jedoch nicht Bezug auf die Einteilung nach VQS und sind nicht abgestimmt auf die Projektierung von Anlagen im öffentlichen Raum.

In der vorliegenden Studie wird ein Modulkonzept vorgestellt, welches es ermöglicht, komplexe Fussgängeranlagen aus elementaren Bestandteilen zusammenzufügen. Die Beurteilung der Verkehrsqualität sowie die Dimensionierung erfolgt dabei zunächst für alle Elemente (Module) separat. Im folgenden Arbeitsschritt werden diese logisch zu einer

Gesamtanlage kombiniert und an den jeweiligen Schnittstellen gegenseitig abgestimmt. Wichtige Dimensionierungsgrössen sind der Personenfluss, die Verkehrsqualität, bspw. ausgedrückt durch die Personendichte je Quadratmeter, sowie die Wartezeit oder Verlustzeit.

Mithilfe manueller Erhebungen, automatisierter Zählungen und Mikrosimulationen konnten Daten gewonnen werden, welche bestehende Kenntnislücken ausfüllten und dazu dienten, Beurteilungs- und Dimensionierungsmethoden für die untersuchten Anlagentypen zu entwickeln. Erhoben wurde das Verkehrsgeschehen an einer signalisierten Fussgängerquerung, auf einer Fahrtreppe sowie bei einer Liftanlage. Die zweidimensionale Situation wurde mittels Mikrosimulation untersucht.

Für die signalisierte Querung wurden Erkenntnisse gewonnen bezüglich des Verhaltens der Fussgänger im Querungsbereich sowie zur Dimensionierung der Wartefläche am Lichtsignal. Bezüglich der Fahrtreppe wurden vor allem realistische Kapazitätswerte ermittelt, die deutlich unterhalb der bisher angegeben theoretischen Transportleistung solcher Anlagen liegen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde erstmals die sogenannte Füllkurve für Liftanlagen hergeleitet, die es gestattet, die maximale Kapazität einer solchen Anlage in Abhängigkeit bestimmter Parameter zu bestimmen.

Mit dem Abschluss der Forschungsarbeit liegt ein Normierungsvorschlag vor, der als Grundlage für die Beurteilung und Bemessung der darin behandelten Anlagen des Fussgängerverkehrs dienen kann. Es werden diverse vertiefende Forschungsthemen empfohlen, welche zum ersten die Verlässlichkeit der bisher beschriebenen Zusammenhänge weiter verbessern und zum zweiten die Anwendbarkeit auf andere Verkehrssituationen erlauben. Wie bei den Veloverkehrsanlagen gilt es zudem auch für die VQS des Fussgängerverkehrs, die Konsistenz mit den VQS der anderen Verkehrsträger herzustellen.

Résumé

Concernant le trafic des deux-roues légers et des piétons, il n'existe pas jusqu'ici en Suisse de directives et de règles dans le cadre de la catégorie normative "Capacité, niveau de service et charges compatibles". Les directives des autres pays ne peuvent être utilisées qu'en partie pour la planification et la conception, ou bien elles n'existent pas du tout, par ex. pour les croisements des deux-roues légers, les remonte-pentes et les places.

L'objectif du travail de recherche était donc l'élaboration de projets de normes visant à encadrer la capacité et le niveau du service pour les principales modalités du trafic des deux-roues légers et des piétons. Pour être représentatives dans le contexte suisse, les directives devaient être vérifiées sur la base de relevés empiriques ou de simulations. Dans un deuxième temps – en se basant sur l'étude préalable concernant les degrés du niveau de service intermodaux – ces directives seront agrégées aux lois régissant les autres modes de transport afin d'obtenir un tableau multimodal.

Le présent travail se compose de deux grandes parties, qui ont chacune été élaborées par une équipe de projet distincte:

Trafic des deux-roues légers

Dans le cadre de la recherche concernant le trafic des deux-roues légers, les équipements suivants ont été étudiés :

- Refuges pour piétons sur les bandes cyclables au niveau des carrefours à feux (avec et sans bandes cyclables élargies)
- Traversée de pistes cyclables sans signalisation lumineuse
- Bandes cyclables
- Pistes cyclables ainsi que voies cyclables et piétonnes
- Voies à la fois réservées aux bus et aux vélos

La littérature spécialisée a été examinée en tenant compte des aspects suivants: capacité, caractéristiques du niveau de service et méthodes de mesure. Les valeurs liées à la capacité ne sont disponibles que pour les bandes et les pistes cyclables, et les données existantes sont très variables. De même, les caractéristiques de qualité sont présentes essentiellement pour les éléments du trafic longitudinal, mais elles font généralement défaut pour les aires d'attente et les croisements. Concernant la mesure de la qualité, on trouve dans la littérature spécialisée des approches très différentes. Pour les bandes et les pistes cyclables, on a conservé l'approche américaine prenant en compte le nombre d'occurrences de rencontre (croisements et dépassements).

Pour assurer la transférabilité de l'approche du Highway Capacity Manual, on a relevé les répartitions des vitesses du trafic des deux-roues sur les bandes cyclables ainsi que sur les voies réservées aux deux-roues et aux piétons. Ces mesures révèlent que la vitesse moyenne est considérablement supérieure aux valeurs utilisées aux États-Unis mais aussi en Allemagne et que l'écart-type est plus élevé. Ce résultat est imputable entre autres à la présence d'E-Bikes. La littérature spécialisée ne fournissant pas de données permettant d'évaluer les aires d'attente, on a examiné différentes aires d'attente à l'aide d'observations vidéo. Les résultats ont permis une déduction empirique en vue d'élaborer une méthode de mesure.

Pour le niveau de service, on conseille en fonction de l'équipement les indicateurs suivants:

- Espace d'attente sur des bandes cyclables avec feux: rapport du temps de dégagement de l'aire d'attente par rapport au temps de feu vert.
- Traversée de pistes cyclables sans feux: temps d'attente moyen.
- Bandes cyclables, pistes cyclables ainsi que voies pour vélos et piétons: nombre d'occurrences de rencontres par heure sur un kilomètre.

Pour calculer le temps de dégagement d'une aire d'attente, on a déduit une formule empirique dans laquelle la quantité du trafic des deux-roues, les aspects de la signalisation coordonnée et la largeur de la bande cyclable ou la présence d'un élargissement sont pris en compte. Le procédé utilisé pour évaluer la qualité d'une traversée de piste cyclable s'appuie pour l'essentiel sur le procédé connu pour les carrefours sans feux. La prise en compte des cyclistes traversant simultanément a été effectuée empiriquement en se basant sur les observations vidéo. Pour les éléments longitudinaux que sont la bande cyclable, la piste cyclable ainsi que les voies réservées aux vélos et aux piétons, on a opté pour l'approche américaine. La transférabilité permettant de mettre en relation le nombre d'occurrences de rencontres avec les degrés du niveau de service dans le contexte suisse n'a pu être vérifiée. Pour le trafic des deux-roues sur les voies réservées à la fois aux bus et aux vélos, il n'existe pas de recommandations en termes de degrés du niveau de service. Concernant ce type d'équipement, la qualité des transports publics, notamment la stabilité des horaires, occupe une place centrale.

Les recommandations mentionnées plus haut ont été réunies afin d'élaborer un projet de norme. Par ailleurs, on a formulé les questions essentielles qui permettront d'approfondir la recherche. Un aspect central pour tous les types d'équipements consistait à demander aux cyclistes leur opinion sur le niveau de service dans le cas de différentes contraintes. Les indicateurs recommandés dans un premier temps afin d'évaluer les degrés du niveau de service pour les équipements du trafic longitudinal proviennent de sources étrangères et n'ont pu être vérifiés en termes de transférabilité au contexte suisse.

Trafic piétonnier

Dans le cadre de ce travail, des directives de dimensionnement axées sur la qualité ont été élaborées pour les équipements suivants du trafic piétonnier:

- Trottoirs
- Rampes pour piétons/voies équipées d'une rampe
- Passages piétons
- Aires d'attente (aux arrêts de bus, escaliers, passages piétons)
- Escaliers dans des zones de passages souterrains/autoponts
- Équipements mécaniques (escalator, tapis roulant et élévateur vertical)

Pour développer une méthode de mesure, il était primordial de disposer d'une classification généralement valide des équipements. Elle s'articule suivant les deux types de la fonction primaire: déplacement ou arrêt. Étant donné leur fréquence croissante, les équipements mécaniques tels que les ascenseurs pour les personnes et les escalators ont également été pris en compte.

L'évaluation des sources bibliographiques présentes s'est faite de manière ordonnée selon les aspects suivants: capacité et niveau du service, dimensionnement. Il s'est avéré que les analyses réalisées jusqu'ici donnent au moins quelques indications pour la détermination des degrés du niveau de service (DNS). Concernant l'efficacité, il existe peu de données exploitables, notamment pour les équipements d'arrêt et de liaison. Pour les remonte-pentes, des approches de dimensionnement ont déjà été présentées à l'étranger. Celles-ci ne se réfèrent cependant pas à la répartition selon les DNS et ne sont pas

adaptées à la conception d'équipements dans l'espace public.

Cette étude présente un concept de module qui permet de composer des équipements piétonniers complexes à partir de composantes élémentaires. L'évaluation du niveau de service ainsi que le dimensionnement se font ainsi dans un premier temps pour tous les éléments (modules) pris séparément. Dans l'étape de travail suivante, ceux-ci sont combinés et ajustés mutuellement ainsi qu'aux interfaces correspondantes. Les paramètres de dimensionnement importants sont le flux de personnes, le niveau de service, exprimé par. ex à travers la densité de personnes au mètre carré, ainsi que le temps d'attente ou le retard.

A l'aide de relevés manuels, de comptages automatiques et de micro-simulations, on a pu obtenir des données qui ont comblé les lacunes en termes de connaissances et qui ont servi à développer des méthodes d'évaluation et de dimensionnement pour les types d'équipements étudiés. Ont été relevés le déroulement du trafic à un passage piétons signalisé, sur un escalator ainsi que sur un remonte-pente. La situation bidimensionnelle a été examinée à l'aide d'une micro-simulation.

Pour la traversée signalisée, on a acquis des connaissances concernant le comportement des piétons dans les zones de traversée ainsi que pour le dimensionnement des surfaces d'attentes aux feux de signalisation. Concernant les escalators, on a essentiellement déterminé des valeurs de capacité réalistes, qui sont considérablement inférieures aux performances de transport théoriques de ces équipements enregistrées jusqu'ici. Dans le cadre du présent travail, on a d'abord déduit la courbe de remplissage pour les remonte-pentes, qui permet de déterminer la capacité maximale d'un tel équipement en fonction de certains paramètres.

Le travail de recherche terminé, on dispose d'un projet de norme qui peut servir de base pour l'évaluation et la mesure des équipements de trafic piétonnier traités ici. Divers thèmes de recherche complémentaires sont recommandés, afin d'améliorer d'une part la fiabilité des conditions décrites jusqu'ici et d'autre part de permettre leur application à d'autres situations de trafic. Comme avec les équipements du trafic deux-roues, s'agissant des degrés du niveau de service du trafic piétonnier, il faut arriver à une cohérence avec les DNS des autres modes de transport.

Summary

In Switzerland, there are no rules and regulations governing the "capacity, level of service and resilience" standard groupings for light-weight two-wheeled and pedestrian traffic. The standards derived in other countries can only be used in part for the purposes of planning and development; they do not, for example, cover light-weight, two-wheeled vehicle crossings, lift facilities or squares.

The aim of the present research was to produce a set of draft standards for the capacity and level of service of the most significant two-wheeled vehicle and pedestrian traffic facilities. The relevance of the standards developed to conditions in Switzerland was to be tested on the basis of empirical data and simulations. Future work - based on the preliminary study of inter-mode levels of service - should aggregate in other legitimate traffic modes for the purposes of multi-mode consideration.

The work presented comprises two main parts, each of which was carried out by a separate project team:

Light-weight two-wheeled vehicles

Within the context of light-weight two-wheeled vehicle research, the following facilities were studied:

- Waiting areas on cycle lanes at intersections with traffic lights (with and without widened cycle lanes)
- Cycle path crossings without traffic lights
- Cycle lanes
- Cycle paths and cycle path / footpath facilities
- Combined bus / cycle lanes

An evaluation of the literature was undertaken based on aspects of capacity, service level features and assessment procedures. Capacity figures are only available for cycle lanes and cycle paths, and available information in respect thereof is extremely varied. By the same token, the quality characteristics given are predominantly for the linear elements of traffic flow; there is no information whatsoever on crossings and waiting areas. The literature contains widely differing approaches to quality assessment. The American approach based on the number of encounters (vehicles passing in the opposite direction or overtaking) is extended to cycle lanes and cycle paths.

In order to make the approach used by the Highway Capacity Manual transferable to cycle lanes and cycle path / footpaths, a measurement was made of bicycle traffic velocity distribution. These measurements showed that average speeds lie well above those found not only in the USA, but also in Germany, and that the standard deviation is also greater. This result should be applied in the case of e-bikes, etc. Since there was no reference to any evaluation of waiting areas in the literature, a range of different waiting areas was studied using video monitoring equipment. The results obtained provide a basis for further calculation.

The following are recommended - according to the type of facility - as service level measurement parameters:

- Waiting areas on cycle lanes at intersections with traffic lights: ratio of waiting area clearance time to green time.
- Cycle path crossings without traffic lights: average waiting time.

- Cycle lanes, cycle paths and cycle path / footpaths: number of encounters per hour over a distance of one kilometre.

An empirical formula was derived to calculate waiting area clearance time, which includes the amount of cycle traffic, aspects of traffic light system control and either the width of the cycle lane or the existence of lane-widening facilities. The procedure for evaluating the quality of cycle path crossings is essentially based on that accepted for use on intersections without traffic lights. The degree of care taken by cyclists when crossing was determined empirically from the video footage. The American approach was adopted in respect of linear cycle lanes, cycle paths and cycle path / footpaths elements. It was not possible, however, to check the transferability of the correlation of the number of encounters to the service level to suit Swiss conditions. There are no traffic quality levels recommended for cyclists on combined bus / cycle lanes. With this type of facility, the quality of public transport (and in particular, timetabling) is the main factor.

The above-mentioned recommendations were included in a draft standard. Important research questions were then formulated. The surveying of cyclists' opinions on the level of service under varying conditions is central to the evaluation of all facilities. The currently recommended allocation of parameters to traffic quality levels on linear elements are of foreign extraction and their transferability to conditions in Switzerland cannot be verified.

Pedestrian traffic

The scope of the work included the establishment of quality-based dimensioning for the following pedestrian facilities:

- Pavements
- Pedestrian ramps / ramped footpaths
- Zebra- and pedestrian crossings
- Waiting areas (in front of/at bus stops, stairways, crossings)
- Steps in the area of subways / pedestrian footbridges
- Mechanical facilities (lifts, escalators and moving walkways)

The derivation of an appropriate, common system of facility classification was essential for the development of an assessment procedure. Classification at the highest level is based on the two types of primary function: stationary or moving. Mechanical facilities such as lifts and escalators were also included due to their increasing distribution.

Evaluation of the available literature was carried out based on aspects of capacity, level of service and dimensioning. It was evident that the previous studies allowed at least some conclusions to be made regarding traffic quality levels. In respect of capacity - and particularly in respect of stationary and connecting facilities - there is little usable data. The approaches used by other countries for dimensioning lift facilities have already been provided. However, these do not relate to the traffic quality level classification and are therefore not appropriate to the planning of public facilities.

A modular concept was introduced in the available study, which made it possible to combine simple components for the purposes of creating complex pedestrian facilities. In the first instance, the evaluation of the level of service and dimensioning is carried out separately for all elements (modules). In the following step, these are logically combined to form a complete facility and are mutually coordinated at the relevant interface. The main dimensioning parameters are level of service, expressed (for example) by density (the number of persons per square metre) and waiting or "dead" time.

The data could be collected manually, by metering or by micro-simulation and then used

to fill existing knowledge gaps or to develop evaluation and dimensioning procedures for the types of facility studied. Traffic situation data was collected at signal-controlled pedestrian crossings, on escalators and in lifts. The two-dimensional situation was studied by means of micro-simulation.

Data relating to pedestrian crossing behaviour was collected at signal-controlled crossings and used in the dimensioning of the waiting areas. Realistic escalator capacity values were determined, which lie well below the theoretical values previously reported for such facilities. The work also included a first derivation of the so-called lift facility filling curve, which allows the maximum capacity of such facilities to be established as a function of their specific parameters.

The research project has succeeded in producing a draft standard that should serve as the basis for the evaluation and dimensioning of the pedestrian traffic facilities considered. Further research is recommended, on the one hand to improve the reliability of the scenarios already described and, on the other, to enable them to be applied to other traffic situations. As for the bicycle facilities, pedestrian traffic quality levels must also demonstrate consistency with the quality levels of other modes of transport.

Teil A – Allgemeines

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Eine unerlässliche Grundlage zur zweckmässigen Dimensionierung und zum stabilen Betrieb von Verkehrsanlagen sind realitätsnahe Leistungs- und Qualitätskennwerte. Anders als bei den Anlagen des motorisierten Individualverkehrs (MIV) bestehen in der Normengruppe „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität und Belastbarkeit“ für den leichten Zweirad- und Fussgängerverkehr bisher keine Vorgaben und Regeln.

Ausländische Richtwerte sind derzeit ebenfalls nur fragmentarisch verfügbar und zudem nicht in jeder Hinsicht mit der genannten schweizerischen Normengruppe konsistent. Bei einigen Anlagearten können sie zwar zum Vergleich herangezogen werden (z. B. Radstreifen, Radwege, Gehwege), bei anderen Anlagen fehlen sie hingegen gänzlich (z.B. Querungen für den leichten Zweiradverkehr).

1.2 Ziel und Zweck des Forschungsprojektes

Das Ziel der Forschungsarbeit war die Erarbeitung von Normierungsvorschlägen zur Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität für die wichtigsten Anlagentypen des Fussgänger- und leichten Zweiradverkehrs. Die Repräsentativität der zu erarbeitenden Richtwerte für die Verhältnisse in der Schweiz war aufgrund von empirischen Erhebungen resp. Simulationen zu überprüfen. Folgende Anlagen standen im Vordergrund:

Anlagen für den Fussgängerverkehr

- Gehwege
- Fussgängerrampen/Rampenwege
- Fussgängerübergänge und -querungen
- Warteräume (vor/an Haltestellen, Treppen, Fussgängerübergängen)
- Treppenanlagen im Bereich von Unter-/Überführungen
- Mechanische Anlagen (Fahrtreppe, Fahrsteig und Vertikallifts)

Anlagen für den leichten Zweiradverkehr

- Radstreifen
- Radwege (Einrichtungs-/Zweirichtungsbetrieb)
- Gemeinsam genutzte Rad-/Fusswege (mit/ohne Trennung der Verkehrsflächen)
- Übergänge und Querungen (isoliert, in Kombination mit Fussgängerquerungen)
- Warteräume vor Querungen
- Busstreifen im Mischverkehr mit leichtem Zweiradverkehr

In Anlehnung an die verkehrstechnische Bemessung in der bestehenden Normengruppe „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit“ waren Vorschläge für geeignete Verfahren für die genannten Anlagen zu unterbreiten. Zentral waren dabei die Festlegung des Masses der Verkehrsqualität sowie deren Abstufung. Die Kriterien dazu waren aus dem Forschungsbündel „Intermodale Verkehrsbeeinflussung“, insbesondere der Vorstudie „Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr“, zu wählen. Zusätzlich zu den Kriterien zur Beurteilung der Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit muss für Bemessungszwecke die Angabe von zugeordneten Verkehrsstärken möglich sein.

Die zu erarbeitenden Normen zur Beurteilung der Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des leichten Zweirad- und Fussgängerverkehrs sollen damit eine Lücke in der Normengruppe „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit“ schliessen.

1.3 Einordnung in die bestehende Normengruppe

Die Normengruppe gemäss SN 640 017a beinhaltet die Beurteilung der Verkehrsqualität der Anlagenelemente Hochleistungsstrassen, Strassen ohne Richtungstrennung und Knoten mit und ohne LSA sowie mit Kreisverkehr. Die folgende Abbildung zeigt bestehende Normen zur Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität der genannten Elemente und die rot markierte neu zu erarbeitende Norm für den leichten Zweirad- und Fussgängerverkehr.

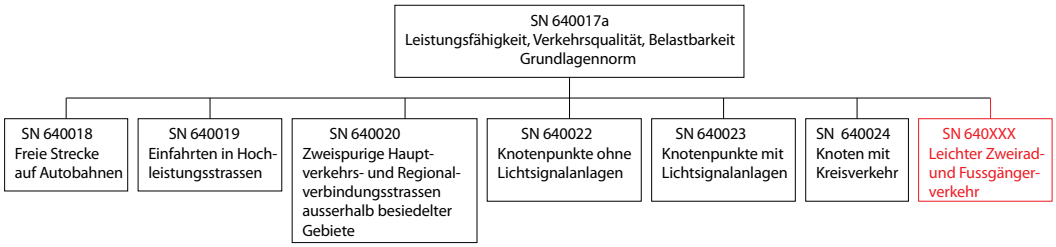


Abb. 1.1 Überblick zu den bestehenden Normen und der neu zu erstellenden Norm

Im Rahmen der Erarbeitung hat sich gezeigt, dass es sinnvoller ist, je eine separate Norm für den Fussgänger- und den leichten Zweiradverkehr zu erarbeiten. Die entsprechenden Normierungsvorschläge befinden sich im Anhang.

1.4 Vorstudie Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr

Die vorliegende Arbeit baut auf der Vorstudie zur intermodalen Verkehrsqualität auf [Scherer 2009]. Darin wird herausgestellt, dass „das Konzept der Verkehrsqualität in erster Linie auf den MIV ausgelegt“ ist. Für andere Verkehrsmodi existieren lediglich Festlegungen [...], die an die besonderen Bedürfnisse der Verkehrsart angepasst sind. Für den Fussgängerverkehr sind Verkehrsqualitätsstufen noch weniger gebräuchlich. Die Voraussetzungen für eine intermodale Vergleichbarkeit der Verkehrsqualitäten aller Verkehrsmodi und damit die homogene Planung des Verkehrsträgers Strasse sind noch nicht gegeben.

Der Begriff der Verkehrsqualität wird als die vom Verkehrsteilnehmer wahrgenommene und beurteilte Güte des Verkehrsablaufs definiert. In [Scherer 2009] werden Hinweise zur Bestimmung von Verkehrsqualitätsstufen im Fussverkehr und Fahrradverkehr für schweizerische Verhältnisse unter Berücksichtigung der bestehenden Verkehrsqualitätsstufen im Motorisierten Individualverkehr ausgearbeitet. Es wird empfohlen, im Rahmen dieser Forschungsarbeit VSS 2007/306 zunächst die Verkehrssystem-spezifischen Grundlagen des Fuss- und leichten Zweiradverkehrs zu erarbeiten, und zwar bezüglich der in der Vorstudie beschriebenen deterministischen und stochastischen Kriterien, d.h. von Grössen, die während der Planungs- / Projektierungsprozesse festgelegt werden und solchen, die sich situativ im Betrieb ergeben.

1.5 Projektorganisation und Vorgehen

1.5.1 Zusammenhang mit der Vorstudie

Abb. 1.2 zeigt die Einbindung der vorliegenden Forschungsarbeit in den Gesamtablauf bei der Erstellung der neuen Norm zur multimodalen Verkehrsqualität (mmVQS) nach [Scherer 2009]. Damit kann die erwähnte Normenlücke geschlossen und die Basis für eine spätere Vereinheitlichung geschaffen werden.

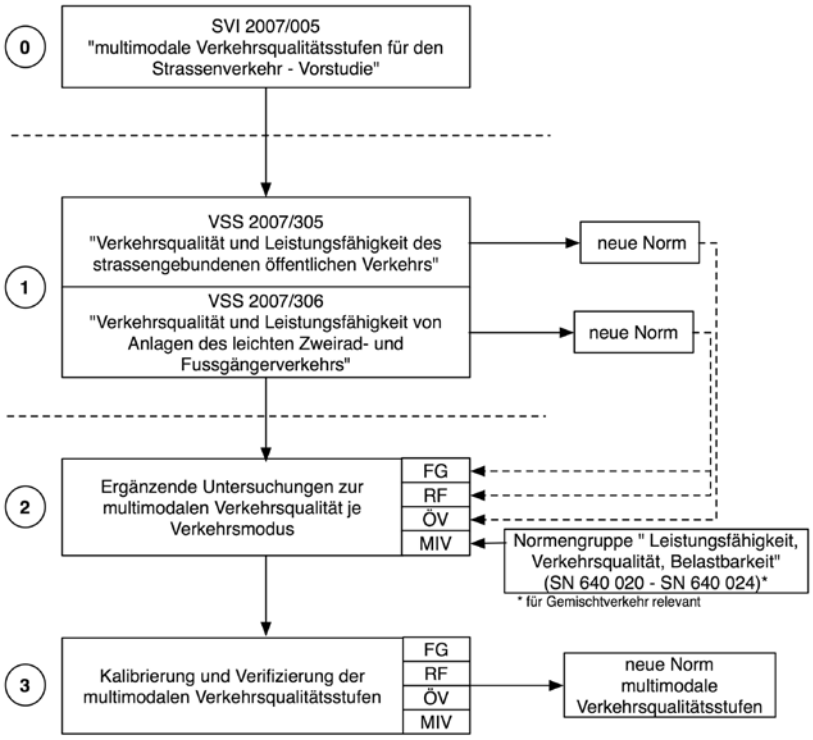


Abb. 1.2 Arbeitsablauf bei der Erstellung der neuen Norm zur multimodalen Verkehrsqualität (mmVQS) [Scherer, 2009]

1.5.2 Projektorganisation und Verantwortlichkeiten

Das Forschungsprojekt wurde in Kooperation von IVT und Ingenieurbüro Pestalozzi & Stäheli bearbeitet.

Das im Jahr 1995 gegründete Ingenieurbüro Pestalozzi & Stäheli ist insbesondere auf Fragestellungen des Fussgänger- und Veloverkehrs spezialisiert und bearbeitet dazu Forschungen, Studien, Planungen und Projekte für Auftraggeber aus der ganzen Deutschschweiz. Projekte wurden bereits zu sämtlichen, für diese Forschungsarbeit relevanten Anlagen durchgeführt.

Seitens des IVT waren Mitarbeiter der Fachbereiche Verkehrssysteme (VS) und Individualverkehr (IV), heute Strassenverkehrstechnik (SVT) beteiligt. Schwerpunkte sind hier u.a. Grundlagen der Fussgängerbewegungen, markt- und kostenoptimale öffentliche Verkehrserschliessung in Ballungsräumen, künftige Ausgestaltung der Güterbahn sowie der stabile Betrieb höchstbelasteter Netze.

Der Themenkomplex „Fussgängerverkehr“ wurde durch das IVT behandelt. Das Ingenieurbüro Pestalozzi & Stäheli übernahm die Ausführung des Teils „leichter Zweiradverkehr“.

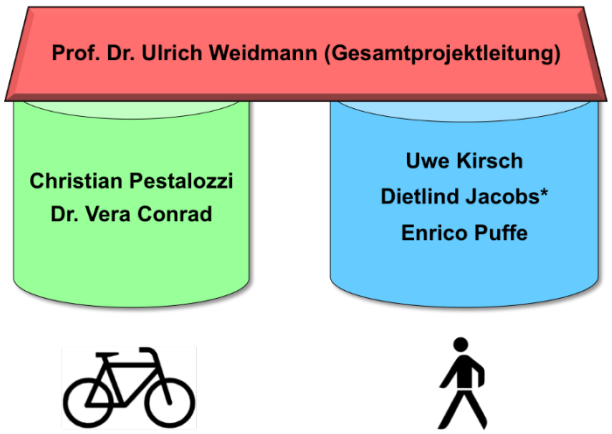


Abb. 1.3 Projektorganisation (bis März 2011)*

Der vorliegende Bericht ist wie folgt strukturiert: Teil A beinhaltet die gemeinsame Einführung zu beiden Themen, gefolgt von den Untersuchungen zum Zweiradverkehr in Teil B. Im dritten Abschnitt Teil C wird anschliessend der Fussverkehr behandelt. Beide Themen werden in der Synthese im Teil D zusammengeführt und durch offene Forschungsfragen ergänzt. Die Struktur der beiden Berichtsteile B und C wurde im Hinblick auf die späteren Normierungsvorschläge weitmöglichst aufeinander abgestimmt. Dazu wurde auch eine gemeinsame Grundsystematik der Anlagen gewählt.

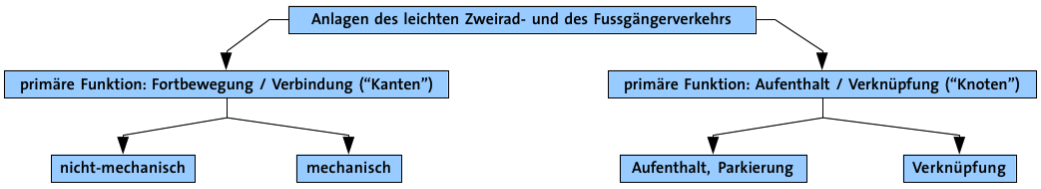


Abb. 1.4 Systematik der Anlagenelemente von Fuss- und Radverkehrsnetzen

1.5.3 Vorgehen

Die Arbeit wurde in sieben Schritten, zusammengefasst in vier Phasen, ausgeführt.

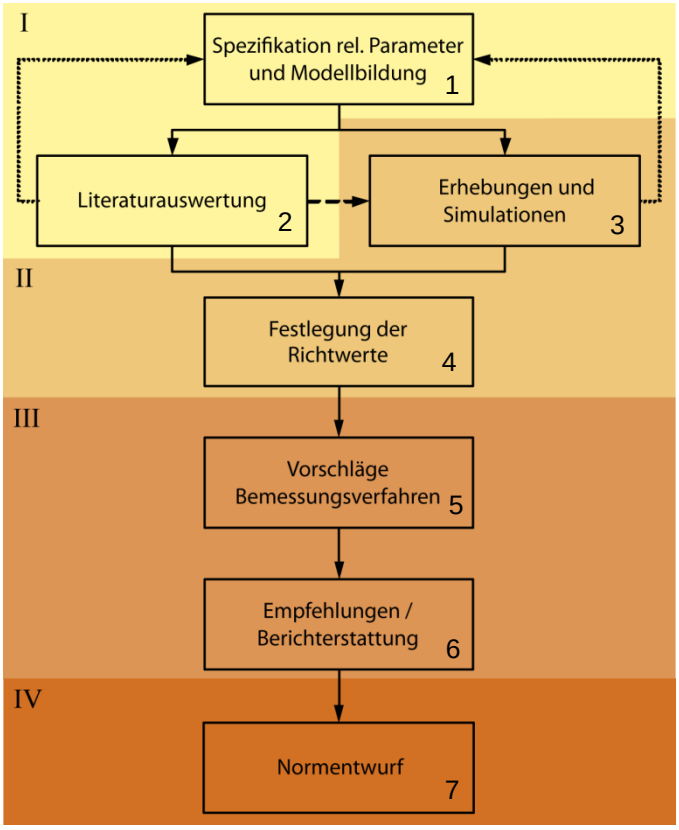


Abb. 1.5 Schema Projektablauf

Die Arbeitsinhalte waren im Einzelnen:

Phase I

- Schritt 1: Spezifikation relevanter Parameter und Modellbildung

In einem ersten Schritt wurden aufgrund genereller Literaturstudien die relevanten Grössen für die verschiedenen Anlagetypen bestimmt. Es handelt sich dabei um Grössen zur Beschreibung der Verkehrsqualität sowie um die Einflussgrössen auf die Leistungsfähigkeit. Mit Hilfe dieser Parameter wurden theoretische Gedankenmodelle zur Beschreibung der Verkehrsqualität für die ausgewählten Anlagen gebildet und Hypothesen zu den Zusammenhängen zwischen den einzelnen Grössen aufgestellt.

- Schritt 2: Literaturauswertung

Mit Hilfe einer ausführlichen Literaturauswertung wurden für die massgebenden Parameter die schon vorhandenen Erkenntnisse zu den Zusammenhängen mit der Verkehrsqualität und der Leistungsfähigkeit ermittelt.

Phase II

- Schritt 3: Erhebungen und Simulation

Für Parameter, für welche die Literaturauswertung keine oder zu wenig detaillierte Zusammenhänge lieferte, wurden empirische Erhebungen oder Mikrosimulationen eingesetzt.

- Schritt 4: Festlegung der Richtwerte

Aufgrund der in den Schritten 2 und 3 gewonnenen Erkenntnisse wurden Richtwerte der Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit der relevanten Einflussgrössen für die einzelnen Anlagen festgelegt.

Phase III

- Schritt 5: Vorschläge Bemessungsverfahren

In Anlehnung an die verkehrstechnische Bemessung in der bestehenden Normengruppe „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit“ wurden Vorschläge für geeignete Bemessungsverfahren im Sinne eines Ablaufes für die verschiedenen Anlagen unterbreitet. Eine wichtige Rolle spielte dabei die Festlegung der massgebenden Bemessungsverkehrsstärke.

- Schritt 6: Empfehlungen / Berichterstattung

Aufgrund der Erkenntnisse aus den vorangegangenen Arbeitsschritten wurden Empfehlungen für die Normung, wie auch für die Weiterentwicklung von intermodalen Qualitätsstufen erarbeitet.

Phase IV

- Schritt 7: Normierungsvorschlag

Getrennt für den leichten Zweirad- und Fussverkehr wurde ein Entwurf der Norm erstellt. Den Abschluss der Forschungsarbeit bildeten die Normierungsvorschläge.

1.6 Methodik

1.6.1 Allgemeines Verfahren

Ausgehend von den vorhandenen Erkenntnissen über das Verkehrsverhalten des leichten Zweiradverkehrs z.B. in Steigungen sowie vom Fundamentaldiagramm für den Fussgängerverkehr waren für die Anlagetypen die relevanten Zusammenhänge für die Leistungsfähigkeitsbetrachtung herzuleiten. Dabei waren die massgebenden Einflussfaktoren sowie deren Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit zu bestimmen.

Für jede Anlageart waren geeignete Messgrössen zur Beschreibung der Verkehrsqualität festzulegen. Zusätzlich zu den in der Norm SN 640 017a „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit“ ([VSS 1998b]) erwähnten Kriterien wurde beim Fussgängerverkehr die Fussgängerdichte als Grösse in Betracht gezogen. Beim leichten Zweiradverkehr waren der Streckenanteil mit ungestörter Fahrt bzw. die Anzahl Störungen/Begegnungen als weitere Merkmale zu prüfen. Die Beurteilung der Verkehrsqualität soll anhand zweckmässiger Qualitätsstufen vorgenommen werden können.

Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde die Abstufung nach dem in der Norm SN 640 017a für den MIV definierten und auch sonst verbreiteten sechsstufigen Level-of-Service-Konzept übernommen.

1.6.2 Angewandte Methoden

Die Arbeit stützte sich bei beiden Verkehrsarten auf vier Methoden:

- Modellbildung des Verkehrsflusses zur Abschätzung relevanter Mess- und Einflussgrössen
- Auswertung bisheriger Erkenntnisse (Literaturauswertung)
- Empirische Erhebungen zur Kalibrierung vorhandener ausländischer Richtwerte für die Verhältnisse in der Schweiz sowie zur Schliessung bestehender Normierungslücken
- (Mikro-) Simulationen des Verkehrsablaufes zur Schliessung bestehender Normierungslücken

Tab. 1.1 zeigt je Anlagentyp diejenigen Bearbeitungsmethoden auf, welche theoretisch zu deren Untersuchung geeignet sind.

Tab. 1.1 Bearbeitungsmethodiken je Anlagentyp

	Methoden / **Anlagetyp**	**Modell-bildung**	**Literatur-auswertung**	**Empirische Erhebungen**	**Verkehrs-simulation**
Anlagen des leichten Zweiradverkehrs	Radstreifen	x	x	(x)	x
	Radwege (Einrichtungs-/Zweirichtungsbetrieb)	x	x	(x)	x
	Gemeinsam genutzte Rad-/Fusswege (mit/ohne Trennung der Verkehrsflächen)	x	x	(x)	x
	Übergänge und Querungen (isoliert, in Kombination mit Fussgängerquerungen)	x	(x)	x	
	Warteräume vor Querungen	x	(x)	x	
	Busstreifen im Mischverkehr mit leichtem Zweiradverkehr	x	(x)	(x)	(x)
Anlagen des Fussgängerverkehrs	Gehwege	x	x		x
	Fussgängerrampen/Rampenwege	x	x	(x)	
	Fussgängerübergänge und -querungen	x	x		
	Warteräume (vor/an Haltestellen, Treppen, Fussgängerübergängen)	x	x		
	Treppenanlagen im Bereich von Unter-/Überführungen	x	x		
	Mechanische Anlagen (Fahrtreppe, Fahrsteig und Vertikallifts)	x	(x)	x	

Zur Quantifizierung von Parametern des Fussgängerverkehrs wurde schliesslich auf verschiedene Erhebungs- und Simulationsmethoden zur Erfassung/Simulation von Fussgängerströmen zurückgegriffen. Sie unterscheiden sich bezüglich der eingesetzten Ressourcen, aber auch bezüglich der Eignung für verschiedene Verkehrssituationen (Anlagetyp und Verkehrsablauf).

1.6.3 Methoden im Einzelnen

Die folgenden weiteren Erhebungsmethoden wurden im Rahmen des Projektes angewendet:

- Videoerhebungen (Radverkehr)

Mittels Videoaufnahmen und -auswertungen wurde das Fahrverhalten von Velofahrenden im Bereich von Knotenpunktzufahrten zum Zwecke der Warteraumanalyse verwendet. Menge, Wartezeiten und Dichten konnten so bestimmt werden.

- Automatische Erhebungen (Radverkehr)

Mit automatischen Erfassungsgeräten wurden die Geschwindigkeiten des Radverkehrs auf Strecken mit unterschiedlichen Neigungen und verschiedenen Nutzergruppen bestimmt.

- Messungen mittels automatischem Personenzählsystem (Fussverkehr)

Mittels optischer Sensoren über der Fussgängeranlage wurde der zeitliche Verlauf des Personenflusses auf einer Fahrtreppenanlage erfasst. Mit diesem System liess sich mit geringem Aufwand (vor allem bei der Auswertung) eine sehr grosse Datenmenge (Dauerzählung über 14 Tage) und gute Datenqualität erheben.

- Manuelle Erhebungen (Fussverkehr)

Da in bestimmten Situationen aus technischen oder rechtlichen Gründen keine automatisierten Erhebungsmethoden anwendbar waren, erfolgten klassische Handzählungen. Nachteilig war hierbei der erhebliche Personalaufwand sowie die manuelle Auswertung der erhobenen Daten. Beim Fussverkehr wurde diese Erhebungsmethode zur Untersuchung einer, aus drei Personenaufzügen bestehenden, Liftanlage eingesetzt.

- Mikrosimulation (Fussverkehr)

Mit Hilfe der Mikrosimulation liessen sich Verkehrsströme von Anlagen des Fussgängerverkehrs simulieren. Das Verkehrsgeschehen wurde bei unterschiedlichem Aufkommen, verschiedener Zusammensetzung des Fussgängerverkehrs sowie für beliebige Anlagetypen modelliert, simuliert und ausgewertet. Dadurch konnten Erkenntnisse für Anlagen und Situationen gewonnen werden, welche unter realen Bedingungen kaum oder nur mit unverhältnismässigem Aufwand beobachtbar wären. Für den Fahrradverkehr erwies sich die Mikrosimulation als wenig hilfreich und wurde aufgegeben.

Teil B - Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des leichten Zweiradverkehrs

2 Grundlagen

2.1 Begriffe

Die nachfolgenden Begriffsdefinitionen stammen aus den VSS-Normen.

Leichter Zweiradverkehr

Der leichte Zweiradverkehr umfasst den Fahrrad- und den Motorfahrradverkehr (Velo- und Mofaverkehr).

Hinweis: In diesem Bericht werden mehrheitlich die Begriffe Radverkehr und Veloverkehr verwendet. Im Normierungsvorschlag in Kapitel 7 wird hingegen der in den VSS-Normen übliche Begriff Leichter Zweiradverkehr angewendet.

Radstreifen

Radstreifen sind für den leichten Zweiradverkehr bestimmte Fahrstreifen, welche durch eine Markierung gegenüber den Fahrstreifen des übrigen Verkehrs begrenzt sind.

Kombinierter Bus- und Radstreifen

Kombinierte Bus- und Radstreifen sind Busstreifen, auf welchen das Radfahren gestattet ist.

Radweg (Sammelbegriff)

Der Radweg ist ein für den leichten Zweiradverkehr (und fallweise auch für Fussgänger) bestimmter Weg, welcher von der Fahrbahn des übrigen Verkehrs unabhängig geführt oder baulich getrennt ist. Radwege mit einem Abstand von höchstens 2 m von der Fahrbahn des übrigen Verkehrs werden als "strassenbegleitend" bezeichnet. Richtungsradwege werden nur in einer Richtung befahren, Zweirichtungsradwege in beiden Richtungen.

- Radweg
  Für den leichten Zweiradverkehr bestimmter Weg.
- Gemeinsamer Rad- und Fussweg
  Der leichte Zweiradverkehr und die Fussgänger benutzen die Verkehrsfläche gemeinsam.
- Rad- und Fussweg mit getrennten Verkehrsflächen
  Dem leichten Zweiradverkehr und den Fussgängern werden zusätzlich zur Signalisation mittels Markierung eigene Verkehrsflächen zugeordnet.

Ausgeweiteter Radstreifen

Ein sich über die gesamte Fahrstreifenbreite erstreckender Aufstellbereich für leichte Zweiräder an Knoten mit Lichtsignalanlage (LSA).

Knoten bzw. Querungen

Knoten sind Verkehrsanlagen, die zur Verknüpfung von Verkehrsbeziehungen dienen. Querungen sind Verkehrsanlagen, welche dem leichten Zweiradverkehr (und allenfalls Fussgängerverkehr) zum Queren eines anderen Verkehrsträgers oder zum Ein- oder Abbiegen dient.

Begegnungsereignis

Als Begegnungsereignisse werden Überholvorgänge von Radfahrern und Fussgängern sowie Begegnungen mit entgegenkommenden Radfahrern und Fussgängern bezeichnet.

2.2 Systematik der Radverkehrsanlagen

Die Abb. 2.6 zeigt einen Überblick über Anlagen für den Radverkehr, die heute in der Schweiz üblicherweise zum Einsatz kommen.

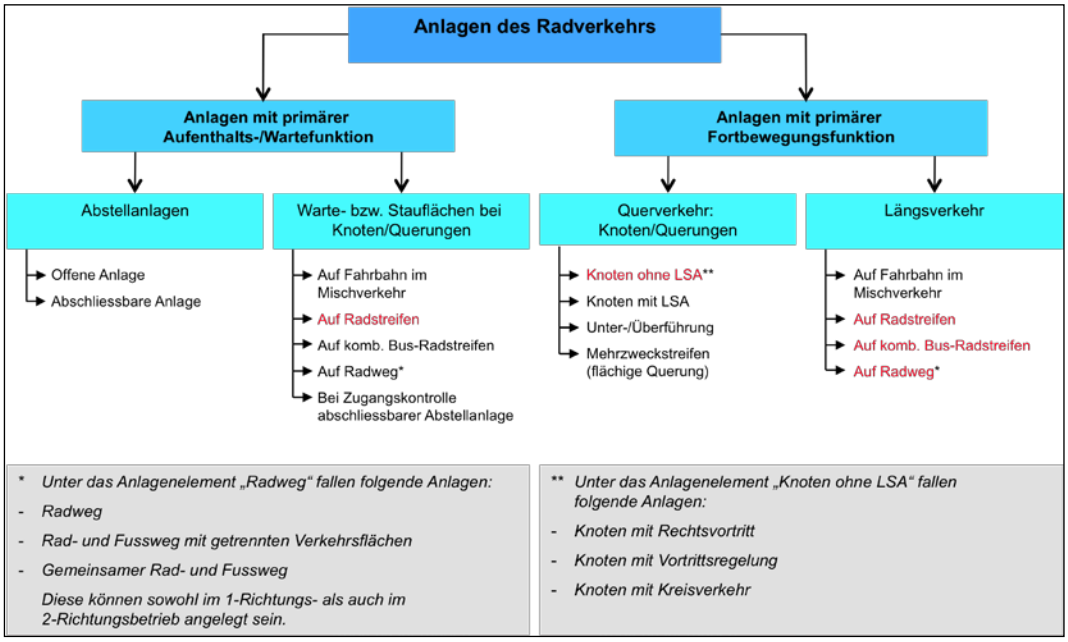


Abb. 2.6: Schematische Einteilung von Radverkehrsanlagen

Im Rahmen der Forschung werden folgende Anlagen untersucht (in der Abb. 2.6 in roter Farbe):

- Anlagen mit Wartefunktion:
  Warte-/Stauflächen bei Knoten mit LSA auf Radstreifen
  (mit und ohne ausgeweiteter Radstreifen)
- Anlagen mit Fortbewegungsfunktion – Querverkehr:
  Radweg-Querungen ohne LSA
- Anlagen mit Fortbewegungsfunktion – Längsverkehr:
  Radstreifen, Radwege, Rad- und Fusswege, kombinierte Bus-Radstreifen

Die Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf der Fahrbahn ist nicht Gegenstand der vorliegenden Forschungsarbeit, da es sich dabei um ein multimodal zu betrachtendes Themenfeld handelt. Das Bemessungskonzept wird sich jedoch an dasjenige für Radstreifen anlehnen.

2.3 Charakteristika des Radverkehrs

2.3.1 Benutzergruppen und Verkehrszwecke

Das Verkehrsverhalten der Radfahrer wird nicht allein durch die Ausgestaltung der Verkehrsanlage und durch die technischen Möglichkeiten der leichten Zweiräder beeinflusst. In bedeutend stärkerem Ausmass als beim Motorfahrzeugverkehr wird es auch vom Fahrkönnen der Radfahrer und dem Einsatzzweck des Fahrrades geprägt [VSS 1994].

Das Fahrkönnen der Radfahrer wird bestimmt 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.

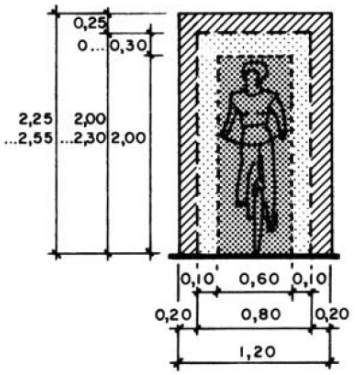
Der Verkehrszweck beschreibt den Zweck der Verkehrsteilnahme (z. B. Arbeitsweg, Einkaufen, Transport, Reisen, Freizeit, Schulweg, Spiel). Routen für den Radverkehr werden in der Regel in solche für den Alltags- und solche für den Freizeitverkehr unterschieden [ASTRA 2008].

Je nach Benutzergruppe und Verkehrszweck werden sich die Anforderungen an die Verkehrsqualität (s. auch Kap. 4.3) aber auch die Werte der Einflussfaktoren wie Geschwindigkeit, Breitenbedarf, Abstandsverhalten (s. auch Kap. 4.2) unterscheiden.

2.3.2 Flächenbedarf

Gemäss der Norm SN 640 201: Geometrisches Normalprofil [VSS 1992] beträgt die lichte Breite für Radfahrer:

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



Für Begegnungsfälle mit Radfahrern unter sich sowie mit Motorfahrzeugen ist ein Gegenverkehrs- resp. Überholzuschlag vorzusehen. Dieser hängt von der Geschwindigkeit des schnelleren Fahrzeugs ab:

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

Ausgehend von den Normangaben in [VSS 1992] werden in der Schweiz häufig folgende Abmessungen angewendet:

Tab. 2.2: Abmessungen von Radverkehrsanlagen

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

* bzw. bei Rad- und Fusswegen mit getrennten Verkehrsflächen die Breite der Verkehrsfläche für den Radverkehr

2.3.3 Dynamik und Bewegungsverhalten

Das Geschwindigkeitsverhalten des Radverkehrs wird in der Literatur unterschiedlich dargestellt. In [TRB 2000] wird für Radstreifen mit Geschwindigkeiten zwischen 12 und 20 km/h und einer Standardabweichung von 1.5 bis 4.5 km/h gerechnet. Für Radwege werden eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 18 km/h und eine Standardabweichung von 3 km/h berücksichtigt. In [Bast 2003/2] wird für die VQS-Einteilung eine Geschwindigkeit von 17 km/h verwendet.

In [Allen 1998] sind verschiedene Studien zitiert wie z. B.:

- Davis California: 19 km/h für Radwege; 17.7 – 20.1 km/h für Radstreifen
- Michigan: 20.3 km/h für Radwege; 24.9 km/h für Radstreifen
- FHWA (USA): V_{85} = 24 km/h
- Schweden: V_{85} = 16 – 28 km/h
- Kanada: 25 km/h
- Holland: 18 ± 3 km/h

Aktuelle Werte für die Schweiz in Abhängigkeit der Längsneigung sind nicht bekannt. Diese sollen im Rahmen dieser Forschung als Grundlage ermittelt werden.

Der seitliche Abstand bei einem Begegnungs- oder Überholvorgang hat [Schopsf 1985] untersucht. 50% der Radfahrenden halten einen Abstand von max. 100 cm zwischen den äussersten Punkten einander begegnenden Radfahrer ein, 85% einen Abstand von max. 120 cm und 100% einen solchen von max. 125 cm.

Aus der Norm [VSS 1992] ergibt sich hingegen lediglich ein im geometrischen Normalprofil zu berücksichtigender Abstand von 80 cm. Bei einer Begegnungsgeschwindigkeit unter 30 km/h fällt zudem der Begegnungszuschlag weg, womit sich der Abstand auf 60 cm reduziert. Dies stimmt mit den Angaben in [Bast 2003/2] überein.

3 Literaturauswertung

3.1 Einleitung

3.1.1 Was wünschen sich Radfahrer?

Ergebnisse einer Nutzerbefragung [Stinson 2003]

Pendler bevorzugen folgende Routen:

- Wohnstrassen gegenüber anderen Strassentypen.
- Untergeordnete HVS gegenüber übergeordneten HVS.
- Strassen mit geringen Mfz-Mengen.
- Strassen ohne Parkiermanöver.
- Eigene Verkehrsflächen in Form von Radstreifen oder Radweg.
- Flaches Gelände.
- Zusammenhängende Radanlagen.
- Routen ohne LSA und STOP.
- Routen mit wenig grossen Kreuzungen.

Prioritäre Qualitätsmerkmale für Pendler:

- Reisezeit am wichtigsten.
- Vorhandensein eines Radstreifens, Radweges, wenn die Strasse entlang HVS führt.
- Oberflächenbeschaffenheit.
- Art der Brücke.
- Anzahl der zu querenden grossen Kreuzungen.
- Topografie.
- Durchgängigkeit einer Anlage.

Weniger wichtige Faktoren:

- Verzögerung wegen LSA oder STOP.
- Route entlang untergeordneter HVS.
- Parkieren entlang Route.
- Moderat hügelige Topografie.

Weitere Ergebnisse

- Das Vorhandensein einer durchgängigen Radverkehrsanlage ist auf HVS wesentlich gewünschter als in Wohnstrassen.
- Radfahrer in städtischen Bereichen reagieren sensibler auf die Anzahl von LSA und STOPs als Rf in ländlichen Bereichen.

3.1.2 Anforderungen an Radverkehrsanlagen

Aus [ASTRA 2001] und [Schopf 1985]

a. Sicher:
   - o Wenig Konfliktpunkte, insb. bei Knoten und Haltestellen
   - o Klar erkennbare Zuordnung der Fahrbereiche
   - o Gute Sicht auf den übrigen Verkehr

b. Kohärent:
   - o Durchgängig, durchlässige und homogene Linienführung
   - o Gute Verständlichkeit der Anlage
   - o Behinderungsfreie Zugänge zu Halte- und Wartelinien

c. Direkt:
   - o Umwegfreie, zügig befahrbare Linienführung
   - o Vermeidung von Fahrtunterbrechungen
   - o Geringe Zeitverluste

d. Komfortabel
   - o Wenig Behinderungen durch andere Verkehrsteilnehmer
   - o Günstige vertikale Linienführung
   - o Geringe Zeitverluste

3.2 Merkmale der Verkehrsqualität

3.2.1 Allgemeine Übersicht

Zusammenstellung möglicher Einflussfaktoren aus diversen Literaturquellen:

a. Netz [Stinson 2003]
   - o Umwegfaktor
   - o Reisezeit
   - o Anzahl Fahrtunterbrechungen pro Streckeneinheit
   - o Anzahl LSA
   - o Anzahl grosser zu kreuzender Strassen

b. Geometrisches Profil [Stinson 2003]
   - o Breite des Mfz-Fahrstreifens
   - o Anzahl der Mfz-Fahrstreifen
   - o Breite des Rad-Fahrstreifens
   - o Breite des Schutzstreifens zu Parkierung

c. Radverkehr (diverse Quellen)
   - o Geschwindigkeit (Durchschnittliche Reisegeschwindigkeit)
   - o Menge

d. Fussverkehr (diverse Quellen)
   - o Menge

e. Motorfahrzeugverkehr [Bast 1993], [Stinson 2003]
   - Geschwindigkeit
   - Menge/Stärke
   - Zusammensetzung (Schwerverkehrsanteil)

f. Homogenität [ASTRA 2008]
   - Anzahl Wechsel des Führungsprinzips (Mischverkehr/Trennung)

g. Verkehrsregime [ASTRA 2008], [Bast 1993]
   - Strassenkategorie
   - Motorfahrzeugfreie /-arme Strassen
   - Verkehrsberuhigte Zonen
   - Strassen mit geeigneten Radverkehrsanlagen bzw. -führung
   - Art und Dichte der Knotenpunkte

h. Oberflächenbeschaffenheit [Stinson 2003]
   - Belagsart
   - Rauhigkeit

i. Topografie [Stinson 2003]
   - Neigung

j. Umfeldnutzungen [Astra 2008], [Bast 1993], [Stinson 2003]
   - Nutzung
   - Parkierung
   - Anlieferung
   - Umfeldqualität

Relevante Parameter für VQS

[Jensen 2007]

- Umfeld
- Mfz/h in beide Richtungen
- Breite zwischen Radverkehrsanlage und nächstem Mfz-Fahrstreifen
- Durchschnittliche Geschwindigkeit Mfz
- Bushaltestellen vorhanden ja/nein
- Anzahl Fahrstreifen Mfz, max. 3 m bzw. min. 4 m
- Vorbeigehende Fg/h an der nächstgelegenen Strassenseite bei 20 km/h Fahrtgeschwindigkeit
- Parkierte Mfz an der nächsten Strassenseite über 100 m Länge
- Breite des Radstreifens
- Breite des Bankettstreifens
- Breite der nächstgelegenen Fahrspur inkl. Radstreifen oder Bankettstreifen
- Gehweg vorhanden ja/nein

Variablen, die den grössten Einfluss auf die Zufriedenheit haben

- Radverkehrsanlagentyp und deren Breite bzw. Breite des Fahrstreifens
- Entfernung zum Mfz auf dem nächstgelegenen Fahrstreifen
- Entfernung zu Fussgängern
- Je mehr Radfahrer in ihrem Fahrfluss separiert werden, umso höher ist die Zufriedenheit
- Je mehr Mfz und Fussgänger, umso höher die Unzufriedenheit
- Ebenso wirkt sich eine hohe Mfz-Geschwindigkeit negativ auf die Zufriedenheit aus
- Je mehr Fahrstreifen, umso zufriedener
- Bushaltestellen werden negativ empfunden

Untersuchung anhand von Befahrung und Videobeobachtung

[Petrisch 2007]

Hohe VQS insbesondere abhängig von

- Vorhandensein eines Radstreifens
- Verkehrsaufkommen
- Belagszustand
- Platzverfügbarkeit
- Instandhaltung der Anlage, Zustand

[Landis 1997]

- Um ein realistisches Modell für die Beurteilung der VQS für Radverkehrsanlagen bzw. Strecken zu ermitteln, muss das Modell mit Echtzeitsituationen kalibriert werden. Dies kann mit realer Befahrung oder mit Videobeobachtungen von realen Situationen ermöglicht werden
- Für die Ausprägung der VQS sind die Fahrbahnoberfläche und das Vorhandensein von Radstreifen-Markierungen wichtige Einflussfaktoren
- Die VQS für Radfahrer wird nicht ausschliesslich durch den Verkehrsfluss oder aber die Kapazität bestimmt, sondern insbesondere das Sicherheitsgefühl des Nutzers spielt eine übergeordnete Rolle. So haben viele Nutzer häufig die Routen mit Aussagen wie „es ist gefährlich“ oder „ es ist ziemlich sicher“ bewertet

Behinderungen – Anzahl Überhol- und Begegnungsfälle [TRB 2000]

Im Highway Capacity Manual (HCM) wird als massgebendes Qualitätsmerkmal die Behinderung der Radfahrenden angenommen. Behinderungen gibt es sehr viele wie z. B.:

- durch andere Verkehrsteilnehmende in gleicher oder entgegengesetzter Richtung
- durch seitliche Hindernisse
- durch Parkiervorgänge
- durch Ein- und Ausfahrten
- durch Knoten

Die einzige Behinderung, die in Abhängigkeit der Verkehrsstärke dargestellt werden kann, ist diejenige durch andere Verkehrsteilnehmende. Als Mass für die Behinderung wird deshalb die Anzahl der Interaktionen durch Überhol- und Begegnungsfälle definiert.

Für einen Zweirichtungsradweg gelten z. B. folgende Formeln:

$$F_p = 0.188 \cdot v_s \quad (1)$$

$$F_m = 2 \cdot v_0 \quad (2)$$

$$F = 0.5 \cdot F_m + F_p \quad (3)$$

mit folgenden Definitionen:

- F_p = Anzahl Überholvorgänge pro Stunde
- F_m = Anzahl Begegnungsfälle pro Stunde
- F = Total Anzahl Interaktionen pro Stunde
- v_s = Anzahl Radfahrende in Betrachtungsrichtung pro Stunde
- v_o = Anzahl Radfahrende in Gegenrichtung pro Stunde

Dieses Merkmal wird in TRB 2000 für Längselemente wie Radstreifen und Radwege verwendet, sofern keine Knoten den Fahrfluss unterbrechen. Wird die Qualität über eine längere Strecke, die auch Knoten beinhaltet, beurteilt, so wird die durchschnittliche Reisezeit als relevantes Merkmal angesehen.

3.2.2 Führungsart des Radverkehrs - allgemein

Aus [CED 2012]

Grundsätzliche Empfehlungen zur Führung des Radverkehrs unter Berücksichtigung des Geschwindigkeitsniveaus und der Verkehrsstärke des motorisierten Verkehrs.

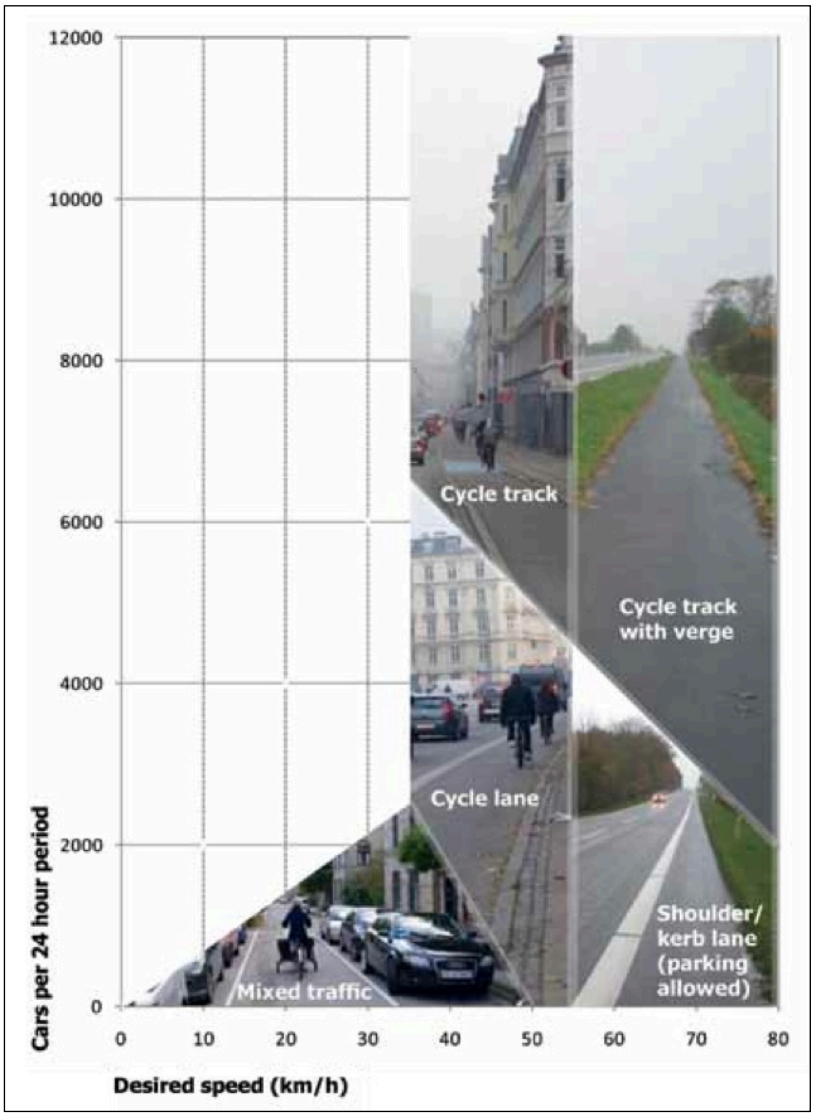


Abb. 3.7: Empfohlenen Radverkehrsanlage in Abhängigkeit des Verkehrsaufkommens und der Geschwindigkeit des motorisierten Verkehrs ([CED 2012] S. 53)

3.2.3 Mischverkehr

Aus [Bast 1993] S. 76-77, 82

- Das Interaktionsgeschehen zwischen Radfahrern und dem Mfz wird entscheidend geprägt durch die Breite der jeweiligen benutzen Fahrstreifen in Verknüpfung mit belastungsspezifischen Faktoren:
  - Mfz Belastung zwischen 12'000 und 15'000 Mfz/Tag:
    - Fahrstreifenbreite 4.00 m: viele Überholvorgänge (93%), bei denen der Fahrstreifen allerdings nicht verlassen wurde, die restlichen 7% überholten nicht.
    - Fahrstreifenbreite 3.20 bis 3.65 m: zwischen 30 und 64% der Mfz überholen nicht. Bei den Überholvorgängen wurden die gebotenen Mindestseitenabständen in vielen Fällen deutlich unterschritten.
  - Mfz Belastung zwischen 8'000 und 9'000 Mfz/Tag:
    - Fahrbahnbreite zwischen 5.00 und 6.00 m: 42 bis 53% der Mfz überholen nicht. Diejenigen, die überholen, weichen relativ stark vom Fahrstrei-

fen auf die Gegenfahrbahn ab, daher sind die Seitenabstandwerte zum Radfahrer relativ hoch.

- In der Gesamtheit sind bei den Überholvorgängen zwischen Radfahrern und Mfz ermittelten Seitenabstände (Mass: jeweilige Aussenbegrenzung) sehr gering, 50% unterschreiten einen Abstand von 1.00 m. In 9% der Fälle betrug dieser sogar weniger als 0.60 m. Besonders häufig trat dies auf Strassen mit hoher Belastung und geringen Fahrstreifenbreiten (3.25 bis 3.50 m) auf.
- Kritische Situationen ergeben sich vor allem auf der Fahrbahn zwischen Radfahrern und Mfz, und dies vor allem wegen unangemessener Seitenabstände.
- Behinderungen auf der Fahrbahn für Radfahrer ergeben sich vor allem durch den ruhenden Verkehr, z.B. durch Einparkmanöver, Ein- und Aussteigen: dadurch abbremsen oder gar anhalten und absteigen notwendig.
- Es ist zu beobachten, dass Radfahrer auf der Fahrbahn häufig sehr dicht entlang von parkierten Fahrzeugen fahren und somit sich im Gefahrenbereich aufhalten.
- Verhinderung des Überholens von Rf durch Mfz: Fahrstreifenbreite max. 3.00 m.
- Überholen möglich: Fahrstreifen mind. 3.50 für Rf/PW bzw. 4.25 m für Rf/LW oder Bus.
- Strassen mit mehr als einem Fahrstreifen pro Richtung: rechte Fahrstreifen max. 2.75 m, um ein Überholen nur dann zu ermöglichen, wenn der benachbarte Fahrstreifen mit genutzt wird.
- Sind Parkstreifen angrenzend, mind. 50 cm Schutzstreifen anlegen, der ein nahes Vorbeifahren der Rf an den parkierten Mfz verhindern soll.

Aus [ASTRA 2003] S. 32

Grundsätzliche Erkenntnisse für die Einsatzbereiche von Veloverkehr im Mischverkehr mit Mfz:

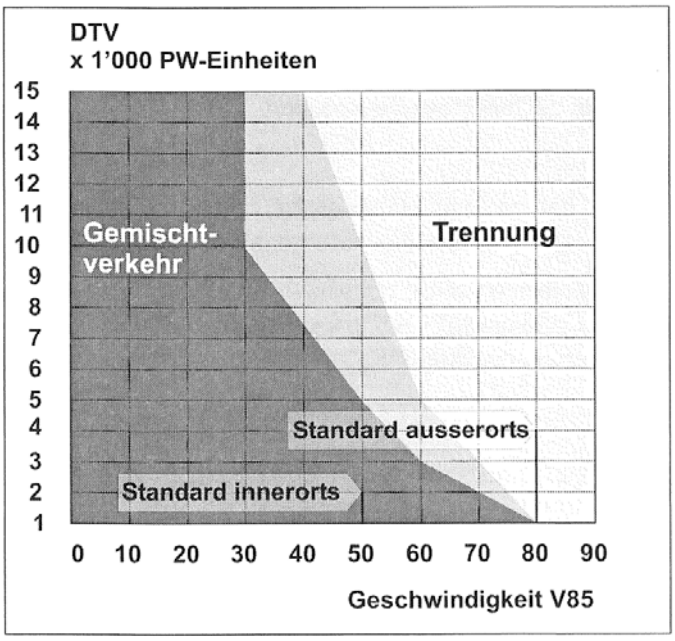


Abb. 3.8: Einsatzgrenzen Mischverkehr Rf/Mfz

Innerorts

- Mischverkehr grundsätzlich nur bei geringem Schwerverkehr empfohlen.
- Übereinstimmung weitgehend zwischen CH, D, NL: Mischverkehr bei V_{85} = 50 km/h bei einer Verkehrsmenge von rund 5'000 Mfz als Regelfall beurteilt. Bei Mengen über 5000 bis 10'000 Mfz gibt es geringe Unterschiede in der Bewertung. Mischverkehr grundsätzlich möglich, allerdings Beurteilung situationsspezifisch angeraten.
- Bei Mengen über 10'000 Mfz wird Mischverkehr grundsätzlich als problematisch angesehen. Gemäss D und NL bei Geschwindigkeiten bis zu 30 bis 40 km/h noch möglich.
- Bei geringen Verkehrsbelastungen und kleinem Schwerverkehrsanteil sind enge Profile, welche auf den Begegnungsfall zwischen Mfz ausgerichtet werden, möglich. Die Fahrbahnbreite soll ca. 5.50 m bis 6.00 m betragen.
- Ab einer mittleren Verkehrsbelastung ist die Fahrbahnbreite auf den Grundbegegnungsfall Rf/PW/PW auszurichten. Dies ergibt eine Fahrbahnbreite von rund 7.00 m.
- Bei bedeutendem Schwerverkehrsanteil werden überbreite Profile mit Fahrbahnbreiten von 7.70 m bis 8.50 m empfohlen. Damit ergibt sich ein Bereich insbesondere zwischen 6.00 und 7.00 m und allenfalls auch zwischen 7.00 und 8.00 m, welcher als kritisch zu vermuten ist.
- Enge Profile: Der Begegnungsfall Rf/Mfz bedingt die Inanspruchnahme des Gegenfahrstreifens. Die Fahrbahnbreite ist bei engen Profilen auf den Grundbegegnungsfall zwischen Mfz ausgerichtet.
- Weite Profile: Weite Profile ermöglichen den Begegnungsfall zwischen Rf und Mfz auf dem gemeinsamen Fahrstreifen und respektieren den Raumanspruch des Radverkehrs. Die Fahrbahnbreiten weiter Profile sind somit auf den Grundbegegnungsfall zwischen Rf und Mfz ausgerichtet.
- Für PW und LW ergeben sich entsprechend der unterschiedlichen Abmessungen unterschiedliche Abgrenzungen zwischen engen und weiten Profilen.
- Zwischenprofile: Zwischenprofile führen zu Begegnungsfällen analog weiter Profile, jedoch unter Beeinträchtigung des Raumanspruchs des Radverkehrs. Die Unterschreitung des Abstands zwischen Mfz und Rf bewirkt eine Verminderung der Verkehrssicherheit, insbesondere für den Rf.

Ausserorts

- Auf Strecken mit V_{85} = 80 km/h wird in D und NL auch bei schwacher Belastung der Strassen eine Separierung des Radverkehrs ausserorts empfohlen. In der Schweiz gibt es je nach Kanton unterschiedliche Empfehlungen und Erfahrungen: bei einer Mfz-Menge von bis zu 5'000 wird der Mischverkehr ausserorts allerdings noch als sinnvoll bzw. möglich erachtet.
- Häufig besteht das Problem ausserorts darin, dass die effektiven Geschwindigkeiten der Mfz nicht der Situation angepasst sind.
- Kurven und Kuppen, die eine eingeschränkte Sichtweite verursachen, sind als Auslöser für eine reduzierte Verkehrssicherheit einzuordnen. Dazu sind aber keine spezifischen Angaben vorhanden.

3.2.4 Radstreifen

Radstreifenbreite (aus [Bast 1993] S. 83 und [Bast 2003/2] S. 15)

- Mindestbreite im Streckenbereich: 1.25 m plus 25 cm Strichbreite, wenn V_{85} nicht höher als 50 km/h.
- Regelbreite: Mind. 1.60 m plus 25 cm Strichbreite.
- Wenn V_{85} höher als 50 km/h, dann mind. 1.60 m plus 25 cm Strichbreite.
- Bei häufigen Pulkbildungen: Breite 2.00 m, wenn die Belegung dieser Bereiche durch parkierte Mfz verhindert werden kann.
- Bei höheren Radverkehrsstärken sind jedoch Breiten von bis zu 2.25 m anzusetzen (Überholbedarf unter Radfahrern bzw. häufigere Pulkbildung).
- Zur Sicherstellung angemessener Seitenabstände zwischen Rf und überholenden Mfz sollte der an den Radstreifen angrenzende Fahrstreifen nicht schmaler als 2.75 m sein, bei höherem Schwerverkehrsanteil und ab einer Geschwindigkeit von 50 km/h sollte der angrenzende Fahrstreifen mind. 3.00 m breit sein.
- Wenn an den Radstreifen angrenzend Parkplätze vorgesehen sind, ist ein Schutzstreifen von mind. 50 cm notwendig. Die Parkplätze sollten so angeordnet sein, dass eine Mitbeanspruchung des Schutzstreifens nicht erfolgt.
- Kritische Situationen ergeben sich häufiger auf Radstreifen als auf Radwegen:
  - Radstreifen: 1.75 kritische Situationen pro 100 beobachteter Radfahrer
  - Radwege: 0.55 kritische Situationen pro 100 beobachteter Radfahrer

Fahrradkompatibilitäts-Index USA: Bicycle Compability Index BCI aus [Bast 2003/2]:

Prüfung der Fahrradverträglichkeit von Strassen – damit sollen Qualitätsstufen einer Strasse bestimmt werden. Faktoren sind:

- Existenz eines Radstreifens oder eines befestigten Seitenstreifens mit mehr als 0.9 m Breite
- Breite des Radstreifens bzw. des befestigten Streifens
- Breite der äusseren (rechten) Fahrspur
- Kfz-Menge des äusseren Fahrstreifens pro Stunde
- Kfz-Menge der anderen Fahrstreifen in derselben Richtung
- Geschwindigkeitsniveau des Kfz-Verkehrs (V_{85})
- Existenz eines Parkierstreifens, auf der mehr als 30% der Parkfläche belegt sind
- Nutzung der Fläche, die an die Strasse anschliesst: Wohngebiet oder andere Nutzung
- LW-Mengen auf dem äusseren Fahrstreifen
- Umschlaghäufigkeit beim Parken (Parkzeitbegrenzung)
- Zahl der rechts abbiegenden Mfz

Kritik am BCI gemäss [Bast 2003/2]:

- Amerikanische Rahmenbedingungen zugrunde gelegt.
- Einteilung der Qualitätsstufen beinhaltet keine Angaben über Einsatzgrenzen der Fahrbahnführung bzw. des Mischverkehrs.
- Keine Unterscheidung zwischen Radstreifen und befestigtem Seitenstreifen.

- Ansetzung eines Grenzwertes von 0.9 m für einen Radstreifen ist sehr gering bemessen, schmale bzw. evtl. wenig nützliche Radstreifen tragen dazu bei, dass der Indexwert stark beeinflusst wird.
- Für die Mfz-Mengen werden Durchschnittswerte genommen und nicht Spitzenstundenwerte.
- Relativ niedriger Durchschnittswert (30%) der Parkflächenbelegung; alternativ sollten höhere Werte während der Spitzenstunden aufgegriffen werden.
- Wenig differenzierte Einteilung der angrenzenden Flächennutzung in Wohnnutzung und andere Nutzungen; wobei nur die Wohnnutzung einen positiven Einfluss auf den Index-Wert ausübt, die sonstigen Nutzungen dagegen keinen.
- Durchschnittwerte des LW-Aufkommens: besser Spitzenstundenwerte.
- Alleinige Betrachtung der Rechtsabbieger in Strassen und Einmündungen; relevant ist aber auch die Anzahl von einmündenden Strassen innerhalb eines Streckenabschnitts und deren Verkehrsaufkommen.

3.2.5 Radwege

Interaktionsgeschehnisse im Bereich von Radwegen

([Bast 1993] S. 76)

- Die meisten Konflikte bestehen zwischen Radfahrern und querenden Fussgängern.
- Weitere kritische Situationen zwischen Radfahrern und Fussgängern im Längsverkehr sowie bei Überholvorgängen von Radfahrern.
- Besonders konfliktträchtig sind Strassen mit geringen Trennstreifen-, Geh- und Radwegbreiten bei einem hohen Nutzungsdruck durch Fussgänger.

Führungsart [Bast 1993]

Führung des Radverkehrs im Einrichtungsverkehr sollte lt. ERA Standardfall sein. Radstreifen oder Radwege sind dann i.d.R. auf beiden Strassenseiten anzulegen. Kriterien für die Entscheidung einer zweckmässigen Radverkehrsführung sind danach:

- Mfz-Geschwindigkeit
- Mfz-Stärke
- Mfz-Verkehrszusammensetzung
- Flächenverfügbarkeit unter Berücksichtigung aller Nutzungsansprüche (ausreichend breit dimensioniert, ausreichende Trennräume zu den übrigen Strassennutzungen und Hindernissen
- Keine Aneinanderreihung von Mindestquerschnitten

Geschwindigkeit [Bern 1989]

- Bei Radwegen Typ A, B, C sollten Strecken mit einer Längsneigung von > 4% nur dem aufwärts fahrenden Radverkehr vorbehalten sein.
- Radwege Typ A, B, C sollten mit 20 km/h sicher befahren werden können.
- Bei Radwegen Typ D, E sollte eine Entwurfsgeschwindigkeit von 30 km/h gelten. Bei einem Gefälle von > 4% gilt die maximale Geschwindigkeit, die beim „Rollenlassen“ entsteht, als Entwurfsgeschwindigkeit.

Richtungsänderung [Bern 1989]

- Bei Radwegen Typ A, B, C sollte die Breite im Kurvenbereich auf mind. 3.5 m erweitert werden, falls die Sichtdistanz gegenüber dem entgegenkommenden Radverkehr kleiner ist als die addierten Anhaltewege der aufeinander zufahrenden Fahrzeuge.
- Ist der Radweg schmaler als 3.5 m, so sind Zuschläge beim Grundfahrstreifen, bei der Wegbreite, dem Sicherheitsstreifen und beim Freiraum unerlässlich.
- Die Zuschläge beim Sicherheitsstreifen gegenüber Hindernissen wie Kandelaber, Maste, Pfosten etc. müssen zwingend eingehalten werden, bei Hindernissen wie Zäunen, Leitplanken, Hecken etc. kann darauf verzichtet werden, wenn die Sichtdistanz gegenüber entgegenkommenden Zweiradfahrzeugen dem doppelten Anhalteweg entspricht.
- Radwege Typ D, E müssen einen minimalen Radius von 30 m besitzen.
- In Gefällen darf ein Minimalradius, gemäss ermittelter Geschwindigkeit, nicht unterschritten werden (z. B. bei 20 km/h ca. 10 m Mindestradius, bei 30 km/h ca. 20 m Mindestradius).

Radwegbreite

Gemäss [Bern 1989] ist die Radwegbreite abhängig von:

- Zusammensetzung der Verkehrsteilnehmer und
- der daraus resultierenden Häufigkeit von Überholvorgängen.

Gemäss [Bast 1993] gelten folgende Breiten:

- Radwegbreite von 1.60 m, wenn Strassen von Radverkehr nur geringfügig frequentiert.
- Radwegbreite von 2.00 m, wenn von Radverkehr stärker frequentiert bzw. Pulkbildung möglich ist.
- Bei angrenzenden Parkplätzen: möglichst Schutzstreifen von 1.00 m, mindestens 0.50 m. Schutzstreifen sollte unangenehm zu befahren sein, um den Rf aus dem Gefahrenbereich herauszuhalten.

Die Radwegbreiten sind unter folgenden Bedingungen zu vergrössern:

- Hauptverbindung des Radverkehrs.
- Hohe Radverkehrsbelastung.
- Häufig auftretende Belastungsspitzen.
- Hohe Nutzungsintensität im Strassenraum.
- Starkes Gefälle.

Breiten-Untersuchung des notwendigen Raumes für den Radfahrer an unterschiedlichen Stellen gemäss [Schopf 1985]:

- Ebene Strecke:
  - Notwendige Breite: 50%: 60.5 cm; 85%: 66 cm
  - Bewegungsraum: 15%: 78 cm; 50%: 97 cm; 85%:124 cm

- Steigung
  - Zwar insgesamt mehr Schwankungsbewegungen, allerdings insgesamt von weniger grosser Auswirkung auf die notwendige Breite
- Anhalten vor und Anfahren nach Kreuzungen
  - Notwendige Breite: siehe ebene Strecke
  - Bewegungsraum allerdings erweitert: 50%: 110 cm; 85%: 158 cm
- Fahren in der Kurve
  - Geschwindigkeit und zusätzliche Breite gemäss S. 121 in [Schopf 1985]
- Sicherheitsabstand bei der Begegnung:
  - 100%: 125 cm
  - 85%: 120 cm
  - 50%: 100 cm

Schräglage in Kurven und entsprechender Breitenbedarf

Beispiel: Einspuriger Radweg bei Kurvenfahrt: Z.B. bei Schräglage von 22° : 1.56 m

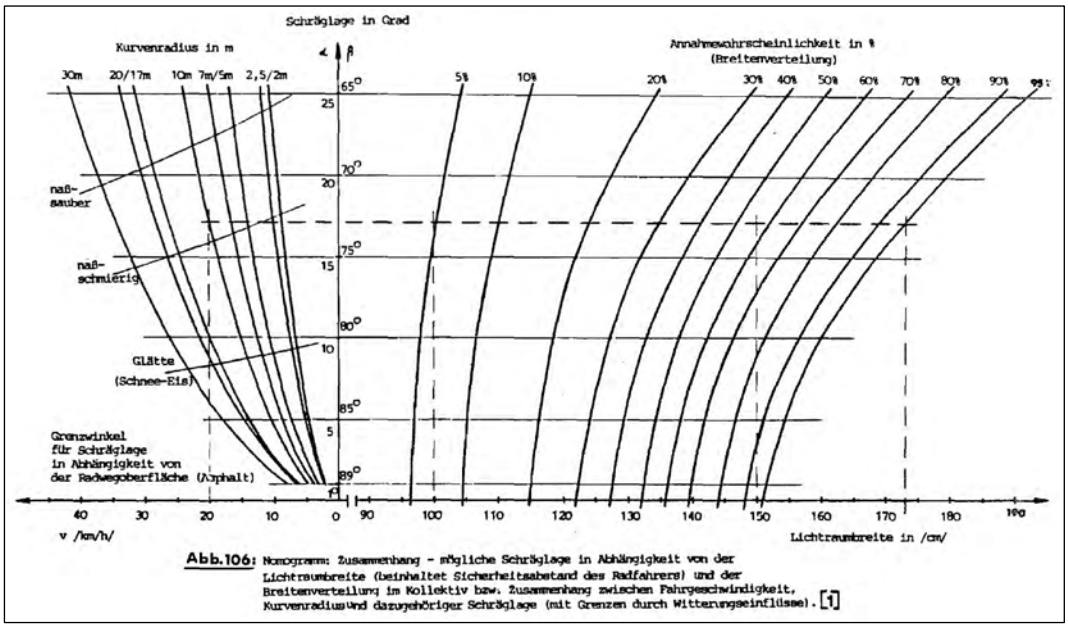


Abb.106: Nomogramm: Zusammenhang - mögliche Schräglage in Abhängigkeit von der Lichtraumbreite (beinhaltet Sicherheitsabstand des Radfahrers) und der Breitenverteilung im Kollektiv bzw. Zusammenhang zwischen Fahrgeschwindigkeit, Kurvenradius und dazugehöriger Schräglage (mit Grenzen durch Witterungseinflüsse). [1]

Abb. 3.9: Schräglage der Radfahrenden bei Kurvenfahrt

3.2.6 Busstreifen im Mischverkehr mit Veloverkehr

Aus [ASTRA 2001] S. 19

Wichtige Entscheidungskriterien für die Führung der Rf auf Busstreifen sind:

- Geschwindigkeitsdifferenz:
  - Hängt primär vom Gefälle ab.
  - Bei Gefälle von max. 0% ist die Zulassung des Velos auf dem Busstreifen zu begrüssen.
  - Allerdings schlagen einige Quellen in Steigungen die Anordnung von Radstreifen neben dem Busstreifen vor.

- Breite:
  - Busstreifen, auf denen der Veloverkehr zugelassen ist, dürfen keine Breiten zwischen 3.25 und 4.00 m aufweisen: kritisches Zwischenprofil! Bei Breiten darüber oder darunter kann der Bus entweder problemlos überholen oder aber er ist gezwungen, hinter dem Velo zu bleiben.
  - Richtwert für gerade Strecke: Busbreite max. 2.55 m.

Aus [Münster 1995] S. 76 ff

Kriterien für den Abwägungsprozess, ob eine gemeinsame Führung in Frage kommen kann:

- Belastung des Linien- und Radverkehrs:
  - Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens von Bus und Velofahrer unter Berücksichtigung der tageszeitlichen Schwankungen.
  - Die Untersuchungen haben gezeigt, dass Interaktionen nicht zwangsläufig Auswirkungen auf die Geschwindigkeit des ÖV haben müssen.
  - Belastungsbezogene Werte sind bei breiten Sonderfahrstreifen wenig dienlich, da ein problemloses Nebeneinanderfahren i.d.R. möglich ist.
  - Belastungsbezogene Grenzwerte sind dann sinnvoll, wenn beengte Verhältnisse vorliegen und ein stärkeres Arrangieren zwischen Verkehrsteilnehmern nötig ist.
  - Ort des Zusammentreffens kann wichtigen Einfluss haben, z.B. an Knoten: Bündelung und damit evtl. verbundene Problemsituationen.
- Geschwindigkeitsniveau des Linienverkehrs:
  - Gefährdungspotential durch Busgeschwindigkeit abwägen.
  - Soll der Bus zwischen den Haltestellen 50 km/h fahren können, so ist dafür zu sorgen, dass der Velofahrer in einem angemessenen Abstand auf dem Fahrstreifen überholt werden kann.
  - Bei mehreren Knoten in kurzer Abfolge ist die Busgeschwindigkeit voraussichtlich reduziert. Dann sind Regelungen, die ein stärkeres Arrangieren zwischen den VT nach sich ziehen, möglich (schmalere Fahrstreifen).
- Breitendimensionierung des gemeinsamen Fahrstreifens:
  - 5.00 m breiter gemeinsamer Fahrstreifen erscheint auch bei Geschwindigkeiten von 50 km/h ohne Einschränkungen vertretbar. Auch Sonderfahrstreifen von 4.75 m können mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h befahren werden ohne Sicherheitseinbussen für die VT.
  - Fahrstreifenbreiten von mehr als 3.25 m bis 4.25 m können nicht empfohlen werden, da diese Überholmanöver mit geringen Sicherheitsabständen provozieren.
  - Fahrstreifenbreiten von 3.00 m bis 3.25 m sind empfehlenswert, Überholmanöver können weitgehend verhindert werden. Begünstigt wird diese Situation, wenn eine häufige Haltestellenfolge eine reduzierte Busgeschwindigkeit verursacht.
- Länge und Verlauf des zu behandelnden Streckenzuges:
  - Um eine angemessene Beschleunigung der Busse zu gewährleisten, sollten die Abschnitte mit gemeinsamer Führung und schmalen Fahrstreifen in ihrer Länge begrenzt werden: ca. 250 bis 300 m.
  - Alternativ können im Streckenverlauf Ausweichstellen zur Verfügung gestellt werden, z. B. Einmündungen, Einrichtung von Ausweichstellen bei Parkstreifenunterbrechung.
  - Bei breiten Fahrstreifen stellt sich dieses Problem nicht.

- Knotenbezogene Kriterien:
  - Damit keine Reisezeitvorteile des Busverkehrs an Knoten verloren gehen, muss dies im Bedarfsfall durch entsprechende Massnahmen vermieden werden.
  - Getrennte Signalisierung des Linien- und Veloverkehrs in Verbindung mit der Anlage getrennter Aufstellbereiche an den Knotenzufahrten.
- Haltestellenbezogene Kriterien:
  - An Bushaltestellen mit einer höheren Frequentierung durch den Linienbusverkehr und/oder längere Aufenthaltszeiten sollten die Radfahrer auf gemeinsamen Fahrstreifen gesichert und ohne auf den Nachbarstreifen ausweichen zu müssen an den haltenden Bussen vorbeifahren können, wozu schmale Fahrstreifen leicht aufzuweiten sind.

3.2.7 Knoten ohne LSA

Aus [Bast 2003/1]

- Untersuchungsgegenstand: Kreuzungen und Einmündungen mit bevorrechtigter Hauptverkehrsrichtung, ohne LSA.
- Qualität wird durch die ermittelte mittlere Wartezeit der Verkehrsteilnehmer definiert.

Qualitätsbedürfnisse von Radfahrern an Knoten:

- Minimierung der Reisezeit, insb. bei schlechter Witterung.
- Möglichst direkter Weg, da sehr umwegempfindlich.
- Stufenlose und gut befahrbare Fahrwege.
- Ausreichend grosse Warteflächen.

Verschiedene Berechnungsmethoden wurden auf ihre Nutzbarkeit hin untersucht, inwieweit sie die Verhaltensweisen von Fussgängern und Radfahrern abbilden können. Als neue, aber „einfache“ Methode wurde die Konflikt-Methode herangezogen, die entsprechend erweitert wurde.

Diese Rechenmethode benötigt eine empirische Absicherung und Eichung, was anhand von 13 hoch belasteten vorfahrtsgeregelten Knotenpunkten durch Videoanalyse untersucht wurde. Dadurch können wichtige Parameter bestimmt werden. Die Anwendung ergibt, dass die Konflikttechnik ein realistisches Bild der Verkehrsqualität – dargestellt an der mittleren Wartezeit – ergibt.

Die mittlere Wartezeit ergibt in einem weiteren Schritt die VQS.

Aus [TRB 2000]

Im amerikanischen Highway Capacity Manual (HCM) wird an Knoten die Wartezeit als relevantes Merkmal für die Qualitätsbeurteilung von Knoten beigezogen.

3.3 Leistungsfähigkeit

3.3.1 Allgemein

Durchlassfähigkeit ([Bast 2003/2] S. 11)

- Empirische Erhebung zu Durchlassfähigkeit von Radverkehrsanlagen entlang einzelner Streckenabschnitte.
- Theoretische Durchlassfähigkeit bestimmt sich bei einspurigem Fahren aus:
  - Mittlerer Geschwindigkeit (18 km/h) und zeitlichem Abstand der Radfahrer.
  - Theoretische Durchlassfähigkeit von 1'500 bis 4'000 Rf/h, bei Nettozeitlücken von 0.5 sec (bei versetztem Fahren) bis 2.0 sec (bei sicherem hintereinander Fahren).

Kapazität von Radverkehrsanlagen

Gemäss Auswertung aus europäischen Studien empfiehlt [TRB 2000]:

- Einrichtungsanlagen: 3'200 Fz/h/Streifen.
- Zweirichtungsanlagen: 1'600 Fz/h/Streifen.

wobei pro Streifen eine Standardbreite von 1.2 m eingesetzt wird.

Auswertung **diverser Studien** gemäss [Allen 1998]:

- Davis California: 2'600 Rf/h pro 1 m Breite.
- Davis California (2): 3'060 Rf/h bei 1.2 m Breite.
- Schweden: 1'500 Rf/h bei 1.2 m Breite.
- Kanada: 5'000 Rf/h bei 1.25 m Breite.
- China: 1'800 – 2'100 Rf/h pro 1.0 m Breite.
- Holland: 3'200 Rf/h pro 1.0 m Breite.

Das Highway Capacity Manual 2010 [TRB 2010] empfiehlt eine Kapazität von 2'000 Rf/h/Streifen für Einrichtungsverkehr bei ungestörtem Verkehrsfluss. Zudem wird festgehalten, dass sich die Kapazität für den Entwurf oder die Analyse von Radverkehrsanlagen nicht eignet.

3.3.2 Radwege

Kapazität von Radwegen

[NCDC 1983]

Tab. 3.3: Kapazität von Radwegen [NCDC 1983]

Anzahl Streifen	Einrichtungsradweg [Rf/h]	Zweirichtungsradweg [Rf/h]
1-streifig	1'700 – 2'530	850 – 1'000
2-streifig	2'000 - 4'000	1'500 – 2'000
3-streifig	3'500 - 5'000	1'700 – 2'500

[Bast 2003/2] S. 11:

- Einrichtungsverkehr, einspurig: 1'500 Rf/h
- Zweirichtungsverkehr, zweispurig: 1'500 Rf/h
- Jede weitere Spur: 1'000 Rf/h
- Kombinierter Rad- und Gehweg ohne optische Trennung: 50 Rf/h bei 500 Fg/h, 250 Rf/h bei 50 Fg/h

[Bast 2003/2] S. 12:

Die folgenden Richtwerte beziehen sich auf Erhebungen von [Schopf 1985], der bei seinen Breitenangaben für Radverkehrsanlagen aus Verfolgungsfahrten gewonnene empirisch ermittelte Kurven (Wahrscheinlichkeitsverteilung) verschiedener Breitenparameter (z. B. Schwankungsbewegungen, Bewegungsräume) zugrunde legt.

Annahme: bei einer optimalen Geschwindigkeit von 10-14 km/h wird eine Leistungsfähigkeit von Radverkehrsanlagen von 1'800 bis 2'500 Rf/h angenommen:

- Eine Richtung je 1 m Breite: 1'000 Rf/h
- Zwei Richtungen je 2 m Breite: 1'500 Rf/h
- Zwei Richtungen je 3 m Breite: 2'500 Rf/h

Kapazität von 1-Richtungs-Radwegen ([CED 2012] S. 63)

- Radweg: 2.00 – 2.20 m (gilt als 2-streifig) 2'000 Rf/h
- jeder weitere Streifen von ca. 1.00 m zusätzlich 1'500 Rf/h

Dabei unberücksichtigt:

- Länge der Fahrzeuge (z. B. Tandem, Rad mit Anhänger)
- Breite der Fahrzeuge (z. B. bis zu 1.25 m breite Lastenräder)

Aus [CROW 1994]

Radwegebreite abhängig von Spitzenstundenbelastung:

$$I_S = F_s \cdot I_M \qquad (4)$$

mit

- I_S = Spitzenstundenbelastung
- F_S = Spitzenstundenfaktor (normalerweise auf 2,0 gesetzt, an besonderen Stellen, z.B. Schulen ist der Faktor höher)
- I_M = mittlere Stundenbelastung währen der Periode von 7.00 bis 19.00 Uhr (= 12-Stundenbelastung/12 = 0.9*24 Stunden-Belastung/12)

Tab. 3.4: Radwegbreiten in Abhängigkeit der Radverkehrsbelastung [CROW 1994]

Einrichtungsverkehr		**Zweirichtungsverkehr ****	
Spitzenstunden-belastung in einer Richtung [Rf/h]	**Radwegbreite [m]**	**Spitzenstunden-belastung in zwei Richtungen [Rf/h]**	**Radwegbreite [m]**
maximal 10% Mofa			
0 – 150	1.50 *	0 – 50	1.50 ***
150 – 750	2.50	50 – 150	2.50 ***
> 750	3.50	> 150	3.50
mindestens 10% Mofa			
0 – 75	2.00 *	0 – 50	2.00 ***
75 – 375	3.00	50 – 100	3.00
> 375	4.00	> 100	4.00

* Ein Einrichtungsradweg von 2.00 m oder schmaler muss an einer Seite (vorzugsweise links) eine überfahrbare Abtrennung haben. Radfahrer haben dann eine Ausweichmöglichkeit bei Vorbeifahr- und Überholmanövern. Ein Einrichtungsradweg von 2.00 m oder schmaler ist dann eine gute Radverkehrsanlage, wenn er als Bordsteinradweg gestaltet ist, weil Radfahrer einen gewissen Sicherheitsabstand von der Radwegabtrennung bei niveaugleicher Führung halten; die effektive Breite eines Radweges vermindert sich dadurch.

** Ein in zwei Richtungen befahrener Radweg darf nicht als Bordsteinradweg (Sicherheitsabstand zur Fahrbahn ≤ 0.7 m) angelegt werden. In einer der beiden Richtungen fahrende Radler müssten dann zu dicht an der Mfz-Fahrbahn fahren.

*** Ein Zweirichtungsradweg von 2.50 m oder schmaler muss an beiden Seiten eine überfahrbare Abtrennung haben, damit Radfahrer eine Ausweichmöglichkeit besitzen.

3.4 Verkehrsqualität und Bemessung

3.4.1 Netz / Strecken

Verkehrsqualitätsstufen für Radverkehrsanlage auf Hauptverkehrsstrassen

(Quelle: Univ. Doc. Agnes Lindenbach, Vorlesung 3: Strassen und Eisenbahnwesen BMEEOUV-N39, nach Brilon, Grossmann, Blanke 1993)

Das Mass der Verkehrsqualität für Anlagen des Radverkehrs wird durch die Dichte bestimmt.

Tab. 3.5: Qualitätsstufen nach Verkehrsdichte

Qualitätsstufe	**Verkehrsdichte [Rf/km Fahrstreifen]**
A	≤ 5
B	≤ 10
C	≤ 20
D	≤ 30
E	≤ 100
F	> 100

Verkehrsdichte und zulässige Verkehrsstärken

(VQS-Entwurf für HBS; [Bast 2003/2] S. 12)
Radverkehrsdichte wird als Mass des Fahrkomforts bestimmt. Der Einstufung liegt die Annahme einer maximalen Leistungsfähigkeit von 1'700 Rf/h (je Fahrstreifen) und einer mittleren Geschwindigkeit von 17 km/h zugrunde.

Tab. 3.6: Qualitätsstufen nach Verkehrsdichte und Verkehrsstärke

Qualitätsstufe	Verkehrsdichte [Rf/km Fahrstreifen]	Verkehrsstärke [Rf/h Fahrstreifen]
A	≤ 5	≤ 85
B	≤ 10	≤ 170
C	≤ 20	≤ 340
D	≤ 30	≤ 510
E	≤ 100	≤ 1'700
F	> 100	> 1'700

Dabei gilt folgende Definition der Qualitätsstufen:

- Stufe A: Alle Radfahrer können sich frei bewegen und werden in keiner Weise von anderen Verkehrsteilnehmern beeinflusst.
- Stufe B: Keine nennenswerten Beeinträchtigungen, ein leichter Einfluss auf die Bewegungsfreiheit (z. B. auf die gewünschte Geschwindigkeit) und auf das Verkehrsverhalten ist festzustellen.
- Stufe C: Der Verkehrszustand ist stabil, aber die Beeinträchtigungen der Fahrradfahrer untereinander nehmen zu, das jeweilige Fahrverhalten hängt zunehmend vom Fahrverhalten anderer Radfahrer ab. Die Bewegungsfreiheit ist zwar eingeschränkt, aber teilweise noch gegeben.
- Stufe D: Der Verkehrsablauf ist durch hohe Belastungen gekennzeichnet, die zu deutlichen Beeinträchtigungen und Behinderungen führen. Die Stabilität des Verkehrsflusses ist aber immer noch gewährleistet, obwohl nahezu ständige Interaktionen zwischen den Radfahrern stattfinden.
- Stufe E: Kolonnenbildung, Wechsel von Stabilität zu Instabilität des Verkehrszustands. Bewegungsfreiheit der Radfahrer ist nur in geringstem Umfang gegeben, es treten ständige Behinderungen zwischen den Radfahrern auf, die grösstmögliche Verkehrsstärke wird erreicht.
- Stufe F: Die Leistungsfähigkeit der Radverkehrsanlage ist überschritten. Der Verkehr bricht zusammen, die Verkehrsströme fliessen nur noch mit einem sehr geringen Qualitätsniveau.

Zutreffend nur für folgende Radverkehrsanlagen:

- Radstreifen.
- Strassenbegleitende Radwege.
- Selbständig geführte Radwege.
- Strecken, die nicht von einer Längsneigung beeinflusst sind.
- Strecken mit einen Kurvenradius > 30 m.

Bei der Berechnung der Verkehrsdichte K aus der Verkehrsstärke Q und der mittleren Geschwindigkeit V mit Hilfe der Gleichung K = Q/V bleiben jedoch folgende Kriterien unberücksichtigt:

- Störungen des Radverkehrs durch andere Verkehrsteilnehmer.
- Einflüsse von Trassierungsmerkmalen und Querschnitt des Radweges.
- Einflüsse von Knotenpunkten.

Dabei ist darauf hinzuweisen, dass die Geschwindigkeit über alle Qualitätsstufen konstant angenommen wird. Messungen an verschiedenen Radverkehrsanlagen in Deutschland bestätigen, dass die Geschwindigkeit bei zunehmender Dichte gleichbleibt.

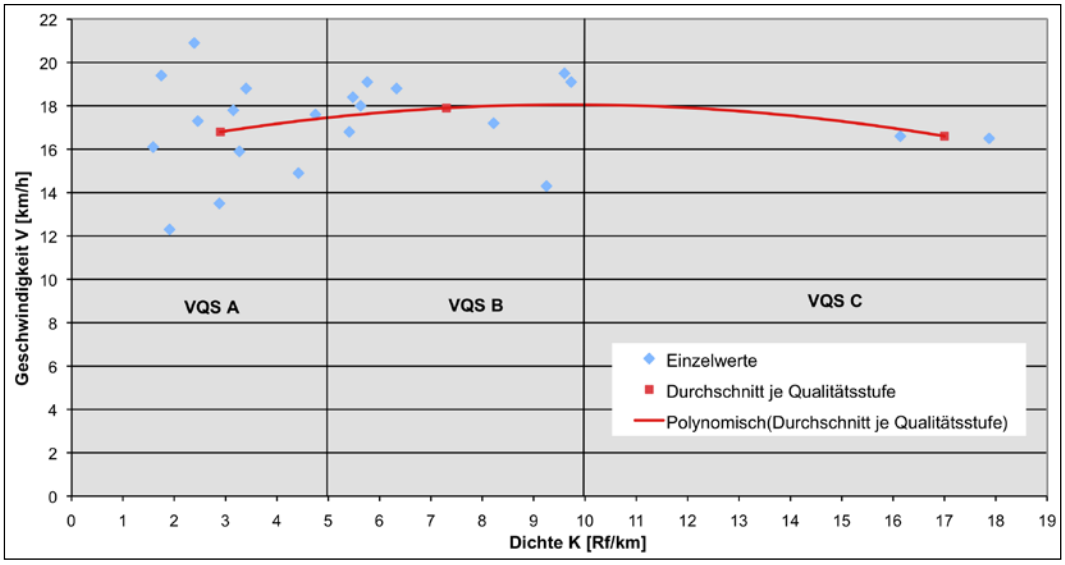


Abb. 3.10: Dichte und mittlere Geschwindigkeit bei unterschiedlichen Radverkehrsanlagen in Deutschland [Bast 2003/2]

Auch in [TRB 2000] wird darauf hingewiesen, dass die Geschwindigkeit erst kurz vor Erreichen der Leistungsfähigkeit abnimmt.

LOS für Radanlagen auf Stadtstrassen [TRB 2000]

- Analyse von Stadtstrassen mit Radstreifen, die sowohl unterbrechende als auch nicht unterbrechende Elemente enthalten.
- Kriterium für LOS ist die durchschnittliche Radfahrreisegeschwindigkeit inklusive Unterbrechungen (STOPs).
- Berechnungsmethode: Für die Analyse wird die Stadtstrasse in Segmente eingeteilt. Jedes Segment besteht aus einem signalisierten Knoten und einem dazu vorgelagerten Element einer Radanlage, das unmittelbar nach dem vorherigen vorgelagerten Signal anschliesst.
- Knotenverzögerungen werden errechnet aus der Verzögerung je nach Berechnungsmethode für signalisierte oder nicht-signalisierte Knoten und der Reisezeit für die Segmente.
- Die durchschnittliche Reisezeit über den gesamten Abschnitt wird berechnet.

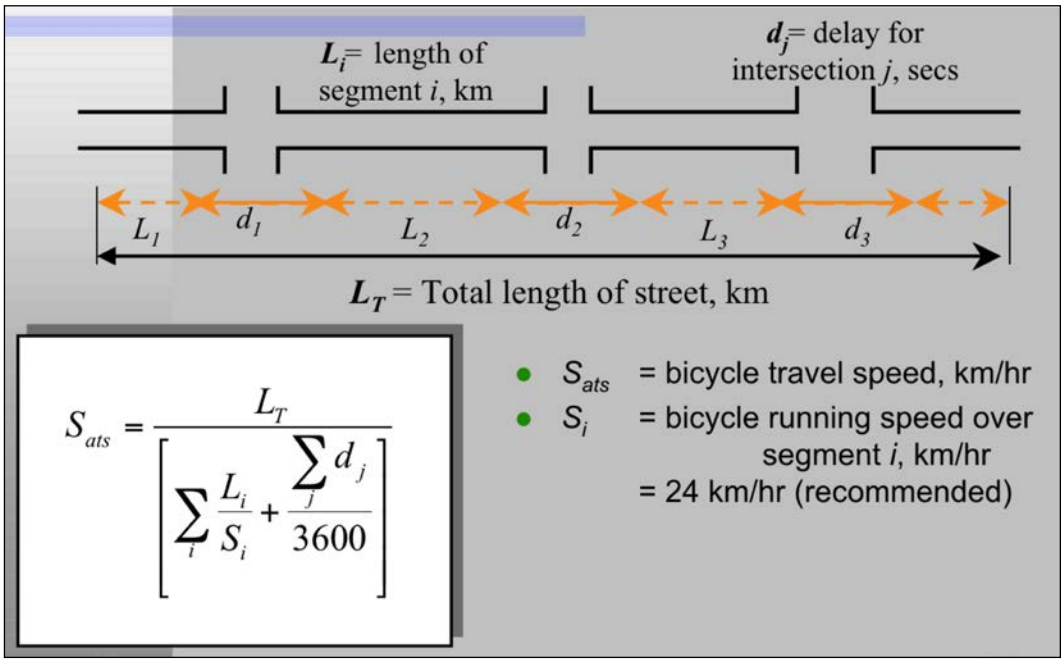


Abb. 3.11: Berechnung der Durchschnittsgeschwindigkeit über einen bestimmten Abschnitt [TRB 2000]

Tab. 3.7: LOS für Streckenabschnitt je nach durchschnittlicher Reisegeschwindigkeit [TRB 2000]

LOS	Reisegeschwindigkeit [km/h]
A	> 22
B	16 – 22
C	12 – 15
D	9 – 11
E	7 – 8
F	< 7

Limitierende Faktoren:

Keine ausgleichenden Faktoren verfügbar für angrenzenden Motorfahrzeugverkehr, an die Fahrbahn angrenzende Parkier-Manöver, Anliegerzufahrten, seitliche Hindernisse und bedeutende Gefälle.

Bewertung von Qualitätsanforderungen

[ASTRA 2008] hat insgesamt 9 Qualitätsanforderungen definiert und eine Bewertung in 4 Stufen vorgenommen: Gut – Genügend – Ungenügend – Schlecht.

1) Fahrfluss - Anzahl der Fahrtunterbrechungen pro 500 m (innerorts) bzw. 2'000 m (ausserorts):
   - Gut: max. 1 Fahrtunterbrechungen
   - Genügend: bis 2 Fahrtunterbrechung
   - Ungenügend: bis 3 Fahrtunterbrechungen
   - Schlecht: mehr als 3 Fahrtunterbrechungen

2) Umfeldqualität:
   - Gut: sehr attraktive und abwechslungsreiche Umgebung
   - Genügend: attraktive Umgebung
   - Ungenügend: unattraktive Umgebung
   - Schlecht: sehr unattraktive, monotone Umgebung

3) Oberfläche – Streckenanteil mit Asphalt- oder Betondeckschicht:
   - Gut: 100%
   - Genügend: mehr als 98% Alltag, mehr als 90% Freizeit
   - Ungenügend: mehr als 95% Alltag, mehr als 80% Freizeit
   - Schlecht: max. 95% Alltag, max. 80% Freizeit

4) Verkehrsregime und -belastung:
   - Gut: mehr als 90% in Strassen Kat. 1-4; max. 10% Kat. 5; Kat. 6 nur kreuzend
   - Genügend: mehr als 80% in Strassen Kat. 1-4; max. 20% Kat. 5; Kat. 6 nur kreuzend
   - Ungenügend: mehr als 60% in Strassen Kat. 1-4; max. 40% Kat. 5 oder max. 10% Kat. 6
   - Schlecht: max. 60% in Strassen Kat. 1-4; min. 40% Kat. 5 oder min. 10% Kat. 6

     Kat. 1 Motorfahrzeugfreie /-arme Strassen
     Kat. 2 Verkehrsberuhigte Zonen
     Kat. 3 Strassen mit geeigneten Radverkehrsanlagen bzw. -führung
     Kat. 4 Strassen mit DTV < 3’000
     Kat. 5 Strassen mit DTV 3’000 bis 10’000 und ungeeigneter Radverkehrsanlage
     Kat. 6 Strassen mit DTV über 10’000 ohne bzw. mit ungeeigneter Radverkehrsanlage

5) Homogenität – Anzahl Wechsel des Führungsprinzips pro 500 m (innerorts) bzw. 2'000 m (ausserorts):
   - Gut: kein Wechsel
   - Genügend: max. 1 Wechsel
   - Ungenügend: max. 2 Wechsel
   - Schlecht: mehr als 2 Wechsel

6) Gefahrenstellen – Anzahl und Kosten-Nutzen-Verhältnis für Sanierung:
   - Gut: max. 1 mit angemessenem Kosten-Nutzen-Verhältnis eliminierbare Gefahrenstelle
   - Genügend: max. 2 mit angemessenem Kosten-Nutzen-Verhältnis eliminierbare Gefahrenstelle
   - Ungenügend: max. 3 mit angemessenem Kosten-Nutzen-Verhältnis eliminierbare Gefahrenstelle
   - Schlecht: mehr als 3 mit angemessenem Kosten-Nutzen-Verhältnis eliminierbare Gefahrenstelle und/oder Gefahrenstellen, die nicht bzw. nur mit unangemessenem Kosten-Nutzen-Verhältnis eliminierbar sind

7) Sicherheitsempfinden:
   - o Gut: keine problematische Stelle
   - o Genügend: 1 problematische, lösbare Stelle
   - o Ungenügend: 1 problematische, nicht lösbare Stelle
   - o Schlecht: mehr als 1 problematische, nicht lösbare Stelle

8) Direktheit D – Abweichung von der Luftlinie und der natürlichen Höhendifferenz gemäss folgender Gleichung:

$$D = \left(\frac{E}{L} + \frac{\left(\frac{H}{40}\right) \cdot 1000}{L} \right) \cdot 100 \qquad (5)$$

mit

- D = Direktheit
- E = effektive Länge der Strecke
- L = Länge der Luftlinie
- H = effektive Höhenmeter minus natürliche Höhendifferenz

   - o Gut: D max. 120%
   - o Genügend: D max. 135% (Alltag), max. 140% (Freizeit)
   - o Ungenügend: D max. 150% (Alltag), max. 160% (Freizeit)
   - o Schlecht: D mehr als 150% (Alltag), mehr als 160% (Freizeit)

9) Erschliessung – Erreichbarkeit wichtiger Ziele entlang der Route:
   - o Gut: alle wichtigen Ziele max. 200 m (innerorts) bzw. 500 m (ausserorts) entfernt von Veloroute
   - o Genügend: alle wichtigen Ziele erschlossen, 1-2 Ziele jedoch nur mittels längerer Stichverbindungen (> 200 m innerorts, > 500 m ausserorts)
   - o Ungenügend: alle wichtigen Ziele erschlossen, 3-4 Ziele jedoch nur mittels längerer Stichverbindungen (> 200 m innerorts, > 500 m ausserorts)
   - o Schlecht: mehr als 1 wichtiges Ziel nicht erschlossen

3.4.2 Radstreifen

LOS für Radstreifen

[TRB 2000]

- LOS basiert auf der Radfahrermenge (Rf/h), dem Durchschnitt und der Standardabweichung der Radfahrergeschwindigkeit.
- Ist die Durchschnittsgeschwindigkeit unbekannt, so wird ein Wert von 18 km/h empfohlen.
- Standardabweichung der Geschwindigkeit gibt quasi Aufschluss darüber, mit wie vielen Überholmanövern (events) zu rechnen ist (Annahme: Event verursacht Geschwindigkeitsreduktion).
- Standardabweichung von 1.5 km/h wird für den Pendlerverkehr, 3.0 km/h für gemischte Nutzer und 4.5 km/h für Freizeitnutzung eingesetzt.

Bicycle Flow Rate (bicycles/h)	Standard Deviation (km/h)	Number of Events and LOS – Bicycle Mean Speed (km/h) 12	13	14	15	16	17	18	19	20
100	1.5	28 (A)	26 (A)	24 (A)	23 (A)	21 (A)	20 (A)	19 (A)	18 (A)	17 (A)
	3	56 (B)	52 (B)	48 (B)	45 (B)	42 (B)	40 (B)	38 (A)	36 (A)	34 (A)
	4.5	85 (C)	78 (C)	73 (C)	68 (C)	63 (C)	60 (C)	56 (B)	53 (B)	51 (B)
200	1.5	56 (B)	52 (B)	48 (B)	45 (B)	42 (B)	40 (B)	38 (A)	36 (A)	34 (A)
	3	113 (D)	104 (D)	97 (C)	90 (C)	85 (C)	80 (C)	75 (C)	71 (C)	68 (C)
	4.5	169 (E)	156 (E)	145 (D)	135 (D)	127 (D)	119 (D)	113 (D)	107 (D)	102 (D)
300	1.5	85 (C)	78 (C)	73 (C)	68 (C)	63 (C)	60 (C)	56 (A)	53 (B)	51 (B)
	3	169 (E)	156 (E)	145 (D)	135 (D)	127 (D)	119 (D)	113 (D)	107 (D)	102 (D)
	4.5	254 (F)	234 (F)	218 (F)	203 (F)	190 (E)	179 (E)	179 (E)	160 (E)	152 (E)

Abb. 3.12: LOS für Radstreifen [TRB 2000]

Das Highway Capacity Manual 2010 [TRB 2010] ist auf die multimodale Verkehrsqualität ausgerichtet. Für die in [TRB 2000] vorgeschlagene Einteilung in LOS nach der Anzahl der Behinderungen (events) wurde jedoch kein analoger Wert für den Motorfahrzeugverkehr gefunden. Deshalb mussten für die multimodale Betrachtung von Strassen mit Mischverkehr und Strassen mit Radstreifen neue Parameter gefunden werden. Die Qualität des Radverkehrs bei diesen Führungsarten wird gemäss [TRB 2010] von verschiedenen „Umgebungsfaktoren“ beeinflusst:

- Menge und Geschwindigkeit des Motorfahrzeugverkehrs
- Anteil Schwerverkehr
- „Trennungsgrad“ Radverkehr
- Anteil Parkierung entlang Fahrbahn
- Belagsqualität

Mit einer komplizierten Formel werden aufgrund dieser Faktoren LOS-Punkte berechnet, die sich mit denjenigen des Motorfahrzeugverkehrs vergleichen lassen.

3.4.3 Radwege

LOS nach Verkehrsmenge und Radwegbreite

[Bast 2003/2] bzw. [Schopf 1985]:

Die Werte ergeben sich aus einer empirisch ermittelten, dynamischen Breitenverteilung; z. B. können bei einer Lichtraumbreite von 1.5 m 90% der Bedürfnisse der Radfahrer hinsichtlich des Breitenbedarfs erfüllt werden.

Für eine mögliche Definition des LOS bezieht [Schopf 1985] die empirisch benötigten Radwegbreiten und die aus einem Simulationsmodell ermittelten Zeitlücken zwischen auftretenden Behinderungen pro Radfahrer und Stunde bei verschiedenen Verkehrsbelastungen mit ein. Die LOS-Klassen sind für unterschiedliche Fälle in Bemessungsdiagrammen dargestellt, wobei die sich aus den Verkehrsmengen resultierenden differierenden Zeitlücken zwischen den Behinderungen die Grenzen der Klassen bilden und die maximale Leistungsfähigkeit von 2'500 Rf/h (einspurige Radwege) bzw. von 3'400 – 4'000 Rf/h (1.5 m breite Radwege) die Grenzen der LOS-Skala darstellen (Level V).

Der Mindeststandard – auftretende Behinderungssituationen alle 30 s – wird durch die LOS-Klasse III gebildet, die Verkehrsmengen bis über 1'000 Rf/h erlaubt.

LOS wird ermittelt aus:

- Radfahreranzahl.
- Art des Radweges:
  - Anzahl der Spuren.
  - Einrichtungs- oder Zweirichtungsverkehr.
- Breite des Radweges: je nach Breite passen mehr oder weniger Rf „ohne“ Behinderung auf den Streifen.
- Die notwendige Breite des Radweges wird zudem dadurch bestimmt, ob eine bestimmte Kurvigkeit und damit erweiterter Bewegungsraum notwendig wird.
- Zudem fliesst in die Bestimmung der Breite mit ein, wie wohl sich das Kollektiv der Radfahrer auf dem Radweg fühlt (15%, 50%, 85%): je breiter, umso mehr fühlen sich wohl.
- Daraus ergeben sich mittels Simulationsmodell potentielle Behinderungssituationen (Behinderungen pro Minute), die wiederum die Kapazität der Anlage beeinflussen.
- Steigung hat keine Auswirkung auf den Bewegungsraum, zwar mehr Schwankungen, aber insgesamt nicht mehr Raum notwendig.
- Für normale Ansprüche und übliche Radverkehrsbelastungen sind im Richtungsverkehr maximal 2 Fahrspuren notwendig.
- Bei der Definition eines LOS ist die Berücksichtigung der Radwegebreite notwendig.
- Maximale Leistungsfähigkeit eines einspurigen Radweges wurde mit ca. 2'500 Rf/h ermittelt. Dies gilt für Radwege mit einer Breite von ca. 1-1.2 m. 1.5 m breite Radwege erlauben andererseits auch schon Überholvorgänge, so dass die maximal möglich Leistungsfähigkeit im Bereich von 3'400 bis 4'000 Rf/h liegt. Sie bilden die Grenze des LOS. Stufenweise wurde in weiterer Folge der mögliche Einsatzbereich in plausible LOS-Klassen von I bis V eingeteilt. Die auf diese Weise definierte LOS-Klasse II mit durchschnittlich einer Störung alle 30 sec erlaubt dabei eine Verkehrsmenge bis über 1'000 Rf/h und sollte in der Praxis als Mindeststandard angeboten werden. Dem Einsatzbereich des LOS-IV bei einspurigen Radwegen steht bereits der Einsatzbereich der LOS-Klasse I eines zweispurigen Radweges gegenüber und sollte in der Praxis ab diesem Zeitpunkt auch eingesetzt werden.
- Grundsätzlich sollten die 50-85% Querschnittsbreiten zur Anwendung kommen, darunter nur bei Platzmangel.

Daraus resultieren folgende Dimensionierungsempfehlungen ([Schopf 1985] S. 142):

- Einspuriger Radweg mit seitlichen Hindernissen:
  - 50%: 1.33 m
  - 85%: 1.46 m

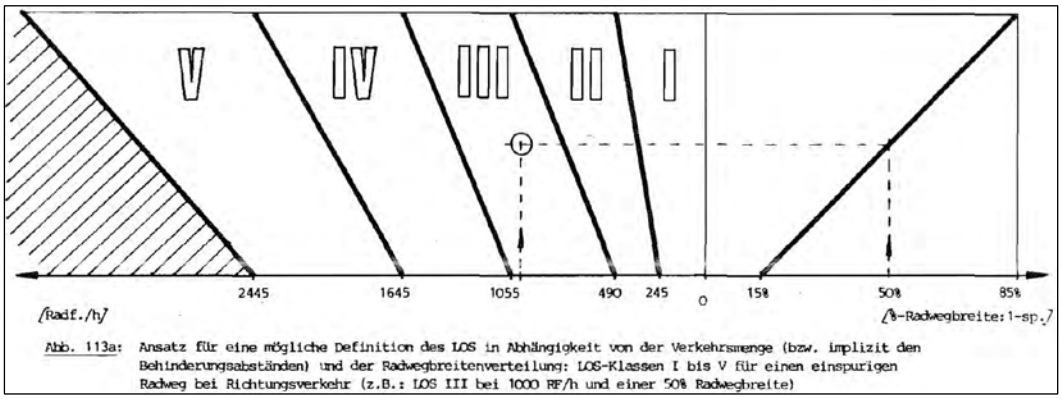


Abb. 113a: Ansatz für eine mögliche Definition des LOS in Abhängigkeit von der Verkehrsmenge (bzw. implizit den Behinderungsabständen) und der Radwegbreitenverteilung: LOS-Klassen I bis V für einen einspurigen Radweg bei Richtungsverkehr (z.B.: LOS III bei 1000 RF/h und einer 50% Radwegbreite)

Abb. 3.13: Einspuriger Radweg: LOS in Abhängigkeit der Verkehrsmenge und Radwegbreite

- Zweispuriger Radweg mit Richtungsverkehr:
  - 50%: 2.39 m
  - 85%: 2.58 m

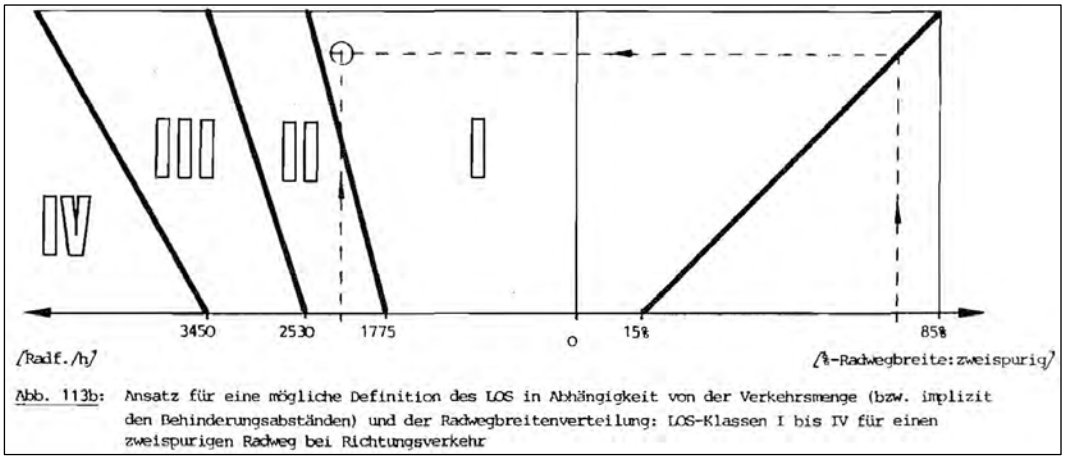


Abb. 113b: Ansatz für eine mögliche Definition des LOS in Abhängigkeit von der Verkehrsmenge (bzw. implizit den Behinderungsabständen) und der Radwegbreitenverteilung: LOS-Klassen I bis IV für einen zweispurigen Radweg bei Richtungsverkehr

Abb. 3.14: Zweispuriger Radweg mit Richtungsverkehr: LOS in Abhängigkeit der Verkehrsmenge und Radwegbreite

- Zweispuriger Radweg mit Gegenverkehr
  - 50%: 2.88 m
  - 85%: 3.25 m

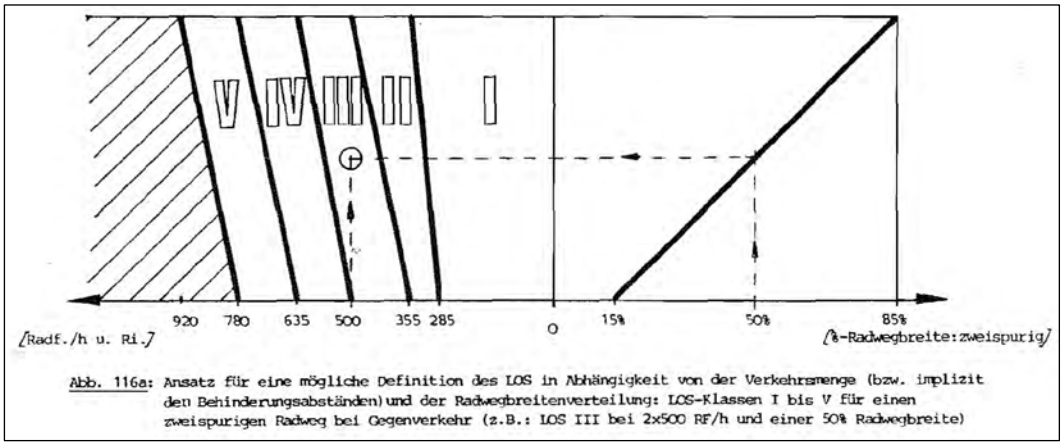


Abb. 116a: Ansatz für eine mögliche Definition des LOS in Abhängigkeit von der Verkehrsmenge (bzw. implizit den Behinderungsabständen) und der Radwegbreitenverteilung: LOS-Klassen I bis V für einen zweispurigen Radweg bei Gegenverkehr (z.B.: LOS III bei 2x500 RF/h und einer 50% Radwegbreite)

Abb. 3.15: Zweispuriger Radweg mit Gegenverkehr: LOS in Abhängigkeit der Verkehrsmenge und Radwegbreite

- Dreispuriger Radweg mit Gegenverkehr:
  - 50%: 3.63 m
  - 85%; 3.89 m

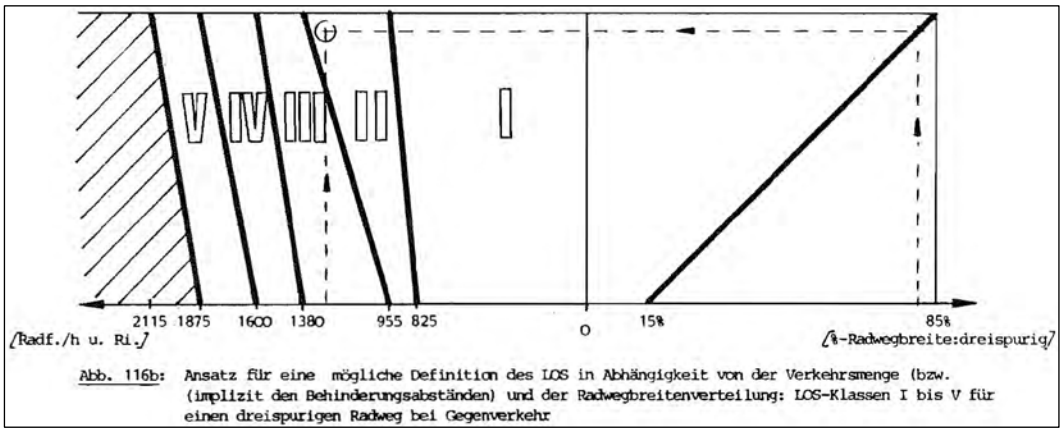


Abb. 116b: Ansatz für eine mögliche Definition des LOS in Abhängigkeit von der Verkehrsmenge (bzw. (implizit den Behinderungsabständen) und der Radwegbreitenverteilung: LOS-Klassen I bis V für einen dreispurigen Radweg bei Gegenverkehr

Abb. 3.16: Dreispuriger Radweg mit Gegenverkehr: LOS in Abhängigkeit der Verkehrsmenge und Radwegbreite

- Vierspuriger Radweg mit Gegenverkehr:

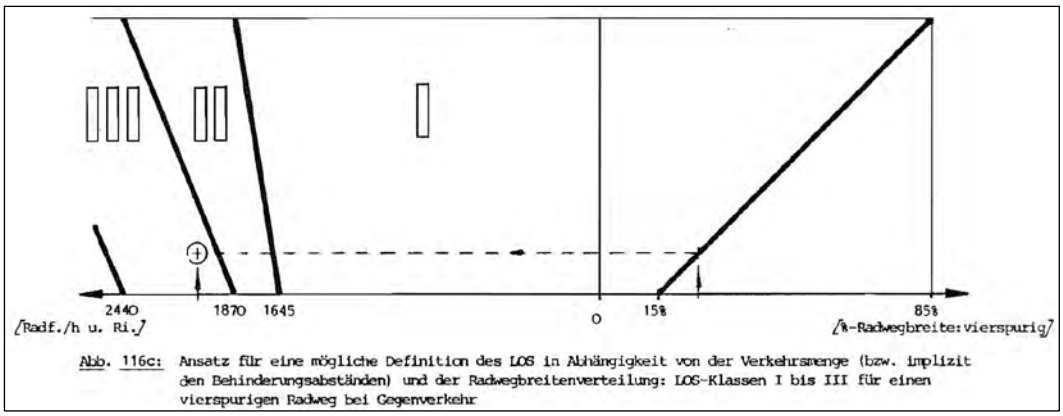


Abb. 116c: Ansatz für eine mögliche Definition des LOS in Abhängigkeit von der Verkehrsmenge (bzw. implizit den Behinderungsabständen) und der Radwegbreitenverteilung: LOS-Klassen I bis III für einen vierspurigen Radweg bei Gegenverkehr

Abb. 3.17: Vierspuriger Radweg mit Gegenverkehr: LOS in Abhängigkeit der Verkehrsmenge und Radwegbreite

VQS Vorschlag für HBS

[Bast 2003/2]

Tab. 3.8: Radwege mit Richtungsbetrieb: Qualitätsstufen

VQS	Beschreibung	q[1]	Frei fahrend[2]	k[3]	Richtungsänderung[4]
A	Der Verkehrsfluss ist ungestört, alle Radfahrer können sich frei bewegen; kein Ausweichen, keine Richtungsänderung, alle erreichen ihre Wunschgeschwindigkeit.	< 150	> 95	< 10	< 1
B	Der Verkehrsfluss ist nahezu ungestört, die Bewegungsfreiheit ist kaum eingeschränkt, Richtungsänderungen sind selten und führen nicht zur Reduzierung der Geschwindigkeit.	< 300	91 – 95	< 18	< 3
C	Beeinträchtigungen nehmen zu, der Verkehr fliesst kontinuierlich, Richtungsänderungen führen aber meist zu einer Reduktion der Geschwindigkeiten.	< 550	81 – 90	< 32	< 5
D	Die Häufigkeit der Beeinträchtigungen nimmt	< 1'000	71 – 80	< 60	> 10

	deutlich zu, der Verkehrsfluss ist zäh, die Geschwindigkeiten sind deutlich reduziert.				
E	Der Verkehr fliesst nicht mehr, ständige Beeinträchtigungen des Fahrtablaufes, die Kapazität wird erreicht, die Geschwindigkeiten sind sehr niedrig.	> 1'000	> 71	> 60	
F	In der Realität nicht zu beobachten, nur in Modellrechnung zu simulieren.				

[1] Verkehrsstärke [Rf/h und Fahrstreifen]

[2] Anteil frei fahrender Radfahrer bei der angegebenen Verkehrsstärke q [%]

[3] Dichte [Rf/km und Fahrstreifen], Breite 1.50 m

[4] Richtungsänderungen wie Ausweichen, Überholvorgänge, Geschwindigkeitsreduzierung [Anzahl/km]

Die VQS wurden aus Videobeobachtungen und Modellrechnungen ermittelt. Basisdaten dafür waren die Verkehrsstärke (Rad/h) und Verkehrsdichte (Rad/km). Mit eingeflossen sind Komfortmasse wie:

- Anteil frei fahrender Nutzer.
- Anzahl von Richtungsänderungen im Querverhalten mit Geschwindigkeitsreduzierung.

Amerikanische LOS

[TRB 2000]

Grundsätzliche Annahmen für die Berechnungen:

- Die gewünschte Breite für einen Zweirichtungsradweg beträgt 3 m, die Mindestbreite 2.4 m.
- Zugrunde gelegt ist Durchschnittsgeschwindigkeit von 18 km/h und eine Standardabweichung von 3 km/h.
- Beinhaltet nicht die Auswirkungen seitlichen Hindernissen und anderen Faktoren.
- Analyse basiert auf 15-Minuten Spitzenbelastung.
- LOS basiert auf einer Anzahl von Begegnungs- und Vorbeifahrevents.

LOS für Radwege:

- Kriterium für LOS ist die Anzahl dieser Events pro Stunde.
- Die Anzahl basiert auf den Events aus der Bewegungs- und entgegenkommenden Richtung.
- Die Totalanzahl der Event ist eine gewichtete Summe der beiden Anzahlen aus Überholen und Begegnen.
- Grenzbereiche für die LOS sind verfügbar für 2-spurige (B = 2.4 m) und 3-spurige (B = 3.0 m) Zweirichtungsradwege.

Tab. 3.9: LOS für Radwege [TRB 2000]

LOS	2-Way, 2-Lane Paths [events/h]	2-Way, 3-Lane Paths [events/h]
A	≤ 40	≤ 90
B	41 – 60	91 – 140
C	61 – 100	141 – 210
D	101 – 150	211 – 300
E	151 – 195	301 – 375
F	> 195	> 375

3.4.4 Fuss- und Radwege

LOS für gemeinsame Fuss- und Radwege

- Kriterium für LOS ist die Anzahl Events pro Stunde.
- Die Anzahl basiert auf den Events aus der Bewegungs- und entgegenkommenden Richtung.
- Die Totalanzahl der Event ist eine gewichtete Summe der beiden Anzahlen aus Überholen und Begegnen.
- Grenzbereiche für die LOS sind verfügbar für 2- und 3-spurige Wege.
- LOS-Einstufung gemäss Tab. 3.9.

3.4.5 Knoten

Signalisierte Knoten

[TRB 2000]

- Radanlage mit mind. einer Anfahrt zum Knoten.
- Radanlage min. 1.2 bis 1.8 m breit.
- Empfohlene Ausnutzung von 2'000 Rf/h oder lokal beobachteten Werten.
- Keine Anpassungsfaktoren für die Ausnutzungshöhe vorhanden.
- Die Berechnung der Verzögerung basiert auf der Radfahrerdichte, der Grünphase für die Radfahrer und die Fahrradlänge.

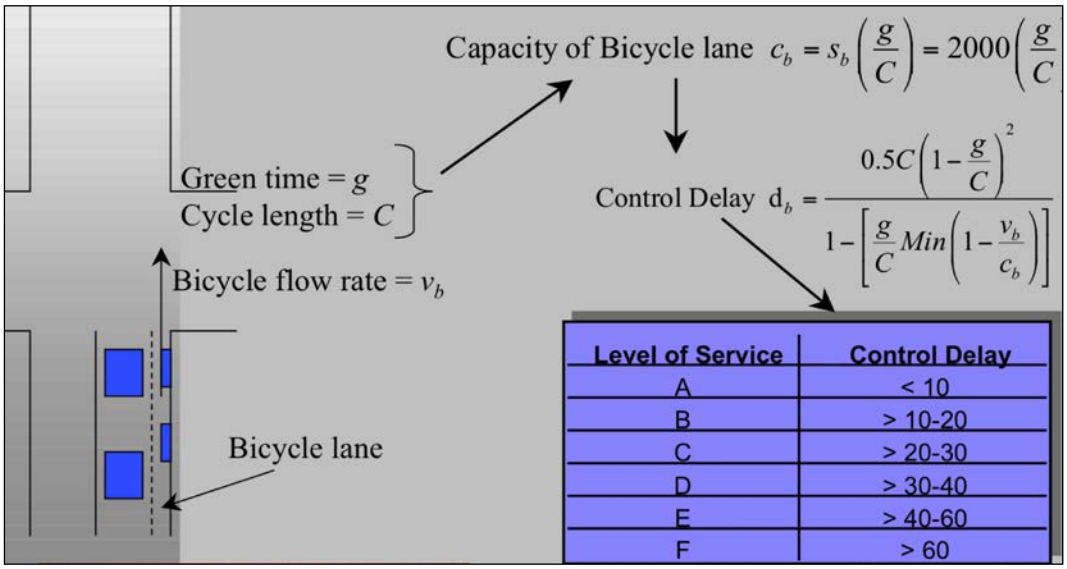


Abb. 3.18: LOS für signalisierte Knoten [TRB 2000]

Unsignalisierte Knoten

- Berechnungsmethode kann angewendet werden, wenn min. einer der untergeordneten Zufahrten mit einem STOP-Signal kontrolliert ist.
- (Die Verzögerung basiert auf der kritischen Lücke/Abstand und der Folgezeit von Rädern und dem Verzögerungsausgleich spezifiziert für Motorfahrzeuge in Kapitel 17).
- Grenzbereiche der LOS sind die gleichen wie für signalisierte Knoten.
- Keine Berechnungsmethode für Knoten, an denen alle Zufahrten mit STOP kontrolliert sind.

3.5 Fazit der Literaturauswertung

Merkmale der Verkehrsqualität

- Die allgemeinen Merkmale zur Beschreibung der Verkehrsqualität sind aus der Literatur sehr gut bekannt.
- Für die Anlageelemente Mischverkehr, Radstreifen und Radweg sind die Merkmale ebenfalls vorhanden.
- Für das Element Busstreifen mit Radverkehr sind nur wenige Hinweise in der Literatur bekannt. Die Merkmale können jedoch aus den allgemeinen und denjenigen für Radstreifen abgeleitet werden.
- Für die Elemente Querungen und Warteräume sind kaum Qualitätsmerkmale bekannt.
- In der Literatur wird die Bedeutung der Merkmale im Hinblick auf eine VQS-Klassierung sehr unterschiedlich dargestellt.

Leistungsfähigkeit

- Die Werte in der Literatur sind jeweils pro Fahrstreifen („lane“) angegeben, unterteilt nach 1-Richtungs- bzw. 2-Richtungsverkehr.

- Die Breite der Streifen wird i.d.R. mit 1.00 bis 1.20 m angegeben.
- Die Werte für Radanlagen im Einrichtungsbetrieb variieren zwischen 1'000 bis 5'000 Rf/h pro Streifen.
- In zwei Quellen wird erwähnt, dass sich die Werte für weitere Streifen nicht linear vergrössern.
- Für Radwege mit Gegenverkehr sind nur wenige Angaben zu finden.

Verkehrsqualität und Bemessung

- Für die Bemessung ganzer Netze und einzelner Strecken sind Richtwerte aus verschiedenen Quellen bekannt. Die verwendeten Merkmale und auch die Richtwerte sind dabei ganz unterschiedlich.
- Verfahren und Richtwerte für Radstreifen sind nur aus dem HCM [TRB 2000] bekannt. Die Übertragbarkeit auf Schweizer Verhältnisse ist zu überprüfen.
- Für Radwege sind wiederum Angaben aus mehreren Quellen vorhanden. Auch bei diesem Anlageelement werden jedoch unterschiedliche Ansätze verwendet.
- Für Fuss- und Radwege sowie für Knoten sind Bemessungsverfahren und Richtwerte lediglich aus dem HCM bekannt.

Weiteres Vorgehen

- Für die Anlageelemente im Längsverkehr, also Radstreifen, Radwege und Busstreifen mit Radverkehr, scheint der amerikanische Ansatz über die Anzahl der Behinderungen (Überholvorgänge, Begegnungen – „events“) am plausibelsten.
- Die dazu notwendigen Werte der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Standardabweichung sind für Schweizer Verhältnisse zu bestimmen.
- Für die Querungen scheint das Merkmal Wartezeit in Analogie zu den Knoten am sinnvollsten.
- Für das Element Warteraum ist noch kein Merkmal bekannt.

4 Modellbildung

4.1 Grundmodell der Verkehrsqualität und Leistungsbemessung

[Scherer 2010] hat zur Bestimmung der multimodalen Verkehrsqualität ein funktionales Grundmodell eingeführt, mit welchem die Verkehrsqualität (unter Augenmerk auf die Leistungsfähigkeit) beurteilt werden kann. Gemäss diesem Modell bestimmt sich die Verkehrsqualität des Radverkehrs für ein Anlagenelement j demnach als Linearkombination der Einflussfaktoren «Zeit», «Raum», «Behinderungen», «Zuverlässigkeit», «Verfügbarkeit» und «Benutzerfreundlichkeit» in folgender Art und Weise:

$$VQ_j = a_0 + a_{1j} f(Zeit) + a_{2j} f(Raum) + a_{3j} f(Behinderungen) + a_{4j} f(Zuverlässigkeit) + a_{5j} f(Verfügbarkeit) + a_{6j} f(Benutzerfreundlichkeit)$$

4.2 Mögliche Kriterien zur Beschreibung der Verkehrsqualität

In der Vorstudie „Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr“ [Scherer 2010] wurden die Kriterien und Messgrössen für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität bezüglich Radfahrer empfohlen. Ergänzt durch eine weitere Literaturanalyse (vgl. Kapitel 3) ergibt sich folgende Übersicht über die möglichen Kriterien zur Beschreibung der Verkehrsqualität für den Radverkehr:

Tab. 4.10: Mögliche Messgrössen für die Beurteilung der Verkehrsqualität

Kriterium	Bezeichnung	Messgrösse(n)
Zeit		
Direktheit	Direkte Linienführung	Abweichung [%] von der Luftlinie unter Berücksichtigung der Höhendifferenz
	Fahrtunterbrechungen durch Knoten, Einengung usw.	Anzahl/Distanz [#/m]; Anzahl grosser Knoten/Distanz [#/m]
Wartezeiten	Wartezeit an Knoten und Querungen	Mittlere Wartezeit [sec] oder Max. Wartezeit [sec]
Geschwindigkeit	Effektive Fahrgeschwindigkeit	V [m/sec]
	Durchschnittliche Reisezeit	Reisezeit [min]
Raum		
Zugewiesener Raum	Breite der Rf-Anlage	Breite [m]
	Fläche der Rf-Anlage	Fläche [m^2]
	Trennung zum MIV/ÖV	Qualitativ
	Trennung zum Fg	Qualitativ
Behinderungen durch ...		
andere Radfahrer	Rf-Verkehrsstärke	Q [Rf/h]
	Rf-Verkehrsdichte	K [Rf/m^2]
	Behinderung durch Überholvorgänge/ Kreuzungsmanöver	Anzahl [#/h] oder Qualitativ
Fussgänger	Behinderung durch Anzahl Begegnungsfälle mit Fg	Anzahl [#/h] oder Qualitativ
	Fg-Dichte neben Radverkehr	Dichte [Fg/m^2]
ÖV	Behinderung des Fahrflusses an ÖV-Haltestellen	Qualitativ; in Abhängigkeit des Haltestellentyps
	Frequenz ÖV	Frequenz [Kurse/h]
Mfz	Behinderung des Fahrflusses durch Überhol-/ Kreuzungsvorgänge Mfz	Anzahl [#/h] oder Qualitativ
	Anzahl Fahrstreifen Mfz	Anzahl [#]
	Breite Fahrstreifen Mfz	Breite [m]

Tab. 4.10: Mögliche Messgrössen für die Beurteilung der Verkehrsqualität

Kriterium	Bezeichnung	Messgrösse(n)
	Entfernung zum Mfz auf dem nächstgelegenen Streifen	Distanz [m]
	Geschwindigkeit V_{85} Mfz	Geschwindigkeit Mfz [km/h]
	Abbiegevorgänge Mfz	Anzahl [#/h] oder Qualitativ
	Konflikte mit Anlieferverkehr	Anzahl [#/h] oder Qualitativ
	Beeinträchtigungen durch ruhenden Verkehr/Längsparkierung	Anzahl Parkiermanöver [#/h]; Anzahl [P/m]; Schutzstreifenbreite zur Parkierung [m]
	Anzahl einmündende Strassen	Anzahl [#/m] oder Qualitativ
Zuverlässigkeit		
Homogenität	Homogenität der Führungsart	Anzahl der Wechsel über einen bestimmten Streckenabschnitt [#/m]
Verfügbarkeit		
Verfügbarkeit	Angebot / Art einer Radverkehrsanlage	Qualitativ
	Parkieranlage	Belegungsgrad
Benutzerfreundlichkeit		
Orientierung	Wegweisung	Qualitativ
Verkehrsablauf anderer Verkehrsarten	Verkehrsaufkommen Mfz	Q Mfz [Fz/h]
	Verkehrsaufkommen Fg	Q Fg [Fg/h]
	Geschwindigkeit V_{85} Mfz	V Mfz [km/h]
Verkehrsablauf anderer Verkehrsarten	Frequenz ÖV	Frequenz [Kurse/h]
Einfluss der Umgebung	Umgebende Raumnutzung/Umfeldqualität	Qualitativ
	Luft und Lärmbelästigung	Messwerte [PM_{10}], [CO_2] und [db]
	Bepflanzungen	Qualitativ
	Gestaltung der Rf-Anlage	Qualitativ
	Vertikale Linienführung	Steigung/ Längsneigung über Streckenabschnitt [%]; Qualitativ
Zustand der Infrastruktur	Fahrbahnoberfläche/Belag/ Instandhaltung	Intakter Anteil [%] der Asphalt- oder Betonfahrbahnoberfläche einer Fläche; Anteil [%] komfortabel befahrbarer Wege
Sicherheitsempfinden	Sicherheit im öffentlichen Raum	Qualitativ
	Breite der Verkehrsfläche	Breite [m]
	Verkehrsstärke des angrenzenden Mfz	Verkehrsstärke [DTV], Anteil Schwerlastverkehr
	Geschwindigkeit V_{85} des angrenzenden Mfz	V Mfz [km/h]
	klar erkennbare Zuordnung der Fahrbereiche/ Verkehrsflächen	Qualitativ
	gute Sicht auf den übrigen Verkehr	Qualitativ

Der Zusammenhang der Kriterien zur Betrachtungsebene (Einzelelement, Strecke, Netz) und zur Planungsstufe (Planung, Betrieb, Begleitumstände) sowie die Relevanz für die in dieser Forschungsarbeit untersuchten Anlagen ist im Anhang I dargestellt.

4.3 Massgebende Einflussfaktoren für Radverkehrsanlagen

Ausgehend von der Übersicht möglicher Kriterien zur Festlegung der Verkehrsqualität und der Erkenntnisse aus der Literaturrecherche sollen nun für die in dieser Forschungsarbeit zu untersuchenden Anlagen die relevanten Faktoren zur Beschreibung der Verkehrsqualität festgelegt werden.

Für den Radverkehr können die Fahrtzwecke in die zwei folgenden Hauptgruppen [ASTRA 2008] mit den entsprechenden primären Qualitätsanforderungen unterteilt werden:

- Alltagsverkehr: Möglichst geringe Reisezeit
- Freizeitverkehr: Möglichst grosse Benutzerfreundlichkeit wie z. B. Umfeldqualität

Im **Freizeitverkehr** ist die Qualitätsbeurteilung vorwiegend durch eine subjektive Wahrnehmung geprägt wie z. B. bei der Umfeldqualität. Die Benutzerfreundlichkeit weist primär qualitative Messgrössen auf, womit ein Zusammenhang mit der Leistungsfähigkeit nicht herstellbar ist. Die nachfolgend für den Alltagsverkehr hergeleiteten Einflussgrössen und Bewertungsverfahren können aber auch für den Freizeitverkehr angewandt werden.

Die Forderung nach einer geringen Reisezeit im **Alltagsverkehr** ist als Kriterium für die Verkehrsqualität von einzelnen Anlagen ebenfalls ungeeignet, da sich diese auf einen Reiseweg von A nach B bezieht. Zudem ist die Reisezeit individuell ganz unterschiedlich. Wenn schon müsste als mögliches Kriterium die Abweichung von der gewünschten Reisezeit beigezogen werden.

Wenn die Reisezeit für Radfahrer aber eine wichtige Anforderung darstellt, so stellt sich die Frage, welche messbaren Grössen einzelner Anlagen die gewünschte Reisezeit massgebend beeinflussen und sich zur Bestimmung der Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit eignen. Massgebend wird die Reisezeit verursacht durch Zeitverluste

- bei Knoten und Querungen sowie
- infolge von Behinderungen durch andere Verkehrsteilnehmer

Ausgehend von diesen Überlegungen können die Messgrössen zur Bestimmung der Verkehrsqualität von Radverkehrsanlagen wie folgt festgelegt werden:

Tab. 4.11: Messgrössen auf die Verkehrsqualität

Anlage	**Messgrössen**	**In Literatur vorhanden**
Warteraum bei Knoten mit LSA auf Radstreifen	Dichte im Warteraum (Behinderungen); Zeitbedarf für das Räumen des Warteraums ab Beginn der Grünphase („Räumzeit“)	keine Angaben
Radweg-Querungen ohne LSA	Mittlere Wartezeit [s]	[TRB 2000] [Bast 2003/1]
Radstreifen Radwege Rad- und Fusswege	Anzahl Behinderungen durch - Überholmanöver - Begegnungen	[TRB 2000] [Bast 2003/2]
Kombinierte Bus- und Radstreifen	Anzahl Behinderungen durch - Überholmanöver - Zeitverluste (Warten hinter Bus)	keine Angaben

Die in Tab. 4.11 dargestellten Messgrössen sind von diversen Strassen-, Verkehrs- und Betriebsbedingungen abhängig, welche somit die Verkehrsqualität beeinflussen.

Abb. 4.19: Messgrössen und Einflüsse auf die Verkehrsqualität

In der Tab. 4.12 sind die Messgrössen und Einflussfaktoren den einzelnen Anlagen zugeordnet.

Tab. 4.12: Messgrössen und Einflussfaktoren auf die Verkehrsqualität

Anlage	**Messgrössen**	**Einflussfaktoren**
Warteraum bei Knoten mit LSA auf Radstreifen	Dichte im Warteraum (Behinderungen); Zeitbedarf für das Räumen des Warteraums ab Beginn der Grünphase („Räumzeit“)	Verkehrsmenge Radfahrer [Rf/h] Dauer Rot-/Grünphasen [s] Breite Radstreifen [m] Fläche ausgeweiteter Radstreifen [m^2]
Radweg-Querungen ohne LSA	Mittlere Wartezeit [s]	Verkehrsmenge Radfahrer [Rf/h] Verkehrsmenge Querverkehr [Fz/h] Geschwindigkeit Querverkehr [km/h] Breite Radweg [m]
Radstreifen	Anzahl Behinderungen durch - Überholmanöver	Verkehrsmenge Radfahrer [Rf/h] Verkehrsmenge Motorfahrzeuge [Mfz/h] Geschwindigkeit Radfahrer [km/h] Geschwindigkeit Motorfahrzeuge [km/h] Breite Radstreifen [m] Breite Fahrstreifen MIV [m]
Radwege Rad- und Fussweg	Anzahl Behinderungen durch - Überholmanöver - Begegnungen	Verkehrsmenge Radfahrer [Rf/h] Verkehrsmenge Fussgänger [Fg/h] Geschwindigkeit Radfahrer [km/h] Geschwindigkeit Fussgänger [km/h] Breite Radweg/Fuss- und Radweg [m]
Kombinierte Bus- und Radstreifen	Anzahl Behinderungen durch - Überholmanöver - Zeitverluste (Warten hinter Bus)	Verkehrsmenge Radfahrer [Rf/h] Frequenz Bus [Bus/h] Haltestellenabstand Geschwindigkeit Radfahrer [km/h] Geschwindigkeit Bus [km/h] Breite Bus-/Radstreifen [m]

Die in Tab. 4.11 und Tab. 4.12 erwähnten Messgrössen sind quantifizierbar. Es ist damit möglich, eine Radverkehrsanlage den in der Norm üblichen Verkehrsqualitätsstufen A - F zuzuordnen. Zusätzlich sollen aber auch qualitative Einflüsse auf die Verkehrsqualität gemäss den Qualitätsanforderungen in [ASTRA 2008] berücksichtigt werden, und zwar wie folgt:

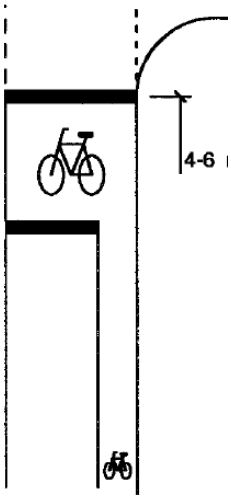
- Fahrfluss: Diese Anforderung ist bereits mit der Messgrösse „Behinderungen“ gemäss Tab. 4.11 berücksichtigt.
- Umfeldqualität: s. Tab. 4.13
- Oberfläche: s. Tab. 4.13
- Verkehrsregime und -belastung: Wird teilweise über die Einflussfaktoren berücksichtigt; betrifft insbesondere die Netzqualität und kann nicht auf eine einzelne Anlage bezogen werden
- Homogenität: Betrifft insbesondere die Netzqualität und kann nicht auf eine einzelne Anlage bezogen werden
- Gefahrenstellen: Sicherheit ist keine Anforderung im Sinne der Verkehrsqualität
- Sicherheitsempfinden: s. Tab. 4.13
- Direktheit: Betrifft insbesondere die Netzqualität und kann nicht auf eine einzelne Anlage bezogen werden
- Erschliessung: Betrifft insbesondere die Netzqualität und kann nicht auf eine einzelne Anlage bezogen werden

Tab. 4.13: Qualitative Einflussfaktoren auf die Verkehrsqualität gemäss [ASTRA 2008]

Anlage	**Qualitative Einflussfaktoren**	**Beschreibung**
Warteraum bei Knoten mit LSA auf Radstreifen	Sicherheitsempfinden	Einsehbarkeit, Beleuchtung
Radweg-Querungen ohne LSA	Sicherheitsempfinden	Einsehbarkeit, Beleuchtung
Radwege Rad- und Fussweg	Umfeldqualität Oberfläche Sicherheitsempfinden	attraktive Umgebung Belagsqualität Einsehbarkeit, Beleuchtung
Radstreifen	Umfeldqualität Oberfläche Sicherheitsempfinden	attraktive Umgebung Belagsqualität Einsehbarkeit, Beleuchtung
Kombinierte Bus- und Radstreifen	Umfeldqualität Oberfläche Sicherheitsempfinden	attraktive Umgebung Belagsqualität Einsehbarkeit, Beleuchtung

4.4 Bewertungsverfahren

4.4.1 Warteräume



Im Rahmen dieser Forschung werden die zwei folgenden Situationen betrachtet:

- Knoten mit LSA mit zuführendem Radstreifen
- Knoten mit LSA mit zuführendem und ausgeweitetem Radstreifen

Messgrösse Verkehrsqualität

Als Messgrösse wird die mittlere Räumzeit verwendet, und zwar mit folgender allgemeiner Funktion:

$$t_{Räum} = f(Q,\ t_{Rot}, B, A, v_{Räum}) \qquad (6)$$

mit

- $t_{Räum}$ = mittlere Räumzeit
- Q = Verkehrsmenge Radfahrer [Rf/h]
- t_{Rot} = Dauer Rotphase [s]
- B = Breite Radstreifen [m]
- A = Fläche ausgeweiteter Radstreifen [m^2]
- $v_{Räum}$ = Geschwindigkeit beim Räumen des Warteraums

Bewertung

Verkehrsqualitätsstufen A – F je nach Verhältnis Räumzeit zu Grünzeit.

Literaturhinweise

In der Literatur wurden keine Angaben zur Verkehrsqualität von Warteräumen gefunden.

4.4.2 Radweg-Querungen

Im Rahmen der Forschung werden Querungen ohne LSA eines unabhängig geführten Radwegs über eine Strasse betrachtet.

Messgrössen Verkehrsqualität

Als Messgrösse wird die mittlere Wartezeit w [s] verwendet.

Die Ermittlung der mittleren Wartezeit für Radweg-Querungen kann analog derjenigen für Knoten ohne LSA gemäss Norm SN 640 022 „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Knoten ohne Lichtsignalanlage“ [VSS 1999/1] erfolgen. Die Grenz- und Folgezeitlücken können näherungsweise identisch wie für Mfz gewählt werden. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass sich Radfahrende je nach der Breite und Verkehrsmenge oft nebeneinander aufstellen. Dies könnte durch eine Reduktion der Folgezeitlücke berücksichtigt werden.

Bewertung

Zuordnung der Wartezeiten zu den Verkehrsqualitätsstufen A – F analog wie bei Knoten ohne LSA.

Literaturhinweise

In [TRB 2000] wie auch in [Bast 2003/1] wird die Wartezeit als massgebender Parameter angegeben. In [TRB 2000] ist eine Zuordnung der Wartezeit zu VQS vorhanden.

4.4.3 Radstreifen

Messgrössen Verkehrsqualität

Anzahl der Behinderungen (z. B. über 1 km während 1 h) durch

- Überholvorgänge Radfahrer–Radfahrer

Die Anzahl der Überholvorgänge ist abhängig von der Verkehrsmenge und der Geschwindigkeitsverteilung.

Bewertung

- Verkehrsqualitätsstufen A – F (VQS)
- Referenzzustand (s. Tab. 4.14)

Tab. 4.14: Berücksichtigung der Einflussfaktoren für Radstreifen

Einflussfaktoren	Kennwerte Referenzzustand	Berücksichtigung im Verfahren bei abweichenden Merkmalen
Strassenbedingungen		
Radstreifenbreite	Breite 1.5 m	Andere Breiten nicht berücksichtigt
Seitliche Hindernisfreiheit	0.5 m gegenüber Mauern usw.	Andere Breiten nicht berücksichtigt
Kurvigkeit	keine Kurven	Keine Berücksichtigung von Kurven
Längsneigung	horizontal	Korrektur für andere Neigungen durch Änderung der Geschwindigkeitsverteilung
Verkehrsbedingungen		
Kollektiv der Radfahrer	Alltagsverkehr	Keine Berücksichtigung
Verkehrsmenge Motorfahrzeuge	Unbekannt	Keine Berücksichtigung
Betriebsbedingungen		
Geschwindigkeit der Radfahrer - mittlere V - Standardabweichung	 wird direkt berücksichtigt wird direkt berücksichtigt	
Oberfläche	Asphaltbetonbelag	Keine Berücksichtigung

Literaturhinweise

In [TRB 2000] wird ein Beurteilungssystem aufgrund der Anzahl „Events“, d.h. der Anzahl Überholvorgänge angewendet. Dieses basiert auf einer holländischen Studie.

4.4.4 Radwege, Rad- und Fusswege

Messgrössen Verkehrsqualität

Anzahl der Begegnungsereignisse (z. B. über 1 km während 1 h) durch

- Überholvorgänge
- Begegnungsvorgänge

Die Anzahl der Begegnungsereignisse ist abhängig vom Regime (1- oder 2-Richtungsverkehr), von der Verkehrsmenge Rf und Fg, den Richtungsanteilen, der Geschwindigkeitsverteilung Rf und Fg und der Wegbreite.

Massgebend ist die Summe von Begegnungen und Überholvorgängen. Bei 2-Richtungsradwegen werden in [TRB 2000] Überholvorgänge doppelt so hoch gewichtet wie Begegnungsfälle.

Bewertung

- Verkehrsqualitätsstufen A – F (VQS)
- Referenzzustand (s. Tab. 4.15)

Tab. 4.15: Berücksichtigung der Einflussfaktoren für Radwege, Rad- und Fusswege

Einflussfaktoren	Kennwerte Referenzzustand	Berücksichtigung im Verfahren bei abweichenden Merkmalen
Strassenbedingungen		
Wegbreite	Breite 2.5 m / 3.0 m	andere Breiten nicht berücksichtigt
Seitliche Hindernisfreiheit	0.5 m gegenüber Mauern usw.	andere Breiten nicht berücksichtigt
Kurvigkeit	keine Kurven	keine Berücksichtigung von Kurven
Längsneigung	horizontal	Korrektur für andere Neigungen durch Änderung der Geschwindigkeitsverteilung
Verkehrsbedingungen		
Kollektiv der Radfahrer	Alltagsverkehr	Keine Berücksichtigung
Betriebsbedingungen		
Geschwindigkeit Rf und Fg		
- mittlere V	wird direkt berücksichtigt	
- Standardabweichung	wird direkt berücksichtigt	
Richtungsanteile	wird direkt berücksichtigt	
Oberfläche	Asphaltbetonbelag	Keine Berücksichtigung

Literaturhinweise

In der Literatur sind verschiedene Untersuchungen mit sehr unterschiedlichen Ansätzen dargestellt. Ebenso variieren die verkehrstechnischen Werte wie Breite oder Geschwindigkeitsverteilung.

In [TRB 2000] wird ein Beurteilungssystem aufgrund der Anzahl „Events“, d.h. der Anzahl Überhol- bzw. Begegnungsvorgänge angewendet. Dieses basiert auf einer holländischen Studie.

In [Bast 2003/2] wird für das HBS ein ähnlicher Ansatz über den Anteil „freie Fahrt“ vorgeschlagen.

4.4.5 Kombinierte Bus- und Radstreifen

Messgrössen Verkehrsqualität

Anzahl der Behinderungen (z. B. über 1 km während 1 h) durch

- Überholvorgänge Bus–Radfahrer sowie Radfahrer–Radfahrer
- Zeitverluste durch Bus an Haltestellen

Die Anzahl der Überholvorgänge und Zeitverluste ist abhängig von der Verkehrsmenge Radfahrer, der Frequenz Bus, dem Haltestellenabstand, der Geschwindigkeitsverteilung Bus und Radfahrer, der Fahrstreifenbreite Bus-/Radstreifenbreite.

Bewertung

- Verkehrsqualitätsstufen A – F (VQS)

Literaturhinweise

Die Literatur beschäftigt sich primär mit der Anforderung an die Breite von kombinierten Streifen. Hinweise zur Verkehrsqualität und VQS sind nicht vorhanden.

5 Erhebungen und Videobeobachtungen

5.1 Konzept

In Kapitel 4 sind für die verschiedenen Anlagen Modelle für die Messgrössen und Einflussfaktoren auf die Verkehrsqualität sowie für die Bewertungsverfahren erarbeitet worden. Es geht nun darum, Richtwerte für die Messgrössen und die Zuordnung zu den Verkehrsqualitätsstufen A – F zu ermitteln. Dies soll primär mit folgenden Methoden erreicht werden:

- **Erhebung** fehlender Kennwerte der indirekten Einflussfaktoren wie z. B. Geschwindigkeitsverteilung der Radfahrer
- **Videobeobachtungen** zum Verkehrsverhalten der Radfahrenden in Warteräumen

Ursprünglich war geplant, mit Verkehrssimulationen (VISSIM) Richtwerte der Messgrössen für die Bewertung der Verkehrsqualität zu bestimmen, insbesondere die Anzahl von Behinderungen bei verschiedenen Anlagen und unterschiedlichen betrieblichen Randbedingungen. Einerseits fehlen für den Veloverkehr relevante Grundlagen zum Verhalten beim Hintereinanderfahren und beim Überholen. Andererseits ist das Programm nicht auf spezifische Auswertungen für den Veloverkehr eingerichtet. Erhebungen zu den fehlenden Grundlagen und die erforderlichen Eingriffe in die Einstellungen des Programms sind aber im Rahmen dieser Forschung nicht möglich.

Ebenso konnten umfangreiche Felderhebungen und Befragungen zur Bestimmung der Zuordnung der Richtwerte zu den VQS-Klassen im Rahmen dieser Forschung nicht durchgeführt werden. Dazu werden Angaben aus der Literatur, insbesondere [TRB 2000] und [Bast 2003/2], verwendet.

5.2 Erhebungen zur Geschwindigkeitsverteilung

5.2.1 Vorgehen

Eine relevante Grösse zur Bestimmung der Anzahl Behinderungen auf Radwegen oder Radstreifen ist die Geschwindigkeitsverteilung der Radfahrer. In der Schweiz gibt es jedoch keine aktuellen Werte zur Geschwindigkeit des Radverkehrs und insbesondere nicht zur Geschwindigkeitsverteilung bzw. der Standardabweichung. Ebenso fehlt der Zusammenhang dieser Grössen mit der Neigung.

In der Region Basel wurden deshalb Messungen der Geschwindigkeiten bei verschiedenen Neigungen (z. B. 0%, 2% 3%, 8%) mit einem automatischen Verkehrserhebungsgerät (Viacount, Taxomex) vorgenommen.

Zusätzlich werden Daten, die im Zusammenhang mit der Forschung VSS 2000/469 „Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen“ ermittelt wurden, sowie Werte aus der Literatur herangezogen.

5.2.2 Ergebnisse

Im Folgenden sind die Ergebnisse der gemessenen durchschnittlichen Geschwindigkeiten in Abhängigkeit der Neigung und Anlagenart sowie Literaturwerte dargestellt.

Tab. 5.16: Ergebnisse von Geschwindigkeitsmessungen des Radverkehrs und Vergleich mit Literaturwerten aus [TRB 2000], [Bast 2003/2] und [CED 2012]

Anlagentyp Quelle bzw. Ort	**Neigung**	**Anzahl Radfahrer im Messzeitraum**	**Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**	**Standardabweichung [km/h]**
Radweg				
USA [TRB 2000]	Ohne Angaben	Ohne Angaben	18	± 3
D [Bast 2003/2]	Ohne Angaben	Ohne Angaben	Selbständig geführt (1 Richtung): 17.2 (2 Richtung): 16.3 Strassenbegleitend (1 Richtung): 16.9	± 3.1 ± 4.2 ± 3.3
Fuss- und Radweg				
Muttenz	Steigung 8%	735	12.4	± 4.8
Muttenz	Steigung 3 %	1607	15.8	± 6.2
Muttenz	Gefälle 3 %	1342	19.6	± 5.6
Muttenz	Gefälle 8 %	890	24.1	± 6.9
Radstreifen				
Basel	Gefälle 2 %	1287	25.9	± 5.0
USA [TRB 2000]	Ohne Angaben	Ohne Angaben	25	Ohne Angaben
USA [TRB 2000]	Ohne Angaben	Ohne Angaben	18	± 1.5 (vorw. Pendler) ± 3.0 (verschiedene Nutzer) ± 4.5 (vorw. Freizeit)
D [Bast 2003/2]	Ohne Angaben	Ohne Angaben	18.3	± 3.6
Mischverkehr				
Zürich	Horizontal	413	22.8	± 5.5
Generell				
Kopenhagen [CED 2012]	Ohne Angaben	Ohne Angaben	20.0	Ohne Angaben

[TRB 2000] gibt eine durchschnittliche Geschwindigkeit für verschiedene Anlagentypen mit 18 km/h, z.T. mit 25 km/h an, [Bast 2003/2] für Radwege etwa 17 km/h und Radstreifen 18 km/h. Werden die beobachteten Werte für Fuss- und Radwege in Muttenz gemittelt, so ergibt sich eine durchschnittliche Geschwindigkeit von rund 18 km/h (unter der Annahme, dass der Mittelwert von Steigung und Neigung mit gleicher Prozentzahl dem Wert bei horizontaler Strecke entspricht). Die durchschnittlichen Geschwindigkeiten in den USA und in Deutschland können somit zumindest mit den Werten für Radwege in der Schweiz verglichen werden. Bei Radstreifen und Mischverkehr werden in der Schweiz allerdings deutlich höhere Geschwindigkeiten gemessen. Wie in Kapitel 2.3.3 gezeigt, sind aber auch aus anderen Studien höhere Geschwindigkeiten bekannt. Erstaunlich ist auch, dass die Standardabweichungen deutlich höher sind als in USA und Deutschland.

Bei all diesen Angaben ist nicht bekannt, wie gross der Anteil an Mofas und E-Bikes ist. Insbesondere bei den eigenen Messungen in Basel und Muttenz sowie bei den Messungen in Zürich im Rahmen der Forschung VSS 2000/469 kann davon ausgegangen werden, dass der Anteil an E-Bikes deutlich höher ist als bei früheren Messungen gemäss den Literaturangaben. Dies führt einerseits zu höheren mittleren Geschwindigkeiten und anderseits zu einer grösseren Standardabweichung.

Fuss- und Radweg in Muttenz

Bei diesem Messpunkt in Muttenz handelt es sich um einen Fuss- und Radweg, auf dem vorwiegend Einkaufs- und Freizeitverkehr fährt. Es ist ein Zweirichtungsweg, der mittels Markierung getrennt ist: Pro Richtung sind ca. 1.20 m vorgesehen.

Ein Abschnitt wird durch eine Neigung von 3 % bestimmt. Die durchschnittlichen Geschwindigkeiten betragen bergab 19.6 km/h und bergauf 15.8 km/h (siehe Abb. 5.20 und Abb. 5.21).

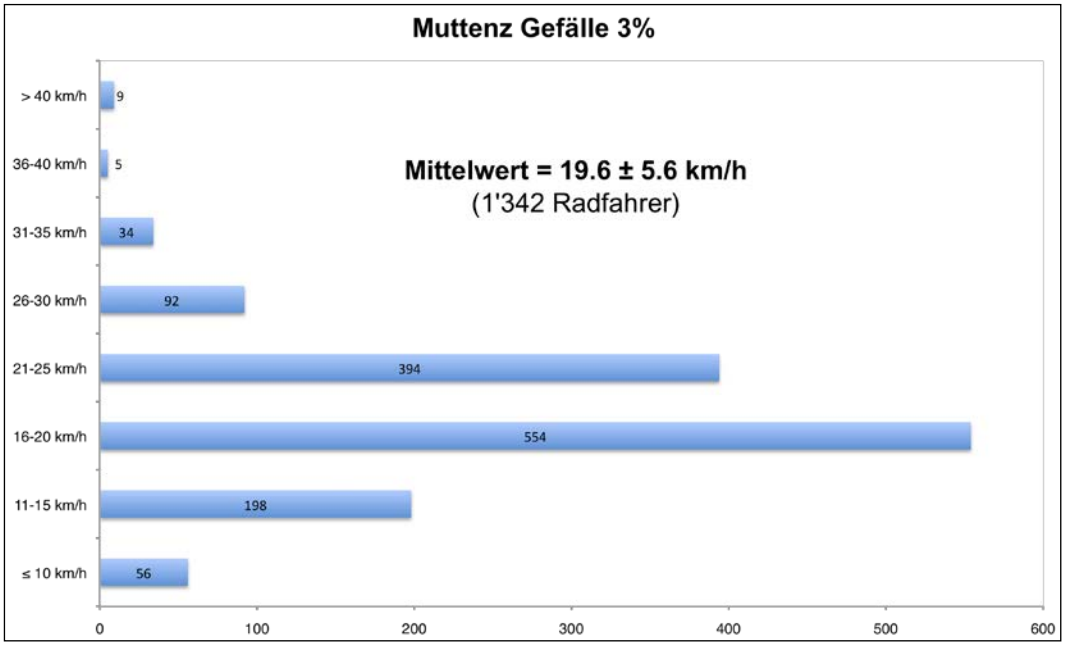


Abb. 5.20: Fuss- und Radweg mit 3% Gefälle: Gefahrene Geschwindigkeiten

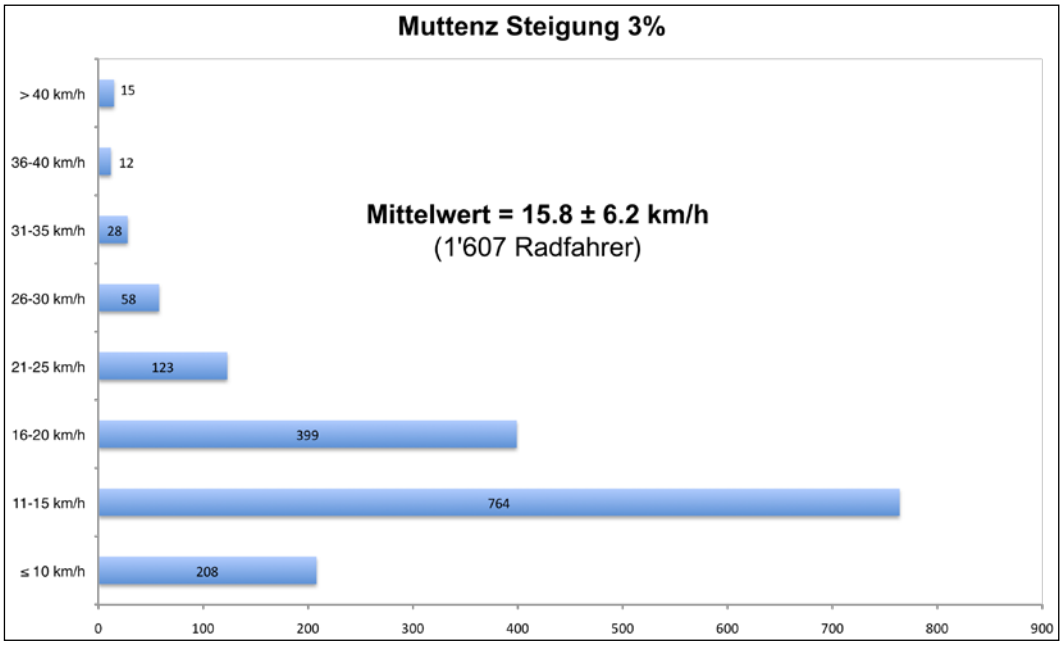


Abb. 5.21: Fuss- und Radweg mit 3% Steigung: Gefahrene Geschwindigkeiten

Ein zweiter Abschnitt desselben Fuss- und Radwegs wird durch eine Neigung von 8% bestimmt. Die durchschnittlichen Geschwindigkeiten betragen dort bergab 24.2 km/h und bergauf 12.4 km/h (siehe Abb. 5.22 und Abb. 5.23).

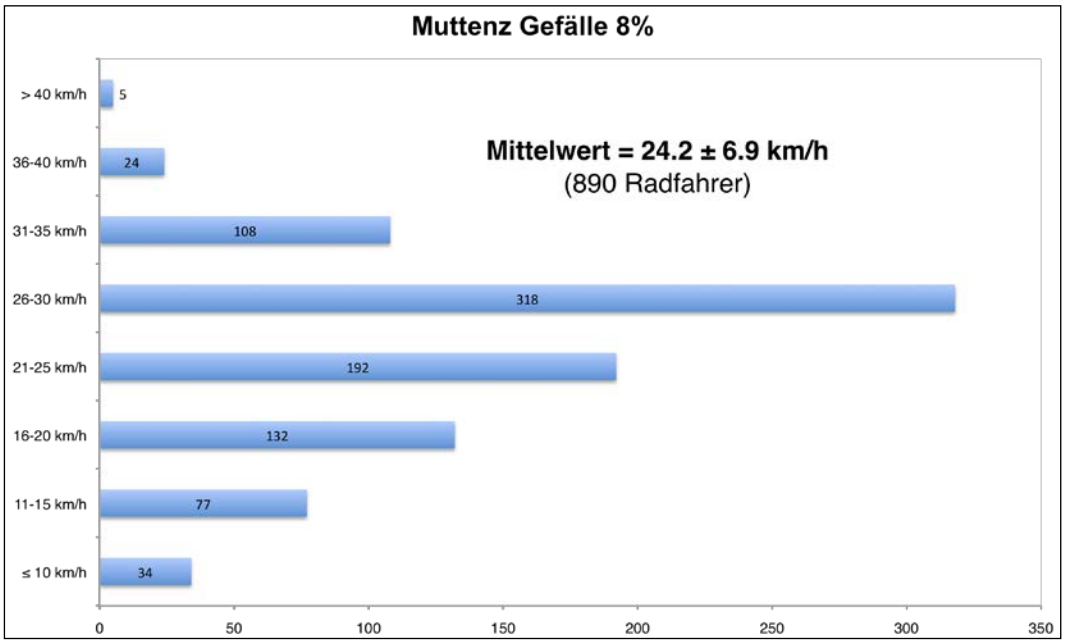


Abb. 5.22: Fuss- und Radweg mit 8% Gefälle: Gefahrene Geschwindigkeiten

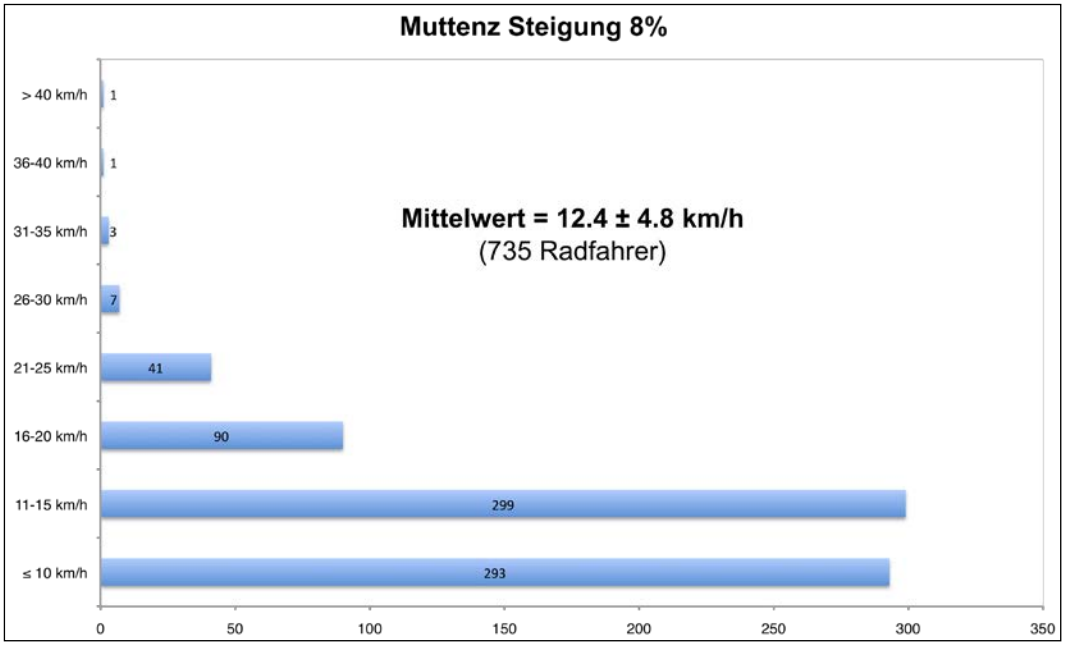


Abb. 5.23: Fuss- und Radweg mit 8% Steigung: Gefahrene Geschwindigkeiten

Ausgehend von den 4 Messungen in Muttenz wird in der nachfolgenden Grafik der Zusammenhang zwischen Neigung und Geschwindigkeit des Radverkehrs auf Fuss- und Radwegen mit vorwiegend Einkaufs- und Freizeitverkehr dargestellt.

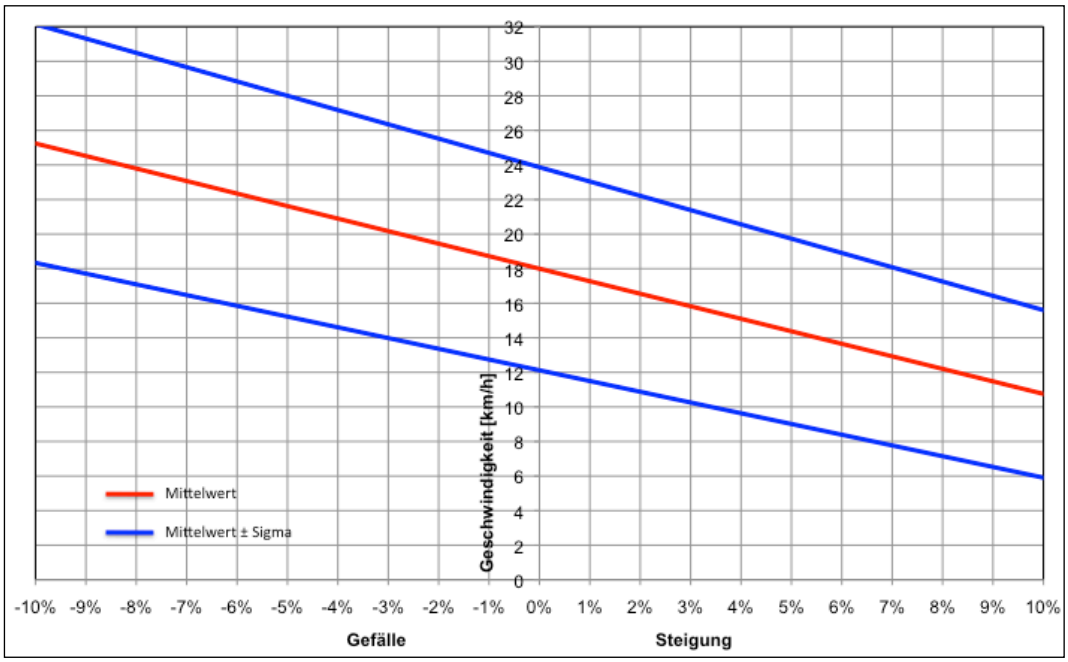


Abb. 5.24: Zusammenhang zwischen Längsneigung und Geschwindigkeit des Radverkehrs auf Fuss- und Radwegen mit vorwiegend Einkaufs- und Freizeitverkehr (Trendlinien für Mittelwert und Mittelwert ± Standardabweichung aus Messungen von 4 Radwegabschnitten in Muttenz BL)

Radstreifen in Basel

Bei diesem Messpunkt in Basel handelt es sich um einen 1.50 m breiten Radstreifen mit 2 % Gefälle, auf dem der Pendlerverkehr deutlich vorherrscht. Entsprechend hoch ist die durchschnittliche Geschwindigkeit von 25.9 km/h.

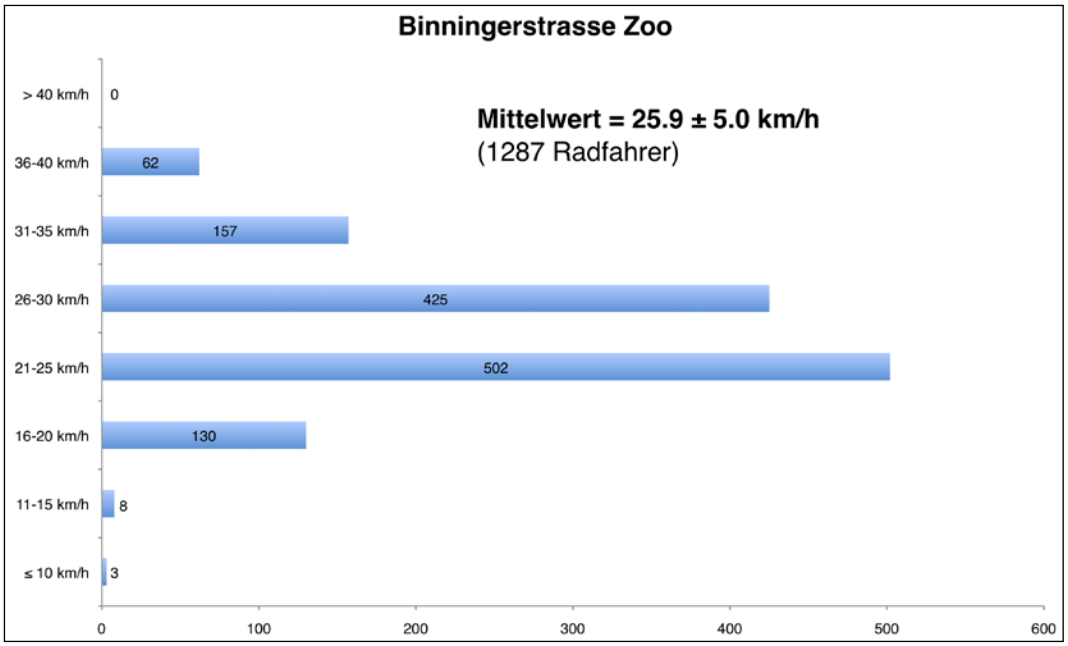


Abb. 5.25: Radstreifen mit 2 % Gefälle: Gefahrene Geschwindigkeiten

Mischverkehr in Zürich

Bei diesen Messpunkten[1] in Zürich handelt es sich um Mischverkehrsflächen auf horizontaler Strecke. Die durchschnittliche Geschwindigkeit beträgt 22.8 km/h.

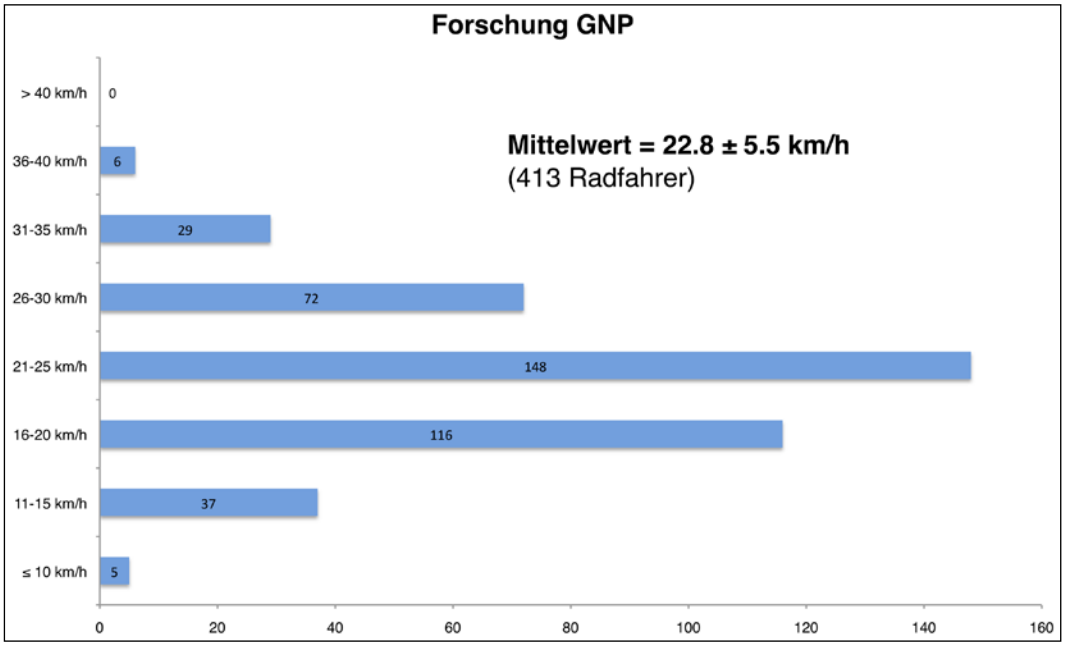


Abb. 5.26: Mischverkehrsfläche mit 0 % Gefälle: Gefahrene Geschwindigkeiten

5.2.3 Fazit

Es ist festzustellen, dass die durchschnittliche Geschwindigkeit stark differiert in Abhängigkeit der Streckenneigung, der Anlagenart und der vorwiegenden Nutzergruppe. Sie bewegt sich zwischen 12.4 km/h bei hoher Steigung auf einem relativ schmalen Fuss- und Radweg und 25.9 km/h auf Radstreifen mit hohem Pendleranteil und 2% Gefälle.

Als Mittelwert für einen Fuss- und Radweg lässt sich eine durchschnittliche Geschwindigkeit von 18 km/h bei horizontaler Strecke ermitteln, welche die bei [TRB 2000] und [Bast 2003/2] zugrunde gelegten Geschwindigkeiten stützt.

Ähnlich wie [Bast 2003/2] konnte an den beobachteten Radverkehrsanlagen festgestellt werden, dass auf Radstreifen und im Mischverkehr höhere durchschnittliche Geschwindigkeiten gefahren werden als auf Radwegen. Die Beobachtung zeigte ebenfalls, dass auf Routen mit hohem Pendleranteil tendenziell höhere durchschnittliche Geschwindigkeiten gefahren werden als auf vorwiegenden Freizeit- und Einkaufsrouten.

Die Standardabweichung der durchschnittlichen Geschwindigkeiten schwankt zwischen 5.0 und 6.9 km/h und unterscheidet sich dabei deutlich von der festgelegten Standardabweichung in den USA von 1.5 -4.5 km/h.

Zusammengefasst empfehlen wir für horizontale

- Rad- und Fusswege mit primär Einkaufs- und Freizeitverkehr: 18 ± **6 km/h**
- Mischverkehr und Radstreifen mit primär Pendlerverkehr: 22 ± **5 km/h**

[1] Die Daten wurden im Rahmen der Forschung VSS 2000/469 „Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen“ erhoben und freundlicherweise für die hiesigen Zwecke zur Verfügung gestellt. Es handelt sich dabei um eine Zusammenstellung von 6 Untersuchungsstrecken, auf denen insgesamt 413 Radfahrer fuhren.

Es ist davon auszugehen, dass in nächster Zeit der Anteil an E-Bikes weiter zunimmt. Dadurch wird sich auch die mittlere Geschwindigkeit auf Radverkehrsanlagen, insbesondere im Mischverkehr und auf Radstreifen, erhöhen und die Standardabweichung vergrössern.

5.3 Videobeobachtung von Warteräumen

5.3.1 Vorgehen

Für die Beurteilung des Verkehrsverhaltens in Warteräumen sind Videobeobachtungen durchgeführt worden. Beobachtet wurden Knoten mit Lichtsignalanlagen mit zuführendem Radstreifen und mit zuführendem und ausgeweitetem Radstreifen. Dazu wurden die Breite des Radstreifens bzw. die Fläche der Ausweitung gemessen und Markierungen in einem Abstand von einem Meter auf den Radstreifen aufgebracht.

Abb. 5.27: Beobachtungssituation, Basel Steinenring, zuführender Radstreifen

Es wurden folgende Parameter aufgenommen:

- Dauer der Rotphase in s
  (Dauer von Signal 1 (Rot) bis Beginn Signal 2 (Rot-Gelb))
- Dauer der Grünphase in s
  (Dauer von Signal 2 (Beginn Rot-Gelb) über Signal 3 (Grün) bis Ende Signal 4 (Gelb))
- Anzahl der Radfahrer, die bei Grün fahren
- Anzahl der Radfahrer, die bei Rot halten
- Anzahl der Radfahrer, die das Rotsignal missachten
- Länge des Rückstaus in m
- Dauer der Räumzeit (Beginn Grünphase bis der letzte wartende Radfahrer über die Haltelinie gefahren ist) in s

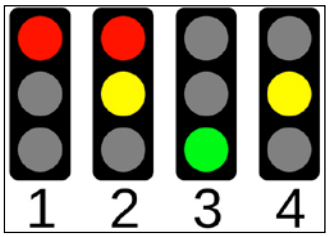


Abb. 5.28: Signalabfolge an Lichtsignalanlage

Beobachtungsorte

An folgenden Orten wurden Videobeobachtungen durchgeführt:

Tab. 5.17: Übersicht der Videobeobachtungsorte

Nr.	Ort	Anlage	Breite	Fläche	Datum
B1	Basel, Steinenring, Höhe Pauluskirche, Richtung Bahnhof	Radstreifen	1.50 m	-	16.8.2011 6.40 – 8.40 Uhr
B2	Basel, Knoten Viaduktstrasse / Birsigstrasse, Richtung Spalenring	Radstreifen	1.50 m	-	18.8.2011 16.30 – 18.30 Uhr
B3	Winterthur, Knoten Rudolfstrasse / Wülflingerstrasse Richtung Schaffhauserstrasse	Ausgeweiteter Radstreifen	1.00 m	4 m x 4 m	27.10.2011 16.30 – 17.30 Uhr
B4	Winterthur, Knoten Geiselweidstrasse / Thurgauerstrasse Richtung Seidenstrasse	Ausgeweiteter Radstreifen	1.10 m	4 m x 4 m	28.10.2011 07.00 – 8.00 Uhr
B5	Basel, Knoten Birmannsgasse / Spalenring Richtung Allschwil	Mischverkehr ohne Radverkehrsanlage	4.00 m	-	9.11.2011 17.30 – 18.30 Uhr

Es ist festzustellen, dass es in den untersuchten Querschnitten in Basel und Winterthur keine stark frequentierten ausgeweiteten Radstreifen gibt, so dass es schwierig ist, ausreichend aussagekräftiges Datenmaterial zum Verhalten an diesen Verkehrsanlagen zu erheben und auszuwerten. Anfragen in den Städten Zürich und Bern liessen darauf schliessen, dass dort ebenfalls keine hohen Verkehrsmengen an einzelnen Querschnitten zu beobachten sind.

Im Gegensatz dazu ist beispielweise die Stadt Kopenhagen in Dänemark zu nennen. Dort finden sich mehrere Strassenabschnitte mit Verkehrsmengen von bis zu 20'000 Radfahrern pro Tag. An einigen Querschnitten (z.B. Radstreifen mit ca. 3.5 m Breite) lassen sich in der morgendlichen Spitzenstunde bis zu 2'000 Radfahrer pro Stunde beobachten (Emailauskunft von City of Copenhagen, Technical and Environmental Administration, 8. März 2012). Die folgenden Bilder veranschaulichen die dortigen Verhältnisse.

Abb. 5.29: Radfahrermengen in Kopenhagen/Dänemark (Fotos: Daniel Sigrist)

5.3.2 Ergebnisse

Massgebende Verkehrsmenge Radfahrer Q_{Rf}

Zur Bestimmung der Verkehrsqualität an Knoten wird neben dem Spitzenstundenwert oft auch der 4-fache Spitzen-Viertelstundenwert als massgebende Verkehrsmenge beigezogen. Ist nur der Wert der Spitzenstunde bekannt, kann der 4-fache Viertelstundenwert mit einem Erhöhungsfaktor berechnet werden. Die Zusammenstellung in Tab. 5.18 zeigt, dass für den Radverkehr die Erhöhung für den 4-fachen 15-Minuten-Wert im Mittel bei etwa 30%, für den 12-fachen 5-Minuten-Wert bei rund 50% liegt. Weitere Erhebungen an 9 verschiedenen Orte in Riehen (BS) haben Erhöhungen für den 4-fachen Spitzen-15-Minuten-Wert gegenüber dem Spitzenstundenwert zwischen 7% und 100%, mit dem gewichteten Mittel von 45% ergeben.

Für den motorisierten Verkehr wird gemäss Norm SN 640 023 „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Knoten mit Lichtsignalanlagen“ [VSS 2008] ein Erhöhungsfaktor vom Stundenwert auf den 4-fachen Viertelstundenwert von 1.20 definiert. Gemäss unseren Erhebungen empfehlen wir für den Radverkehr einen Wert von 1.30. [TRB 2000] gibt als Standardwert für den Radverkehr 1.25 an. In [TRB 2010] ist das Ergebnis von Untersuchungen an 8 Radwegstrecken angegeben: Der Erhöhungsfaktor variiert zwischen 1.01 und 1.43 bei einem Mittelwert von 1.18.

Tab. 5.18: Verkehrsmengen Radfahrer und Erhöhungsfaktoren

	Q_{Rf} 1-h Wert	**Q_{Rf} 5-Min-Wert (max)**	**Erhöhung** (12-facher 5-Min-Wert im Vergleich zu 1-h-Wert)
Beobachtung 1, 1. Std.	262	32	+ 47%
Beobachtung 1, 2. Std.	274	36	+ 58%
Beobachtung 2, 1. Std.	387	54	+ 67%
Beobachtung 2, 2.Std.	504[2]	50	+ 19 %
Beobachtung 4, 1. Std.	118	19	+ 93 %[3]
Beobachtung 5, 1. Std.	130	17	+ 57 %

[2] Bei diesem Wert handelt es sich um eine Hochrechnung, da wegen technischer Probleme nur 40 min in der zweiten Stunde aufgezeichnet werden konnten

[3] Dieser Erhöhungsfaktor wird stark durch morgendlichen Schülerverkehr beeinflusst.

Tab. 5.18: Verkehrsmengen Radfahrer und Erhöhungsfaktoren

	Q_{Rf} 1-h Wert	**Q_{Rf} 15-Min-Wert (max)**	**Erhöhung** (4-facher 15-Min-Wert im Vergleich zu 1-h-Wert**)**
Beobachtung 1, 1. Std.	262	88	+ 34%
Beobachtung 1, 2. Std.	274	99	+ 45%
Beobachtung 2, 1. Std.	387	120	+ 24%
Beobachtung 2, 2. Std.	504	150	+ 19 %
Beobachtung 4, 1. Std.	118	50	+ 69 %[4]
Beobachtung 5, 1. Std.	130	42	+ 29 %
SN 640 023 MIV			*+ 20%*

Rückstau: Anzahl der haltenden Radfahrer während der Rotphase

Die folgende Tab. 5.19 die Anzahl der Radfahrer, welche durchschnittlich während einer Rotphase an der Lichtsignalanlage zu stehen kommen. Der theoretische Wert ermittelt sich nach folgender Formel:

$$A = \frac{Q_{Rf} \cdot Rotphasenanteil}{Anzahl\ Rotphasen} \qquad (7)$$

Der effektive Wert ergibt sich aus der Auswertung der Videobeobachtung.

[4] Dieser Erhöhungsfaktor wird stark durch morgendlichen Schülerverkehr beeinflusst.

Tab. 5.19: Anzahl der anhaltenden Radfahrer während einer Rotphase

Beobachtungsort	Q_{Rf} 1-h-Wert [Rf/h]	Q_{Rf} 4-facher 15-Min.-Wert [Rf/h]	Rotphasenanteil	Anzahl Rotphasen	Mittlerer Rückstau pro Rotphase theoretisch [Anzahl Rf]	Mittlerer Rückstau pro Rotphase effektiv [Anzahl Rf]	Anteil effektiv zu theoretischem Wert	Spanne Rückstau [Anzahl Rf]
B1; 1. Std	262		48.5 %	46	2.8	1.9	68%	0 – 8
		352	48.5 %	46	3.7			
B1; 2. Std	274		51.5 %	49	2.9	2.4	83%	0 – 7
		396	51.5 %	49	4.2			
B2; 1. Std	387		28.5 %	49	2.3	1.3	57%	0 – 5
		480	28.5 %	49	2.8			
B2; 2. Std	504		26.4 %	47	2.8	1.9	68%	0 - 5
		600	26.4 %	47	3.4			
B4; (¼ Std.[5])	118		72.2 %	60	1.4			
		200	72.2 %	60	2.4	2	83%	0 - 7
B5; (½ Std[6])	130		86%	54	2.1			
		168	86%	54	2.7	1.1	41%	0 - 7

Die effektive Anzahl an wartenden Radfahrenden beträgt zwischen rund 40% und 80% vom theoretischen Wert. Dies lässt sich wie folgt erklären:

- Radfahrer missachten das Rotlicht (weniger als 2%).
- Radfahrer beginnen frühzeitig mit Abbremsen, um ein Stoppen zu umgehen.
- Die pulkartig bei der LSA ankommenden Radfahrer nutzen die Grünzeitverlängerung infolge der verkehrsabhängigen Steuerung der LSA.

Rückstaulänge

Um eine Funktion für die Rückstaulänge zu ermitteln, wird im Folgenden die durch die Videobeobachtung gemessene Rückstaulänge in Abhängigkeit der Anzahl wartender Radfahrer während der Rotphase dargestellt. Die verursachte Rückstaulänge von nur einem wartenden Velofahrer wird nicht mit in die Auswertung einbezogen.

[5] Bei dieser Untersuchung wurden lediglich 15 min detailliert ausgewertet, da während der Restzeit keine weiterführenden Beobachtungen gemacht werden konnten.

[6] Bei dieser Untersuchung wurden lediglich 30 Minuten detailliert ausgewertet, da während der Restzeit keine weiterführenden Beobachtungen gemacht werden konnten.

Anlagentyp 1: Zuführender Radstreifen

In Abb. 5.30 und Abb. 5.31 sind die Ergebnisse für die Beobachtungsorte Basel Steinenring, Höhe Pauluskirche in Richtung Bahnhof, und Viaduktstrasse, Richtung Pauluskirche, abgebildet. Der Radstreifen weist jeweils eine Breite von 1.50 m auf.

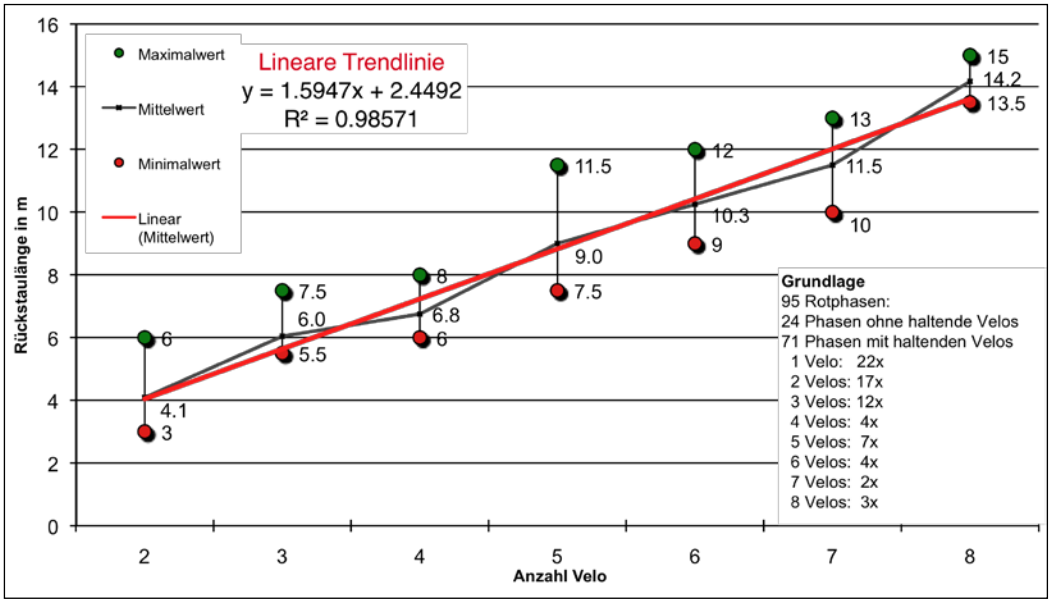


Abb. 5.30: Zuführender Radstreifen, Beobachtung 1: Rückstaulänge

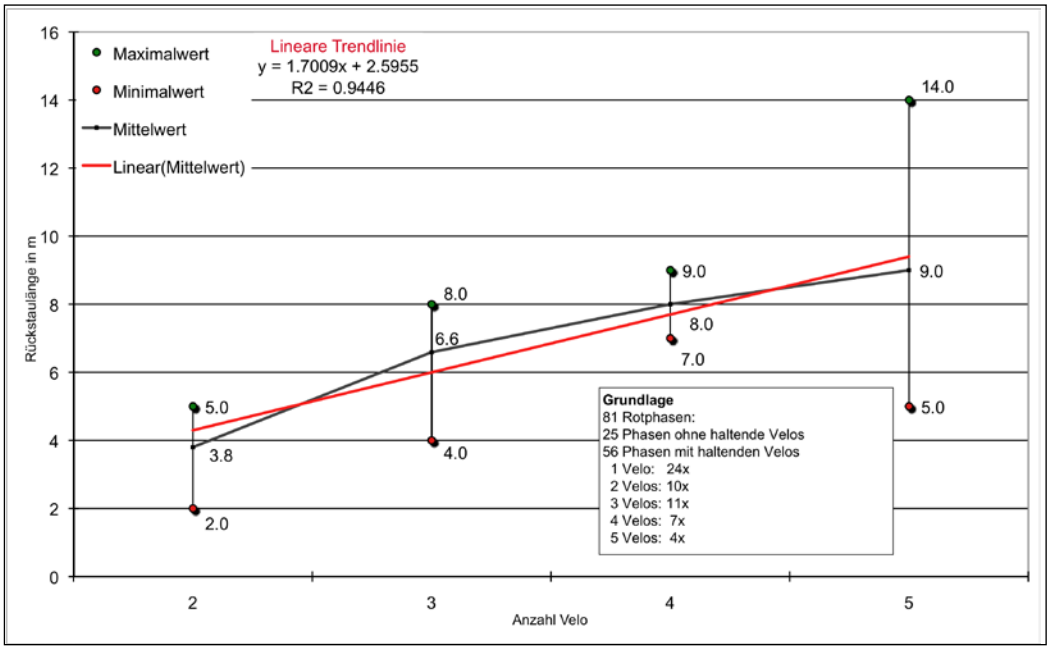


Abb. 5.31: Zuführender Radstreifen, Beobachtung 2; Rückstaulänge

Die Funktion der linearen Trendlinie ergibt in beiden Fällen das beste Ergebnis mit $R^2 = 0.99$ bzw. $R^2 = 0.94$. Daraus lässt sich eine mittlere Rückstaulänge pro Radfahrer von 1.6 m (1.5947 m) bzw. 1.7 m (1.7009 m) ermitteln. Die Länge eines Fahrrads beträgt etwa 2.00 m. Das bedeutet, dass sich die Radfahrer beim Warten nicht nur hintereinander, sondern auch leicht versetzt nebeneinander aufstellen. Die Konstante in der linearen Funktion beträgt zwischen 2.45 m und 2.60 m, was dem Abstand zwischen der Haltelinie und dem Vorderpunkt des zweiten Velos entspricht.

Anlagentyp 2: Zuführender Radstreifen mit ausgeweitetem Bereich

Da es nicht möglich war, umfangreiche aussagekräftige Daten zusammenzutragen, fällt diese Auswertung wesentlich geringer aus als für den Anlagentyp 1.

Folgende Ergebnisse konnten aus den Erhebungen abgeleitet werden:

Geiselweidstrasse:

4 m x 4 m und zuführender Radstreifen von 1.10 m Breite, relativ geringe MIV-Menge:

- Beim zuführenden Radstreifen mit ausgeweitetem Bereich von 4 m x 4 m stellen sich bis zu 5 Radfahrer im ausgeweiteten Bereich auf.
- Sammeln sich dort 7 Radfahrer während einer Rotphase, so stellen sich ebenfalls 5 Radfahrer in den ausgeweiteten Bereich auf, 2 weitere Radfahrer stellen sich nacheinander im zuführenden Radstreifen (Breite 1.1 m) auf und bilden dabei einen Rückstau von 4.0 m.

Rudolfstrasse:

4 m x 4 m und zuführender Radstreifen von 1.00 m Breite, relativ hohe MIV-Menge:

- Beim zuführenden Radstreifen mit ausgeweitetem Bereich von 4 m x 4 m stellen sich bis zu 3 Radfahrer im ausgeweiteten Bereich auf.
- Sammeln sich dort mehr als 3 Radfahrer, so wird ein Rückstau von 2.0 m pro Radfahrer erzeugt (max. 5 Radfahrer insgesamt).
- Die Anzahl der im ausgeweiteten Bereich wartenden Radfahrer kann durch den Mfz beeinflusst werden. So konnte am Aufzeichnungsort Rudolfstrasse beobachtet werden, dass die Anhaltebereitschaft des Mfz an der Haltelinie teilweise schlecht ist und sie in den ausgeweiteten Radstreifenbereich hineinfahren. So wird es Radfahrern erschwert bzw. teilweise verunmöglicht, bis in den für sie vorgesehene Wartebereich vorzufahren. Dort stellte sich teilweise nur 1 Radfahrer an der Haltelinie auf und die folgenden Radfahrer warteten daraufhin in einer Reihe hintereinander.
- Es handelt sich bei beiden Beobachtungsorten um zuführende Radstreifen von 1.00 bzw. 1.10 m Breite. Es konnte festgestellt werden, dass die Radfahrer es dort vermeiden, sich nebeneinander bzw. leicht versetzt aufzustellen. Pro Radfahrer ist dort mit einer Rückstaulänge von 2.0 m zu rechnen.

Anlagentyp 3: Mischverkehr ohne Radverkehrsanlage

Birmannsgasse:

In Abb. 5.32 sind die Ergebnisse für den Beobachtungsort Basel Birmannsgasse abgebildet. Es handelt sich um eine Mischverkehrsfläche ohne eigene Radverkehrsanlage. Der Fahrstreifen hat eine Breite von 4.00 m.

Die Funktion der linearen Trendlinie ergibt das beste Ergebnis mit $R^2 = 0.76$. Daraus lässt sich eine mittlere Rückstaulänge pro Radfahrer von rund 1.45 m ablesen. Dies bedeutet, dass sich Radfahrer beim Warten nicht nur hintereinander, sondern auch leicht versetzt nebeneinander aufstellen. In Zusammenhang mit dieser Situation muss angeführt werden, dass das Warteverhalten der Radfahrer an der LSA davon beeinflusst wird, ob bereits ein Mfz an der LSA wartet (Radfahrer stellen sich eher hintereinander auf) oder ob noch kein Mfz an der Haltelinie steht (Radfahrer stellen sich häufig nebeneinander auf).

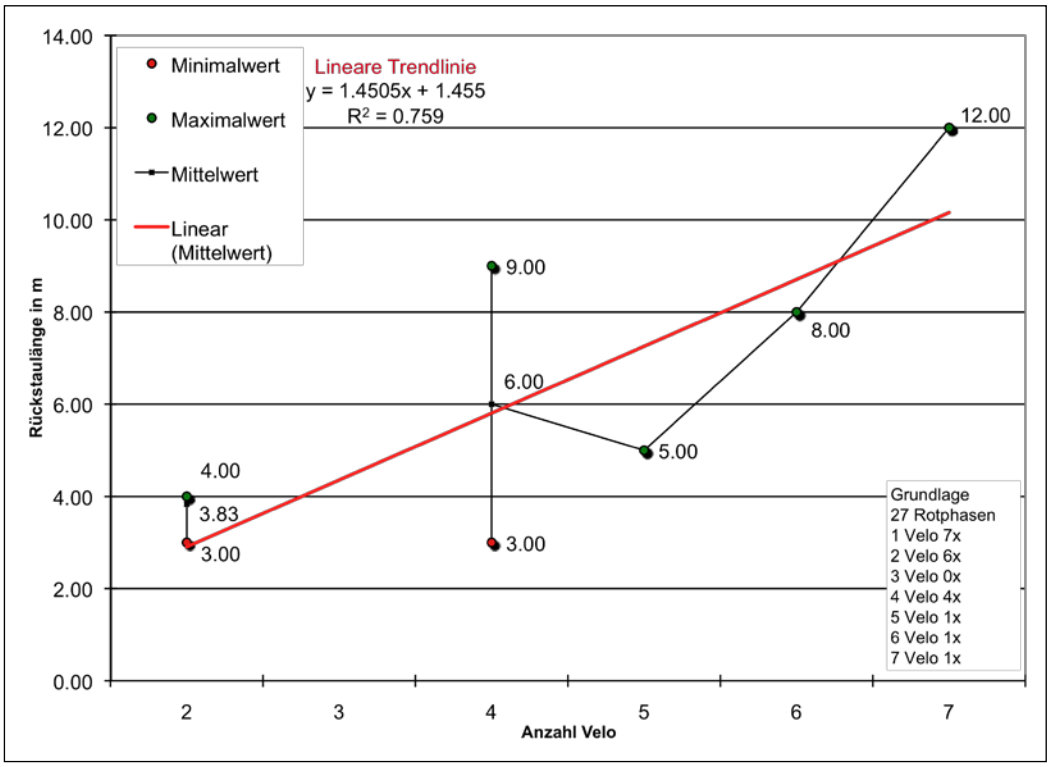


Abb. 5.32: Mischverkehr, Beobachtung 5, Rückstaulänge

Rückstaudichte

Aus den in Abb. 5.30 und Abb. 5.31 ermittelten Rückstaulängen lässt sich ebenfalls die Rückstaudichte mit folgender Funktion ermitteln:

$$Dichte_{Rückstau} = \frac{Anzahl_{wartende\,Velos}}{Breite_{Radstreifen} \cdot L_{Rückstau}} \qquad (8)$$

Anlagentyp 1: Zuführender Radstreifen

In Abb. 5.33 und Abb. 5.34 sind die Ergebnisse für die Beobachtungsorte Basel Steinenring, Höhe Pauluskirche in Richtung Bahnhof, und Viaduktstrasse, Richtung Pauluskirche, abgebildet. Der Radstreifen hat eine Breite von 1.50 m.

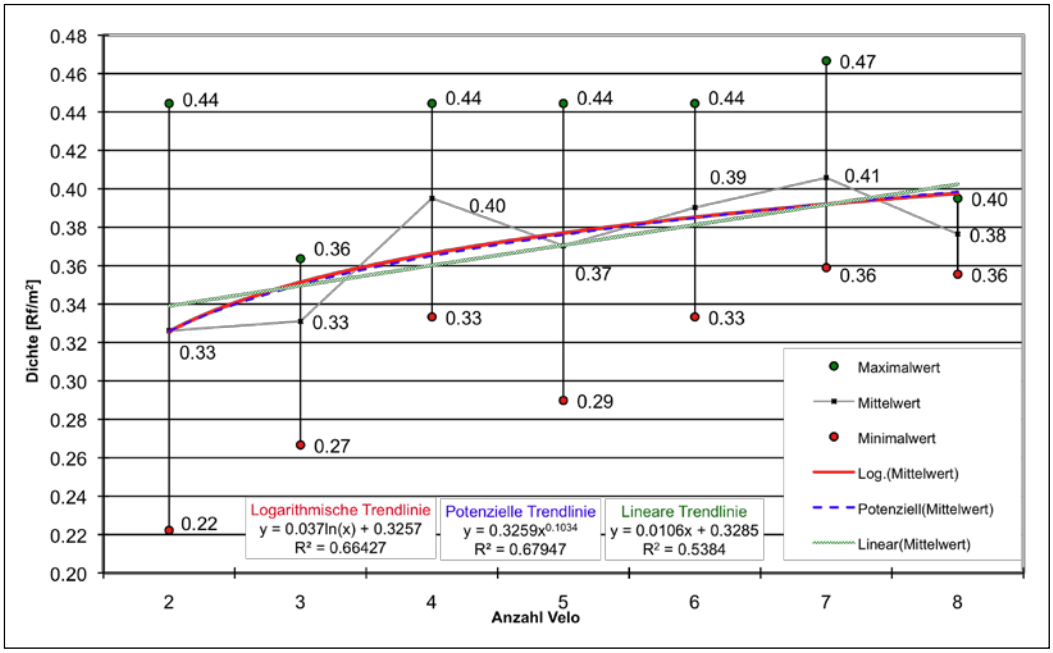


Abb. 5.33: Zuführender Radstreifen Beobachtung 1; Rückstaudichte

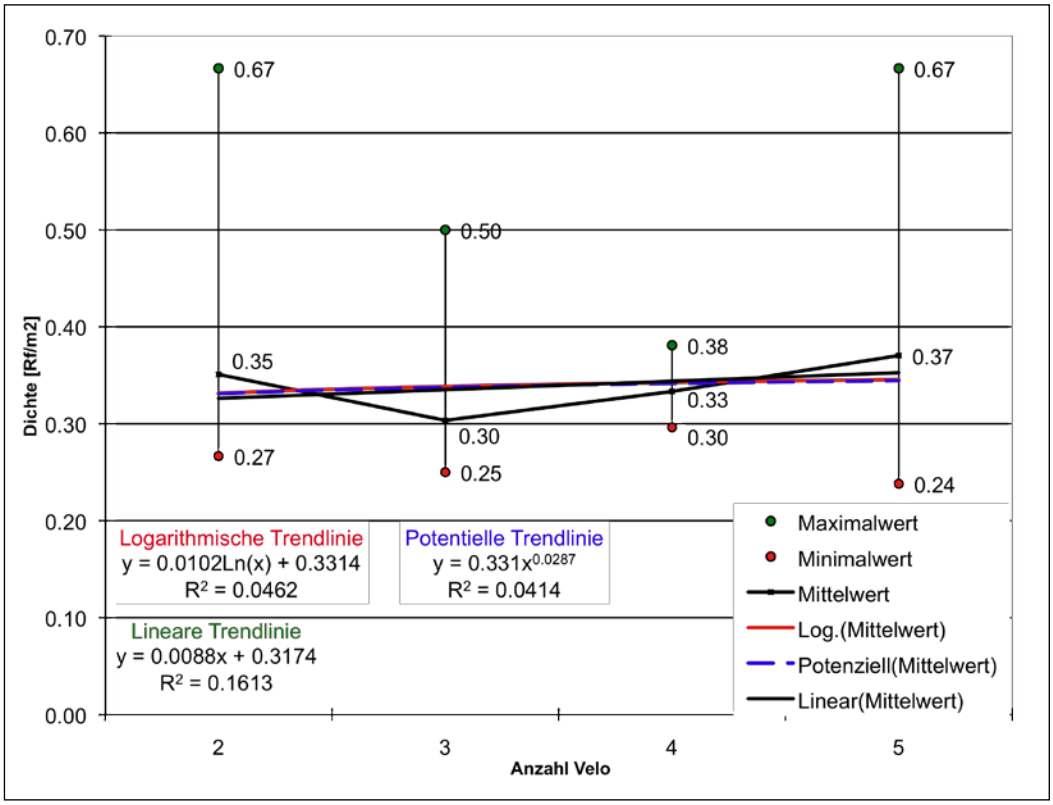


Abb. 5.34: Zuführender Radstreifen Beobachtung 2; Rückstaudichte

In dieser Auswertung zeigt sich, dass die durchschnittliche Radfahrerdichte etwa zwischen 0.3 und 0.4 Rf/m2 liegt. Die verschiedenen Trendlinien können dabei nur relativ unbefriedigende Ergebnisse erbringen, d.h. die Werte schwanken sehr stark und es ist kein eindeutiger Trend in Abhängigkeit der Anzahl wartenden Velofahrer abzulesen.

Anlagentyp 2: Zuführender Radstreifen mit ausgeweitetem Bereich

Aussagen zur Dichte in ausgeweiteten Radstreifen lassen sich aufgrund der mangelnden Datengrundlage nicht treffen.

Anlagentyp 3: Mischverkehr ohne Radverkehrsanlage

Aussagen zur Dichte in Mischverkehrsbereichen ohne Radverkehrsanlage lassen sich aufgrund der mangelnden Datengrundlage nicht treffen.

Räumzeit

Als mögliches Mass für die Verkehrsqualität kann auch die Räumzeit von Radfahrern während der Grünphasen relevant sein. Dazu wurde ermittelt, welche Zeitspanne notwendig ist, damit eine bestimmte Anzahl Radfahrer ab dem Zeitpunkt der Grünphase die Haltelinie überfahren.

Anlagentyp 1: Zuführender Radstreifen

Pro Velofahrer muss zwischen 0.9 bis 1.2 s Räumzeit eingerechnet werden, legt man die lineare Trendkurve zugrunde (siehe Abb. 5.35 und Abb. 5.36). Die Konstante in der linearen Funktion von 2.1 bis 2.8 s zeigt die Räumzeit ab Beginn der Grünphase bis der zweite Velofahrer die Haltelinie passiert. Dieser Wert ergibt sich aus der Reaktionszeit von ca. 1 bis 1.5 s und der Räumzeit des ersten Radfahrers von rund 1 s. Bei einer Grünphase von etwa 30 s könnten somit rund 25 bis 30 Velofahrer den Knoten passieren.

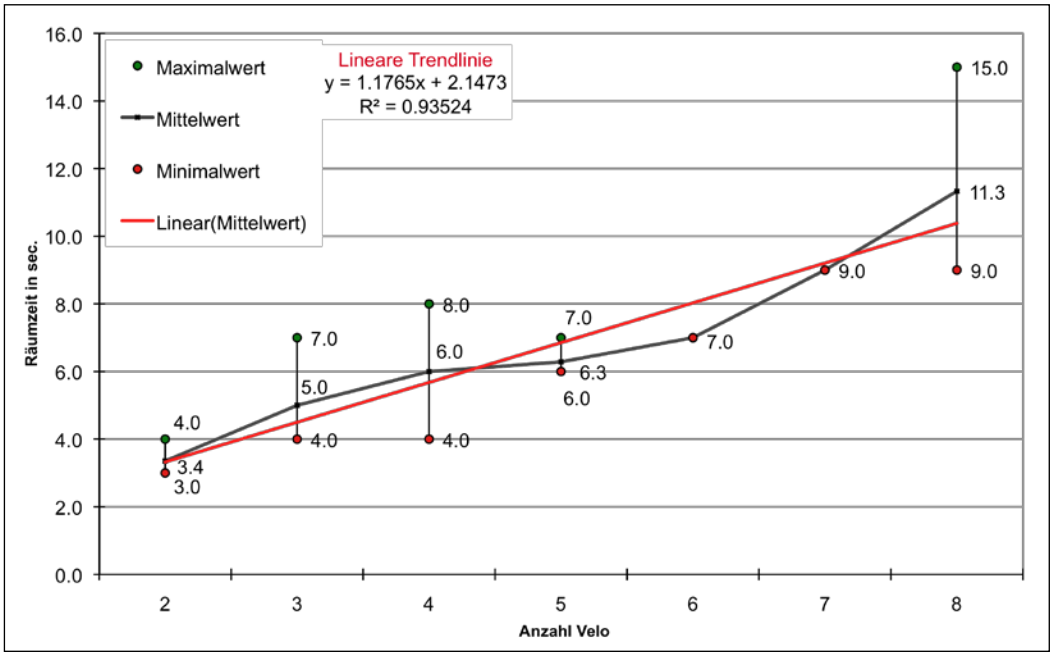


Abb. 5.35: Zuführender Radstreifen, Beobachtung 1; Räumzeit nach Anzahl Velofahrer

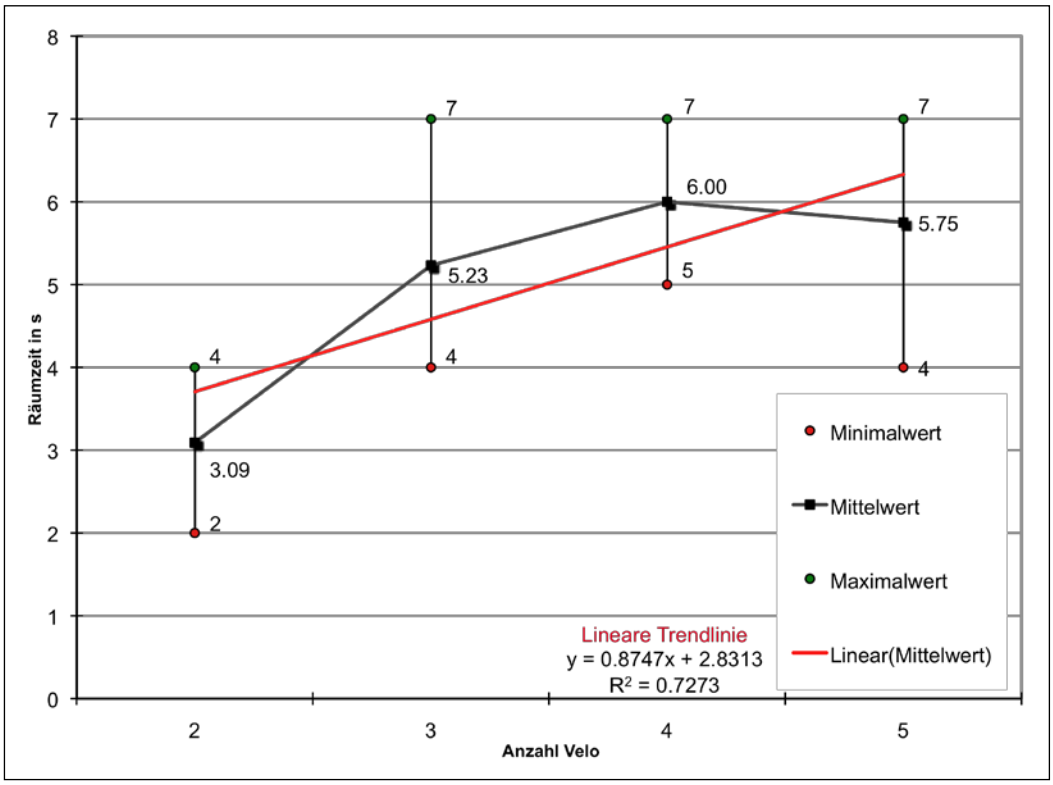


Abb. 5.36: Zuführender Radstreifen, Beobachtung 2; Räumzeit nach Anzahl Velofahrer

Ausgehend von der Rückstaulänge und der Räumzeit konnte die Räumzeit pro Meter Rückstaulänge berechnet werden. Eine klare Tendenz ist daraus nicht ablesbar. Die Mittelwerte bewegen sich zwischen 0.75 und 0.8 Sekunden pro Meter Rückstau. Tendenziell wird die Räumzeit pro Meter abnehmen, je länger der Rückstau ist. Dazu lässt sich aber keine eindeutige Aussage aus den Erhebungen ableiten.

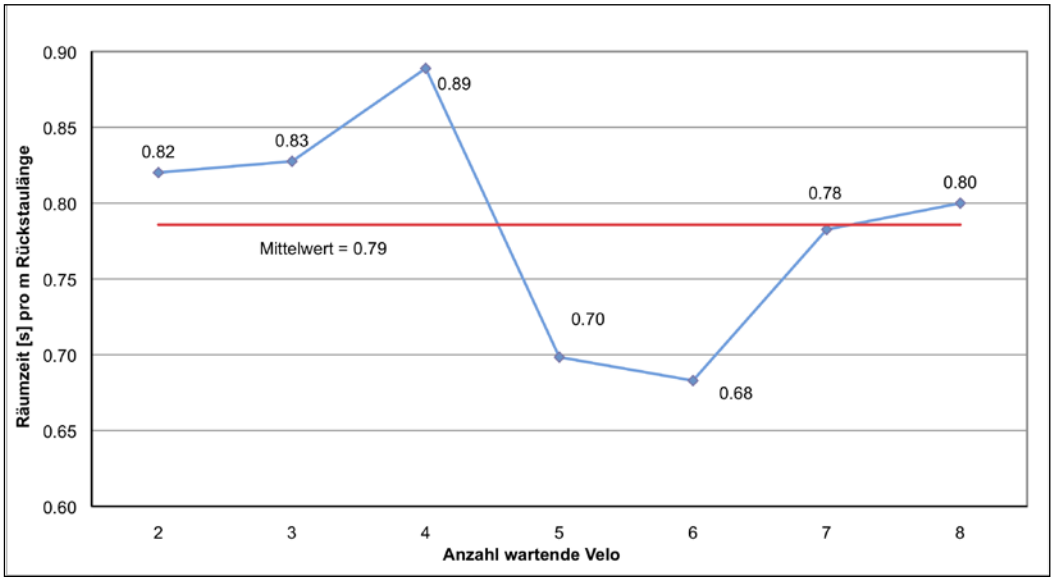


Abb. 5.37: Zuführender Radstreifen, Beobachtung 1; Räumzeit pro Meter Rückstaulänge

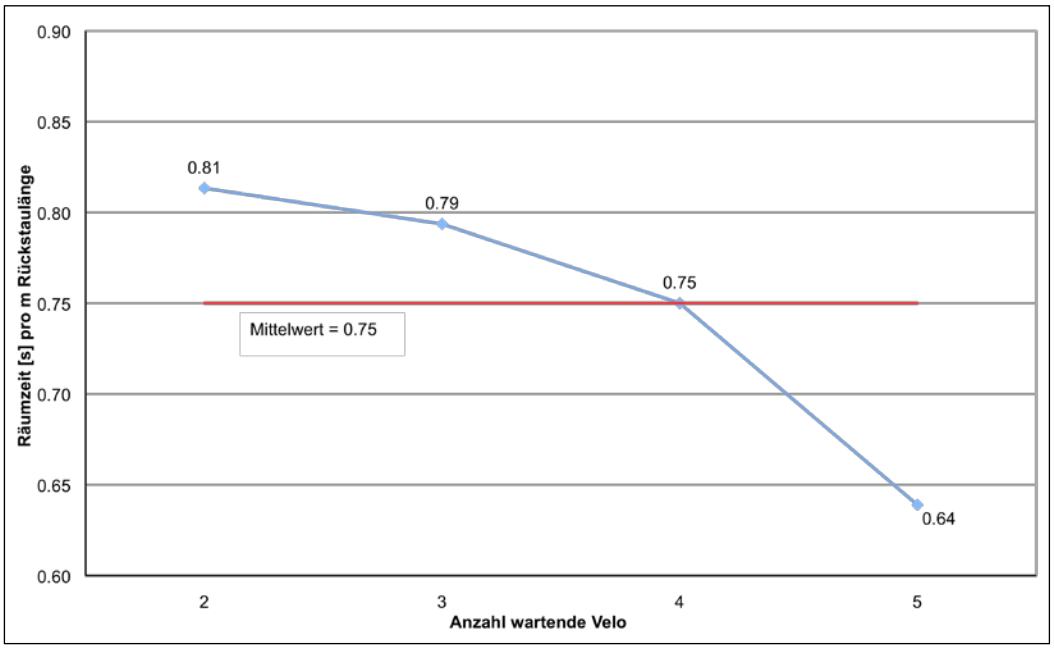


Abb. 5.38: Zuführender Radstreifen, Beobachtung 2; Räumzeit pro Meter Rückstaulänge

Anlagentyp 2: Zuführender und ausgeweiteter Radstreifen

In Bezug auf die Räumzeit lässt sich bei diesem Anlagentyp folgendes feststellen:

- Bis zu 3 Radfahrer benötigen 2 s für die Räumung des Wartebereichs.
- Sind es 4 bis 5 Radfahrer, so sind 3 bis 4 s notwendig.
- Bei 7 Radfahrern werden 6 s gebraucht.

Es zeigt sich, dass das Vorhandensein des ausgeweiteten Bereichs einen Einfluss auf die Räumzeit hat: Je nachdem wie viele Radfahrer in diesem Bereich warten, umso geringer fällt die Gesamträumzeit aus. Leider liegt nicht ausreichendes Datenmaterial vor, um durchschnittliche Räumzeiten empirisch zu ermitteln.

Anlagentyp 3: Mischverkehr ohne Radverkehrsanlage

In Bezug auf die Räumzeit lässt sich folgendes feststellen: Pro Velofahrer muss etwa 0.6 s Räumzeit eingerechnet werden, legt man die lineare Trendkurve zugrunde (siehe Abb. 5.39). Dieses Ergebnis scheint allerdings nur bedingt belastbar, da zwar die lineare Trendlinie insgesamt das beste Ergebnis ergibt, jedoch lediglich ein Bestimmtheitsmass von R^2 = 0.57 erzielt. In der Praxis wird die Räumzeit pro Velofahrer sicherlich mehr als 0.6 s betragen. Einerseits braucht es zunächst eine Reaktionszeit. Darüber hinaus ist die Räumzeit davon abhängig, ob die Radfahrer nebeneinander aufstellt sind oder hintereinander.

Bei einer Grünphase von ca. 30 s könnten gemäss der Erhebung etwa 48 Velofahrer die LSA passieren.

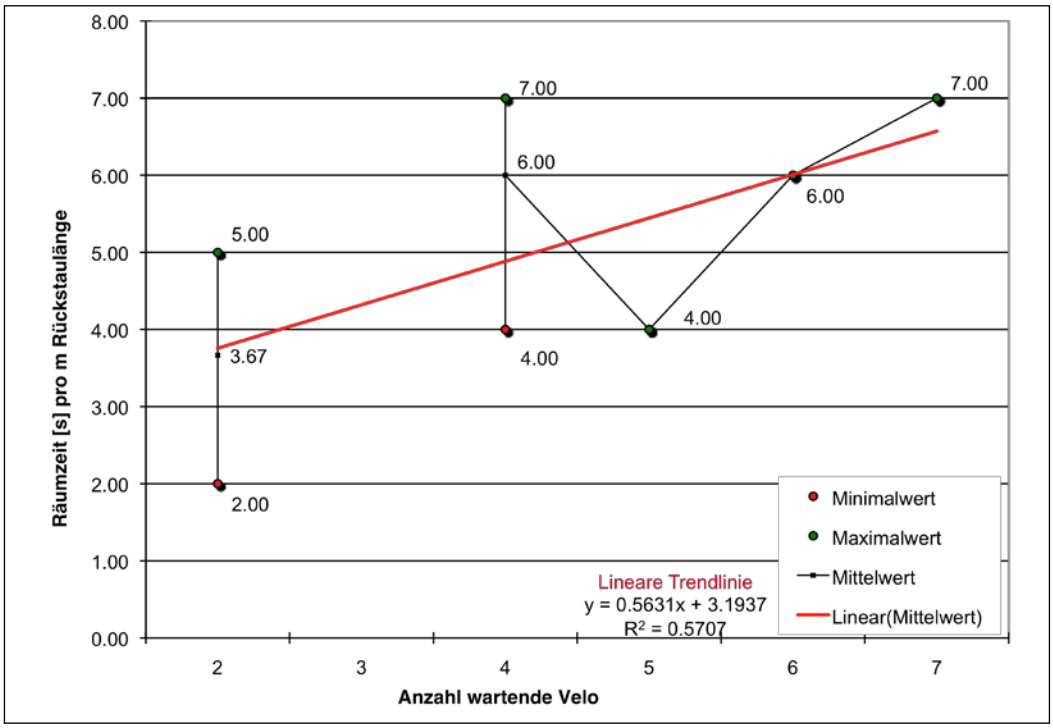


Abb. 5.39: Mischverkehr, Beobachtung 5; Räumzeit nach Anzahl Velofahrer

Für die Räumzeit pro Meter Rückstaulänge ergibt sich ein Wert von ca. 0.8 s, was mit den Ergebnissen bei den Radstreifen übereinstimmt.

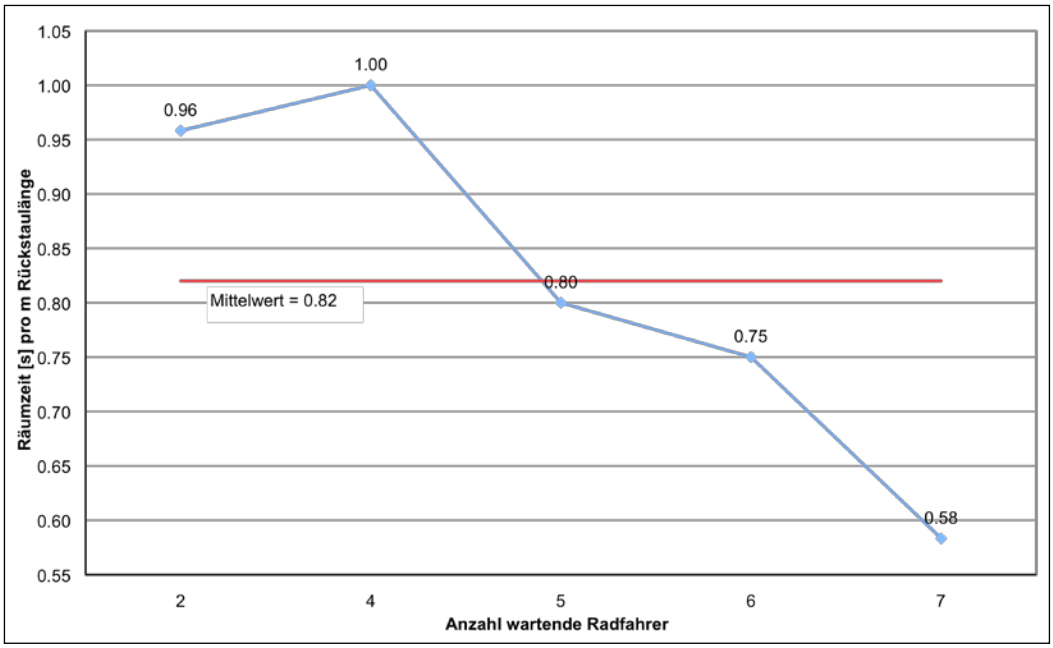


Abb. 5.40: Mischverkehr, Beobachtung 5; Räumzeit pro Meter Rückstaulänge

Fazit

Insgesamt muss festgestellt werden, dass die Voraussetzungen für die Zusammenstellung notwendiger Daten in der Schweiz nur unzulänglich möglich war. Dies ist darin begründet, dass für aussagekräftige Resultate nicht ausreichend Radfahrende in den verschiedenen Radverkehrsanlagen im Rahmen der Videoaufnahmen beobachtet werden konnten. Demzufolge lassen sich kaum statistisch fundierten Aussagen zu Qualitätsstufen machen. Einige Ergebnisse lassen sich dennoch formulieren:

- Verkehrsmenge:
  Der vierfache Viertelstundenwert beträgt rund 130% des Stundenwerts. Dieser Erhöhungsfaktor für den Radverkehr ist somit höher als derjenige für den MIV (20%).

- Anzahl haltende Radfahrer bei Rotlicht:
  In der Realität halten beim Rotlicht an Lichtsignalanlagen weniger Radfahrer als theoretisch anzunehmen ist. Dies ergibt sich unter anderem daraus, dass Radfahrer häufig ihren Fahrfluss so anpassen, damit sie nicht zum Stehen zu kommen und absteigen müssen.

- Rückstaulänge:
  Je schmaler der zur Verfügung stehende Wartebereich für Radfahrer (beeinflusst durch Dimensionierung der Radverkehrsanlage und der angrenzenden Verkehrsstreifen), umso geringer ist logischerweise die Möglichkeit, sich nebeneinander aufzustellen.

  Bei Radstreifen von 1.5 m Breite ist pro Radfahrer eine Rückstaulänge von ca. 1.6 m anzunehmen. Für Radfahrer, die im Mischverkehr geführt werden, sind ca. 1.5 m Rückstaulänge pro Radfahrer beobachtet worden. Allerdings wird dies voraussichtlich von der Breite der Fahrbahn und der Frequenz des MIV beeinflusst.

  Bei ausgeweiteten Radstreifen sammeln sich bis zu 5 Radfahrern im ausgeweiteten Bereich. Allerdings wird die Nutzung dieses Bereichs vom Verhalten der Autofahrer beeinflusst, da diese die Nutzung mitunter verunmöglichen. Bei einer anschliessenden Radstreifenbreite von ca. 1.00 m konnte beobachtet werden, dass die Rückstaulänge pro Radfahrer 2.00 m beträgt.

- Räumzeit:
  Die Räumzeit pro Radfahrer beträgt ca. 1 s. Hinzuzurechnen ist die Reaktionszeit von rund 1.5 s.
- Bei ausgeweiteten Radstreifen sind kürzere Räumzeiten möglich, sofern sich mehrere Radfahrer im ausgeweiteten Bereich aufstellen und dadurch gleichzeitig losfahren können.

6 Empfehlungen

6.1 Verkehrsqualität

6.1.1 Warteraum bei Knoten mit Lichtsignalanlage

Die Verkehrsqualität in einem Warteraum wird einerseits durch die Dichte im Warteraum [Radfahrende/m^2] und anderseits durch den Zeitbedarf [s] für das Räumen des Warteraums ab Beginn der Grünphase („Räumzeit“) beeinflusst (s. Kap. 4.3). Dieser Zeitbedarf stellt letztlich eine Verlängerung der Reisezeit dar, was insbesondere im Alltagsverkehr ein relevantes Qualitätskriterium ist. Wird die Räumzeit bei einer Anlage regelmässig zu gross, werden sich die Radfahrenden im Warteraum dichter aufstellen, um den Zeitverlust zu minimieren. Dies führt dann wiederum zu einer Reduktion der Qualität. Es ist deshalb wichtig, die Räumzeit bei einer „verträglichen“ Dichte zu bestimmen.

Die Qualität eines Warteraums ist nicht mit der Qualität des LSA-Knotens an und für sich zu verwechseln. Die Verkehrsqualität des Warteraums kann durch die Geometrie des Warteraums beeinflusst werden. Natürlich hat die LSA-Regelung ebenfalls einen Einfluss auf die Räumzeit, doch wird diese für die Beurteilung des Warteraums als gegeben betrachtet. Wurde die LSA-Steuerung zur Optimierung der Qualität des Gesamtknotens optimiert, kann anschliessend die Qualität des Warteraums durch die Geometrie beeinflusst werden.

Für die Einteilung der Verkehrsqualitätsstufen in Abhängigkeit von Dichte und Räumzeit gibt es in der Literatur keine Hinweise. Somit wären Befragungen der Velofahrenden erforderlich, was aber im Rahmen dieser Forschung nicht möglich war. Zudem ist das Verkehrsaufkommen in der Schweiz zu gering, womit keine Situationen mit kaum oder nicht zumutbaren Belastungen auftreten. Im Rahmen dieser Forschung wird deshalb vorerst ein theoretischer Ansatz gewählt.

Eine deutliche Zunahme des Reisezeitverlustes tritt auf, wenn die Räumzeit grösser wird als die Grünzeit. Ein Teil der Radfahrenden muss dann eine zweite Grünphase abwarten. Aus diesem Grund wird als Mass für die Verkehrsqualität das Verhältnis von Räumzeit zu Grünzeit angewendet:

$$f = \frac{Räumzeit\ [s]}{Grünzeit\ [s]} \qquad (9)$$

mit folgenden Definitionen:

- Räumzeit: Mittlerer Zeitbedarf des zuhinterst wartenden Radfahrers bis zum Überqueren der Haltelinie ab Beginn der Grünphase, massgebend ist die Spitzenstunde
- Grünzeit: Mittlere Dauer der Grünphase in der Spitzenstunde

Diese Betrachtung setzt voraus, dass die Zufahrt zum Warteraum bei Rot wie auch das Wegfahren bei Grün jederzeit ohne Behinderungen möglich ist.

Für die Einteilung in Verkehrsqualitätsstufen VQS wird folgender Vorschlag gemacht:

Tab. 6.20: Verkehrsqualitätsstufen für Warteräume an Knoten mit LSA

VQS	A	B	C	D	E	F
f (Gl. 9)	≤ 0.2	≤ 0.4	≤ 0.6	≤ 0.8	≤ 1.0	> 1.0

Beträgt der Wert f genau 1.0, so können gerade noch alle wartenden Radfahrer in einer Grünphase den Knoten passieren. Übersteigt f den Wert von 1.0 so muss ein Teil der Radfahrenden eine zweite Grünphase abwarten. Dadurch steigt der Reisezeitverlust massiv an, was sicher die Qualitätsstufe F rechtfertigt.

6.1.2 Radwegquerung ohne Lichtsignalanlage

In [Bast 2003/1] wie auch in [TRB 2000] wird als Messgrösse für die Verkehrsqualität des Radverkehrs an Knoten die mittlere Wartezeit empfohlen. Es scheint uns deshalb angebracht, auch für die Situation einer Radwegquerung die Verkehrsqualität nach der Wartezeit zu beurteilen.

In [VSS 2006] werden für die Einteilung in VQS – allerdings für Motorfahrzeuge – folgende Werte verwendet:

Tab. 6.21: Verkehrsqualitätsstufen für Radwegquerungen ohne LSA analog [VSS 2006]

VQS	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
w [s]	≤ 10	≤ 20	≤ 30	≤ 45	> 45	Keine Angabe

[TRB 2000] enthält für Radfahrende an Knoten eine leicht andere Einteilung:

Tab. 6.22: Verkehrsqualitätsstufen für Radwegquerungen ohne LSA nach [TRB 2000]

VQS	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
w [s]	< 10	10-20	20-30	30-40	40-60	> 60

In Anbetracht, dass für Radwegquerungen ein analoges Bemessungsverfahren wie für den Motorfahrzeugverkehr an Knoten ohne LSA gemäss [VSS 1999/1] verwendet wird (s. Kap. 6.3.2), soll auch die entsprechende VQS-Einstufung gemäss den neuen VSS-Normen (Tab. 6.21) verwendet werden.

6.1.3 Anlagen für den Längsverkehr

In diesem Kapitel wird die allgemeine Herleitung der VQS für Radstreifen, Radwege und gemeinsame Rad- und Fusswege erläutert. Die VQS für die einzelnen Anlagen sind in den folgenden Kapiteln dargestellt.

Die Verkehrsqualität der Verkehrsteilnehmer wird generell durch den Grad der Einschränkung in der Bewegungsfreiheit charakterisiert. [TRB 2000] verwendet dazu als grundlegende Messgrösse den Anteil der Benutzer, die über eine Strecke von 1 km mit einem Begegnungsereignis konfrontiert werden. Als Begegnungsereignis werden Überholvorgänge und Begegnungen mit entgegenkommenden Radfahrern bezeichnet. Diese Manöver reduzieren die Bewegungsfreiheit und beeinflussen den Komfort, aber auch die Sicherheit. Die Stärke der Einschränkung der Bewegungsfreiheit ist abhängig von der Art des Manövers (Überholen oder Begegnen), den beteiligten Nutzern (Radfahrer, Fussgänger) und der Breite des Radstreifens oder Radwegs.

Tab. 6.23: Verkehrsqualitätsstufen für Längselemente nach [TRB 2000]

VQS	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
Anteil Nutzer mit Begegnung *	≤ 10%	11-20%	21-40%	41-70%	71-100%	100%

* Auf einer Strecke von 1 km.

Ausgehend von Tab. 6.23 und basierend auf [VSS 1998] sowie [BAST 2003/2] werden die VQS für die Längselemente wie folgt definiert:

Tab. 6.24: Definition der Verkehrsqualitätsstufen für Radstreifen, Radwege sowie Rad- und Fusswege

Verkehrs-qualitäts-stufe	Verkehrsqualität	Beschreibung
A	Sehr gut	Alle Radfahrer können sich frei bewegen. Es finden kaum Begegnungsereignisse statt. Alle erreichen ihre Wunschgeschwindigkeit.
B	Gut	Die Bewegungsfreiheit ist kaum eingeschränkt. Einige Begegnungsereignisse, die keine Reduzierung der Geschwindigkeit erfordern.
C	Zufrieden stellend	Die Zahl der Begegnungsereignisse nimmt zu und führt bei einzelnen Radfahrern zu einer Reduzierung der Geschwindigkeit.
D	Ausreichend	Die Zahl der Begegnungsereignisse nimmt deutlich zu und führt häufig zu einer Reduzierung der Geschwindigkeit.
E	Mangelhaft	Ständige Begegnungsereignisse beeinträchtigen den Fahrtablauf und führen fast immer zu einer Reduzierung der Geschwindigkeit.
F	Ungenügend	Alle Radfahrer sind mit Begegnungsereignissen konfrontiert. Die gegenseitige Beeinträchtigung ist so stark, dass die Geschwindigkeit dauernd reduziert ist.

Gemäss [Botma 1995] konnten mit Feldbeobachtungen und einem Simulationsmodell zu den VQS gemäss Tab. 6.23 für Radwege die entsprechenden Verkehrsmengen zugeordnet werden.

Tab. 6.25: Zusammenhang zwischen dem „Anteil Nutzer mit Begegnung“ und der Verkehrsmenge für unterschiedliche Radwege nach [Botma 1995]

		Verkehrsmenge Querschnitt [Rf/h]			
		1-Richtungs-Radweg		**2-Richtungs-Radweg**	
VQS	**Anteil Nutzer mit Begegnung**	**Breite 2.4 m (2 lanes)**	**Breite 3.0 m (3 lanes)**	**Breite 2.4 m (2 lanes)**	**Breite 3.0 m (3 lanes)**
A	≤ 10%	≤ 130	≤ 780	≤ 65	≤ 150
B	11-20%	≤ 260	≤ 1560	≤ 105	≤ 230
C	21-40%	≤ 520	≤ 3120	≤ 170	≤ 350
D	41-70%	≤ 910	≤ 5460	≤ 250	≤ 500
E	71-100%	≤ 1300	≤ 7800	≤ 325	≤ 630

Die Werte gemäss obiger Tabelle basieren auf einer mittleren Geschwindigkeit von 18 km/h, einer Standardabweichung von 3 km/h und bei den Zweirichtungs-Radwegen auf Richtungsanteilen von je ½ der Verkehrsmenge. Die Übertragbarkeit der Werte auf Schweizer Verhältnisse ist nicht bekannt. Sie wird im Folgenden bejaht.

Um eine Übertragbarkeit der Verkehrsbelastungen je VQS auf andere Anlagetypen und andere Verkehrsverhältnisse zu ermöglichen, wurden die Anzahl der Begegnungsereignisse F pro Stunde mit folgenden Formeln gemäss [Botma 1995] ermittelt:

$$F_{\ddot{u}} = \frac{2 \cdot q_R \cdot \sigma_R}{v_R \cdot \sqrt{\pi}} \qquad (10)$$

mit

- $F_{ü}$ = Anzahl Überholvorgänge pro Stunde
- q_R = Verkehrsbelastung Radfahrer in Beurteilungs-Richtung in der Spitzenstunde [Rf/h]

- σ_R = Standardabweichung Geschwindigkeit Radfahrer in Beurteilungs-Richtung [km/h]
- v_R = mittlere Geschwindigkeit Radfahrer in Beurteilungs-Richtung [km/h]

Bei einem Einrichtungs-Radweg ist die Anzahl der Begegnungsereignisse F identisch mit der Anzahl der Überholvorgänge $F_ü$.

Bei 2-Richtungsradwegen beträgt die Anzahl der Begegnungsvorgänge mit in Gegenrichtung fahrenden Radfahrern:

$$F_b = q_G \cdot \left(1 + \frac{v_R}{v_G}\right) \quad (11)$$

mit

- F_b = Anzahl Begegnungsvorgänge pro Stunde
- q_G = Verkehrsbelastung Radfahrer in Gegenrichtung in der Spitzenstunde [Rf/h]
- v_R = mittlere Geschwindigkeit Radfahrer in Beurteilungs-Richtung [km/h]
- v_G = mittlere Geschwindigkeit Radfahrer in Gegenrichtung [km/h]

Für Radwege ohne Längsneigung kann v_R und v_G gleichgesetzt werden, womit sich die Formel vereinfacht:

$$F_b = 2 \cdot q_G \quad (12)$$

mit

- F_b = Anzahl Begegnungsvorgänge pro Stunde
- q_G = Verkehrsbelastung Radfahrer in Gegenrichtung in der Spitzenstunde [Rf/h]

Da Begegnungsvorgänge die Bewegungsfreiheit der Radfahrer weniger einschränken als Überholvorgänge wird für diese ein Gewichtungsfaktor von 0.5 eingeführt [Botma 1995]. Das Total der Begegnungsereignisse ergibt sich damit für horizontale Radwege nach folgender Formel:

$$F = F_ü + 0.5 \cdot F_b = \frac{2 \cdot q_R \cdot \sigma_R}{v_R \cdot \sqrt{\pi}} + q_G \quad (13)$$

mit den oben angegeben Definitionen.

Mit Gl. 13 kann aus den Belastungswerten gemäss Tab. 6.25 und den angegebenen Randbedingungen die Anzahl Begegnungsereignisse pro Stunde berechnet werden.

Tab. 6.26: Zusammenhang zwischen „Anteil Nutzer mit Begegnung“ und Anzahl Begegnungsereignisse für unterschiedliche Radwegabschnitte von 1 km Länge nach [Botma 1995] und [Allen 1998]

		Begegnungsereignisse pro Stunde			
		1-Richtungs-Verkehr		2-Richtungs-Verkehr	
VQS	**Anteil Nutzer mit Begegnung**	**Breite 2.4 m (2 lanes)**	**Breite 3.0 m (3 lanes)**	**Breite 2.4 m (2 lanes)**	**Breite 3.0 m (3 lanes)**
A	≤ 10%	≤ 24	≤ 147	≤ 39	≤ 89
B	11-20%	≤ 49	≤ 293	≤ 62	≤ 137
C	21-40%	≤ 98	≤ 587	≤ 101	≤ 208
D	41-70%	≤ 171	≤ 1027	≤ 149	≤ 297
E	71-100%	≤ 244	≤ 1467	≤ 193	≤ 374

Die Anzahl der Begegnungsereignisse gemäss obiger Tabelle wird im Folgenden zur Einstufung der Verkehrsqualität für alle Anlagen und Verkehrsverhältnisse verwendet.

6.1.4 Radstreifen

Verkehrsqualität nach [TRB 2000]

Wie im vorhergehenden Kapitel erwähnt, verwendet [TRB 2000], welches für die Literaturanalyse ausgewertet wurde, als Messgrösse die Anzahl der Begegnungsereignisse pro Stunde auf einer Strecke von 1 km, und zwar als Mass für die Behinderungen des freien Fahrflusses. Nicht berücksichtig wird dabei, ob dieses Überholmanöver zu einem Zeitverlust führt.

In Anlehnung an Tab. 6.26 wird folgende Einteilung in die VQS empfohlen:

Tab. 6.27: Verkehrsqualitätsstufen für Radstreifen

VQS	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
Überholen/h	≤ 25	26-50	51-100	101-175	176-250	> 250

In [TRB 2000] werden allerdings für Radstreifen die Werte für Zweirichtungs-Verkehr verwendet.

Verkehrsqualität nach [TRB 2010]

Einen ganz anderen Ansatz wird nun im neuen Highway Capacity Manual HCM 2010 [TRB 2010] gewählt. In Kapitel 17 „Urban street segments“ wird eine Methode zur Beurteilung der Verkehrsqualität für den Radverkehr auf einem Strassensegment aufgezeigt. Als Strassensegment wird eine Strecke inklusive der beiden die Strecke begrenzenden Knoten verstanden. Die Methode ist aber ausdrücklich auch für die Strecke zwischen den beiden Knoten anwendbar.

Interessanterweise berücksichtigt die Methode die Radverkehrsbelastung nicht. Massgebende Kriterien sind:

- Anzahl Fahrstreifen, Fahrstreifenbreiten und Breite des Seitenraums (z. B. Parkierstreifen)
- Anteil belegte Parkplätze
- Verkehrsbelastung Mfz und Anteil Schwerverkehr
- Geschwindigkeit des Motorfahrzeugverkehrs
- Belagsqualität

Mit dem Bemessungsverfahren (s. Kap. 6.3.3) unter Berücksichtigung der oben erwähnten Parameter werden VQS-Punkte berechnet. Die Einteilung in VQS erfolgt nach untenstehender Tabelle.

Tab. 6.28: Verkehrsqualitätsstufen für den Radverkehr auf innerörtlichen Strassen nach [TRB 2010]

VQS	A	B	C	D	E	F
Punkte	≤ 2.00	2.01-2.75	2.76-3.50	3.51-4.25	4.26-5.00	> 5.00

6.1.5 Radweg, Rad- und Fussweg

Wie in Kapitel 6.1.3 erwähnt, verwendet [TRB 2000] (HCM 2000) als Messgrösse die Anzahl der Begegnungsereignisse pro Stunde auf einer Strecke von 1 km. Als Begegnungsereignis wird einerseits das Überholen eines in gleicher Richtung fahrenden Velos bzw. eines Fussgängers und anderseits das Begegnen eines in Gegenrichtung fahrenden Velos bzw. Fussgängers gezählt. Für Einrichtungs-Rad- und Fusswege sind nur die Überholvorgänge sowie das Begegnen von Fussgängern massgebend.

In Anlehnung an Tab. 6.26 wird folgende Einteilung in die VQS empfohlen:

Tab. 6.29: Verkehrsqualitätsstufen für Radwege, für gemeinsame Rad- und Fusswege sowie für den Verkehrsstreifen für Radfahrer auf Rad- und Fusswegen mit getrennten Verkehrsflächen

VQS	1-Richtungs-Radweg, b = 2.50 m Anzahl Begegnungen/h	1-Richtungs-Radweg, b = 3.00 m Anzahl Begegnungen/h	2-Richtungs-Radweg, b = 2.50 m Anzahl Begegnungen/h	2-Richtungs-Radweg, b = 3.00 m Anzahl Begegnungen/h
A	≤ 25	≤ 150	≤ 40	≤ 90
B	26-50	151-300	41-60	91-140
C	51-100	301-600	61-100	141-225
D	101-175	601-1050	101-150	226-340
E	176-250	1051-1500	151-200	341-450
F	> 250	> 1500	> 200	> 450

6.1.6 Kombinierter Bus-Radstreifen

Zur Verkehrsqualität für den Radverkehr auf kombinierten Bus- und Radstreifen ist in der Literatur nichts zu finden. Es stellt sich grundsätzlich die Frage, ob die Zuordnung zu VQS relevante Aussagen zur Planung ermöglichen, was bezweifelt wird. Die Planungsaufgabe besteht i.d.R. eher in der Abklärung, ob aus Sicht des Busbetriebs ein gemeinsamer Verkehrsstreifen akzeptiert werden kann. Somit wären primär Aussagen zur VQS für den öffentlichen Verkehr erforderlich. Noch sinnvoller sind wohl Angaben zur multimodalen Verkehrsqualität der gesamten Fahrbahn.

Im Vergleich zur Benutzung des Fahrstreifens für den Motorfahrzeugverkehr links des Busstreifens stellt die Benutzung des Busstreifens für den Radverkehr häufig eine Verbesserung der Verkehrsqualität dar. Dabei stellen die Taktfrequenz des ÖV, die Fahrstreifenbreiten, andere zugelassene Benutzer auf dem Busstreifen und das Längsgefälle massgebende Kriterien dar. Quantitative Aussagen dazu sind nicht möglich. Qualitative Angaben sind im Kapitel 3.2.6 enthalten. Alternativen zur Führung des Radverkehrs auf kombinierten Bus-Radstreifen sind Radstreifen links oder rechts neben dem Busstreifen, strassenbegleitende Radwege oder eine unabhängige Führung.

6.1.7 Bemessungsempfehlung

Die VSS-Normen zur Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität für den motorisierten Verkehr enthalten i.d.R. Bemessungsempfehlungen. Diese definieren, welche VQS in der Spitzenstunde einzuhalten ist. Üblicherweise wird die VQS D empfohlen, wobei in begründeten Ausnahmefällen auch die Stufe E vertretbar ist.

Grundsätzlich soll auch für den Veloverkehr in der Spitzenstunde die VQS D erreicht werden. In den Städten und Agglomerationen kann jedoch auch die Stufe E angewendet werden. Wir empfehlen allerdings, in der Norm vorläufig noch keine Bemessungsempfehlung aufzunehmen. Die Zuordnung der Messgrössen zu den VQS ist wie auch die Bemessungsverfahren noch mit vielen Unsicherheiten behaftet. Eine Bemessungsempfehlung könnte deshalb je nach Situation zu falschen Schlussfolgerungen führen.

6.2 Leistungsfähigkeit

Wie in Kapitel 3.3 dargestellt, gibt es sehr viele Studien aus verschiedenen Ländern, welche die Kapazität von Radstreifen und Radwegen untersucht haben. In der Schweiz sind derartige Untersuchungen nicht möglich, da die Belastung der Radverkehrsanlagen weit unterhalb der Kapazitätsgrenzen liegt. So beträgt z. B. die Spitzenbelastung in Basel auf einem Einrichtungsradweg ca. 600 Rf/h. Auch die vorsichtigste Schätzung aus der Literatur legt für eine entsprechende Anlage bereits eine Kapazität von 1'500 Rf/h fest. Die Bedeutung von Kapazitätsgrenzen ist für die Schweiz somit – zumindest im Moment – noch gering.

Die Werte in der Literatur sind jeweils pro Fahrstreifen („lane“) angegeben, unterteilt nach 1-Richtungs- bzw. 2-Richtungsverkehr. Für Radwege mit Gegenverkehr gibt es allerdings nur wenige spezifische Werte. Die Breite der Streifen wird i.d.R. mit 1.00 bis 1.20 m angegeben. Folgende Werte sind in der Literatur zu finden:

- 1-Richtungsverkehr: 1'000 – 5'000 Rf/h pro Streifen
- 2-Richtungsverkehr: 750 – 1'600 Rf/h pro Streifen

In zwei Quellen wird angegeben, dass sich die Werte für weitere Streifen nicht linear vergrössern, sondern um 1'000 bis 1'500 Rf/h zunehmen.

Lediglich in [Bast 2003/2] ist ein Wert zu gemeinsamen Rad- und Fusswegen zu finden:

- 50 Rf/h bei 500 Fg/h
- 250 Rf/h bei 50 Fg/h

Unklar ist dabei, ob der Radverkehr im Ein- oder Zweirichtungsverkehr betrieben wird und wie breit die Anlage ist. Die nachfolgende Empfehlung basiert hingegen auf den Berechnungen in Kapitel 6.3.5.

Zusammenfassend empfehlen wir folgende Kapazitätsgrenzen für Radstreifen und Radwege:

- 1-Richtungsverkehr: 2'500 – 3'000 Rf/h pro Streifen
- jeder weitere Streifen zusätzlich 1'500 Rf/h
- 2- Richtungsverkehr: 1'500 – 2'000 Rf/h pro Streifen
- jeder weitere Streifen zusätzlich 1'000 Rf/h

Die Leistungsfähigkeit der Radverkehrsanlagen kann somit wie folgt angegeben werden:

Tab. 6.30: Leistungsfähigkeit von Radverkehrsanlagen

Anlagetyp	Breite	Leistungsfähigkeit
Radstreifen	1.25 – 1.75 m	2'500 – 3'000 Rf/h
1-Richtungs-Radweg	1.50 – 2.00 m	2'500 – 3'000 Rf/h
	2.50 – 3.00 m	4'000 – 4'500 Rf/h
2-Richtungs-Radweg	2.50 – 3.00 m	2'500 – 3'000 Rf/h
	3.50 – 4.00 m	3'500 – 4'000 Rf/h
Gemeinsame Rad- und Fusswege im Zwei-Richtungsverkehr	3.00 – 3.50 m	1'000 Rf/h bei 50 Fg/h 50 Rf/h bei 250 Fg/h

Die angegebenen Leistungsfähigkeiten sind eine theoretische Grösse und weder für den Entwurf neuer noch für die Analyse bestehender Anlagen anwendbar.

Zwischen der theoretischen Leistungsfähigkeit gemäss Tab. 6.30 und den Verkehrsqualitätsstufen besteht beim leichten Zweiradverkehr kein Zusammenhang. Wird z. B. für Radstreifen die VQS F bei rund 1'000 Rf/h erreicht (s. Abb. 6.49 für v = 22 ± 5 km/h), so beträgt die theoretische Leistungsfähigkeit 2'500 – 3'000 Rf/h.

Die theoretische Leistungsfähigkeit für Anlagen des Längsverkehrs geht wie beim Motorfahrzeugverkehr von einer Kolonnenfahrt aus. Fährt die Kolonne z. B. mit einer Geschwindigkeit von 4 m/s (14.4 km/h) und beträgt der Abstand zwischen zwei Radfahrern 1 s, so ergibt sich eine theoretische Kapazität von 2'400 Rf/h. Nun ist aber festzuhalten, dass eine Kolonnenfahrt auf Radstreifen in der Praxis gar nie vorkommt. Jeder Verkehrsteilnehmer – ob Motorfahrzeugfahrer oder Radfahrer – ist grundsätzlich bestrebt, seine Wunschgeschwindigkeit einhalten zu können. Im Gegensatz zum Motorfahrzeugverkehr ist der Radverkehr nicht an einen Fahrstreifen, z.B. an den Radstreifen „gebunden". Durch Mitbenutzung des Fahrstreifens für den Motorfahrzeugverkehr kann ein Radfahrer – je nach Fahrstreifenbreite und Verkehrsbelastung – fast jederzeit andere Radfahrer überholen. Dieses Verhalten steigert einerseits die Kapazität und anderseits die Zahl der Begegnungsereignisse.

Beim Radverkehr wird die Verkehrsqualität von Anlagen für den Längsverkehr durch die Anzahl der Begegnungsereignisse bestimmt (s. Kapitel 6.1.3) und nicht durch das Nichterreichen der Wunschgeschwindigkeit, was letztlich beim Motorfahrzeugverkehr das massgebende Kriterium ist. Aufgrund der relativ grossen Geschwindigkeitsunterschiede der verschiedenen Radfahrer ergibt sich jedoch nicht erst bei Kolonnenfahrt eine grosse Zahl an gegenseitigen Behinderungen (Überholmanöver). Wie viele solcher Begegnungsereignisse noch als zumutbar beurteilt werden, basiert auf Befragungen von Radfahrern. Die Grenze der Zumutbarkeit wird bereits bei viel geringeren Belastungen als der theoretischen Leistungsfähigkeit erreicht.

6.3 Bemessungsverfahren

6.3.1 Warteraum bei Knoten mit Lichtsignalanlage

Aufgrund unserer Erhebungen wird für die Berechnung der mittleren Räumzeit von Warteräumen mit Radstreifen die folgende Formel vorgeschlagen:

$$t = \left[\left(\frac{Q_{Rf} \cdot Rotphasenanteil}{Anzahl\ Rotphasen} - a\right) \cdot l \cdot \left(\frac{1}{b - 0.30}\right)\right] \cdot 0.8 \qquad (14)$$

mit

- t = mittlere Räumzeit eines Warteraums

- Q_{Rf} = Massgebende Verkehrsmenge Radfahrer: 4-fache 15-Minutenbelastung in der Spitzenstunde bzw. 1.3 x Spitzenstundenbelastung
- Rotphasenanteil = zeitlicher Anteil der Rotphasen in der massgebenden Spitzenstunde in %
- Anzahl Rotphasen = Anzahl Rotphasen in der massgebenden Spitzenstunde
- a = Anzahl der im ausgeweiteten Bereich eines Radstreifens wartenden Radfahrer, und zwar ohne diejenigen, die in der Verlängerung des Radstreifens warten
- l = Länge eines Fahrrads = 2.0 m
- b = Breite des Radstreifens

Diese empirisch ermittelte Formel zur Berechnung der mittleren Räumzeit basiert auf einer geringen Anzahl von Erhebungen und insbesondere solcher mit Verkehrsmengen bis max. 500 Radfahrer in der Spitzenstunde. Sie ist deshalb, insbesondere für grössere Verkehrsmengen, mit Vorsicht zu verwenden.

Nachfolgend werden die einzelnen Terme der Formel erläutert.

Massgebende Verkehrsmenge

Als massgebende Verkehrsmenge wird die 4-fache 15-Minutenbelastung in der Spitzenstunde verwendet. Ist nur der Spitzenstundenwert bekannt, so wird dieser mit 1.3 multipliziert.

In Kapitel 5.3.2, Tab. 5.19 wird zwar aufgezeigt, dass die theoretisch berechnete Anzahl an wartenden Velofahrer während einer Rotphase höher als die beobachtete mittlere Anzahl ist. Allerdings wird auch die aus der 4-fachen 15-Minutenbelastung berechnete Anzahl in rund 15-20% der Rotphasen überschritten. Aus diesem Grund wird empfohlen, dies als massgebender Verkehr zu berücksichtigen.

Anzahl wartende Radfahrer während einer Rotphase

Aus der massgebenden Verkehrsmenge, dem zeitlichen Anteil aller Rotphasen in der massgebenden Spitzenstunde und der Anzahl der Rotphasen in der Spitzenstunde kann die durchschnittliche Anzahl der wartenden Radfahrer während einer Rotphase in der Spitzenstunde wie folgt berechnet werden:

$$A = \frac{Q_{Rf} \cdot Rotphasenanteil}{Anzahl\ Rotphasen} \qquad (15)$$

Für ausgeweitete Radstreifen werden nur diejenigen Radfahrer berücksichtigt, die sich in etwa in der Verlängerung des Radstreifens befinden. Dies bedeutet, dass die Anzahl Radfahrer (a), die im ausgeweiteten Bereich warten, für die Berechnung der mittleren Räumzeit vernachlässigt werden. Deshalb wird die obige Formel erweitert:

$$A = \frac{Q_{Rf} \cdot Rotphasenanteil}{Anzahl\ Rotphasen} - a \qquad (16)$$

Für normale Radstreifen beträgt a = 0.

Rückstaulänge pro Radfahrer

Aus Abb. 5.30 und Abb. 5.31 wurde ermittelt, dass bei einer Radstreifenbreite von 1.5 m der erste wartende Velofahrer ca. 2.5 m und jeder weitere ca. 1.6 m bis 1.7 m Rückstaulänge verursacht, d.h. die Radfahrer stellen sich leicht versetzt nebeneinander auf. Bei schmäleren Radstreifen (1.1 m) konnte dies hingegen nicht mehr beobachtet werden bzw. es ist auch praktisch kaum mehr möglich. Dort wird sich die Rückstaulänge pro Radfahrer auf 2.0 bis 2.2 m erhöhen.

Aufgrund dieser Erhebungen und der Breitenuntersuchung von Schopf 1985 entwickelten wir empirisch die folgende Formel für die Rückstaulänge pro Radfahrer:

$$L = l \cdot \left(\frac{1}{b-0.30}\right) \qquad (17)$$

mit

- l = Länge eines Fahrrads = 2.0 m
- b = Breite des Radstreifens

Die Funktion der Rückstaulänge pro Radfahrer ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

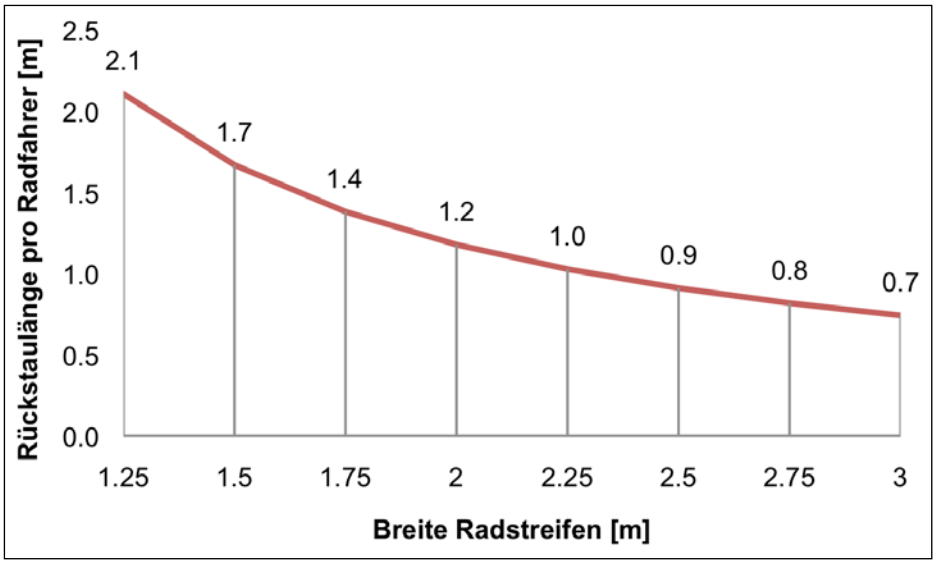


Abb. 6.41: Rückstaulänge pro Radfahrer in Abhängigkeit der Radstreifenbreite

Es ist anzunehmen, dass die Rückstaulänge zusätzlich von der Radverkehrsbelastung abhängig ist. Je mehr Radfahrende bei der LSA warten müssen, umso grösser wird der Wunsch, sich nebeneinander aufzustellen, um damit die individuelle Räumzeit zu reduzieren. In Anbetracht der geringen Belastung während den Erhebungen konnte dieser Zusammenhang nicht erforscht werden. Für die Radwegquerung in Kapitel 6.3.2 wird das Mass für das nebeneinander Aufstellen in Abhängigkeit von der Sättigung formuliert.

Zu berücksichtigen ist im Weiteren die benachbarte Fahrstreifenbreite für den Motorfahrzeugverkehr. Je schmaler dieser Fahrstreifen ist, umso näher stellen sich die Motorfahrzeuge an den Radstreifen. Die effektiv nutzbare Breite des Radstreifens verringert sich dadurch und die Radfahrenden können sich nicht mehr nebeneinander aufstellen. Der Einfluss der Breite des benachbarten Fahrstreifens konnte im Rahmen dieser Forschung nicht ermittelt werden.

Mittlere Räumzeit

Aufgrund der Videoerhebungen wurden die Räumzeiten, definiert als Zeitbedarf des zuhinterst wartenden Radfahrers bis zum Überqueren der Haltelinie ab Beginn der Grünphase, je nach Anzahl der wartenden Radfahrer bzw. der Rückstaulänge bestimmt. Daraus konnte ein durchschnittlicher Wert von etwa 0.8 s pro Meter Rückstaulänge ermittelt werden (siehe Abb. 5.37, Abb. 5.38 und Abb. 5.40).

Die gesamte mittlere Räumzeit berechnet sich demnach aus dem Produkt der Anzahl wartender Radfahrer x Rückstaulänge pro Radfahrer x Räumzeit pro Meter.

Beispiel

In der Abb. 6.42 sind für folgendes Beispiel die mittleren Räumzeiten und die VQS dargestellt:

- Anteil Rotphasen = 55%
- Anzahl Rotphasen = Anzahl Grünphasen = 50 pro Stunde
- Ø Grünzeit pro Phase (ergibt sich aus den obigen Festlegungen) = 32 s

Diese Daten sind aus der LSA-Steuerung bekannt. Die Berechnung der mittleren Räumzeiten erfolgt nun für folgende Geometrien des Warteraums und folgende Radverkehrsmengen:

- Radstreifenbreiten = 1.25 m; 1.50 m; 1.75 m
- ausgeweiteter Radstreifen mit b = 1.50 m (Annahme: im ausgeweiteten Bereich warten 4 Radfahrer)
- Q_{Rf} = 250; 500; 1000; 1250; 1500; 2000 Rf/Spitzenstunde

Die Abb. 6.42 zeigt folgendes:

- Die Radstreifenbreite hat einen deutlichen Einfluss auf die Verkehrsqualität des Warteraums.
- Wird die Breite von 1.25 m auf 1.75 m vergrössert, reduziert sich die mittlere Räumzeit um etwa ein Drittel.
- Ein ausgeweiteter Radstreifen reduziert für dieses Beispiel die mittlere Räumzeit um 5 bis 6 s.
- Kritische Verhältnisse (VQS E oder F) treten bei einer Radstreifenbreite von 1.50 m erst bei Spitzenstundebelastungen über etwa 1'250 Rf/h auf.
- In Basel betragen heute die Spitzenbelastungen etwa 600 Rf/h. Somit liegt die Verkehrsqualität auch bei schmalen Radstreifen von 1.25 m Breite noch in der Stufe C.

Eine Änderung der LSA-Steuerung, z. B. eine Reduktion der Rotzeiten, bewirkt natürlich ebenfalls eine Reduktion der mittleren Räumzeiten und damit eine Steigerung der Verkehrsqualität.

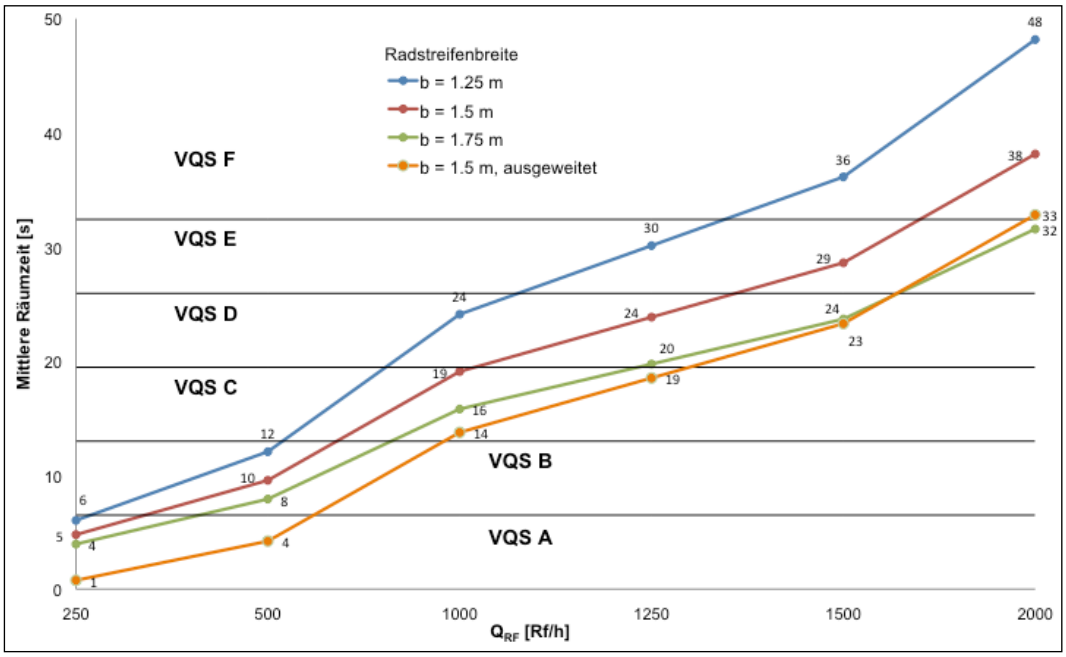


Abb. 6.42: Mittlere Räumzeit und Verkehrsqualitätsstufe je nach Verkehrsmenge und in Abhängigkeit der Radstreifenbreite (Rotphasenanteil 55%, 50 Rotphasen/h)

Fazit

Aufgrund von Videoerhebungen konnte eine empirische Formel entwickelt werden, mit welcher die mittlere Räumzeit von Warteräumen bei Knoten mit LSA berechnet und daraus die Verkehrsqualitätsstufe abgeleitet werden kann. Da in der Schweiz bis heute eher nur geringe bis mittlere Radverkehrsbelastungen auftreten, konnte die Formel nicht für hohe Belastungen verifiziert werden. Dementsprechend gilt das empirisch hergeleitete Bemessungsverfahren vorerst nur als provisorische Empfehlung.

Unabhängig davon sind bereits heute folgende Projektierungsempfehlungen zur Verbesserung der Verkehrsqualität von Warteräumen möglich:

- Erhöhung der Breite der Radstreifen.
  Auch aus Sicherheitsgründen sollte die Radstreifenbreite im Knotenbereich mindestens 1.50 m betragen. Bei grösseren Verkehrsbelastungen ist eine Breite von 1.75 m zu prüfen. Dies ist aus Sicherheitsüberlegungen insbesondere bei Radstreifen zwischen zwei Fahrstreifen sinnvoll.
- Anordnen eines ausgeweiteten Radstreifens.
  Diese Massnahmen kann generell die Verkehrsqualität des Knotens wie auch die Sicherheit für die Velofahrer verbessern. Details dazu sind in [VSS 1999/2] zu finden.

Im Weiteren ist bei der Projektierung darauf zu achten, dass die Länge des freien Warteraums mindestens der berechneten Rückstaulänge entspricht. Ist dies nicht der Fall, ist ebenfalls die Radstreifenbreite zu erhöhen oder ein ausgeweiteter Bereich anzuordnen. Dadurch kann die Rückstaulänge reduziert werden.

6.3.2 Radwegquerung ohne Lichtsignalanlage

In [Bast 2003/1] wird als ein mögliches Bemessungsverfahren zur Ermittlung der Wartezeit für den Radverkehr das gleiche Verfahren wie für den Motorfahrzeugverkehr vorgeschlagen. Problematisch ist dabei, dass für den Radverkehr die Grenz- und Folgezeitlücken nicht bekannt sind. In der Literaturanalyse konnten wir keine entsprechenden Werte ausfindig machen. Die eigene Ermittlung solcher Zeitlücken für den Radverkehr ist im Rahmen dieser Forschung nicht möglich und auch nicht vorgesehen. Als pragmatischer Ansatz werden deshalb die gleichen Zeitlücken wie für den Motorfahrzeugverkehr verwendet.

Das Bemessungsverfahren zur Ermittlung der Wartezeit für den Radverkehr erfolgt in Anlehnung an dasjenige in [VSS 1999/1].

Schritt1: Relevante Ströme

Im Nachfolgenden gehen wir von einer Situation gemäss Abb. 6.44 aus. Zur Vereinfachung werden ab- und einbiegende Radfahrer vernachlässigt. Somit reduziert sich der Knoten auf die Ströme 2, 5, 8 und 11.

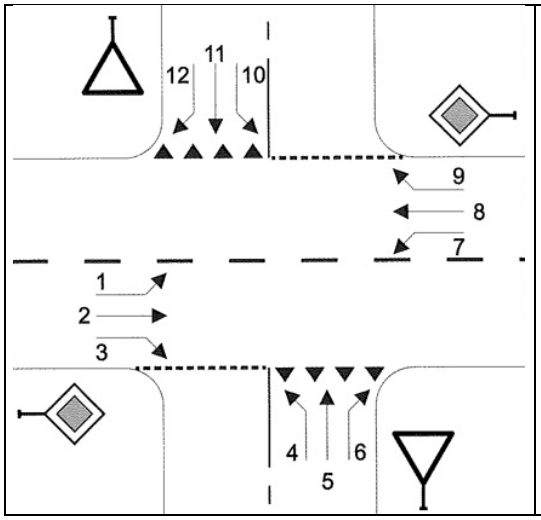


Abb. 6.43: Verkehrsströme gemäss Abb.1, SN 640 022

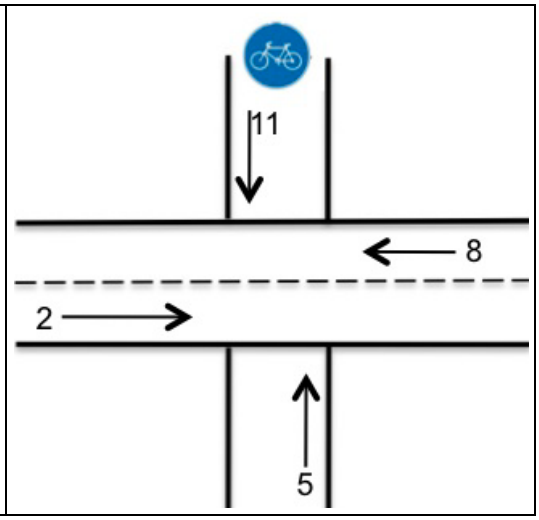


Abb. 6.44: Relevante Ströme für eine Radwegquerung (ab-/einbiegende Radfahrer vernachlässigt)

Schritt 2: Massgebende Hauptstrombelastung (Hauptströme = vortrittsberechtigte Ströme)

Die Hauptstrombelastung q_p für die Ströme 5 und 11 entspricht der Belastung auf der Hauptachse:

$$q_{p5} = q_{p11} = q_2 + q_8 \qquad (18)$$

Schritt 3: Grundleistungsfähigkeit G

Für die Ermittlung der Grundleistungsfähigkeit werden die Zeitlücken gemäss [FGSV 2005] bzw. [TRB 2010] zugrunde gelegt:

- Grenzzeitlücke t_g = 6.5 s (Querung in einer Etappe, d.h. ohne Mittelinsel)
- Grenzzeitlücke t_g = 5.5 s (Querung in zwei Etappen, d.h. mit Mittelinsel)
- Folgezeitlücke t_f = 4.0 s

Auf diesen Zeitlücken basiert auch die Norm [VSS 1999/1]. Ergänzend dazu definiert [TRB 2010] für das Queren in 2 Etappen eine geringere Grenzzeitlücke von 5.5 s.

Die Grundleistungsfähigkeit ergibt sich damit nach Siegloch [Bast 2003/1] mit folgender Formel:

$$G_i = \frac{3600}{t_f} \cdot e^{-\frac{q_{pi}}{3600} \cdot \left(t_g - \frac{t_f}{2}\right)} \qquad (19)$$

mit

- G_i = Grundleistungsfähigkeit des Nebenstroms i [Rf/h]
- q_{pi} = massgebende Hauptstrombelastung für den Strom i [Fz/h]
- t_g = Grenzzeitlücke
- t_f = Folgezeitlücke

Analog [VSS 1999/1] wurde die Grundleistungsfähigkeit um 90 Rf/h erhöht. Ob diese Erhöhung für den Radverkehr wirklich zutrifft, können wir nicht verifizieren. Die Grundleistungsfähigkeit kann aus folgender Abbildung abgelesen werden. Die rote Kurve (ohne Mittelinsel) entspricht der Kurve für Kreuzen in Abb. 2 von [VSS 1999/1].

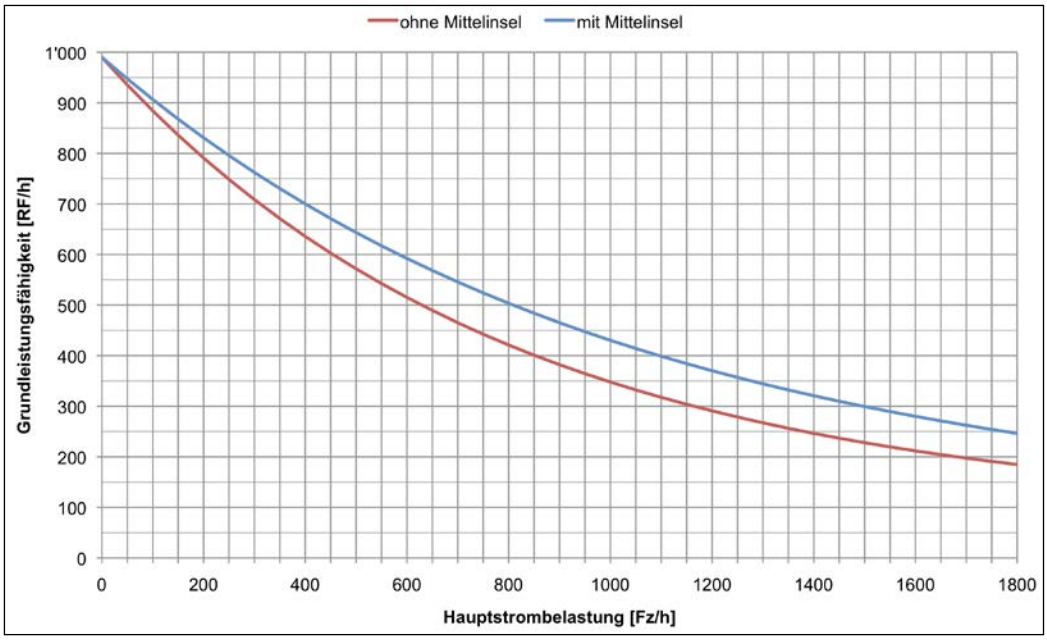


Abb. 6.45: Grundleistungsfähigkeit für Radwegquerungen mit oder ohne Mittelinsel

Schritt 4: Maximale Leistungsfähigkeit L

Für die oben dargestellte Situation, in welcher mögliche abbiegende Radfahrende vernachlässigt werden, entspricht die maximale Leistungsfähigkeit L gemäss [VSS 1999/1] grundsätzlich der Grundleistungsfähigkeit G. Dabei ist allerdings nicht berücksichtigt, dass sich Radfahrende zumindest teilweise (individuelles Verhalten) und zeitweise (nur ab einer bestimmten Sättigung) nebeneinander aufstellen und die Strasse gleichzeitig queren. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen wird in der Literatur, insbesondere in [TRB 2010] vorgeschlagen, die Folgezeitlücke zu reduzieren. Konkrete Werte dazu werden allerdings nicht genannt.

Im Rahmen dieser Forschung konnten auch wir die Zeitlücken für den Radverkehr nicht ermitteln. Wir erachten es jedoch als fraglich, ob der Ansatz, die Folgezeitlücke zu reduzieren, korrekt ist. Eine Verringerung der Folgezeitlücke erhöht die Grundleistungsfähigkeit insbesondere bei geringen Hauptstrombelastungen. Gerade dann wird sich jedoch, besonders bei geringer Radverkehrsbelastung, kein Rückstau von Radfahrenden bilden und damit werden kaum jemals zwei Radfahrende die Strasse miteinander queren. Der Mangel an diesem Ansatz ist, dass er keinen Bezug zur Radverkehrsbelastung herstellt. Das parallele Aufstellen und Queren ist jedoch abhängig von der Sättigung des Radwegs im Wartebereich, d.h. von der Wahrscheinlichkeit, dass sich mehr als ein Radfahrer im Warteraum aufhält.

Wir schlagen deshalb einen Ansatz vor, der die Breite des Radwegs und die Sättigung im Warteraum berücksichtigt. Dies ist zwar ein empirischer Ansatz, den wir nicht verifizieren konnten, der jedoch unseres Erachtens die Realität besser abbildet. In Kap. 6.3.1 haben wir aufgrund der Videobeobachtungen mit dem Term „b - 0.3 m“ definiert, wie viele Radfahrende sich auf einem Fahrstreifen nebeneinander aufstellen. So werden sich bei einer Breite von 1.3 m alle Radfahrenden hintereinander, bei einer Breite von 2.3 m können sich zwei Radfahrende nebeneinander aufstellen. Dies geschieht jedoch nur bei einer Sättigung bzw. der Wahrscheinlichkeit eines Rückstaus von 1. Die maximale Leistungsfähigkeit L berechnet sich demnach wie folgt:

$$L_i = G_i \cdot a_i \cdot (b - 0.3) \qquad (20)$$

mit

- L_i = maximale Leistungsfähigkeit des Nebenstroms i [Rf/h]
- G_i = Grundleistungsfähigkeit des Nebenstroms i [Rf/h]
- a_i = Sättigung = q_i/L_i [-]
- b = Breite des Fahrsteifens auf dem Radweg [m]

und mit folgenden Einschränkungen:

- $L_i \geq G_i$ (Grundleistungsfähigkeit ist auch bei geringer Sättigung gegeben)
- $a_i \leq 1.0$ (bei einer Sättigung über 1 können sich nicht mehr Radfahrende nebeneinander aufstellen, als von der Breite her möglich ist)
- $b \geq 1.30$ m (weniger als ein Radfahrer kann sich nicht aufstellen)

Durch Einsetzen der Definition von $a_i = q_i/L_i$ in die obige Gleichung ergibt sich folgende neue Gleichung:

$$L_i = G_i \cdot \frac{q_i}{L_i} \cdot (b - 0.3) \qquad (21)$$

und aufgelöst nach L_i ergibt sich

$$L_i = \sqrt{G_i \cdot q_i \cdot (b - 0.3)} \qquad (22)$$

In den nachfolgenden Grafiken ist die maximale Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit der Grundleistungsfähigkeit und der Radverkehrsbelastung auf dem Radweg dargestellt. Abb. 6.46 zeigt die maximale Leistungsfähigkeit bei einer Fahrstreifenbreite des Radwegs von 1.5 m, Abb. 6.47 bei einer Breite von 2.25 m.

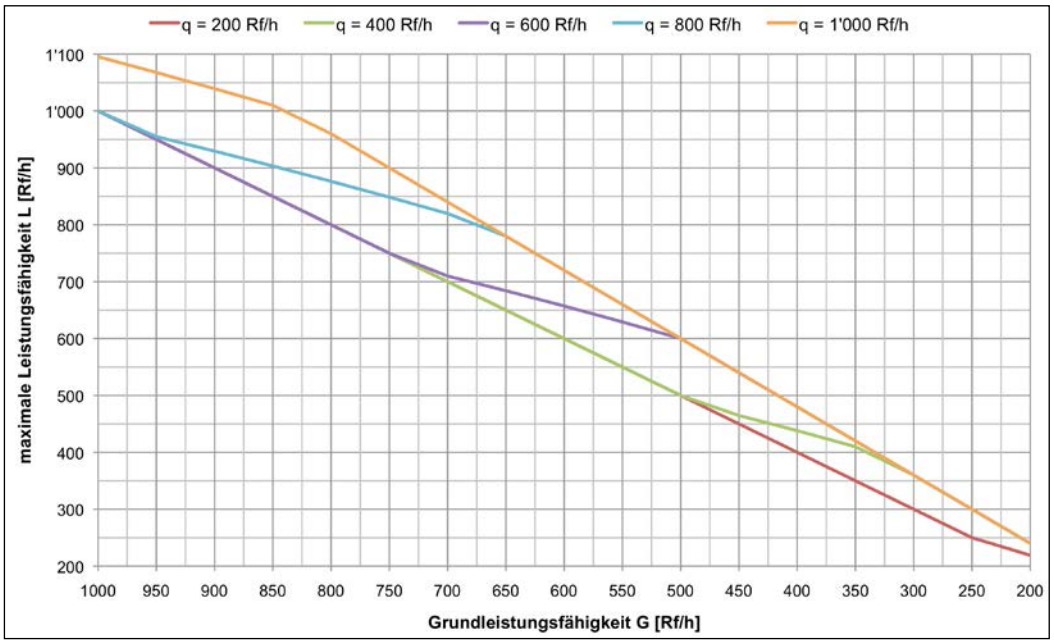


Abb. 6.46: Maximale Leistungsfähigkeit L in Abhängigkeit der Grundleistungsfähigkeit G und der Radverkehrsbelastung auf dem Radweg für eine Fahrstreifenbreite des Radwegs von 1.5 m

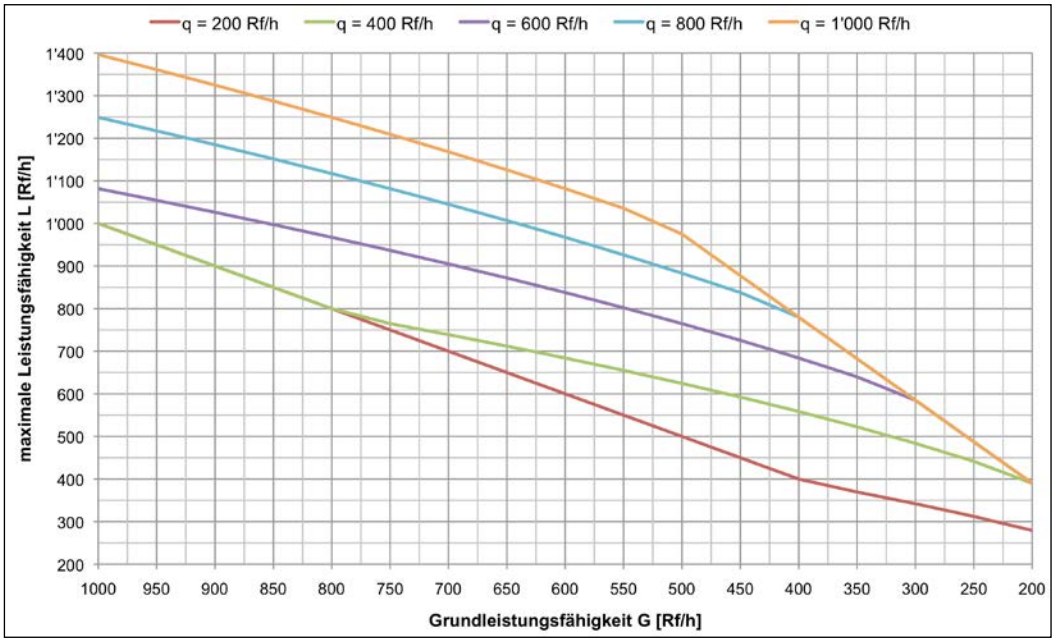


Abb. 6.47: Maximale Leistungsfähigkeit L in Abhängigkeit der Grundleistungsfähigkeit G und der Radverkehrsbelastung auf dem Radweg für eine Fahrstreifenbreite des Radwegs von 2.25 m

Schritt 5: Leistungsreserve R

Die Leistungsreserve R entspricht der maximalen Leistungsfähigkeit L abzüglich der vorhandenen Verkehrsstärke q:

$$R_i = L_i - q_i \qquad (23)$$

mit

- R_i = Belastungsreserve des Nebenstroms i [Rf/h]
- L_i = maximale Leistungsfähigkeit des Nebenstroms i [Rf/h]
- q_i = Verkehrsbelastung des Nebenstroms i [Rf/h]

Schritt 6: Mittlere Wartezeit w

Die mittlere Wartezeit ergibt sich analog [VSS 1999/1] aus der maximalen Leistungsfähigkeit L und der Belastungsreserve R gemäss Abb. 6.48.

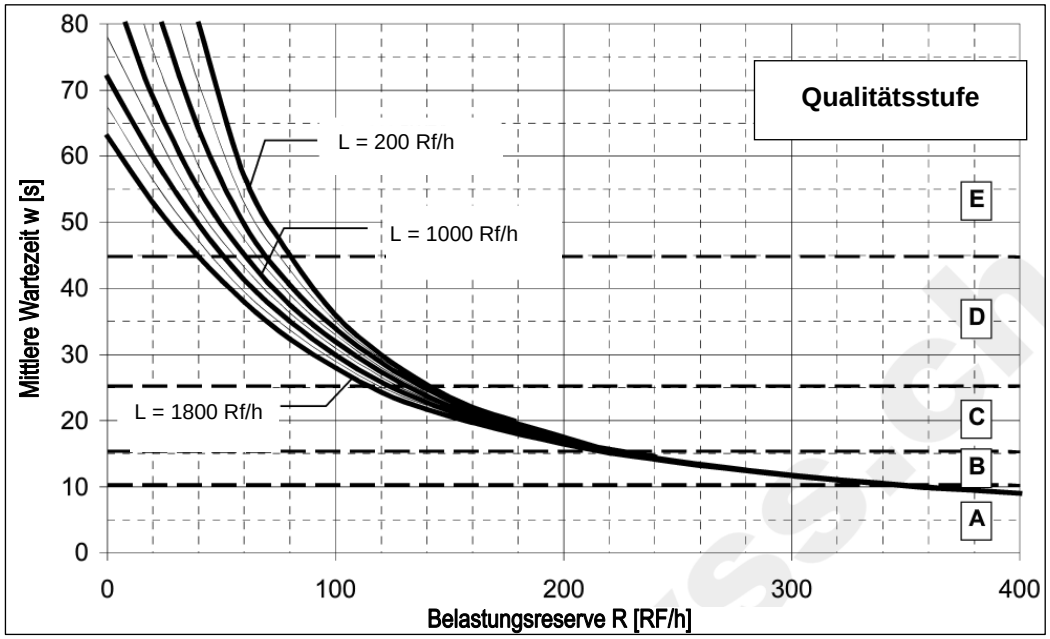


Abb. 6.48: Mittlere Wartezeit in Abhängigkeit von der Belastungsreserve und der Leistungsfähigkeit (unter Verwendung von Abb. 4 in [VSS 1999/1])

Fazit

Das Bemessungsverfahren zur Ermittlung der Wartezeit bei Radwegquerungen ohne LSA richtet sich nach demjenigen wie es für Knoten ohne LSA allgemein verwendet wird. Dieses Vorgehen wird in der Literatur allgemein befürwortet. Zur Vereinfachung wurde eine Situation ohne ab- und einbiegende Radfahrer betrachtet. Die Übertragbarkeit auf eine komplexere Situation sollte problemlos möglich sein.

Eine grosse Unbekannte bei diesem Verfahren sind die Zeitlücken für Radfahrende. Diese konnten im Rahmen der Forschung nicht ermittelt werden und auch in der Literatur sind dazu keine Angaben vorhanden. Wie allgemein vorgeschlagen, werden deshalb die gleichen Grenz- und Folgezeitlücken wie für den Motorfahrzeugverkehr verwendet.

Im Weiteren ist der Einfluss des sich nebeneinander Aufstellens auf die maximale Leistungsfähigkeit unbekannt. In [TRB 2010] wird die nicht weiter begründete Idee eingebracht, für den Radverkehr die Folgezeitlücke zu reduzieren. Demgegenüber wählten wir

einen Ansatz unter Berücksichtigung der Fahrstreifenbreite des Radwegs und des Sättigungsgrads im Warteraum des Radwegs. Dieser empirische Ansatz muss jedoch noch durch Untersuchungen verifiziert werden.

Die Ergebnisse zeigen auf, dass die Verkehrsqualität bei Radwegquerungen ohne LSA durch die Anordnung einer Mittelinsel und durch eine Vergrösserung der Radwegbreite verbessert werden kann.

Wir empfehlen, das oben dargelegte Bemessungsverfahren zu normieren.

6.3.3 Radstreifen

Bemessungsverfahren nach [TRB 2000]

Betrachtet wird jeweils ein Streckenabschnitt von 1 km. Die Anzahl Überholvorgänge pro Stunde wird gemäss Kap. 6.1.3 mit folgender Formel (analog Gl. 10) berechnet:

$$F_{ü} = \frac{2 \cdot q \cdot \sigma}{v \cdot \sqrt{\pi}} \qquad (24)$$

mit

- $F_{ü}$ = Anzahl Überholvorgänge pro Stunde
- q = Verkehrsbelastung Radfahrer in der Spitzenstunde [Rf/h]
- σ = Standardabweichung Geschwindigkeit Radfahrer [km/h]
- v = mittlere Geschwindigkeit Radfahrer [km/h]

Die nachfolgende Tabelle enthält die Anzahl der Begegnungsereignisse bzw. Überholvorgänge für verschiedene Verkehrsbelastungen, Geschwindigkeiten und Standardabweichungen.

Belastung	St.abw.	mittlere Geschwindigkeit [km/h]							
[Rf/h]	[km/h]	12	14	16	18	20	22	24	26
50	4	19 (A)	16 (A)	14 (A)	13 (A)	11 (A)	10 (A)	9 (A)	9 (A)
	5	24 (A)	20 (A)	18 (A)	16 (A)	14 (A)	13 (A)	12 (A)	11 (A)
	6	28 (B)	24 (A)	21 (A)	19 (A)	17 (A)	15 (A)	14 (A)	13 (A)
100	4	38 (B)	32 (B)	28 (B)	25 (A)	23 (A)	21 (A)	19 (A)	17 (A)
	5	47 (B)	40 (B)	35 (B)	31 (B)	28 (B)	26 (B)	24 (A)	22 (A)
	6	56 (C)	48 (B)	42 (B)	38 (B)	34 (B)	31 (B)	28 (B)	26 (B)
200	4	75 (C)	64 (C)	56 (C)	50 (B)	45 (B)	41 (B)	38 (B)	35 (B)
	5	94 (C)	81 (C)	71 (C)	63 (C)	56 (C)	51 (C)	47 (B)	43 (B)
	6	113 (D)	97 (C)	85 (C)	75 (C)	68 (C)	62 (C)	56 (C)	52 (C)
400	4	150 (D)	129 (D)	113 (D)	100 (C)	90 (C)	82 (C)	75 (C)	69 (C)
	5	188 (E)	161 (D)	141 (D)	125 (D)	113 (D)	103 (D)	94 (C)	87 (C)
	6	226 (E)	193 (E)	169 (D)	150 (D)	135 (D)	123 (D)	113 (D)	104 (D)
600	4	226 (E)	193 (E)	169 (D)	150 (D)	135 (D)	123 (D)	113 (D)	104 (D)
	5	282 (F)	242 (E)	212 (E)	188 (E)	169 (D)	154 (D)	141 (D)	130 (D)
	6	339 (F)	290 (F)	254 (F)	226 (E)	203 (E)	185 (E)	169 (D)	156 (D)
800	4	301 (F)	258 (F)	226 (E)	201 (E)	181 (E)	164 (D)	150 (D)	139 (D)
	5	376 (F)	322 (F)	282 (F)	251 (F)	226 (E)	205 (E)	188 (E)	174 (D)
	6	451 (F)	387 (F)	339 (F)	301 (F)	271 (F)	246 (E)	226 (E)	208 (E)
1000	4	376 (F)	322 (F)	282 (F)	251 (F)	226 (E)	205 (E)	188 (E)	174 (D)
	5	470 (F)	403 (F)	353 (F)	313 (F)	282 (F)	256 (F)	235 (E)	217 (E)
	6	564 (F)	484 (F)	423 (F)	376 (F)	339 (F)	308 (F)	282 (F)	260 (F)

Abb. 6.49: Anzahl Überholvorgänge/h und VQS (Buchstabe in Klammern) in Abhängigkeit der Belastung und der Geschwindigkeit von Radfahrenden auf Radstreifen

Ist die Geschwindigkeit unbekannt, empfehlen wir für horizontale Strecken eine Geschwindigkeit von 22 km/h ± 5 km/h zu verwenden (s. Kap. 5.2.3).

Aus der Bemessungsformel bzw. aus Abb. 6.49 ist erkennbar, dass die Anzahl der Überholvorgänge zunimmt bzw. sich die VQS verschlechtert, wenn die mittlere Geschwindigkeit abnimmt und die Standardabweichung zunimmt. Konkret heisst dies z. B., dass in Steigungen wegen der geringeren mittleren Geschwindigkeit die VQ abnimmt (s. Abb. 6.50). Ebenso nimmt die VQ ab, wenn sich auf dem Radstreifen schnelle Velofahrer (z. B. Sportler mit Rennrad oder E-Bikes) und langsamere Velofahrer (ältere Menschen, Familien) mischen, da dann die Standardabweichung zunimmt (s. Abb. 6.51). In solchen Fällen kann zur Erhöhung der VQ z. B. ein strassenbegleitender oder separat geführter Weg für die langsameren Velofahrer (ohne Benutzungspflicht für die Radfahrenden) angelegt werden.

Mit der zu erwartenden Zunahme an E-Bikes nehmen die mittlere Geschwindigkeit und die Standardabweichung zu. In Bezug auf die Verkehrsqualität gleicht sich dies in etwa aus; tendenziell verschlechtert sich die VQS jedoch.

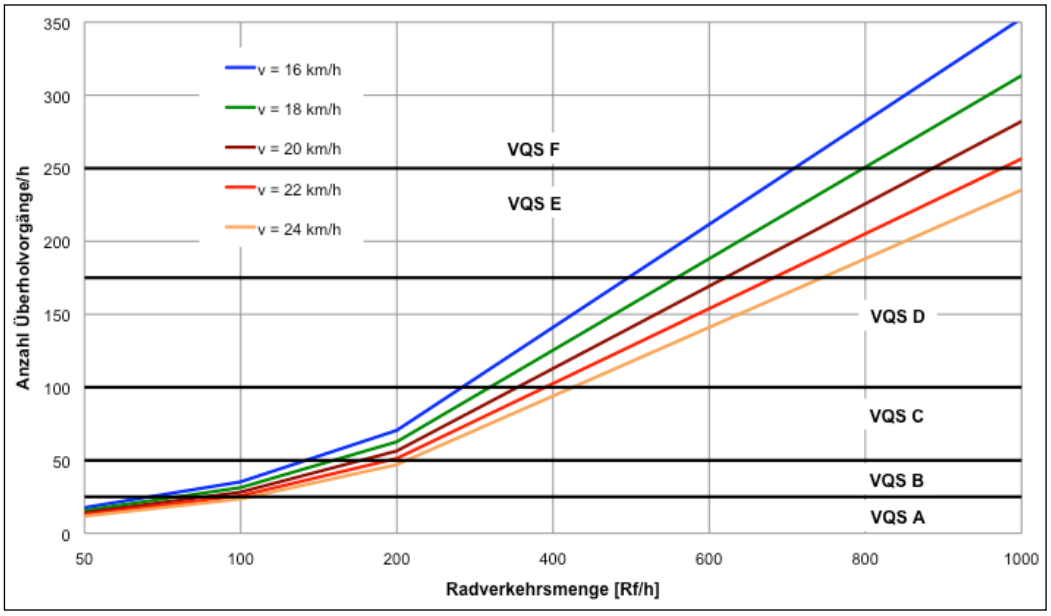


Abb. 6.50: Anzahl Überholvorgänge/h und VQS für Radstreifen mit unterschiedlichen mittleren Geschwindigkeiten und einer Standardabweichung σ = 5 km/h

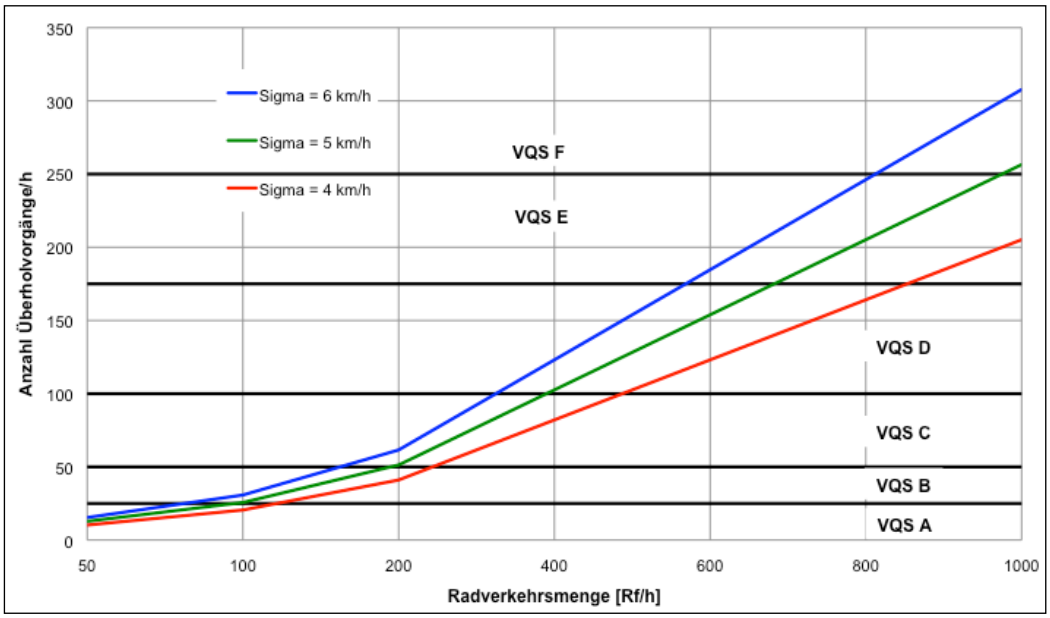


Abb. 6.51: Anzahl Überholvorgänge/h und VQS für Radstreifen mit unterschiedlichen Standardabweichungen Sigma bei einer Geschwindigkeit von 22 km/h

Diese Bemessung setzt grundsätzlich ideale Bedingungen (ohne äussere Einflüsse) voraus und berücksichtigt nicht, ob ein Überholmanöver zu einem Zeitverlust führt. Ein solcher kann auftreten, wenn der voran fahrende Radfahrer nicht überholt werden kann, weil gleichzeitig ein Motorfahrzeug überholt. Ein Zeitverlust ist damit primär von der Fahrbahnbreite sowie der Verkehrsmenge und Geschwindigkeit der Motorfahrzeuge abhängig. Ebenso wird die Beeinflussung der Verkehrsqualität durch sich neben dem Radstreifen befindende Längsparkfelder oder Flächen für den Güterumschlag nicht berücksichtigt.

Diese Einflüsse – Motorfahrzeugmenge, seitliche Nutzungen – führen i.d.R. zu einer reduzierten mittleren Geschwindigkeit und einer höheren Standardabweichung. Wie mit den Abb. 6.50 und Abb. 6.51 gezeigt, führt dies zu einer reduzierten VQS. Bei bestehenden Anlagen sollen deshalb zur Bestimmung der VQS die mittleren Geschwindigkeiten und Standardabweichungen in der Spitzenstunde erhoben werden.

Bemessungsverfahren nach [TRB 2010]

Das Bemessungsverfahren nach [TRB 2010] wird durch eine komplizierte Formel wiedergegeben, deren Variablen von einer Vielzahl von Bedingungen abhängig sind. Die Berechnung erfolgt für die beiden Fahrtrichtungen getrennt. Die massgebenden Parameter sind:

- Anzahl Fahrstreifen in Fahrtrichtung
- Breite des äussersten Fahrstreifens, Radstreifenbreite und Breite des Seitenraums (z. B. Parkierstreifen)
- Anteil belegte Parkplätze
- Verkehrsbelastung Mfz und Anteil Schwerverkehr in Fahrtrichtung
- Geschwindigkeit des Motorfahrzeugverkehrs in Fahrtrichtung
- Belagsqualität

Das Berechnungsverfahren kann in [TRB 2010] in Kapitel 17 nachgeschlagen werden. Die Übertragbarkeit auf Schweizer Verhältnisse konnte nicht geklärt werden und müsste anhand der [TRB 2010] zugrunde liegenden Forschungen überprüft werden.

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die Verkehrsqualität für folgende Situation:

- 2-streifige Strasse mit Fahrstreifenbreiten 3.00 m, 3.50 m, 4.00 m und 4.50 m
- Variante A mit Radstreifen mit Breiten 1.25 m, 1.50 m und 1.75 m
- Variante B ohne Radstreifen
- keine Längsparkierung
- gute Belagsqualität
- Verkehrsbelastung Mfz in Spitzenstunde in Fahrtrichtung 250 Fz/h, 500 Fz/h, 750 Fz/h und 1'000 Fz/h
- Anteil Schwerverkehr 5% und 10%
- mittlere Geschwindigkeit Motorfahrzeuge in Fahrtrichtung 40 km/h und 50 km/h

Variante A mit Radstreifen

Breite Mfz-Streifen [m]	Breite Radstreifen [m]	SVA [%]: 5 V_{Mfz} [km/h]: 40 Mfz-Menge [Mfz/h] 250	500	750	1000
3.00	1.25	2.9 (C)	3.2 (C)	3.4 (C)	3.6 (D)
	1.50	2.5 (B)	2.9 (C)	3.1 (C)	3.2 (C)
	1.75	2.2 (B)	2.6 (B)	2.8 (C)	2.9 (C)
3.50	1.25	2.5 (B)	2.9 (C)	3.1 (C)	3.2 (C)
	1.50	2.2 (B)	2.6 (B)	2.8 (C)	2.9 (C)
	1.75	1.8 (A)	2.2 (B)	2.4 (B)	2.5 (B)
4.00	1.25	2.2 (B)	2.6 (B)	2.8 (C)	2.9 (C)
	1.50	1.8 (A)	2.2 (B)	2.4 (B)	2.5 (B)
	1.75	1.5 (A)	1.8 (A)	2.0 (A)	2.2 (B)

Breite Mfz-Streifen [m]	Breite Radstreifen [m]	SVA [%]: 5 V_{Mfz} [km/h]: 50 Mfz-Menge [Mfz/h] 250	500	750	1000
3.00	1.25	3.3 (C)	3.6 (D)	3.8 (D)	4.0 (D)
	1.50	3.0 (C)	3.3 (C)	3.5 (C)	3.7 (D)
	1.75	2.6 (B)	3.0 (C)	3.2 (C)	3.3 (C)
3.50	1.25	3.0 (C)	3.3 (C)	3.5 (C)	3.7 (D)
	1.50	2.6 (B)	3.0 (C)	3.2 (C)	3.3 (C)
	1.75	2.3 (B)	2.6 (B)	2.8 (C)	3.0 (C)
4.00	1.25	2.6 (B)	3.0 (C)	3.2 (C)	3.3 (C)
	1.50	2.3 (B)	2.6 (B)	2.8 (C)	3.0 (C)
	1.75	1.9 (A)	2.2 (B)	2.4 (B)	2.6 (B)

Breite Mfz-Streifen [m]	Breite Radstreifen [m]	SVA [%]: 10 V_{Mfz} [km/h]: 40 Mfz-Menge [Mfz/h] 250	500	750	1000
3.00	1.25	3.8 (D)	4.2 (D)	4.4 (E)	4.5 (E)
	1.50	3.5 (C)	3.8 (D)	4.1 (D)	4.2 (D)
	1.75	3.2 (C)	3.5 (C)	3.7 (D)	3.9 (D)
3.50	1.25	3.5 (C)	3.8 (D)	4.1 (D)	4.2 (D)
	1.50	3.2 (C)	3.5 (C)	3.7 (D)	3.9 (D)
	1.75	2.8 (C)	3.1 (C)	3.4 (C)	3.5 (C)
4.00	1.25	3.2 (C)	3.5 (C)	3.7 (D)	3.9 (D)
	1.50	2.8 (C)	3.1 (C)	3.4 (C)	3.5 (C)
	1.75	2.4 (B)	2.8 (C)	3.0 (C)	3.1 (C)

Breite Mfz-Streifen [m]	Breite Radstreifen [m]	SVA [%]: 10 V_{Mfz} [km/h]: 50 Mfz-Menge [Mfz/h] 250	500	750	1000
3.00	1.25	4.6 (E)	4.9 (E)	5.1 (F)	5.3 (F)
	1.50	4.3 (E)	4.6 (E)	4.8 (E)	5.0 (E)
	1.75	3.9 (D)	4.3 (E)	4.5 (E)	4.6 (E)
3.50	1.25	4.3 (E)	4.6 (E)	4.8 (E)	5.0 (E)
	1.50	3.9 (D)	4.3 (E)	4.5 (E)	4.6 (E)
	1.75	3.6 (D)	3.9 (D)	4.1 (D)	4.3 (E)
4.00	1.25	3.9 (D)	4.3 (E)	4.5 (E)	4.6 (E)
	1.50	3.6 (D)	3.9 (D)	4.1 (D)	4.3 (E)
	1.75	3.2 (C)	3.5 (C)	3.7 (D)	3.9 (D)

Abb. 6.52: VQS-Punkte und VQS (Buchstabe in Klammern) für verschiedene Verkehrssituationen von Innerortsstrassen mit Radstreifen gemäss [TRB 2010]

Die Veränderung der verschiedenen Einflussgrössen auf die VQS nach [TRB 2010] wirken sich für Strassen mit Radstreifen wie folgt aus:

- Die Verbreiterung des Mfz-Streifens um 0.50 m reduziert die VQS-Punkte um 0.3 bis 0.4, was einer Verbesserung um etwa eine halbe VQ-Stufe (1 VQS = 0.75 VQS-Punkte) entspricht.
- Die gleiche Verbesserung wird mit einer Verbreiterung des Radstreifens um 0.25 m erreicht.
- Eine Verdoppelung der Motorfahrzeugmenge erhöht die VQS-Punkte um 0.3 bis 0.4 und führt somit zu einer Verschlechterung um eine halbe VQ-Stufe.
- Eine Erhöhung des Schwerverkehrsanteils von 5% auf 10% erhöht die VQS-Punkte um 0.9 (bei 40 km/h) bis 1.3 (bei 50 km/h), reduziert die VQ also um gut 1 bis fast 2 Stufen.
- Mit der Erhöhung der Geschwindigkeit von 40 km/h auf 50 km/h werden die VQS-Punkte um 0.4 (bei 5% SVA) bis 0.8 (bei 10% SVA) erhöht, was einer Verschlechterung um eine halbe bis 1 VQ-Stufe entspricht.

Mit dem gleichen Verfahren lässt sich auch die VQ für Radfahrende auf einer Strasse ohne Radstreifen (Breite = 0 m) berechnen:

Variante B ohne Radstreifen

Breite Mfz-Streifen	Breite Radstreifen	SVA [%]:	5	V_{Mfz} [km/h]:	40
		Mfz-Menge [Mfz/h]			
[m]	[m]	250	500	750	1000
3.00	0.00	4.0 (D)	4.3 (E)	4.6 (E)	4.7 (E)
3.50	0.00	3.8 (D)	4.2 (D)	4.4 (E)	4.5 (E)
4.00	0.00	3.6 (D)	4.0 (D)	4.2 (D)	4.3 (E)
4.50	0.00	3.4 (C)	3.7 (D)	3.9 (D)	4.1 (D)

Breite Mfz-Streifen	Breite Radstreifen	SVA [%]:	5	V_{Mfz} [km/h]:	50
		Mfz-Menge [Mfz/h]			
[m]	[m]	250	500	750	1000
3.00	0.00	4.4 (E)	4.8 (E)	5.0 (E)	5.1 (F)
3.50	0.00	4.2 (D)	4.6 (E)	4.8 (E)	5.0 (E)
4.00	0.00	4.0 (D)	4.4 (E)	4.6 (E)	4.7 (E)
4.50	0.00	3.8 (D)	4.2 (D)	4.4 (E)	4.5 (E)

Breite Mfz-Streifen	Breite Radstreifen	SVA [%]:	10	V_{Mfz} [km/h]:	40
		Mfz-Menge [Mfz/h]			
[m]	[m]	250	500	750	1000
3.00	0.00	4.9 (E)	5.3 (F)	5.5 (F)	5.8 (F)
3.50	0.00	4.8 (E)	5.1 (F)	5.3 (F)	5.5 (F)
4.00	0.00	4.6 (E)	4.9 (E)	5.1 (F)	5.3 (F)
4.50	0.00	4.3 (E)	4.7 (E)	4.9 (E)	5.0 (E)

Breite Mfz-Streifen	Breite Radstreifen	SVA [%]:	10	V_{Mfz} [km/h]:	50
		Mfz-Menge [Mfz/h]			
[m]	[m]	250	500	750	1000
3.00	0.00	5.7 (F)	6.1 (F)	6.3 (F)	6.4 (F)
3.50	0.00	5.5 (F)	5.9 (F)	6.1 (F)	6.2 (F)
4.00	0.00	5.3 (F)	5.7 (F)	5.9 (F)	6.0 (F)
4.50	0.00	5.1 (F)	5.5 (F)	5.7 (F)	5.8 (F)

Abb. 6.53: VQS-Punkte und VQS (Buchstabe in Klammern) für verschiedene Verkehrssituationen von Innerortsstrassen ohne Radstreifen gemäss [TRB 2010]

Bei einer Gesamtfahrstreifenbreite von 4.50 m (vgl. Abb. 6.53) reduzieren sich durch das Markieren eines Radstreifens (3.00 m + 1.50 m gemäss Abb. 6.52) die VQS-Punkte um 0.8 bis 0.9. Mit der Markierung eines Radsteifens bei unveränderter Gesamtbreite verbessert sich damit die VQ um etwa eine Stufe. Die Veränderung der übrigen Einflussgrössen auf die VQS nach [TRB 2010] wirken sich für Strassen ohne Radstreifen in etwa gleich aus, wie für Strassen mit Radstreifen.

Vergleich [TRB 2000] und [TRB 2010]

Das Bemessungsverfahren gemäss [TRB 2000] erlaubt, den Zusammenhang zwischen Radverkehrsbelastung und Verkehrsqualität herzustellen. Ebenso sind die Auswirkungen der mittleren Geschwindigkeit und der zugehörigen Standardabweichung auf die VQS ersichtlich. Hingegen erlaubt das Verfahren keine quantitativen Aussagen zur Geometrie der Anlage und zu den Verkehrsbelastungen und Geschwindigkeiten des Motorfahrzeugverkehrs. Man kann davon ausgehen, dass die Geschwindigkeit der Radfahrenden und damit die VQ abnimmt, wenn

- die Breite des Radstreifens und des benachbarten Fahrstreifens abnehmen (Überholen wird schwieriger),
- die Verkehrsbelastung zunimmt (Überholen wird schwieriger),
- eine Längsparkierung neben dem Radstreifen angeordnet ist (Parkiermanöver führen zu Störungen).

Interessant wäre es, den Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit und den oben genannten Parametern zu quantifizieren.

Demgegenüber erlaubt das Verfahren nach [TRB 2010] genau diesen quantitativen Zusammenhang herzustellen zwischen VQ einerseits und Verkehrsbelastung, Verkehrszusammensetzung, Geschwindigkeit, Art und Anzahl der Fahr- und Parkierstreifen, Parkplatzbelegung und Belagsqualität anderseits. Gemäss [TRB 2010] hat das Radverkehrsaufkommen keinen wesentlichen Einfluss auf die Verkehrsqualität. Allerdings ist nochmals festzuhalten, dass die Methode in [TRB 2010] grundsätzlich für die Ermittlung einer multimodalen VQS bestimmt ist.

6.3.4 Radweg

Das nachfolgende Bemessungsverfahren kann angewendet werden für folgende Anlagentypen:

- Strassenbegleitender Radweg
- Unabhängig geführter Radweg
- Rad- und Fussweg mit getrennten Verkehrsflächen (für den Radwegteil)

Die Berechnung der Anzahl Begegnungsereignisse F erfolgt getrennt für beide Fahrtrichtungen und jeweils für eine Strecke von 1 km. F berechnet sich gemäss Kap. 6.1.3 aus der Anzahl Überholvorgänge $F_{ü}$ und der Anzahl Begegnungsvorgänge F_b. Die dazu notwendigen Formeln sind nachfolgend nochmals wiedergegeben:

$$F_{\ddot{u}} = \frac{2 \cdot q_R \cdot \sigma_R}{v_R \cdot \sqrt{\pi}} \qquad (25)$$

mit

- $F_{ü}$ = Anzahl Überholvorgänge pro Stunde
- q_R = Verkehrsbelastung Radfahrer in Beurteilungs-Richtung in der Spitzenstunde [Rf/h]
- σ_R = Standardabweichung Geschwindigkeit Radfahrer in Beurteilungs-Richtung [km/h]
- v_R = mittlere Geschwindigkeit Radfahrer in Beurteilungs-Richtung [km/h]

Bei einem Einrichtungs-Radweg ist die Anzahl der Begegnungsereignisse F identisch mit der Anzahl der Überholvorgänge $F_{ü}$. Der Bemessungsvorgang ist damit identisch mit demjenigen für Radstreifen.

Bei 2-Richtungsradwegen beträgt die Anzahl der Begegnungsvorgänge mit in Gegenrichtung fahrenden Radfahrern:

$$F_{\mathrm{b}} = q_G \cdot \left(1 + \frac{v_R}{v_G}\right) \qquad (26)$$

mit

- F_b = Anzahl Begegnungsvorgänge pro Stunde
- q_G = Verkehrsbelastung Radfahrer in Gegenrichtung in der Spitzenstunde [Rf/h]
- v_R = mittlere Geschwindigkeit Radfahrer in Beurteilungs-Richtung [km/h]
- v_G = mittlere Geschwindigkeit Radfahrer in Gegenrichtung [km/h]

Für Radwege ohne Längsneigung kann v_R und v_G gleichgesetzt werden, womit sich die Formel vereinfacht:

$$F_{\mathrm{b}} = 2 \cdot q_G \qquad (27)$$

mit

- F_b = Anzahl Begegnungsvorgänge pro Stunde
- q_G = Verkehrsbelastung Radfahrer in Gegenrichtung in der Spitzenstunde [Rf/h]

Für die Begegnungsvorgänge wird in [TRB 2000] ein Gewichtungsfaktor von 0.5 eingeführt. Das Total der Begegnungsereignisse/h ergibt sich damit für horizontale Radwege nach folgender Formel:

$$F = F_{\ddot{u}} + 0.5 \cdot F_b = \frac{2 \cdot q_R \cdot \sigma_R}{v_R \cdot \sqrt{\pi}} + q_G \qquad (28)$$

mit den oben angegeben Definitionen.

In den folgenden Abbildungen sind für horizontal verlaufende Zweirichtungs-Radwege mit einer Breite von 3.00 m die Anzahl der Begegnungsereignisse und die VQS dargestellt.

Belastung	St.abw.	mittlere Geschwindigkeit [km/h]							
[Rf/h]	[km/h]	12	14	16	18	20	22	24	26
100	4	69 (A)	66 (A)	64 (A)	63 (A)	61 (A)	60 (A)	59 (A)	59 (A)
	5	74 (A)	70 (A)	68 (A)	66 (A)	64 (A)	63 (A)	62 (A)	61 (A)
	6	78 (A)	74 (A)	71 (A)	69 (A)	67 (A)	65 (A)	64 (A)	63 (A)
200	4	138 (B)	132 (B)	128 (B)	125 (B)	123 (B)	121 (B)	119 (B)	117 (B)
	5	147 (C)	140 (B)	135 (B)	131 (B)	128 (B)	126 (B)	124 (B)	122 (B)
	6	156 (C)	148 (C)	142 (C)	138 (B)	134 (B)	131 (B)	128 (B)	126 (B)
400	4	275 (D)	264 (D)	256 (D)	250 (D)	245 (D)	241 (D)	238 (D)	235 (D)
	5	294 (D)	281 (D)	271 (D)	263 (D)	256 (D)	251 (D)	247 (D)	243 (D)
	6	313 (D)	297 (D)	285 (D)	275 (D)	268 (D)	262 (D)	256 (D)	252 (D)
600	4	413 (E)	397 (E)	385 (E)	375 (E)	368 (E)	362 (E)	356 (E)	352 (E)
	5	441 (E)	421 (E)	406 (E)	394 (E)	385 (E)	377 (E)	371 (E)	365 (E)
	6	469 (F)	445 (E)	427 (E)	413 (E)	402 (E)	392 (E)	385 (E)	378 (E)
800	4	550 (F)	529 (F)	513 (F)	500 (F)	490 (F)	482 (F)	475 (F)	469 (F)
	5	588 (F)	561 (F)	541 (F)	525 (F)	513 (F)	503 (F)	494 (F)	487 (F)
	6	626 (F)	593 (F)	569 (F)	550 (F)	535 (F)	523 (F)	513 (F)	504 (F)
1000	4	688 (F)	661 (F)	641 (F)	625 (F)	613 (F)	603 (F)	594 (F)	587 (F)
	5	735 (F)	701 (F)	676 (F)	657 (F)	641 (F)	628 (F)	618 (F)	608 (F)
	6	782 (F)	742 (F)	712 (F)	688 (F)	669 (F)	654 (F)	641 (F)	630 (F)

*Abb. 6.54: Anzahl Begegnungsereignisse/h und VQS für horizontale 2-Richtungs-Radwege mit einer Breite von 3.00 m und einem Verhältnis der **Richtungsanteile von 50:50** in Abhängigkeit der Radverkehrsbelastung (Angabe = Summe beider Richtungen), mittleren Geschwindigkeit und Standardabweichung nach [TRB 2000]*

Belastung	St.abw.	mittlere Geschwindigkeit [km/h]							
[Rf/h]	[km/h]	12	14	16	18	20	22	24	26
100	4	50 (A)	46 (A)	43 (A)	40 (A)	38 (A)	36 (A)	35 (A)	34 (A)
	5	58 (A)	52 (A)	48 (A)	45 (A)	43 (A)	41 (A)	39 (A)	37 (A)
	6	65 (A)	59 (A)	54 (A)	50 (A)	47 (A)	45 (A)	43 (A)	41 (A)
200	4	100 (B)	92 (B)	85 (A)	80 (A)	76 (A)	73 (A)	70 (A)	68 (A)
	5	115 (B)	104 (B)	96 (B)	90 (A)	85 (A)	81 (A)	78 (A)	75 (A)
	6	130 (B)	117 (B)	108 (B)	100 (B)	94 (B)	89 (A)	85 (A)	82 (A)
400	4	200 (C)	183 (C)	170 (C)	160 (C)	152 (C)	146 (C)	140 (B)	136 (B)
	5	230 (D)	209 (C)	193 (C)	180 (C)	170 (C)	162 (C)	155 (C)	149 (C)
	6	261 (D)	235 (D)	215 (C)	200 (C)	188 (C)	178 (C)	170 (C)	163 (C)
600	4	301 (D)	275 (D)	255 (D)	240 (D)	228 (D)	218 (C)	210 (C)	203 (C)
	5	346 (E)	313 (D)	289 (D)	270 (D)	255 (D)	243 (D)	233 (D)	224 (C)
	6	391 (E)	352 (E)	323 (D)	301 (D)	282 (D)	268 (D)	255 (D)	245 (D)
800	4	401 (E)	366 (E)	341 (E)	320 (D)	304 (D)	291 (D)	280 (D)	271 (D)
	5	461 (F)	418 (E)	386 (E)	361 (E)	341 (E)	324 (D)	310 (D)	299 (D)
	6	521 (F)	469 (F)	431 (E)	401 (E)	377 (E)	357 (E)	341 (E)	327 (D)
1000	4	501 (F)	458 (F)	426 (E)	401 (E)	381 (E)	364 (E)	350 (E)	339 (D)
	5	576 (F)	522 (F)	482 (F)	451 (F)	426 (E)	405 (E)	388 (E)	374 (E)
	6	651 (F)	587 (F)	539 (F)	501 (F)	471 (F)	446 (E)	426 (E)	408 (E)

*Abb. 6.55: Anzahl Begegnungsereignisse/h und VQS für horizontale 2-Richtungs-Radwege mit einer Breite von 3.00 m und einem **Richtungsanteil in Betrachtungsrichtung von 80%** in Abhängigkeit der Radverkehrsbelastung (Angabe = Summe beider Richtungen), mittleren Geschwindigkeit und Standardabweichung nach [TRB 2000]*

Belastung	St.abw.	mittlere Geschwindigkeit [km/h]							
[Rf/h]	[km/h]	12	14	16	18	20	22	24	26
100	4	88 (A)	86 (A)	86 (A)	85 (A)	85 (A)	84 (A)	84 (A)	83 (A)
	5	89 (A)	88 (A)	87 (A)	86 (A)	86 (A)	85 (A)	85 (A)	84 (A)
	6	91 (B)	90 (A)	88 (A)	88 (A)	87 (A)	86 (A)	86 (A)	85 (A)
200	4	175 (C)	173 (C)	171 (C)	170 (C)	169 (C)	168 (C)	168 (C)	167 (C)
	5	179 (C)	176 (C)	174 (C)	173 (C)	171 (C)	170 (C)	169 (C)	169 (C)
	6	183 (C)	179 (C)	177 (C)	175 (C)	174 (C)	172 (C)	171 (C)	170 (C)
400	4	350 (E)	346 (E)	343 (E)	340 (D)	338 (D)	336 (D)	335 (D)	334 (D)
	5	358 (E)	352 (E)	348 (E)	345 (E)	343 (E)	341 (E)	339 (D)	337 (D)
	6	365 (E)	359 (E)	354 (E)	350 (E)	347 (E)	345 (E)	343 (E)	341 (E)
600	4	525 (F)	519 (F)	514 (F)	510 (F)	507 (F)	505 (F)	503 (F)	501 (F)
	5	536 (F)	528 (F)	522 (F)	518 (F)	514 (F)	511 (F)	508 (F)	506 (F)
	6	548 (F)	538 (F)	531 (F)	525 (F)	521 (F)	517 (F)	514 (F)	511 (F)
800	4	700 (F)	692 (F)	685 (F)	680 (F)	676 (F)	673 (F)	670 (F)	668 (F)
	5	715 (F)	704 (F)	696 (F)	690 (F)	685 (F)	681 (F)	678 (F)	675 (F)
	6	730 (F)	717 (F)	708 (F)	700 (F)	694 (F)	689 (F)	685 (F)	682 (F)
1000	4	875 (F)	864 (F)	856 (F)	850 (F)	845 (F)	841 (F)	838 (F)	835 (F)
	5	894 (F)	881 (F)	871 (F)	863 (F)	856 (F)	851 (F)	847 (F)	843 (F)
	6	913 (F)	897 (F)	885 (F)	875 (F)	868 (F)	862 (F)	856 (F)	852 (F)

*Abb. 6.56: Anzahl Begegnungsereignisse/h und VQS für horizontale 2-Richtungs-Radwege mit einer Breite von 3.00 m und einem **Richtungsanteil in Betrachtungsrichtung von 20%** in Abhängigkeit der Radverkehrsbelastung (Angabe = Summe beider Richtungen), mittleren Geschwindigkeit und Standardabweichung nach [TRB 2000]*

Der Einfluss der Verteilung der Radverkehrsmenge auf die beiden Fahrtrichtungen ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

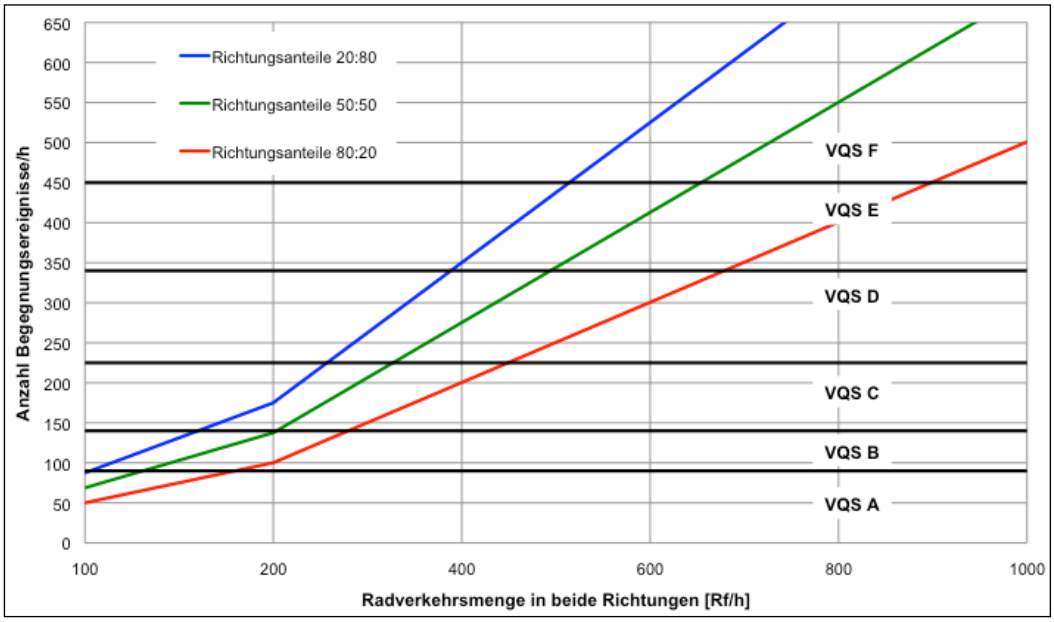


Abb. 6.57: Anzahl Begegnungsereignisse/h und VQS für horizontale 2-Richtungs-Radwege mit einer Breite von 3.00 m, bei einer Geschwindigkeit von 18 km/h und einer Standardabweichung vom 6 km/h, bei unterschiedlichen Richtungsanteilen (erste Zahl = Anteil in Betrachtungsrichtung) nach [TRB 2000]

Aus der Abb. 6.57 ist erkennbar, dass für die Beurteilung der Verkehrsqualität von Radwegen mit unterschiedlichen Richtungsanteilen die Qualität der Richtung mit dem geringeren Anteil massgebend ist.

6.3.5 Gemeinsamer Rad- und Fussweg

Die Bemessung der Verkehrsqualitätsstufe erfolgt in diesem Kapitel lediglich für den Radverkehr. Die Verkehrsqualität für den Fussverkehr kann von derjenigen des Radverkehrs bei gleicher Anlage und Verkehrssituation abweichen.

Die nachfolgenden Aussagen beziehen sich wiederum auf eine Strecke von 1 km, jedoch nur auf den Anlagentyp des gemeinsamen Rad- und Fussweges. Bei einem Rad- und Fussweg mit getrennten Verkehrsflächen wird die VQS für den Radverkehr gleich wie bei einem eigenständigen Radweg gemäss Kap. 6.3.4 bemessen.

Die Anzahl der Begegnungsereignisse als Mass für die Behinderung des Radverkehrs auf Rad- und Fusswegen ergibt sich aus folgenden Vorgängen:

- Radfahrer überholt Fussgänger $F_{üFg}$
- Radfahrer überholt Radfahrer $F_{üRf}$
- Radfahrer begegnet Fussgänger in Gegenrichtung F_{bFg}
- Radfahrer begegnet Radfahrer in Gegenrichtung F_{bRf}

Wie beim Radweg ist das Bemessungsverfahren für beide Fahrtrichtungen getrennt durchzuführen. Gemäss [Botma 1995] berechnen sich die Anzahl der Vorgänge mit folgenden Formeln:

$$F_{\text{üFg}} = q_{RFg} \cdot \left(\frac{v_{RRf}}{v_{RFg}} - 1\right) \qquad (29)$$

mit

- $F_{üFg}$ = Anzahl Überholvorgänge von Fussgängern pro Stunde
- q_{Rfg} = Verkehrsbelastung Fussgänger in Beurteilungs-Richtung in der Spitzenstunde [Rf/h]
- v_{RRf} = mittlere Geschwindigkeit Radfahrer in Beurteilungs-Richtung [km/h]
- v_{Rfg} = mittlere Geschwindigkeit Fussgänger in Beurteilungs-Richtung [km/h]

$$F_{\text{üRf}} = \frac{2 \cdot q_{RRf} \cdot \sigma_{RRf}}{v_{RRf} \cdot \sqrt{\pi}} \qquad (30)$$

mit

- $F_{üRf}$ = Anzahl Überholvorgänge von Radfahrern pro Stunde
- q_{RRf} = Verkehrsbelastung Radfahrer in Beurteilungs-Richtung in der Spitzenstunde [Rf/h]
- σ_{RRf} = Standardabweichung Geschwindigkeit Radfahrer in Beurteilungs-Richtung [km/h]
- v_{RRf} = mittlere Geschwindigkeit Radfahrer in Beurteilungs-Richtung [km/h]

$$F_{\mathrm{bFg}} = q_{GFg} \cdot \left(1 + \frac{v_{RRf}}{v_{GFg}}\right) \quad (31)$$

mit

- F_{bFg} = Anzahl Begegnungsvorgänge mit Fussgängern pro Stunde
- q_{GFg} = Verkehrsbelastung Fussgänger in Gegenrichtung in der Spitzenstunde [Rf/h]
- v_{RRf} = mittlere Geschwindigkeit Radfahrer in Beurteilungs-Richtung [km/h]
- v_{GFg} = mittlere Geschwindigkeit Fussgänger in Gegenrichtung [km/h]

$$F_{\mathrm{bRf}} = q_{GRf} \cdot \left(1 + \frac{v_{RRf}}{v_{GRf}}\right) \quad (32)$$

mit

- F_{bRf} = Anzahl Begegnungsvorgänge mit Radfahrern pro Stunde
- q_{GRf} = Verkehrsbelastung Radfahrer in Gegenrichtung in der Spitzenstunde [Rf/h]
- v_{RRf} = mittlere Geschwindigkeit Radfahrer in Beurteilungs-Richtung [km/h]
- v_{GRf} = mittlere Geschwindigkeit Radfahrer in Gegenrichtung [km/h]

Für Rad- und Fusswege ohne Längsneigung kann v_R und v_G gleichgesetzt werden, womit sich die Formel vereinfacht:

$$F_{\mathrm{bRf}} = 2 \cdot q_{GRf} \quad (33)$$

mit

- F_{bRf} = Anzahl Begegnungsvorgänge mit Radfahrern pro Stunde
- q_{GRf} = Verkehrsbelastung Radfahrer in Gegenrichtung in der Spitzenstunde [Rf/h]

Für gemeinsame Rad- und Fusswege im Einrichtungsbetrieb kann F_{bRf} in den nachfolgenden Gleichungen weggelassen werden.

Für die Begegnungsvorgänge wird in [TRB 2000] wie bei den Radwegen ein Gewichtungsfaktor von 0.5 eingeführt. Das Total der Begegnungsereignisse ergibt sich damit nach folgender Formel:

$$F = F_{\ddot{\mathrm{u}}} + 0.5 \cdot F_b = F_{\ddot{\mathrm{u}}Fg} + F_{\ddot{\mathrm{u}}Rf} + 0.5 \cdot (F_{bFg} + F_{bRf}) \quad (34)$$

bzw.

$$F = q_{RFg} \cdot \left(\frac{v_{RRf}}{v_{RFg}} - 1\right) + \frac{2 \cdot q_{RRf} \cdot \sigma_{RRf}}{v_{RRf} \cdot \sqrt{\pi}} + 0.5 \cdot q_{GFg} \cdot \left(1 + \frac{v_{RRf}}{v_{GFg}}\right) + 0.5 \cdot q_{GRf} \cdot \left(1 + \frac{v_{RRf}}{v_{GRf}}\right) \quad (35)$$

mit den oben angegeben Definitionen.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Anzahl der Begegnungsereignisse und die VQS (Buchstabe in Klammern) für folgende Anlage und Verkehrssituation:

- 2-Richtungs-Rad- und Fussweg, ohne Längsneigung
- Breite 3.00 m
- Geschwindigkeit Radfahrer 18 ± 6 km/h
- Geschwindigkeit Fussgänger 4 km/h
- Belastungsangaben für beide Richtungen, Richtungsanteile 50:50

Belastung Rf	Belastung Fg [Fg/h]						
[Rf/h]	0	20	40	60	80	100	120
0	0 (A)	63 (A)	125 (B)	188 (C)	250 (D)	313 (D)	375 (E)
50	34 (A)	97 (B)	159 (C)	222 (C)	284 (D)	347 (E)	409 (E)
100	69 (A)	131 (B)	194 (C)	256 (D)	319 (D)	381 (E)	444 (E)
150	103 (B)	166 (C)	228 (D)	291 (D)	353 (E)	416 (E)	478 (F)
200	138 (B)	200 (C)	263 (D)	325 (D)	388 (E)	450 (E)	513 (F)
250	172 (C)	235 (D)	297 (D)	360 (E)	422 (E)	485 (F)	547 (F)
300	206 (C)	269 (D)	331 (D)	394 (E)	456 (F)	519 (F)	581 (F)
350	241 (D)	303 (D)	366 (E)	428 (E)	491 (F)	553 (F)	616 (F)
400	275 (D)	338 (D)	400 (E)	463 (F)	525 (F)	588 (F)	650 (F)
450	310 (D)	372 (E)	435 (E)	497 (F)	560 (F)	622 (F)	685 (F)
500	344 (E)	407 (E)	469 (F)	532 (F)	594 (F)	657 (F)	719 (F)
550	378 (E)	441 (E)	503 (F)	566 (F)	628 (F)	691 (F)	753 (F)
600	413 (E)	475 (F)	538 (F)	600 (F)	663 (F)	725 (F)	788 (F)

Abb. 6.58: Anzahl Begegnungsereignisse/h und VQS für horizontale 2-Richtungs-Rad- und Fusswege mit einer Breite von 3.00 m, einer Geschwindigkeit der Radfahrer von 18 ± 6 km/h, einer Geschwindigkeit der Fussgänger von 4 km/h und einem Verhältnis der Richtungsanteile von 50:50

Für die gleichen Randbedingungen wie oben formuliert kann die VQS auch aus nachfolgendem Diagramm abgelesen werden.

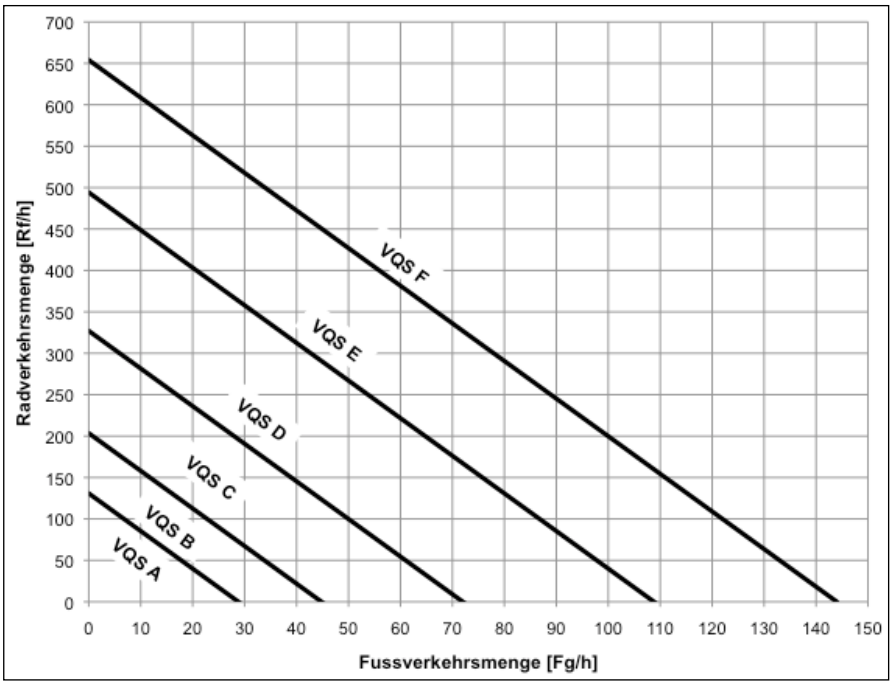


Abb. 6.59: VQS für horizontale 2-Richtungs-Rad- und Fusswege mit einer Breite von 3.00 m, einer Geschwindigkeit der Radfahrer von 18 ± 6 km/h, einer Geschwindigkeit der Fussgänger von 4 km/h und einem Verhältnis der Richtungsanteile von 50:50 für unterschiedliche Rad- und Fussverkehrsmengen

Aus der Abbildung ist erkennbar, dass die Zahl der Fussgänger einen deutlich stärkeren Einfluss auf die VQ der Radfahrer hat als die Radverkehrsmenge. Dies ist in der Praxis einfach feststellbar: Bereits eine kleine Anzahl von Fussgängern führt aufgrund des „spontanen" Gehverlaufs bereits zu erheblichen Störungen für den Veloverkehr. Die Grenzen der VQS gemäss Abb. 6.59 und den dort definierten Randbedingungen können vereinfacht mit folgender Funktion beschrieben werden:

$$q_{Rf} \leq -4.5 \cdot q_{Fg} + a \qquad (36)$$

mit

- q_{Rf} = max. Verkehrsbelastung Radfahrer für bestimmte VQS [Rf/h]
- q_{Fg} = Verkehrsbelastung Fussgänger [Rf/h]
- a = 125 für VQS A
  = 200 für VQS B
  = 325 für VQS C
  = 500 für VQS D
  = 650 für VQS E

Für gemeinsame Zweirichtungs-Rad- und Fusswege ist eine Breite von 3.00 m als Minimalwert anzusehen (s. Kap. 2.3.2). Die je VQS zulässigen Begegnungsereignisse für Breiten von 3.50 m oder 4.00 m sind nicht bekannt. Gemäss [Botma 1995] (s. Kap. 6.1.3) beträgt der zulässige Wert bei einem 2-Richtungs-Radweg von 3.00 m gegenüber einem solchen von 2.40 m rund das Doppelte. Es darf daraus abgeleitet werden, dass sich die zulässige Zahl der Begegnungsereignisse bei einer Verbreiterung des gemeinsamen Rad- und Fussweges von 3.00 m auf 4.00 m ebenfalls um einen Faktor von 1.5 bis 2.0 vergrössert.

6.4 Qualitätsanforderungen

6.4.1 Übersicht

In [ASTRA 2008] sind die folgenden neun Qualitätsanforderungen an Velorouten definiert (s. auch Kapitel 3.4.1):

- Fahrfluss
- Umfeldqualität
- Oberfläche
- Verkehrsregime und -belastung
- Homogenität
- Gefahrenstellen
- Sicherheitsempfinden
- Direktheit
- Erschliessung

Diese Anforderungen erlauben z. B. einen Vergleich von verschiedenen Varianten für mögliche Velorouten. Sie sind also grundsätzlich nicht vorgesehen für die Bewertung von einzelnen Radverkehrsanlagen. Allerdings sind für Radfahrer neben der belastungsabhängigen Verkehrsqualität gemäss Kapitel 6.1 bis 6.3 auch andere, nicht belastungsabhängige Anforderungen für die Verkehrsqualität einzelner Teilabschnitte einer Veloroute von Bedeutung.

Die Verkehrsbelastung und die Oberfläche sind als Einflussgrössen bei den Bemessungsverfahren (s. Kapitel 6.3) bereits berücksichtigt. Die meisten übrigen Anforderungen wie z. B. die Homogenität oder die Direktheit beziehen sich auf Routen oder ganze Netze und können für eine einzelne Anlage nicht berücksichtigt werden. Dies ist jedoch für die Anforderungen „Umfeldqualität“ und „Sicherheitsempfinden“ möglich.

6.4.2 Umfeldqualität

Die Umfeldqualität wird in [ASTRA 2008] in folgende Qualitätsstufen eingeteilt:

- Gut: Sehr attraktive, abwechslungsreiche Umgebung
- Genügend: Attraktive Umgebung
- Ungenügend: Unattraktive Umgebung
- Schlecht: Sehr unattraktive, monotone Umgebung

Die Umfeldqualität kann mit Hilfe der Tab. 6.31 bestimmt werden:

Tab. 6.31: Umfeldqualität in Anlehnung an [ASTRA 2008]

Positiver Einfluss	**Negativer Einfluss**
Geringe Verkehrsbelastung Mfz, Ruhe	Hohe Verkehrsbelastung Mfz
Intakte Naturlandschaft, Nähe zu Gewässern, intakter Siedlungsbereich	Unwirtliche, wenig einladende Siedlungsstruktur (Industrie-/Gewerbezone)
Abwechslungsreicher Strassenraum und Umgebung	Monotoner, gleichförmiger Strassenraum

Die Umfeldqualität soll zur Beurteilung von Radstreifen, Radwegen sowie Rad- und Fusswegen berücksichtigt werden. Dies gilt insbesondere für Freizeitrouten.

6.4.3 Sicherheitsempfinden

Orte, die Angst vor Belästigungen oder Überfällen auslösen, beeinträchtigen das Sicherheitsempfinden. Dieses wird in [ASTRA 2008] in folgende Qualitätsstufen eingeteilt:

- Gut: Keine problematischen Stellen
- Genügend: 1 problematische, lösbare Stelle
- Ungenügend: 1 problematische, nicht lösbare Stelle
- Schlecht: Mehr als 1 problematische, nicht lösbare Stelle

Das Sicherheitsempfinden kann mit Hilfe der Tab. 6.32 bestimmt werden:

Tab. 6.32: Sicherheitsempfinden in Anlehnung an [ASTRA 2008]

Positiver Einfluss	**Negativer Einfluss**
Soziale Kontrolle, Belebtheit	Fehlende soziale Kontrolle (z. B. Industriegebiet, Wald)
Einsehbarkeit in die Anlage	Dunkle, enge oder lange Unterführung
Beleuchtung	Fehlende Beleuchtung

Das Sicherheitsempfinden soll zur Beurteilung aller in diesem Bericht behandelten Anlagen berücksichtigt werden. Dies gilt für Alltags- wie auch für Freizeitrouten.

7 Kommentierter Normierungsvorschlag

7.1 Einleitung

In diesem Kapitel werden die aus den vorhergehenden Kapiteln gewonnenen Erkenntnisse aus Literatur, Felduntersuchung und Expertenwissen zu den einzelnen Radverkehrsanlagen für die Normierung zusammengeführt. Der Aufbau entspricht jenem des Normierungsvorschlages und orientiert sich soweit als möglich an den vorhandenen Leistungsfähigkeitsnormen der VSS. Der Normierungsvorschlag „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit – Anlagen für den leichten Zweiradverkehr“ in der normgemässen Formatierung befindet sich im Anhang II zu diesem Bericht. Zur besseren späteren Nachvollziehbarkeit sind den Normtexten erläuternde Kommentare nachgestellt, die auf die Herkunft der verwendeten Formeln und Richtwerte eingehen sowie allfällige Annahmen begründen.

7.2 Allgemeines

7.2.1 Geltungsbereich

Diese Norm gilt für folgende Anlagen des leichten Zweiradverkehrs:

- Radstreifen
- Radwege
- Rad- und Fusswege
- Warteräume für den leichten Zweiradverkehr
- Radwegquerungen

Kommentar

In der vorliegenden Forschung wurden nur diese Anlagen untersucht. Für weitere Anlagen sind keine Bemessungsverfahren und Richtwerte der Verkehrsqualität vorhanden.

7.2.2 Gegenstand

Die Norm beschreibt das Verfahren für die verkehrstechnische Bemessung und für die Beurteilung des Verkehrsablaufs des leichten Zweiradverkehrs an den im Geltungsbereich erwähnten Anlagen. Das Verfahren basiert auf dem Konzept der Grundlagennorm SN 640 017 «Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Grundlagennorm».

7.2.3 Zweck

Die Norm dient der Vereinheitlichung des Verfahrens zur Beurteilung der Verkehrsqualität für die im Geltungsbereich erwähnten Anlagen bei den in der Grundlagennorm beschriebenen Anwendungen (angebotsorientiertes Verfahren, nachfrageorientiertes Verfahren, Leistungsanalyse).

7.2.4 Anwendbarkeit

Die Angaben in dieser Norm zu den Radstreifen, Radwegen sowie Rad- und Fusswegen stützen sich im Wesentlichen auf ausländische Literatur. Die Übertragbarkeit auf Schweizer Verhältnisse konnte nicht verifiziert werden.

Die Angaben zu den Warteräumen basieren auf Videoerhebungen in der Schweiz bei Verkehrsmengen bis max. 500 Radfahrer/h. Angaben zu höheren Radverkehrsmengen sind hochgerechnet und konnten nicht durch Felderhebungen überprüft werden.

Die Angaben zu den Radwegquerungen stützen sich im Wesentlichen auf die Norm SN 640 022 „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Knoten ohne Lichtsignalanlage“ [VSS 1999/1]. Es wurden die gleichen Grenz- und Folgezeitlücken wie für den motorisierten Verkehr verwendet, da keine Werte für den Radverkehr bekannt sind.

Kommentar

Es ist wichtig, dass der Normanwender die Einschränkungen der Anwendbarkeit kennt. Dazu wird in knapper Form die Herkunft der Normangaben dargestellt.

7.3 Begriffe

Begegnungsereignisse

Begegnungsereignisse sind Überholmanöver von Radfahrern und Fussgängern und Begegnungen mit entgegenkommenden Radfahrern und Fussgängern.

Kommentar

Der Begriff *Begegnungsereignis* wird für die Bemessungsverfahren der Längselemente Radstreifen, Radweg sowie Rad- und Fussweg verwendet. Begegnungsereignisse reduzieren die Bewegungsfreiheit und beeinflussen den Komfort, aber auch die Sicherheit. Weitere Erläuterungen befinden sich in Kapitel 6.1.3.

Weitere Begriffe

Weitere Begriffe zum leichten Zweiradverkehr sind in der Norm SN 640 060 «Leichter Zweiradverkehr; Grundlagen» [VSS 1995] definiert.

Weitere Begriffe zu Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit sind in der Norm SN 640 017 «Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Grundlagennorm» [VSS 1998] definiert.

Kommentar

In der Norm werden allgemeine Begriffe des Veloverkehrs sowie zum Thema Verkehrsqualität verwendet. Diese Begriffe sind bereits in anderen Normen definiert und müssen in dieser Norm nicht wiederholt werden.

7.4 Radstreifen, Radwege, Rad- und Fusswege

7.4.1 Direkte Einflussgrössen für die Verkehrsqualität

Die direkten Einflussgrössen werden im Bemessungsverfahren als Variablen eingesetzt und haben somit einen direkten Einfluss auf die Verkehrsqualitätsstufen. Für Radstreifen, Radwege sowie Rad- und Fusswege werden folgende Faktoren direkt berücksichtigt:

Verkehrsbedingungen

- Verkehrsmenge Radfahrer und Fussgänger
- Richtungsanteile Radfahrer und Fussgänger

Betriebsbedingungen

- mittlere Geschwindigkeit der Radfahrer und der Fussgänger je Richtung
- Standardabweichung der Geschwindigkeit der Radfahrer und der Fussgänger

Kommentar

Die Berücksichtigung der direkten Einflussgrössen auf die Messgrösse ist aus dem Kapitel Bemessungsverfahren ersichtlich. Die massgebenden Einflussfaktoren für Radverkehrsanlagen sind im Kapitel 4.3 beschrieben.

7.4.2 Indirekte Einflussgrössen für die Verkehrsqualität

Es ist davon auszugehen, dass die indirekten Einflussgrössen die Verkehrsqualität ebenfalls beeinflussen. Sie werden jedoch im Bemessungsverfahren nicht berücksichtigt, da deren Auswirkungen quantitativ nicht bekannt sind. In Kapitel 7.4.3 wird mit dem Referenzzustand definiert, für welche Kennwerte der indirekten Einflussgrössen die Bemessung ihre Gültigkeit hat. Für Radstreifen, Radwege sowie Rad- und Fusswege haben folgende indirekten Faktoren einen Einfluss:

Strassenbedingungen

- Geometrisches Normalprofil (Breite, seitliche Hindernisfreiheit)
- Kurvigkeit
- Längsneigung

Verkehrsbedingungen

- Kollektiv der Radfahrer
- Verkehrsmenge Motorfahrzeuge

Betriebsbedingungen

- Oberfläche

Einzelne dieser Einflussgrössen beeinflussen den Mittelwert und die Standardabweichung der Geschwindigkeit der Radfahrer. Für die Längsneigung ist dieser Zusammenhang teilweise quantitativ bekannt.

Kommentar

Die massgebenden Einflussfaktoren für Radverkehrsanlagen sind im Kapitel 4.3 beschrieben.

7.4.3 Kennwerte der indirekten Einflussgrössen für den Referenzzustand

Für die indirekten Einflussgrössen wird ein Referenzzustand definiert, für welchen die ermittelte Verkehrsqualitätsstufe gültig ist.

Tab. 7.33: Indirekte Einflussgrössen für die Verkehrsqualität von Radstreifen und Kennwerte für den Referenzzustand

Einflussgrössen	Kennwerte Referenzzustand	Berücksichtigung im Verfahren bei abweichenden Werten
Strassenbedingungen		
Radstreifenbreite	Breite 1.5 m	Andere Breiten nicht berücksichtigt
Seitliche Hindernisfreiheit	0.5 m gegenüber Mauern usw.	Andere Breiten nicht berücksichtigt
Kurvigkeit	keine Kurven	Keine Berücksichtigung von Kurven
Längsneigung	horizontal	Korrektur für andere Neigungen durch Änderung der Geschwindigkeitsverteilung
Verkehrsbedingungen		
Kollektiv der Radfahrer	Alltagsverkehr	Keine Berücksichtigung
Verkehrsmenge Motorfahrzeuge	Unbekannt	Keine Berücksichtigung
Betriebsbedingungen		
Oberfläche	Asphaltbetonbelag	Keine Berücksichtigung

Tab. 7.34: Indirekte Einflussgrössen für die Verkehrsqualität von Radwegen sowie Rad- und Fusswegen und Kennwerte für den Referenzzustand

Einflussgrössen	Kennwerte Referenzzustand	Berücksichtigung im Verfahren bei abweichenden Werten
Strassenbedingungen		
Wegbreite	Breite 2.5 m / 3.0 m	Andere Breiten nicht berücksichtigt
Seitliche Hindernisfreiheit	0.5 m gegenüber Mauern usw.	Andere Breiten nicht berücksichtigt
Kurvigkeit	keine Kurven	Keine Berücksichtigung von Kurven
Längsneigung	horizontal	Korrektur für andere Neigungen durch Änderung der Geschwindigkeitsverteilung
Verkehrsbedingungen		
Kollektiv der Radfahrer	Alltagsverkehr	Keine Berücksichtigung
Betriebsbedingungen		
Oberfläche	Asphaltbetonbelag	Keine Berücksichtigung

Kommentar

Weichen die Kennwerte vom Referenzzustand ab, so können keine Angaben zum Einfluss auf die Verkehrsqualität gemacht werden. Dazu wären umfangreiche Erhebungen erforderlich, da auch aus der Literatur keine Werte bekannt sind. Für Rad- und Fusswege konnte aufgrund von einer geringen Anzahl Messungen der Zusammenhang zwischen der Längsneigung und der mittleren Geschwindigkeit aufgezeigt werden (s. Abb. 5.24). Ebenfalls einen Einfluss auf die Geschwindigkeit hat die Kurvigkeit, das Kollektiv der Radfahrer und die Belagsart und -qualität.

7.4.4 Bemessungsverfahren

Allgemeines zum Bemessungsverfahren

Messgrösse für die Verkehrsqualität ist die Anzahl der Begegnungsereignisse pro Stunde auf einer Strecke von 1 km. Diese setzen sich zusammen aus der Anzahl der Überholvorgänge und der Anzahl der Begegnungsvorgänge. Je nach Anlage sind folgende Begegnungsereignisse relevant:

- Radstreifen: Überholen Rf – Rf
- Radweg: Überholen Rf – Rf, Begegnen Rf – Rf
- Rad- und Fussweg: Überholen Rf – Rf, Überholen Rf – Fg, Begegnen Rf – Rf, Begegnen Rf – Fg

Mit diesem Bemessungsverfahren wird nur die Verkehrsqualität des leichten Zweiradverkehrs bestimmt.

Kommentar

Das Bemessungsverfahren entspricht demjenigen des amerikanischen Handbuchs HCM 2000 [TRB 2000]. Weitergehende Erläuterungen sind in Kapitel 6.3 zu finden.

Radstreifen

Für Radstreifen berechnet sich die Anzahl der Begegnungsereignisse (= Anzahl Überholvorgänge) mit folgender Formel:

$$F_{ü} = \frac{2 \cdot q \cdot \sigma}{v \cdot \sqrt{\pi}} \qquad (37)$$

- $F_{ü}$ Anzahl Überholvorgänge pro Stunde [-/h]
- q Verkehrsbelastung Radfahrer in der Spitzenstunde [Rf/h]
- v Mittlere Geschwindigkeit Radfahrer [km/h]
- σ Standardabweichung Geschwindigkeit Radfahrer [km/h]

Die mittlere Geschwindigkeit und die Standardabweichung sind für bestehende Anlagen während der Spitzenstunde vor Ort zu erheben. Für neue Anlagen ohne Längsneigung beträgt die mittlere Geschwindigkeit 22 km/h und die Standardabweichung 5 km/h.

Radwege

Für **Zweirichtungs-Radwege** berechnet sich die Anzahl der Begegnungsereignisse je für die beiden Fahrtrichtungen getrennt, und zwar mit folgender Formel:

$$F = \frac{2 \cdot q_R \cdot \sigma_R}{v_R \cdot \sqrt{\pi}} + 0.5 \cdot q_G \cdot \left(1 + \frac{v_R}{v_G}\right) \qquad (38)$$

- F Anzahl Begegnungsereignisse pro Stunde [-/h]
- q_R Verkehrsbelastung Radfahrer in Beurteilungs-Richtung in der Spitzenstunde [Rf/h]
- q_G Verkehrsbelastung Radfahrer in Gegenrichtung in der Spitzenstunde [Rf/h]
- v_R Mittlere Geschwindigkeit Radfahrer in Beurteilungs-Richtung [km/h]
- σ_R Standardabweichung Geschwindigkeit Radfahrer in Beurteilungs-Richtung [km/h]
- v_G Mittlere Geschwindigkeit Radfahrer in Gegenrichtung [km/h]

Für Radwege **ohne Längsneigung** kann in der obigen Formel i.d.R. $v = v_G = v_R$ gesetzt werden:

$$F_{ü} = \frac{2 \cdot q_R \cdot \sigma}{v \cdot \sqrt{\pi}} + q_G \qquad (39)$$

Bei **Einrichtungs-Radwegen** ist die Anzahl der Begegnungsereignisse F identisch mit der Anzahl der Überholvorgänge $F_{ü}$. Die Bemessungsformel ist damit identisch mit derjenigen für Radstreifen:

$$F_{ü} = \frac{2 \cdot q \cdot \sigma}{v \cdot \sqrt{\pi}} \quad (40)$$

Rad- und Fusswege

Für **Rad- und Fusswege mit getrennten Verkehrsflächen** wird die Verkehrsqualität für den Radweg separat gemäss obigen Angaben bemessen.

Für **Zweirichtungs-Rad- und Fusswege mit gemeinsamer Verkehrsfläche** berechnet sich die Anzahl der Begegnungsereignisse je für die beiden Fahrtrichtungen getrennt mit folgender Formel:

$$F = q_{RFg} \cdot \left(\frac{v_{RRf}}{v_{RFg}} - 1\right) + \frac{2 \cdot q_{RRf} \cdot \sigma_{RRf}}{v_{RRf} \cdot \sqrt{\pi}} + 0.5 \cdot q_{GFg} \cdot \left(1 + \frac{v_{RRf}}{v_{GFg}}\right) + 0.5 \cdot q_{GRf} \cdot \left(1 + \frac{v_{RRf}}{v_{GRf}}\right) \quad (41)$$

- F Anzahl Begegnungsereignisse pro Stunde [-/h]
- q_{RFg} Verkehrsbelastung Fussgänger in Beurteilungs-Richtung in der Spitzenstunde [Rf/h]
- q_{RRf} Verkehrsbelastung Radfahrer in Beurteilungs-Richtung in der Spitzenstunde [Rf/h]
- q_{GFg} Verkehrsbelastung Fussgänger in Gegenrichtung in der Spitzenstunde [Rf/h]
- q_{GRf} Verkehrsbelastung Radfahrer in Gegenrichtung in der Spitzenstunde [Rf/h]
- v_{RFg} Mittlere Geschwindigkeit Fussgänger in Beurteilungs-Richtung [km/h]
- v_{RRf} Mittlere Geschwindigkeit Radfahrer in Beurteilungs-Richtung [km/h]
- σ_{RRf} Standardabweichung Geschwindigkeit Radfahrer in Beurteilungs-Richtung [km/h]
- v_{GFg} Mittlere Geschwindigkeit Fussgänger in Gegenrichtung [km/h]
- v_{GRf} Mittlere Geschwindigkeit Radfahrer in Gegenrichtung [km/h]

Für gemeinsame Zweirichtungs-Rad- und Fusswege **ohne Längsneigung** kann in der obigen Formel i.d.R. $v = v_G = v_R$ gesetzt werden:

$$F = q_{RFg} \cdot \left(\frac{v_{Rf}}{v_{Fg}} - 1\right) + \frac{2 \cdot q_{RRf} \cdot \sigma_{Rf}}{v_{Rf} \cdot \sqrt{\pi}} + 0.5 \cdot q_{GFg} \cdot \left(1 + \frac{v_{Rf}}{v_{Fg}}\right) + q_{GRf} \quad (42)$$

Bei einem **Einrichtungs-Rad- und Fussweg mit gemeinsamer Verkehrsfläche** ist die Anzahl der Begegnungsereignisse F identisch mit der Anzahl der Überholvorgänge $F_{ü}$:

$$F = q_{Fg} \cdot \left(\frac{v_{Rf}}{v_{Fg}} - 1\right) + \frac{2 \cdot q_{Rf} \cdot \sigma_{Rf}}{v_{Rf} \cdot \sqrt{\pi}} \quad (43)$$

Die mittlere Geschwindigkeit und die Standardabweichung sind für bestehende Radwege während der Spitzenstunde vor Ort zu erheben. Für neue Anlagen ohne Längsneigung beträgt die mittlere Geschwindigkeit 18 km/h und die Standardabweichung 6 km/h. Für nicht horizontale Radwege können die mittlere Geschwindigkeit und die Standardabweichung aus dem Diagramm in Abb. 5.24 herausgelesen werden.

Kommentar

Das Bemessungsverfahren entspricht demjenigen des amerikanischen Handbuchs HCM 2000 [TRB 2000]. Weitergehende Erläuterungen sind in Kapitel 6.3 zu finden.

Die allgemeinen Formeln für die Radwege und die Rad- und Fusswege sind relativ kompliziert. Es wäre auch denkbar, in der Norm nur die Formeln für Zweirichtungs-Radwege bzw. Rad- und Fusswege ohne Längsneigung und für Einrichtungs-Radwege bzw. Rad- und Fusswege anzugeben. Für die allgemeinen Formeln könnte auf den Forschungsbericht verwiesen werden.

7.4.5 Verkehrsqualitätsstufen

Definition der Verkehrsqualitätsstufen

Auf Radstreifen, Radwegen sowie Rad- und Fusswegen wird mit zunehmender Verkehrsstärke die freie Geschwindigkeitswahl der Radfahrer eingeschränkt. Dadurch wird die Reisezeit verlängert, was insbesondere im Alltagsverkehr als Reduktion der Verkehrsqualität wahrgenommen wird.

Zur Beurteilung der Verkehrsqualität werden in der nachfolgenden Tabelle sechs Verkehrsqualitätsstufen (VQS) definiert. Die Zuordnung der Messgrössen zu den einzelnen VQS ist in den anschliessenden Tabellen angegeben.

Tab. 7.35: Definition der Verkehrsqualitätsstufen für Radstreifen, Radwege sowie Rad- und Fusswege

Verkehrs-qualitäts-stufe	Verkehrs-qualität	Beschreibung	Anteil Nutzer mit Begeg-nungen
A	Sehr gut	Alle Radfahrer können sich frei bewegen. Es finden kaum Begegnungsereignisse statt. Alle erreichen ihre Wunschgeschwindigkeit.	≤ 10%
B	Gut	Die Bewegungsfreiheit ist kaum eingeschränkt. Einige Begegnungsereignisse, die keine Reduzierung der Geschwindigkeit erfordern.	11-20%
C	Zufrieden stellend	Die Zahl der Begegnungsereignisse nimmt zu und führt bei einzelnen Radfahrern zu einer Reduzierung der Geschwindigkeit.	21-40%
D	Ausreichend	Die Zahl der Begegnungsereignisse nimmt deutlich zu und führt häufig zu einer Reduzierung der Geschwindigkeit.	41-70%
E	Mangelhaft	Ständige Begegnungsereignisse beeinträchtigen den Fahrtablauf und führen fast immer zu einer Reduzierung der Geschwindigkeit.	71-100%
F	Ungenügend	Alle Radfahrer sind mit Begegnungsereignissen konfrontiert. Die gegenseitige Beeinträchtigung ist so stark, dass die Geschwindigkeit dauernd reduziert ist.	

Kommentar

Die Beschreibung der VQS basiert einerseits auf [VSS 1998] und anderseits auf [BAST 2003/2]. Die Werte für den „Anteil Nutzer mit Begegnungen“ sind dem amerikanischen Handbuch HCM 2000 [TRB 2000] entnommen. Weitergehende Erläuterungen sind in Kapitel 6.1 zu finden.

Verkehrsqualitätsstufen von Radstreifen

Die Messgrösse für die Verkehrsqualität von Radstreifen ist die Anzahl der Begegnungsereignisse bzw. die Anzahl Überholvorgänge $F_{ü}$ pro Stunde auf einer Strecke von 1 km gemäss Kapitel 7.4.4. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Zuordnung der Anzahl Begegnungsereignisse zu den VQS.

Tab. 7.36: Verkehrsqualitätsstufen für Radstreifen in Abhängigkeit der Anzahl Begegnungsereignisse

VQS	A	B	C	D	E	F
$F_{ü}$ [–/h]	≤ 25	26-50	51-100	101-175	176-250	> 250

Verkehrsqualitätsstufen von Radwegen, Rad- und Fusswegen

Die Messgrösse für die Verkehrsqualität von Radwegen bzw. Rad- und Fusswegen ist die Anzahl der Begegnungsereignisse F pro Stunde auf einer Strecke von 1 km. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Zuordnung der Anzahl Begegnungsereignisse zu den VQS.

Tab. 7.37: Verkehrsqualitätsstufen für Radwege, für gemeinsame Rad- und Fusswege sowie für den Verkehrsstreifen für Radfahrer auf Rad- und Fusswegen mit getrennten Verkehrsflächen in Abhängigkeit der Anzahl Begegnungsereignisse

VQS	1-Richtungs-Radweg, b = 2.50 m F [–/h]	1-Richtungs-Radweg, b = 3.00 m F [–/h]	2-Richtungs-Radweg, b = 2.50 m F [–/h]	2-Richtungs-Radweg, b = 3.00 m F [–/h]
A	≤ 25	≤ 150	≤ 40	≤ 90
B	26-50	151-300	41-60	91-140
C	51-100	301-600	61-100	141-225
D	101-175	601-1050	101-150	226-340
E	176-250	1051-1500	151-200	341-450
F	> 250	> 1500	> 200	> 450

Kommentar

Die Einteilung in VQS basiert auf [Botma 1995] und [TRB 2000]. Die Herleitung dazu ist in Kapitel 6.1.3 beschrieben.

7.5 Warteraum bei Knoten mit Lichtsignalanlage

Die Verkehrsqualität des Warteraums an einem Knotenarm ist nicht mit der Verkehrsqualität des gesamten Knotens identisch. In einem ersten Schritt wird in der Regel die Qualität des Gesamtknotens mit der Steuerung der Lichtsignalanlage optimiert. Dazu dient als Messgrösse die Wartezeit. In einem zweiten Schritt wird nun die Verkehrsqualität des Warteraums für die Radfahrer beurteilt. Diese kann durch die Geometrie des Warteraums beeinflusst werden. Für die Beurteilung des Warteraums wird die Steuerung der LSA als gegeben betrachtet. Unabhängig von der Wartezeit führen ungenügende Platzverhältnisse im Warteraum zu Komforteinbussen und zu Sicherheitsmängeln.

Die nachfolgenden Aussagen gelten nur für Anlagen mit zuführendem Radstreifen und für solche mit zuführendem und ausgeweitetem Radstreifen.

Kommentar

Zum Thema Verkehrsqualität von Warteräumen finden sich in der Literatur keine Angaben. Aus Videobeobachtungen insbesondere an 2 Anlagen wurden die Zusammenhänge zwischen Verkehrsmenge, Anzahl wartender Radfahrer während der Rotphase, Rückstaulänge und Räumzeit ausgewertet. Die Videobeobachtungen sind ausführlich in Kapitel 5.3 beschrieben.

7.5.1 Direkte Einflussgrössen für die Verkehrsqualität

Die direkten Einflussgrössen werden im Bemessungsverfahren als Variablen eingesetzt und haben somit einen direkten Einfluss auf die Verkehrsqualitätsstufen. Für Warteräume bei Lichtsignalknoten werden folgende Faktoren direkt berücksichtigt:

Strassenbedingungen

- Geometrie des Warteraums (Breite des Radstreifens, Fläche des ausgeweiteten Radstreifens)

Verkehrsbedingungen

- Verkehrsmenge Radfahrer

Betriebsbedingungen

- Steuerung LSA (Grünzeit, Rotzeit, Anzahl Phasen)

Kommentar

Die Berücksichtigung der direkten Einflussgrössen auf die Messgrösse ist aus dem Kapitel Bemessungsverfahren ersichtlich. Die massgebenden Einflussfaktoren für Radverkehrsanlagen sind im Kapitel 4.3 beschrieben.

7.5.2 Indirekte Einflussgrössen für die Verkehrsqualität

Es ist davon auszugehen, dass die indirekten Einflussgrössen die Verkehrsqualität ebenfalls beeinflussen. Sie werden jedoch im Bemessungsverfahren nicht berücksichtigt, da deren Auswirkungen quantitativ nicht bekannt sind. In Kapitel 7.5.3 wird mit dem Referenzzustand definiert, für welche Kennwerte der indirekten Einflussgrössen die Bemessung ihre Gültigkeit hat. Für Warteräume bei Lichtsignalknoten haben folgende indirekten Faktoren einen Einfluss:

Strassenbedingungen

- Längsneigung
- Breite des anliegenden Fahrstreifens

Verkehrsbedingungen

- Kollektiv der Radfahrer
- Verkehrsmenge Motorfahrzeuge

Betriebsbedingungen

- Abbiegebeziehungen

Die indirekten Einflussgrössen beeinflussen die Räumgeschwindigkeit der Radfahrer und die Räumzeit sowie den Wunsch bzw. die Möglichkeit zum nebeneinander Aufstellen und damit die Rückstaulänge.

Kommentar

Die massgebenden Einflussfaktoren für Radverkehrsanlagen sind im Kapitel 4.3 beschrieben.

7.5.3 Kennwerte der indirekten Einflussgrössen für den Referenzzustand

Für die indirekten Einflussgrössen wird ein Referenzzustand definiert, für welchen die ermittelte Verkehrsqualitätsstufe gültig ist.

Tab. 7.38: Indirekte Einflussgrössen für die Verkehrsqualität von Warteräumen und Kennwerte für den Referenzzustand

Einflussgrössen	Kennwerte Referenzzustand	Berücksichtigung im Verfahren bei abweichenden Werten
Strassenbedingungen		
Längsneigung	horizontal	Andere Neigungen nicht berücksichtigt
Breite des anliegenden Fahrstreifens	Breite 3.5 m	Andere Breiten nicht berücksichtigt
Verkehrsbedingungen		
Kollektiv der Radfahrer	Alltagsverkehr	Keine Berücksichtigung
Verkehrsmenge Motorfahrzeuge	Unbekannt	Keine Berücksichtigung

Kommentar

Weichen die Kennwerte vom Referenzzustand ab, so können keine Angaben um Einfluss auf die Verkehrsqualität gemacht werden. Dazu wären umfangreiche Erhebungen erforderlich, da auch aus der Literatur keine Werte bekannt sind. Weitere Bemerkungen zu den einzelnen Einflussgrössen:

- Die Längsneigung wird Einfluss auf die Räumgeschwindigkeit haben. Diese ist aber wiederum vom Kollektiv der Radfahrer und vom Anteil E-Bikes abhängig.
- Die Breite des anliegenden Fahrstreifens wurde mit 3.5 m so bestimmt, dass davon ausgegangen werden kann, dass die Radfahrer auf dem Radstreifen nicht durch Motorfahrzeuge behindert werden. Bei schmäleren Fahrstreifen wird dies vorkommen, was zu einem längeren Rückstau und damit zu längeren Räumzeiten für den Radverkehr führen würde.
- Die Videobeobachtungen wurden an Orten mit viel Pendlerverkehr durchgeführt. Bei anderen Zusammensetzungen wird der Wunsch nach nebeneinander Aufstellen im Warteraum anders sein, was die Rückstaulänge und die Räumzeit beeinflusst.
- Je grösser die Motorfahrzeugmenge, umso schwieriger wird es je nach Breite des Radstreifens, sich nebeneinander aufzustellen.

7.5.4 Bemessungsverfahren

Messgrösse für die Verkehrsqualität von Warteräumen an Lichtsignalknoten ist der Quotient f von mittlerer Räumzeit zu mittlerer Grünzeit.

$$f = \frac{Räumzeit\ [s]}{Grünzeit\ [s]} \qquad (44)$$

- Räumzeit Mittlerer Zeitbedarf des zuhinterst wartenden Radfahrers für das Räumen des Warteraums ab Beginn der Grünphase, massgebend ist die Spitzenstunde.
- Grünzeit Mittlere Dauer der Grünphase in der Spitzenstunde.

Voraussetzung ist, dass die Zufahrt zum Warteraum bei Rot wie auch das Wegfahren bei Grün jederzeit ohne Behinderungen möglich ist.

Kommentar

Als Messgrösse könnte grundsätzlich die Dichte, die Rückstaulänge oder die Räumzeit verwendet werden. Alle drei Faktoren sind voneinander abhängig. Gewählt wurde die mittlere Räumzeit, da letztlich für die Verkehrsqualität der Reisezeitverlust – insbesondere im Alltagsverkehr – massgebend ist. Wichtig ist, die gewählte Messgrösse ins Verhältnis zur Grünzeit zu setzen. Im Gegensatz zu den Autofahrern haben die Velofahrer die Möglichkeit, die Räumzeit mitzubestimmen. Sie werden sich möglichst so verhalten, dass sie den Knoten in der nächsten Grünphase passieren können. Darum ist keiner der drei erwähnten Faktoren alleine von der Verkehrsmenge abhängig. Wird bei gleicher Radverkehrsmenge und gleicher Rotphasenlänge die Grünphase verlängert, so werden sich die Radfahrer weniger dicht aufstellen, denn auch bei grösserer Rückstaulänge wird es ihnen möglich sein, den Knoten in der nächsten Grünphase zu passieren.

Die mittlere Räumzeit t wird mit folgender Formel berechnet:

$$t = \left(\frac{q_{Rf} \cdot Rotphasenanteil}{Anzahl\ Rotphasen} - a\right) \cdot \left(\frac{1}{b - 0.30}\right) \cdot 1.6 \qquad (45)$$

- q_{Rf} Massgebende Verkehrsmenge Radfahrer [Rf/h]
- Rotphasenanteil Zeitlicher Anteil der Rotphasen in der massgebenden Spitzenstunde [%]
- Anzahl Rotphasen Anzahl Rotphasen in der massgebenden Spitzenstunde
- a Anzahl der im ausgeweiteten Bereich eines Radstreifens wartenden Radfahrer, und zwar ohne diejenigen, die in der Verlängerung des Radstreifens warten
- b Breite des Radstreifens [m]

Massgebende Verkehrsmenge

Als massgebende Verkehrsmenge wird die 4-fache 15-Minutenbelastung in der Spitzenstunde verwendet. Ist nur der Spitzenstundenwert bekannt, so wird dieser mit 1.3 multipliziert.

Kommentar

Diese empirisch ermittelte Formel zur Berechnung der mittleren Räumzeit basiert auf einer geringen Anzahl von Erhebungen und insbesondere solcher mit Verkehrsmengen bis max. 500 Radfahrer in der Spitzenstunde. Sie ist deshalb, insbesondere für grössere Verkehrsmengen, mit Vorsicht zu verwenden. Erläuterungen zur Formel befinden sich im Kapitel 6.3.1.

7.5.5 Verkehrsqualitätsstufen

Definition der Verkehrsqualitätsstufen

Die Verkehrsqualität in einem Warteraum wird einerseits durch die Dichte im Warteraum [Radfahrende/m^2] und anderseits durch den Zeitbedarf [s] für das Räumen des Warteraums ab Beginn der Grünphase („Räumzeit“) beeinflusst. Dieser Zeitbedarf stellt letztlich eine Verlängerung der Reisezeit dar, was insbesondere im Alltagsverkehr ein relevantes Qualitätskriterium ist. Wird die Räumzeit bei einer Anlage regelmässig zu gross, werden sich die Radfahrenden im Warteraum dichter aufstellen, um den Zeitverlust zu minimieren. Dies führt dann wiederum zu einer Reduktion der Qualität.

Zur Beurteilung der Verkehrsqualität werden in der nachfolgenden Tabelle sechs Verkehrsqualitätsstufen (VQS) definiert. Die Zuordnung der Messgrösse zu den einzelnen VQS in der anschliessenden Tabelle angegeben.

Tab. 7.39: Definition der Verkehrsqualitätsstufen für Warteräume an Lichtsignalknoten

Verkehrs-qualitäts-stufe	Verkehrsqualität	Beschreibung
A	Sehr gut	Die Rückstaulänge und damit die Räumzeit sind gering. Es finden keine Beeinträchtigungen im Warteraum statt.
B	Gut	Die Rückstaulänge nimmt leicht zu. Es finden kaum Beeinträchtigungen im Warteraum statt.
C	Zufrieden stellend	Die Rückstaulänge nimmt weiter zu. Es treten einige gegenseitige Störungen im Warteraum auf.
D	Ausreichend	Die Rückstaulänge und auch die Dichte im Warteraum nehmen weiter zu. Dadurch treten vermehrt gegenseitige Behinderungen im Warteraum auf.
E	Mangelhaft	Die Rückstaulänge und auch die Dichte im Warteraum sind gross. Es finden häufige Beeinträchtigungen im Warteraum statt.
F	Ungenügend	Die Rückstaulänge wird so gross, dass nicht alle Radfahrer in einer Grünphase den Knoten passieren können. Dies führt zu einer hohen Dichte im Warteraum und zu starken gegenseitigen Beeinträchtigungen.

Verkehrsqualitätsstufen von Warteräumen

Die Messgrösse für die Verkehrsqualität von Warteräumen an Lichtsignalknoten ist der Quotient f von mittlerer Räumzeit zu mittlerer Grünzeit gemäss Kapitel 12. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Zuordnung zu den VQS.

Tab. 7.40: Verkehrsqualitätsstufen für Warteräume an Lichtsignalknoten

VQS	A	B	C	D	E	F
f	≤ 0.2	≤ 0.4	≤ 0.6	≤ 0.8	≤ 1.0	> 1.0

Kommentar

Beträgt der Wert f genau 1.0, so können gerade noch alle wartenden Radfahrer in einer Grünphase den Knoten passieren. Übersteigt f den Wert von 1.0 so muss ein Teil der Radfahrenden eine zweite Grünphase abwarten. Dadurch steigt der Reisezeitverlust massiv an, was sicher die Qualitätsstufe F rechtfertigt. Für die Einteilung der VQS gibt es keine Hinweise in der Literatur. Dazu müssten Befragungen der Radfahrer durchgeführt werden.

7.6 Radwegquerung ohne Lichtsignalanlage

Kommentar

Das Vorgehen zur Ermittlung der Verkehrsqualität von Radwegquerungen ist angelehnt an dasjenige in [VSS 1999/1]. Aus diesem Grund wird die gleiche Kapitelstruktur wie in [VSS 1999/1] gewählt, auch wenn diese von den vorhergehenden Kapiteln abweicht.

7.6.1 Generelles Vorgehen

Das Vorgehen zur Ermittlung der Verkehrsqualität richtet sich nach der Norm SN 640 022 „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit – Knoten ohne Lichtsignalanlage“ [VSS 1999/1].

Die nachfolgenden Aussagen beziehen sich auf eine nicht vortrittsberechtigte Querung eines Zweirichtungs-Radwegs über eine Strasse. Von der Strasse abbiegende Radfahrer werden nicht berücksichtigt.

Kommentar

In der Forschung konnten einerseits die Zeitlücken für den Radverkehr nicht ermittelt werden und anderseits wurde der Einfluss des sich nebeneinander Aufstellens nur empirisch bestimmt. Um nicht noch mehr Annahmen treffen zu müssen, wurde der einfache Fall ohne abbiegende Radfahrer gewählt.

7.6.2 Bezeichnung der Ströme und Rangfolge

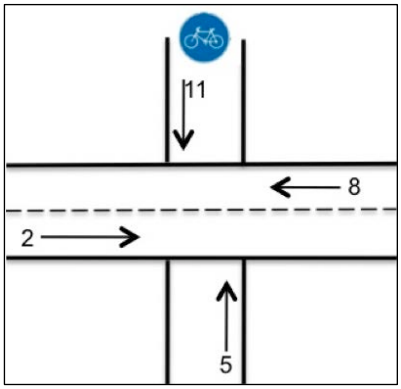


Abb. 7.60: Bezeichnung der Verkehrsströme

Die Bezeichnung der Ströme in Abb. 7.60 richtet sich nach [VSS 1999/1]. Es gilt folgende Rangfolge:

- Rang 1 Ströme 2 und 8
- Rang 2 Ströme 5 und 11

7.6.3 Massgebende Hauptstrombelastung

Die Hauptstrombelastung für die querenden Ströme 5 und 11 entspricht der Belastung auf der Hauptachse:

$$q_{p5} = q_{p11} = q_2 + q_8 \qquad (46)$$

- q_{p5} Massgebende Hauptstrombelastung für Strom 5 [Fz/h]
- q_{p11} Massgebende Hauptstrombelastung für Strom 11 [Fz/h]
- q_2 Belastung Hauptstrom 2 [Fz/h]
- q_8 Belastung Hauptstrom 8 [Fz/h]

Kommentar

Wie die Bezeichnung und Rangfolge der Ströme berechnen sich auch die Hauptstrombelastungen gleich wie in [VSS 1999/1].

7.6.4 Grundleistungsfähigkeit G

Analog [VSS 1999/1] gelten folgende Zeitlücken:

- Grenzzeitlücke tg = 6.5 s
- Folgezeitlücke tf = 4.0 s

Die Grenzzeitlücke von 6.5 s gilt für eine Querung ohne Mittelinsel. Ist die Radwegquerung mit einer Mittelinsel ausgestattet, so reduziert sich die Grenzzeitlücke gemäss [TRB 2010] auf 5.5 s.

Die Grundleistungsfähigkeit G für die Nebenströme 5 und 11 kann dem Diagramm in Abb. 7.61 entnommen werden. Analog [VSS 1999/1] wurde die Grundleistungsfähigkeit gegenüber dem Berechnungsmodell um 90 Rf/h erhöht.

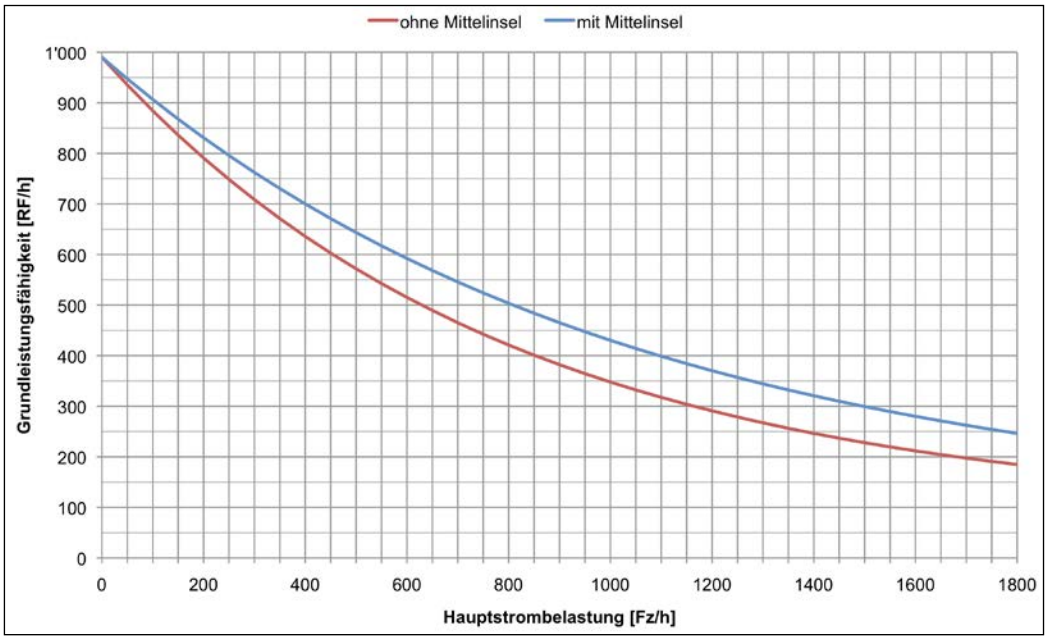


Abb. 7.61: Grundleistungsfähigkeit G ohne und mit Mittelinsel in der Radwegquerung

Kommentar

Eine grosse Unbekannte sind die Zeitlücken für Radfahrende. Diese konnten im Rahmen der Forschung nicht ermittelt werden und auch in der Literatur sind dazu keine Angaben vorhanden. Es werden deshalb die gleichen Grenz- und Folgezeitlücken wie für den Motorfahrzeugverkehr verwendet. Zusätzlich wurde jedoch die verringerte Grenzzeitlücke für das Queren in 2 Etappen bei einer Mittelinsel gemäss [TRB 2010] beigezogen.

Analog [VSS 1999/1] wurde die Grundleistungsfähigkeit gegenüber der Berechnung nach der Siegloch-Formel um 90 Rf/h erhöht. Ob diese Erhöhung für den Radverkehr wirklich zutrifft, konnten wir nicht verifizieren.

7.6.5 Maximale Leistungsfähigkeit L

Unter Vernachlässigung in den Radweg einbiegender Radfahrer entspricht die maximale Leistungsfähigkeit L grundsätzlich der Grundleistungsfähigkeit G. Dabei ist allerdings nicht berücksichtigt, dass sich Radfahrende zumindest teilweise (individuelles Verhalten) und zeitweise (nur ab einer bestimmten Sättigung) nebeneinander aufstellen und die Strasse gleichzeitig queren. Radfahrer, welche die Strasse gleichzeitig queren werden nur als 1 Radfahrer gezählt, womit sich die Leistungsfähigkeit gegenüber der Grundleistungsfähigkeit erhöht.

Die theoretische Anzahl der Radfahrer, die sich im Warteraum auf einem Fahrstreifen nebeneinander aufstellen, bestimmt sich wie folgt:

$$n = b - 0.3 \qquad (47)$$

- n Anzahl Radfahrer, die sich nebeneinander aufstellen
- b Fahrstreifenbreite auf Radweg [m]

Das parallele Aufstellen und Queren ist jedoch abhängig von der Sättigung des Radwegs im Wartebereich, d.h. von der Wahrscheinlichkeit, dass sich mehr als ein Radfahrer im Warteraum aufhält. Bei einer Sättigung von 1 wird die theoretische Anzahl n erreicht.

Die maximale Leistungsfähigkeit L_i berechnet sich demnach wie folgt:

$$L_i = G_i \cdot a_i \cdot (b - 0.3) \qquad (48)$$

- L_i Maximale Leistungsfähigkeit des Nebenstroms i [Rf/h]
- G_i Grundleistungsfähigkeit des Nebenstroms i [Rf/h]
- a_i Sättigung auf dem Nebenstrom i = q_i/L_i [-]
- b Fahrstreifenbreite auf Radweg [m]

Dabei gelten folgende Einschränkungen:

- $L_i \geq G_i$
  Die Grundleistungsfähigkeit ist auch bei geringer Sättigung gegeben.
- $a_i \leq 1.0$
  Bei einer Sättigung über 1 können sich nicht mehr Radfahrende nebeneinander aufstellen, als von der Breite her möglich ist.
- b ≥ 1.30 m
  Weniger als ein Radfahrer kann sich nicht aufstellen.

Unter Berücksichtigung von $a_i = q_i/L_i$ ergibt sich die maximale Leistungsfähigkeit mit folgender Formel:

$$L_i = \sqrt{G_i \cdot q_i \cdot (b - 0.3)} \qquad (49)$$

- L_i Maximale Leistungsfähigkeit des Nebenstroms i [Rf/h]
- G_i Grundleistungsfähigkeit des Nebenstroms i [Rf/h]
- q_i Belastung auf dem Nebenstrom i [Rf/h]
- b Fahrstreifenbreite auf Radweg [m]

Aus den nachfolgenden Abbildungen kann die maximale Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit der Grundleistungsfähigkeit und der Radverkehrsbelastung auf dem Radweg für Fahrstreifenbreiten von 1.5 m (Abb. 7.62) und 2.25 m (Abb. 7.63) bestimmt werden.

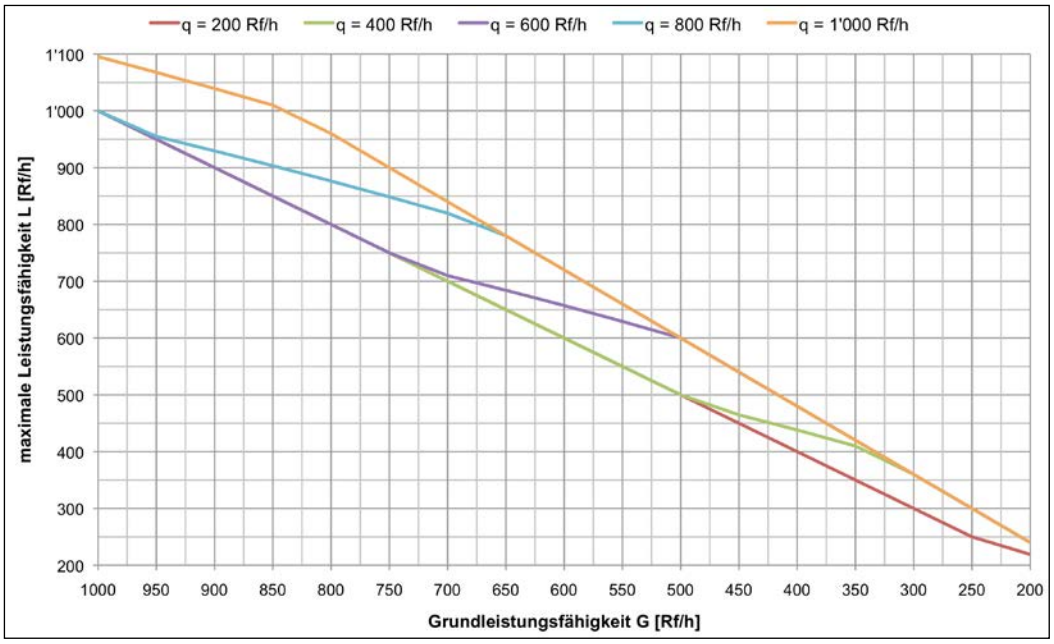


Abb. 7.62: Maximale Leistungsfähigkeit L in Abhängigkeit der Grundleistungsfähigkeit G und der Radverkehrsbelastung für eine Fahrstreifenbreite des Radwegs von 1.5 m

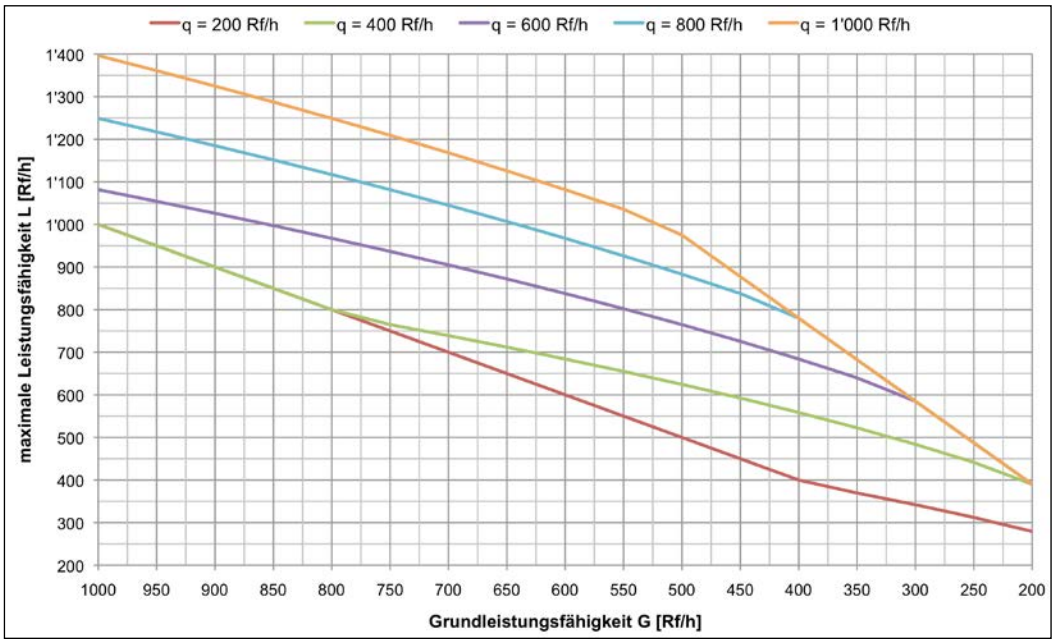


Abb. 7.63: Maximale Leistungsfähigkeit L in Abhängigkeit der Grundleistungsfähigkeit G und der Radverkehrsbelastung für eine Fahrstreifenbreite des Radwegs von 2.25 m

Kommentar

Die Herleitung der Formeln zur Berücksichtigung des nebeneinander Aufstellens im Warteraum ist in Kapitel 6.3.2 dargestellt.

7.6.6 Leistungsreserve R

Die Leistungsreserve R entspricht der maximalen Leistungsfähigkeit L abzüglich der vorhandenen Verkehrsstärke q:

$$R_i = L_i - q_i \qquad (50)$$

- R_i Belastungsreserve des Nebenstroms i [Rf/h]
- L_i Maximale Leistungsfähigkeit des Nebenstroms i [Rf/h]
- q_i Verkehrsbelastung des Nebenstroms i [Rf/h]

Kommentar

Die Ermittlung der Reserve ist gleich wie in [VSS 1999/1].

7.6.7 Mittlere Wartezeit w

Die mittlere Wartezeit kann mit Abb. 4 aus [VSS 1999/1] bestimmt werden.

7.6.8 Verkehrsqualitätsstufen

Die Verkehrsqualität von Radwegquerungen kann mit Tab. 3 aus [VSS 1999/1] bestimmt werden.

7.7 Theoretische Leistungsfähigkeit

Für die theoretische Leistungsfähigkeit von Radverkehrsanlagen gelten die Richtwerte gemäss Tab. 7.41.

Tab. 7.41: Richtwerte der theoretischen Leistungsfähigkeit von Radverkehrsanlagen

Anlagetyp	Breite	Theoretische Leistungsfähigkeit
Radstreifen	1.25 – 1.75 m	2'500 – 3'000 Rf/h
1-Richtungs-Radweg	1.50 – 2.00 m	2'500 – 3'000 Rf/h
	2.50 – 3.00 m	4'000 – 4'500 Rf/h
2-Richtungs-Radweg	2.50 – 3.00 m	2'500 – 3'000 Rf/h
	3.50 – 4.00 m	3'500 – 4'000 Rf/h
Gemeinsame Rad- und Fusswege im Zwei-Richtungsverkehr	3.00 – 3.50 m	1'000 Rf/h bei 50 Fg/h 50 Rf/h bei 250 Fg/h

Die in Tab. 7.41 angegebene Leistungsfähigkeit ist eine theoretische Grösse und weder für den Entwurf neuer noch für die Analyse bestehender Anlagen anwendbar.

Zwischen der theoretischen Leistungsfähigkeit und den Verkehrsqualitätsstufen besteht beim leichten Zweiradverkehr kein Zusammenhang. Wird z. B. für Radstreifen die Verkehrsqualitätsstufe F bei rund 1'000 Rf/h erreicht, so beträgt die theoretische Leistungsfähigkeit 2'500 – 3'000 Rf/h. Eine Kolonnenfahrt bei geringer Geschwindigkeit oder gar eine Stausituation kommt auf Radstreifen in der Praxis nicht vor. Der Radverkehr ist nicht an den Radstreifen „gebunden“ und kann durch Mitbenutzung des Fahrstreifens für den Motorfahrzeugverkehr fast jederzeit überholen. Massgebend für die VQS ist die Zahl der Begegnungsereignisse. Aufgrund der relativ grossen Geschwindigkeitsunterschiede der verschiedenen Radfahrer ergibt sich jedoch nicht erst bei Kolonnenfahrt eine grosse Zahl an gegenseitigen Behinderungen (Überholmanöver). Diese werden von den Radfahrern bereits als unzumutbar beurteilt, bevor die theoretische Leistungsfähigkeit erreicht wird.

Kommentar

Die Erläuterungen dazu befinden sich in Kapitel 6.2.

7.8 Belastbarkeit

7.8.1 Sicherheitsbedingte Belastbarkeit

Die heutige Belastung der Radverkehrsanlagen stellt in der Regel kein Sicherheitsproblem dar. Die Sicherheit wird jedoch abnehmen, wenn die Anzahl der Begegnungsereignisse auf Radstreifen und Radwegen, die Wartezeit bei Querungen oder die Dichte in Warteräumen zunimmt. Damit die Sicherheit gewährleistet ist, sind die Anlagen ausreichend zu dimensionieren und die technischen Anforderungen an Radverkehrsanlagen einzuhalten.

7.8.2 Unterhaltsbedingte Belastbarkeit

Die zur Erhaltung des Bauwerks notwendigen Baustellen können die Verkehrsqualität von Radverkehrsanlagen erheblich einschränken. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn Radwege oder Radstreifen gesperrt werden und der Radverkehr umgeleitet oder gemeinsam mit dem Motorfahrzeugverkehr geführt wird.

Baustellen sind so zu organisieren, dass eine Sperrung der Radverkehrsanlage nicht oder höchstens für eine kurze Zeit erforderlich ist, dass allfällige Umwege möglichst kurz sind und dass insbesondere die Sicherheit der Radfahrer gewährleistet ist.

Die Breite von Radwegen ist so zu wählen, dass das Überholen oder Kreuzen von Unterhaltsfahrzeugen jederzeit möglich ist. Ansonsten wird die Verkehrsqualität zu stark eingeschränkt.

Kommentar

Das Thema Belastbarkeit wurde in der Forschung nicht speziell untersucht. In Analogie zu den anderen Normen werden dennoch einige Aussagen auch in dieser Norm vorgenommen. Die umweltbedingte Belastbarkeit ist – im Gegensatz zu den Normen für den Motorfahrzeugverkehr – beim Radverkehr kein Thema.

7.9 Bewertung weiterer Qualitätsanforderungen

Neben der in den Kapiteln 7.4 bis 7.6 erläuterten belastungsabhängigen Verkehrsqualität sind für den Radfahrer auch andere, nicht belastungsabhängige Anforderungen für die Verkehrsqualität von Bedeutung. Folgende Qualitätsanforderungen sind in [ASTRA 2008] dargelegt:

- Fahrfluss
- Umfeldqualität
- Oberfläche
- Verkehrsregime und -belastung
- Homogenität
- Gefahrenstellen
- Sicherheitsempfinden
- Direktheit
- Erschliessung

Die Verkehrsbelastung und die Oberfläche sind als Einflussgrössen bei den Bemessungsverfahren bereits berücksichtigt. Die meisten übrigen Anforderungen wie z. B. die Homogenität oder die Direktheit beziehen sich primär auf Routen oder ganze Netze und können für eine einzelne Anlage nicht berücksichtigt werden.

Für die Anlagen in dieser Norm sind neben der verkehrsabhängigen Qualität zusätzlich die Anforderungen „Umfeldqualität“ und „Sicherheitsempfinden“ zu berücksichtigen. Für die Zuordnung zu den Qualitätsstufen wird auf [ASTRA 2008] verwiesen.

Kommentar

Neben der verkehrsabhängigen Qualität können auch andere Qualitätsanforderungen massgebend für die Gesamtbeurteilung sein. Dies trifft insbesondere für den Freizeitverkehr und für bestimmte Benutzergruppen (unsichere, ältere Radfahrer) des Alltagsverkehrs zu. Im Weiteren wird auf Kapitel 6.4 und auf [ASTRA 2008] verwiesen.

Teil C – Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des Fussgängerverkehrs

8 Grundlagen

8.1 Einleitung

Im vorliegenden Kapitel werden die wichtigsten bereits vorliegenden Grundlagen zum Fussgängerverkehr mit Bezug zur Leistungsfähigkeit und Benutzungsqualität zusammengestellt. Es gliedert sich inhaltlich in drei Hauptteile:

- Systematik der Fussgängeranlagen (Kapitel 8.2)
- Normen und Handbücher (Kapitel 8.3)
- Literaturauswertung zu Leistungsfähigkeit (Kapitel 8.4), Verkehrsqualität (Kapitel 8.5) und Dimensionierung (Kapitel 8.6)

Im abschliessenden Fazit werden die zusätzlichen empirischen Untersuchungen hergeleitet, welche zur Erreichung des Ziels dieser Forschungsarbeit erforderlich waren (Kapitel 8.7).

8.2 Systematik von Fussgängerverkehrsanlagen

8.2.1 Schema

Basierend auf der Grundeinteilung gemäss Kapitel 1.6 wurde eine allgemein anwendbare Systematik für Fussgängeranlagen entwickelt (vgl. Abb. 8.64). Dafür bedurfte es, abgeleitet aus den in der Grundnorm Fussgängerverkehr [SN 640070 2009] beschriebenen vier Elementen des Fusswegenetzes (Strecke, Fläche, Querung, Schnittstelle), einer Gliederung der Einzelanlagen. Diese unterscheiden sich primär nach den Aktivitäten der Fussgänger auf den jeweiligen Teilanlagen.

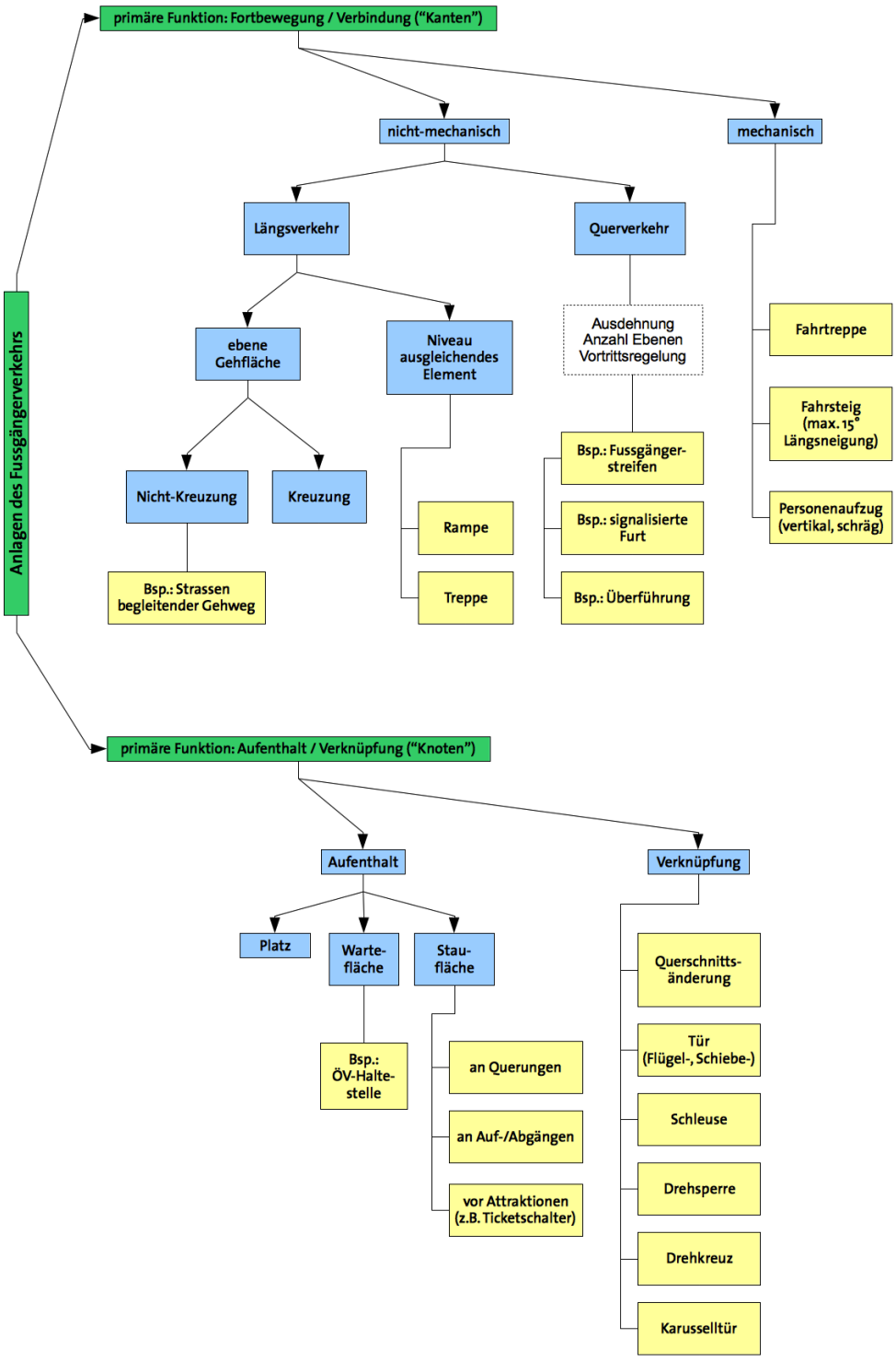


Abb. 8.64 Systematik der Fussgängeranlagen

Dieser Einteilung liegt das Knoten-Kanten-Modell zugrunde. Der Bewegungsraum der Fussgänger wird in Teilstücke mit jeweils verkehrstechnisch gleichen Eigenschaften unterteilt. Diese dienen entweder primär der Fortbewegung bzw. Verbindung („Kanten“) oder hauptsächlich dem Aufenthalt resp. der Verknüpfung („Knoten“).

Innerhalb der ersten Hauptgruppe sind alle Anlagen zusammengefasst, welche den Fussgängern primär zur Fortbewegung sowohl in horizontaler als auch vertikaler Richtung dienen. Deren detaillierte Unterteilung erfolgt zum einen weiter in Anlagen, auf denen sich die Personen mit eigener Muskelkraft fortbewegen (nicht-mechanische Anlagen,

NMA) und zum anderen in solche, bei denen der Mensch mit Hilfe technischer Einrichtungen passiv befördert wird (mechanische Anlagen MA).

8.2.2 Fortbewegung - Nicht-mechanische Anlagen

Die nicht–mechanischen Anlagen werden danach unterschieden, ob sie im Wesentlichen parallel zu anderen Verkehren angelegt sind (Längsverkehr) oder Fussgängern das Kreuzen von Verkehrsströmen erleichtern resp. ermöglichen (Querverkehr). Zwischen zwei Bewegungsebenen sind Elemente – Rampen und Treppen – angelegt, welche den Fussgängern die Überwindung des Höhenunterschiedes ermöglichen.

Die in derselben Ebene verlaufenden Gehflächen können entweder einen Kreuzungsbereich – inkl. Verzweigungen und Einmündungen – bilden oder überschneidungsfrei verlaufen. Typisches Beispiel dafür ist der eine Strasse begleitende Gehweg (Trottoir).

Die Rampe ist eine schiefe Ebene mit bis zu 15° Neigung. Der Neigungswinkel soll nicht grösser sein, um die Begehbarkeit oder Befahrbarkeit bspw. durch Rollstuhlfahrer oder Personen mit Kinderwagen nicht zu verunmöglichen. Die Länge der Rampe sowie deren Neigung hängen innerhalb dieser Limite mit der zu erreichenden Höhe zusammen.

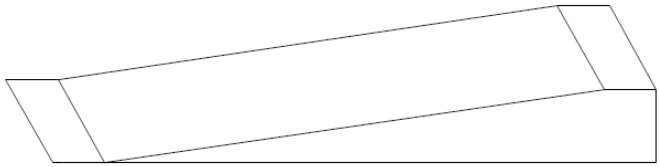


Abb. 8.65 Rampe - Prinzipdarstellung

Genügt der Platz für Rampen nicht, so müssen Treppen erstellt werden. Wichtige Parameter sind die nutzbare Treppenbreite (Bruttobreite abzüglich des Verlustes durch Wand- respektive Geländereinflüsse), die Länge und Höhe der Treppen sowie das Vorhandensein von Zwischenplateaus ab gewissen Höhendifferenzen. Ebenso müssen die Stufentiefe und Stufenhöhe sowie das Verhältnis zueinander betrachtet werden, da nur eine ausgewählte enge Bandbreite als angenehm empfunden wird. Bei zu grosser Trittstufenhöhe wird die Nutzung der Anlage erschwert, vor allem für ältere und körperlich beeinträchtigte Personen.

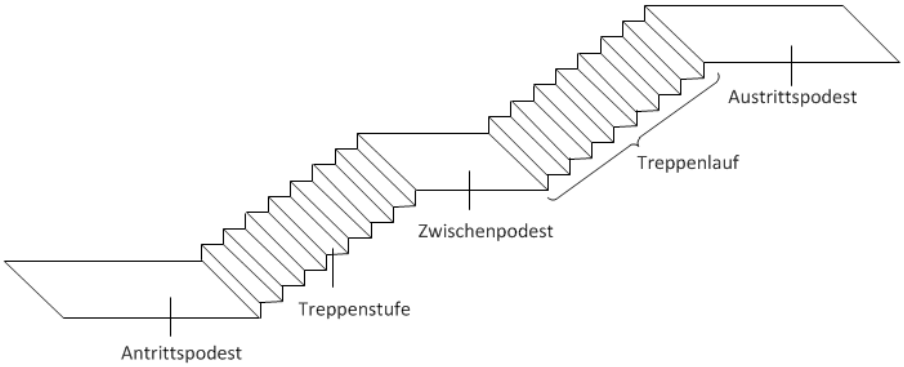


Abb. 8.66 Treppe – Schema und wichtige Begriffe

Anlagen des Querverkehrs werden durch drei wesentliche Parameter bestimmt: a) die Ausdehnung, welche punktuell oder eher flächig sein kann, b) die Anzahl der Ebenen, d. h. ob der Fussgängerstrom auf gleichem Niveau oder via Über- oder Unterführung quert und c) die Art der Vortrittsregelung, z.B. Wartepflicht für FG oder Trennung von Fahr- und Fussverkehr per Lichtsignalanlage.

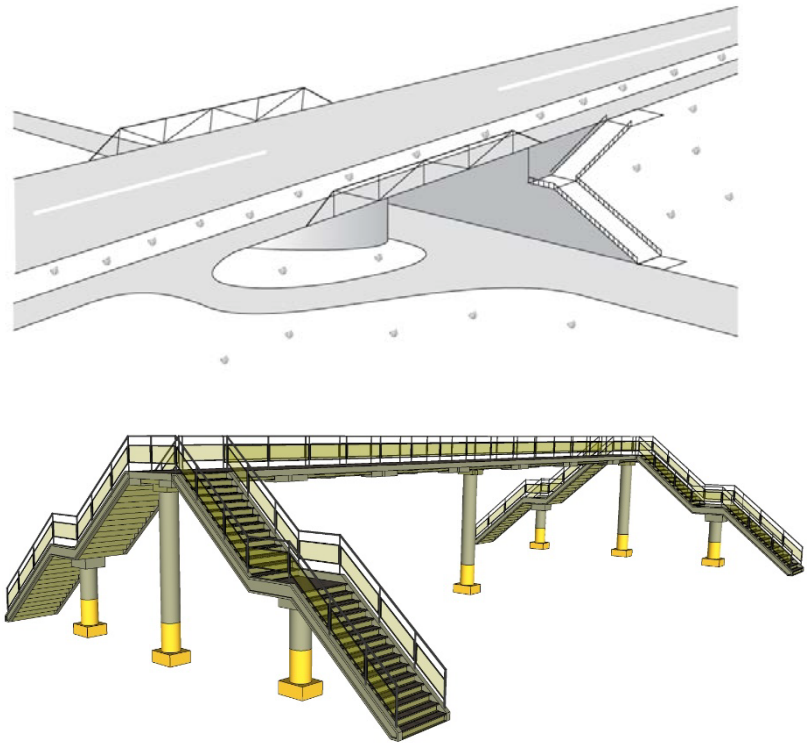


Abb. 8.67 Beispiel Unterführung und Überführung (Bilder: [VSS 2006], [Studio Mugen-johncel, http://sketchup.google.com/3dwarehouse/ details?mid=188023306d7a435ff6102056e69e77b3])

Abb. 8.68 Fussgängerquerung à niveau, signalisiert (Ausschnitt VISSIM)

8.2.3 Fortbewegung - Mechanische Anlagen

Die mechanischen Pendants zu Rampen und Treppen bilden Vertikallifts und Fahrtreppen. Bei der Bewältigung einer Höhendifferenz erfahren die Fussgänger mit Hilfe dieser Anlagen im Wesentlichen eine Komfortverbesserung und eine Verkürzung der Reisezeit in vertikaler Richtung.

Als Parameter einer einzelnen Fahrtreppe werden vorab deren Geschwindigkeit sowie die Paletten- oder Stufenbreite genannt. Die Palettenbreite bezeichnet ein einzelnes „Stufenelement“ mit einer Breite ab 800 mm. Die Geschwindigkeiten von Fahrtreppen liegen zwischen 0.5 m/s und vereinzelt 0.75 m/s, wobei aus Leistungsgründen Geschwindigkeiten bis zu 0.65 m/s empfohlen werden. Zusätzlich hat die Länge der Fahrtreppe einen Einfluss. Für die Benutzung durch Behinderte soll ein Geschwindigkeitslimit von 0.5m/s allerdings nicht überschritten werden. Ein eher sekundärer Parameter ist der Steigungs-

winkel, welcher zwischen 27.3° und 35° liegt. Ein Winkel von 27.3° entspricht in etwa der Steigung einer ergonomisch zweckmässigen festen Treppe.

Fahrsteige kommen meist in ausgedehnten Korridoren innerhalb von Gebäuden (Beispiel: Passagierterminal am Flughafen) zum Einsatz, um den Komfort zu steigern. Bewegen sich die Fluggäste selbst ebenfalls auf diesen Anlagen, so verkürzen sich zudem die Wegezeiten spürbar. In Bauweisen mit Längsneigung bis max. 15° gestatten sie die gleichzeitige Beförderung von Personen und Warentransportwagen in Einkaufszentren. Die Stufenelemente befinden sich im benutzbaren Bereich auf einheitlichem Niveau. Auch bei Fahrsteigen sind Geschwindigkeit und nutzbare Breite die ausschlaggebenden Parameter. Aufgrund der geringen Steigungen ist der Höhenunterschied nicht zentral. Die Länge einer solchen Anlage lässt sich im Gegensatz dazu jedoch als zusätzlicher wichtiger Parameter betrachten.

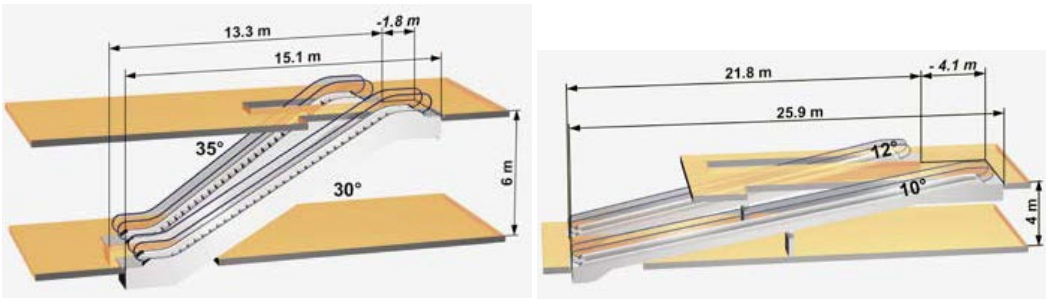


Abb. 8.69 Fahrtreppen (links) und Fahrsteige (rechts), (Quelle: Schindler Aufzüge AG)

Eine dritte mechanische Anlage ist der Vertikallift. Dieser wird technisch unterschiedlich ausgeführt („Standardlift“, Paternoster,…), das Prinzip ist aber identisch: Die Höhenunterschiede werden auf einer minimalen horizontalen Länge überwunden (in der Regel vertikal). Zu betrachtende Parameter sind die für Personen nutzbare Fläche innerhalb des Lifts, die Vertikalgeschwindigkeit sowie die Förderhöhe.

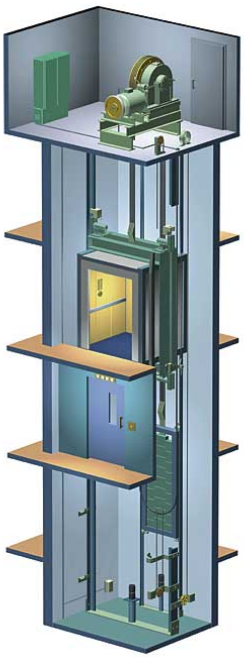


Abb. 8.70 Schema Liftanlage (Quelle: Kone AG)

8.2.4 Anlagen des Aufenthalts

Zu den Knoten mit Aufenthaltsfunktion gehören Plätze, Warte- und Stauflächen. Auf einem Platz als zusammenhängendem, grossflächigem, ebenem Bereich im urbanen Umfeld tritt eine Vielzahl von Aktivitäten auf: Verbindung zu öffentlichen Verkehrsmitteln, Ort für öffentliche Veranstaltungen, Raum für Erholungspausen, Spielfläche, Standort für kleine Verkaufseinrichtungen, etc. Dabei ist ein Platz meist gleichzeitig auch Verbindungsglied zwischen den zuführenden Wegelementen. Eine Dimensionierung ist also unter Berücksichtigung beider funktionaler Aspekte (Aufenthalt → Verknüpfung) durchzuführen.

Abb. 8.71 Beispiel Platz: Limmatplatz Zürich (Bild: Rieser 2009)

Die beiden zuletzt genannten Elemente unterscheiden sich durch die Motivation des Aufenthalts. Während Warteflächen von Fussgängern aufgrund eigener Entscheidungen genutzt werden, z. B. an einer ÖV-Haltestelle, können sie an bestimmten Orten des Bewegungsraums aufgrund von hohem (FG-) Verkehrsaufkommen oder infolge vorgängiger Bedienung anderer Personen zu einem unfreiwilligen Stopp oder stark eingeschränkter Fortbewegung gezwungen werden.

Warteflächen können auch Übergangsbereiche zwischen einer Fussgängeranlage und anderen Transportmitteln sein. Fussgänger verbringen eine bestimmte Zeitdauer in diesem Bereich, einzig um anschliessend das Verkehrsmittel zu wechseln. Das Hauptkriterium bildet hier die Personendichte im Wartebereich. Diese Warteflächen sind gleichzeitig Teil des Fussgängersystems und jener des öffentlichen Verkehrs.

Abb. 8.72 Beispiel Wartefläche: Einsteiger auf einem Perron (Bild: IVT)

Stauflächen innerhalb des Systems FG-Anlage existieren immer dort, wo Fussgänger auf ein anderes Anlagenelement übergehen wollen. Da im anschliessenden Anlagenelement die Kapazität geringer seien kann als diejenige, auf dem sich der FG befindet, kann ein Rückstau entstehen. Gegenüber der ungehinderten Bewegung ist nun der Zeitverlust das entscheidende Kriterium. Notwendig ist auch hier stets die Betrachtung der Personendichte im Staubereich. So kann sichergestellt werden, dass es nicht zu sicherheitskriti-

schen Situationen kommt. Die Wartedichte ist damit gleichermassen Dimensionierungs- und Kontrollgrösse.

8.2.5 Anlagen der Verknüpfung

Anlagen, welche eine Verknüpfungsfunktion haben, sind das Zwischenelement zwischen Anlagen bzw. Elementen, welche in den vorherigen Kapiteln beschrieben wurden. Dazu gehören Querschnittsänderung, Türe, Schleusen, Drehsperren und Drehkreuze sowie Karusseltüren. Die Länge dieser Anlagen ist in Gehrichtung betrachtet i.d.R. vernachlässigbar klein gegenüber ihrer Breite.

Die einfachste Form einer Verknüpfung zwischen zwei Kanten ist die Querschnittsänderung. Ein Gehbereich mit konstanter Breite erfährt bspw. aufgrund von Hindernissen, Sicherheitsabständen zu Einbauten oder des Verlaufs von seitlich begrenzenden Wänden eine unvermittelte Reduktion oder Aufweitung der nutzbaren Gehflächenbreite. Dadurch kommt es unvermittelt zur Änderung der Leistungsfähigkeit.

Wenn Türen nicht dauerhaft geöffnet sind, behindern sie nebst der generellen veränderten Durchlassfähigkeit den Personenfluss zusätzlich. Dies zeigt sich in Form einer Verzögerung bis zur vollständigen Freigabe des passierbaren Querschnitts.

Elemente der Zugangs- (Schleuse, Drehsperre) oder Ausgangskontrolle (Drehkreuz) regulieren den Fluss ein- und ausströmender Personen einer komplexeren Einrichtung, wie bspw. einer Metrostation. Karusseltüren (oder auch Drehtüren) sind relativ aufwendige, mechanisierte Verknüpfungsanlagen mit speziellen Eigenschaften bezüglich des Personenflusses.

Abb. 8.73 Beispiele Drehsperre (SITEC P5000), Drehkreuz (Stadlmayer MPT33) und Karusselltür (Dorma KTV 4), v.l.n.r.

8.3 Normen und Handbücher

8.3.1 Überblick

In der allgemeinen Einleitung wurde ausgeführt, dass der Fussgängerverkehr hinsichtlich Leistungsfähigkeit und Bemessung sowohl im Inland wie im Ausland erst ansatzweise normiert ist. Die dennoch bereits bestehenden Normen und Handbücher sind in diesem Kapitel zusammengestellt, insbesondere jene mit indirektem Bezug zum vorliegenden Thema.

8.3.2 Schweizerische Normen

In der Schweizer Norm werden Begriffe, Grundlagen und Grundsätze für die Planung und Projektierung der in Abb. 8.64 dargestellten mechanischen und nicht-mechanischen Anlagen des Fussgängerverkehrs definiert. Für Anlagen des Aufenthalts und der Verknüpfung fehlen diese weitestgehend. In Tab. 8.42 sind die bestehenden Schweizer Normen zu Fussgängeranlagen aufgelistet.

Die Verkehrsqualität wird in der SN 640017a mit einem 6-stufigen Verfahren bewertet. Dabei wird zum einen der Verkehrszustand qualitativ formuliert (vgl. Tab. 8.60) und zum anderen werden Bewertungsgrössen als Masse für die Verkehrsqualität definiert sowie Werten pro Qualitätsstufe zugeordnet. Diese Stufen gelten nach SN 640017a für alle Elemente von Verkehrsanlagen. Als Kriterien der Verkehrsqualität können, abhängig vom jeweiligen Element nach SN 640017a, gewählt werden:

- Geschwindigkeiten
- Reisezeiten
- Überholmöglichkeiten
- Wartezeiten
- Auslastungsgrad
- Anzahl Halte
- oder Kombination mehrerer
- weitere

Die SN 640017a geht neben der Verkehrsqualität auch auf die Bestimmung der Leistungsfähigkeit ein. Sie richtet sich im Allgemeinen nach den Spitzenverkehrsstunden. Für die Beurteilung können aber auch verschiedene andere Verkehrsstärken als massgebend bezeichnet werden:

- Massgebender stündlicher Verkehr, ermittelt gemäss SN 640016a, Massgebender Verkehr [VSS 1998a]
- Spitzenstunden des Verkehrs
- Vierfacher Wert der Spitzenviertelstunde

Welcher Wert für die Beurteilung zweckmässig ist, ist je nach Element der Verkehrsanlage verschieden und wird in den Einzelnormen festgelegt.

8.3.3 Ausländische Normen

In der ausländischen Literatur finden sich keine formellen Normen mit direktem Bezug zum Fussgängerverkehr. Es werden jedoch Handbücher eingesetzt, welche dem Charakter der Schweizer Normen gleichen. Diese werden als Empfehlungen und Richtlinien betrachtet.

8.3.4 Ausländische Handbücher

In Deutschland wurde das Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen [FGSV 2005] herausgegeben, welches in einheitlicher Form die Zusammenhänge zwischen Verkehrsbelastung und Qualität des Verkehrsablaufs von Strassenverkehrsanlagen darstellt. Im HBS werden zudem die Kapazitäten der Anlagen benannt. Die Belastungen unterhalb dieser Kapazitäten werden aufgrund definierter Qualitäten des Verkehrsablaufs hergeleitet. Die im HBS vorgestellten Verfahren für Anlagen des Fussgängerverkehrs beruhen auf Erkenntnissen aus einzelnen Studien über besonders grosse und gerichtete Fussgängerverkehrsströme. Eine Grundlage dazu war [Weidmann 1993].

Ein weiteres bedeutendes Handbuch ist das in der USA erarbeitete Highway Capacity Manual. Die aktuellste Fassung ist das HCM von 2010 [TRB 2010]. Es enthält Konzepte, Vorgaben und Berechnungsverfahren für die Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität verschiedener Elemente des Strassenverkehrs, darunter auch von Anlagen des Fussgängerverkehrs.

8.3.5 Zusammenfassung

Die genannten Normen und Handbücher sowie weitere bisher nicht ausdrücklich genannte Normen und Empfehlungen, die sich mit dem Fussgängerverkehr und dessen Anlagen beschäftigen, sind in der folgenden Tab. 8.42 aufgelistet.

Tab. 8.42 Normen und Handbücher zu Fussgängeranlagen

Land	**Normen, Handbücher**	
Schweiz	SN 640016a	Massgebender Verkehr
	SN 640017a	Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit Grundlagennorm
	SN 640024a	Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit Knoten mit Kreisverkehr
	SN 640070	Fussgängerverkehr, Grundnorm
	SN 640238	Fussgänger- und leichter Zweiradverkehr Rampen, Treppen und Treppenwege
	SN 640240	Querungen für den Fussgänger- und leichten Zweiradverkehr Grundlagen
	SN 640241	Fussgängerverkehr; Fussgängerstreifen
	SN 640246	Querungen für den Fussgänger- und leichten Zweiradverkehr Unterführungen
	SN 640247	Querungen für den Fussgänger- und leichten Zweiradverkehr Überführungen
	SR 704	Bundesgesetz über Fuss- und Wanderwege (FWG)
Deutschland	DIN EN 115	Sicherheit von Fahrtreppen und Fahrsteigen - Teil 1: Konstruktion und Einbau
	DIN EN 115	Sicherheit von Fahrtreppen und Fahrsteigen - Teil 2: Regeln für die Erhöhung der Sicherheit bestehender Fahrtreppen und Fahrsteige
	EFA	Empfehlungen für Fussgängerverkehrsanlagen
	HBS	Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen
USA	HCM	Highway Capacity Manual
	TCQSM	Transit Capacity and Quality of Service Manual
International / EU	DIN EN 13816	Transport – Logistik und Dienstleistungen; Öffentlicher Verkehr Definition, Festlegung von Leistungszielen und Messung der Servicequalität
	DIN EN 15140	Öffentlicher Personennahverkehr – Grundlegende Anforderungen und Empfehlungen für Systeme zur Messung der erbrachten Dienstleistungsqualität
	Maschinenrichtlinie 98/37 EG	

Im Anhang sind zudem die aus diesen Werken abgeleiteten Begriffsdefinitionen für mechanische und nicht-mechanische Anlagen des Fussgängerverkehrs zusammengestellt. Ausserdem finden sich dort wichtige Begriffsdefinitionen zur Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität der SN 640017a [VSS 1998b].

8.4 Literaturauswertung zur Leistungsfähigkeit

8.4.1 Vorbemerkung

In der Literaturauswertung werden die unterschiedlichen Typen von Fussgängeranlagen getrennt voneinander dargestellt. Sie folgt zwecks besserer Nachvollziehbarkeit nicht den Quellen, sondern der gezeigten Anlagensystematik. Substantielle Beiträge zu diesem und den folgenden Kapiteln stammen insbesondere aus früheren Arbeiten des IVT [Weidmann 1993], [Buchmüller 2007], [Weidmann 2010].

8.4.2 Ebene Gehflächen

Einflüsse auf die Fussgängergeschwindigkeit

Die Durchschnittsgeschwindigkeit auf ebenen Fussgängeranlagen liegt bei 1.34 m/s (4.83 km/h) und stimmt gut mit dem Energieminimum der Gehbewegung überein. Sie wird bestimmt durch die Eigenschaften der Fussgänger, die Begleitumstände sowie die Anlagenparameter. In diesem Abschnitt werden einige der folgenden Abhängigkeiten quantitativ dargestellt. Die ebenfalls auftretenden kulturellen und mentalen Einflüsse werden dagegen nicht vertieft.

Tab. 8.43 Einflüsse auf die Durchschnittsgeschwindigkeit von Fussgängern

Eigenschaften	Begleitumstände	Anlagenparameter
Geschlecht Alter Grösse Kulturelle Einflüsse Gesundheitszustand und Erholungsgrad Charakterliche Eigenarten / Temperament / Stimmungslage Belastung durch Gepäck	Länge des Weges Verkehrszweck Tageszeit Witterung/Klima Länge des Weges Fussgängerdichte Entgegengerichtete Fussgängerströme	Steigung von Rampen Steigung und Schrittmasse von Treppen Zustand der Oberfläche Attraktivität der Umgebung Strassenbelastung bei Fahrbahnüberquerungen

Eigenschaften der Personen

Die Gehgeschwindigkeit von Männern ist mit 1,41 m/s im Mittel um 10,9 % höher als jene von Frauen mit 1,27 m/s. Die höchste Gehgeschwindigkeit erreicht der Mensch analog zur körperlichen Leistungsfähigkeit mit etwa 20 Jahren. Sie bildet sich besonders nach dem fünfzigsten Altersjahr sukzessive zurück. Eine 80-jährige Person erreicht lediglich noch 50 % der durchschnittlichen Geschwindigkeit. Dies ist insbesondere bei der zeitlichen Dimensionierung von Umsteigeanlagen zu berücksichtigen.

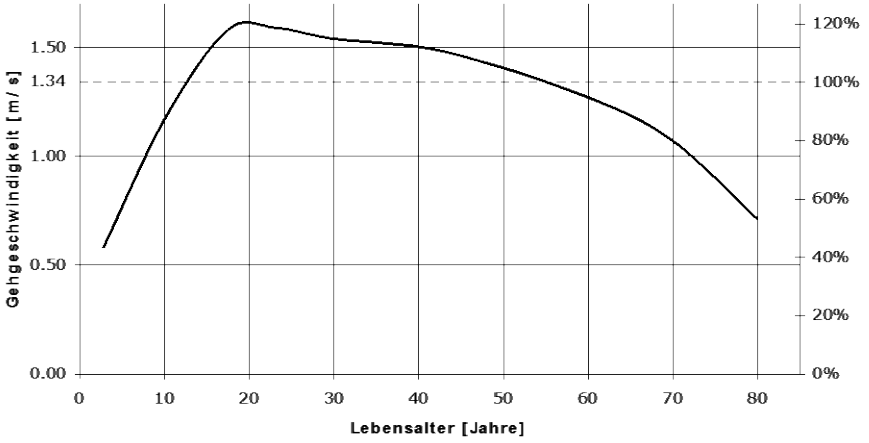


Abb. 8.74 Verlauf der Fussgängergeschwindigkeit in Funktion des Lebensalters [Weidmann, 1993]

Schrittweite und Gehgeschwindigkeit sind korreliert, wie Abb. 8.75 zeigt.

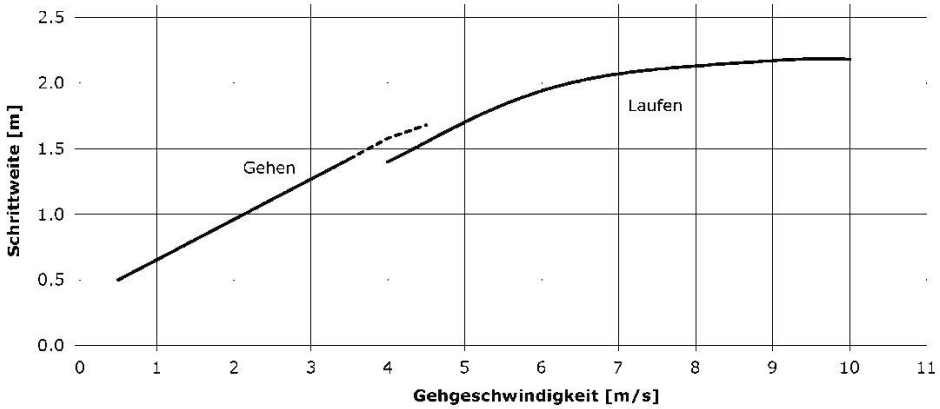


Abb. 8.75 Abhängigkeit zwischen Schrittweite und Geschwindigkeit beim Gehen (linke Kurve) und beim Laufen (rechte Kurve)

Die Geschwindigkeit eines grossen Fussgängers muss daher höher als jene einer kleinen Person sein. Dies bestätigt [Diekmann 2011], wobei die Personen aus beobachtungstechnischen Gründen in nur drei Grössenklassen eingeteilt sind.

Tab. 8.44 Beobachtete mittlere Fussgängergeschwindigkeiten in den Schweizer Städten Zürich, Bern, Genève und Lugano in Funktion der Körpergrösse; Originalwerte nach [Diekmann 2011] und Normierung auf Durchschnittsgeschwindigkeit

Körpergrösse	Geschwindigkeit [m/s] Originalmessung	Definition der Körpergrösse bei den Beobachtungen
Klein	1.319	Männer < 1.70 m; Frauen < 1.65 m
Mittel	1.386	Männer 1.70 – 1.85 m; Frauen 1.65 – 1.75 m
Gross	1.474	Männer > 1.85 m; Frauen > 1.75 m

Begleitumstände der Bewegung

Mit 1.61 m/s ist der Nutzverkehr am schnellsten, gefolgt vom Pendlerverkehr mit 1.49 m/s, dem Einkaufsverkehr mit 1.16 m/s und dem Freizeitverkehr mit 1.10 m/s.

Aufgrund der physiologischen Leistungsfähigkeit und der Zusammensetzung der jeweiligen Fussgängergruppen ist die Fussgängergeschwindigkeit während der Morgenverkehrsspitze am höchsten, gefolgt von der Mittagszeit und der Abendverkehrsspitze. Während des Vormittags und am frühen Nachmittag dagegen liegen die Geschwindigkeiten tiefer.

Unter der Annahme, dass der Geschwindigkeitsmittelwert bei etwa 15°C auftritt, beträgt die Fussgängergeschwindigkeit bei 25°C nur noch etwa 92 % des Mittelwertes, während sie bei 0°C auf etwa 109 % ansteigt.

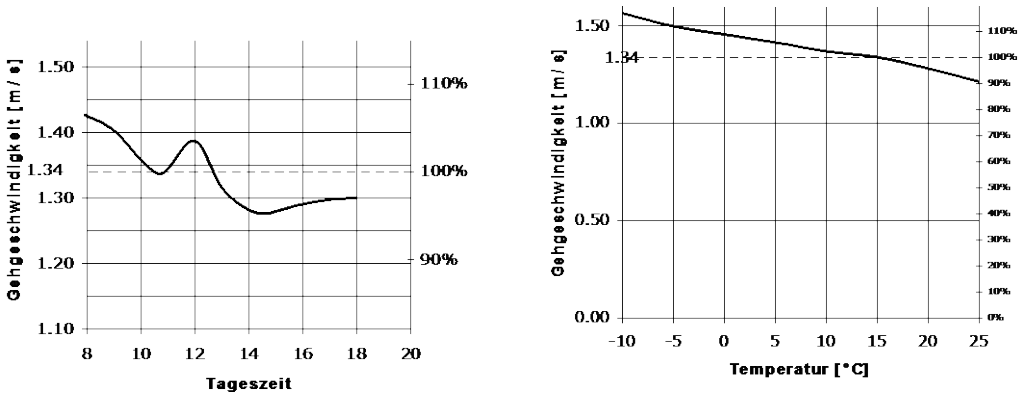


Abb. 8.76 Geschwindigkeitsverlauf im Tagesgang (links) und Fussgängergeschwindigkeit in Funktion der Umgebungstemperatur (rechts); [Weidmann, 1993]

Anlagenparameter

Die Horizontalgeschwindigkeit auf Rampen ist stark neigungsabhängig. Sie fällt bei 10% Steigung auf 1.19 m/s, in einem Gefälle von 10 bis 15 % steigt sie leicht auf 1.40 m/s.

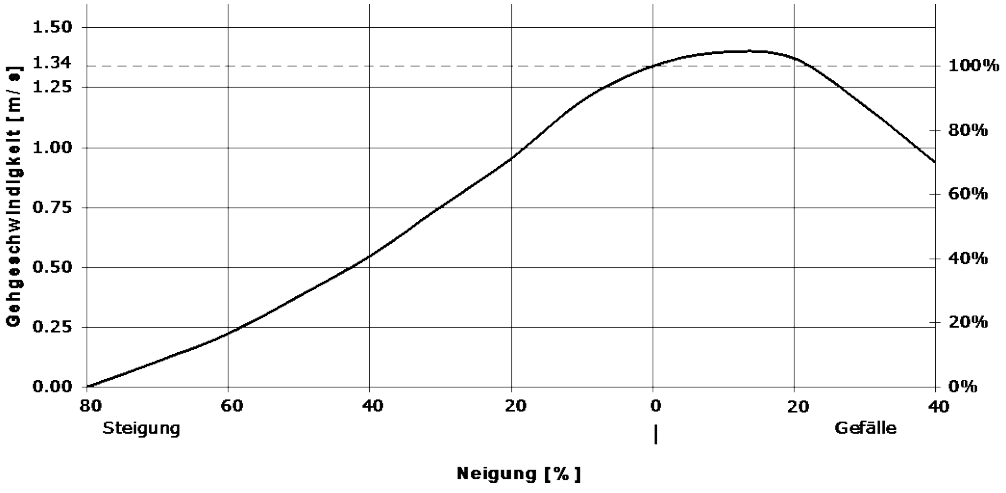


Abb. 8.77 Geschwindigkeit der Fussgänger in Funktion der Gehwegneigung; [Weidmann, 1993]

Tab. 8.45 Mittlere Gehgeschwindigkeiten auf geneigten Gehflächen [Weidmann, 1993]

Neigung	Gehrichtung					
	Aufwärts			Abwärts		
	V [m/s]	V_{hor} [m/s]	V_{vert} [m/s]	V [m/s]	V_{hor} [m/s]	V_{vert} [m/s]
0%	1.34	1.34	0.00	1.34	1.34	0.00
5%	1.29	1.29	0.06	1.40	1.38	0.07
10%	1.20	1.19	0.12	1.41	1.40	0.14
15%	1.10	1.07	0.16	1.42	1.40	0.21

Die mittlere Horizontalgeschwindigkeit auf Treppen liegt aufwärts bei 0.61 m/s und abwärts bei 0.69 m/s, was etwa 2.1 Schritten pro Sekunde entspricht. Verglichen mit der Geschwindigkeit in der Ebene ist das Treppensteigen um 51 % langsamer. Die Vertikalgeschwindigkeit beträgt bei üblichen Treppensteigungen aufwärts 0.31 m/s und abwärts 0.35 m/s.

Tab. 8.46 Mittlere Gehgeschwindigkeiten auf Treppen [Weidmann, 1993]

	$v_{horizontal}$ [m/s]	$v_{vertical}$ [m/s]	f [Stufen/s]
Aufwärts	0.610	0.305	1.97
Abwärts	0.694	0.347	2.24

Mit zunehmender Treppenlänge nimmt die Gehgeschwindigkeit ab. Längere Treppen müssen daher mit Zwischenpodesten versehen und/oder mit Fahrtreppen und Liften ergänzt werden. Für übliche Gehdistanzen in der Horizontalen ist dagegen kein Geschwindigkeitseinfluss zu erkennen; vorbehalten bleiben sehr alte Menschen.

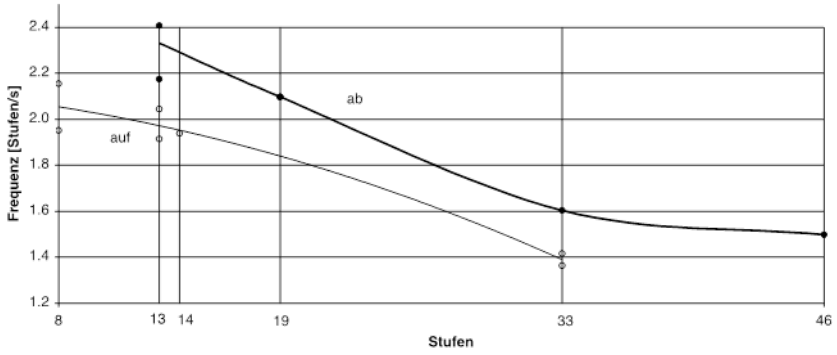


Abb. 8.78 Abnahme der Gehgeschwindigkeit auf langen Treppen

Eine unattraktive Umgebung, welche beispielsweise durch einen intensiven Individualverkehr mit Lärm- und Geruchsbelästigung gekennzeichnet ist, erhöht die Fussgängergeschwindigkeit [Atzwanger 1995]. Demgegenüber konnte gezeigt werden, dass die Fussgängergeschwindigkeit in stark begrünten, als angenehm empfundenen Strassen reduziert ist. Man führt dies auf die grundsätzlich positive Bewertung begrünter Räume, die sogenannte Phytophilie, zurück [Kamelger 2000].

Fussgängerdichte

Je größer die Geschwindigkeit ist, desto größer ist dieser Platzbedarf in Längs- und Querrichtung. Im Gegenzug verringert sich die Geschwindigkeit mit wachsender Fussgängerdichte. Bis zu einer Verkehrsdichte von etwa 0.5 P/m^2 ist beim Gehen in der Ebene

noch kaum ein Geschwindigkeitsabfall feststellbar. Der entscheidende Verlust erfolgt aber bereits zwischen etwa 0.5 und 2.0 P/m^2. Bei 5.4 P/m^2 kommt jegliche Fussgängerbewegung zum Erliegen.

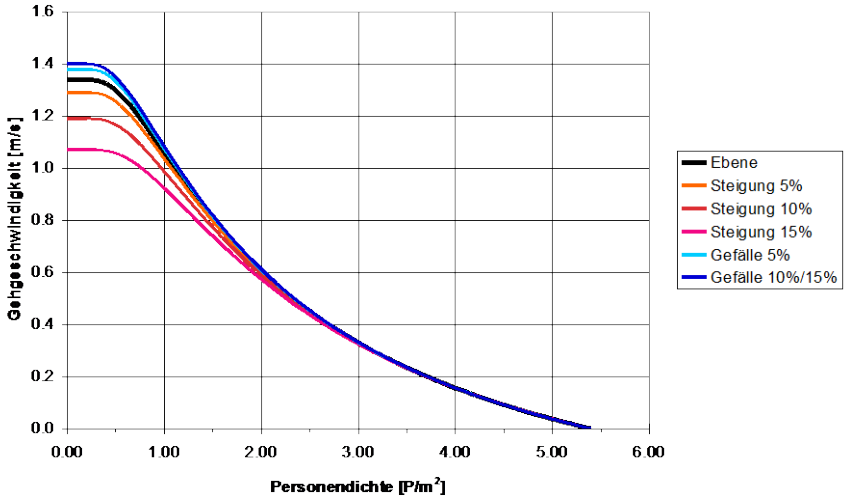


Abb. 8.79 Gehgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Personendichte für horizontale und geneigte Gehflächen [Buchmüller 2008].

Die Abhängigkeiten von Geschwindigkeit, Verkehrsdichte und Verkehrsmenge gleichen jenen des motorisierten Individualverkehrs und ergeben analoge Kurvenverläufe. Der Zusammenhang zwischen der Dichte und der Fussgängergeschwindigkeit lässt sich damit allgemein mit der Formel von Kladek beschreiben.

$$v(D) = v_f \cdot \left[1 - e^{\left(-\gamma \cdot \left\{\frac{1}{D} - \frac{1}{D_{max}}\right\}\right)}\right] \qquad (51)$$

wobei

v(D)	Fussgängergeschwindigkeit abh. von einer bestimmten Dichte	[m/s]
v_f	Fussgängergeschwindigkeit bei voller Freizügigkeit	[m/s]
γ	Eichkonstante	[-]
D	Fussgängerdichte	[P/m^2]
D_{max}	Fussgängerdichte, bei welcher eine Bewegung unmöglich wird	[P/m^2]

Für die Bewegung auf einer Ebene gelten folgende Parameter:

v_f	1.34 m/s
γ	1.913 P/m^2
D_{max}	5.4 P/m^2

Dabei ist γ eine empirisch bestimmte Konstante. Daraus ergibt sich die obige Formel zu:

$$v(D) = 1.34 \cdot \left[1 - e^{\left(-1.913 \cdot \left\{\frac{1}{D} - \frac{1}{5.4}\right\}\right)}\right] \qquad (52)$$

Empirische Untersuchungen bestätigen, dass dieser Zusammenhang für durchschnittliche europäische und nordamerikanische Verhältnisse zutreffend ist und somit angewandt werden kann [Seyfried 2005].

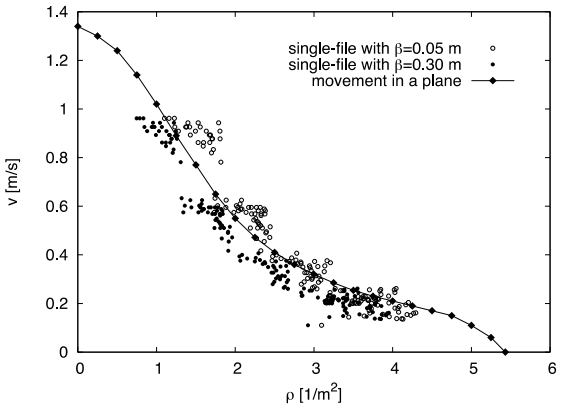


Abb. 8.80 Empirischer Zusammenhang zwischen Fussgängerdichte und Geschwindigkeit und Vergleich mit gezeigter Formel [Seyfried 2005].

Die Geschwindigkeit auf Treppen reagiert toleranter auf die Fussgängerdichte als in der Ebene und nimmt erst zwischen 1.0 und 3.0 P/m^2 spürbar ab. Offensichtlich sind infolge der geringeren Geschwindigkeiten auch kleinere dynamische Bewegungsräume nötig. Die obere Grenze der Fussgängerbewegung liegt ebenfalls bei etwa 5.4 P/m^2.

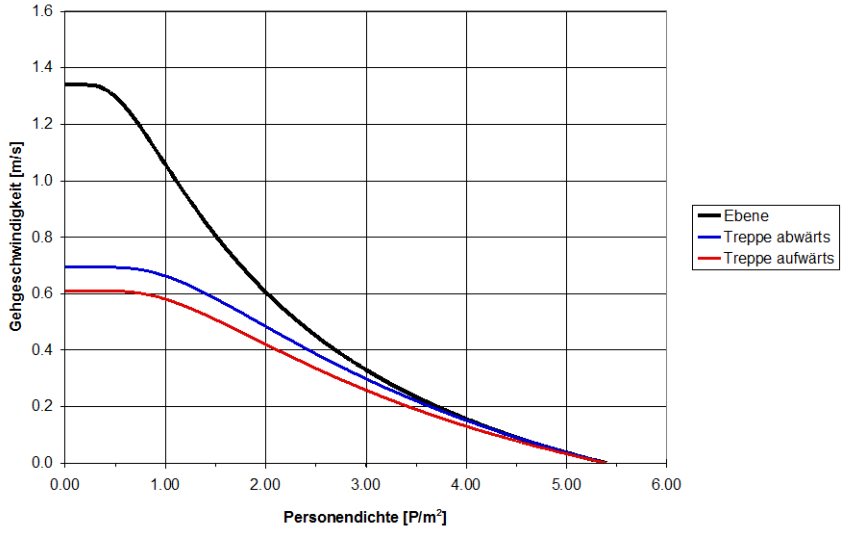


Abb. 8.81 Abhängigkeit der Fussgängergeschwindigkeit von der Fussgängerdichte auf Treppen, verglichen mit jener in der Ebene [Buchmüller 2007].

Für die Geschwindigkeit auf Treppen in Funktion der Fussgängerdichte gilt bei Aufwärtsbewegungen:

$$v(D)_{h,auf} = 0.610 \cdot \left[1 - e^{(-3.722 \cdot \left\{\frac{1}{D} - \frac{1}{5.4}\right\})}\right] \qquad (53)$$

wobei

$v(D)_{h,auf}$	Horizontalkomponente der Fussgängergeschwindigkeit bei bestimmter Dichte beim Aufwärtsgehen auf Treppen	[m/s]
D	Fussgängerdichte	[P/m^2]

Bei der Abwärtsbewegung auf Treppen gilt die Formel:

$$v(D)_{h,ab} = 0.694 \cdot \left[1 - e^{(-3.802 \cdot \left\{\frac{1}{D} - \frac{1}{5.4}\right\})}\right] \quad (54)$$

wobei

$v(D)_{h,ab}$	Horizontalkomponente der Fussgängergeschwindigkeit bei bestimmter Dichte beim Abwärtsgehen	[m/s]
D	Fussgängerdichte	[P/m^2]

Streuung der Geschwindigkeiten

Die Geschwindigkeiten der einzelnen Fussgänger zeigen eine Normalverteilung um den Mittelwert. Die Standardabweichung σ beträgt 19.3 % des Mittelwertes oder 0.26 m/s. Die obere und untere 3 σ-Grenzen von 0.56 m/s und 2.12 m/s stimmen gut mit den Grenzen der natürlichen Bewegung überein. In Einzelfällen – namentlich im Berufsverkehr und in der Umgebung öffentlicher Verkehrsmittel – kann die Verteilung eine positive Schiefe aufweisen. Der Median der Geschwindigkeit liegt in diesen Fällen bei 1.2 m/s [Buchmüller 2007].

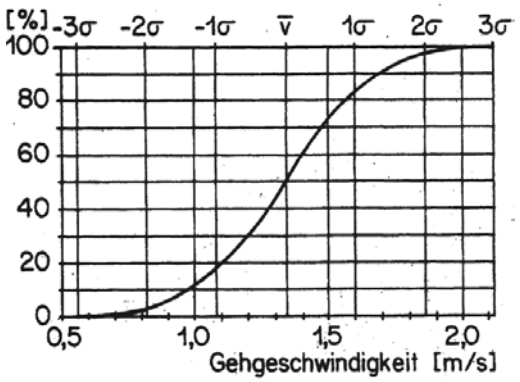


Abb. 8.82 Summenkurve der Fussgängergeschwindigkeiten. Ablesebeispiel: 30% der Fussgänger sind langsamer als 1.2 m/s [Weidmann 1993].

Definition der Leistungsfähigkeit

Die Anzahl der Fussgänger, welche pro Zeiteinheit einen gegebenen Querschnitt passieren können, wird als Leistungsfähigkeit bezeichnet [Weidmann 2010]:

$$L = \frac{F}{t} = D \cdot B_N \cdot v(D)_h \quad (55)$$

wobei

L	Leistungsfähigkeit	[P/s]
F	Anzahl Fussgänger	[P]
t	Durchströmzeit	[s]
D	Fussgängerdichte	[P/m^2]
B_N	Nutzbare Fusswegbreite	[m]
$v(D)_h$	Horizontalkomponente der Fussgängergeschwindigkeit	[m/s]

Die Leistungsfähigkeit einer eindimensional genutzten Fussgängeranlage hängt linear von ihrer nutzbaren Breite ab. Die spezifische Leistungsfähigkeit L_S ist damit die Leistungsfähigkeit eines Anlagestreifens mit der Einheitsbreite von einem Meter und kann als standardisiertes Mass verwendet werden.

$$L_S = D \cdot v(D)_h \qquad (56)$$

wobei

L_S	spezifische Leistungsfähigkeit	[P/sm]
D	Fussgängerdichte	[P/m^2]
$v(D)_h$	Horizontalkomponente der Fussgängergeschwindigkeit	[m/s]

Damit vereinfacht sich die Leistungsdimensionierung zu:

$$F = L_S \cdot B_N \cdot t \qquad (57)$$

wobei

F	Anzahl Fussgänger	[P]
L_S	spezifische Leistungsfähigkeit	[P/sm]
B_N	Nutzbare Fusswegbreite	[m]
t	Durchströmzeit	[s]

Leistungsfähigkeit in Funktion der Geschwindigkeit und Dichte

Im Unterschied zur Hydraulik ist die Fussgängergeschwindigkeit somit eine Funktion der Dichte. Das Maximum der Leistungsfähigkeit wird nicht bei höchster Geschwindigkeit erreicht; höchste Fussgängergeschwindigkeit und maximale Leistungsfähigkeit schliessen sich vielmehr gegenseitig aus.

Bei der Leistungsauslegung von Fussgängeranlagen interessieren je nach Aufgabenstellung die drei folgenden Zusammenhänge:

1. Geschwindigkeit in Funktion der Fussgängerdichte
2. Leistungsfähigkeit in Funktion der Fussgängerdichte
3. Leistungsfähigkeit in Funktion der Geschwindigkeit

Ist die Funktion 1 bekannt, so lassen sich daraus die Funktionen 2 und 3 eindeutig ableiten. Legt man die gezeigten Abhängigkeiten zugrunde, so lässt sich die spezifische Leistungsfähigkeit allgemein wie folgt formulieren:

$$L_S = \frac{v(D)}{\left[\frac{1}{D_{max}} - \frac{ln\left(1-\frac{v(D)}{v_f}\right)}{\gamma}\right]} \qquad (58)$$

wobei

L_S	spezifische Leistungsfähigkeit	[P/sm]
v(D)	Fussgängergeschwindigkeit abhängig von einer bestimmten Dichte	[m/s]
vf	Fussgängergeschwindigkeit bei voller Freizügigkeit	[m/s]
D_{max}	Fussgängerdichte, bei welcher eine Bewegung unmöglich wird	[P/m^2]
γ	Eichkonstante	[P/m^2]

Setzt man die entsprechenden Parameter ein, so erhält man für ebene Fussgängeranlagen:

$$L_S = \frac{v(D)}{\left[\frac{1}{5.4} - \frac{ln\left(1-\frac{v(D)}{1.34}\right)}{1.913}\right]} \qquad (59)$$

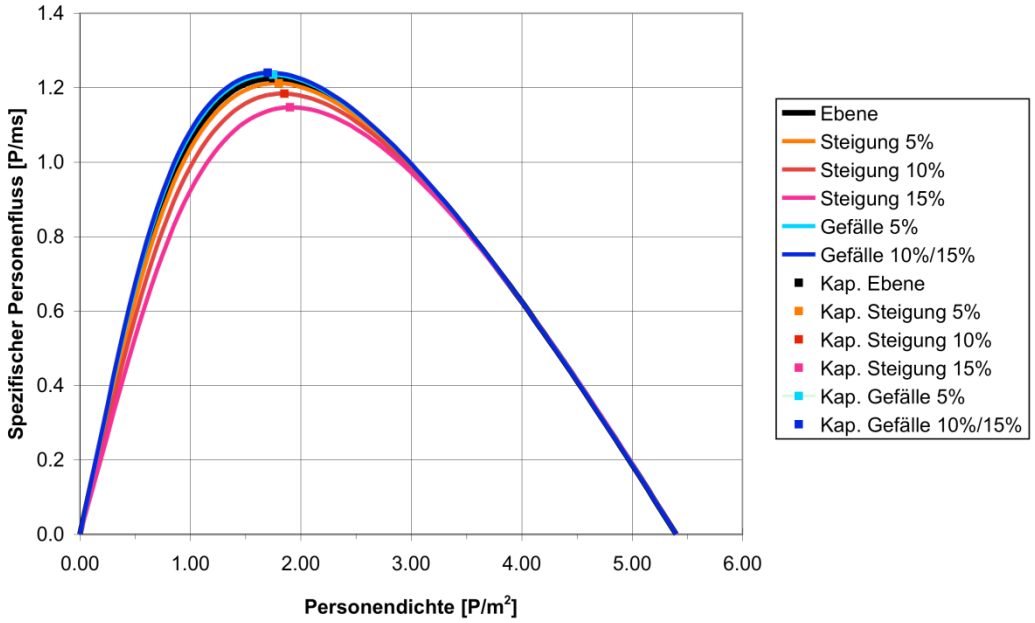


Abb. 8.83 Spezifische Leistungsfähigkeit für horizontale und geneigte Gehflächen in Funktion der Fussgängerdichte [Buchmüller 2008])

Nutzbare Breite

Die nutzbare Fusswegbreite B_N ergibt sich aus der Bruttobreite B_B abzüglich eines Verlustes B_H infolge von Wandeinflüssen oder Hindernissen:

$$B_N = B_B - n_H \cdot B_H \qquad (60)$$

wobei

B_B	Bruttobreite einer Fussgängeranlage	[m]
B_H	Verlustbreite infolge von Wandeinflüssen oder Hindernissen	[m]
n_H	Zahl der Begrenzungen des Fussweges, meist 2	[-]

Die Verlustbreite hängt von der Art der Begrenzung ab.

Tab. 8.47 Mindestabstände der Fussgänger von Wänden und Hindernissen; Mindestabstand entspricht der Verlustbreite bei der Berechnung der Leistungsfähigkeit [Weidmann 1993]

Art der Begrenzung	**Verlustbreite [m]**
Hauswände bei Trottoirs	0.45
Betonwand in Korridor	0.25
Metallwand in Korridor	0.20
Strassenränder bei Trottoirs (Abstand zu Fahrbahn)	0.35
Gartenzäune, Bepflanzungen	0.35
Hauswände	0.45
Schaufenster (Rücksicht auf stehende Fussgänger)	0.75
Stützen (punktuelle Hindernisse)	0.25-0.30
Platzmehrbedarf in Kurven	0.15

Für die Dimensionierung ebener Gehwege und Niveau ausgleichender Anlagen werden in [FGSV 2005] folgende seitliche Abstände für unterschiedliche Begrenzungen genannt (vgl. Tab. 8.48).

Tab. 8.48 Seitliche Abstände Bs bei unterschiedlichen Begrenzungen für ebene Gehwege und Niveauausgleichenden Anlagen (Rampen und Treppen) nach [FGSV 2005]

Art	**Abstände**	
	Gehwege [m]	**Rampen, Treppen [m]**
Strukturierte Wand ohne Vorsprünge	0.50	0.25
Wand mit Schaufenstern	1.00	0.50
Gartenzaun / Bepflanzung	0.60	0.60
Fahrbahn (Hochbord)	0.35	-
Handlauf	-	0.00

Damit reduziert sich die nutzbare Breite von Trottoirs oft erheblich.

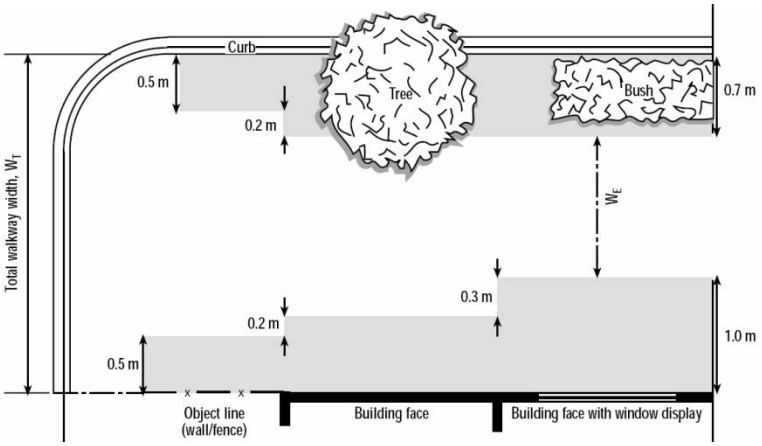
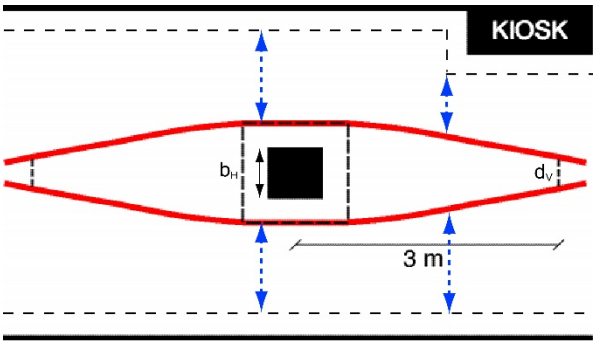


Abb. 8.84 Trottoir – Einschränkung der effektiv nutzbaren Gehbreite durch Hindernisse und Sicherheitsabstände (Bild: [TRB 2000])

Solchen Verengungen ist besonders bei Unterführungen, wo die Fussgängerdichte kurzzeitig relativ hoch ist, grosse Aufmerksamkeit zu schenken. Eine 8 m breite Unterführung weise ohne Möblierung und Schaukästen eine nutzbare Breite von 7.5 m (Wandabzug) auf. Sind auf beiden Seiten Schaukästen oder Infotafeln und Kioske vorhanden, beträgt die nutzbare Breite noch 6.5 m (statt Wandabzug von 2 x 0.25 m: Abzug für stehende Personen von 2 x 0.75 m). Sind zusätzlich in der Mitte Säulen von 40 cm Durchmesser vorhanden, so reduziert sich die Breite auf noch 5.5 m.



Hindernisbreite b_H	Breitenverlust d_V im Abstand von 3m
0.40 m	0.29 m
0.60 m	0.31 m
0.76 m	0.43 m

Verfügbare Nettoquerschnitte für Fussgängerströme

Abb. 8.85 Schattenwirkung“ von Hindernissen: Zusätzliche Verlustflächen (rot begrenzt) in Richtung der Personenströme [Weidmann 1993], [Buchmüller 2008].

Fundamentaldiagramm

Die Beziehungen zwischen Fussgängerfluss, Dichte und Geschwindigkeit lassen sich als Fundamentaldiagramm des Fussgängerverkehrs graphisch darstellen. Anhand dessen ist erkennbar, dass die maximale spezifische Leistungsfähigkeit von ca. 1.23 P/sm bei einer Geschwindigkeit von 0.70 m/s und einer Personendichte von 1.75 P/m^2 erreicht wird.

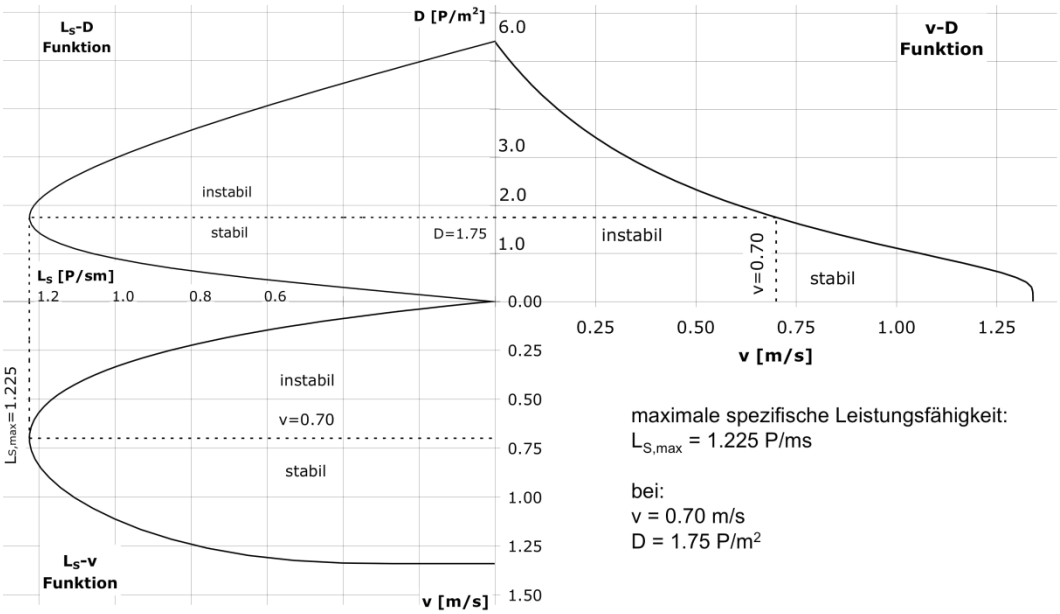


Abb. 8.86 Fundamentaldiagramm für ebene Gehflächen, Richtungsverkehr ([Weidmann 1993])

Dieses Fundamentaldiagramm und die zugrunde gelegten Abhängigkeiten basieren auf einer Vielzahl ausgewerteter Quellen (siehe Details in [Weidmann 1993]). Der Vergleich mit einigen empirischen Erhebungen, aber auch mit neuen Laborexperimenten zeigt, dass es das reale Leistungsverhalten realistisch und zuverlässig beschreibt. Mutmasslich ist der Verlauf im Bereich extremer Fussgängerdichten etwas zu korrigieren, doch sind diese Dichten für Anlagendimensionierung und –betrieb ohnehin irrelevant.

Tab. 8.49 Maximaler spezifischer Fussgängerfluss auf Gehsteigen in verschiedenen Quellen ([Buchmüller 2008])

	maximaler spezifischer Fussgängerfluss	**Geschwindigkeit bei maximalem Fluss**	**Fussgängerdichte bei maximalem Fluss**
	f [P/sm]	**v_{fmax} [m/s]**	**d_{fmax} [P/m2]**
Fruin	1.46	0.72	2.04
Older	1.26	0.64	1.93
Sarkar & Janardhan	1.52	0.73	2.09
Tanariboon et. al.	1.45	0.61	2.37
Wirkler & Elayadath	0.97	0.61	1.59
Weidmann	1.22	0.70	1.75

Leistungsverluste bei Gegenverkehr

Die bisherigen Betrachtungen bezogen sich stets auf den Richtungsverkehr. Bei Personenströmen im Gegenverkehr sind die zusätzlich auftretenden Beeinflussungen der einander ausweichenden Fussgänger zu berücksichtigen, welche zu einer Einbusse der Gehwegkapazität führen. Allerdings ist diese Reduktion durch die Selbstorganisation der Fussgängerströme mit ihrer Kolonnenbildung und der überwiegenden Rechtseinordnung vergleichsweise kleiner.

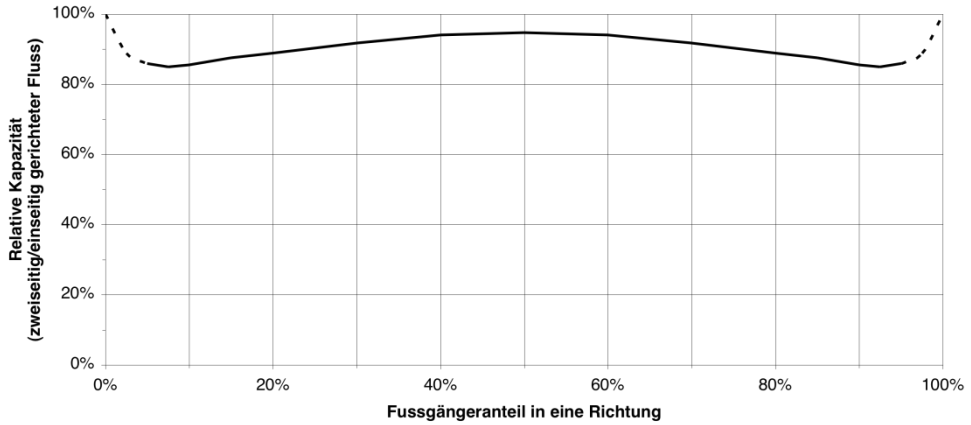


Abb. 8.87 Kapazitätseinbusse bei Personenströmen im Gegenverkehr in Abhängigkeit des Personenstroms in der einen Richtung (Weidmann 1993)

Im Falle ausgeglichener Richtungsanteile tritt eine kleine Kapazitätseinbusse von nur etwa 4 % ein. Diese nimmt zu, wenn der Anteil der schwächeren Richtung kleiner wird. Bei einem Anteil von 10 % steigt der Verlust auf 14.5 %. Dieses Phänomen lässt sich dadurch erklären, dass auch der Fluss in schwächerer Richtung unabhängig von der Zahl der Personen eine bestimmte minimale Gehwegbreite von etwa 0.8 bis 1.0 m beansprucht. Im Gegenzug steht relativ weniger Platz für die stärkere Richtung zur Verfügung.

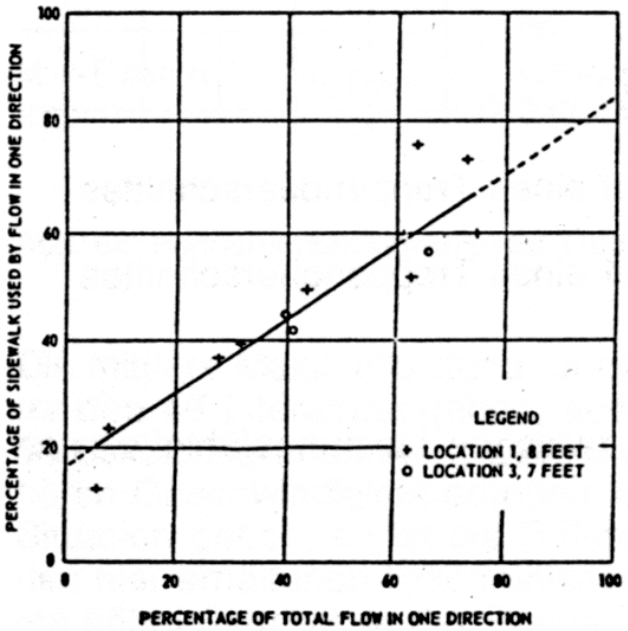


Abb. 8.88 Benötigte Breite (Anteil in %) für den Fussgängerfluss in eine Richtung in zweiseitig gerichteten Fussgängerflüssen [Navin 1969]

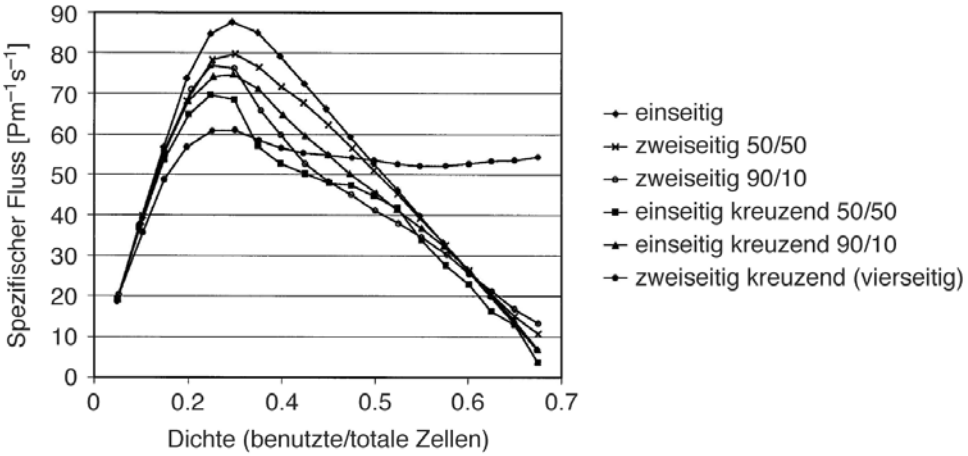


Abb. 8.89 Simulationsresultate einseitiger und verschiedener mehrseitiger Fussgängerflüsse ([Blue 2000] in [Buchmüller 2008].

Diese generalisierte Betrachtung ist nur bei grosszügigen Fussgängeranlagen von über etwa 5 m lichter Breite zulässig. Sind die örtlichen Verhältnisse enger, so ist für den schwächeren Verkehrsstrom jedenfalls ein minimaler rechnerischer Platzbedarf von 0.8 bis 1 m vorzusehen. Für den starken Strom steht entsprechend noch die lichte Breite abzüglich dieser Gegenspur und abzüglich des Wandeinflusses zur Verfügung.

Selbstorganisation, Kolonnenbildung

Bei entgegengesetzt gerichteten, linearen Fussgängerströmen erhöhter und hoher Dichte bilden sich auch ohne aktive ordnende Eingriffe richtungsgetrennte Fussgängerkolonnen heraus. Innerhalb dieser Kolonnen ist das Verhalten jeweils homogen, was auch den kleinen Leistungsverlust gegenüber einseitig gerichteten Fussgängerströmen erklärt. Man bezeichnet dieses Phänomen als Selbstorganisation. Die Einordnung in eine Kolonne hat für die Fussgänger insbesondere den Vorteil, dass sie damit die Kollisionswahrscheinlichkeit mit anderen Fussgängern und damit den Reaktionsbedarf minimieren können [Helbing 1997; Helbing 2002]. Grundsätzlich besteht bei der Ausbildung einer Fussgängerkolonne kein zwingender Grund zur Bevorzugung einer bestimmten Seite, doch beobachtet man in zahlreichen Ländern eine tendenzielle, wenn auch nicht ausschliessliche Bevorzugung der rechten Seite.

Mit wachsender Breite einer Verkehrsanlage erhöht sich die Zahl der sich bildenden Spuren. Die Spurzahl nimmt dabei linear zu, mit einer Spurbreite von durchschnittlich etwa 2.8 m respektive 0.36 Bahnen pro Meter Anlagenbreite [Helbing 1995]:

$$n_{Bahn} = 0.59 + 0.36m^{-1} \cdot b_{Weg} \qquad (61)$$

wobei

n_{Bahn}	Zahl der Bahnen	[-]
b_{Weg}	Anlagenbreite	[m]

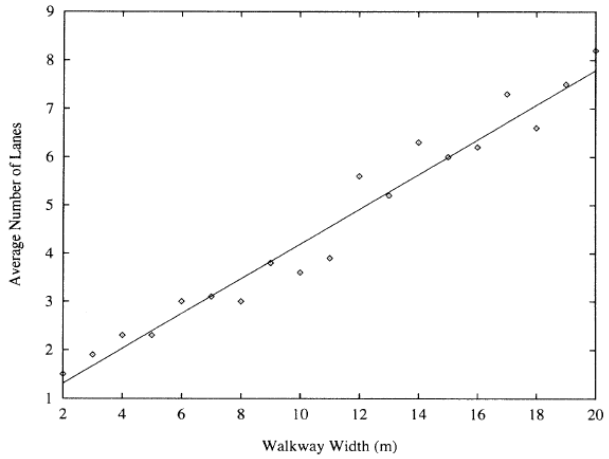


Abb. 8.90 Anzahl Fussgängerbahnen in Funktion der Anlagenbreite bei einer Fussgängerdichte von 0.3 P/m² [Helbing 1995].

8.4.3 Niveauausgleichende Anlagen

Die Leistungsfähigkeit in Funktion der Dichte folgt grundsätzlich demselben Verlauf wie in der Ebene, aber mit anderen Parametern [Weidmann 1993]:

Gehrichtung aufwärts:

$$L_{S,auf} = \frac{v(D)_{h,auf}}{\left[\frac{1}{5.4} - \frac{ln\left(1-\frac{v(D)_{h,auf}}{0.610}\right)}{3.722}\right]} \quad (62)$$

wobei

$L_{s,auf}$	spezifische Leistungsfähigkeit bei Treppen aufwärts	[P/sm]
$v(D)_{h,auf}$	Horizontalkomponente der Fussgängergeschwindigkeit bei bestimmter Dichte auf Treppen aufwärts	[m/s]

Gehrichtung abwärts:

$$L_{S,ab} = \frac{v(D)_{h,ab}}{\left[\frac{1}{5.4} - \frac{ln\left(1-\frac{v(D)_{h,ab}}{0.694}\right)}{3.802}\right]} \quad (63)$$

wobei

$L_{s,ab}$	spezifische Leistungsfähigkeit bei Treppen abwärts	[P/sm]
$v(D)_{h,ab}$	Horizontalkomponente der Fussgängergeschwindigkeit bei bestimmter Dichte auf Treppen abwärts	[m/s]

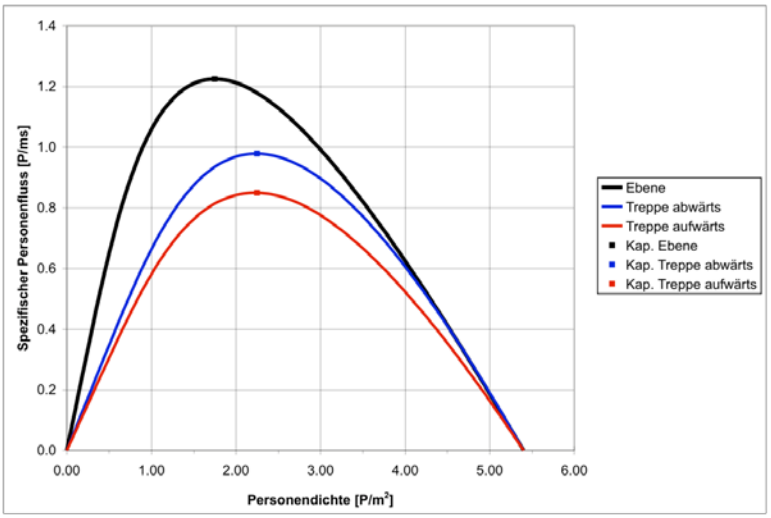


Abb. 8.91 Spezifischer Personenfluss und Kapazitätsgrenze für Treppen ([Buchmüller 2008])

Nach [Weidmann, 2003] ergibt sich das folgende Fundamentaldiagramm für Treppen in Aufwärts- und Abwärtsrichtung.

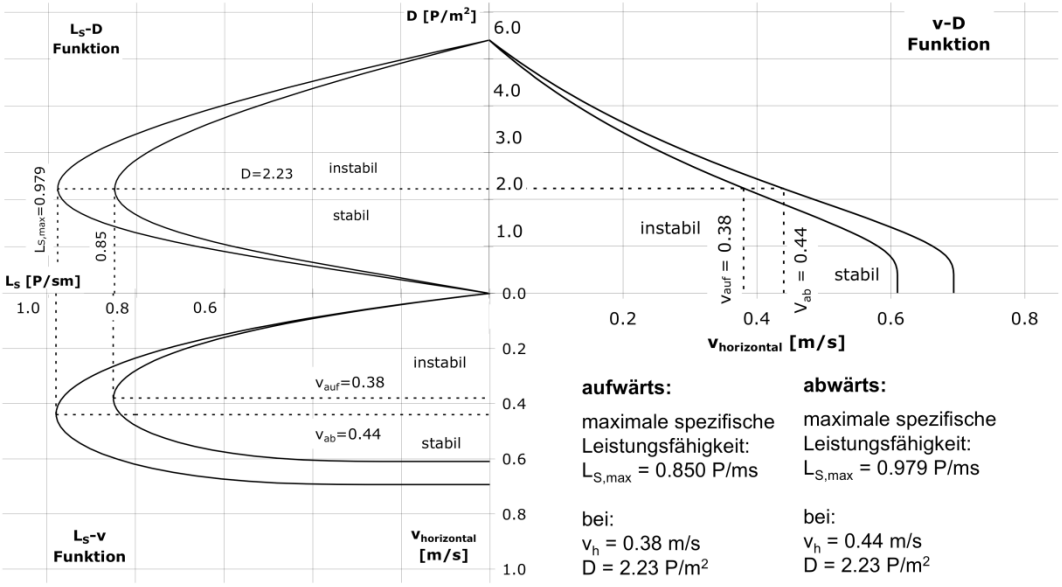


Abb. 8.92 Fundamentaldiagramm für Treppen, Richtungsverkehr ([Weidmann 1993])

8.4.4 Querverkehr

Bei Fahrbahnquerungen, insbesondere lichtsignalgesicherten, ist bezüglich der Leistungsdimensionierung besonders zu beachten, dass sich auf der Fahrbahn die entgegen gerichteten Ströme kreuzen. Weil sich diese während der Rot-Phase im Warteraum sammeln, ist die Fussgängermenge und –dichte oft hoch.

In [Schürch 1973] wird die Ermittlung der Leistungsfähigkeit einer signalisierten Fussgängerquerung grafisch dargestellt.

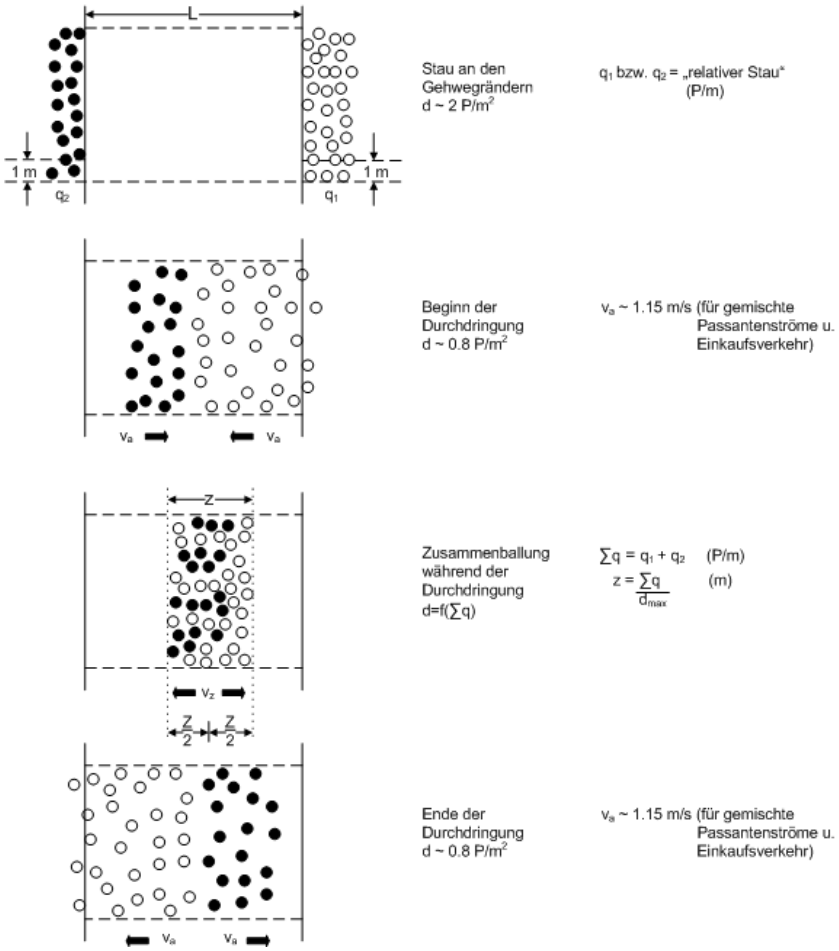


Abb. 8.93 Leistungsfähigkeitsbestimmung einer signalisierten Fussgängerquerung nach [Schürch 1973]

In [FGSV 2005] wird ein Verfahren beschrieben, das die Bewegung (Gehen parallel zum Fahrbahnrand oder um die Ecke) und das Warten (am Fahrbahnrand) in einer gemeinsamen Bemessung überlagert. Dieses kann in vereinfachter Form zur Ermittlung der Fussgängerverkehrsdichte auf Furten (Querungen) angewandt werden.

Bei der Bemessung der Grünphasen an Querungen mit Lichtsignalanlagen wird die Fussgängergeschwindigkeit von 1.2 m/s in [VSS 1992], [FGSV 2010] und [TRB 2010] angewandt. Im HBS ([FGSV 2005]) wird die Geschwindigkeit von 1.34 m/s angegeben. Diese gilt jedoch für eine Furt, nicht an Querungen mit Lichtsignalanlagen.

Dieser Wert von 1.2 m/s geht auf eine unveröffentlichte Arbeit von 1952 zurück und wurde seither fortgeschrieben. Untersuchungen an Strassenkreuzungen zeigen indessen, dass diese Bemessungswerte eher zu hoch sind. Für nicht-signalgesicherte Querungen fand [Wilson 1980]:

Tab. 8.50 Geschwindigkeiten [m/s] auf nicht-signalgesicherten Strassenquerungen; Motorfahrzeugbelastung zwischen 600 und 1000 Autos / h [Wilson 1980]

Geschlecht	15 – 59 Jahre	Über 60 Jahre	Alle Altersgruppen
Männer	1.37	1.10	1.32
Frauen	1.29	1.15	1.27
Alle	1.32	1.13	1.28

Die Geschwindigkeiten liegen tendenziell unter jenen auf Längsanlagen. Zu beachten ist dabei, dass mit Blick auf die Verkehrssicherheit vorab die 85%-Perzentile als massgebend zu betrachten sind.

Neuere Untersuchungen zu signalgesicherten Übergängen weisen auf eine 85%-Geschwindigkeit von deutlich unter 1.2 m/s hin:

Tab. 8.51 Geschwindigkeiten auf signalgesicherten Strassenquerungen; Bandbreite der Angaben aus verschiedenen Studien nach [Stollof 2007]

Fussgängergruppe	Kennwert	[ft/s]	[m/s]
Ältere Fussgänger	Mittelwert	3.19 – 4.60	0.97 – 1.40
	15 %-Perzentil	2.20 – 4.00	0.67 – 1.22
Jüngere Fussgänger	Mittelwert	4.42 – 4.96	1.35 – 1.51
	15 %-Perzentil	3.31 – 4.21	1.01 – 1.28
Alle Fussgänger	Mittelwert	4.60 – 4.87	1.40 – 1.49
	15 %-Perzentil	3.09 – 4.80	0.94 – 1.46

Der Bemessungswert für Lichtsignalanlagen wurde daher im US-amerikanischen Manual of Uniform Traffic Control Devices (MUTCD) von 2009 auf 3.5 ft/s oder 1.07 m/s gesenkt. Noch geringere Bemessungsgeschwindigkeiten werden dagegen nicht empfohlen. Zum ersten würden sich dadurch der Signalzyklus und die mittlere Wartezeit verlängern. Zum zweiten würde sich die Kapazität für den MIV unverhältnismässig reduzieren [Stollof 2007].

8.4.5 Mechanische Anlagen

Theoretische Leistungsfähigkeit von Fahrtreppen

Die theoretische Leistungsfähigkeit von Fahrtreppen ist zunächst von ihrer lichten Innenbreite, der Fussgängerdichte und der Geschwindigkeit der Fahrtreppe abhängig:

$$L_r = v_{R,s} \cdot cos\alpha \cdot B_N \cdot D \qquad (64)$$

wobei

L_R	Leistungsfähigkeit der Fahrtreppe	[P/s]
$v_{R,S}$	Schräggeschwindigkeit der Fahrtreppe	[m/s]
α	Neigungswinkel der Fahrtreppe	[°]
B_N	Nutzbare Breite	[m]
D	Fussgängerdichte auf der Fahrtreppe	[P/m²]

Die nutzbaren Breiten liegen üblicherweise bei 0.60m, 0.80m und 1.00m. Nutzbare Breiten von über 1.10m sollen nicht angewandt werden, da sich jeder Benützer am Handlauf festhalten können soll. Die Stufentiefe wird mit mindestens 0.38m angegeben, da sich die Fahrtreppenstufen im Schrägbereich überlappen und sich dadurch der effektive Kantenabstand resp. die Stufentiefe verkürzt.

Fahrsteige hingegen können Breiten bis zu 3.0m erreichen. Bis zu einer nutzbaren Breite von 1.10 m ist eine Geschwindigkeit von 0.90m/s möglich. Die Steigungswinkel von Fahrsteigen liegen üblicherweise zwischen 10° bis 12°.

Die Fussgängerdichte lässt sich berechnen zu:

$$D = \frac{F_{St}}{B_N \cdot a_R \cdot cos\alpha} \quad (65)$$

wobei

F_{St}	Personen pro Treppenstufe	[P]
a_R	Stufentiefe der Fahrtreppe	[m]

Daraus ergibt sich eine theoretische Leistungsfähigkeit von:

$$L_R = \frac{F_{St} \cdot v_{R,s}}{a_R} \quad (66)$$

In [Weidmann 1993] wird in einem Beispiel angenommen, dass die Fahrtreppengeschwindigkeit 0.5 m/s, die vollständige Besetzung aller Stufen zwei Personen und die Stufentiefe 0.38m beträgt. Daraus ergibt sich eine rein theoretische Leistungsfähigkeit von 2.6 P/s. Mit einer Geschwindigkeit von 0.75 m/s steigt diese sogar auf 4.0 P/s.

Betrachtet man zusätzlich, dass sich ein Teil der Benutzenden auf der Fahrtreppe selbst aktiv fortbewegt, so ergibt sich die Leistungsfähigkeit zu:

$$L_R = q_{T,b} \cdot F_{St} \cdot \left(\frac{v_{R,s}}{a_R} + \frac{v_{F,v}}{h_R}\right) + (1 - q_{T,b}) \cdot F_{St} \cdot \frac{v_{R,s}}{a_R} \quad (67)$$

wobei

L_R	Leistungsfähigkeit der Fahrtreppe	[P/s]
$q_{T,b}$	Anteil der FG, die sich aktiv auf der Fahrtreppe hinauf- oder hinunter bewegen	[-]
F_{St}	Personen pro Treppenstufe	[P]
$v_{R,S}$	Schräggeschwindigkeit der Fahrtreppe	[m/s]
a_R	Stufentiefe der Fahrtreppe	[m]
$v_{F,v}$	Vertikalgeschwindigkeit der Fussgänger auf der Fahrtreppe	[m/s]
h_R	Höhe der Treppenstufe	[m]

Gemäss [Weidmann 1993] kann die Eigenleistung mit 1.0 bis 1.5 Stufen pro Sekunde angenommen werden. So erhält man eine theoretische Leistung von 4.6 P/s. Wird angenommen, dass sich die Hälfte der Benützer auf der Fahrtreppe selbst aktiv bewegen, so beträgt die Leistungsfähigkeit 4.1 P/s, bewegen sich alle Benützer, so wächst diese auf 5.6 P/s.

Aussagen zum Anteil der Eigenbewegung auf Fahrtreppen sind bisher selten. In 2011 untersuchte [Kinsey 2011] unter anderen den Eigenbewegungsanteil an Fahrtreppenanlagen in Spanien und England (Anlagen an U-Bahn-Stationen). Es wurde ein Anteil von 25% – 30% an der Eigenbewegung der Fahrtreppennutzer ermittelt. Für die Aufwärtsfahrtrichtung der Fahrtreppe liegen die Werte im Vergleich zur Abwärtsrichtung nur geringfügig höher.

Um Fahrtreppen mit festen Fussgängeranlagen vergleichen zu können, kann die spezifische Leistungsfähigkeit unter Einbezug der baulichen Breite der Fahrtreppe errechnet werden.

$$L_{R,s} = \frac{L_R}{B_B} \quad (68)$$

wobei

$L_{R,s}$	Spezifische Leistungsfähigkeit einer Fahrtreppe	[P/sm]
B_B	Bruttobreite (bauliche Breite der Fahrtreppe)	[m]

Bei dieser Berechnung müssen bei üblichen Fahrtreppen zur nutzbaren Breite noch 0.60m hinzugefügt werden. Die Tab. 8.52 und Abb. 8.94 zeigen den starken Verlust an spezifischer Leistungsfähigkeit bei schmalen Fahrtreppen.

Tab. 8.52 Spezifische Leistungsfähigkeit von Fahrtreppen mit v=0.5 m/s [Weidmann 1993]

Fussgänger	Fahrtreppenbreite [m]	Spez. LF [P/sm]
Stehend	0.60	0.98
	0.80	1.30
	1.00	1.63
Gehend	0.60	2.10
	0.80	2.80
	1.00	3.50

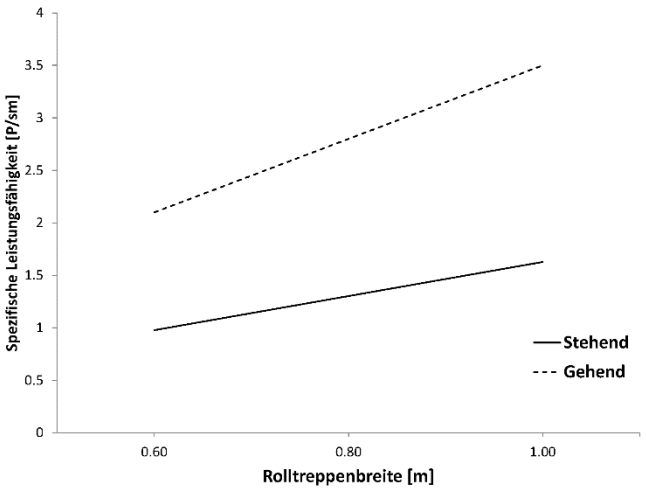


Abb. 8.94 Spezifische Leistungsfähigkeit von Fahrtreppen mit v = 0.5 m/s

Zusammenhang zwischen Betriebsgeschwindigkeit und Belegungsgrad

Je höher die Fahrtreppengeschwindigkeit und je grösser die Fussgängerdichte ist, desto höher ist somit theoretisch die Leistungsfähigkeit. Bezüglich beider Parameter zeigen sich indessen obere praktische Grenzwerte:

- Wären alle Trittstufen mit zwei Personen besetzt, so ergäbe dies eine Fussgängerdichte von ungefähr 6 P/m^2, akzeptiert wird aber nur eine maximale statische Dichte von 3.0 P/m^2.
- Meist benutzen nur jene Personen zu zweit eine Stufe, welche bereits zusammen zur Treppe gelangt sind.
- Beim Eintrittsquerschnitt kann selbst in extremen Gedrängesituationen nicht mit der maximalen spezifischen Leistungsfähigkeit von 1.75 P/sm gerechnet werden; der Eintrittsquerschnitt kann damit leistungsbestimmend werden.
- Die Unsicherheitsgefühle der Benutzer beim Betreten der Fahrtreppen und damit die Verzögerung ihrer Bewegung nehmen mit der Anlagengeschwindigkeit zu, sodass der Besetzungsgrad der einzelnen Stufen mit wachsender Treppengeschwindigkeit sinkt.

Der praktisch erreichte Belegungsgrad ist somit deutlich tiefer als der theoretisch mögliche und sinkt zudem mit der Fahrtreppengeschwindigkeit ab.

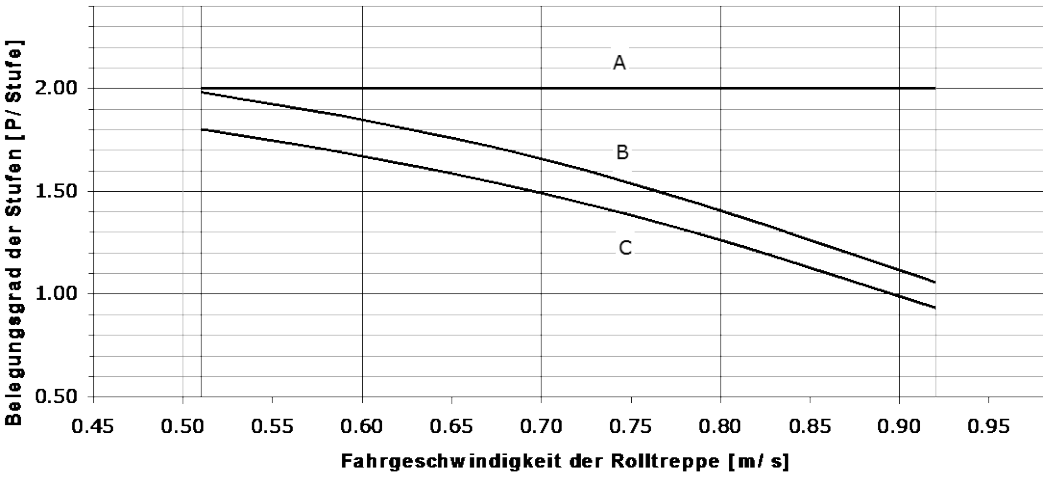


Abb. 8.95 Belegung von Fahrtreppen in Funktion der Fahrtreppengeschwindigkeit. A = Theoretische Vollbelegung; B = effektiv erreichbare Belegung während eines 1-min-Intervalles; C = effektiv erreichbare Belegung während eines 5-min-Intervalles [Westphal 1974]

Praktische Leistungsfähigkeit von Fahrtreppen

Die praktische Leistungsfähigkeit hängt mithin nicht linear mit der Fahrtreppengeschwindigkeit zusammen. Laut [Weidmann 1993] liegt die leistungsoptimale Geschwindigkeit bei 0.70 m/s (vgl. Abb. 8.96). Dies entspricht annähernd der Schräggeschwindigkeit auf festen Treppen. Die maximale spezifische Leistung bezogen auf die lichte Innenbreite beträgt damit 1,75 P/s. Bezogen auf die bauliche Breite sind Fahrtreppen somit etwa gleich leistungsfähig wie feste Treppen.

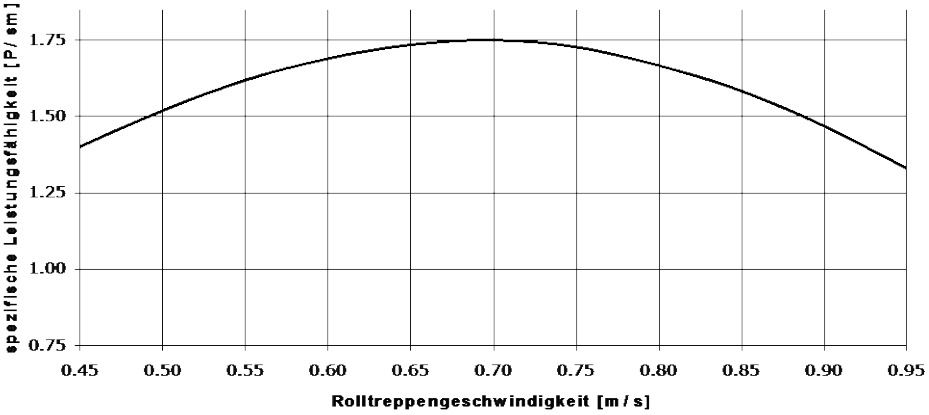


Abb. 8.96 Abhängigkeit der praktischen spezifischen Leistungsfähigkeit (für ein 5 Minuten Intervall) von der Antriebsgeschwindigkeit bei Fahrtreppen und Fahrsteigen, bezogen auf die lichte Innenbreite [Weidmann 1993a]

Die optimale Geschwindigkeit von etwa 0,65 bis 0,70 m/s wird zudem durch Herstellerangaben unterstützt [Schindler 2010b].

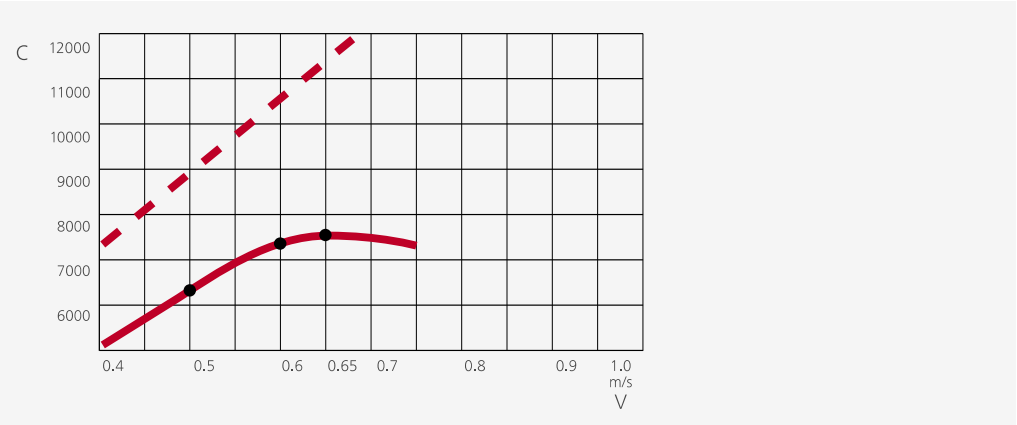


Abb. 8.97 Vergleich der theoretischen und praktischen Leistungsfähigkeit von Fahrtreppen in Abhängigkeit von der Betriebsgeschwindigkeit [Schindler 2010b]

Daraus lässt sich erkennen, dass sich durch Erhöhung der Geschwindigkeit von 0.5 m/s auf 0.6 m/s nur eine mässige Steigerung der Leistungsfähigkeit erreichen lässt, bei der Erhöhung auf 0.75 m/s ist sogar eine Verringerung zu erwarten.

Bei kurzzeitigen Stossbelastungen kann die Leistungsfähigkeit grösser werden. Laut [Westphal 1972] ergibt sich daraus folgende Tabelle.

Tab. 8.53 Erhöhung der Leistungsfähigkeit durch Stossbelastungen [Westphal 1974]

Intervall	**Prozentsatz**	**Leistungsfähigkeit**
	[%]	[P/s]
60s	+ 9	1.91
30s	+ 16	2.03
15s	+23	2.15

Da der Zulauf der Fussgänger zur Fahrtreppe zeitlich zumeist stark variiert, darf bei einer Kapazitätsdimensionierung über einen längeren Zeitraum (etwa 1 Stunde) nicht von derselben Leistungsfähigkeit wie bei einer kurzen Betrachtungszeitdauer (einige Minuten) ausgegangen werden. Folgende Tabellen geben einen Überblick über die praktische Leistungsfähigkeit von Fahrtreppen:

Tab. 8.54 Leistungsfähigkeit von Fahrtreppen (Mittelwert für 5-Minuten-Intervall; vgl. [Buchmüller 2007]

Lichte Breite	**Fahrgeschwindigkeit**		
[m]	v = 0.5 m/s [P/s]	v = 0.65 m/s [P/s]	v = 0.75 m/s [P/s]
0.60	0.91	1.01	1.05
0.80	1.21	1.35	1.40
1.00	1.52	1.69	1.75

Bei ausgesprochenen Stossbelastungen werden sehr kurzfristig höhere Leistungsfähigkeiten erzielt, welche aber nicht zur Dimensionierung verwendet werden dürfen:

Tab. 8.55 Spitzenleistungsfähigkeit von Fahrtreppen [Weidmann, 1993]

Intervall	**Steigerungsrate [%]**	**Leistungsfähigkeit [P/sm]**
Bemessungswert		1.75
60s	+ 9	1.91
30s	+ 16	2.03
15s	+23	2.15

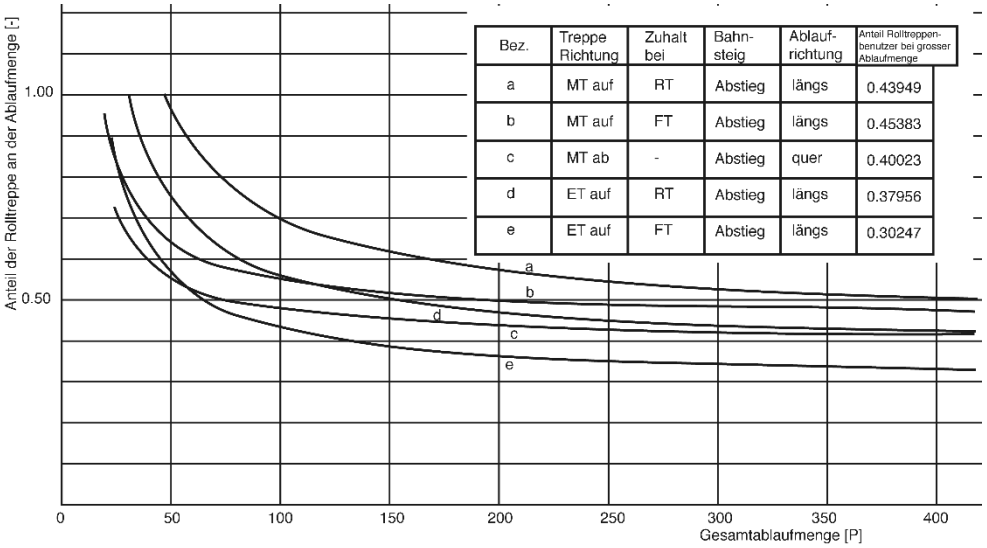
Die Leistungsfähigkeit von Fahrsteigen entspricht etwa jener von Fahrtreppen.

Wahl der Betriebsgeschwindigkeit

Die meisten Fahrtreppen arbeiten mit einer Beförderungsgeschwindigkeit um 0.5 m/s. Andere gebräuchliche Geschwindigkeiten sind 0.65 oder 0.75 m/s, wobei letztere dem Maximalwert gemäss EN 115 entspricht. Im Normalfall ist die maximale Geschwindigkeit von Fahrsteigen auf 0.75 m/s beschränkt. Sie kann auf 0.9 m/s, erhöht werden, wenn die innere Breite weniger als 1000 mm beträgt und die Auslaufzonen mindestens 1600 mm lang sind. Aus Gründen der Benützungssicherheit und der Leistungsfähigkeitsoptimierung werden für Anlagen im Umfeld des öffentlichen Verkehrs aber Geschwindigkeiten von 0.60 oder 0.65 m/s empfohlen [Schindler 2010b]. Aus Gründen der Behindertengerechtigkeit werden zudem bei Fahrtreppen eher Fahrgeschwindigkeiten von etwa 0.5 m/s bevorzugt. Letzterer Wert wird von den Herstellern heute üblicherweise angeboten.

Aufteilung auf feste Treppen und Fahrtreppen

Stehen normale Treppen und Fahrtreppen parallel zueinander zur Verfügung, so verteilen sich die Fussgängerströme auf die beiden Kanäle. Bei sehr schwachem Personenaufkommen benützen 5 bis 10 % in jedem Fall die feste Treppe. Es handelt sich insbesondere um unsichere oder sehr eilige Menschen sowie Personen mit besonders sperrigem Gepäck. Bei extrem hohem Aufkommen und sehr leistungsfähigen festen Treppen bevorzugen rund 40 bis 50 % der Personen die Fahrtreppe, selbst wenn sie dafür einen Rückstau in Kauf nehmen müssen.



Bez.	Treppe Richtung	Zuhalt bei	Bahnsteig	Ablaufrichtung	Anteil Rolltreppenbenutzer bei grosser Ablaufmenge
a	MT auf	RT	Abstieg	längs	0.43949
b	MT auf	FT	Abstieg	längs	0.45383
c	MT ab	-	Abstieg	quer	0.40023
d	ET auf	RT	Abstieg	längs	0.37956
e	ET auf	FT	Abstieg	längs	0.30247

Abb. 8.98 Aufteilung der Fussgänger auf Fahrtreppen und feste Treppen in Funktion der Fussgängerzahl [Westphal 1972]

Fahrsteige

Keine Unterscheidungen bezüglich der theoretischen und praktischen Leistungsfähigkeit von Fahrtreppen und Fahrsteigen / Fahrsteigen wurden – mit Bezug auf Literaturangaben – in [Weidmann 1993] gemacht. Somit können die bekannten Berechnungen und Werte von diesen übernommen werden. Für Fahrsteige wird eine praktische Leistungsfähigkeit mit 1.3 bis 1.7 P/sm genannt. Der tiefere Wert entspricht Fahrsteigen mit einer Breite von 3 m, der höhere Wert einer solchen von 0.6 m.

Liftanlagen

Liftanlagen gehören zu den Shuttle-Transportsystemen. Ihre Leistungsfähigkeit ist abhängig von der Geschwindigkeit, der Höhendifferenz, der Anzahl an Zwischenstationen und der Grösse der Kabinen. Aus der Höhendifferenz, der Geschwindigkeit und der

Fahrgastwechselzeiten ergibt sich die minimale Umlaufzeit. Die Berechnung beinhaltet auch den Einfluss des Zeitverlustes für das Bremsen und Anfahren sowie die Reaktionszeiten der Liftsteuerung. Mit grösseren Kabinen steigt zwar die Leistungsfähigkeit, jedoch vergrössern sich hierbei auch die Fahrgastwechselzeiten und die Gesamtzeit des Fahrspiels. Die Förderhöhen können Werte bis zu 500 m erreichen.

Als Geschwindigkeiten werden im Planungsnavigator von [Schindler 2010a] 1.0 bis 2.5 m/s angegeben. Hochleistungsaufzüge erreichen bis zu 10 m/s. [Otis 2010] gibt für seine Produkte Geschwindigkeiten von 1.0 m/s bis zu 15 m/s an. Die Fassungsvermögen sind je nach Hersteller unterschiedlich. Typische Kabinengrössen haben ein Fassungsvermögen zwischen 6 und 20 Personen.

Direkten Einfluss auf die Fahrgastwechselzeit hat die Türbreite und die damit verbundene Türöffnungszeit. Türbreiten von 800mm bis zu 3100mm werden in [Schindler 2010a] angegeben. Bei der Anordnung von Aufzügen sollte zudem darauf geachtet werden, dass ausreichend grosse Stauräume vor den Aufzügen liegen und die Verkehrswege nicht im Bereich dieser Stauräume verlaufen.

Die Kapazitätsberechnung von Aufzügen dient somit zur Bestimmung der Ausführung der Anlage, zur Festlegung der Aufzugsleistung (Tragfähigkeit und Geschwindigkeit) sowie der Anzahl an erforderlichen Aufzüge [Otis 2010]. Sie kann mittels einer Förderleistungsberechnung ermittelt werden. Um die Grösse und Anzahl von Aufzugsanlagen richtig auslegen zu können, müssen verschiedene Kennwerte errechnet werden:

- Die Umlaufzeit ist die Zeit, die der Aufzug benötigt, um wieder zur Ausgangsposition zurück zu gelangen.
- Die mittlere Wartezeit ist die Zeit, die vergeht, bis ein Fahrgast abgeholt wird bzw. die Zeit zwischen Anforderung des Aufzuges und dem Moment des Zusteigens in den Aufzug.
- Die 5-Minuten-Leistung drückt aus, wie viele Personen mit dem Aufzug in 5 Minuten befördert werden können.

Bei der Förderleistungsberechnung sollen firmen- und gebäudespezifische Anforderungen, Besonderheiten und Gewohnheiten der Nutzer sowie Ankunftszeiten öffentlicher Verkehrsmittel berücksichtigt werden. Laut [BaunetzWissen 2010] gelten Aufzüge als richtig und ausreichend bemessen, wenn

- die Wartezeiten vor den Aufzügen angemessen kurz sind
- sich keine Warteschlangen bilden
- die Fahrzeit zur Zielhaltestelle nicht zu lang dauert
- Tür- und Fahrkorbabmessungen ausreichend bemessen sind resp.
- im Aufzug genügend Platz (ohne Körperkontakt) ist
- ein Optimum an Aufzügen in Anzahl bei geringem Raumbedarf vorhanden ist
- bei Ausfall eines Aufzuges die restlichen das Verkehrsaufkommen ausreichend abwickeln können.

Der Aufzughersteller OSMA [OSMA 2010] führt die Förderleistungsberechnung der Eingabe- und Ausgabevariablen entsprechend Tab. 8.56 und Tab. 8.57 durch.

Tab. 8.56 Förderleistungsberechnung - Eingabevariablen nach [OSMA 2010]

Variable	**Definition**
Nenngeschwindigkeit	Nenngeschwindigkeit in Metern pro Sekunde, die der Aufzug nach der Beschleunigung maximal annehmen kann
Tragfähigkeit	Maximales Transportgewicht
Füllungsgrad	Belegungsgrad des Aufzuges (0.8 entspricht 80% Auslastung)
Anzahl der Aufzüge	Anzahl der Aufzüge im Gebäude
Türzeit (Öffnen & Schliessen)	Zeit die für das Öffnen und Schliessen und Aufhalten der Aufzugstür benötigt wird
Türzeit (Einstieg & Ausstieg)	Im allgemeinen wird angenommen, dass ein Person 2 Sekunden benötigt, den Aufzug zu betreten oder zu verlassen
Anhalteverluste	Zeit die zum Verzögern und Beschleunigen des Aufzuges bei Zwischenstopps benötigt wird
Stockwerksanzahl	Anzahl der mit Personen belegten Stockwerke über dem Erdgeschoss
Stockwerksabstand	Abstand der Stockwerk in Metern
Anteil der belegten Stockwerke an der Gesamtbelegung	Prozentualer Anteil je Stockwerk (mit Personen belegte Stockwerke)

Tab. 8.57 Förderleistungsberechnung – berechnete Variablen (nach [OSMA 2010]

Variable	**Definition**
Personenanzahl	Anzahl der maximal beförderten Personen, aus (Tragfähigkeit * Füllungsgrad / 75), Annahme 1 Person wiegt durchschnittlich 75kg
Mittlere Haltezahl	Durchschnittliche Stopps bis zur Rückkehr der Kabine
Mittleres Umkehrstockwerk	Die Haltestelle, bei der im statistischen Mittel der Aufzug die Fahrtrichtung umkehrt, um direkt in die Ausgangshaltestelle zurückzukehren
Mittlere Umkehrhöhe	Zurückgelegter Weg, nach dem im statistischen Mittel die Fahrtrichtung umkehrt.
Mittlere Umlaufzeit	Zeit, nach der im statistischen Mittel der Aufzug die Ausgangshaltestelle wieder erreicht
Mittlere Wartezeit	Zeit, die im statistischen Mittel vergeht, bis die Aufzugskabine nach Rückkehr wieder gefüllt werden kann, entspricht der halben mittleren Umlaufzeit
Förderstrom pro Minute	Anzahl der Personen, die in einer Minute in allen Anlagen verteilt werden können
Förderkapazität in 5 Minuten	Förderstrom pro Minute * Faktor 5
Förderstrom hochgerechnet auf das Wohngebäude	Angabe basiert auf Annahme, dass die Aufzüge bei einer mittleren Wartezeit von 30-50 Sek. 2% der Bewohner befördern müssen. In einem Bürogebäude müssen die Aufzüge bei einer mittleren Wartezeit von 15-25 Sek. 5-6% der Beschäftigen und Besucher befördern können.

Anhand der Ausgabevariablen (vgl. Tab. 8.57) ist eine Aussage über die Förderkapazitäten von Liftanlagen möglich. Dabei ist die Kapazität in einem 5-Minuten-Intervall aussagefähig, um die Leistungsfähigkeit der Anlage zu bestimmen.

Kone gibt als Leistungsfähigkeitsmerkmal ebenfalls die maximale Kapazität in einem 5-Minuten-Intervall bei einer Belegung von 80% der Aufzüge (speziell Aufzugskabine) an. Zu den Systemparametern zählt Kone die Geschwindigkeit in m/s und die Aufzugsgrösse (hierbei die Anzahl an Personen). Zu den wichtigen Parametern gehört ferner die Beschleunigung in m/s² und das Intervall in Bezug auf die mittlere Zeit bis zur Ankunft des Aufzugs, mit der Lobby als Ausgangspunkt.

Einflussgrössen sind schliesslich die Gebäudeinformationen, die Zoneninformationen, allgemeine Parameter und Systemparameter. Die Gebäudeinformationen beziehen sich dabei auf den Typ der Gebäude und die Nutzung der Aufzüge, unterschieden in Bürogebäude, Hotels, Parkhäuser und Wohngebäude. Die Zoneninformationen geben Auskunft über die Anzahl der Stopps respektive der Etagen, der Gesamthöhe und der Anzahl an Personen in einer Zone. Grosse Gebäude müssen in mehrere Zonen mit zwischen 1500 und 2500 Personen unterteilt werden.

8.4.6 Anlagen des Aufenthalts

Als Warteflächen dürfen nur jene Bereiche gezählt werden, welche nicht für Fussgängerströme benötigt werden. Ist eine Mischfläche für wartende Personen und Fussgängerströme gleichzeitig zu dimensionieren, so sind für letztere fiktive Bahnen mit der nötigen Breite auszuscheiden. Als Wartebereiche stehen nur die verbleibenden Restflächen zur Verfügung. Für beide fiktive Teilflächen ist jeweils der Kapazitäts- und Qualitätsnachweis zu führen.

Ein Fussgänger hat im Mittel eine Breite von rund 50 cm und eine Tiefe von rund 30 cm. Der durchschnittliche, elliptische Grundriss eines Erwachsenen beträgt, wenn man einen minimalen Bewegungsspielraum berücksichtigt, 60 cm in der Breite und 50 cm in der Tiefe.

Tab. 8.58 Flächenanforderungen von Personen (Schriftenreihe 132; Verkehrstechnik, Heft71, BASt)

	Flächenanspruch [m]
Person	0.55 - 0.80
Person mit Gepäck oder mit Schirm	0.80 - 1.00
Person mit Gehstock	0.70 - 0.85
Person mit Gehhilfen	0.90 - 1.00
Person mit Langstock (abzutastender Raum)	0.90 - 1.50
Personen mit Kind bzw. Hund	1.15 – 1.50

Die aufgeführten Werte führen beim durchschnittlichen Fussgänger zu einem minimalen Flächenbedarf ohne Bewegungsspielraum von rund 0.118 m^2 respektive von 0.236 m^2 mit minimalem Bewegungsspielraum. Die maximale Personendichte liegt demzufolge bei 8.49 P/m^2. Berücksichtigt man den Bewegungsspielraum, so liegt die maximale Dichte bei 4.24 P/m^2.

8.4.7 Verknüpfungsanlagen

Allgemeine Engpässe

Ein Engpass hat verglichen mit den Proportionen der Fussgänger nahezu keine Längsausdehnung. Damit stellt sich eine zweidimensional gerichtete Abfolge von Einzelbewegungen durch den Engpass ein, bei engen Durchlässen mit alternierender Richtung. [Seyfried 2010] postuliert einen linearen Zusammenhang der Leistungsfähigkeit mit der lichten Durchgangsweite [Seyfried 2010].

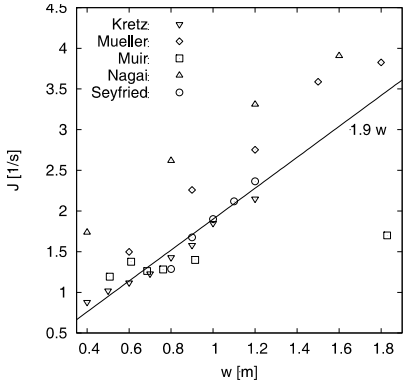


Abb. 8.99 Personenfluss durch Engpässe gemäss verschiedenen Studien [Seyfried 2010].

Demgegenüber verweist [Hoogendoorn 2005] ausdrücklich auf ein stufenweises Ansteigen der Leistungsfähigkeit. Demnach benötigt die erste Fussgängerspur rund 0.50 m, jede weitere zusätzliche 0.40 m. Hinzu kommt ein Zuschlag für die Wandeinflüsse. Es ist zu vermuten, dass keine allgemeingültige Verhaltensweise auftritt, sondern dass sich situationsabhängig entweder ein geordnetes Verhalten mit Spuren oder ein ungeordneter Ablauf mit linearer Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit einstellt. Die Leistungsfähigkeit enger Durchlässe kann die zu erwartenden Werte gemäss Fundamentaldiagramm deutlich überschreiten, insbesondere wenn sich vor den Durchgang eine Personenansammlung mit hoher Dichte ausbildet [Seyfried 2010].

Ist der Durchlass eng, so kommt es zur Oszillation. Einer Person folgen deren weitere, denn für sie erfordert es weniger Kraft, sich hinter der ersten Person herzubewegen, als für eine Person in Gegenrichtung, sich die freie Bahn zu verschaffen. Je mehr Personen sich in der gleichen Richtung bewegt haben, desto geringer wird der Druck der noch wartenden Personen und desto einfacher ist es für die Gegenrichtung, sich den Durchgang zu verschaffen [Helbing 2002].

Zugänge zu Anlagen des öffentlichen Verkehrs

Der Zeitbedarf für die Passierung eines Zuganges zum öffentlichen Verkehr, zum Beispiel eine U-Bahn-Station, hängt vom Kontroll- und Ticketsystem ab. [TCRP 2003] gibt dafür folgende Zeitwerte und Kapazitäten an:

Tab. 8.59 Beobachtete mittlere Durchgangszeiten und Kapazitäten an unterschiedlichen Zugangssystemen zum öffentlichen Verkehr

Art des Zugangs	Beobachteter Abstand [s]	Äquivalente Fussgängermenge [P/min]
Freier Zugang (einfache Barriere)	1.0 – 1.5	40 – 60
Ticketkontrolle durch Personal	1.7 – 2.4	25 – 35
Single-Slot Münzeinwurf oder Wertmarke	1.2 – 2.4	25 – 50
Doppel-Slot Münzeinwurf	2.5 – 4.0	15 – 25
Kartenleser (verschiedene Typen)	1.5 – 4.0	25 – 40
Hoher Eingang / Ausgangsdrehkreuz	3.0	20
Ausgangsdrehkreuz	2.1	28
Ausgangstür, 0.9m Breite	0.8	75
Ausgangstür, 1.2m Breite	0.6	100
Ausgangstür, 1.5m Breite	0.5	125

Drehkreuz

Die Leistungsfähigkeit von Drehkreuzen hängt insbesondere vom Kontrollsystem ab. [Hoogendoorn 2004] untersuchte dazu zwei Türsysteme:

- Magnetisches System, in dem Passagiere ein Magnetkarte einführen müssen
- Kontaktloses System, das die Anwesenheit des Passagiers durch Scannen mit gültiger Karte erkennt und die Tür öffnet, sobald der Passagier davor steht.

Die Kapazität des Magnetsystems beträgt demnach 25 Passagiere pro Minute, diejenige des kontaktlosen Systems hingegen 40 Passagiere pro Minute.

Karusselltür

Daamen [Daamen 2007a] untersuchte die Leistungsfähigkeit einer Karusselltür mit Hilfe von Experimenten. Zu den Variablen zählten die Rotationsgeschwindigkeit der Drehtür, die Fussgängerpopulation und der Fussgängerfluss. In den Szenarien der Untersuchungen wurden Werte von 27.5 [P/min] bis 38.9 [P/min] erreicht.

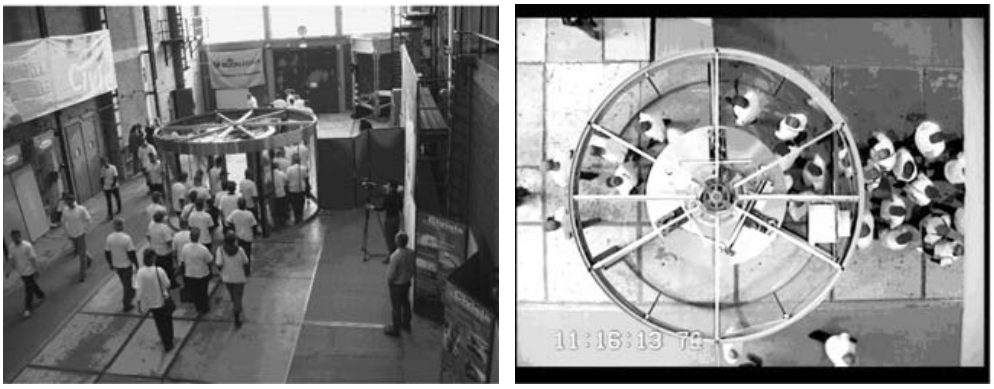


Abb. 8.100 Überblick zu den Laborversuchen mit einer Drehtür [Daamen 2007a]

Bei den Fussgängertypen Pendler und Einkaufende konnte bei einer Beschleunigung der Rotationsgeschwindigkeit der Karusselltür festgestellt werden, dass sich die durchschnittliche Leistungsfähigkeit um 19% erhöhte. Ein beidseitiger Zufluss reduzierte die Leistungsfähigkeit dagegen um 15%. Wurde die Karusselltür von Pendlern genutzt, so lag die Leistungsfähigkeit um 10.1%-26.2% höher als bei Einkaufenden.

8.5 Literaturauswertung zur Verkehrsqualität

8.5.1 Allgemeine Erkenntnisse der Vorstudie

Einleitung

Die Verkehrsqualität wird traditionell vor allem mit Bezug auf den Verkehrsfluss und damit die Leistungsfähigkeit und die zugehörige Geschwindigkeit betrachtet. Einen wesentlichen Parameter bildet dabei die Verkehrsdichte. Im Fussgängerverkehr geht die Anwendung dieses Konzeptes vor allem auf [Oeding 1963] und [Fruin, 1971] zurück, an welchem sich die weiteren Arbeiten orientierten. Da die Dichte allein das Qualitätsempfinden nur unvollständig widerzugeben vermag, soll in der Schweiz längerfristig mittels sogenannter intermodaler Verkehrsqualitätsstufen eine erweiterte Qualitätsdefinition in die Verkehrsplanung eingeführt werden [Scherer 2009].

Der Bewegungsraum eines Fussgängers, als Kehrwert der Dichte, geht vom geometrischen Platzbedarf aus. Bei der Fortbewegung kommen geschwindigkeitsabhängig ein zusätzlicher dynamischer Platzbedarf in Längsrichtung sowie ein solcher in seitlicher Richtung hinzu. Dieser dynamische Bewegungsraum bestimmt nun zum ersten die Bewegungsgeschwindigkeit und damit den Fussgängerfluss. Zum zweiten steuert er aber auch das Qualitätsempfinden der Fussgänger.

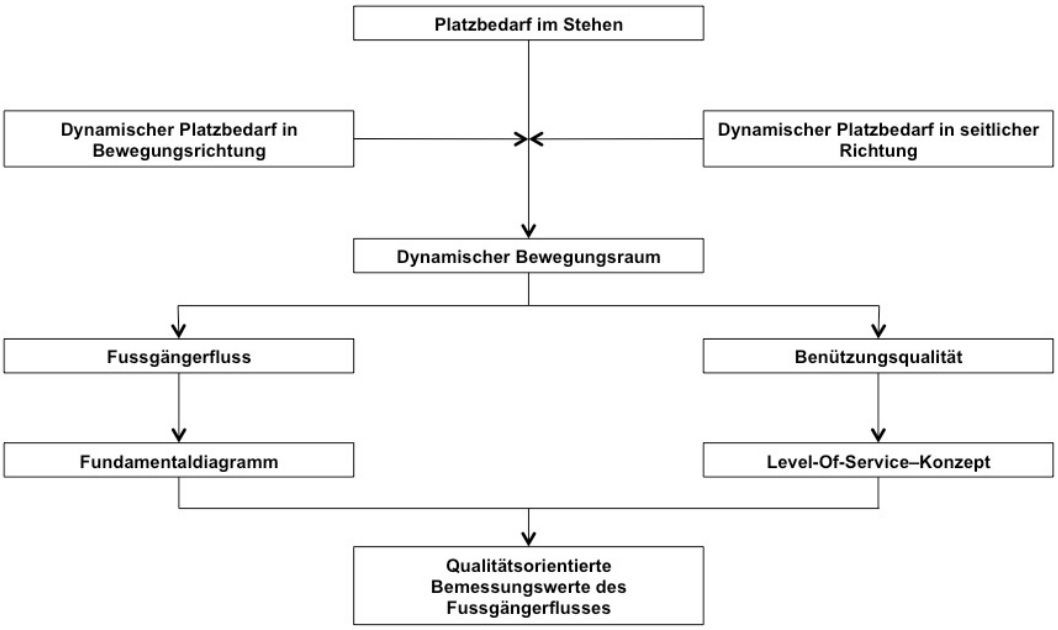


Abb. 8.101 Herleitung der qualitätsorientierten Bemessungswerte des Fussgängerflusses [eigene Abbildung]

Qualitätsstufen nach Norm SN 640017a

In den Arbeiten von Oeding ([Oeding 1963]) und Fruin ([Fruin 1971]) wurde erstmalig das Konzept der Qualitätsstufen oder auch das sogenannte Level-of-Service Konzept (VQS) auf Fussgängerverkehrsanlagen angewendet. Die Abgrenzung der VQS erfolgte dabei über die Bewertung der Personendichte. Für die Beurteilung der Verkehrsqualität ist es somit notwendig, diese zu bestimmen, die zugehörige Qualität einzustufen und die dazugehörige Leistungsfähigkeit zu ermitteln.

An diesem Konzept orientiert sich auch das Verständnis der SN 640017a. Die Zustände, die sich je Qualitätsstufe A bis F einstellen, werden wie folgt beschrieben (Tab. 8.60).

Tab. 8.60 Qualitätsstufen nach [VSS 1998b]

Stufe	Bedeutung
A	Die einzelnen Verkehrsteilnehmer werden von anderen nicht beeinflusst. Sie besitzen die von der Verkehrsanlage her mögliche Bewegungsfreiheit im vollen Umfang.
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.
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.
D	Der Verkehrsablauf ist gekennzeichnet durch hohe Belastungen, die zu deutlichen Beeinträchtigungen und Behinderungen in der Bewegung der Verkehrsteilnehmer führen. Interaktionen zwischen ihnen finden nahezu ständig statt. Noch immer ist aber eine Stabilität des Verkehrsflusses gewährleistet.
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.
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.

Intermodale Verkehrsqualitätsstufen

In einem erweiterten Verständnis lassen sich die Kriterien der Verkehrsqualität nach [Scherer 2009] in sechs allgemeingültigen Grundanforderungen der Verkehrsteilnehmer an den Verkehrsablauf einordnen (Zeit, Raum, Behinderungen, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Benutzerfreundlichkeit). Diese werden durch nachgelagerte Kriterien spezifiziert.

Tab. 8.61 Kriterien und Messgrössen Fussgängerqualität [Scherer, 2009]

Kriterium	Bezeichnung	Messgrösse(n)	Einzelelement	Strecke	Netz
Zeit					
Direktheit	Direkte Linienführung/ Umwegfaktoren[7]	-Verhältnis zwischen Luftlinien- und Gehdistanz	x	x	
Wartezeit an LSA	Wartezeiten	-mittlere Wartezeit [sec][8]	x	x	x
Geschwindigkeit	Realisierbare Gehgeschwindigkeit Wartezeiten an LSA Durchschnittliche Reisezeit	-[m/sec] -[sec] -[min]	x x	xx x	x
Raum					
Zugewiesener Raum	Breite der FG-Anlage Art der Anlage/Querungstyp[9], Que-	-Breite [m] -Qualitativ [-], Liste -Qualitativ [-]	x x	(x) x x	

7 Vgl. SN 640 070, S. 14

8 aus bestehenden Normenwerken

9 Vgl. SN 640 240 für Begriffsdefinitionen

	rungsangebot,	-Qualitativ [-]	x	x	
	Querungselemente	-Qualitativ [-]	x	x	
	Strassentyp				
Behinderungen					
Konflikte mit Anderen	Konflikte mit RF	-Anzahl [#/h] oder qualitativ [-]	x	x	
	Anzahl Begegnungsfälle mit FG	-Anzahl [#/h] oder qualitativ [-]	x	x	
	Konflikte an ÖV-Haltestellen	-Qualitativ [-]	x	(x)	
	Anzahl Überholvorgänge FG	-Anzahl [#/h] oder qualitativ [-]		x	
	Rechtsabbiegevorgänge MIV	-Anzahl [#/h] oder qualitativ [-]	x	x	
Fussgängerdichte	FG-Verkehrsstärke	-[Pers/sec] oder [Pers/(Min*m)]	x		
	FG-Verkehrsdichte	-[Pers/m^2]	x	x	
	Bewegungszeit Fussgängerstrom	-bei Querungen: [m^2*Min] oder [Pers*Min]	x	(x)	
Zuverlässigkeit					
Verfügbarkeit					
Benutzerfreundlichkeit					
Orientierung	Wegweisung	-Qualitativ [-]	x	x	
Verkehrsablauf anderer Verkehrsarten	Verkehrsaufkommen MIV	-[Fz/Zeitintervall]	x	x	
	Verkehrsaufkommen RF	-[RF/Zeitintervall]	x	x	
	Durchschnittliche Geschwindigkeit MIV	-[km/h]	x	x	
	Frequenz ÖV	-[Kurse/h] oder Takt	x	x	
Einfluss der Umgebung[10]	Umgebende Raumnutzung	-Qualitativ [-],	x	x	
	Luft und Lärmbelästigung	-Messwerte PM_{10}, CO_2 und [dB]	x	x	x
	Bepflanzung	-Qualitativ [-]	x	x	
	Gestaltung der FG-Anlage	-Qualitativ [-]	x		
	Anzahl und Breite Fahrstreifen MIV /RF	-Anzahl [#] und Breite [Meter]	x	x	
	Trennung zwischen FG und MIV	-Qualitativ [-], z.B. Vorhandensein Längsparkierung	x	x	
Sicherheitsempfinden	Personensicherheit (soziale Sicherheit)	-Qualitativ [-]	x	x	x

Daraus können die für Fussgängeranlagen relevanten Kriterien identifiziert und nach qualitativen und quantitativen Aspekten getrennt (Tab. 8.61) werden. Weiter lassen sie sich den Anlagenelementen aus Abb. 8.64 zuordnen. Anschliessend kann für jedes Anlagenelement überprüft werden, ob ein Kriterium für die Beurteilung der Verkehrsqualität relevant ist oder nicht (bspw. Frequenz ÖV nur relevant für die Wartefläche). Diese relevanten Kriterien wurden mit einem „x“ markiert.

10 Vgl. SN 640 070, S. 14

Tab. 8.62 Kriterien der Anlagenelement von Fussgängeranlagen ([Scherer, 2009] und eigene Darstellung)

Bezeichnung / Kriterium	Einheit / Messgrössen	Platz	Wartefläche	Stauflache	Verknüpfungsanlagen	Gehweg	Rampe	Treppe	Fahrtreppe	Fahrsteig	Lift
Frequenz ÖV	[Kurse/h] oder Takt		X								
Realisierbare Gehgeschwindigkeit	[m/s]	X			X	X	X	X	X	X	
Breite der Anlage	[m]	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Durchschnittliche Reisezeiten	[min]	X			X	X	X	X	X	X	X
FG-Verkehrsdichte	[P/m²]	X	X	X		X	X	X	X	X	
FG-Verkehrsstärke	[P/s] oder [P/(min*m)]	X				X	X	X	X	X	
Verkehrsaufkommen RF	[RF/Zeitintervall]	X				X	X				
Stauzeiten	[s]				X				X	X	
Begegnungsfälle mit FG	Anzahl [#/h] (oder qualitativ)	X			X	X	X	X			
Konflikte mit RF	Anzahl [#/h] (oder qualitativ)	X	X	X		X	X				
Überholvorgänge	Anzahl [#/h] (oder qualitativ)	(X)				X	X	X	X	X	
Luft- und Lärmbelästigung	Messwerte PM10, CO2 und [dB]	X	X			X					
Direkte Linienführung	Verhältnis zw. Luftlinien- und Gehdistanz					X	X	X	X	X	
Bepflanzung	Qualitativ [-]	X	X			X					
Gestaltung der FG-Anlage	Qualitativ [-]	X	X			X	X	X			
Konflikte an ÖV-Haltestellen	Qualitativ [-]		X			X					
Personensicherheit	Qualitativ [-]	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Querungsangebot	Qualitativ [-]					X					
Querungselement	Qualitativ [-]					X					
Strassentyp	Qualitativ [-]					X					
Trennung zwischen FG und MIV	Qualitativ [-]	X				X					
Umgebende Raumnutzung	Qualitativ [-]	X	X			X					
Verfügbarkeit	Qualitativ [-]	X			X	X	X	X	X	X	X
Wegweisung (Orientierung)	Qualitativ [-]	X				X					X
Zuverlässigkeit	Qualitativ [-]	X			X	X	X	X	X	X	X
Art der Anlage / Querungstyp	Qualitativ [-], Liste	X	X	X				X		X	X
26	**Anzahl Kriterien je Anlage**	19	11	5	8	23	14	13	11	12	7

Für Anlagenelemente von Fussgängeranlagen konnten in Tab. 8.62 insgesamt 26 Kriterien der Vorstudie entnommen werden. Die Anzahl der relevanten Kriterien je Anlagenelement variiert. Für den Gehweg wurden mit 23 die meisten relevanten Kriterien ermittelt. Demgegenüber liessen sich den Stauflächen nur 5 relevante Kriterien zuordnen.

8.5.2 Ebene Gehflächen

Highway Capacity Manual

Das Highway Capacity Manual 2000 gibt die Verkehrsqualität in den klassischen VQS von A bis F an und beschreibt den jeweiligen Zustand deskriptiv respektive bildlich.

Tab. 8.63 Qualitätsstufen nach [TRB 2000]

Qualitäts-stufe	Beschreibung des Verkehrszustands
A	Fussgänger bewegen sich auf dem gewünschten Weg, ohne ihre Bewegung an andere Personen anpassen zu müssen. Gehgeschwindigkeit ist frei gewählt. Konflikte zwischen Fussgängern sind unwahrscheinlich.
B	Genügend Platz für Fussgänger, ihre Geschwindigkeit frei zu wählen, anderen auszuweichen und Kreuzungskonflikte zu vermeiden. Fussgänger nehmen aber andere wahr und reagieren auf sie bei der Wahl ihres Weges.
C	Keine Konflikte bei normaler Gehgeschwindigkeit und beim Überholen oder Umgehen in hauptsächlich einseitig gerichteten Strömen. Bewegung in entgegengesetzter oder kreuzender Richtung können geringfügig Konflikte verursachen; Gehgeschwindigkeit und Durchfluss sind etwas tiefer.
D	Flüssiger Fluss ist gewährt, aber eingeschränkte Freiheit bei der Wahl der individuellen Gehgeschwindigkeit und beim Umgehen anderer. Bewegungen in entgegengesetzter oder kreuzender Richtung sind mit Konflikten verbunden, die eine häufige Anpassung der Geschwindigkeit und der Richtung erfordern.
E	Fast alle Fussgänger müssen ihre normale Gehgeschwindigkeit einschränken und ihre Gangart häufig anpassen. Platz genügt nicht zum Überholen von langsameren Fussgängern; Bewegungen in entgegengesetzter oder umgekehrter Richtung sind schwierig.
F	Alle Fussgänger müssen ihre Gehgeschwindigkeit stark einschränken. Vorwärtskommen ist nur durch ausnutzen von Lücken möglich. Häufiger Körperkontakt mit anderen Passanten ist unvermeidbar; Bewegungen in entgegengesetzter oder kreuzender Richtung sind ebenfalls nahezu unmöglich. Unregelmässiger, labiler Fluss. Abstände sind eher charakteristisch für Schlange stehende Personen als für bewegte Fussgängerströme.

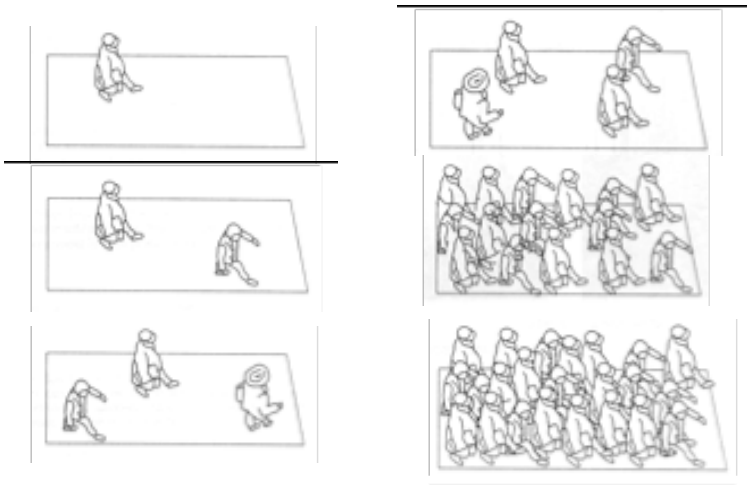


Abb. 8.102 Darstellung der Qualitätsstufen nach [TRB 2000]

Im HCM erfolgt die Einteilung der VQS aufgrund der Personendichte. Aus den allgemeinen Zusammenhängen lassen sich die zugehörigen Geschwindigkeiten und Leistungsfähigkeiten ableiten. Als maximale Leistungsfähigkeit werden 75 P/min/m respektive 1.25P/sm genannt.

Tab. 8.64 Mittlere VQS - Kriterien für Gehwege und Bürgersteige nach [TRB 2000]

VQS	Space	Flow Rate	Speed	v/c Ratio
	[m²/P]	[p/min/m]	[m/s]	[-]
A	> 5.6	16	> 1.30	≤ 0.21
B	> 3.7 – 5.6	16 – 23	> 1.27 – 1.30	> 0.21 – 0.31
C	> 2.2 – 3.7	23 – 33	> 1.22 – 1.27	> 0.31 – 0.44
D	> 1.4 – 2.2	33 – 49	> 1.14 – 1.22	> 0.44 – 0.65
E	> 0.75 – 1.4	49 – 75	> 0.75 – 1.14	> 0.65 –1
F	≤ 0.75	variable	≤ 0.75	variable

Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen

Das deutsche Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen [FGSV 2005] bezieht sich vorrangig auf Fussverkehrsanlagen mit überwiegend zielgerichteter Fortbewegung. Die insgesamt 6 Stufen für die Qualität des Verkehrsablaufs (Stufe A bis Stufe F) orientieren sich an der des HCM. Dabei wird eine fiktive Fussgängerdichte im Einrichtungsverkehr anstelle der tatsächlichen Fussgängerdichte zugrunde gelegt. Diese beinhaltet die Angleichungsfaktoren für den Gegenverkehrsanteil und die Gehgeschwindigkeit.

Tab. 8.65 Qualitätsstufen nach [FGSV 2005]

Stufe	Bedeutung
A	Die Fussgänger haben freie Geschwindigkeitswahl. Sie werden durch andere Fussgänger äusserst selten beeinflusst. Die Verkehrsdichte ist sehr gering. In Wartesituationen gibt es keine Beeinträchtigungen.
B	Die Fussgänger werden nur selten wegen anderer Personen zu Geschwindigkeits- oder Richtungsänderungen gezwungen. Bei geringer Verkehrsdichte kommt es insgesamt nur zu geringfügigen Beeinträchtigungen. In Wartesituationen gibt es nur sehr geringe Beeinträchtigungen.
C	Die freie Geschwindigkeitswahl ist eingeschränkt. Die Verkehrsdichte erreicht ein spürbares Mass. Gelegentlich treten erzwungene Geschwindigkeits- oder Richtungsänderungen durch andere Fussgänger auf, die ständig beachtet werden müssen. In Wartesituationen sind Beeinträchtigungen durch andere Personen möglich, ohne dass es zu Körperkontakten kommt.
D	Die Geschwindigkeitswahl ist deutlich eingeschränkt. Fussgänger sind häufig zu Geschwindigkeits- oder Richtungsänderungen gezwungen. Die Verkehrsdichte ist hoch und die freie Bewegung stark behindert. Die mittlere Geschwindigkeit sinkt erkennbar ab. In Wartesituationen kommt es zur Bildung von Reihen oder Gruppen und zu unbeabsichtigten Körperkontakten mit anderen Personen. Der Verkehrszustand ist noch stabil.
E	Die Fussgänger haben keine freie Geschwindigkeitswahl. Gegenverkehr ist erheblich erschwert. Die Verkehrsdichte ist so hoch, dass es zu massiven Behinderungen kommt. In Wartesituationen sind Körperkontakte zu anderen Personen nicht zu vermeiden. Die Kapazität wird erreicht.
F	Der Zugang ist höher als die Kapazität. Richtungsänderungen sind kaum noch durchführbar, zeitweise kommt es zum Stillstand. Gegenverkehr wird unmöglich. Die Fussgänger haben ständig unabweisbare Körperkontakte zu anderen. Die Verkehrsanlage ist überlastet.

Tab. 8.66 Grenzwerte der Fussgängerverkehrsdichte für Fussgängerbewegungen [FGSV 2005])

VQS	**Fussgängerverkehrsdichte k (Personen/m²) Fussgängerbewegungen[1]**
A	≤ 0.10
B	≤ 0.25
C	≤ 0.40
D	≤ 0.70
E	≤ 1.80
F	> 1.80

[1] Die fiktive Fussgängerverkehrsdichte bezieht sich auf Fussgänger im Einrichtungsverkehr (bei Gegenverkehr modellmässig in Einrichtungsverkehr umgewandelt).

Indikatoren für Bestimmung der Verkehrsqualität

In [Weidmann 1993] wird die Bestimmung der Qualität in Funktion der Dichte stärker auf konkrete Indikatoren als auf quantitative Beschreibungen abgestützt. Er schlägt dazu folgende acht Kriterien vor, in welchen sich die Erscheinungsformen der Qualitätsminderung manifestieren:

K1 Möglichkeit zur freien Geschwindigkeitswahl
K2 Häufigkeit eines erzwungenen Geschwindigkeitswechsels
K3 Zwang zur Beachtung anderer Fussgänger
K4 Häufigkeit eines erzwungenen Richtungswechsels
K5 Behinderung bei Querung eines Fussgängerstromes
K6 Behinderung bei entgegengesetzter Bewegungsrichtung
K7 Behinderung beim Überholen
K8 Häufigkeit unbeabsichtigter Berührungen

Mit diesen Kriterien lässt sich nun die Benützungsqualität einer Fussgängeranlage messen. Durch die Unterscheidung von Erfüllung beziehungsweise Nichterfüllung der einzelnen Massstäbe bei einer bestimmten Fussgängerdichte lassen sich die Qualitätsstufen abgrenzen. Es leitet sich eine Abstufung ab, welche insbesondere im Bereich der kleinen Dichten feingliedriger ist als jene der SN 640 017a, des HCM und des HBS.

Tab. 8.67 Indikatoren-basierte Abstufung des Verkehrsqualität für ebene Gehwege [Weidmann 1993]

VQS	Dichte P/m²	Kriterium								Gesamtcharakterisierung
		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	
A	0.00-0.10	+	+	+	+	+	+	+	+	absolut freie Bewegung
B	0.10-0.30	+	+	=	+	+	+	+	+	freie Bewegung
C	0.30-0.45	=	+	=	=	=	=	=	+	schwache Behinderung
D	0.45-0.60	=	=	=	=	-	-	-	+	mässige Behinderung
E	0.60-0.75	-	-	-	=	-	-	-	+	starke Behinderung
F	0.75-1.00	-	-	-	-	-	-	-	+	dichter Verkehr
G	1.00-1.50	-	-	-	-	-	-	-	=	mässiges Gedränge
H	1.50-2.00	-	-	-	-	-	-	-	-	starkes Gedränge
I	2.00-5.40	-	-	-	-	-	-	-	-	massives Gedränge

Legende:
+ gut
= mittelmässig
- schlecht

8.5.3 Niveau ausgleichende Anlagen

Für Niveau-ausgleichende Anlagen (Rampen und Treppen) gilt grundsätzlich dasselbe Konzept wie bei ebenen Anlagen. Die erreichbare Verkehrsqualitätsstufe kann beispielsweise anhand des folgenden Diagramms, welches einen Auszug aus dem Fundamentaldiagramm darstellt, unmittelbar abgelesen werden.

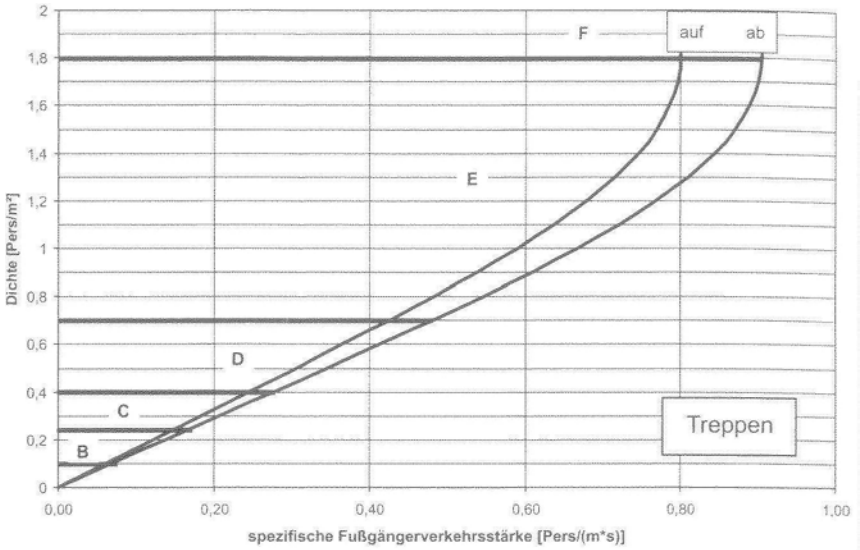


Abb. 8.103 Verkehrsstärke-Dichte-Beziehung und Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs für Treppen [FGSV 2005]

Fruin gibt für die Einteilung der Qualitätsklassen die Werte in Tab. 8.68 an.

Tab. 8.68 VQS - Kriterien für Treppen nach [Fruin 1971]

VQS	[P/m²]
A	< 0.53
B	0.53 - 0.72
C	0.72 - 1.08
D	1.08 - 1.54
E	1.54 - 2.69
F	> 2.69

In der Literatur konnten zudem dem [TRB 2000] Verkehrsqualitätsstufen für Treppen entnommen werden. Diese sind in Tab. 8.69 aufgelistet.

Tab. 8.69 VQS - Kriterien für Treppen nach [TRB 2000]

VQS	Fläche [m²/p]	Personenfluss [p/min/m]	Durchschnittliche horizontale Geschwindigkeit [m/s]	v/c Ratio
A	> 1.9	≤ 16	> 0.53	≤ 0.33
B	> 1.6 – 1.9	> 16 - 20	> 0.53	> 0.33 – 0.41
C	> 1.1 – 1.6	> 20 – 26	> 0.48 – 0.53	> 0.41 – 0.53
D	> 0.7 – 1.1	> 26 – 36	> 0.42 – 0.48	> 0.53 – 0.73
E	> 0.5 – 0.7	> 36 – 49	> 0.40 – 0.42	> 0.73 – 1.00
F	≤ 0.5	Variable	≤ 0.40	variable

Auch auf Treppen ist schliesslich eine Indikator-basierte Abstufung nach [Weidmann 1993] möglich.

Tab. 8.70 Indikatoren-basierte Abstufung des Verkehrsqualität für ebene Gehwege [Weidmann 1993]

VQS	Dichte P/m²	Kriterium								Gesamtcharakterisierung
		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	
A	0.00-0.20	+	+	+	+	+	+	+	+	absolut freie Bewegung
B	0.20-0.60	+	+	=	+	+	+	+	+	freie Bewegung
C	0.60-0.75	=	+	=	=	=	=	=	+	schwache Behinderung
D	0.75-0.90	=	=	=	=	-	-	-	+	mässige Behinderung
E	0.90-1.15	-	-	-	=	-	-	-	+	starke Behinderung
F	1.15-1.65	-	-	-	-	-	-	-	+	dichter Verkehr
G	1.65-2.15	-	-	-	-	-	-	-	=	mässiges Gedränge
H	2.15-2.60	-	-	-	-	-	-	-	-	starkes Gedränge
I	2.60-5.40	-	-	-	-	-	-	-	-	massives Gedränge

Legende:
+ gut
= mittelmässig
- schlecht

8.5.4 Querverkehr

In [FGSV 2005] werden keine expliziten Werte für den Querverkehr erwähnt. Unter Querverkehr wird im HBS eine Fussgängerfurt genannt. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass folgende Grenzwerte der Fussgängerverkehrsdichte ebenso für Querverkehr angenommen werden können.

Tab. 8.71 Grenzwerte der Fussgängerverkehrsdichte für Fussgängerbewegungen ([FGSV 2005])

VQS	Fussgängerverkehrsdichte k (Personen/m²) Fussgängerbewegungen[1]
A	≤ 0.10
B	> 0.10 - 0.25
C	> 0.25 - 0.40
D	> 0.40 - 0.70
E	> 0.70 - 1.80
F	> 1.80

[1] Die fiktive Fussgängerverkehrsdichte bezieht sich auf Fussgänger im Einrichtungsverkehr (bei Gegenverkehr modellmässig in Einrichtungsverkehr umgewandelt).

Die in Tab. 8.71 angegebenen Werte basieren auf folgenden Definitionen der Stufen:

Tab. 8.72 Qualitätsstufen nach [FGSV 2005]

Stufe	Bedeutung
A	Die Fussgänger haben freie Geschwindigkeitswahl. Sie werden durch andere Fussgänger äusserst selten beeinflusst.
B	Die Fussgänger werden nur selten wegen anderer Personen zu Geschwindigkeits- oder Richtungsänderungen gezwungen. Bei geringer Verkehrsdichte kommt es insgesamt nur zu geringfügigen Beeinträchtigungen.
C	Die freie Geschwindigkeitswahl ist eingeschränkt. Die Verkehrsdichte erreicht ein spürbares Mass. Gelegentlich treten erzwungene Geschwindigkeits- oder Richtungsänderungen durch andere Fussgänger auf, die ständig beachtet werden müssen.
D	Die Geschwindigkeitswahl ist deutlich eingeschränkt. Fussgänger sind häufig zu Geschwindigkeits- oder Richtungsänderungen gezwungen. Die Verkehrsdichte ist hoch und die freie Bewegung stark behindert. Die mittlere Geschwindigkeit sinkt erkennbar ab.
E	Die Fussgänger haben keine freie Geschwindigkeitswahl. Gegenverkehr ist erheblich erschwert. Die Verkehrsdichte ist so hoch, dass es zu massiven Behinderungen kommt.
F	Der Zugang ist höher als die Kapazität. Richtungsänderungen sind kaum noch durchführbar, zeitweise kommt es zum Stillstand. Gegenverkehr wird unmöglich.

8.5.5 Mechanische Anlagen

Aussagen über ein bestehendes VQS – respektive Qualitätskonzept konnten in der untersuchten einschlägigen Literatur bisher nicht gefunden werden.

8.5.6 Anlagen des Aufenthalts

Das Beurteilungskonzept nach Fruin lässt sich auch auf Warteflächen anwenden. In der folgenden Tab. 8.73 wird die Benützungsqualität auf Warteflächen je Level of Service (VQS) qualitativ beschrieben.

Tab. 8.73 Zustandsbeschreibung je Qualitätsstufe für Warteflächen [Weidmann 2009]

VQS	Beschreibung des Zustandes
A	Stillstehen und ungehinderte Zirkulation im Wartebereich ist möglich, ohne andere Personen zu beeinträchtigen.
B	Stillstehen und leicht eingeschränkte Zirkulation ist möglich, ohne dass andere Personen beeinträchtigt werden.
C	Stillstehen und eingeschränkte Zirkulation ist möglich, ohne dass andere Personen beeinträchtigt werden. Dieser Zustand wird noch als angenehm empfunden.
D	Stehen ohne andere zu berühren ist noch möglich; das Herumgehen aber stark eingeschränkt. Vorwärtskommen ist nur in der Gruppe möglich. Über längere Zeit in dieser Dichte zu warten ist unbehaglich.
E	Körperkontakt mit anderen ist unvermeidlich, Herumgehen im Wartebereich unmöglich. Warten in dieser Dichte ist nur für kurze Zeit ohne erhebliches Unbehagen ertragbar.
F	Nahezu alle Personen im Wartebereich stehen in direktem Körperkontakt zueinander. Vorwärtskommen ist nicht möglich. Diese Dichte ist äusserst unbehaglich; sind solche Ansammlungen gross, so besteh Panikgefahr.

Ähnliche Umschreibungen finden sich in [Fruin 1985b] und [FGSV 2005]

Massgebend ist die Personendichte auf der Wartefläche. In verschiedenen Regelwerken werden je nach Land die Grenzen der Personendichten zwischen den Qualitätsstufen etwas unterschiedlich gezogen. Sie liegen im HCM vergleichsweise, ausgenommen Stufe D, niedriger als im HBS und bei Brilon. Generell sind die Unterschiede im mittleren Dichtebereich am grössten.

Tab. 8.74 VQS - Einteilung auf Warteflächen [Fruin 1985a], [Brilon 1994], [FGSV 2005], [TRB 2000]

VQS	HCM [P/m²]	HBS / Fruin [P/m²]	Brilon [P/m²]
A	< 0.83	< 1.00	< 1.00
B	0.83 - 1.11	1.00 - 1.50	1.00 - 2.00
C	1.11 - 1.67	1.50 - 2.00	2.00 - 3.00
D	1.67 - 3.33	2.00 - 3.00	3.00 - 4.00
E	3.33 - 5.00	3.00 - 6.00	4.00 - 6.00
F	> 5.00	> 6.00	> 6.00

Das HCM nennt zusätzlich den durchschnittlichen Platzbedarf von Fussgängern auf Warteflächen in Abhängigkeit des VQS.

Tab. 8.75 Platzbedarf von Fussgängern auf Warteflächen [TRB 2000]

VQS	Durchschnittlicher Platzbedarf von Fussgängern [m²/p]
A	> 1.2
B	> 0.9 – 1.2
C	> 0.6 – 0.9
D	> 0.3 – 0.6
E	> 0.2 – 0.3
F	≤ 0.2

Platz

In [Weidmann 2008] wird auf das Level of Service - Konzept nach [Fruin 1971] verwiesen, um die Verkehrsqualität auf Plätzen zu beurteilen. Als massgebende Grössen gelten die Personendichte und Flussrate, für die [Still 2000] Werte je Qualitätsstufe angibt (Tab. 8.76).

Tab. 8.76 VQS – Einteilung auf Plätzen [Still 2000]

VQS	Personendichte [P/m²]	Flussrate [P/min/m]
A	< 0.31	< 23
B	0.31 - 0.43	23 - 33
C	0.43 - 0.72	33 - 49
D	0.72 - 1.08	49 - 66
E	1.08 - 2.17	66 - 82
F	> 2.17	variabel

8.5.7 Verknüpfungsanlagen

Drehkreuz

In [Hoogendoorn 2004] wurde das Design von Zugangstüren bei drei Bahnstationen in Lissabon mit dem mikroskopischen Simulationsmodell NOMAD untersucht. Anhand zweier unterschiedlicher Türsysteme (high- und low capacity) stellte Hoogendoorn heraus, dass die Verkehrsqualität davon abhängig ist, in wie weit eine Gleichheit zwischen Gate-Kapazität und maximaler Ankunftsrate bestand. Zu Warteschlagen kam es beim Auftreten von Fluktuationen oder bei einer unausgewogenen Gate-Auswahl während Spitzenzeiten.

Angaben zur Beurteilung des Benutzerkomforts an Hand der jeweils aufgetretenen Personendichten liegen noch nicht vor.

Stauflächen an Attraktionen

In einer Studie der Balham Station von [Still 2000] wurde die zeitliche Verteilung der Aktivitäten an Ticketschaltern mittels Videoaufzeichnungen bestimmt. Er stellte fest, dass:

- Die Ankunftsmuster an den Ticketautomaten und den Ticketschaltern Poisson-verteilt waren,
- Die Bedienzeit pro Ticket einer exponentiellen Verteilung entsprach.

An Hand eines von [Still 2000] entworfenen Warteschlagenmodells zeigte sich, dass „die Länge der Warteschlangen dramatisch ansteigt, wenn sich die Ankunftsraten den Bedienzeiten annähern“. Die Verkehrsqualität an Ticketschaltern steht demnach in Abhängigkeit zur Bedienzeit und zur Anzahl ankommender Personen. Der Zustand der Verkehrsqualität könnte an Hand der Warteschlagenlänge und der Wartedauer am Ticketschalter beschrieben werden. Angaben dazu liegen in diesen Untersuchungen nicht vor.

8.6 Literaturauswertung zur Dimensionierung

8.6.1 Grundbeziehungen und erforderliche Kennwerte der Dimensionierung

Die klassische analytische Dimensionierung von Fussgängeranlagen basiert auf den bereits hergeleiteten Beziehungen zur Leistungsfähigkeit. Bei der Kapazitätsdimensionierung von Fussgängeranlagen sind dabei folgende Kennwerte besonders relevant:

- Personendichte = Anzahl Personen pro Fläche (Masseinheit: P/m^2)
- Personenfluss = Anzahl Personen, welche pro Sekunde einen Querschnitt passieren (Masseinheit: P/s)
- Spezifischer Personenfluss = Anzahl Personen, welche pro Laufmeter Breite des Querschnitts und pro Sekunde passieren (Masseinheit: P/sm)

- Gehgeschwindigkeit = Fortbewegungsgeschwindigkeit der Fussgänger (Masseinheit: m/s)

Die Fussgängerströme einer Anlage sind pro Lastfall zunächst auf die Gesamtanlage und anschliessend auf die Teilanlagen umzulegen. Parallel dazu ist festzulegen, welche Qualitätsstufen in den verschiedenen Lastfällen gelten sollen. Dazu muss die Dauer der einzelnen Lastfälle einbezogen werden. Grundsätzlich soll eine Fussgängeranlage eine hochwertige Verkehrsqualität bieten, welche aber hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der Anlage moduliert werden muss. Je seltener eine Verkehrsspitze auftritt, desto ungünstiger darf der VQS kurzzeitig sein.

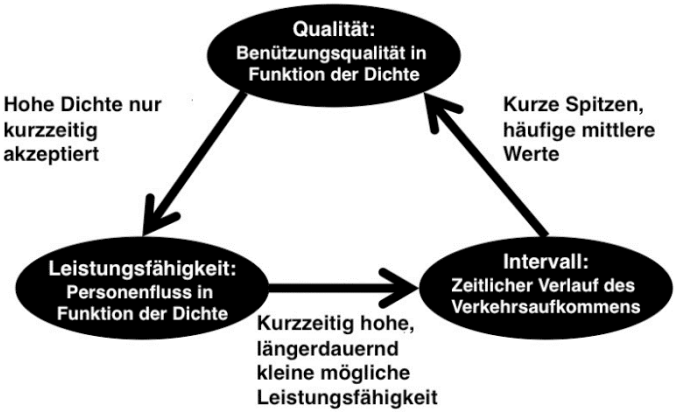


Abb. 8.104 Zusammenhang zwischen betrachtetem Zeitintervall, Benützungsqualität und Leistungsfähigkeit [eigene Abbildung].

8.6.2 Dimensionierungsintervalle

Ursache von Nachfrageschwankungen

Nebst der Leistungsfähigkeit der Fussgängeranlage sind die zu bewältigenden Fussgängerströme näher zu spezifizieren. Dabei ist insbesondere festzulegen, welches Zeitintervall und welcher damit zusammenhängende Spitzenwert massgebend sein soll.

Das Verkehrsaufkommen einer Fussgängeranlage unterliegt folgenden Streuungen:

- Jahreszeit
- Wochentag
- Tageszeit
- Kurzzeitige Streuungen

In der Bemessung sind insbesondere letztere mit ihrem stossweisen Auftreten der Fussgänger entscheidend, da Rückstauerscheinungen vermieden werden sollen.

Bemessung allgemeiner Fussgängeranlagen

Fussgängerpulks können aus zwei Gründen auftreten:

- Zufällige Pulks
- Stossweise Belastungen aus definierten Ursachen wie etwa sich entleerende Reisezugwagen an Perrons etc.

Die Nachfrage des Fussgängerverkehrs schwankt naturgemäss in viel kleineren Zeitintervallen als etwa im motorisierten Individualverkehr. Bei zufälligen Pulks erfolgt die Dimensionierung deshalb üblicherweise auf die 2-Minuten-Spitze sowie einen 15-Minuten-Wert als Abbild des normalen Betriebsablaufs. Ist das stündliche Verkehrsaufkommen bekannt, so lassen sich die 2- und 15-Minuten-Werte näherungsweise aus folgender Grafik ablesen:

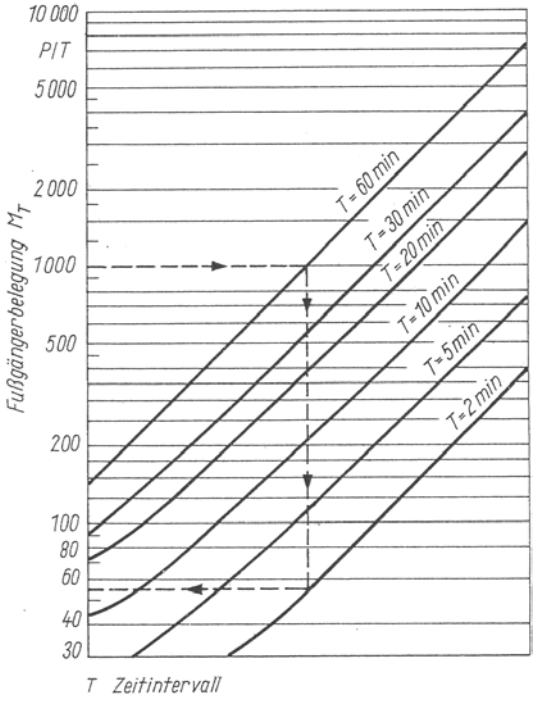


Abb. 8.105 Abschätzung der 2-Minuten-Nachfrage auf Grundlage eines bekannten Stundenwertes; Ableitung der 15-Minuten-Nachfrage erfolgt analog [Schnabel 1980]

Für die Umrechnung zwischen verschiedenen Zeitintervallen ist folgende Tab. 8.77 hilfreich.

Tab. 8.77 Umrechnungsfaktoren für Fussgängerverkehrsstärken bei unterschiedlichen Zeitintervallen ([FGSV 2005])

Gegebene Fussgängerverkehrsstärke in Personen je	**Umrechnungsfaktor f_z für**	
	15 min	**2 min**
60 Minuten	0.30	0.06
30 Minuten	0.55	0.10
15 Minuten	1.00	0.18
10 Minuten	1.40	0.25

Bemessung von Umsteigeanalgen des öffentlichen Verkehrs

Im Falle einer stossweisen Belastung infolge Entleerens von Fahrzeugen sind die Verkehrsstromstärken zu ermitteln, zum Beispiel mit Hilfe der Leistungsfähigkeit und Zahl der Fahrzeugtüren. Die Türleistungsfähigkeit ist in erster Näherung von der Türbreite und der Einstiegshöhe abhängig. Für typische Situationen und überschlägige Beurteilungen können folgende Richtwerte verwendet werden:

Tab. 8.78 Richtwerte für die Türleistungsfähigkeit in [P/s] von Bahnfahrzeugen und Bussen in Abhängigkeit von der Türbreite und der Einstiegshöhe (abgeleitet für durchschnittlich 20 P/Türe aus [Weidmann 1994]). Andere Einstiegshöhen und/oder Türbreiten sind zu interpolieren.

Einstiegshöhe [mm]	**Lichte Türbreite [mm]**		
	800	**1250**	**1900**
0 – 250	0.69 P/s	1.03 P/s	1.49 P/s
600 – 700	0.51 P/s	0.71 P/s	1.10 P/s

8.6.3 Ebene Gehflächen

Vorgehen

Im [FGSV 2005] ist der folgende (zusammengefasste) Ablauf zur Ermittlung der Verkehrsqualität auf linienhaften Fussgängerverkehrsanlagen angegeben:

1. Festlegung des angestrebten Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs
2. Festlegung der Geometrie der Gehflächen
3. Unterteilung der Fussgängeranlage in Teilabschnitte gleicher Charakteristik
4. Ermittlung der nutzbaren Gehflächenbriete für jeden Teilabschnitt
5. Berücksichtigung der abschnittsbezogenen Einflussgrössen (Verkehrszweck, Längsneigung)
6. Ermittlung der massgebenden spezifischen Fussgängerverkehrsstärken
7. Auswahl des zutreffenden Diagramms für die q-k-Beziehung
8. Für jeden Teilabschnitt:
    a. Massgebende spezifische Fussgängerverkehrsstärke als Eingangsgrösse
    b. Wahl einer Kurve mit der Eingangsgrösse v_0
    c. Erreichbare Qualitätsstufe der Verkehrsablaufs ablesen
    d. Vergleich erreichte mit angestrebter Qualitätsstufe

Als Einflussgrössen bei ebenen Gehflächen beschreibt das HBS die nutzbare Gehflächenbreite, die Längsneigung, den Verkehrszweck sowie den Gegenverkehr. Die nutzbare Gehflächenbreite ergibt sich aus der vorhandenen Breite abzüglich nicht nutzbarer Bereiche durch Hindernisse und die seitlichen Berandungen der Gehfläche.

Einfluss des Gegenverkehrs und des Verkehrszwecks

Bei Gegenverkehr werden gemäss HBS [FGSV 2005] nicht die gleichen Gehgeschwindigkeiten und Kapazitäten wie im Einrichtungsverkehr erreicht. Dazu werden die Fussgängerverkehrsstärken durch den in der Tab. 8.79 beschriebenen Angleichungsfaktor erhöht. Bei Gegenverkehrsanteilen von mehr als 15% wird von einer Entmischung der Fussgängerströme ausgegangen.

Tab. 8.79 Angleichungsfaktoren für Fussgängerverkehrsstärken zur Berücksichtigung von Gegenverkehr [FGSV 2005]

Vorherrschende Gehrichtung	**Angleichungsfaktor f_g**
Einrichtungsverkehr (Gegenverkehr ≤ 5% der Gesamtverkehrsstärke)	1.00
Vorwiegend Einrichtungsverkehr (Gegenverkehr > 5% und ≤ 15% der Gesamtverkehrsstärke)	0.90
Zweirichtungsverkehr (Gegenverkehr > 15% der Gesamtverkehrsstärke)	1.05

Diese Kapazitätserhöhung bei eher ausgeglichenem Gegenverkehr steht allerdings im Gegensatz zu Erkenntnissen von [Weidmann 2010], der auch für diesen Fall eine Leistungsminderung um 4% postuliert. Zusätzlich wird im HBS der Zusammenhang zwischen der Kapazität und dem Verkehrszwecktyp gegeben. Dazu dient folgende Tab. 8.80.

Tab. 8.80 Kapazitäten linienhafter Fussgängerverkehrsanlagen – Gehwege und Korridore ([FGSV 2005])

Eingangsgrössen	**spezifische Kapazität [Personen/(ms)]**
bei Verkehrszwecktyp	
durchschnittliche Mischung	1.22
Pendlerverkehr	1.36
Einkaufsverkehr	1.06
Freizeitverkehr	1.01

Qualität des Verkehrsablaufs

Zum direkten Ablesen der Qualitätsstufe des Verkehrsablaufes können die folgenden Diagramme herangezogen werden.

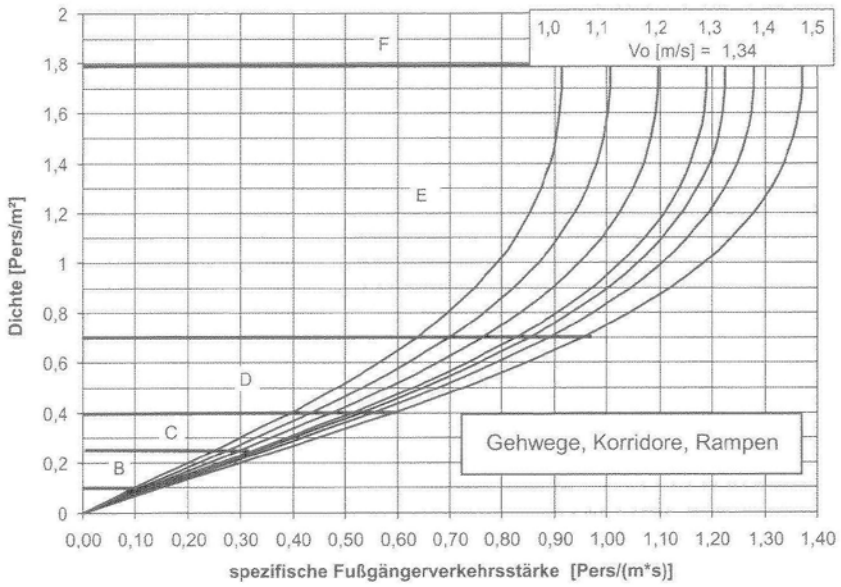


Abb. 8.106 Verkehrsstärke-Dichte-Beziehung und Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs für Gehwege, Korridore und Rampen [FGSV 2005]

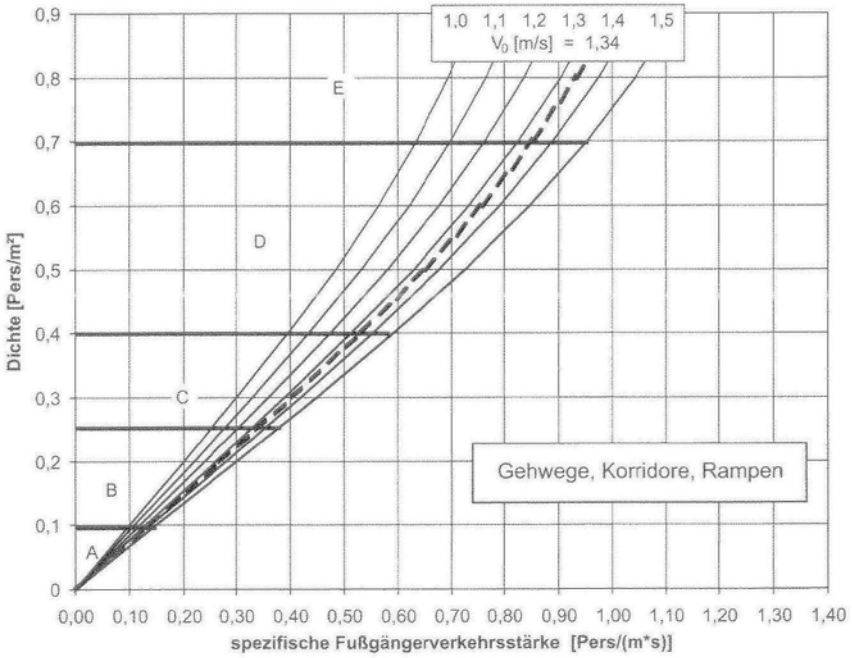


Abb. 8.107 Verkehrsstärke-Dichte-Beziehung und Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs für Gehwege, Korridore und Rampen - Ausschnittsvergrösserung für Dichten bis 0.9 P/m² [FGSV 2005]

8.6.4 Niveauausgleichende Anlagen

In Tab. 8.81 werden die spezifischen Kapazitäten für Rampen nach Verkehrszwecktyp und für Treppen nach Richtung unterschieden.

Tab. 8.81 Kapazitäten linienhafter Fussgängerverkehrsanlagen – Rampen und Treppen ([FGSV 2005])

Eingangsgrössen	**spezifische Kapazität [Personen/(ms)]**
Rampen bei Verkehrszwecktyp	
durchschnittliche Mischung	1,22
Pendlerverkehr	1,36
Einkaufsverkehr	1,06
Freizeitverkehr	1,01
Treppen	
aufwärts	0,86
abwärts	0,98

Das HCM gibt zusätzlich minimale Qualitätsstufen für die Dimensionierung in verschiedenen Situationen an. Bei üblicher Nutzung soll eine Qualitätsstufe B angestrebt werden. Handelt es sich um eine hochfrequentierte Anlage, so ist Stufe D anzuwenden. Für den Fall einer Engstelle gibt das HCM die Dimensionierung auf E an.

Tab. 8.82 Minimale VQS auf Treppen [TRB 2000]

	Min. VQS	Dichte [P/m²]	Gehgeschwindigkeit [m/s]	Personenfluss [P/sm]
Stairs			**(auf / ab)**	**(auf / ab)**
Normal	B	0,58	0.61 / 0.69	0.35 / 0.40
Rush Hour	D	1,31	0.54 / 0.62	0.71 / 0.81
„Bottle-necks“	E	2,12	0.40 / 0.46	0.85 / 0.98

8.6.5 Querverkehr

Im HBS [FGSV 2005] ist der folgende Ablauf zur Ermittlung der Verkehrsqualität auf Fussgängerstreifen (Furten) beschrieben:

1. Festlegung der angestrebten Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs
2. Festlegung der Geometrie der Warteflächen und Ermittlung des Flächenangebots
3. Ermittlung der massgebenden Signalzeit der Lichtsignalanlage und Berechnung des gesamten Flächen-/Zeit-Angebots
4. Ermittlung der massgebenden Fussgängerverkehrsstärken im Querverkehr
5. Ermittlung der Wartezeit und des Flächen-/Wartezeit-Bedarfs des querenden Fussgängerstroms
6. Ermittlung der Bewegungszeit der Fussgängerströme
7. Ablesen der Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs

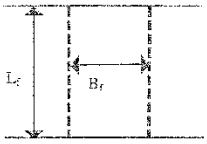
Formblatt 3:	Ermittlung der erreichbaren Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs auf Fußgängerfurten	
Ort:		Louisenring
1	angestrebte Qualitätsstufe QSV [-]	C
2	Fläche der Furt B_f = 4,00 [m] L_f = 7,50 [m]	
3	**Flächenangebot** F [m²] $F_F = B_f \cdot L_f$ (Gl. 11-7)	*30*
4	Umlaufzeit t_U [s] Freigabezeit t_F [s]	**60** **15**
5	**Flächen-/Zeit-Angebot** A_G [m² · min] $A_G = F_F \cdot t_F / 60$ (Gl. 11-9)	*7,5*
6	**Fußgänger mit Querungsabsicht** (Tab. 11-1) q_t [Pers/t min] q_{15} [Pers/15min] q_2 [Pers/2min] $M_{15} = q_{15} \cdot t_U / 900$ [Pers] $M_2 = q_2 \cdot t_U / 120$ [Pers]	**1500 [Pers/60 min]** *450* *90* *30* *45*
7	**Überquerungszeit** t_q [s] $t_q = L_f / v$ (Gl. 11-13)	*5,6*
8	**Bewegungszeit der Fußgängerströme** T [Pers · min] $T_{15} = t_q / 60 \cdot \Sigma M_{15}$ $T_2 = t_q / 60 \cdot \Sigma M_2$ (Gl. 11-14)	*2,8* *4,2*
9	**Dichte** k [Pers/m²] $k_{15} = T_{15} / A_G$ $k_2 = T_2 / A_G$ (Gl. 11-15)	*0,37* *0,56*
10	**Qualitätsstufe** 15-Min-Intervall QSV_{15} [-] **Qualitätsstufe** 2-Min-Intervall QSV_2 [-] (Tabelle 11-6)	*C* *D*

Abb. 8.108 Berechnungsbeispiel zum Nachweis der Qualität des Verkehrsablaufs auf Fussgängerfurten ([HBS, 2001])

8.6.6 Mechanische Anlagen

Fahrtreppen und Fahrsteige

Relevantes Zeitintervall

Näherungsweise lassen sich Fahrtreppen und Fahrsteige auf analoge Weise dimensionieren. Auch hier ist der Zulauf der Fussgänger unregelmässig, weshalb bei einer Kapazitätsdimensionierung über einen längeren Betrachtungszeitraum von beispielsweise einer Stunde nicht von derselben Leistungsfähigkeit wie bei einem kurzen Intervall (im Minutenbereich) ausgegangen werden darf.

Folgende Tab. 8.83 gibt einen Überblick über die praktische Leistungsfähigkeit von Fahrtreppen für ein 5-Minuten-Intervall.

Tab. 8.83 Leistungsfähigkeit von Fahrtreppen [Weidmann 2009]

Lichte Breite [mm]	Fahrgeschwindigkeit		
	v=0.5 m/s [P/s]	v=0.65 m/s [P/s]	v=0.75 m/s [P/s]
600	0.91	1.01	1.05
800	1.21	1.35	1.40
1000	1.52	1.69	1.75

Einfluss der Treppengeschwindigkeit

Wie früher gezeigt, ist die Treppenbelegung von der Geschwindigkeit abhängig. Aufgrund dessen gibt es eine optimale Fahrtreppengeschwindigkeit, bei welcher die maximale Kapazität erreicht wird.

Dies ergibt nachfolgende theoretische Maximalwerte

Tab. 8.84 Theoretische Werte für Kapazitäten von Fahrtreppen für verschiedene Fahrgeschwindigkeiten und Intervalle (Stufenbreite 1,0 m; Stufentiefe 0,4 m) ([Weidmann 1993])

Intervall	Geschwindigkeit	Kapazitäten		Stufenbelegung
	[m/s]	[P/h]	[P/s]	[P/Stufe]
1-min-Intervall	0.50	8900	2.47	1.98
	0.73	10650	2.95	1.62
5-min-Intervall	0.50	8000	2.22	1.78
	0.71	9300	2.58	1.46

Stundenleistungsfähigkeiten

Für ein 1-Stunden-Intervall gibt [DIN 2009] die Werte aus Tab. 8.85 für die Kapazitätsberechnungen an.

Tab. 8.85 Praktische Werte für Kapazitäten von Fahrtreppen für 60 Minuten Intervalle (Stufentiefe 0.4m); [DIN 2009])

Stufenbreite	Fahrtreppen-geschwindigkeit	Kapazität		Stufenbelegung
[m]	[m/s]	[P/h]	[P/s]	[P/Stufe]
0.6	0.50	3600	1.00	0.80
	0.65	4400	1.22	0.75
	0.75	4900	1.36	0.73
0.8	0.50	4800	1.33	1.07
	0.65	5900	1.64	1.01
	0.75	6600	1.83	0.98
1.0	0.50	6000	1.67	1.33
	0.65	7300	2.03	1.25
	0.75	8200	2.28	1.21

Differenzierter und restriktiver sind die Angaben von [Schindler, 2009].

Tab. 8.86 Theoretische und praktische Förderleistungen von Fahrtreppen, Herstellerangaben nach [Schindler, 2009]

Stufenbreite	**Theoretische Förderleistung**	**Praktisch mögliche Förderleistung bei Nenngeschwindigkeit von**			
	v=0.5 m/s	v=0.5 m/s	v=0.5 m/s	v=0.5 m/s	v=0.65 m/s
		locker	mittel	gedrängt	gedrängt
600 mm	4500	1800	2700	3600	4400
800 mm	6750	2400	3600	4800	5900
1000 mm	9000	3000	4500	6000	7300

Eine Dimensionierung von Fahrtreppen und Fahrsteigen auf VQS – Klassen ist nicht angegeben. Insgesamt sind die Literaturangaben stark widersprüchlich und oft deutlich zu hoch.

Lift

Für Liftanlagen ist keine Dimensionierung nach VQS vorhanden.

8.6.7 Anlagen des Aufenthalts

Allgemeine Werte

Zur Dimensionierung von Haltestellen des öffentlichen Verkehrs und Warteflächen an Fussgängerfurten finden sich in der Literatur verschiedene Angaben. Hauptparameter ist die nutzbare Fläche. Diese ergibt sich aus einer Länge und einer Breite abzüglich Einbauten. Einfluss auf die Fläche haben zudem Verluste durch Wandeinflüsse, Bepflanzungen, parkende Fahrzeuge sowie sämtliche die Bewegung störenden Hindernisse. Dient die Anlage zudem Fussgängerströmen, so ist dafür eine Teilfläche nach Massgabe des Kapazitätsbedarfs abzuziehen.

Haltestellen des öffentlichen Verkehrs

In [Lanz R. 2006] werden zwei Dimensionierungsverfahren für Haltestellen (Einzelhaltestelle) beschrieben, die statisch-geometrische Dimensionierung und die dynamisch-kapazitative Dimensionierung.

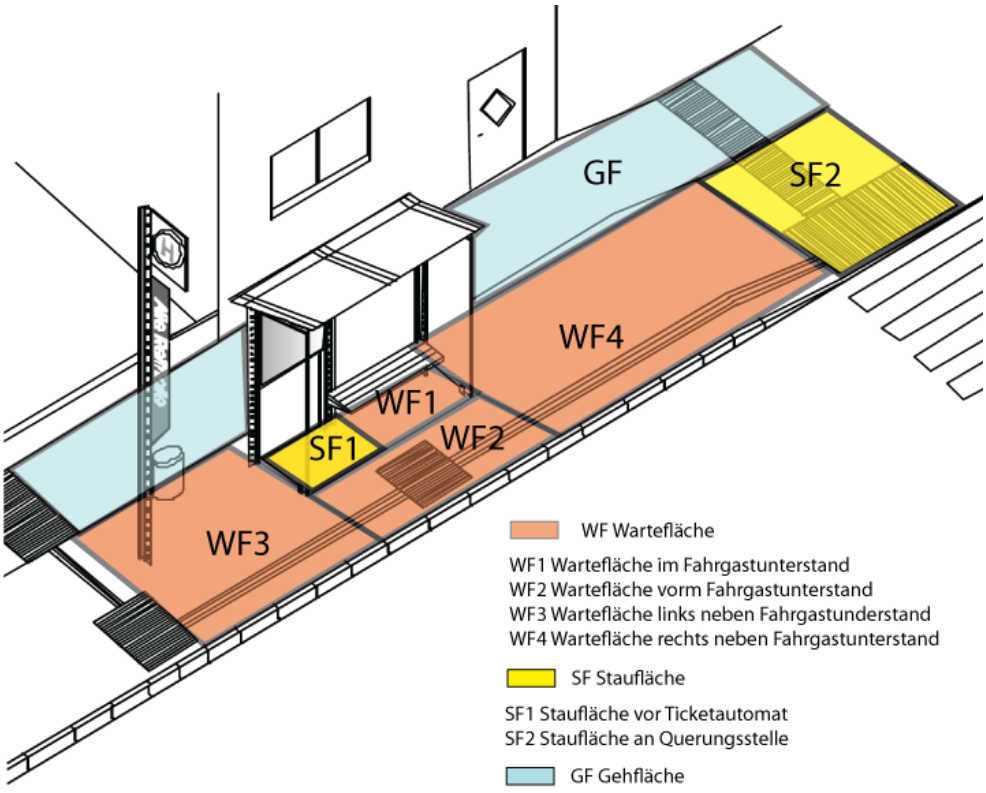


Abb. 8.109 Darstellung von Warte- und Stauflächen, Grafik modifiziert nach [[Lanz R. 2006]

Die statisch-geometrische Dimensionierung geht von einer Minimalabmessung aus, die eine Haltestelle, unabhängig vom Fahrgast- und Fussgängeraufkommen, haben soll. Bei der dynamisch-kapazitativen Dimensionierung wird die Belastung durch Fahrgäste des öffentlichen Verkehrs und durch Fremdverkehr berücksichtigt. Die folgende Abb. 8.110 zeigt die beiden Dimensionierungsansätze.

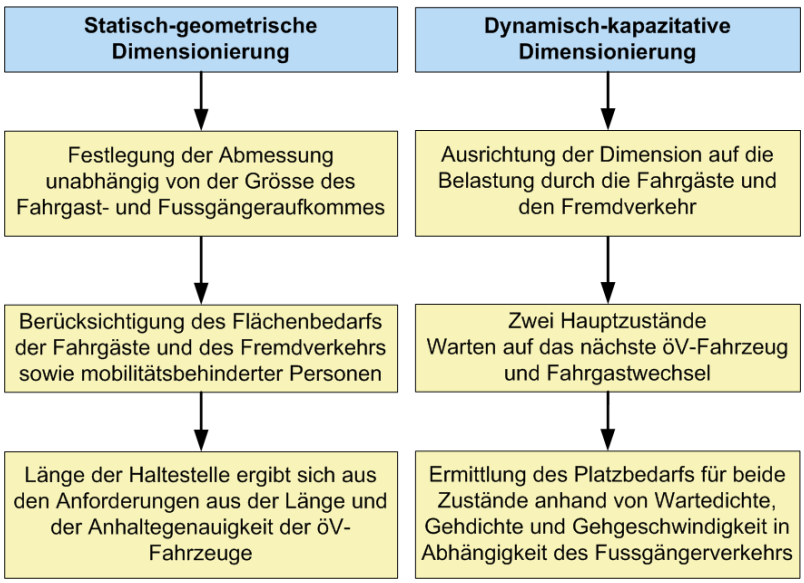


Abb. 8.110 Vergleich von Dimensionierungsverfahren von Einzelhaltestellen

Bei der dynamisch-kapazitativen Dimensionierung wird ein Gedankenmodell mit zwei dimensionierungsrelevanten Situationen und einer Übergangssituation formuliert. Dies sind das Warten auf das nächste öV-Fahrzeug und der Fahrgastwechsel. Als Wartesituation

wird der Zustand bis ca. 30 Sekunden vor Ankunft des Fahrzeuges bezeichnet (vgl. Abb. 8.111a). Die Übergangssituation beschreibt den Zustand kurz vor Ankunft bzw. bei Einfahrt des Fahrzeuges (vgl. Abb. 8.111b) und ist nicht dimensionierungsrelevant. Die Situation des Fahrgastwechsels ist jene nach Ankunft des Fahrzeuges und Öffnen seiner Türen (vgl. Abb. 8.111c).

Abb. 8.111 „Betriebsgeschehen" auf den Fussgänger- bzw. Fahrgastflächen einer Haltestelle [Lanz R. 2006]

Die Gesamtbreite (B_{Gesamt}) der Haltestelle wird in drei Teilbreiten unterteilt, für die einsteigenden Fahrgäste (B_E), für die in den Warteraum zuströmenden Fahrgäste und den Fremdverkehr (B_L) sowie die wartenden Fahrgästen (B_W). Die jeweiligen Abmessungen ergeben sich aus der massgebenden Belastung des Aussteigeverkehrs, des Umsteigeverkehrs und des Einsteigeverkehrs.

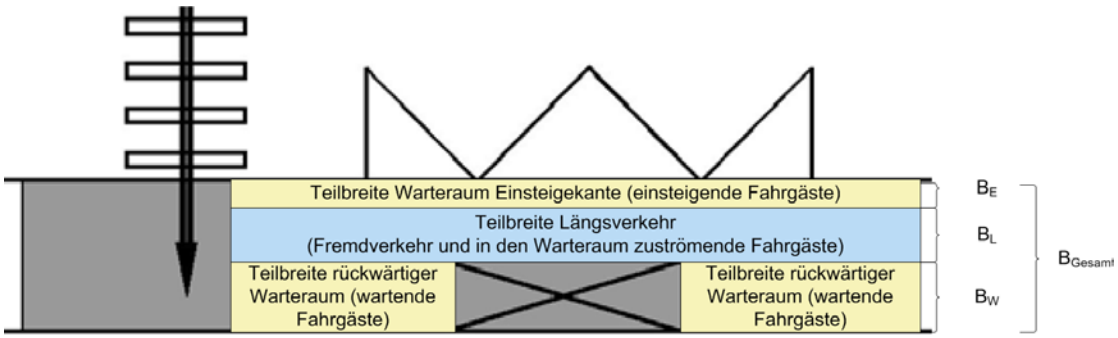


Abb. 8.112 Einteilung der Haltestelle in Teilbreiten [Lanz R. 2006]

Bei der Dimensionierung der Warteflächen wird üblicherweise VQS B verwendet. Für kurzfristige Spitzen soll VQS D zur Anwendung gelangen [Buchmüller 2007].

Tab. 8.87 Bemessungswerte für Warteflächen [Buchmüller 2007]

	Min.LoS	**Dichte [P/m²]**
Normal	B	0,87
Kurzfristig	D	2,50

Dies entspricht den in der Praxis beobachteten Werten vor und während eines Fahrgastwechselvorganges. Verschiedene Eisenbahninfrastrukturunternehmungen in der Schweiz verwenden für die Dimensionierung des Wartebereichs einen Wert von 0,6 bis 1,0 P/m², bezogen auf die tägliche Spitzenfrequenz. Neue sicherheitsorientierte Studien postulieren auf Perrons von Bahnen allerdings die Beschränkung auf VQS C, um ein Ausweichen der Fahrgäste in den Sicherheitsbereich zu vermeiden [BAV 2011].

Warteflächen an Fussgängerfurten

Die Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs für Warteflächen an Fussgängerfurten wird in [FGSV 2005] aus der Verkehrsdichte ermittelt. Aus der Multiplikation des Flächenangebo-

tes mit der Dauer eines gewählten Zeitintervalls lässt sich die Verkehrsdichte berechnen [FGSV, 2005]. Dazu sind folgende Schritte zu durchlaufen:

1. Festlegung des angestrebten Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs
2. Festlegung der Geometrie der Warteflächen und Ermittlung des Flächenangebots
3. Ermittlung der massgebenden Signalzeit der Lichtsignalanlage und Berechnung des gesamten Flächen-/Zeit-Angebots.
4. Ermittlung der massgebenden Fussgängerverkehrsstärken im Querverkehr
5. Ermittlung der Wartezeit und des Flächen-/Wartezeit-Bedarfs des querenden Fussgängerstroms
6. Ermittlung des Angebots im Warteflächenbereich für Bewegung entlang der Wartefläche
7. Ermittlung der massgebenden Fussgängerverkehrsstärken entlang der Warteflächen
8. Ermittlung der Bewegungszeit der Fussgängerströme
9. Ablesen der Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs

In nachfolgender Abbildung wird die Berechnung der Verkehrsqualität auf Stauflächen anhand von einem Beispiel gezeigt.

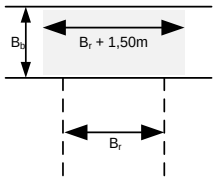
Formblatt: Ermittlung der erreichbaren Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs für Warteflächen				
Ort:				
Art der Verkehrsanlage				Strassenabschnitt
1	angestrebte Qualitätsstufe		QSV [-]	***D***
2	Abschnitt B_b = **4.00** B_f = **4.00** Ecke B1= **5.00** B2= **4.00** R= **5.00**		[m] [m] [m] [m] [m]	
3	Flächenangebot Abschnitt (Gl. 11-5) Ecke (Gl. 11-6)	F F_A F_E	[m²] [m²] [m²]	*22* *22*
4	Umlaufzeit Sperrzeit	t_U t_S	[s] [s]	**75** **50**
5	Flächen- / Zeit-Angebot (Gl. 11-8)	A_G	[m² * min]	*27.50*
6	Fussgänger mit Querungsabsicht (Tab. 11-1) q_{15} q_2 $M_{15} = q_{15} \cdot t_U / 900$ $M_2 = q_2 \cdot t_U / 120$	q_t	[Pers/t min] [Pers/15min] [Pers/2min] [Pers] [Pers]	**2000** *600* *120* *50* *75*
7	Wartezeit $W_{15} = M_{15} \cdot t_s^2 / (120 \cdot t_U)$ $W_2 = M_2 \cdot t_s^2 / (120 \cdot t_U)$		 (Gl. 11-10)	 *13.9* *20.8*
8	Flächen- / Wartezeit-Bedarf $A_{W15} = W_{15} / k$ $A_2 = W_2 / k$		 (Gl. 11-11)	 *5.6* *8.3*
9	Verfügbares Flächen- / Zeit-Angebot $A_{15} = A_G - A_{W15}$ $A_2 = A_G - A_{W2}$	A	[m² * min] (Gl. 11-12)	 *21.9* *19.2*
10	Fussgängerbewegung im Warteflächenbereich (Tab. 11-1) q_{15} q_2 $M_{15} = q_{15} \cdot t_U / 900$ $M_2 = q_2 \cdot t_U / 120$	q_t	[Pers/t min] [Pers/15min] [Pers/2min] [Pers] [Pers]	**5000** *1500* *300* *125* *188*
11	Durchquerungszeit (Gl. 11-13)	t_q L_f v	[s] [m] [m/s]	*3* ***3.25*** ***1.34***
12	Bewegungszeit der Fussgängerströme $T_{15} = t_q / 60 \cdot \sum M_{15}$ $T_2 = t_q / 60 \cdot \sum M_2$	T	[Pers * min] (Gl. 11-14)	 *6.3* *9.4*
13	Dichte $k_{15} = T_{15} / A_{15}$ $k_2 = T_2 / A_2$	k	[Pers/m²] (Gl. 11-15)	 *0.28* *0.49*
14	Qualitätsstufe (Tab. 11-6) 15-min-Intervall 2-Min-Intervall		 QSV_{15} [-] QSV_2 [-]	 ***C*** ***D***

Abb. 8.113 Berechnungsbeispiel zum Nachweis der Qualität des Verkehrsablaufs für Stauflächen (HBS: Warteflächen) an Fussgängerfurten [FGSV 2005]

Warteräume vor Fussgängerstreifen sollen gemäss [Weidmann 1993] mit einer Personendichte von 1.5 P/m^2 bzw. mit 2.5 P/m^2 gemäss [FGSV 2005] dimensioniert werden. Dies entspricht einer Qualitätsstufe D.

Die folgende Tab. 8.88 zeigt zudem die entsprechenden Werte für Personendichten auf Warteflächen nach BASt.

Tab. 8.88 Personendichte auf Warteflächen [Verkehrstechnik, Heft71, BASt]

	Personendichte [P/m²]
max. Dichte	6,60
Warteflächen an LSA	2,00
Warteflächen an ÖV-Haltestellen	2,70

8.6.8 Verknüpfungsanlagen

Flügel- oder Schiebetüren werden durch die nutzbare Durchgangsbreite definiert. Als Einflussgrösse werden die Breite sowie die dadurch bedingte Querschnittsänderung genannt [Daamen 2007b]. Die Verzögerung bis zur kompletten Öffnung einer Flügel- oder Schiebetür ist ebenfalls ein Parameter.

Bei Schleusen, Drehsperren, Drehkreuzen und Karusselltüren bildet die mögliche Durchgangsbreite der Anlage die Haupteinflussgrösse. Bei Drehkreuzen und Karusselltüren kommt zusätzlich die Drehgeschwindigkeit der mechanischen Elemente hinzu, sei es automatisch oder manuell [Daamen 2007b].

8.6.9 Simulation

Einführung

Für die Gestaltung und Dimensionierung von Fussgängeranlagen wurden in der Vergangenheit mehrheitlich analytische Methoden verwendet. Diese stossen vor allem bei grösseren und zugleich komplexeren Anlagen an Grenzen. Parallel dazu wurden in jüngerer Zeit Fussgängersimulationsmodelle und –tools entwickelt, welche in der Lage sind, Personenströme mit zahlreichen beteiligten Personen in grösseren und komplexeren Anlagen abzubilden. Unterschieden werden heute:

- Mikroskopische Simulation: Simulation des Verhaltens der einzelnen Fussgänger und ihrer Interaktionen, analog beispielsweise zu Gaspartikeln und deren Wechselwirkungen
- Mesoskopische Simulation: Kombination makroskopischer und mikroskopischer Teilmodelle in einem übergreifenden Simulationsmodell
- Makroskopische Simulation: Simulation des Verhaltens ganzer Fussgängerströme, analog zu Flüssigkeitsströmen und ihren aggregierten Kennwerten

Bei der Anwendung einer Fussgängersimulation ist in der Regel folgender Arbeitsablauf notwendig:

1. Analyse der geplanten Anlage und Aufarbeitung der Simulations-Inputs
2. Eingabe der Simulationsdaten
3. Durchführen von Simulationsläufen
4. Auswertung der Resultate (Visuelle Ausgabe der Simulationen, Ausgabe von Kenngrössen, Durchführen von spezifischen Datenauswertungen)

Aus Sicht des Planers interessieren nebst der Qualität des Modells, welche bei den Simulationsläufen zum Tragen kommt, vor allem die Aspekte der Dateneinn- und der Datenausgabe.

Grunddaten

Als Grundlage für die Simulation von Personenströmen sind im Wesentlichen vier Kategorien von Eingabedaten erforderlich:

- **Infrastruktur der Fussgängeranlage**: Dies umfasst hauptsächlich die geometrische Ausprägung der Fussgängeranlage auf den verschiedenen Ebenen (falls mehrere Ebenen vorhanden), die Gestaltung der vertikalen Verbindungselemente der Ebenen sowie deren Parameter (Treppe, Fahrtreppe, Lifte etc). Allenfalls sind weitere Transportsysteme für Fussgänger zu modellieren (Fahrtreppen, Fahrsteige).
- **Verkehrsmittel (Züge)**: Dabei handelt es sich vorab um die ankommenden und abfahrenden Züge in einem Bahnhof. Um das Betriebsprogramm eines Bahnhofs simulieren zu können, sollen Details zur Gleisbelegung, zum genauen Halteort sowie die Parameter des Rollmaterials (Anzahl und Lage der Türen, Gestaltung der Einstiege, Kapazität der Wagen, Fahrgastverteilung im Zug) eingegeben werden können.
- **Fussgänger als Benutzer der Anlage**: Zum einen sind die Anzahl Fussgänger und deren fussgängertechnische Eigenschaften zu definieren. Hinzu kommen Eigenschaften des Verhaltens (Nutzung von Informationseinrichtungen, Nutzung von Dienstleistungen etc.). Ebenfalls bei der Eingabe sind die Quell-Ziel-Relationen der Fussgänger (Startpunkt, Zielpunkt) zu definieren. Als Quellen/Ziele kommen in Frage: Wagen resp. einzelne Fahrzeugtüren der Züge, Ein-/Ausgänge des Bahnhofes, Orte von Aktivitäten.
- **Aktivitäten (= bahnrelevante oder kommerzielle Dienstleistungen)**: Darunter fallen alle Arten von Informations- und Distributionseinrichtungen, Verpflegungs- und Einkaufsmöglichkeiten. Für die Simulation sind die Standorte dieser Aktivitäten, die von deren Nutzern beanspruchten Flächen sowie die Charakteristik der Nutzung selber (Dauer der Aktivität, Warteschlangenverhalten etc.) zu definieren.

Datenauswertung

Nach der Durchführung der Simulationsläufe sind die Resultate der Simulation zur Beurteilung der entworfenen Anlage auszuwerten. Es geht dabei hauptsächlich um die Überprüfung, ob die Anlage unter den vorausgesetzten Belastungen (verschiedene Lastfälle) die definierten Anforderungen erfüllen kann. Dazu sollen die Fussgängersimulationstools folgende Möglichkeiten zur Datenauswertung zur Verfügung stellen:

- **Leistungsfähigkeit / Sicherheit der Anlage**: Anhand der Fussgängersimulation sollten kritische Bereiche bezüglich der Personenströme identifiziert werden können. Dies sind Stellen, an denen Leistungsengpässe und damit unter Umständen auch sicherheitskritische Zustände auftreten. Dies kann qualitativ aufgrund der Animation der Personenströme erfolgen. Es soll aber auch eine quantitative Auswertung möglich sein, welche es erlaubt, Bereiche zu erkennen, in welchen über eine bestimmte (frei wählbare) Zeitdauer eine bestimmte, kritische Personendichte überschritten wird.
- **Auswertung von Rückstausituationen**: In Bahnhöfen kommt es an verschiedenen Stellen aufgrund der Belastungsspitzen zu Stausituationen. Zur Beurteilung dieser Situationen ist die Ausgabe von Parametern von solchen Rückstaus notwendig. Dies sind im Wesentlichen die maximale Grösse eines Rückstaus (Anzahl Personen, Flächenbedarf der Warteschlange) sowie die Zeitdauer des Staus.
- **Verlustzeiten im Vergleich zur ungehinderten Bewegung**: Als weitere Grösse zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Anlage sind die Verlustzeiten der Fussgänger auszuwerten. Die Verlustzeiten entsprechen der Differenz der tatsächlichen Wegzei-

ten und den idealen Wegzeiten der Fussgänger bei ungehinderter Bewegung. Dabei sollen die Verlustzeiten für alle Ströme oder für bestimmte Relationen (z. B. bestimmte Umsteigerelationen) als mittlerer Zeitverlust pro Person ausgewertet werden können.

- **Wegzeiten der Fussgänger**: Zur Überprüfung von Übergangszeiten in Bahnhöfen zwischen bestimmten Anschlüssen (Zug – Zug, Zug – ÖPNV etc.) sollen die Wegzeiten für die verschiedenen Relationen ausgewertet werden können. Bei detaillierten Betrachtungen sollen diese Auswertungen nach Personengruppen (z. B. ältere Personen, Mobilitätsbehinderte, Pendler) differenziert werden können.
- **Verkehrsqualität**: Zur Beurteilung des Benutzerkomforts ist eine Auswertung des Verkehrszustandes für die verschiedenen Bereiche der Anlage während des betrachteten Intervalls notwendig. Für diese Beurteilung werden die Level of Services angewandt. Ein Simulationstools soll idealerweise eine Auswertung der VQS für ausgewählte Anlagebereiche sowie eine Angabe der Zeitdauer des Erreichens eines bestimmten VQS ermöglichen.

Anforderungskatalog

Aufgrund der in den beiden vorhergehenden Abschnitten aufgeführten Kriterien lässt sich für Simulationstools folgender Anforderungskatalog aus planerischer Sicht ableiten:

Tab. 8.89 Übersicht zur Literaturauswertung

Arbeitsschritt	**Kriterien**	
Eingabe	Fussgängeranlage	Grundriss der Anlage (pro Ebene) Anlage-Elemente zur Ebenenverknüpfung (Treppen, Rampen, Fahrtreppen, Lifte etc.) sowie deren Parameter Weitere Transportanlagen (Fahrsteige etc.)
	Verkehrsmittel	Betriebsprogramm des Bahnhofs (fahrplanmässige Ankünfte/Abfahrten) Halteort/Position Fahrzeugtüren der Züge Zu-/Weggangsraten (Fahrgastwechsel)
	Fussgänger	Individuelle Parameter Fortbewegung Verhaltensparameter Quelle-Ziel-Beziehungen
	Aktivitäten bahnbezogen/ kommerziell	Aktivitätenort und –layout Nutzungsmuster
Simulation	Zur Beurteilung des Simulationsmodells vgl. Kap. 4.1.2.1	
Ausgabe / Auswertung	Leistungsfähigkeit / Sicherheit	Beurteilung anhand einer Animation 2D/3D (qualitativ) Beurteilung anhand von Bereichen mit hoher Fussgängerdichte über einen längeren Zeitraum (Definition eines Zeitgrenzwertes) (quantitativ)
	Rückstaus	Flächenbedarf durch den Stau (Anzahl Personen, Fläche) Dauer des Rückstaus (in Sekunden)
	Verlustzeiten	Auswertung des mittleren Zeitverlust: - insgesamt - für bestimmte Relationen (Quelle-Ziel-Beziehungen)
	Wegzeiten	Statistische Auswertung der Umsteigezeiten je Umsteigerelation Bestimmung von Wegzeiten ausgewählter Personengruppen
	Verkehrsqualität	Qualitätsstufen des Verkehrs (Level of Service) für ausgewählte Geh- und Wartefläche Ausgabe von Dichteplots

8.7 Fazit der Literaturauswertung

Die bisherigen Untersuchungen lassen insgesamt einige Rückschlüsse auf die Ermittlung der Qualitätsstufen von Fussgängeranlagen zu. Die üblichen Einteilungen basieren auf dem sechsstufigen VQS-Konzept, wobei aber die Grenzen zwischen den Levels uneinheitlich sind. Für einige Anlagentypen respektive Situationen fehlen dagegen noch verlässliche Anhaltspunkte.

Tab. 8.90 stellt eine Übersicht der Literaturauswertung dar. Für alle Anlagentypen wurde deklariert, ob Angaben zur Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität und Dimensionierung bereits „Vorhanden" sind oder nicht („-"). Vereinzelt gab es nur Ansätze („teilweise Vorhanden") oder Analogien zu unterschiedlichen Anlagentypen.

Tab. 8.90 Übersicht zur Literaturauswertung

Anlagetyp	Leistungsfähigkeit (Ermittlung)	Verkehrsqualität	Angaben zur Dimensionierung auf best. VQS
Ebene Gehflächen	Vorhanden	Vorhanden	Vorhanden
Anlagen d. Aufenthalts:			
Platz	Unzureichend	Unzureichend	-
Wartefläche	Unzureichend	Vorhanden	Vorhanden
Staufläche	Unzureichend	Unzureichend	-
Querverkehr	Teilweise Vorhanden	Teilweise Vorhanden	Vorhanden
Verknüpfungsanlagen	Unzureichend	Unzureichend	-
Niveauausgleichende Anlagen:			
Treppe	Vorhanden	Vorhanden	Vorhanden
Rampe	Analogie Ebene	Analogie Ebene	Analogie Ebene
Mechanische Anlagen:			
Fahrtreppe	Vorhanden	Unzureichend	Teilweise Vorhanden
Fahrsteig	Analogie Fahrtreppe	Analogie Fahrtreppe	Analogie Fahrtreppe
Lift	Teilweise Vorhanden	Teilweise Vorhanden	Teilweise Vorhanden

Zur Leistungsfähigkeit werden in der Literatur ausführliche Berechnungen für Ebene Gehflächen, Niveauausgleichende Elemente (insbesondere Treppen) sowie für Fahrtreppen dargestellt. Zu den Anlagen des Aufenthalts finden sich nur wenige Informationen. Die Literatur ist nicht ausreichend, um dazu gültige Aussagen machen zu können. Gleiches gilt für die Verknüpfungsanlagen. Zum Querverkehr wurden bisher auch keine aussagekräftigen Angaben zur Leistungsfähigkeit aufgezeichnet.

Der Fahrsteig ist in den bisherigen Untersuchungen noch nicht behandelt, lässt sich jedoch in Analogie zur Fahrtreppe betrachten. Liftanlagen als mechanische Anlagen sind in Bezug auf die VQS bisher noch nicht beschrieben.

Angaben zum Dimensionierungsvorgehen liegen bisher nur für Ebene Gehflächen, Warteflächen, Querverkehr und Treppen vor. Für mechanische Anlagen ist eine Analogie von Fahrtreppe und Fahrsteig möglich. Ein Verfahren zur Dimensionierung von Liftanlagen besteht bereits, bezieht sich jedoch nicht auf eine VQS - Einteilung.

Für die in der Tab. 8.90 als „Unzureichend" eingeordneten Anlagen müssen die bereits vorhandenen Angaben aus der Literaturrecherche geprüft werden.

Die in den Literaturauswertungen gefundenen Lücken bezüglich der Verkehrsqualitätsstufen und der Ermittlung der Leistungsfähigkeit werden im Folgenden durch eigene Untersuchungen / Erhebungen und Simulationen geschlossen.

9 Modellbildung

9.1 Modulkonzept

Die vorliegenden Untersuchungen basieren auf der Hypothese, dass sich sämtliche Fussgängeranlagen und –netze aus elementaren Bestandteilen kombinieren lassen. Wie bereits im Überblick in Kap. 8.2 geschildert, erfolgt die Einteilung grundsätzlich nach den zwei Kriterien Fortbewegung/Verbindung und Aufenthalt/Verknüpfung. Nach dem Baukastenprinzip aneinandergereiht ergeben die einzelnen Module einen zusammenhängend begehbaren Bewegungsraum für Fussgänger. Bei einigen dieser Elemente ist u. U. auch eine Interaktion mit anderen Verkehrsmodi möglich, bspw. auf Gehwegen mit gemeinsamer Nutzung durch Radfahrer.

9.2 Grundelemente von Fussgängeranlagen

In unten stehender Abbildung sind alle Fortbewegungselemente ersichtlich (ausführliche Beschreibung in Kap. 8.2). Bei der signalisierten Furt und den angegebenen mechanischen Anlagen wird die Möglichkeit des Fussgängers zur eigenen Fortbewegung zusätzlich durch technische Randbedingungen mitbestimmt, wie bspw. die Signalsteuerung (Furt) und Eigengeschwindigkeit der Anlage (z.B. Fahrtreppe).

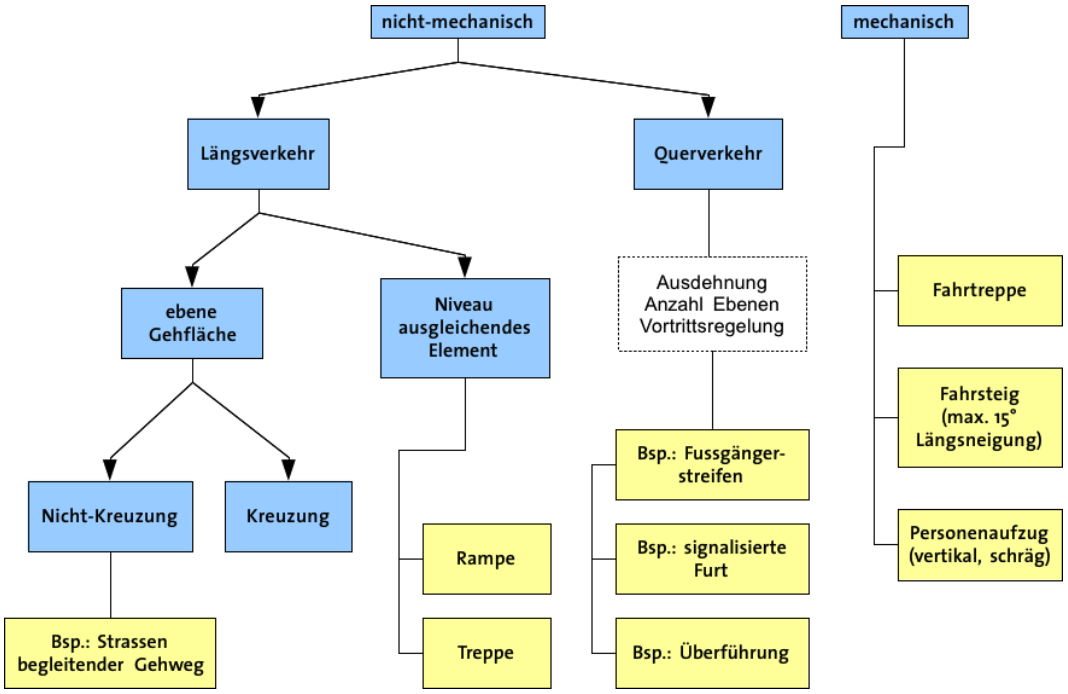


Abb. 9.114 Anlagenelemente zur Fortbewegung / Verbindung

Die nachfolgend dargestellten Aufenthalts-/Verknüpfungselemente sind nicht primär zur Bewältigung von Distanzen geeignet, sondern bilden die Verbindung zwischen eben diesen Fortbewegungselementen. Die Ausnahme bildet der Platz; er bietet bei entsprechender Gestaltung ebenfalls die Möglichkeit zur Ausbildung von Gehbahnen. Besonders an den Warteflächen ist, dass sie als Übergangselement zwischen dem Fussgängerbewegungsraum und einem weiteren Verkehrssystem – z.B. das Netz öffentlicher Verkehrsmittel – funktionieren können.

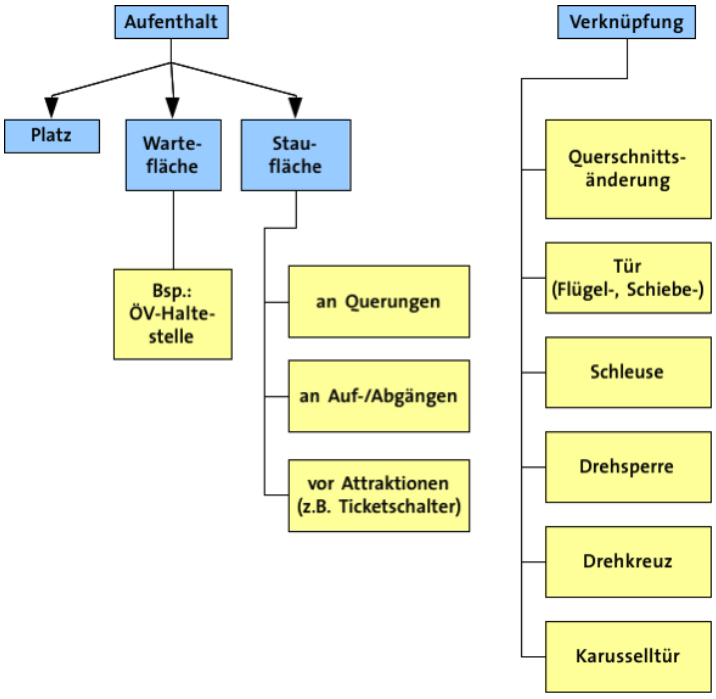


Abb. 9.115 Anlagenelemente zum Aufenthalt / Verknüpfung

Für die Analyse einer Anlage ist diese jeweils in ihre kleinsten funktionalen und verkehrstechnisch homogenen Elemente aufzuteilen. Die Dimensionierung neuer Elemente resp. die Überprüfung der Leistungsfähigkeit und zu erwartenden Verkehrsqualität in definierten Zeitintervallen erfolgt zunächst separat. Im Anschluss sind die Schnittstellen zwischen den Elementen zu prüfen. Es ist zu klären, ob die benachbarten Anlagenteile ebenfalls in der Lage sind, den Zu- und Abstrom von jeweiligen Vorgängern mit der geforderten Qualität zu bewältigen.

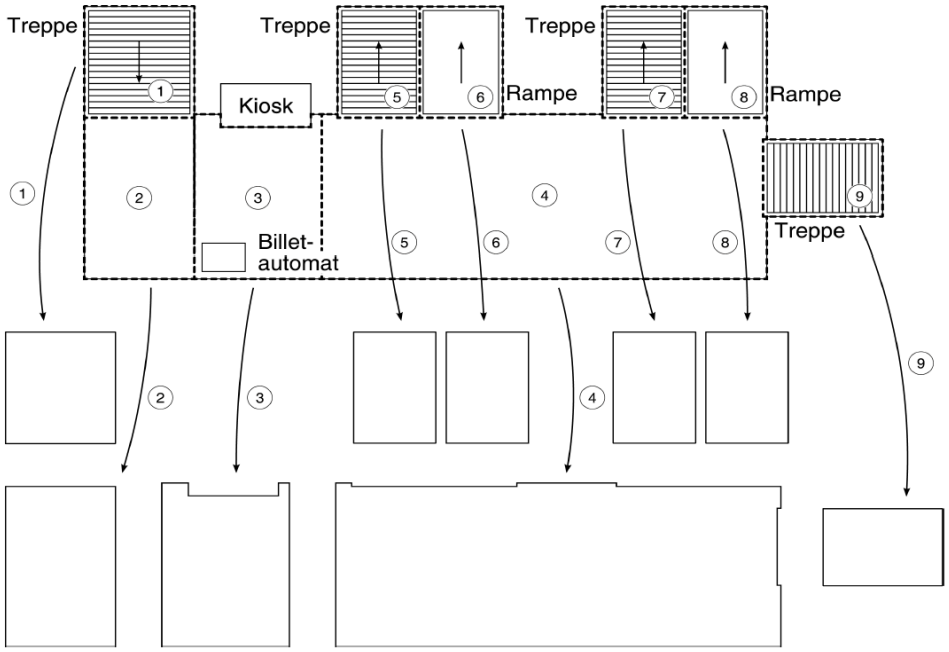


Abb. 9.116 Aufgliederung einer komplexen Anlage in funktionale Elemente

9.3 Kenngrössen und Dimensionierung

Die charakteristischen baulichen Parameter der einzelnen Anlagen sind im Wesentlichen sehr ähnlich. Bei Gehwegen ist der wesentliche Faktor die nutzbare Gehbreite (vgl. auch Abb. 8.84). Die Längsneigung sowie die Länge sind zusätzlich zur Breite bei Rampen massgebend. Treppen zeichnet neben der nutzbaren Breite vor allem die (Geschoss-) Höhe aus. Entscheidend bei Fahrtreppen ist neben Breite, Palettentiefe und Längsneigung hauptsächlich die Beförderungsgeschwindigkeit. Bis auf die Palettentiefe trifft dies auch auf die Fahrsteige zu. Beim Vertikallift sind nutzbare Kabinengrundfläche, Geschosshöhe, Steuerungsprogramm und Beförderungsgeschwindigkeit relevant. Die Fläche ist der Hauptfaktor sowohl von Stau- und Warteflächen, als auch bei Plätzen.

Grundsätzlich ist bei der Dimensionierung einer Fussgängeranlage der Nachweis zu erbringen, dass sämtliche Bewegungs-, Warte- und Verknüpfungsflächen die erwartete Fussgängerzahl mit der jeweils angestrebten Benützungsqualität bewältigen können. Bei ÖV-Anlagen ist zusätzlich zu prüfen, ob die vorgesehenen Umsteigezeiten eingehalten werden können.

Gemäss oben beschriebenem Modell ist bei komplexen Fussgängeranlagen der folgende Ablauf bei Dimensionierung zweckmässig:

1. Aufteilung der Gesamtanlage in Teilanlagen
2. Belastung der Teilanlagen und Dimensionierung
3. Zusammenfügen zur Gesamtanlage und gegenseitige Abstimmung
4. Zeitberechnung (falls aufgrund der Aufgabenstellung erforderlich)

Wichtige Dimensionierungsgrössen sind dabei der Personenfluss (Anzahl, der einen bestimmten Querschnitt pro Zeiteinheit passierenden Personen), die Verkehrsqualität (z.B. ausgedrückt durch die Dichte in Personen je Quadratmeter) oder die Wartezeit (Verlustzeit) an einer Engstelle.

Von denen in [Scherer 2009] beschriebenen Kriterien und Messgrössen der Fussgängerqualität wurden bereits die je Anlagenelement relevanten Kriterien identifiziert (vgl. Tab. 8.61 und Tab. 8.62). Gemäss der entwickelten Modularisierung (vgl. Abb. 8.64) sind damit in der folgenden Tabelle die wichtigsten Messgrössen / zur Beschreibung der Verkehrsqualität abgeleitet.

Tab. 9.91 Grössen und Ansätze zur Beschreibung der Verkehrsqualität je Anlage

Anlage	**Beschreibung durch ...**	**Berechnungsansatz bekannt?**
Gehfläche	Fundamentaldiagramm für Ebene [Weidmann, 1993] Dichte Leistungsfähigkeit	Ja
Rampe	Fundamentaldiagramm für Ebene in Abhängigkeit der Steigung / Gefälle	teilweise
Treppe	Fundamentaldiagramm für Treppen [Weidmann, 1993] Dichte	Ja
Fahrtreppe	Theoretische und Praktische Leistungsfähigkeit [Weidmann, 1993], [Puffe, 2009] Dichte	Ja
Fahrsteig	Theoretische und praktische Leistungsfähigkeit Fahrtreppe ➔ mit geringer Steigung Dichte	teilweise (aus Analogie zur Fahrtreppe)
Vertikallift	Dichte Wartezeit vor Lift	Nein
Platz	Dichte Querverkehr Gegenverkehr	Nein
Wartefläche	Dichte Einfluss anderer Verkehrsarten	Nein
Staufläche	Dichte Wartezeit	Nein

Ausgehend von den bereits verfügbaren Grundlagen aus Kap. 8 waren in dieser Studie noch die fehlenden Zusammenhänge der relevanten Grössen zu bestimmen (vgl. Tab. 9.92).

Tab. 9.92 Erhebungskonzept

Anlage	**relevanter Parameter für die Leistungsfähigkeit**	**Methoden**		
		Analytische Berechnung	Simulation	Felderhebung
Gehfläche	Dichte			
Rampe	Dichte			
Treppe	Dichte			
Fahrtreppe	Geschwindigkeit, Dichte	**x**		**x**
Fahrsteig	Geschwindigkeit, Dichte	**x**		
Vertikallift	Wartezeit, Dichte	**(x)**		**x**
Platz	Dichte	**(x)**	**x**	
Wartefläche	Dichte			
Staufläche	Wartezeit	**x**		
Querverkehr	Wartezeit	**x**		**x**

Daraus leiten sich vier empirische Einzeluntersuchungen ab, welche im folgenden Kapitel 10 dargestellt sind:

- Erhebung einer signalisierten Fussgängerquerung
- Erhebung einer Rolltreppe
- Erhebung an einer Liftanlage
- Untersuchung einer zweidimensionalen Situation

10 Erhebung und Mikrosimulation des Fussgängerverkehrs

10.1 Erhebung einer signalisierten Fussgängerquerung

10.1.1 Zielsetzung der Studie

Das Ziel dieser empirischen Studie war es, das Verkehrsgeschehen einer signalisierten Fussgängerüberganges zu untersuchen. Grundlage dafür war der allgemeine Verkehrsablauf, bestehend aus den folgenden 4 Phasen:

- Betreten / Stau auf der Wartefläche
- Start der Bewegung auf Querung und beginn Durchdringung
- Starke Vermischung / Zusammenballung auf der Querung
- Ende der Durchdringung

Die Erhebung konzentrierte sich dabei auf die erste sowie die dritte Phase.

10.1.2 Methodik

Für die Beobachtung des Fussgängerstroms wurde der Fussgängerstreifen Seidengasse / Uraniastrasse / Lintheschergasse in Zürich ausgewählt (vgl. Abb. 10.117). Dieser ist mit einer Lichtsignalanlage ohne Grünanforderung für die Fussgänger ausgestattet. Durch die Einkaufszentren und Arbeitsplätze in unmittelbarer Umgebung war eine hohe Anzahl an Fussgängern an dem Übergang zu erwarten. Ein weiterer ausschlaggebender Punkt war die Grosszügigkeit der Anlage und ihrer Umgebung. Der vorhandene Raum ist nicht durch Hindernisse (Gebäude, technische Anlagen, etc.) beeinträchtigt und konnte durch die Fussgänger als Warteraum genutzt werden und.

Die Uraniastrasse ist eine Einbahnstrasse, wobei die Fahrzeuge aus Richtung Osten kommend auf den Überweg zufahren. An dem Übergang hat die Uraniastrasse drei Fahrstreifen, wovon zwei zum Geradeausfahren (der Uraniastrasse folgend) und eine zum Rechtsabbiegen in die Seidengasse Richtung Nord / Nordwest. Dies ergibt eine ungefähre Strassenbreite von 9 m.

Abb. 10.117 Ausgewählter Fussgängerüberweg Seidengasse / Uraniastrasse (aus ZüriPlan und Google Maps)

Mittels Videoaufnahmen und -auswertungen wurden die genannten Abläufe aufgezeichnet und analysiert. Dazu wurde eine auf einen signalisierten Fussgängerstreifen gerichtete Kamera (relativ grosser Winkel von einem erhöhten Punkt) eingesetzt. Folgende Grössen wurden anschliessend daraus bestimmt:

- Personendichte während der Grünphase auf dem Übergang
- Wartende Fussgänger während der Rotphase
- Räumliche Verteilung/Personendichtebestimmung am Übergang

Die Videoaufnahmen erfolgten anonymisiert, Rückschlüsse auf einzelne Personen waren nicht möglich.

10.1.3 Durchführung der Erhebung

Die Videoaufzeichnung wurde von der Dachterrasse des Gebäudes Seidengasse 1 aus durchgeführt. Dieser Standort ermöglichte von der 4. Etage eine optimale Aufnahmeposition für die Fussgängerquerung. Aufgenommen wurde mit einer handelsüblichen Digitalkamera (Panasonic SDR-SW20) und entsprechendem Stativ. Die Auswertung erfolgte manuell im Anschluss an die Erhebungen.

In der folgenden Darstellung ist der Übergang mit Standort und Blickwinkel der Kamera, mit der Lichtsignalanlage für die Fussgänger und Fahrzeuge (kombiniert in je einer Anlage pro Seite) sowie dem Fahrstreifen der Uraniastrasse dargestellt.

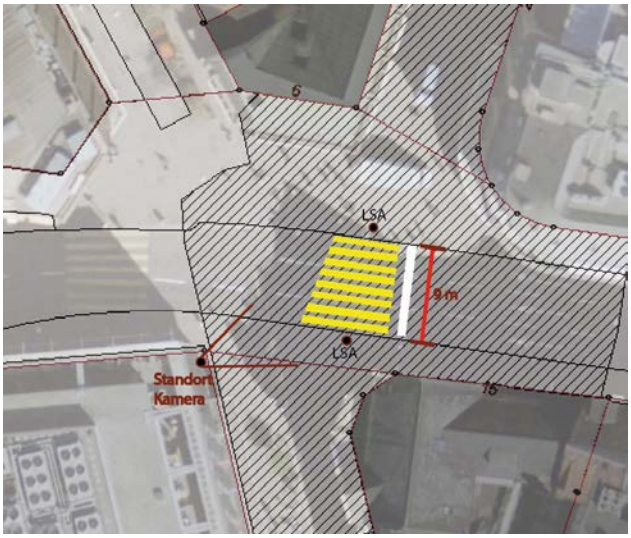


Abb. 10.118 Übergang Uraniastrasse / Seidengasse / Lintheschergasse - Prinzipdarstellung (eigene Darstellung)

Es wurden 4 Erhebungsserien durchgeführt, um ausreichend Material und entsprechend aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, drei davon in der Abendzeit. Letztere sollten die Spitzen, verursacht durch den erhöhten Einkaufs- und Feierabendverkehr (bspw. Berufstätige auf dem Weg zu wichtigen ÖV-Haltestellen), aufzeichnen. Die vierte Erhebung erfolgte in der Mittagsspitzenzeit. Diese wird u.a. verursacht durch die Mittagspausen der Berufstätigen und entsprechende Wege zu Zielen der Verpflegung:

- 02.08.2011, Dienstag, zwischen 16:30 Uhr und 18:00 Uhr
- 03.08.2011, Mittwoch, zwischen 16:10 Uhr und 18:00 Uhr
- 04.08.2011, Donnerstag, zwischen 11:55 Uhr und 13:40 Uhr
- 04.08.2011, Donnerstag, zwischen 16:30 Uhr und 17:55 Uhr

Aufgrund der Perspektive konnten die Grünzeiten für die Fussgänger nicht mit der gleichen Kamera aufgenommen werden, da diese aufgrund der erhöhten Position keinen Blick auf die Lichtsignalanlage hatte. Die Grünzeiten für die Fussgänger wurden vorgängig im Rahmen einer Ortsbegehung am 16.07.2011, zwischen 09:00 Uhr und 10:00 Uhr in einer Kurzzeiterhebung (jeweils ca. 5 Minuten) erfasst. Eine zeitgleiche Erhebung war aus technischen Gründen nicht möglich, aber für das Untersuchungsziel auch nicht nötig.

10.1.4 Auswertung

10.1.4.1 Allgemeine Grundlagen

Da die Aufzeichnung der Signalisation der LSA nicht möglich war, wurden die Fussgänger im 1-Minuten-Intervall erhoben und entsprechend der ermittelten Grünzeiten ein Umrechnungsfaktor eingeführt (vgl. 10.1.4.4). Dies ermöglichte später ein einfaches Zusammenfassen der Daten zu 2-, 5-, 10- oder 15-Minuten-Intervallen.

Die Querungsfläche wurde vereinfacht gemäss Abb. 10.119 ermittelt. Dabei wurde die Fahrbahnbreite zu 9 m und die Querungsbreite ebenfalls zu 9 m gemessen, was eine Gesamtfläche von 81 m^2 ergab.

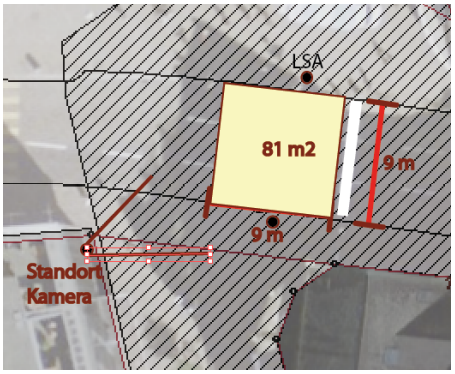


Abb. 10.119 Ermittlung Querungsfläche (Quelle: eigene Darstellung)

10.1.4.2 Grünzeiten der Fussgänger

Bei der Ermittlung der Grünzeiten wurde festgestellt, dass die Lichtsignalanlage keine Festzeitsteuerung hat. Die verkehrsabhängige Steuerung interagiert mit dem vorgelagerten Knoten Bahnhofstrasse / Uraniastrasse. Dieser hat eine ÖV-Priorisierung, welche die 4 Tramlinien auf der Bahnhofstrasse berücksichtigen muss. Dadurch wird der Verkehr, kommend von der Bahnhofsstrasse aus Richtung Osten, stark beeinflusst. Hat der Verkehr auf der Uraniastrasse eine längere Rotzeit, so verlängert sich die Grünzeit entsprechend auf dem Übergang. Die folgende Tabelle zeigt die aufgenommenen Grün- und Rotzeiten in ausgewählten kurzen Zeiträumen.

Tab. 10.93 Ermittelte Grün- und Rotzeiten der Fussgängersignalanlage aus Videodaten des Überganges Uraniastrasse / Seidengasse / Lintheschergasse

Auswerteintervall	Grünzeit [s]	Rotzeit [s]
1[1]	30	29
2[1]	59	26
3[1]	30	28
4[1]	30	- [3]
5[2]	30	32
6[2]	38	30

[1]Videoaufnahme 1, südl. LSA / [2]Videoaufnahme 2, nördl. LSA / [3]Hier konnte kein Wert erfasst werden, da Videoaufnahme zu kurz
Zur Vereinfachung wurde die Grünzeit inklusive der Gelbzeit aufgelistet

Die Tabelle zeigt Rotzeiten zwischen 26 und 32 Sekunden. Die Mehrzahl der Grünzeiten beträgt 30 Sekunden, hinzu kommen zwei höhere Werte von 38 Sekunden und 59 Sekunden. Die Gründe dafür liegen in der bereits genannten Abhängigkeit vom vorgelagerten Knoten. Die Mindestgrünzeit für die Fussgänger liegt somit bei 30 Sekunden. Dies ist für die spätere Auswertung der Dichten auf der Querung als Basis zu beachten.

10.1.4.3 Verkehrsbelastung

Im Rahmen dieser Erhebung wurde zusätzlich eine Querschnitterhebung der aktuellen Verkehrsbelastung der Uraniastrasse im MIV durchgeführt. Die in der folgenden Tabelle aufgelisteten Werte beziehen sich auf den Querschnitt Uraniastrasse, östlich der Fussgängerquerung, mit drei Fahrspuren (vgl. Tab. 10.94). Erfasst wurden alle drei Fahrspuren im 5-Minuten-Intervall.

Die Ergebnisse zeigen eine relativ gleichmässige Verteilung der Fahrzeuge (vgl. ab. 10.95). Der Wert für den 04.08.11 liegt aufgrund der Mittagszeit etwas niedriger als die restlichen Werte.

Tab. 10.94 Querschnittserhebung Uraniastrasse

Datum	Uhrzeit		PW	LKW	KRAD	Velo	Bus
02.08.2011	17:05	18:05	754	1	91	83	6
03.08.2011	16:55	17:55	813	7	66	84	1
04.08.2011	12:00	13:00	673	15	40	44	1
04.08.2011[1]	16:00	16:30	380	5	35	20	0

[1] nur halbe Stunde erfasst

Tab. 10.95 Querschnittserhebung Uraniastrasse – Mittelwerte der 5-Minuten-Intervalle

Datum	PW	LKW	KRAD	Velo	BUS
02.08.2011	62.8	0.1	7.6	6.9	0.5
03.08.2011	68.6	0.6	5.5	7.0	0.1
04.08.2011[1]	56.1	1.3	3.3	3.7	0.1
04.08.2011[2]	63.3	0.8	5.8	3.3	0.0

[1] Mittag [2] Abend

10.1.4.4 Personenfluss auf dem Übergang

Personenfluss über die Gesamtzeit

Insgesamt wurden für beide Querungsrichtungen zusammen 11830 Fussgänger erfasst, pro Minute durchschnittlich 31.16 Personen. Pro Stunde queren demnach im Mittel 1880 Fussgänger den Überweg. Zu beachten ist hierbei, dass die ermittelten Werte nicht für die Grünzeiten gelten, sondern für die gesamten Intervalle einschliesslich der Rotzeiten. Zur vereinfachten Abschätzung des effektiven Personenflusses pro Minute wurde ein Grünzeitfaktor definiert. Dieser ergibt sich aus dem Quotient der angenommenen Grünzeit von 30 Sekunden und dem 60 – Sekunden – Intervall (1 Minute).

Im nachfolgenden Diagramm sind sämtliche 1-Minuten-Intervalle (Gesamtzeit) mit der entsprechenden Anzahl an Personen dargestellt. Die Häufigkeitsverteilung zu den Werten aus der Abb. 10.120 zeigt Abb. 10.121.

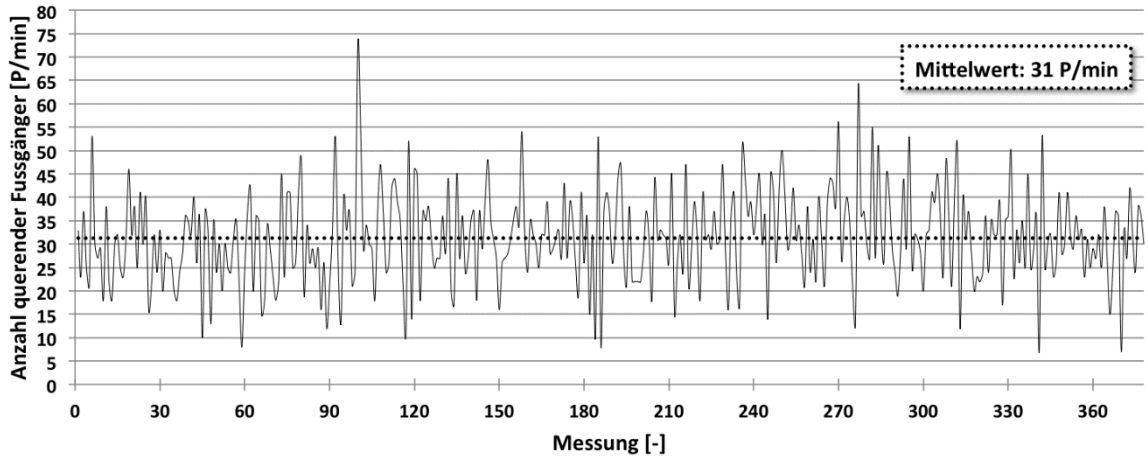


Abb. 10.120 Erhebung Querung – Auflistung aller Messwerte (1 - Minuten-Intervall)

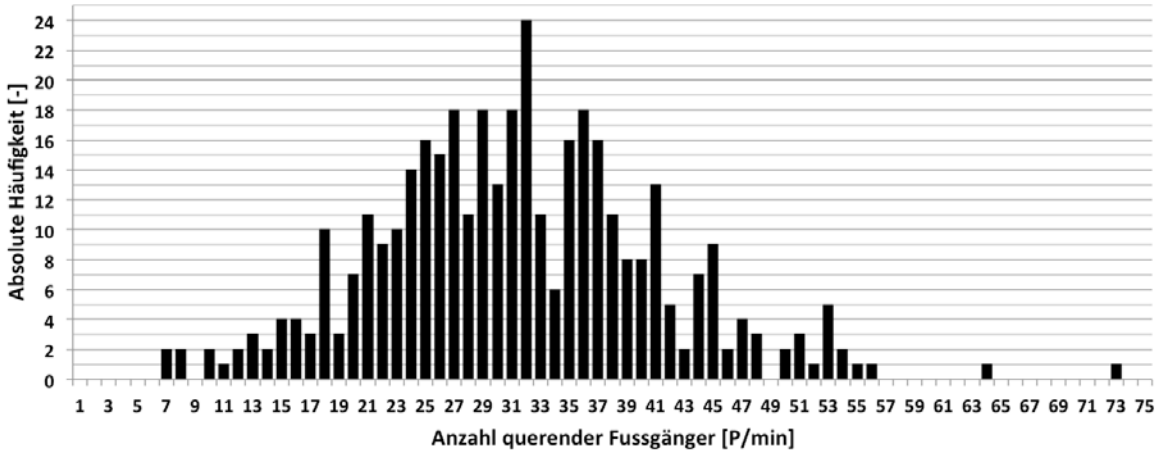


Abb. 10.121 Häufigkeitsverteilung Querung mit LSA

In folgender Tabelle sind die Höchstwerte für unterschiedliche Zeitintervalle angegeben. Der Einfluss des Grünzeitfaktors ist in den folgenden Darstellungen nicht enthalten.

Tab. 10.96 Ermittelte Spitzenbelastungen nach Intervall (für Gesamtzeit)

Intervall [min]	Datum	Zeit	Fussgänger
60	04.08.12	11:45 – 12:45	2105
30	04.08.12	12:15 – 12:45	1069
15	04.08.12	12:30 – 12:45	541
10	04.08.12	12:35 – 12:45	373
5	04.08.12	12:40 – 12:45	197
2	04.08.12	12:33 – 12:35	100
1	03.08.12	16:20 – 16:21	73

Personenfluss mit effektiver Grünzeit

Anhand der Fussgängergrünzeit der Anlage von 30 Sekunden und dem 1-Minuten-Erfassungsintervall (60 Sekunden) ergibt sich der Grünzeitfaktor zu 2. Dieser kann auch aus folgender Abb. 10.122 direkt abgelesen werden:

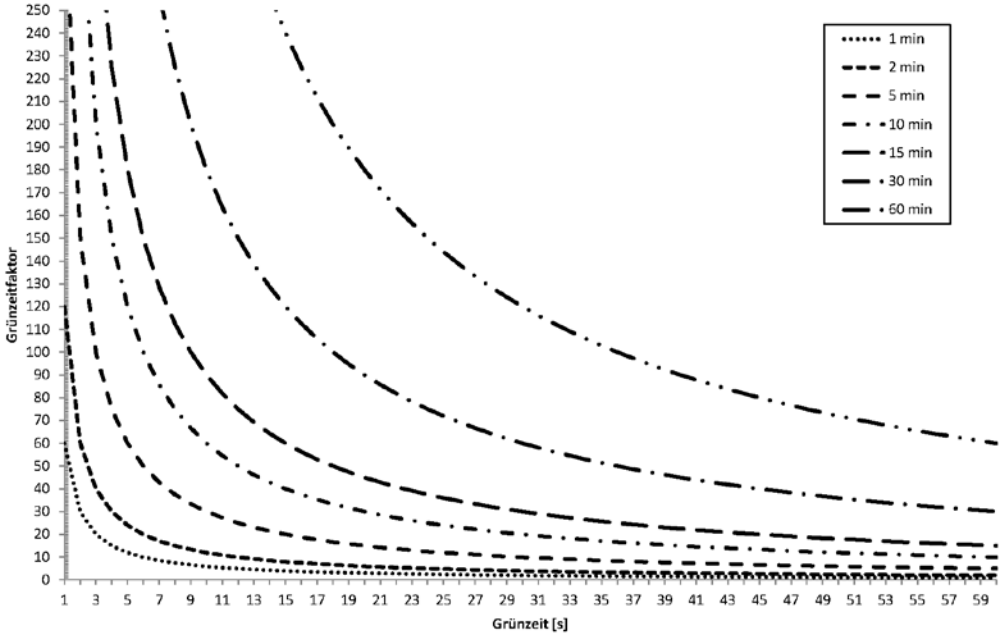


Abb. 10.122 Ermittlung des Grünzeitfaktors in Abhängigkeit der Grünzeit und des Erhebungsintervalls (eigene Darstellung)

Anhand des Faktors ergibt sich eine effektive Spitzenbelastung bezogen auf die Grünzeit von 146 P/min resp. 8760 P/h. Aus der Breite der Anlage von 9 m resultiert somit ein spezifischer Personenfluss von 0.27 P/sm. Der Mittelwert für die Anzahl an Personen über den kompletten Datensatz liegt bei 63 Personen. Daraus resultiert ein mittlerer spezifischer Personenfluss von 0.12 P/sm.

Unter Anwendung des Fundamentaldiagramms (Abb. 8.86) können die mittlere Dichte und mittlere Geschwindigkeit ermittelt werden. Gegenverkehrsverluste sind darin jedoch nicht berücksichtigt. Bei ausgeglichenen Richtungsanteilen, analog der untersuchten Anlage kann ein Gegenverkehrszuschlag von 4% angesetzt werden (vgl. Abb. 8.87). Daraus ergeben sich folgende Werte.

Tab. 10.97 Spezifischer Personenfluss auf der Querung an einer LSA

	Spez. Personenfluss (inkl. Gegenverkehrszuschlag von 4%) [P/sm]	**Fundamentaldiagramm**	
		Dichte [P/m²]	**Geschwindigkeit [m/s]**
Maximum	0.281	0.2	1.34
Mittelwert	0.125	0.1	1.34

10.1.4.5 Personendichte auf dem Übergang

Die abgeleiteten Dichten auf dem Übergang ergeben sich aus der mittleren Grünzeit für die Fussgänger (30 Sekunden) und dem Grünzeitfaktor (in diesem Fall Wert 2). Der Grünzeitfaktor ermöglicht den Ausgleich der erhobenen Daten (da im 1 – Minuten – Intervall erhoben wurde) mit der effektiven Grünzeit (kleiner 1 Minute).

Bezogen auf die Grundfläche der Querung (vgl. Kap. 10.1.4.1) ergeben sich folgende Dichtewerte für die Querung in den Erhebungsserien.

Tab. 10.98 Dichte auf der Querung an einer LSA

Datum	Personendichte Querung [P/m²]		
	Minimum	Maximum	Mittelwert
02.08.11	0.041	0.273	0.146
03.08.11	0.041	0.376	0.165
04.08.11 [1]	0.067	0.329	0.171
04.08.11 [2]	0.036	0.273	0.159
Mittel			***0.160***

[1] Mittag [2] Abend

Die beobachtete Maximaldichte beträgt 0.376 P/m^2, der höchste Mittelwert 0.171 P/m^2. Der Mittelwert aller Messwerte liegt bei 0.160 P/m^2.

Tab. 10.99 Vergleich Minimal- und Maximalwerte der Dichten in unterschiedlichen Intervallen auf der Querung

Datum	Intervall					Tages-mittelwerte
	1 min MIN / MAX	2 min MIN / MAX	5 min MIN / MAX	10 min MIN / MAX	15 min MIN / MAX	
02.08.2011	0.041 / 0.273	0.085 / 0.229	0.107 / 0.186	0.122 / 0.170	0.134 / 0.157	0.146
03.08.2011	0.041 / 0.346	0.095 / 0.249	0.148 / 0.193	0.152 / 0.182	0.160 / 0.182	0.165
04.08.2011[1]	0.067 / 0.329	0.087 / 0.257	0.144 / 0.203	0.152 / 0.192	0.151 / 0.186	0.171
04.08.2011[2]	0.036 / 0.273	0.103 / 0.221	0.133 / 0.197	0.147 / 0.181	0.153 / 0.174	0.159

[1] Mittag [2] Abend

Beim 1-Minuten-Intervall ist die Spannweite zwischen Minimum und Maximum am grössten. Wird der Intervall grösser nähern sich die Werte dem Mittelwert an und die Spannweite verkleinert sich erwartungsgemäss.

10.1.4.6 Wartebereich – wartende Fussgänger während der Rotphase

Um die Anzahl der Personen im Wartebereich der Querung zu bestimmen, war der Wartebereich abzugrenzen (vgl. Abb. 10.123). Die Querung hat eine Breite von 9 m. Es zeigte sich, dass die Fussgänger auf einer Fläche warten, welche sich auf der Breite von 9m und der Tiefe von 2.5 m erstreckt. Daraus ergab sich eine Gesamtfläche von 22.50 m^2.

In den Wartebereichen beider Seiten befinden sich die Signalgeber für die Fussgänger. Daher musste ein nicht-genutzter Bereich abgezogen werden. Für den Mast wird ein Abstand von 0.5 m (kreisförmig, Ausgangspunkt Mastmitte) angenommen. Die entsprechende Verlustfläche beträgt demnach 0.79 m^2. Hinzu kommt die nichtgenutzte Fläche am Fahrbahnrand, da die meisten Fussgänger nicht direkt am Rand stehen. Anhand der Videoaufnahmen und Beobachtungen wurde ein Abstand von 0.2 m ermittelt, woraus sich eine zusätzlich abzuziehende Fläche von 1.80 m^2 ergibt. Die Gesamtnutzfläche des Wartebereichs beträgt somit 19.91 m^2.

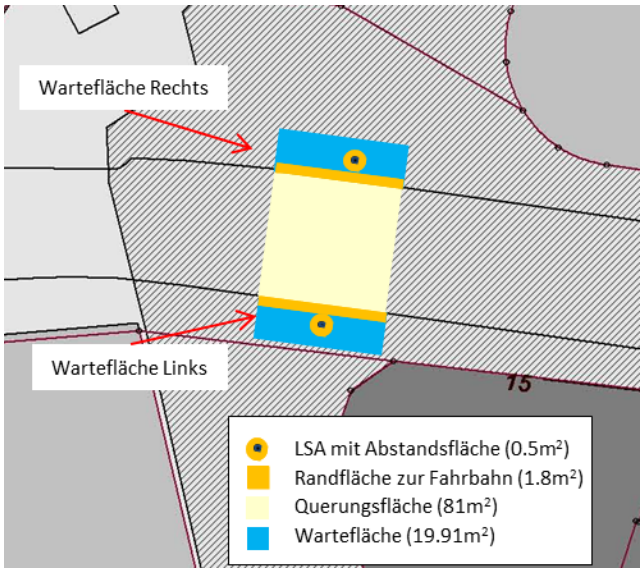


Abb. 10.123 Warteflächen an Querung (eigene Darstellung)

Der Unterschied zur Erhebung der querenden Fussgänger besteht darin, dass nicht in einem bestimmten Intervall gezählt wurde. Es wurde vielmehr die maximale Anzahl an Personen in der Wartefläche erfasst, bis das Signal für die Fussgänger auf Grün schaltete. Für die linke Wartefläche wurden 325 Situationen, für die rechte Wartefläche 337 Situationen aufgenommen. Werte von weniger als 3 Fussgängern wurden dabei ausgeschieden.

Die beobachteten Dichten variierten dabei zwischen 0.09 und 0.57 P/m^2 für die linke Wartefläche und zwischen 0.09 und 0.79 P/m^2 für die rechte Wartefläche (vgl. Abb. 10.123). Nach Tab. 10.100 ergibt dies einen Mittelwert über alle Situationen von 0.25 P/m^2.

Tab. 10.100 Dichte auf Warteflächen

	Situationen	Minimum		Maximum		Mittelwert	
Wartefläche	**[-]**	**[P/m^2]**	**[P]**	**[P/m^2]**	**[P]**	**[P/m^2]**	**[P]**
Links	325	0.15	3	0.95	19	0.42	8.35
Rechts	337	0.15	3	1.31	26	0.42	8.42
Gesamt	**662**	**0.15**	**3**	**1.31**	**26**	**0.42**	**8.39**

Die mittlere Dichte auf den beiden Warteflächen (0.42 P/m^2) ist im Vergleich zur mittleren Dichte auf der Querungsfläche (0.16 P/m^2) erwartungsgemäss höher, ebenfalls jedoch in einem niedrigen Bereich. Entsprechend kam es auf beiden Flächen zu keinerlei Stauung oder Blockade während der Erhebung kam.

Durch das relativ grosszügige Platzangebot um die Querung ist es möglich, auch in grösserer Entfernung (> 2.5m) auf das Umschalten der Signalanlage zu warten. Die Fussgänger nutzen demnach bereits bei moderaten Dichten den zur Verfügung stehenden Platz grosszügig, zum Preis einer grösseren Distanz zum Fahrbahnrand.

10.1.5 Vergleich mit Literatur, zusätzliche Erkenntnisse

Vergleicht man die ermittelten Werte der Dichten auf der Wartefläche der Querung mit den in der Literatur angegebenen Werten (Tab. 8.74), so wird für diese Anlage im Mittel die Stufe A erreicht. Für das ermittelte Maximum von 1.31 P/m^2 ergibt sich Stufe B (nach HBS/Fruin und Brilon) resp. Stufe C (nach HCM). Eine Personendichte von 2.0 P/m^2 wie in Tab. 8.88 wird nicht erreicht. Bezogen auf den Platzbedarf von Fussgängern (vgl. Tab. 8.75) wird im Mittel mit 2.37 m^2/P die Stufe A erreicht. Das Maximum von umgerechnet 0.77 m^2/P entspricht der Stufe C.

In Tab. 8.71 aus Kapitel 8.5.4 werden Qualitätsstufen für den Querverkehr angegeben. Im Mittel wird bei dieser Anlage die Stufe B erreicht. Die Maximalwerte erreichen Stufe C. Die untersuchte Anlage bestätigt somit, dass sich diese Dichten unter üblichen Voraussetzungen einspielen.

Bei der gewählten signalisierten Querung handelte es sich bei der rein optischen Betrachtung der Videodaten um eine leicht- bis mittelbelastete Anlage. Dies konnte nach Auswertung der Daten und dem Vergleich zur Literatur bestätigt werden. Die Angaben der Literatur können zur Bestimmung eines Level-of-Service auf Schweizer Verhältnisse übernommen werden.

Bei der Dimensionierung der Warteflächen spielen die Abzüge der Hindernisse eine grosse Rolle. Diese können, bis auf den Abstand zur Fahrbahn, wie bei der ebenen Gehfläche übernommen werden. Die Auswertung der Videodaten hat einen Abstand zur Fahrbahn von 0.2 m ergeben (im Vergleich zu 0.35 m Abstand zur Fahrbahn auf Trottoirs in Längsrichtung). Dieser Abstand ist stark abhängig von der Anzahl der vorbeifahrenden Fahrzeuge und deren Geschwindigkeit.

10.2 Erhebung an einer Fahrtreppe

10.2.1 Zielsetzung der Studie

An einer ausgewählten Fahrtreppenanlage sollte das Personenverkehrsaufkommen erhoben, eine entsprechende Personendichte ermittelt und daraus die Leistungsfähigkeit dieser Anlage abgeleitet werden.

10.2.2 Methodik

Zur Datenerhebung wurde das automatische Personenzählsystem DILAX OptoCount verwendet. Es arbeitet mit optischen Sensoren unter Verwendung von sogenannten CCTV– Kameras (Closed Circuit Television). Die Erkennung von Menschen und deren Bewegung erfolgt durch diese Kameras und deren eingebaute Bildwandlertechnologie. Dabei werden keine Bilder oder Videosequenzen wie z.B. bei der Sicherheitstechnik aufgezeichnet. Vielmehr werden die einzelnen aufeinander folgenden Bilder auf Bewegung hin untersucht und ausgewertet.

Zu den Bestandteilen der Hardware des Zählsystems gehören die optischen Zählsensoren in Form der Kameras, die sogenannte „People Counting Unit“ (PCU) mit einer direkten Datenschnittstelle oder einem Zusatzmodul. Zusammen mit der DILAX - Software „DavisWEB Enumeris“ zur Auswertung und Verwaltung der Daten ergibt dies das System DILAX OptoCount (vgl. Abb. 10.124).

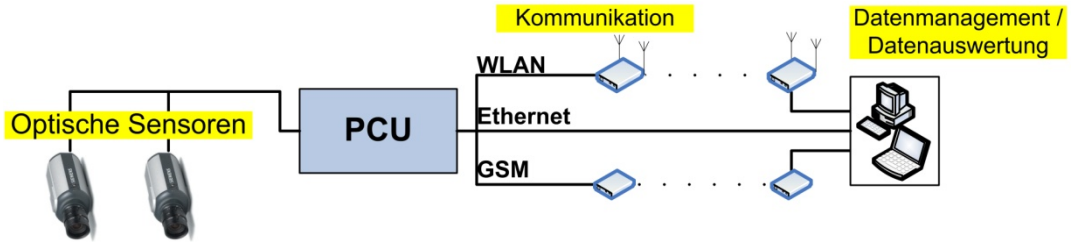


Abb. 10.124 Systemkomponenten und Aufbau Dilax OptoCount (aus [Puffe 2009])

Für die Erfassung werden Videokameras mit CCD (Charge-Coupled Device) - bzw. CMOS (complementary metal oxide semiconductor – Halbleiterbauelement) - Bildwandlertechnik eingesetzt. Hierbei handelt es sich um eine AXIS 212 PTZ Kamera mit einem Weitwinkelobjektiv. Dieses ermöglicht einen horizontalen Sichtwinkel bis zu 140° und einen vertikalen Sichtwinkel bis zu 105°.

Als PCU für die Sensoren wird ein Mini – PC verwendet, welcher die Informationen der Kamera in Zählwerte umsetzt. Von der PCU werden die Daten mittels Ethernet – Anschluss, via USB sowie per WLAN oder GSM abgerufen. In der entsprechenden Erhebung wurde anfangs das GSM - Modul sowie im späteren Verlauf der Datenabgriff via USB genutzt. Die Datenanalyse und Auswertung erfolgte manuell mit Excel.

10.2.3 Durchführung der Erhebung

Die Erhebung wurde aufgrund der hohen zu erwartenden Fussgängerfrequenz (vgl. [Puffe 2009]) am Hauptbahnhof Zürich durchgeführt. Ausgewählt wurde die Anlage (bestehend aus 2 Fahrtreppen, keine Treppe parallel dazu) im Untergeschoss des Bahnhofs mit Zugang zu den Gleisen 23 und 24 (vgl. Abb. 10.125). Zudem waren die Installation der Sensoren über respektive an der Anlage und die Unterbringung der zusätzlichen technischen Geräte (PCU) möglich.

Die Fahrtreppe weist folgende baulich-betriebliche Parameter auf:

- Schräggeschwindigkeit der Fahrtreppe: 0.5 m/s
- Neigungswinkel der Fahrtreppe: 27.3°
- Stufenbreite: 1m, dies ermöglicht 2 Personen pro Stufe
- Stufentiefe: 0.4m
- Stufenhöhe: 0.24m

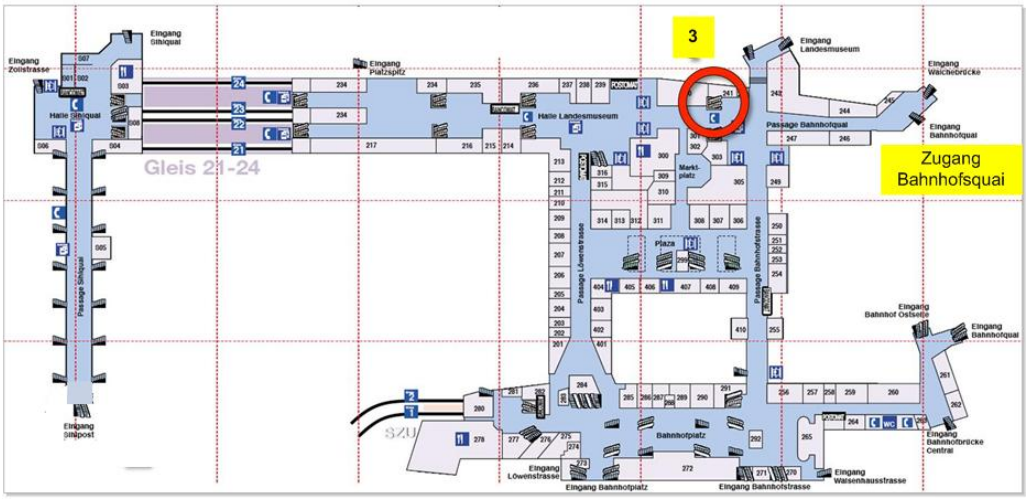


Abb. 10.125 Ausgewählter Standort für die Erhebung (aus [Puffe 2009])

Der Messaufbau ist in nachfolgender Abbildung dargestellt (Abb. 10.126). Dabei ist zu beachten, dass der Erfassungsbereich nicht auf der Fahrtreppe selbst, sondern davor ist. Dieser Aufbau musste gewählt werden, da andernfalls die Bewegungen der Fahrtreppenstufen ebenfalls vom Kamerasensor erfasst werden könnten und dadurch die Zählergebnisse stark beeinträchtigt würden.

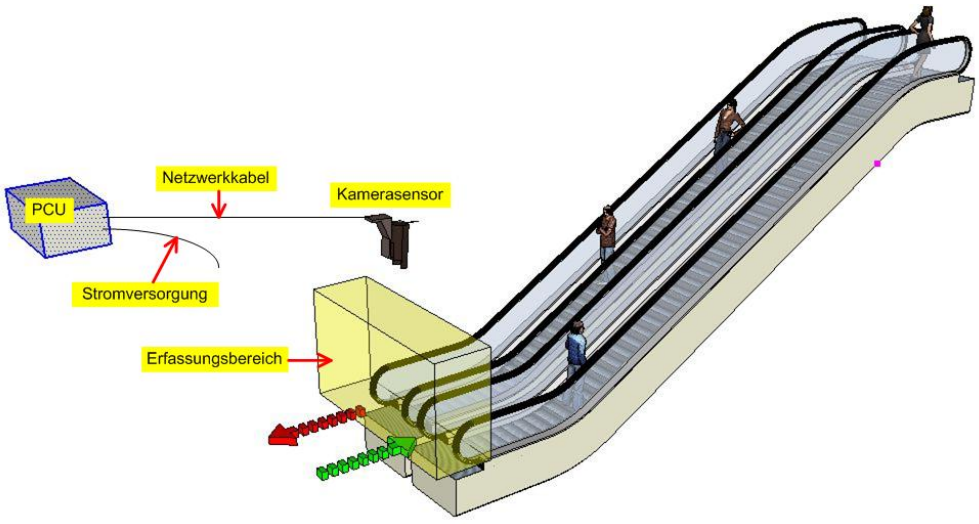


Abb. 10.126 Aufbau und Erfassungsbereich des Messsystems OptoCount am Hauptbahnhof Zürich (aus [Puffe 2009])

Die Erhebung wurde über einen Zeitraum von 20 Tagen (04.06.09 – 24.06.09) durchgeführt. Nach der Installation und Kalibration benötigte das System keine weitere örtliche Betreuung. Das zu Beginn genutzte GSM-Modul, durch welches die in der PCU geschriebenen Daten in Form eines Text-Files (*.txt) regelmässig an einen Server geschickt

wurden, erlaubte erste Auswertungen relativ zeitnah. Durch technische Störungen konnte dieses im Verlauf der Erhebung nicht mehr genutzt werden, so dass die Daten via USB von der PCU entnommen werden mussten und erst anschliessend ausgewertet werden konnten (vgl. [Puffe 2009]).

10.2.4 Auswertung

10.2.4.1 Datenumfang und -qualität

Der Datensatz für die Auswertung umfasste für jede einzelne Minute die jeweiligen Werte der Personen, die vom System erfolgreich erfasst wurde. Insgesamt konnten 42478 Minuten mit gesamt 201811 Personen aufgezeichnet werden. Bei der Auswertung musste jedoch festgestellt werden, dass gewisse Werte fehlten. Dies muss auf den Ausfall der Sensoren zurückgeführt werden.

10.2.4.2 Nachfrageverteilung

Tab. 10.101 zeigt die Tagessumme sowie die Maximalwerte pro Minute für die jeweiligen Erhebungstage. Zusätzlich wird die Auslastung in Bezug auf die Maximalwerte pro Minute angegeben. Die Auslastung wurde als Verhältnis der theoretischen Leistungsfähigkeit von 150 Personen pro Minute mit den tatsächlichen Werten ermittelt. Weiterhin wurde angenommen, dass der Eigenbewegungsanteil der Nutzer der Fahrtreppe im Mittel zwischen 25% und 30% liegt. Dieser Wert schwankt in der Realität stark um diese Annahme. In der folgenden Tabelle ist die Auslastung in Bezug auf das jeweilige Tagesmaximum angegeben.

Tab. 10.101 Tagessummen und Maximalwerte je Tag

Datum	Sensor 1			Sensor 2		
	Summe [P]	Maximum [P/min]	Max. Tagesauslastung[4] [%]	Summe [P]	Maximum [P/min]	Max. Tagesauslastung[4] [%]
Do, 04.06.09[1]	5359	35	23.3	2046	37	24.7
Fr, 05.06.09	7286	35	23.3	5376	46	30.7
Sa, 06.06.09	6433	35	23.3	3423	38	25.3
So, 07.06.09	3942	22	14.7	1884	26	17.3
Mo, 08.06.09	8024	40	26.7	5933	45	30.0
Di, 09.06.09	8299	46	30.7	5898	46	30.7
Mi, 10.06.09[2]	6625	41	27.3	4720	47	31.3
Do, 11.06.09	8752	44	29.3	6221	44	29.3
Fr, 12.06.09	8623	39	26.0	6245	43	28.7
Sa, 13.06.09	6050	25	16.7	3128	33	22.0
So, 14.06.09	4005	17	11.3	1968	21	14.0
Mo, 15.06.09	8187	40	26.7	5822	41	27.3
Di, 16.06.09	8558	46	30.7	5931	49	32.7
Mi, 17.06.09	8702	38	25.3	5945	43	28.7
Do, 18.06.09	7809	37	24.7	6215	46	30.7
Fr, 19.06.09	592[3]	14[3]	9.3	5306	41	27.3
Sa, 20.06.09	0[3]	0[3]	0.0	3742	36	24.0
So, 21.06.09	0[3]	0[3]	0.0	1868	29	19.3
Mo, 22.06.09	0[3]	0[3]	0.0	5707	42	28.0
Di, 23.06.09	0[3]	0[3]	0.0	5617	45	30.0
Mi, 24.06.09	0[3]	0[3]	0.0	1633	41	27.3

[1] Beginn Erhebung ab 14:30

[2] Fehlende Daten aufgrund Reparatur

[3] Ausfall Sensor 1

[4] Max. Tagesauslastung = ermitteltes Max. / theor. LF der Anlage

Im Diagramm erkennt man den Wochenverlauf. Zu Wochenbeginn steigen die Werte stetig bis zur Wochenmitte, um bis Freitag wieder zu fallen. Die Wochenendtage liegen nochmals tiefer.

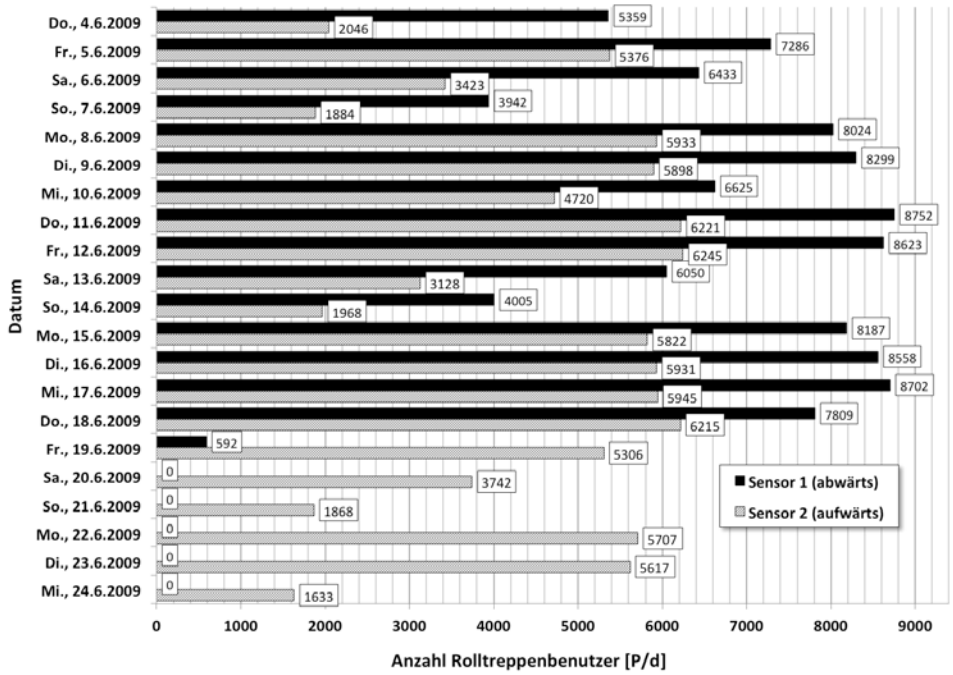


Abb. 10.127 Verlauf des Tagessummen (aus [Puffe 2009])

Aus den Erhebungen liess sich die Häufigkeitsverteilung und die Summenkurve ableiten, wobei Werte von 0 Personen pro Minute (14847-mal) bis 49 Personen pro Minute (1-mal) auftraten. Der Wert 0 wurde aus Übersichtlichkeitsgründen nicht ins Diagramm aufgenommen. Insgesamt sind 42478 nutzbare Werte erfasst worden. Der Mittelwert aller Messwerte liegt bei 4.75 Personen pro Minute.

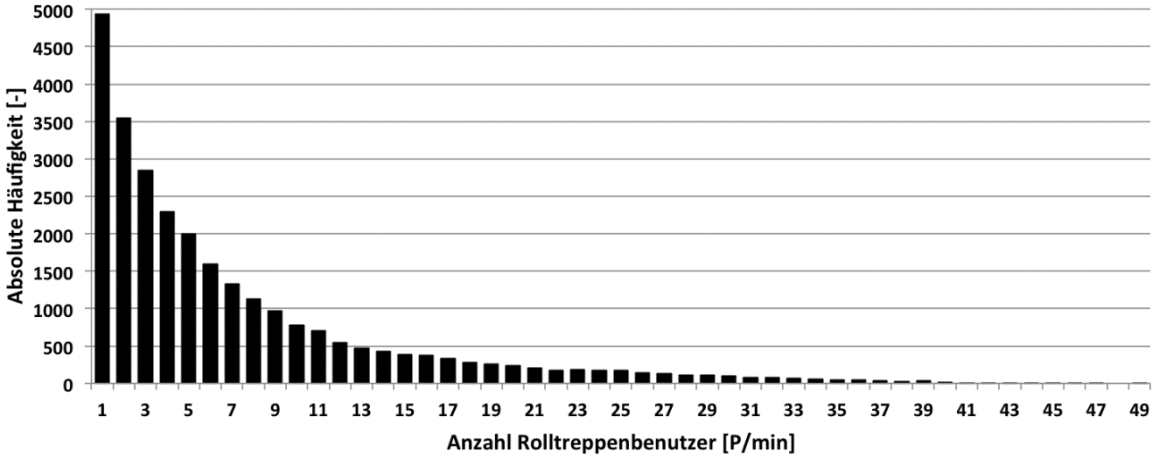


Abb. 10.128 Häufigkeitsverteilung über gesamten Erhebungszeitraum (ohne Wert 0)

Das nachfolgende Diagramm stellt die Summenkurve (kumulierte Häufigkeit) für das 75%-Perzentil dar und zeigt, dass in 75% der Fahrtreppennutzung 6 oder weniger Personen die Anlage pro Minute benützen. Nur in 25% der Fälle liegt die Nutzung bei mehr als 6 Personen pro Minute. Das bedeutet, dass die Fahrtreppe nur in wenigen Fällen stark

bis sehr stark ausgelastet ist. Der niedrige Wert lässt sich für die beobachtete Anlage mit der hohen Anzahl an geringen Werten erklären.

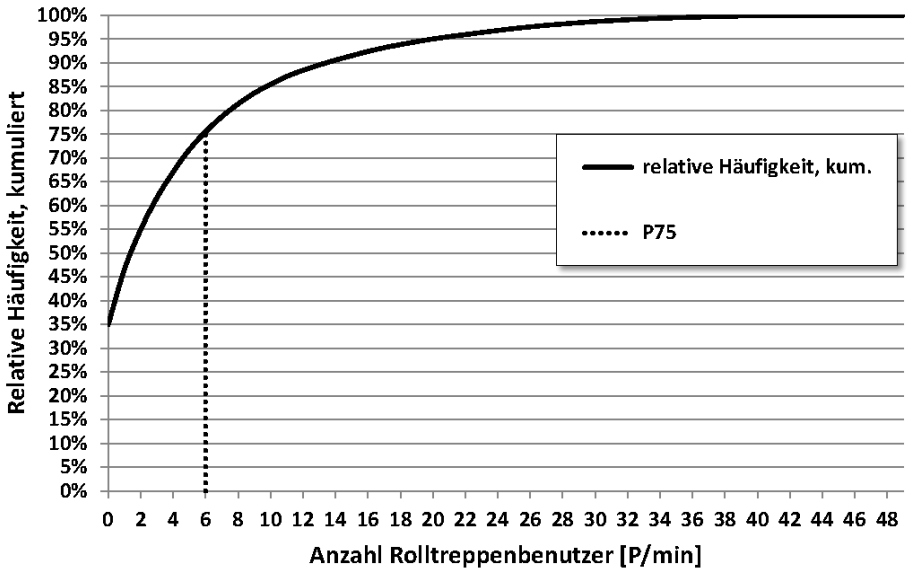


Abb. 10.129 Summenkurvenverlauf mit Perzentilen

Bereinigt man die Daten, in dem man die Werte von 0 Personen pro Minute ausblendet, so verschiebt sich der Summenkurvenverlauf nur leicht (nach rechts im Diagramm) und der Wert für das 75%-Perzentil liegt bei 9 Personen pro Minute (vgl. Abb. 10.130). Dieser ist geringfügig höher als bei der vorherigen Betrachtung, bestätigt somit die höhere Auslastung in nur wenigen Fällen.

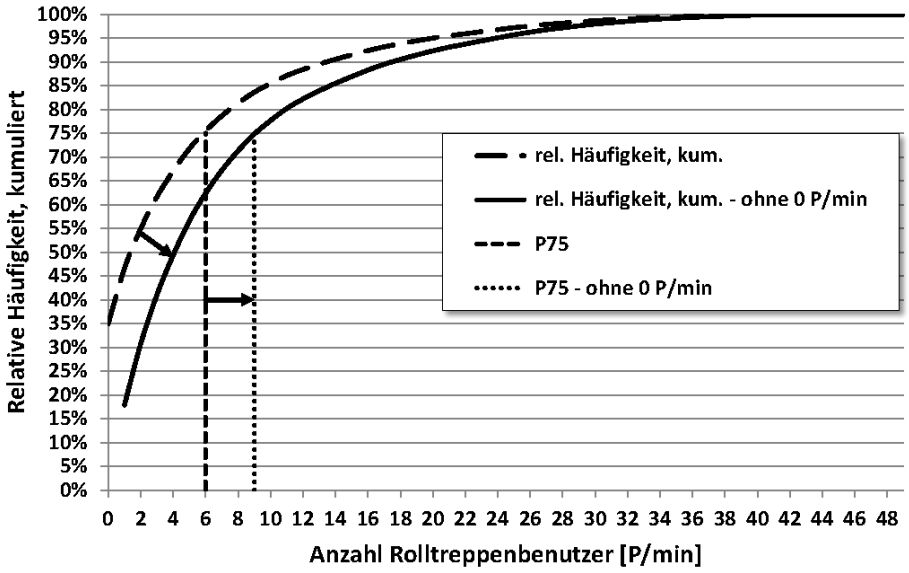


Abb. 10.130 Verschiebung des Summenkurvenverlauf mit Perzentilen

10.2.4.3 Leistungsfähigkeit

Aus Tab. 10.101 sind die maximal erreichten Spitzenwerte in Personen je Minute ersichtlich und lassen sich in Leistungsfähigkeitswerte umrechnen, unter der Annahme, dass die Fahrtreppe in diesen Situationen voll ausgelastet war (vgl. Tab. 10.102).

Tab. 10.102 Spitzenwerte Kapazität Erhebung Fahrtreppe

Spitzenwert	Kapazitäten nach Intervall		
Nr.	[P/s]	[P/min]	[P/h]
1	0.82	49	2940
2	0.78	47	2820
3	0.77	46	2760
4	0.75	45	2700
5	0.73	44	2640
6	0.72	43	2580
7	0.70	42	2520
8	0.68	41	2460
9	0.67	40	2400
10	0.65	39	2340
11	0.63	38	2280
12	0.62	37	2220
13	0.60	36	2160
14	0.58	35	2100
15	0.55	33	1980
16	0.48	29	1740
17	0.43	26	1560
18	0.42	25	1500
19	0.37	22	1320
20	0.35	21	1260

Die maximal erreichte Kapazität betrug 2940 P/h bzw. 0.82 P/s.

Betrachtet man sämtlich erfasste Werte (für beide Richtungen insgesamt 42478 Werte), so liegt der Mittelwert bei 285 P/h bzw. 0.08 P/s. Dies ist auf die hohe Anzahl an mit geringen Werten (vgl. Abb. 10.128) zurückzuführen. Dies wird durch die zuvor ermittelten Perzentile bestätigt. Der Mittelwert dieser Anlage ist hier nicht aussagekräftig für die Dimensionierung der Anlage.

10.2.4.4 Dichte auf der Fahrtreppe

Anhand der Nachfrage auf der Fahrtreppe lassen sich die Werte für die Dichte auf der Fahrtreppe bestimmen. Für die 20 höchsten Werte liegt die Dichte zwischen 0.79 P/m^2 und 1.85 P/m^2, der Mittelwert über alle Werte liegt bei 0.18 P/m^2 (vgl. Abb. 10.131).

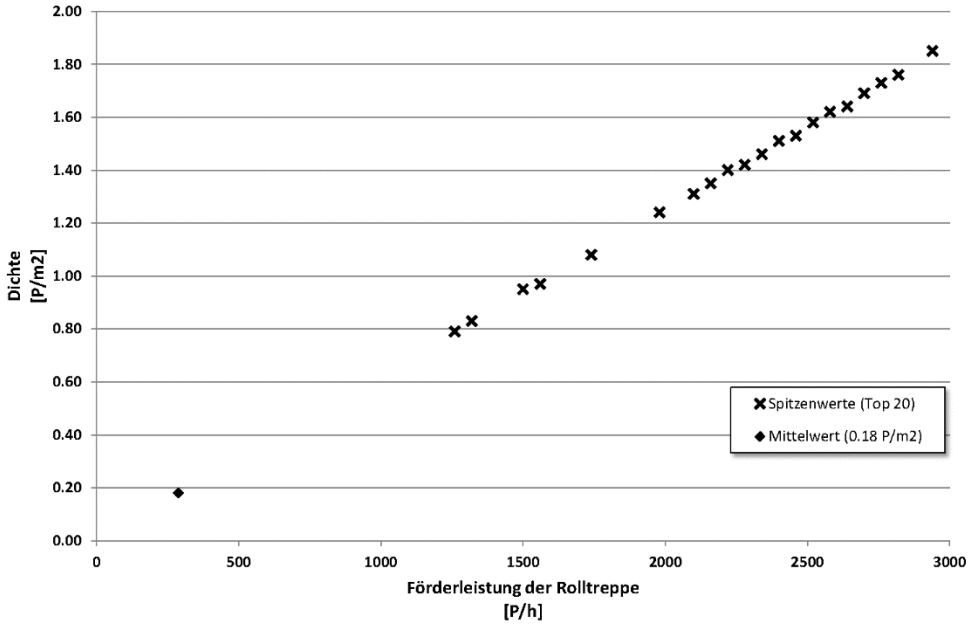


Abb. 10.131 Ermittelte Dichtewerte der untersuchten Fahrtreppe (Top 20, Mittelwert)

10.2.5 Vergleich mit Literatur, zusätzliche Erkenntnisse

Die theoretische Förderleistung der untersuchten Anlage läge laut Literatur (vgl. Tab. 8.86 und Tab. 8.84) bei ca. 9000 P/h. Dieser Wert wurde bei der beobachteten Anlage nur zu 33 % erreicht. Dies bestätigte die Vermutung, dass die theoretischen Werte viel zu hoch und zur Dimensionierung nicht geeignet sind.

Die Werte von 6000 P/h aus Tab. 8.85 wurden ebenfalls nicht beobachtet. Die praktischen Spitzenleistungsfähigkeitswerte der beobachteten Anlage entsprechen dagegen den in Tab. 8.86 angegebenen 3000 P/h (bei v=0.5m/s und „lockerer“ Belegung). Diese Werte wurden unter grossem Personenzufluss erreicht und hatten einen Rückstau vor der Fahrtreppe zur Folge. Dies ist nicht die Dauerbelastung der untersuchten Fahrtreppe, verdeutlicht dadurch, dass bereits der 15-höchste Wert knapp unter 2000 P/h liegt. Diese Feststellung und der niedrige Mittelwert der Anlagen zeigen, dass die Leistungsfähigkeit von 3000 resp. 2000 P/h beim Grossteil der ermittelten Nachfrage bei weitem nicht ausgeschöpft wurde.

Zur Dimensionierung können die Werte aus der Literatur in Tab. 8.86, jedoch nicht von Tab. 8.85 als Anhaltspunkt genutzt werden. Zu beachten dabei ist jedoch, dass jede Anlage bestimmte bauliche und betriebliche Parameter hat. Ob der Ansatz von 33 Prozent der theoretischen Förderleistung als Grundlage der Leistungsfähigkeitsbemessung einer Anlage anwendbar ist, müsste an Anlagen mit anderen baulichen und betrieblichen Parametern verifiziert werden. Er kann aber vorderhand als Bemessungsbasis dienen.

Ein Level-of-Service ist aus den Auswertungen in gewissem Masse ableitbar. Die erreichten Maximaldichten stellen eine VQS von E respektive F dar. Niedrigere Werte können in die Stufen A bis D eingeteilt werden.

10.3 Erhebung an einer Liftanlage

10.3.1 Zielsetzung der Studie

Für die Leistungsfähigkeit einer allgemein zugänglichen Liftanlage im öffentlichen Raum, gemessen in transportierten Personen pro Stunde (und Richtung), gibt es bislang keine geeigneten, quantitativen Untersuchungsergebnisse, welche sich für die Auslegung einer solchen Anlage implementieren liessen. Ziel war daher die empirische Bestimmung der Transportkapazität einer solchen Aufzugsanlage, insbesondere durch die Ableitung einer Kabinenfüllkurve, welche die Beziehung zwischen Anzahl der Einsteiger und der notwendigen Einsteigezeit widerspiegelt.

10.3.2 Methodik

An einer möglichst stark ausgelasteten Liftanlage, welche zeitweise an der Kapazitätsgrenze operiert, war die Anzahl der pro Kabinenfahrt auf den verschiedenen Etagen ankommenden und abfahrenden Personen zu registrieren. Gleichzeitig waren die zugehörigen Zeitdauern des Ein- resp. Ausstiegsvorganges zu bestimmen, um eine Füllkurve ableiten zu können. Die Zählungen und Messungen waren auf jeder Etage durchzuführen, an der eine Kabine halten kann.

Mittels manueller Erhebung sollten in 2-Minuten-Intervallen die folgenden Daten registriert werden:

- Aussteiger je Kabinenfahrt
- Einsteiger je Kabinenfahrt
- Fahrtrichtung (oben/unten)
- Anzahl Treppenbenützer (aus dem/ins Treppenhaus)
- Zeitmessung (Türöffnung bis Türschliessung, Unterscheidung zwischen Aus- und Einsteigevorgang)

Zur Abdeckung der Spitzenzeiten im Tagesverlauf sollte die Erhebung in 3 Blöcken à 2 h resp. 2.5 h während der Spitzenverkehrszeit erfolgen:

- morgens 7:15 Uhr – 9:15 Uhr
- mittags 11:30 Uhr – 13:30 Uhr und
- abends 16:00 Uhr – 18:30 Uhr.

10.3.3 Durchführung der Erhebung

Die einzige der Forschungsstelle bekannte öffentlich zugängliche Liftanlage, welche zeitweise an der Kapazitätsgrenze betrieben wird, ist die Anlage „Grosse Schanze“ in Bern. Sie verbindet die Hauptpassage des Bahnhofs mit dem darüber liegenden Parkhaus sowie der Universität. Diese Anlage war daher entsprechend der gewählten Methodik für diese Untersuchung besonders geeignet.

Die Liftanlage besteht aus 3 Fahrkabinen und einem begleitenden Treppenaufgang. Von der untersten (0) zur obersten Etage (4) wird ein Höhenunterschied von 24 m überwunden. Die reine Fahrzeit einer Kabine von Stockwerk 0 auf 4 ohne Stopp beträgt ca. 15 s. Jede Kabine mit einer Einstiegsbreite von 1.15 m bietet eine nutzbare Grundfläche von 1.34 m x 2.44 m (ca. 3.27 m^2).

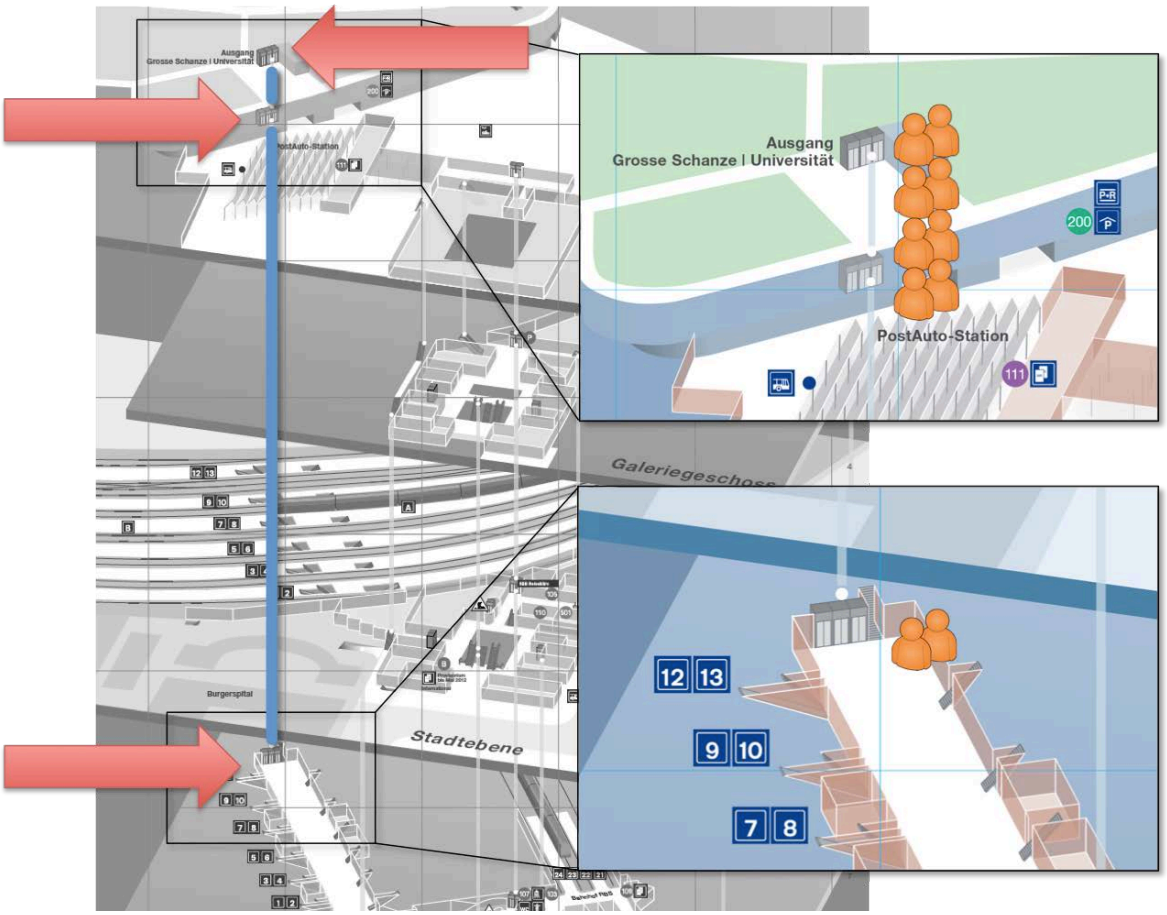


Abb. 10.132 Situationsplan Bahnhof Bern

Zwei der Kabinen werden im regulären Modus betrieben, d.h. es ist ein Stopp in jeder Etage möglich. Die dritte Kabine ist während der gesamten Betriebsdauer ausschliesslich als Expresslift unterwegs und fährt ohne Halt zwischen der untersten und obersten Etage.

Zusätzlich zu den Liftkabinen wurde die Nutzungsintensität des parallel verlaufenden Treppenaufgangs registriert.

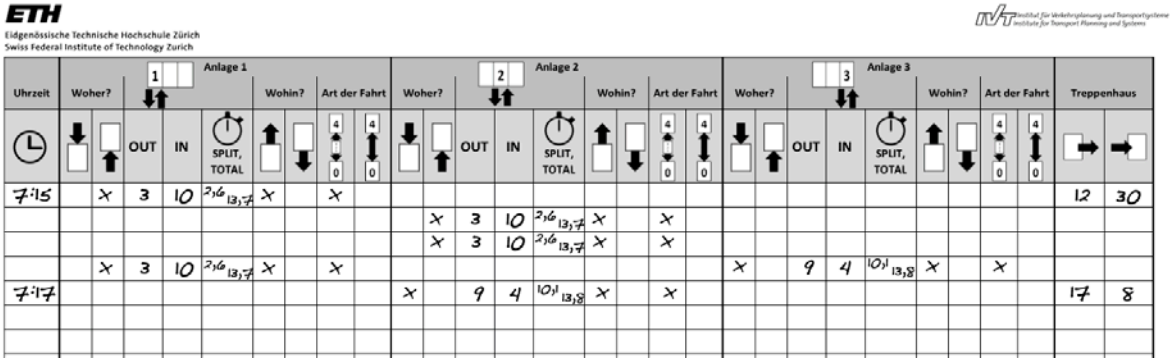


Abb. 10.133 Ausschnitt Zählformular

Die Felderhebung wurde am Mittwoch, 29.02.2012 bei freundlicher, aber kühler Witterung von 7:15 Uhr bis 18:30 Uhr durchgeführt. Dabei wurde der Fussgängerverkehr in 3 Blöcken à 2 h resp. 2.5 h erhoben.

10.3.4 Beobachtungsergebnisse

Insgesamt konnten 1026 Aus- und Einsteigevorgänge (Liftpassagierwechsel LPW) und die zugehörigen Prozesszeiten gemessen werden. Im Maximum wurden dabei 20 Einsteiger beobachtet.

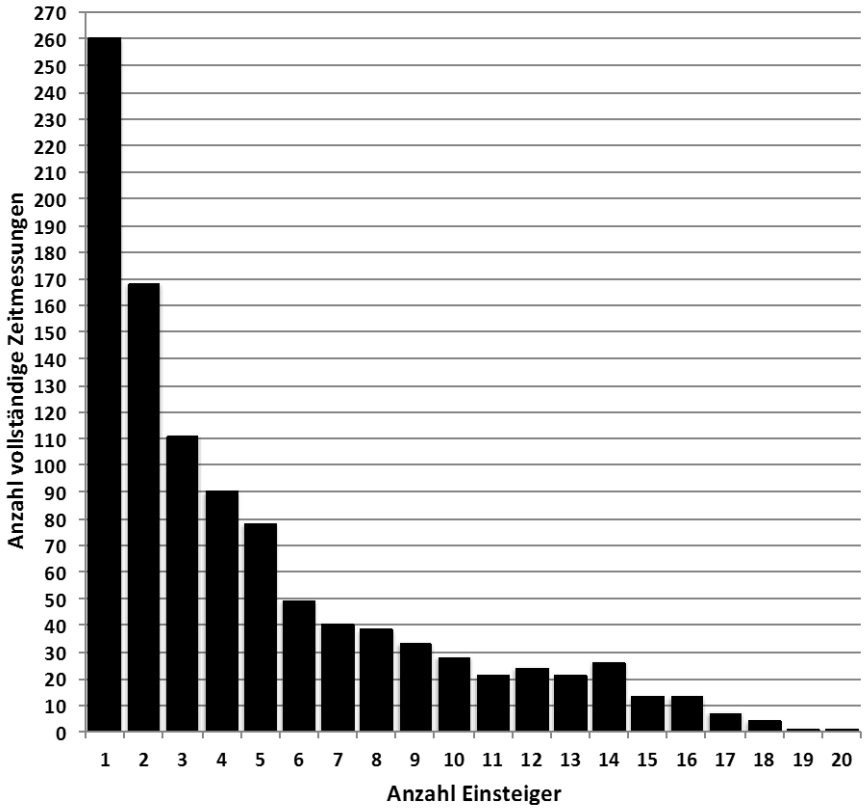


Abb. 10.134 Häufigkeitsverteilung der 1026 Messungen; Anzahl der Einsteiger

Die laut Hersteller angegebene Maximalbelegung einer Kabine beträgt 25 Personen, was einer Dichte von 7.65 P/m^2 entspricht. Während der Untersuchung wurde dagegen nur eine max. Belegung von 20 Personen (6.12 P/m^2) beobachtet.

In der folgenden Tabelle sind sämtliche Abfahrten/Ankünfte je Zählperiode gelistet. Gemäss Zählung transportierte die höchst belastete Kabine (Direktfahrt) in der Spitzenzeit am Abend zwischen 16 Uhr und 18:30 Uhr im Mittel 710 P/h.

Tab. 10.103 Ankünfte/Abfahrten je Zählperiode

	Etage 0								Treppe									
	Kabine																	
	links		Mitte		rechts						Lift		Total		pro h (Lift)			
Zeit	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Abfahrt	Weggang	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Abfahrt	
7:15h - 9:15h	160	647	100	249	102	213	219	38	362	1109	581	1147	181	555				
11:30h - 13:30h	640	747	234	220	214	231	213	97	1088	1198	1301	1295	544	599				
16:00h - 18:30h	1071	704	333	283	258	271	416	140	1662	1258	2078	1398	665	503				
	Etage 1																	
	Kabine						Treppe											
	links		Mitte		rechts					Lift		Total		pro h (Lift)				
Zeit	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Weggang	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Abfahrt				
7:15h - 9:15h	0	0	42	38	58	21	256	92	100	59	356	151	50	30				
11:30h - 13:30h	0	0	131	156	63	131	305	271	194	287	499	558	97	144				
16:00h - 18:30h	0	0	86	188	112	150	458	444	198	338	656	782	79	135				
	Etage 2																	
	Kabine						Treppe											
	links		Mitte		rechts					Lift		Total		pro h (Lift)				
Zeit	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Weggang	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Abfahrt				
7:15h - 9:15h	0	0	18	50	8	68	25	146	26	118	51	264	13	59				
11:30h - 13:30h	0	0	54	34	68	52	127	141	122	86	249	227	61	43				
16:00h - 18:30h	0	0	118	37	128	74	266	207	246	111	512	318	98	44				
	Etage 3																	
	Kabine						Treppe											
	links		Mitte		rechts					Lift		Total		pro h (Lift)				
Zeit	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Weggang	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Abfahrt				
7:15h - 9:15h	0	0	98	28	73	18	60	65	171	46	231	111	86	23				
11:30h - 13:30h	0	0	41	56	52	36	86	88	93	92	179	180	47	46				
16:00h - 18:30h	0	0	81	72	73	85	111	130	154	157	265	287	62	63				
	Etage 4																	
	Kabine						Treppe											
	links		Mitte		rechts					Lift		Total		pro h (Lift)				
Zeit	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Weggang	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Abfahrt	Ankunft	Abfahrt				
7:15h - 9:15h	644	157	176	50	102	28	208	32	922	235	1130	267	461	118				
11:30h - 13:30h	751	630	314	275	244	168	268	414	1309	1073	1577	1487	655	537				
16:00h - 18:30h	654	1023	292	318	141	175	221	510	1087	1516	1308	2026	435	606				

Bemerkenswert ist, dass ein erheblicher Teil der Personen (ca. 50 %) vor allem in den Zwischengeschossen, welche nicht durch den Direktlift bedient werden, das Treppenhaus benutzt.

Tab. 10.104 Anteil Treppennutzung am Gesamtaufkommen

	Etage 0		Etage 1		Etage 2		Etage 3		Etage 4	
	Ankunft	Weggang	Ankunft	Weggang	Ankunft	Weggang	Ankunft	Weggang	Ankunft	Weggang
7:15h - 9:15h	38%	3%	72%	61%	49%	55%	26%	59%	18%	12%
11:30h - 13:30h	16%	7%	61%	49%	51%	62%	48%	49%	17%	28%
16:00h - 18:30h	20%	10%	70%	57%	52%	65%	42%	45%	17%	25%

Während der Spitzenzeit am Morgen wurden per Direktlift im Mittel knapp 70 Personen je 10 Minuten transportiert. Zur Hauptverkehrszeit über Mittag und abends waren es ca. 115 Liftpassagiere pro 10 Minuten. Einzig vor der Expresskabine bildeten sich regelmässig Gruppen wartender Personen. Als Einzelanlage betrachtet befand sie sich damit teilweise oberhalb der Kapazitätsgrenze. Im Maximum wurden während eines 10-Minuten-Intervalls 153 Personen transportiert. Das absolute Maximum der Transportkapazität dieser Kabine liegt unter den gegebenen Randbedingungen (Steuerung, reine Fahrzeit ca. 15 s, Türbedienzeit je ca. 2.5 s, nutzbare Kabinengrundfläche ca. 3.3 m^2) demnach bei etwa 120 Personen je 10 Minuten.

Der gemessene Höchstwert transportierter Personen beträgt 655 Personen pro Richtung im 2h-Intervall, also etwas mehr als 300 Personen pro Stunde und Richtung (pphpd).

10.3.5 Auswertung und Interpretation

10.3.5.1 Nachfrageverteilung

Die in Abb. 3.69 gezeigte Darstellung des Verkehrsaufkommens der Liftpassagiere illustriert die vorherrschende Belastung der oberen und unteren Etage. Die totale Nachfrage der Zwischengeschosse 1 bis 3 ist ca. 5-mal geringer (1180/5859) als diejenige der Etagen 0 und 4 zusammen. Dies wird hauptsächlich durch den Direktlift bewältigt.

Wie die Auswertung der stündlichen Ankünfte und Abfahrten auf den einzelnen Etagen in Abb. 3.69 zeigt, ist die Gesamtauslastung mit 2773 Personen während der Mittagsstunden am höchsten und damit doppelt so hoch als in den Morgenstunden. Die Auslastung am Abend war mit 2690 Liftbenützenden nur unwesentlich geringer.

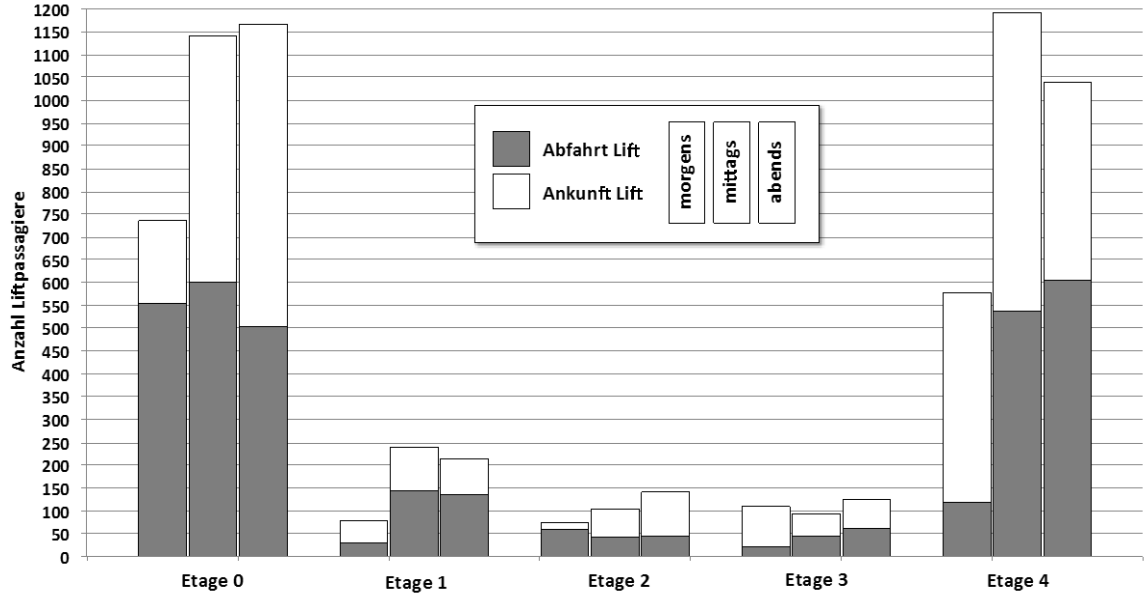


Abb. 10.135 Ankünfte und Abfahrten je Etage (alle Liftkabinen kumuliert)

Das Gesamtverkehrsaufkommen der Anlage – transportierte Liftpassagiere plus Treppenbenützende – liegt am Mittag und Abend mit 3829 P/h resp. 3850 P/h jeweils um ca. 80 % höher als während der Hauptverkehrszeit am Morgen (vgl. Abb. 3.71).

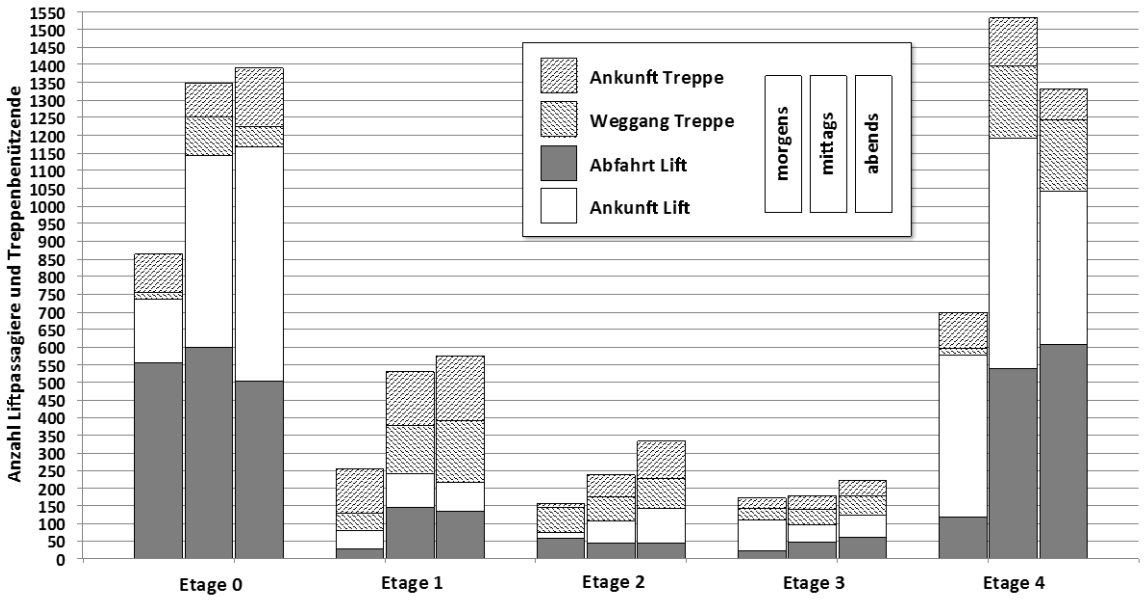


Abb. 10.136 Ankünfte und Abfahrten je Etage (Liftkabinen kumuliert plus Treppenhaus)

10.3.5.2 Summenhäufigkeit der Einsteiger

Bei insgesamt 1494 Haltevorgängen konnte die Anzahl der Einsteiger registriert werden. Es zeigte sich, dass in 95 % aller Fahrten mit Zwischenhalt 10 oder weniger Personen den Lift benutzten. Das entspricht ca. 50 % der beobachteten Maximalbelegung (vgl. Abb. 3.71).

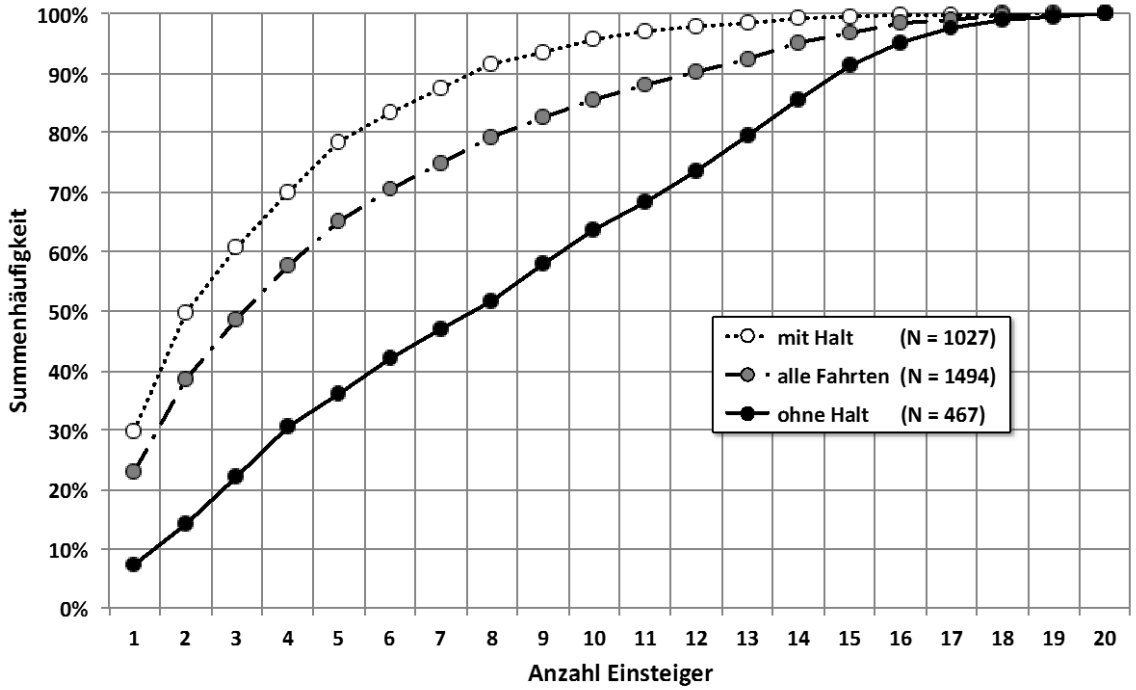


Abb. 10.137 Summenhäufigkeit der Anzahl Einsteiger für alle Fahrten, mit und ohne Halt

Bei den Direktfahrten verlief die Summenhäufigkeitskurve bis etwa 2-3 Personen unterhalb des Belegungsmaximums beinahe linear. Jede Einsteigeranzahl ist mit 4-8 % relativ gleichmässig vertreten. Die Maximalbelegungen von 19 resp. 20 Personen traten nur in jeweils 2 Fällen auf. Darin widerspiegelt sich die sehr starke Auslastung des Direktliftes, der nur selten einzelne Passagiere befördert, meist aber Gruppen.

10.3.5.3 Kabinenfüllkurve aus Erhebungen

Aus den mehr als 1000 Zeitmessungen konnte die sogenannte Kabinenfüllkurve abgeleitet werden. Die gemessenen Zeiten entsprechen jeweils der Dauer des Einsteigevorganges, d. h. vom Ende des Aussteigevorgangs bis zum Ende der Türschliessung. Sie enthalten somit den variablen Anteil für das Einsteigen sowie einen fixen Anteil für das Schliessen der Türen und die technische Reaktion der Anlage. Die Aussteigezeiten - von Beginn der Türöffnung bis zum Zeitpunkt, an dem der letzte Aussteiger den Lift verlassen hat - (vgl. Abb. 10.138) wurden ebenfalls erfasst.

Abb. 10.138 zeigt die Füllkurve einer Kabine als Verhältnis zwischen der Anzahl der Einsteiger und der korrespondierenden mittleren Einsteigezeit. Die enthaltene Prozesszeit für die Türschliessung beträgt ca. 2.5 s. Setzt man den Beginn der Einsteigezeit auf den Moment, in dem der erste Einsteiger den Türquerschnitt betritt, so ist ausserdem eine mittlere Gehzeit von 2.5 s hinzuzurechnen. Dies entspricht der mittleren Wegstrecke zwischen allen Wartepositionen vor dem Lift und dessen Türquerschnitt.

Mit zunehmendem Füllungsgrad der Kabine wächst die Einsteigezeit überproportional an, und zwar bereits ab ca. 10 Personen (50 % Belegung). Die Ausgangsposition der wartenden Personen vor dem Einsteigevorgang sowie die lichte Durchgangsbreite der Tür von ca. 1.10 m erlaubten kein gleichzeitiges Ein- uns Aussteigen.

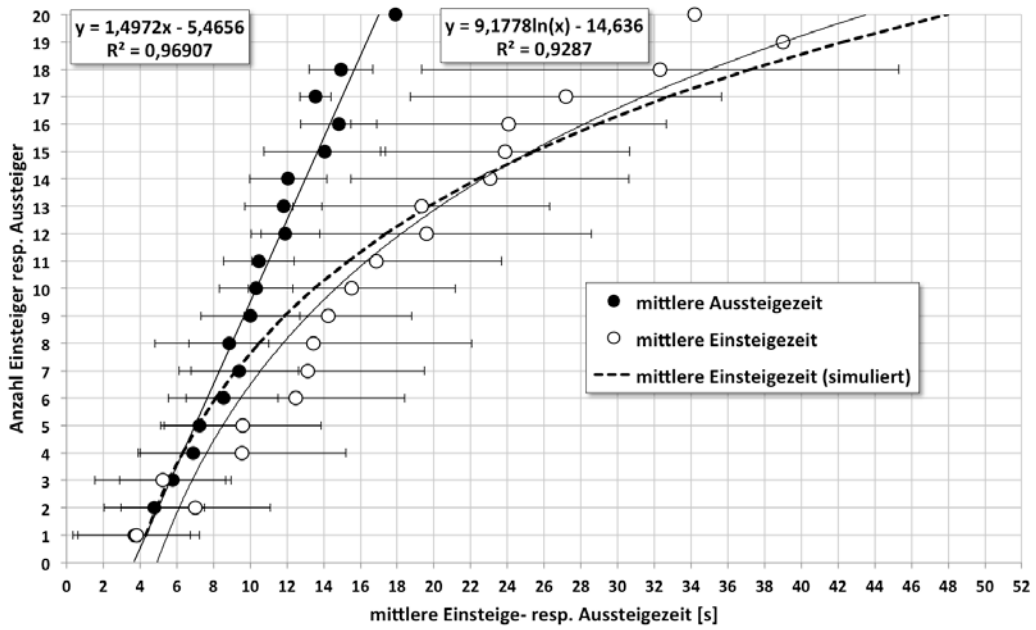


Abb. 10.138 Zeitbedarf für Aus- und Einsteigen in Funktion der Gruppengrösse

10.3.5.4 Kabinenfüllkurve aus Simulation

Um weitere Füllkurven für unterschiedliche Kombinationen von Kabinengrössen und Türbreiten abzuleiten, wurde eine Mikrosimulation mit der Software PTV VISSIM eingesetzt.

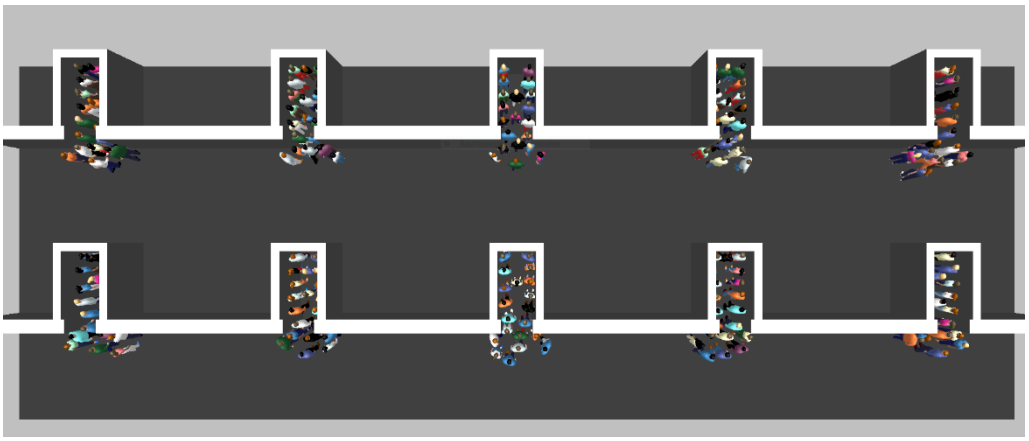


Abb. 10.139 Momentaufnahme der durchgeführten Kalibrationsläufe

Diese wurde auf Basis der beobachteten Werte kalibriert. Mittels der Kalibration gelang es, die simulierte Füllkurve weitgehend an die gemessene anzupassen.

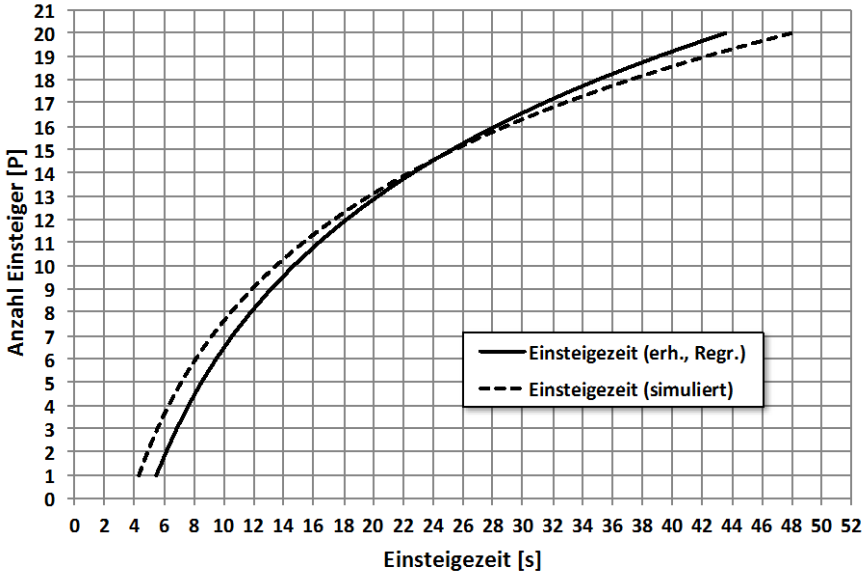


Abb. 10.140 Vergleich zwischen erhobener und simulierter Füllkurve

Die in der folgenden Tabelle aufgeführten zusätzlichen Kabinenmasse wurden anschliessend auf ihr Verhalten bezüglich der Einsteigezeit untersucht.

Tab. 10.105 Typische Kabinen- und Türmasse (grau: Liftanlage „Grosse Schanze“, Bern)

Breite Kabine [mm]	Tiefe Kabine [mm]	Grundfläche Kabine [m^2]	Kapazität bei 6 P/m^2 [P]	Breite Tür [mm]
1400	2500	3.50	21	1150
1500	1350	2.03	12	900
1200	2300	2.76	17	1100

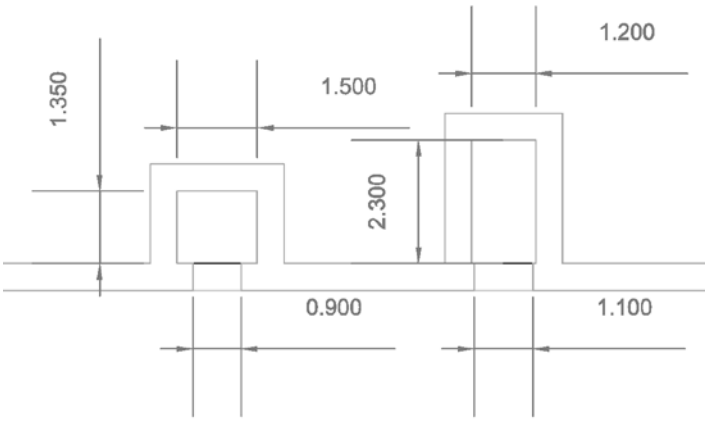


Abb. 10.141 Zusätzlich per Mikrosimulation untersuchte Liftkabinen, Grösse 2 und 3

Für die oben erwähnten Kabinengrössen, welche typischen Massen von Personenliften in der Schweiz entsprechen, wurden mithilfe der Mikrosimulation die zugehörigen Füllkurven bestimmt und in Abb. 10.142 grafisch dargestellt. Die jeweilige maximale Grösse der Passagiergruppe bei einer Personendichte von 6 P/m^2 liegt in Abhängigkeit von der Kabinengrösse zwischen 12 und 17 Personen.

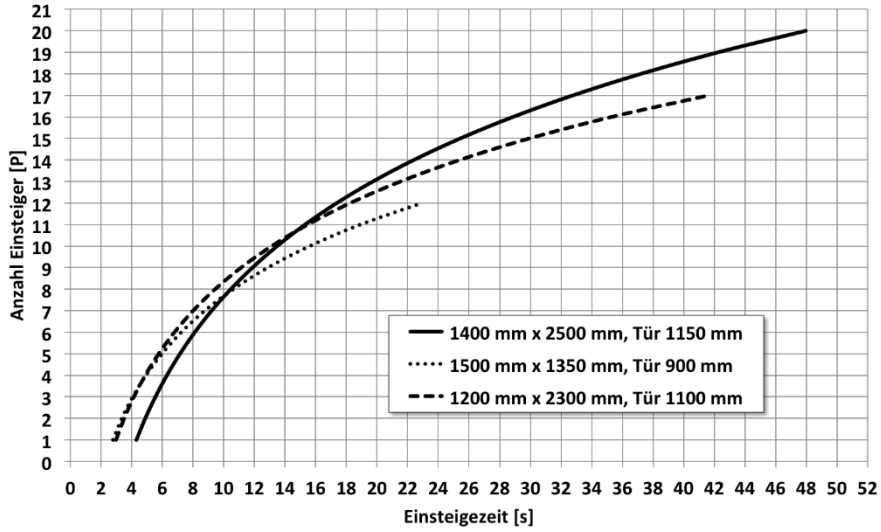


Abb. 10.142 Füllkurve in Abhängigkeit der Kabinengrösse für unterschiedliche Kabinentypen

Für Liftkabinen, bei denen die lichte Türbreite geringer als das Innenmass der Kabine selbst ist, konnte ein ähnlicher Verlauf der Füllkurve festgestellt werden. Für Liftkabinen mit deutlich grösserer Grundfläche (Kapazität ab etwa 35 Personen) und einer lichten Einstiegsbreite, die dem Innenmass der Kabine entspricht, wies die Simulation dagegen auf ein abweichendes Passagierverhalten hin, indem sich tendenziell ein zügigerer Ablauf des Einsteigevorganges zeigte. Die Abweichungen von der in Bern beobachteten Situation sind so erheblich, dass dafür wiederum eigene Beobachtungen vergleichbarer Einstiegssituationen zur erneuten Kalibration durchzuführen sind. Daher wird auf ihre Darstellung in obiger Abbildung verzichtet.

10.3.6 Ermittlung der maximalen Kapazität

Nach [Weidmann, Barth 2009] kann die Formel für die Kapazität einer Liftanlage in Analogie zu Seilbahnen im Pendelbetrieb wie folgt formuliert werden:

$$K = 3600 \cdot \left(\frac{Q \cdot \frac{F}{2}}{t_{Halt} + \frac{h}{v_m}} \right) \qquad (69)$$

wobei

K	Transportkapazität der Liftanlage Personen pro Stunde und Richtung	[pphpd]
Q	leistungsfähigkeitsoptimale Passagiergruppengrösse in der Liftkabine	[P]
t_{Halt}	Haltezeit pro Fahrt in eine Richtung (Ein- und Aussteigezeit + Türprozesszeiten)	[s]
F	Anzahl der Liftkabinen	[-]
h	Höhenunterschied zwischen unterem und oberen Halt	[m]
v_m	mittlere Fahrgeschwindigkeit der Kabine	[m/s]

mit

$$t_{Halt} = t_{Tür} + t_{Ein} + t_{Aus} + t_R \qquad (70)$$

wobei

$t_{Tür}$	Türprozesszeiten: Öffnen/Schliessen	[s]
t_{Ein}	Einsteigezeit	[s]
t_{Aus}	Aussteigezeit	[s]
t_R	Reaktionszeiten	[s]

Um die optimale Gruppengrösse (Kabinenfüllungsgrad) zu bestimmen, wird die Fahrzeit auf der, der Einsteigezeit gegenüberliegenden Seite der Abszisse abgetragen. Eine Tangente von diesem Punkt an die Füllkurve ergibt die Gerade mit dem steilst möglichen Anstieg, also der höchsten Förderleistung der Liftanlage, in Personen pro Zeiteinheit. Im Fall der untersuchten Anlage „Grosse Schanze“ beträgt die Fahrzeit der Direktfahrt 15 s bei einer mittleren Kabinengeschwindigkeit von 1.6 m/s. Damit ergeben sich eine kapazitätsoptimale Gruppengrösse von 15 Personen sowie eine entsprechende Einsteigezeit von 25 s.

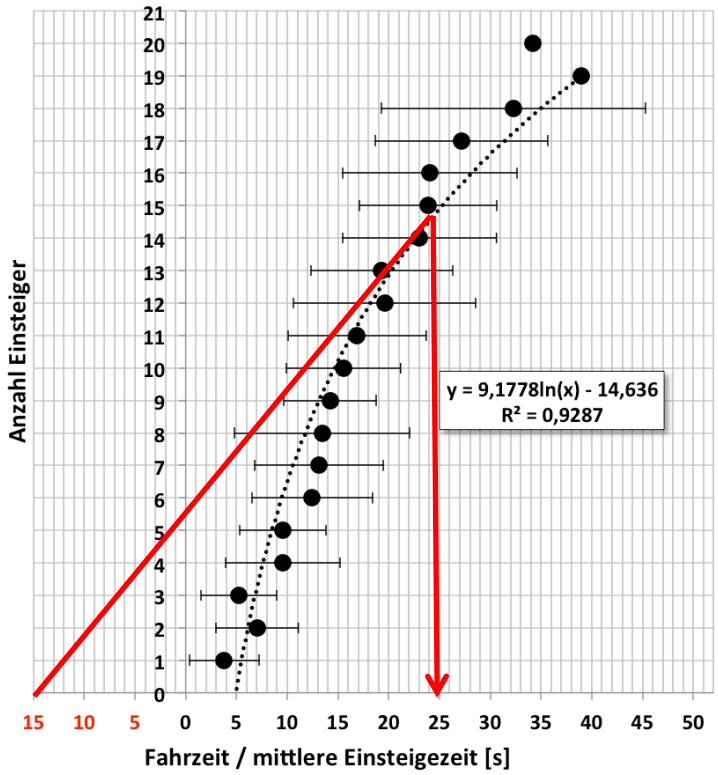


Abb. 10.143 Füllkurve Kabine

Mittels dieses Diagramms lässt sich die erreichbare Förderleistung für unterschiedliche Gruppengrössen bestimmen.

10.3.7 Berechnungsbeispiel

Folgende Eingangsgrössen werden im folgenden Beispiel zur Kapazitätsermittlung berücksichtigt:

- Mittlere Gehzeit zwischen Warteposition und Lifttür (2.5 s)
- Öffnen und Schliessen der Tür (2.5 s)
- Aussteigezeit (20 Personen, 17 s)
- Einsteigezeit (20 Personen, 44 s)
- Mittlere Fahrgeschwindigkeit (1.6 m/s)
- Transporthöhe (24 m)

Für die oben genannten Parameter ergibt sich eine Kapazität von 444 Personen pro Stunde und Richtung. Bei einer reduzierten Gruppengrösse von je 15 statt 20 Aus- und Einsteigern, aber sonst unveränderten Parametern beläuft sich die Kapazität auf 458 Personen pro Stunde und Richtung. Die variablen Prozesszeiten betragen dabei für das Aussteigen 14 s und für das Einsteigen 25 s.

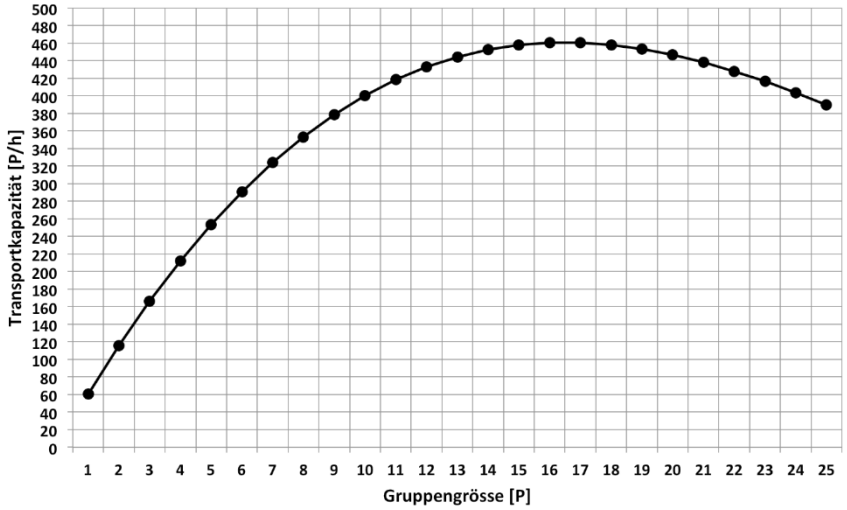


Abb. 10.144 Leistungsfähigkeit der untersuchten Liftkabine in Abhängigkeit der Belegung

Die Kapazität ist ca. 3 % höher als bei der höchster Kabinenbelegung. Bei der vom Hersteller angegebenen zulässigen – wenn auch praktisch kaum erreichbaren - Maximalbelegung der Kabine von 25 Personen würde die Kapazität sogar auf nur noch ca. 85 % des möglichen Höchstwertes absinken. Die grösstmögliche Leistungsfähigkeit des Liftes wird daher bei einer Belegung von ca. 4.5 P/m^2 erreicht. Der erreichbare maximale Füllungsgrad von 20 Personen liegt bei 80 % des vom Hersteller angegebenen Wertes.

10.4 Untersuchung einer zweidimensionalen Situation

10.4.1 Zielsetzung

Im Gegensatz zum Fussgängerfluss in Gängen liegen zu Platzsituationen noch keine zuverlässigen Untersuchungen vor. Unter einem Platz wird hier eine Fläche mit zweidimensional gerichteten Fussgängerströmen verstanden, welche sich gegenseitig in unterschiedlichen Winkeln durchdringen. Als einfachste derartige Situation wird im Folgenden der Verflechtungsbereich einer rechtwinkligen Kreuzung zweier geradlinig begrenzter Wege von gleicher nutzbarer Gehwegbreite untersucht.

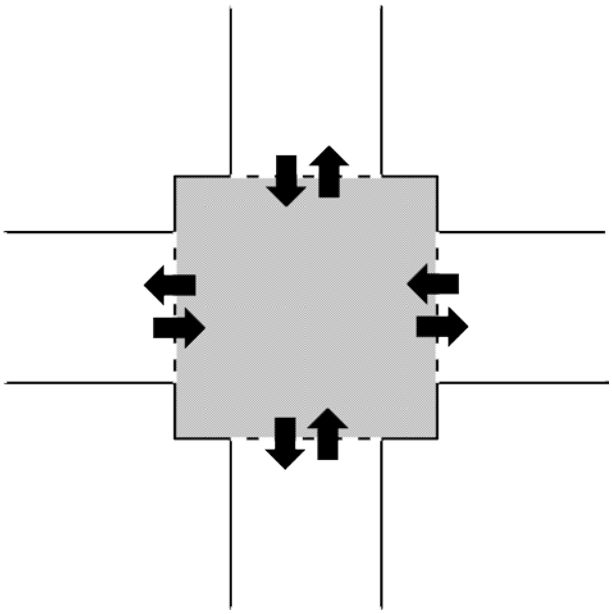


Abb. 10.145 Platz, schematisch, als Grundlage der Simulation

10.4.2 Methodik/Untersuchungskonzept

Der Platzbereich mit vier gleichartigen Zuwegen bildet als Knotenpunkt eine Konfliktfläche für alle dort eintreffenden Fussgängerströme. Es wird angenommen, dass dieser Bereich durch Zuströme aus jedem Knotenarm gleichmässig beaufschlagt wird. Wie bereits [Blue 2000] feststellte, kann dieses auch als multidirektionaler Fussgängerfluss bekannte Problem am besten durch die Vorstellung einer Bahnhofshalle mit mehreren Zu- und Abgangsmöglichkeiten begriffen werden. Mit zunehmender Anzahl dieser Punkte steigt die Zahl denkbarer Wegebeziehungen und mit ihnen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Konflikten zwischen Fussgängern deutlich an. Je stärker die einzelnen Fussgängerflüsse sind, desto grösser wird zudem die Anzahl möglicher Konfliktpunkte.

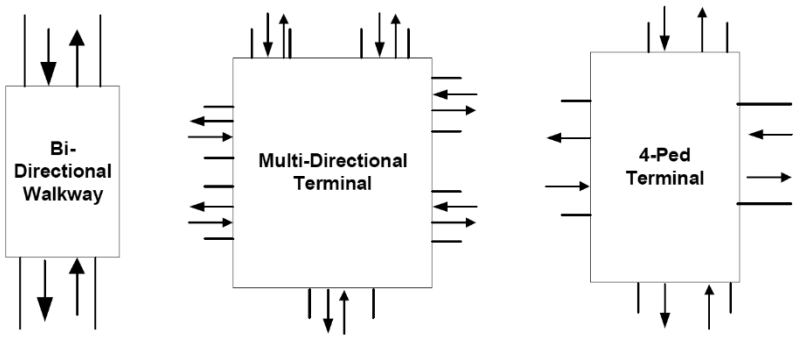


Abb. 10.146 Fussgängerflussbewegungen: 2- und 4-Richtungsfluss-Situationen als Spezialfälle einer multidirektionalen Platzsituation [Blue 2000]

Zur Ableitung praxisgerechter Normwerte für die Planung multidirektionaler Fälle wurde eine Mikrosimulation eingesetzt, da reale Beobachtungen aufwendig sind. Zudem lassen sich geeignete Fallstudiensituationen in der Praxis nur schwer finden.

Abb. 10.147 Animationsbeispiel Fussgängersimulation (PTV VISSIM 5.40)

Zur Vereinfachung werden nur abbiegefreie Wegebeziehungen der Fussgänger zugelassen. Zudem wurde auf die Situation referenziert, welche von [Khisty 1985; 1994] behandelt wurde. Er beschreibt den verwendeten Untersuchungsaufbau in seiner Forschungsarbeit zur Charakteristik sich kreuzender Fussgängerströme wie folgt (vgl. Abb. 3.81).

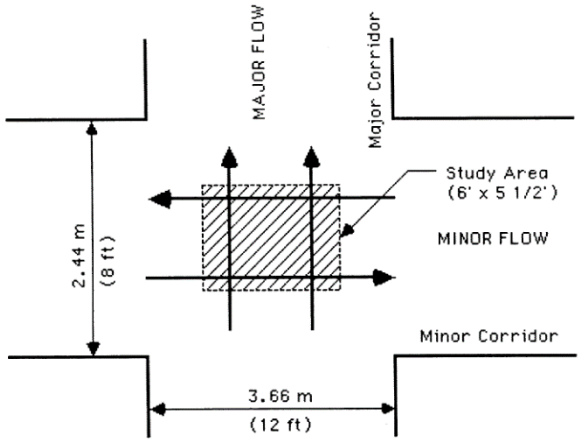


Abb. 10.148 Situationsplan des Untersuchungsaufbaus zur Charakteristik sich kreuzender Fussgängerströme [Khisty 1985]

Die damalige Feldstudie wurde in den Gängen eines Universitätsgebäudes durchgeführt. Um den Einfluss von umgebenden Geschehnissen ausserhalb des Verflechtungsbereiches zu eliminieren wurde der eigentliche Messbereich für die Grössen Geschwindigkeit, Personenfluss und –dichte auf eine zentrale, rechteckige Fläche inmitten der Wegekreuzung begrenzt.

Für die simulationsgestützte Analyse wurde das Testszenario so aufgebaut, dass es möglichst gut mit diesen Felduntersuchungen verglichen werden konnte. Ebenso wurden die bereits von Khisty vorgeschlagenen Kennwerte verwendet. Er stellte aufgrund seiner Beobachtungen fest, dass innerhalb des betrachteten Verflechtungsbereiches bestimmte Grenzwerte eingehalten werden sollen, um gerade noch einen akzeptablen Komfortlevel – am Übergang zwischen VQS C und D gemäss Fruin - zu gewährleisten.

Es sind dies:

- Gehgeschwindigkeit mindestens 1 m/s (0.7 m/s)
- Fluss aller sich kreuzender Ströme maximal 1.25 P/sm (1.23 P/sm)
- Dichte maximal 0.8 P/m^2 (1.75 P/m^2)

Die in Klammern zum Vergleich angegebenen Werte entsprechen der gemäss [Buchmüller, 2007] beschriebenen eindimensionalen Situation.

Die virtuelle Umgebung zur Analyse der Platzsituation bestand aus einer (hindernis-) freien Fläche mit 4 rechtwinklig angeordneten Zuwegen, deren effektiv nutzbare Gehbreite jeweils 5 m beträgt. Die Fussgänger sollen die Fläche geradeaus in Richtung des gegenüber liegenden Ausganges überqueren. In einem Verflechtungsbereich mit variabler Grösse wurde in Abhängigkeit von der Grösse des gesamten Zustromes – der auf alle Wege homogen verteilt ist – die mittlere Dichte und Gehgeschwindigkeit bestimmt.

Zusätzlich erfolgte die Ermittlung des Zeitverlustes gegenüber einer ungehinderten Fortbewegung. Diese Zeitdifferenz wird als Mass für die Verkehrsqualität auf der Platzfläche betrachtet. Sie steht in direktem Zusammenhang mit der im Verflechtungsbereich herrschenden Dichte. Die später zu definierenden Qualitätsstufen bestimmen sich hiernach. Die von Khisty vorgeschlagenen 0.8 P/m^2 entsprächen etwa einem Entwurfskriterium der Stufe E nach der Einteilung der Qualitätsstufen gemäss HCM und HBS.

10.4.3 Durchführung der Mikrosimulation

Aufgrund der besonderen Kenntnis der Anwendungsumgebung wurde für die Durchführung der Mikrosimulation die Software PTV VISSIM in der Version 5.40 verwendet. Es erlaubte die Analyse von Szenarien mit bis zu 50'000 gleichzeitig agierenden Individuen.

Die Simulationsanordnung bestand aus zwei sich rechtwinklig kreuzenden Wegen. Der freie Platzbereich im Zentrum bietet Raum für die Verflechtung der Ströme und die notwendigen Ausweichmanöver. Bei konstanter Zuwegbreite wurde stufenweise die Belastung (Zustrom in P/s) in den Knotenarmen gerade soweit erhöht, bis sich im Verflechtungsbereich die oben genannte Grenzdichte von 0.8 P/m^2 einstellte oder die Gehgeschwindigkeit unter einen Wert von 1 m/s absank. Die maximale Leistungsfähigkeit (Kapazität) des Platzes ergab sich aus der Summe aller Zuströme, unter Einhaltung der Grenzwerte im Verflechtungsbereich.

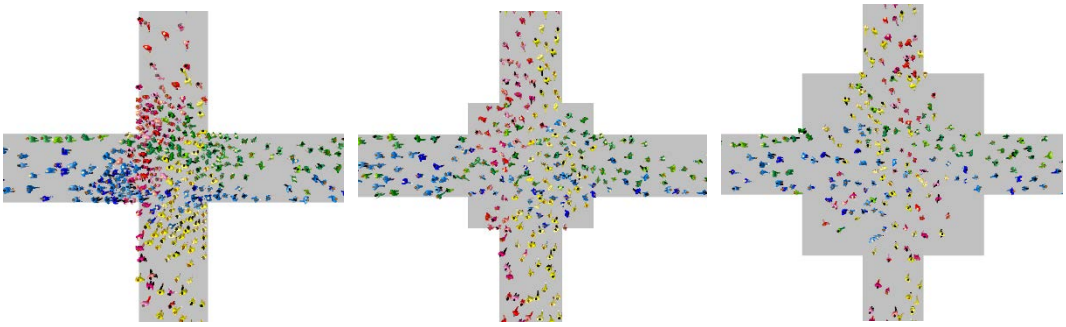


Abb. 10.149 Situationsbild der virtuellen Platzfläche nach 100 Simulationssekunden, Grösse des Verflechtungsbereiches: 25 m^2, 100 m^2, 225 m^2 (v.l.n.r.)

10.4.4 Auswertung und Interpretation

Die Simulationsläufe wurden mit mehreren Wertekombinationen aus Gesamtzustrom und Grösse des Verflechtungsbereiches durchgeführt, um den praktischen Wertebereich einzugrenzen. Die Grösse des quadratischen Verflechtungsbereiches betrug 25 m^2 (ohne Aufweitung), 100 m^2 (mittlere Aufweitung) und 225 m^2 (grösste Aufweitung). Für den spezifischen Zustrom wurden Werte zwischen 0.05 P/sm und 0.375 P/sm verwendet. Durch deren Überlagerung in der Platzmitte summierten sich diese zu einem Gesamtfluss aller sich kreuzenden Ströme von 0.2 P/sm bis 1.5 P/sm.

Eine Beobachtung des qualitativen Verhaltens der simulierten Agenten ergab, dass sich der Verflechtungsbereich auf den grösseren Platzflächen – die von sich kreuzenden Fussgängern effektiv begangene Fläche – bis unterhalb der Kapazitätsgrenze in Form eines um 45° gedrehten Quadrates ausbildet (vgl. Abb. 10.150 oben und unten). Die Kantenlänge entspricht dabei der des gesamten Platzbereiches.

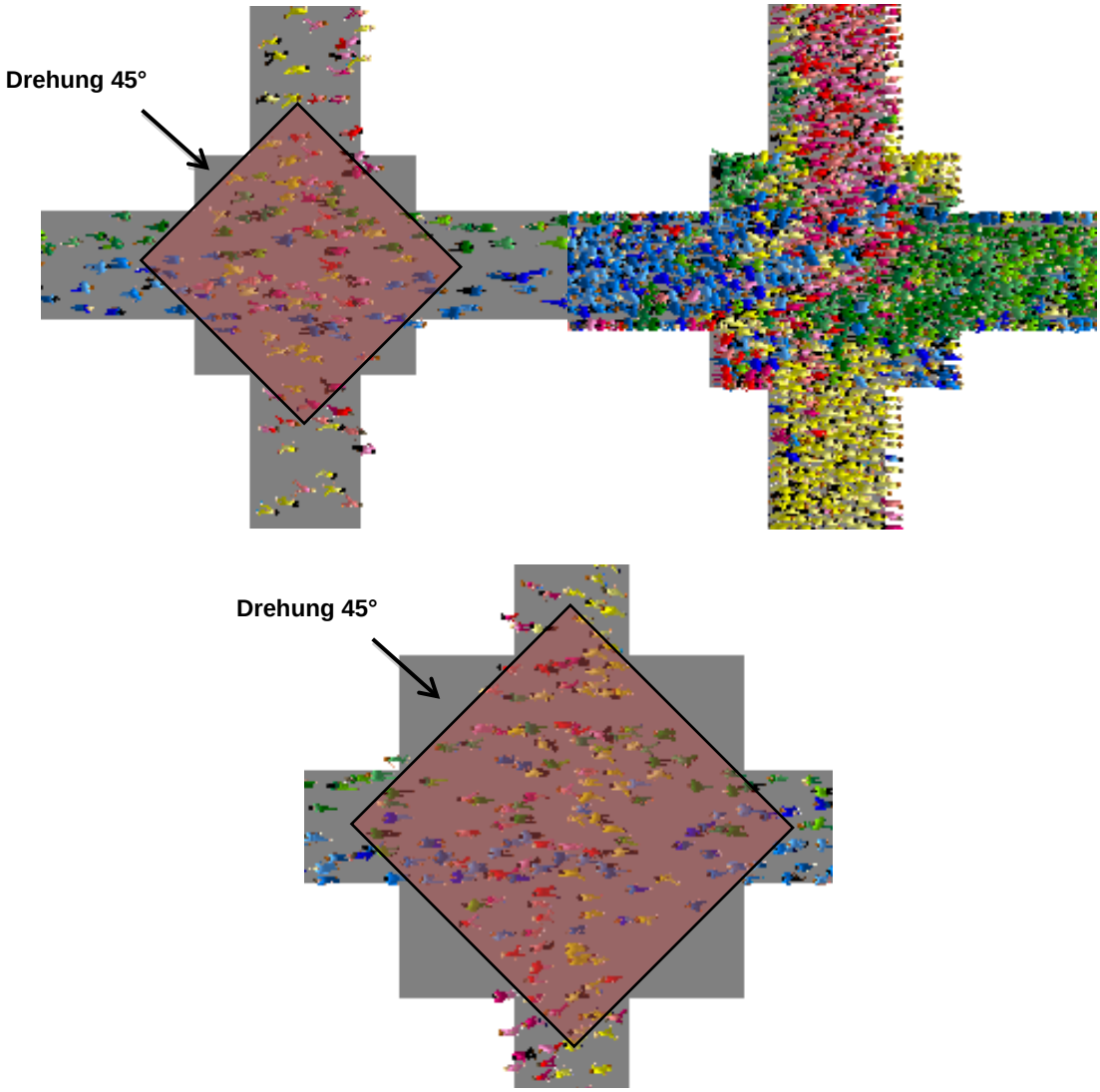


Abb. 10.150 Qualitative Darstellung der Situation im Verflechtungsbereich nach 600 Simulationssekunden (oben links: Platzgrösse 100 m², Gesamtfluss 0.9 P/sm; oben rechts: 100 m², 1.2 P/sm; unten: 225 m², 1.2 P/sm)

Die Abb. 10.151 bis Abb. 10.156 auf den folgenden Seiten zeigen den Verlauf des gemessenen, relativen Zeitverlustes in Abhängigkeit von der im Verflechtungsbereich herrschenden Personendichte. Ein Zeitverlust von 50 % bedeutet bspw., dass ein Fussgänger - aufgrund von Konflikten - 18 s statt 12 s (unbehinderter Bewegungsfall) für die Durchquerung der Kreuzung benötigt.

Beim Platzbereich ohne Aufweitung kommt es ab einem Gesamtfluss von ca. 0.8 P/sm praktisch zum Erliegen der Fortbewegung, d. h. die Verlustzeiten steigen jenseits dieses Werte unverhältnismässig stark bis auf das 10- bis 50-fache an. Für den Platzbereich mit einer Aufweitung, die der doppelten Zuwegbreite entspricht, verschiebt sich der Grenzwert auf ca. 1.1 P/sm. Die Spannweite des Zeitverlustes reicht hier von 40 % bis 140 % (vgl. Abb. 10.152). Selbst bei der maximal getesteten Gesamtbelastung von 1.5 P/sm stellte sich auf dem grössten Kreuzungsbereich mit der 3-fachen Wegbreite immer noch ein durchschnittlicher Zeitverlust von ca. 70 % ein (vgl. Abb. 10.153).

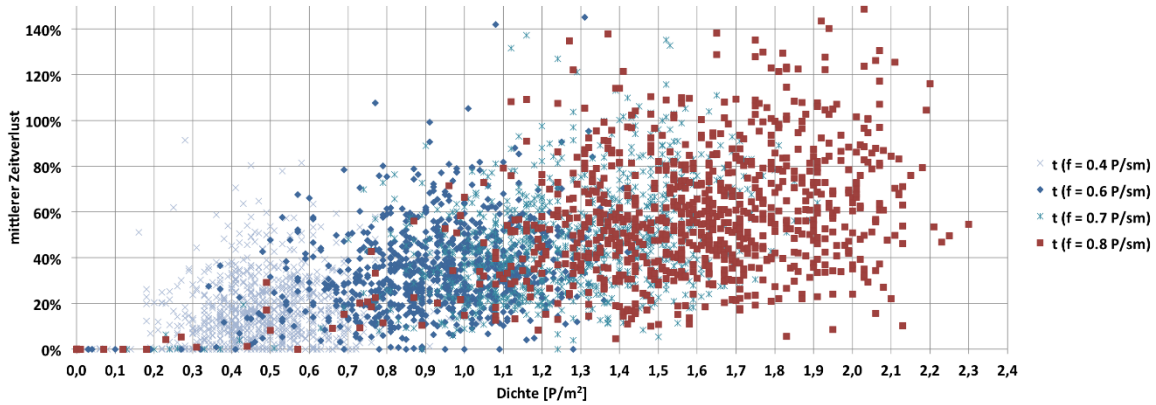


Abb. 10.151 *Mittlerer Zeitverlust in Abhängigkeit von der Personendichte beim Durchqueren des Verflechtungsbereiches (Grösse 25 m²) ohne Aufweitung (Kreuzungsbreite = Wegbreite) für einen Gesamtfluss in der Verflechtung von 0.4 P/sm bis 0.8 P/sm*

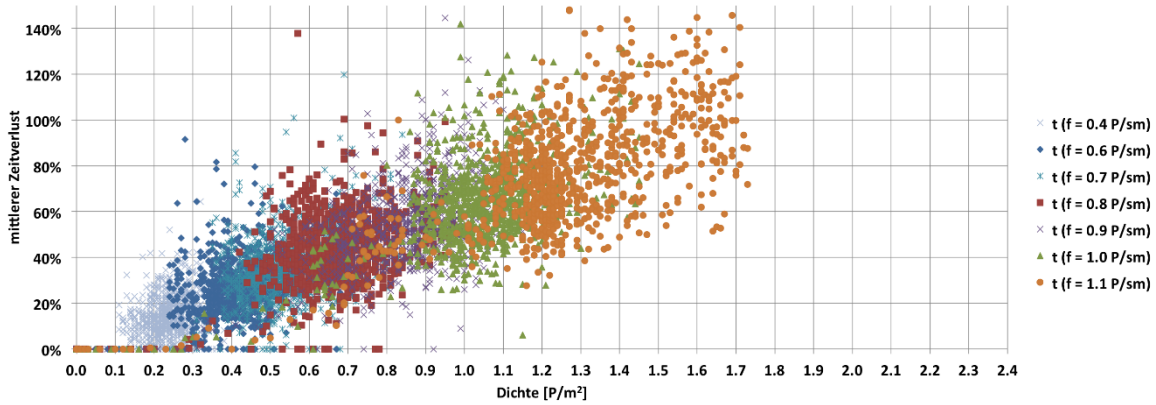


Abb. 10.152 *Mittlerer Zeitverlust in Abhängigkeit von der Personendichte beim Durchqueren des Verflechtungsbereiches (Grösse 100 m²) mit doppelter Aufweitung (Kreuzungsbreite = 2 x Wegbreite) für einen Gesamtfluss in der Verflechtung von 0.4 P/sm bis 1.1 P/sm*

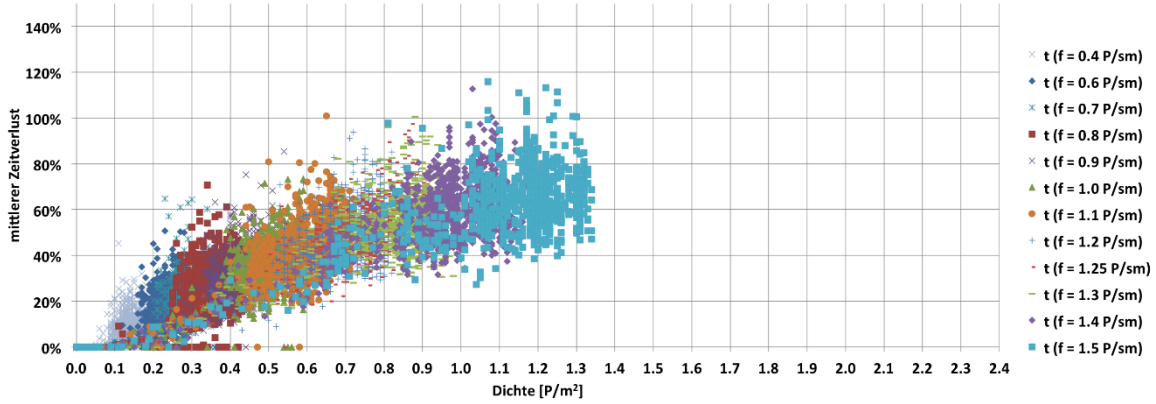


Abb. 10.153 *Mittlerer Zeitverlust in Abhängigkeit von der Personendichte beim Durchqueren des Verflechtungsbereiches (Grösse 225 m²) mit dreifacher Aufweitung (Kreuzungsbreite = 3 x Wegbreite) für einen Gesamtfluss in der Verflechtung von 0.4 P/sm bis 1.5 P/sm*

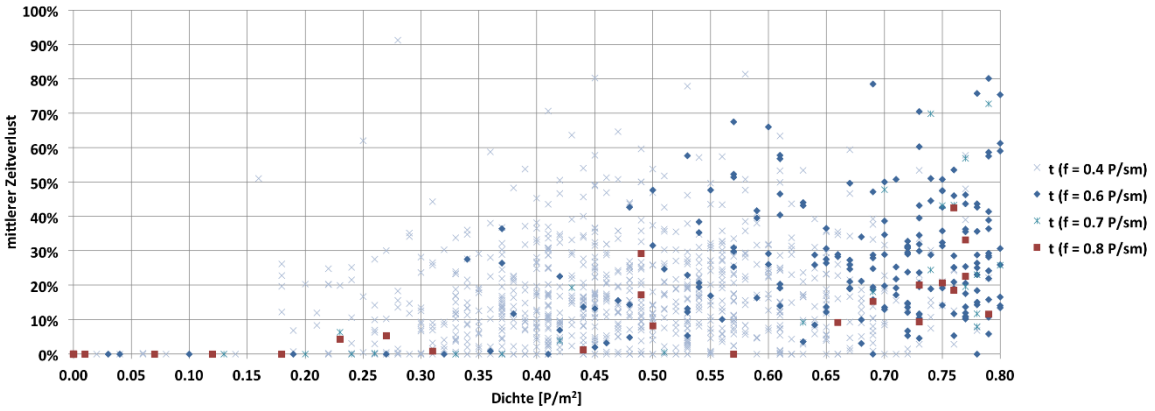


Abb. 10.154 *Mittlerer Zeitverlust in Abhängigkeit von der Personendichte beim Durchqueren des Verflechtungsbereiches (Grösse 25 m²) ohne Aufweitung (Kreuzungsbreite = Wegbreite) für einen Gesamtfluss in der Verflechtung von 0.4 P/sm bis 0.8 P/sm, Ausschnitt mit Zeitverlust max. 100 % und Dichte max. 0.8 P/m²*

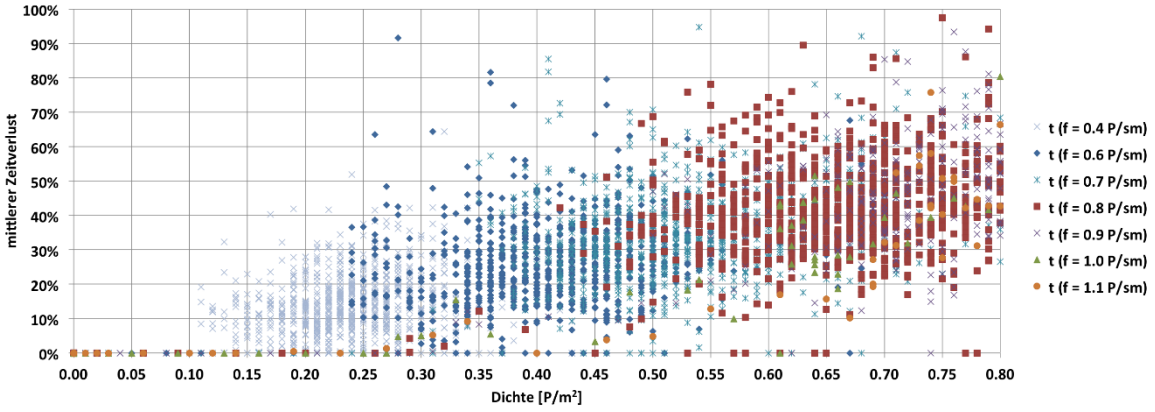


Abb. 10.155 *Mittlerer Zeitverlust in Abhängigkeit von der Personendichte beim Durchqueren des Verflechtungsbereiches (Grösse 100 m2) mit doppelter Aufweitung (Kreuzungsbreite = 2 x Wegbreite) für einen Gesamtfluss in der Verflechtung von 0.4 P/sm bis 1.1 P/sm, Ausschnitt mit Zeitverlust max. 100 % und Dichte max. 0.8 P/m2*

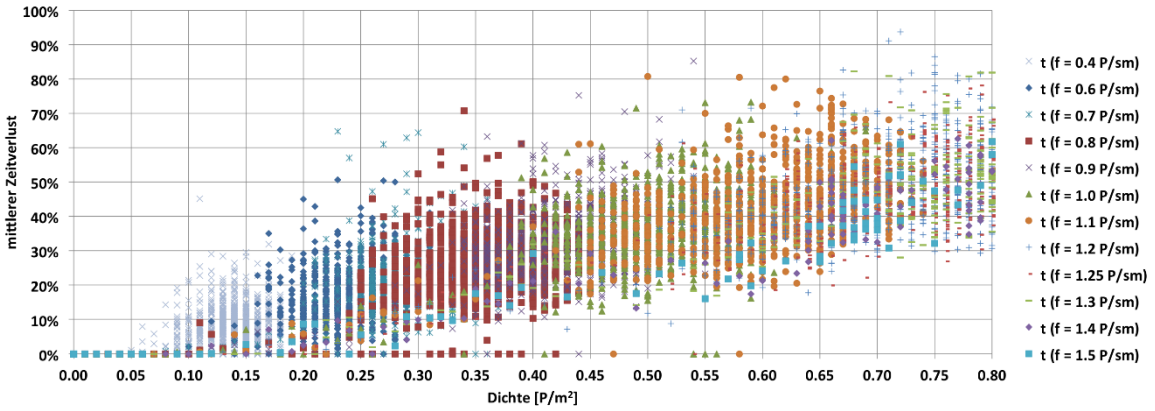


Abb. 10.156 *Mittlerer Zeitverlust in Abhängigkeit von der Personendichte beim Durchqueren des Verflechtungsbereiches (Grösse 225 m²) mit dreifacher Aufweitung (Kreuzungsbreite = 3 x Wegbreite) für einen Gesamtfluss in der Verflechtung von 0.4 P/sm bis 1.5 P/sm, Ausschnitt mit Zeitverlust max. 100 % und Dichte max. 0.8 P/m²*

10.4.5 Vergleich mit Literatur, zusätzliche Erkenntnisse

Die Streuung des Zeitverlustes geht deutlich zurück, je grösser der zur Verfügung stehende Verflechtungsbereich ist. Einzelne Fussgänger haben bei grosszügigeren Platzverhältnissen eher die Möglichkeit, ihren beabsichtigten Pfad mit weniger erzwungenen Richtungsänderungen zu absolvieren. In engeren Situation (z. B. bei einer Kreuzung ohne Aufweitung) ist diese Strategie praktisch nicht anwendbar und die Fussgänger müssen ausschliesslich auf Behinderungen im unmittelbaren Nahbereich reagieren; ein Ausweichen ist nicht möglich.

Allen Platzsituationen (einfache bis dreifache Breite) gemeinsam ist der quasi-lineare Anstieg des Zeitverlustes auf 50 % bis zu einer Personendichte von ca. 0.8 P/sm. Unterschiedlich ist der erreichbare Gesamtfluss im Verflechtungsbereich, bei dem sich diese Dichte einstellt. Im kleinsten Fall kommt es bereits bei einer Summe aller Zuflussströme von 0.6 P/sm zu einem Zeitverlust von 50 %. Derselbe Wert wird bei der mittleren Platzgrösse (Breite = doppelte Zuwegbreite) erst bei ca. 0.9 P/sm erreicht. Bei der dreifachen Platzbreite stellt sich ein mittlerer Zeitverlust von 50 % bei einem Gesamtfluss von 1.3 P/sm ein.

Bei sämtlichen experimentell untersuchten Platzgrössen ergibt sich bei einer Dichte von 0.8 P/m^2 eine Steigerung des Zeitbedarfs von 50 % für die Durchquerung des Kreuzungsbereiches. Bezüglich der Dimensionierung konnte somit der bereits von Khisty genannte Dichtegrenzwert von 0.8 P/m^2 im Verflechtungsbereich als zweckmässiger Wert bestätigt werden, da dieses Mass der Behinderung offenbar in der Realität (gerade noch) akzeptiert wird. Zusätzlich wurde der jeweilige Zeitverlust in Abhängigkeit von der Personendichte quantifiziert. Die maximal abwickelbare Zustromleistungsfähigkeit hängt direkt von der Grösse des Verflechtungsbereiches ab. Durch die Untersuchung mittels Mikrosimulation konnte für unterschiedliche Breitenverhältnisse zwischen Kreuzung und Zuweg der zulässige Gesamtzufluss wie folgt quantifiziert werden (vgl. Tab. 10.106).

Tab. 10.106 Zulässiger Gesamtzustrom im Verflechtungsbereich in Funktion des Grössenverhältnisses von Zuwegen und Kreuzung

mittlere Zuwegbreite	Kreuzungsbreite	zulässiger Gesamtfluss [P/sm]
b	b	0.8
b	2 b	1.1
b	3 b	> 1.5

Damit lässt sich umgekehrt die nötige Platzfläche in Funktion der Zustrombreite und der zugehörigen Dimensionierungs-Leistungsfähigkeit ableiten.

Dabei ist stets zu beachten, dass für reale Dimensionierungsvorhaben allenfalls weitere Randbedingungen wie bspw. zusätzliche Wegebeziehungen berücksichtigt werden müssen. Komplexere Bedingungen haben unter Umständen eine reduzierte Kapazität der Platzfläche zur Folge.

11 Dimensionierungsrichtwerte und Vorgehen bei der Qualitätsbeurteilung – kommentierter Normierungsvorschlag

11.1 Einleitung

In diesem Kapitel werden die aus den vorhergehenden Abschnitten gewonnenen Erkenntnisse zu den einzelnen Fussgängeranlagen resp. Anlageelementen – Ausnahmen siehe nicht behandelte Elemente (Kap. 11.3.2) – für die Normierung zusammengeführt. Es beinhaltet die normrelevanten Ergebnisse aus dem Literaturstudium, den durchgeführten Felduntersuchungen, der Mikrosimulation sowie weiteres Expertenwissen. Der Aufbau entspricht jenem des Normierungsvorschlages und orientiert sich soweit als möglich an den Leistungsfähigkeitsnormen des MIV. Der Normierungsvorschlag „Leistungsfähigkeit – Anlagen des Fussgängerverkehrs“ in der normgemässen Formatierung findet sich im Anhang zu diesem Bericht. Zur besseren späteren Nachvollziehbarkeit ist in diesem Kapitel jedem Normtext ein erläuternder Kommentar nachgestellt, der auf die Herkunft der verwendeten Formeln und Richtwerte eingeht sowie allfällige Annahmen begründet.

11.2 Allgemeines

11.2.1 Geltungsbereich

Diese Norm bezieht sich auf den Entwurf, die Dimensionierung und die Benützungsqualität allgemein zugänglicher Fussgängeranlagen im öffentlichen Verkehrsraum. Die beschriebenen Verfahren und Richtwerte finden nur Anwendung für den normalen Betriebsablauf. Für Evakuationssituationen sind sie nicht anwendbar.

Kommentar

In Evakuationssituationen weicht das Verhalten der Personen stark vom Normalverhalten ab, was sich auch in abweichenden Parametern äussert. Dazu sind die entsprechenden spezialisierten Verfahren einzusetzen.

11.2.2 Gegenstand

Die Norm beschreibt das Verfahren für die verkehrstechnische Bemessung und für die Beurteilung des Verkehrsablaufs des Fussgängerverkehrs auf den in Kap. 11.3 erwähnten Anlagen. Es basiert auf dem Konzept der Grundlagennorm SN 640 017 „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Grundlagennorm“.

Kommentar

Keiner.

11.2.3 Zweck

Aufgrund dieser Norm sollen die Fussgängeranlagen verkehrstechnisch korrekt dimensioniert und ihr Betriebsablauf sowie die Benützungsqualität realitätsnah beurteilt werden können.

Kommentar

Keiner.

11.2.4 Begriffe

11.2.4.1 Leistungsfähigkeit

Die Leistungsfähigkeit charakterisiert den Verkehrsfluss hinsichtlich der Zahl der Fussgänger, welche einen bestimmten Querschnitt in einer gegebenen Zeit zu durchschreiten vermögen. Sie bildet damit eine der Grundlagen für die Anlagendimensionierung.

Kommentar

In dieser Norm wird konsequent differenziert zwischen der Leistungsfähigkeit in Funktion der Dichte und der Benützungsqualität in Funktion der Dichte. Die Dimensionierung der Anlagenteile basiert auf der Kombination dieser zwei Betrachtungsweisen.

11.2.4.2 Verkehrsqualität

Die Verkehrsqualität ist der Grad der gegenseitigen Behinderungen der Fussgänger. Das Mass der Verkehrsqualität gibt aufgrund des Kriteriums der Verkehrsdichte an, mit welchen Behinderungen sich ein Verkehrsteilnehmer bewegen kann.

Die Einteilung der Verkehrsqualitätsstufen folgt grundsätzlich der Grundlagennorm SN 640017a (Stand: Dezember 1998).

Kommentar

Die vorliegende Norm orientiert sich noch an der Grundlagennorm SN 640017a, um mit den übrigen Normen der Normengruppe möglichst konsistent zu sein. Die Weiterentwicklung im Sinne der intermodalen Verkehrsqualität erfolgt zweckmässigerweise zu gegebener Zeit zusammen mit den übrigen Normen.

11.2.4.3 Weitere Begriffe

Weitere Begriffe sind in [SN 640017a] enthalten.

Kommentar

Keiner.

11.3 Anlagentypen

11.3.1 Systematik der Fussgängeranlagen

Die Norm basiert auf einer funktionalen Segmentierung der Fussgängeranlagen. Letztere lassen sich in einer ersten Stufe nach ihrem Zweck einteilen:

- Verbindung; Nutzungsform: Fortbewegung
- Verknüpfung; Nutzungsform: Aufenthalt

In einer zweiten Stufe werden die Anlagen aufgrund ihrer verkehrstechnischen Funktionen und Eigenschaften weiter gegliedert.

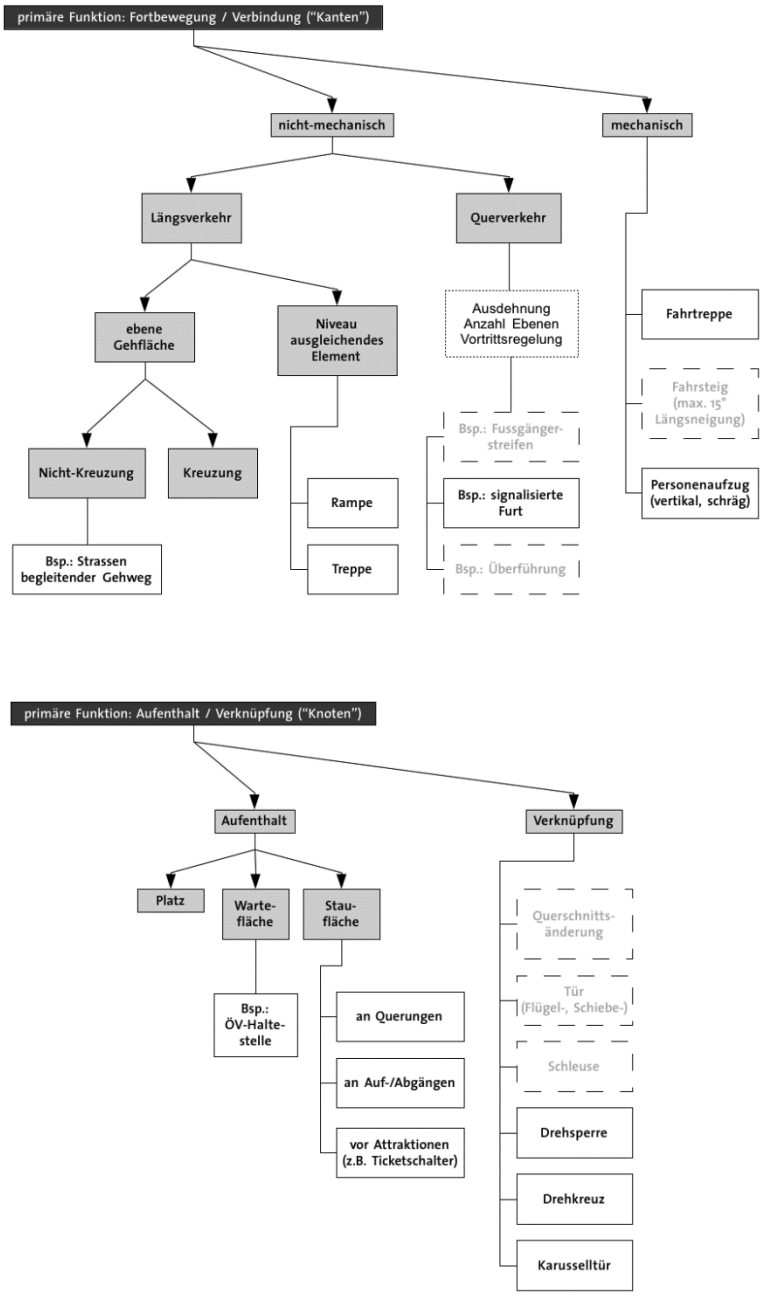


Abb. 11.157 Funktionale Systematik der Anlagenelemente für den Fussgängerverkehr

Jede Gesamtanlage lässt sich aus diesen Elementen zusammensetzen. Die Übergänge zwischen den einzelnen Teilbereichen sind hinsichtlich ihrer Kapazität jeweils besonders zu beachten.

Kommentar

Die Norm baut auf den Elementarteilen einer Fussgängeranlage auf. Diese werden in einer ersten Stufe nach ihren Grundfunktionen, in einer zweiten Stufe nach ihren verkehrstechnischen Eigenschaften gegliedert. Die einzelnen Anlagenelemente sind damit sowohl funktional wie auch verkehrstechnisch homogen und können direkt zur Bemessung genutzt werden. Je nach vorherrschender Funktion wird eine zweidimensionale Situation entweder als Kreuzung oder Platz betrachtet.

11.3.2 Nicht behandelte Elemente

Folgende Anlagenelemente werden in dieser Norm nicht explizit oder nur summarisch behandelt:

- Querverkehr — Fussgängerstreifen, unsignalisiert
  Unterführung
  Überführung
- mechanische Anlagen — Fahrsteig
- Verknüpfung — Querschnittsänderung
  Tür
  Schleuse

Kommentar

Die oben genannten Elemente wurden von der Behandlung ausgeschlossen, da sie a) aus verkehrstechnischer Sicht anders zu dimensionieren sind (Fussgängerstreifen, unsignalisiert), b) sich aus Teilelementen kombinieren lassen (Unter- und Überführung), c) analog zu bereits behandelten Anlagen funktionieren (Fahrsteig) oder d) im Rahmen der zugrunde liegenden Forschungsarbeit nicht analysiert wurden (Verknüpfungselemente). Wo dies aufgrund der Literatur möglich ist, werden aber orientierende Werte angegeben.

11.4 Verkehrsqualität

11.4.1 Grundkonzept

Die Verkehrsqualität ist jene Bestimmungsgrösse für die Bemessung von Fussgängeranlagen, welche die Qualitätswahrnehmung wiedergibt.

Durch die Unterscheidung von Verkehrsqualitätsstufen (engl. Level of Service, VQS) kann die Leistungsbemessung einer Anlage auf die Dauer eines bestimmten Verkehrsaufkommens abgestimmt werden. Bei kurzzeitigen Spitzen ist ein verminderter Komfort, also eine niedrigere Qualitätsstufe zulässig als auf Dauer im Normalbetrieb. Es werden die sechs Abstufungen A bis F der Benützungsqualität unterschieden, wobei F die schlechteste Qualität beschreibt, bei welcher der Verkehrsfluss praktisch zum Erliegen kommt.

Jeder der nachfolgend beschriebenen Qualitätsstufen können pro Anlagentyp charakteristische Richtwerte zugeordnet werden, welche ihrerseits wiederum mit einer bestimmten Leistungsfähigkeit verbunden sind.

Kommentar

Beschreibung modifiziert nach [Weidmann 1993], insbesondere Tab. 8.67 und Tab. 8.70.

11.4.2 Beschreibung der Qualitätsstufen

Kriterien zur Abgrenzung der Zwischenstufen sind im Einzelnen:

- Möglichkeit zur freien Geschwindigkeitswahl
- Häufigkeit eines erzwungenen Geschwindigkeitswechsels
- Zwang zur Beachtung anderer Fussgänger
- Häufigkeit eines erzwungenen Richtungswechsels
- Behinderung bei der Querung eines Fussgängerstromes
- Behinderung bei entgegengesetzter Bewegungsrichtung
- Behinderung beim Überholen
- Häufigkeit unbeabsichtigter Berührungen

Aus diesen Kriterien leiten sich für Anlagen des Bewegens respektive des Stehens folgende Umschreibungen der Verkehrsqualitätsstufen ab:

Tab. 11.107 Qualitative Beschreibung der Qualitätsstufen für Anlagen bei denen der Fussgänger geht

VQS	Qualitätsstufen
A	Die Fussgänger haben freie Geschwindigkeitswahl. Sie werden durch andere Fussgänger äusserst selten beeinflusst. Die Verkehrsdichte ist sehr gering. In Wartesituationen gibt es keine Beeinträchtigungen.
B	Die Fussgänger werden nur selten wegen anderer Personen zu Geschwindigkeits- oder Richtungsänderungen gezwungen. Bei geringer Verkehrsdichte kommt es insgesamt nur zu geringfügigen Beeinträchtigungen. In Wartesituationen gibt es nur sehr geringe Beeinträchtigungen.
C	Die freie Geschwindigkeitswahl ist eingeschränkt. Die Verkehrsdichte erreicht ein spürbares Mass. Gelegentlich treten erzwungene Geschwindigkeits- oder Richtungsänderungen durch andere Fussgänger auf, die ständig beachtet werden müssen. In Wartesituationen sind Beeinträchtigungen durch andere Personen möglich, ohne dass es zu Körperkontakten kommt.
D	Die Geschwindigkeitswahl ist deutlich eingeschränkt. Fussgänger sind häufig zu Geschwindigkeits- oder Richtungsänderungen gezwungen. Die Verkehrsdichte ist hoch und die freie Bewegung stark behindert. Die mittlere Geschwindigkeit sinkt erkennbar ab. In Wartesituationen kommt es zur Bildung von Reihen oder Gruppen und zu unbeabsichtigten Körperkontakten mit anderen Personen. Der Verkehrszustand ist noch stabil.
E	Die Fussgänger haben keine freie Geschwindigkeitswahl. Gegenverkehr ist erheblich erschwert. Die Verkehrsdichte ist so hoch, dass es zu massiven Behinderungen kommt. In Wartesituationen sind Körperkontakte zu anderen Personen nicht zu vermeiden. Die Kapazität wird erreicht.
F	Der Zugang ist höher als die Kapazität. Richtungsänderungen sind kaum noch durchführbar, zeitweise kommt es zum Stillstand. Gegenverkehr wird unmöglich. Die Fussgänger haben ständig unabweisbare Körperkontakte zu anderen. Die Verkehrsanlage ist überlastet.

Tab. 11.108 Qualitative Beschreibung der Qualitätsstufen für Anlagen bei denen der Fussgänger steht

VQS	Qualitätsstufen
A	Stillstehen und ungehinderte Zirkulation ist möglich, ohne andere Personen zu beeinträchtigen.
B	Stillstehen und leicht eingeschränkte Zirkulation ist möglich, ohne dass andere Personen beeinträchtigt werden.
C	Stillstehen und eingeschränkte Zirkulation ist möglich, ohne dass andere Personen beeinträchtigt werden. Dieser Zustand wird noch als angenehm empfunden.
D	Stehen ohne andere zu berühren ist noch möglich; das Herumgehen aber stark eingeschränkt. Vorwärtskommen ist nur in der Gruppe möglich. Über längere Zeit in dieser Dichte zu warten ist unbehaglich.
E	Körperkontakt mit anderen ist unvermeidlich, Herumgehen unmöglich. Warten in dieser Dichte ist nur für kurze Zeit ohne erhebliches Unbehagen ertragbar.
F	Nahezu alle Personen stehen in direktem Körperkontakt zueinander. Vorwärtskommen ist nicht möglich. Diese Dichte ist äusserst unbehaglich; sind solche Ansammlungen gross, so besteh Panikgefahr.

Kommentar

Die qualitative Beschreibung unterscheidet nach „Gehen“ und „Stehen“. Für Anlagen bei denen der Fussgänger „Geht“ gilt die Beschreibung nach HBS. Für Anlagen bei denen der Fussgänger „Steht“ gilt die Beschreibung gemäss [Weidmann 2009] und [FGSV 2005].

Die in den Kapiteln 11.6 bis 11.10 angegebenen Grenzwerte wurden abgeleitet aus dem Kriterienkatalog nach [Weidmann 1993], den Ergebnissen sowie beobachteten Maximaldichten der Erhebungen, den Literaturangaben und den Fahrgastwechselzeiten in Funktion der Stehplatzdichte. Die verschiedenen Werte für die angegebenen Anlagen sind untereinander abgeglichen und damit möglichst konsistent.

11.5 Bemessungsverfahren

11.5.1 Generelles Vorgehen

Für die Analyse einer Anlage ist diese jeweils in ihre kleinsten funktionalen und verkehrstechnisch homogenen Elemente aufzuteilen. Die Dimensionierung neuer Elemente resp. die Überprüfung der Leistungsfähigkeit und zu erwartenden Verkehrsqualität in definierten Zeitintervallen erfolgen zunächst separat. Im Anschluss sind die Schnittstellen zwischen den Elementen zu prüfen. Es ist zu klären, ob die benachbarten Anlagenteile ebenfalls in der Lage sind, den Zu- und Abstrom von jeweiligen Vorgängerelementen mit der geforderten Qualität zu bewältigen.

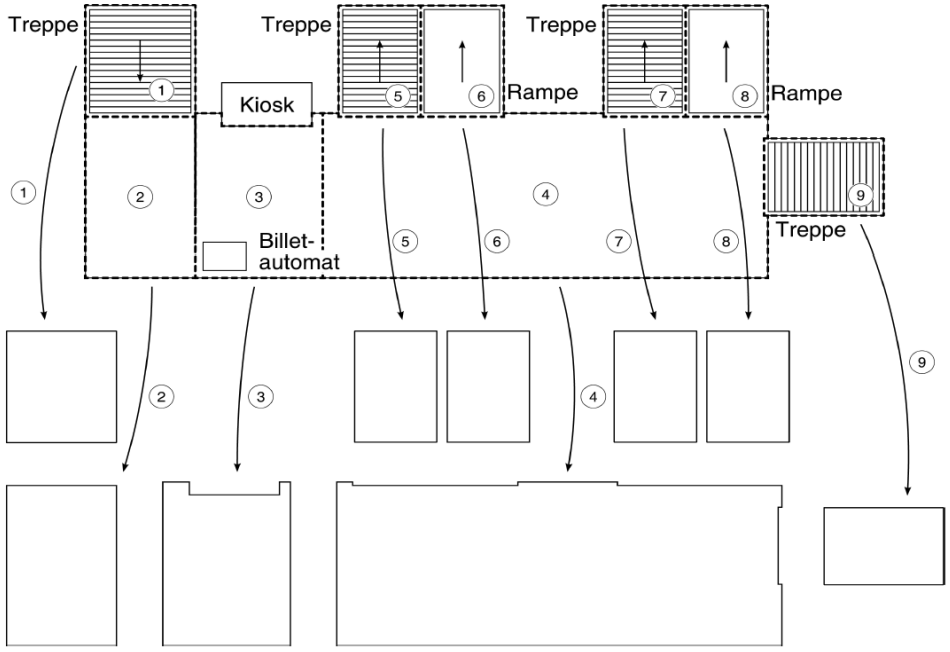


Abb. 11.158 Aufgliederung einer komplexen Anlage in funktionale Elemente

Kommentar

Keiner.

11.5.2 Dimensionierungsnachfrage

Ursachen für Nachfragestreuungen

Das Verkehrsaufkommen einer Fussgängeranlage unterliegt folgenden Streuungen:

- Jahreszeit
- Wochentag
- Tageszeit
- Kurzzeitige Streuungen

In der Bemessung sind insbesondere letztere mit ihrem stossweisen Auftreten der Fussgänger entscheidend, da Rückstauerscheinungen vermieden werden sollen.

Kurzzeitige Streuungen können aus zwei Gründen auftreten:

- Zufällige Pulks
- Stossweise Belastungen aus definierten Ursachen wie etwa sich entleerende Reisezugwagen an Perrons etc.

Nachfragespitzen bei allgemeinen Fussgängeranlagen

Die Nachfrage allgemeiner Fussgängeranalagen schwankt in kurzen Zeitintervallen, wobei hohe Spitzenwerte nur kurzzeitig auftreten. Die Umrechnung der Verkehrsstärken zwischen verschiedenen Zeitintervallen kann mittels folgender Tabellen erfolgen, sofern keine genaueren Zählwerte vorliegen.

Tab. 11.109 Umrechnungsfaktoren für Fussgängerverkehrsstärken bei unterschiedlichen Zeitintervallen

Gegebene Fussgängerverkehrsstärke in Personen je	**Umrechnungsfaktor für**	
	15 min	**2 min**
60 Minuten	0.30	0.06
30 Minuten	0.55	0.10
15 Minuten	1.00	0.18
10 Minuten	1.40	0.25

Nachfragespitzen bei Anlagen des öffentlichen Verkehrs

Bei Anlagen des öffentlichen Verkehrs werden die Verkehrsspitzen durch das Entleeren von Fahrzeugen verursacht. Die Nachfragespitzen sind deshalb mit Hilfe der Leistungsfähigkeit und Zahl der Türen zu bestimmen. Die Türleistungsfähigkeit ist in erster Näherung von der Türbreite und der Einstiegshöhe abhängig. Für typische Situationen und überschlägige Beurteilungen können folgende Richtwerte verwendet werden:

Tab. 11.110 Richtwerte für die Türleistungsfähigkeit in [P/s] von Bahnfahrzeugen und Bussen in Abhängigkeit von der Türbreite und der Einstiegshöhe (abgeleitet für durchschnittlich 20 P/Türe aus [Weidmann 1994]). Andere Einstiegshöhen und/oder Türbreiten sind zu interpolieren.

Einstiegshöhe [mm]	**Lichte Türbreite [mm]**		
	800	**1250**	**1900**
0 – 250	0.69 P/s	1.03 P/s	1.49 P/s
600 – 700	0.51 P/s	0.71 P/s	1.10 P/s

11.5.3 Dimensionierungsqualitäten

Bei der Dimensionierung der Anlagen sind folgende VQS möglichst einzuhalten:

Tab. 11.111 Dimensionierungsqualitäten für Fussgängeranlagen und Anlagen des öffentlichen Verkehrs

VQS	Allgemeine Fussgängeranlagen	Anlagen des öffentlichen Verkehrs
B	Massgebende Spitzenstunde	Massgebende Spitzenstunde
C	Massgebende Spitzen-Halbstunde	Fahrgastdichte auf Perrons vor Eintreffen eines Zuges und während Zugsdurchfahrten
D	Massgebende Spitzen-Viertelstunde	Mittleres Fahrgastaufkommen während eines Umsteigevorganges im Integrierten Taktfahrplan
E	Massgebender maximaler 2-Minuten-Wert	Fahrgastdichte auf Warteflächen von Tram- und Bushaltestellen bis 30 s vor Eintreffen des Kurses, maximales Fahrgastaufkommen während eines Umsteigevorganges im Integrierten Taktfahrplan an kritischen Stellen der Anlage
F	Ist zu vermeiden, da bei dieser Dichte ein Rückstau und ein sukzessiver Leistungsrückgang auftreten kann	Ist zu vermeiden, da Umsteigezeiten nicht mehr gewährleistet sind und sicherheitskritische Situationen entstehen

Falls ein höherer Benützungskomfort geboten werden soll, sind grosszügigere Werte möglich. VQS F ist dagegen jedenfalls zu vermeiden, da bei dieser Dichte ein Rückstau und sukzessiver Leistungsrückgang auftreten kann.

11.6 Ebene Gehflächen (eindimensionale Bewegung)

11.6.1 Anlagenelemente

Korridor / Strassen begleitender Gehweg:

- Lineare, ebene Gehfläche in oder ausserhalb von Gebäuden ohne kreuzende Verkehrsströme

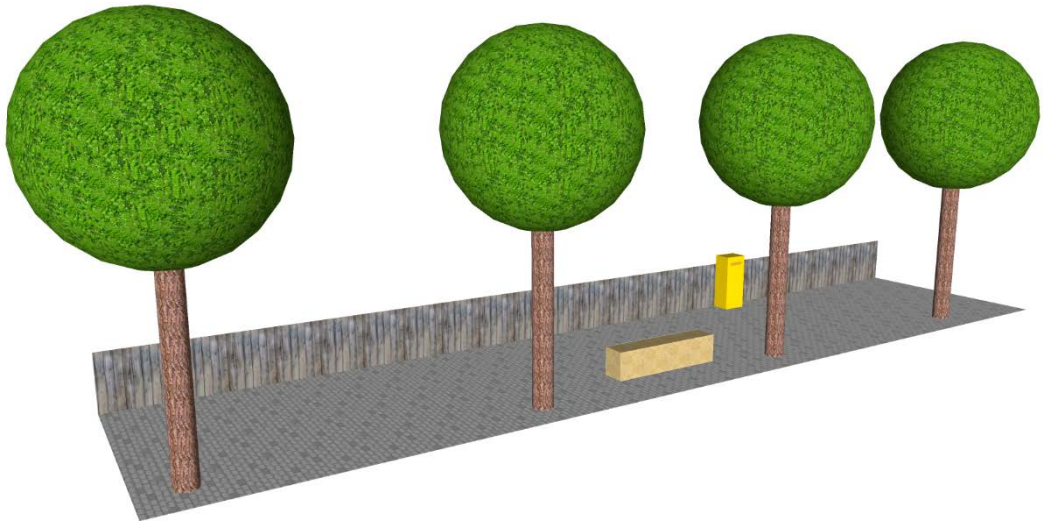


Abb. 11.159 Strassen begleitender Gehweg

11.6.2 Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit

Leistungsfähigkeit in Funktion der Geschwindigkeit und Dichte

Die Leistungsfähigkeit ist abhängig von der Geschwindigkeit und der Dichte des Fussgängerstromes. Das Maximum der Leistungsfähigkeit wird nicht bei höchster Geschwindigkeit erreicht, da die Fussgängergeschwindigkeit mit der Dichte überproportional abnimmt. Maximale Leistungsfähigkeit und höchste Geschwindigkeit schliessen sich daher gegenseitig aus.

Die spezifische Leistungsfähigkeit in der Ebene wird durch folgende Formel ermittelt:

$$L_S = \frac{v(D)}{\left[\frac{1}{5.4} - \frac{ln\left(1-\frac{v(D)}{1.34}\right)}{1.913}\right]} \qquad (71)$$

wobei L_S spezifische Leistungsfähigkeit [P/sm]
$v(D)$ Fussgängergeschwindigkeit abhängig von einer bestimmten Dichte [m/s]

Abzüge von der effektiv nutzbaren Gehbreite sind vorzunehmen aufgrund von Bepflanzung, Einbauten, Hindernissen, Attraktionen und Sicherheitsabstand zu den Berandungen (Wände, Fahrbahn, etc.)

Die nutzbare Fusswegbreite B_N ergibt sich aus der Bruttobreite B_B abzüglich eines Verlustes B_H.

$$B_N = B_B - n_H \cdot B_H \qquad (72)$$

wobei B_B Bruttobreite einer Fussgängeranlage [m]
B_H Verlustbreite infolge von Wandeinflüssen oder Hindernissen [m]
n_H Zahl der Begrenzungen des Fussweges, meist 2 [-]

Verlustbreite

Die Verlustbreite hängt von der Art der Begrenzung ab:

Tab. 11.112 Verlustbreite zur Berechnung der Leistungsfähigkeit

Art der Begrenzung	**Verlustbreite [m]**
Hauswände bei Trottoirs	0.45
Betonwand in Korridor	0.25
Metallwand in Korridor	0.20
Strassenränder bei Trottoirs (Abstand zu Fahrbahn)	0.35
Gartenzäune, Bepflanzungen	0.35 – 0.60
Hauswände	0.45
Schaufenster (Rücksicht auf stehende Fussgänger)	0.75 – 1.00
Stützen (punktuelle Hindernisse)	0.25 - 0.30
Platzmehrbedarf in Kurven	0.15

Der Breitenverlust durch Hindernisse und Wandeinflüsse ist beidseits der Hindernisse auf einer Distanz von etwa 5 bis 6 m zu berücksichtigen, mit linear abnehmendem Ausmass. Resultierende Überlagerungen von verschiedenen Wandeinflüssen und / oder Hindernissen sind besonders zu beachten.

Fundamentaldiagramm

Die Beziehungen zwischen Fussgängerfluss, Dichte und Geschwindigkeit sind im Fundamentaldiagramm dargestellt.

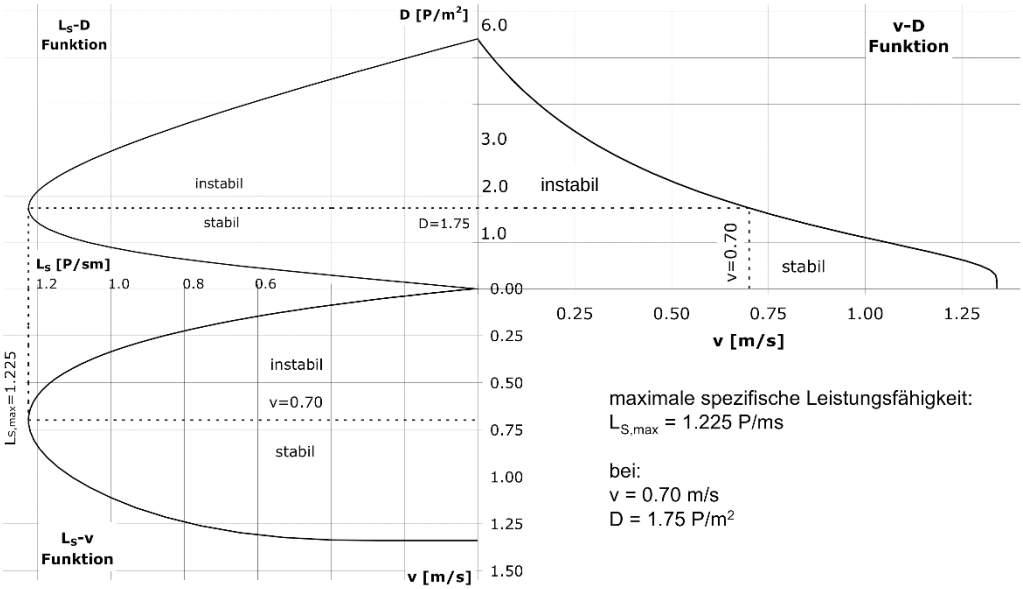


Abb. 11.160: Fundamentaldiagramm für ebene Gehwege, Richtungsverkehr

Gegenverkehrsverluste

Bei Personenströmungen im Gegenverkehr sind die zusätzlich auftretenden Beeinflussungen der einander ausweichenden Fussgänger zu berücksichtigen. Dies führt zur Verringerung der Gehwegkapazität.

Tab. 11.113 Änderung der Kapazität bei Personenströmen im Gegenverkehr in Abhängigkeit des Anteils der Ströme am Gesamtfluss im Querschnitt

Anteil der Fussgängerverkehrsstärke am Strom im Gesamtquerschnitt [%]		**Änderung der Kapazität gegenüber ausschliesslichem Einrichtungsbetrieb [%]**
Hauptrichtung	**Gegenrichtung**	
100	0	-
99	1	-5
97.5	2.5	-11
95	5	-14
92.5	7.5	-15
90	10	-14
85	15	-12
80	20	-11
70	30	-8
60	40	-6
50	50	-5

Kommentar

Die Inhalte sind hergeleitet aus dem Grundlagenkapitel 8. Das Fundamentaldiagramm kann von [Weidmann 1993] übernommen werden, da es durch neue Messungen und Laboruntersuchungen bestätigt wurde.

11.6.3 Verkehrsqualität

Für ebene Fusswege gelten folgende Verkehrsqualitätstufen:

Tab. 11.114 Qualitätsstufen für ebene Gehwege

VQS	Qualitätsstufen
	Ebene Gehwege (Eindimensionale Situation)
	[P/m²]
A	< 0.30
B	0.30 – 0.45
C	0.45 – 0.60
D	0.60 – 0.75
E	0.75 – 1.50
F	> 1.50

11.6.4 Dimensionierung

Die spezifische Leistungsfähigkeit für die verschiedenen VQS beträgt:

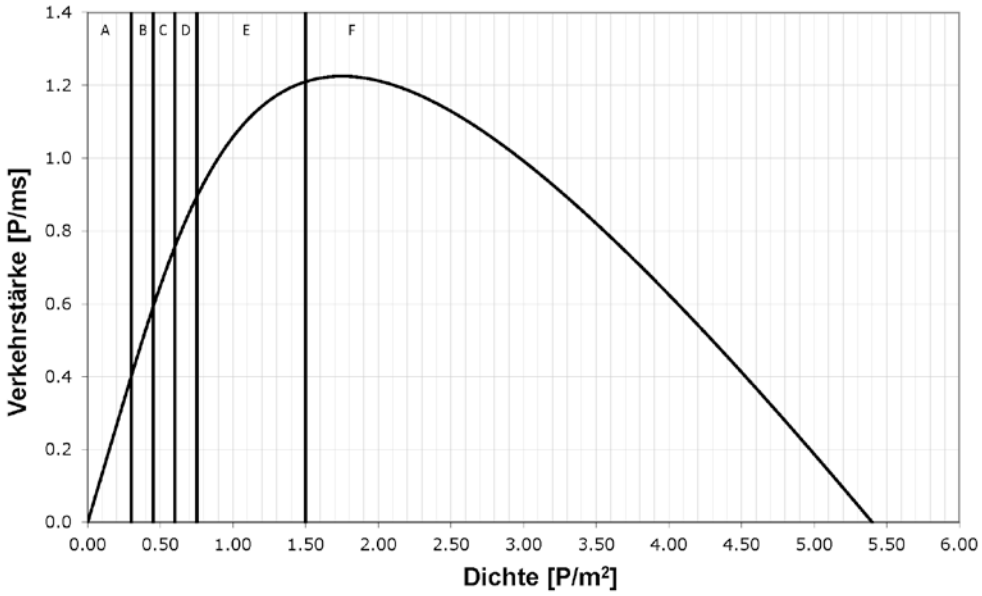


Abb. 11.161 VQS-Einstufung für ebene Gehwege und zugehörige spezifische Leistungsfähigkeit

11.7 Niveau ausgleichende Anlagen

11.7.1 Anlagenelemente

Rampe

- Lineare, geneigte Gehfläche in oder ausserhalb von Gebäuden ohne kreuzende Verkehrsströme
- Zur Überwindung eines geringen Niveauunterschiedes zwischen benachbarten Gehflächen (in der Regel bis max. 1 Etage)

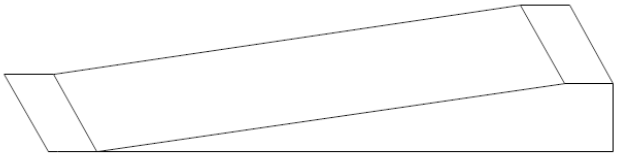


Abb. 11.162 Rampe

Treppe

- Höhen- und längenversetzte Anordnung ebener Gehflächen (Stufen) in oder ausserhalb von Gebäuden mit einem Steigungswinkel zwischen 25° und 45°
- Zur Überwindung eines geringen bis mittleren Niveauunterschiedes zwischen benachbarten Gehflächen
- Steigungsmass als Verhältnis zwischen Stufenhöhe und Auftritt ist zweite Bestimmungsgrösse

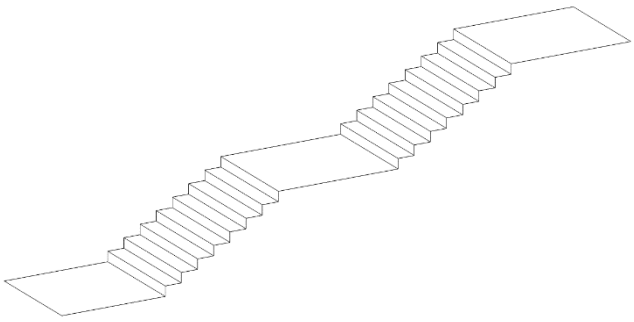


Abb. 11.163 Treppe, mehrläufig mit Zwischenpodest

11.7.2 Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit

Rampen

Die Horizontalgeschwindigkeit auf Rampen ist neigungsabhängig.

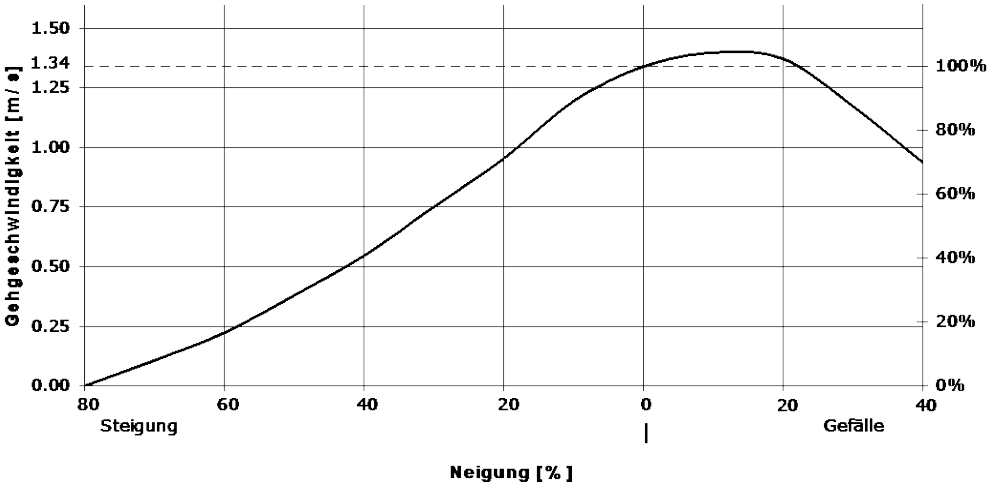


Abb. 11.164: Gehgeschwindigkeiten in Funktion der Weglängsneigung

Tab. 11.115 Mittlere Gehgeschwindigkeiten auf geneigten Gehflächen / Rampen

Neigung	Gehrichtung					
	aufwärts			Abwärts		
	v [m/s]	v_{hor} [m/s]	v_{vert} [m/s]	v [m/s]	v_{hor} [m/s]	v_{vert} [m/s]
0%	1.34	1.34	0.00	1.34	1.34	0.00
5%	1.29	1.29	0.06	1.40	1.38	0.07
10%	1.20	1.19	0.12	1.41	1.40	0.14
15%	1.10	1.07	0.16	1.42	1.40	0.21

Durch die verminderte Geschwindigkeit verringert sich auch der Verkehrsfluss entsprechend.

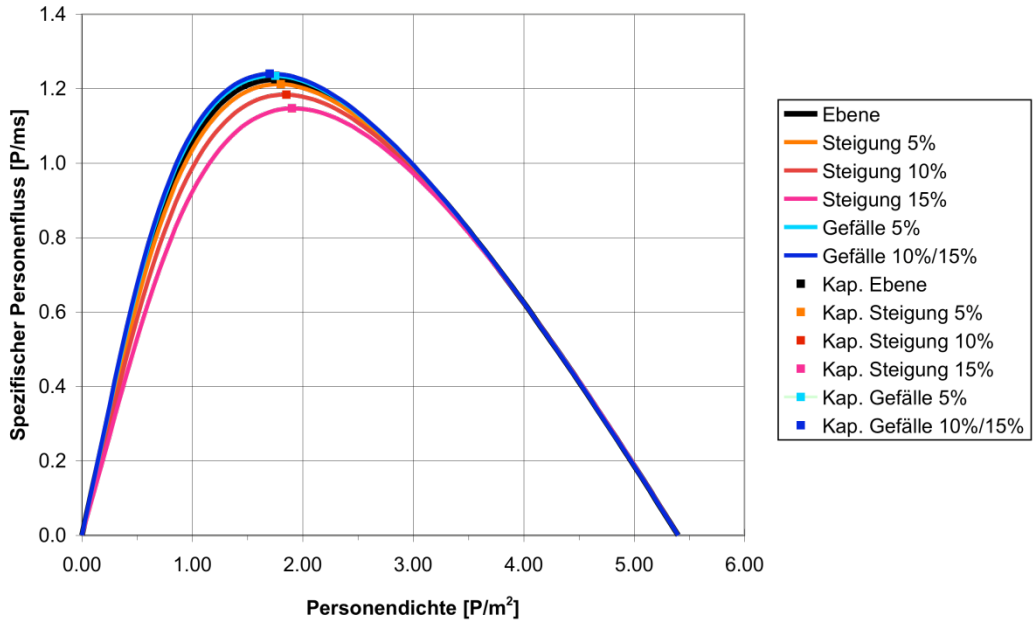


Abb. 11.165 Spezifische Leistungsfähigkeit für horizontale und geneigte Gehflächen in Funktion der Fussgängerdichte [Buchmüller 2008])

Treppen

Die Leistungsfähigkeit in Funktion der Dichte folgt grundsätzlich demselben Verlauf wie jene in der Ebene. Die Gehgeschwindigkeiten sind aber reduziert.

Tab. 11.116 Mittlere Gehgeschwindigkeit auf Treppen

	$v_{horizontal}$ [m/s]	$v_{vertikal}$ [m/s]	f [Stufen/s]
Aufwärts	0.610	0.305	1.97
Abwärts	0.694	0.347	2.24

Die Leistungsfähigkeit für die aufwärtsgerichtete Bewegung berechnet sich aus:

$$L_{S,auf} = \frac{v(D)_{h,auf}}{\left[\frac{1}{5.4} - \frac{ln\left(1-\frac{v(D)_{h,auf}}{0.610}\right)}{3.722}\right]} \quad (73)$$

wobei $L_{s,auf}$ spezifische Leistungsfähigkeit bei Treppen aufwärts [P/sm]
$v(D)_{h,auf}$ Horizontalkomponente der Fussgängergeschwindigkeit bei bestimmter Dichte auf Treppen aufwärts [m/s]

Für das Abwärtsgehen gilt:

$$L_{S,ab} = \frac{v(D)_{h,ab}}{\left[\frac{1}{5.4} - \frac{ln\left(1-\frac{v(D)_{h,ab}}{0.694}\right)}{3.802}\right]} \quad (74)$$

wobei $L_{s,ab}$ spezifische Leistungsfähigkeit bei Treppen abwärts [P/sm]
$v(D)_{h,\,ab}$ Horizontalkomponente der Fussgängergeschwindigkeit bei bestimmter Dichte auf Treppen abwärts [m/s]

Mit zunehmender Treppenlänge nimmt die Geschwindigkeit ab, Daher müssen längere Treppen mit Zwischenpodesten versehen werden.

Die Leistungsfähigkeit von Treppen und Rampen berechnet sich analog zu den ebenen Fusswegen, mit angepasster spezifischer Leistungsfähigkeit. Es sind die Verlustbreiten analog zu den ebenen Fusswegen zu berücksichtigen.

Fundamentaldiagramm

Für Treppen in Aufwärts- und Abwärtsrichtung gilt folgendes Fundamentaldiagramm:

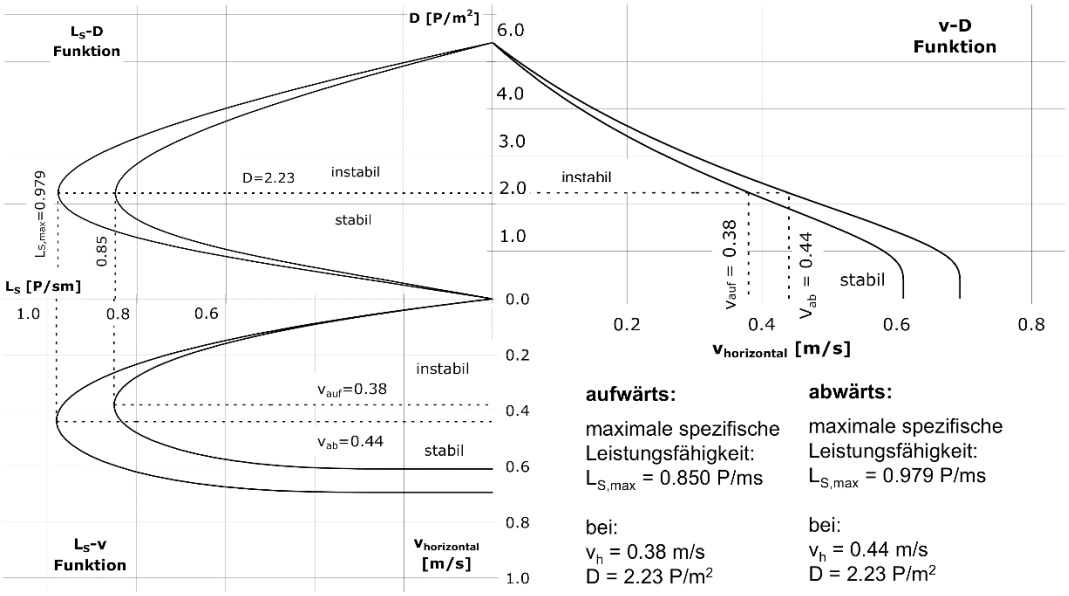


Abb. 11.166: Fundamentaldiagramm für Treppen, Richtungsverkehr

Kommentar

Die Inhalte sind hergeleitet aus dem Grundlagenkapitel 8. Das Fundamentaldiagramm kann von [Weidmann 1993] übernommen werden, da es durch neue Messungen und Laboruntersuchungen bestätigt wurde.

11.7.3 Verkehrsqualität

Für Treppen und Rampen gelten folgende Verkehrsqualitätsstufen:

Tab. 11.117 Qualitätsstufen für Treppen und Rampen

VQS	Qualitätsstufen
	Treppen und Rampen (Eindimensionale Situation)
	[P/m²]
A	< 0.60
B	0.60 – 0.75
C	0.75 – 0.90
D	0.90 – 1.15
E	1.15 – 2.15
F	> 2.15

11.7.4 Dimensionierung

Die spezifische Leistungsfähigkeit für verschiedene VQS beträgt:

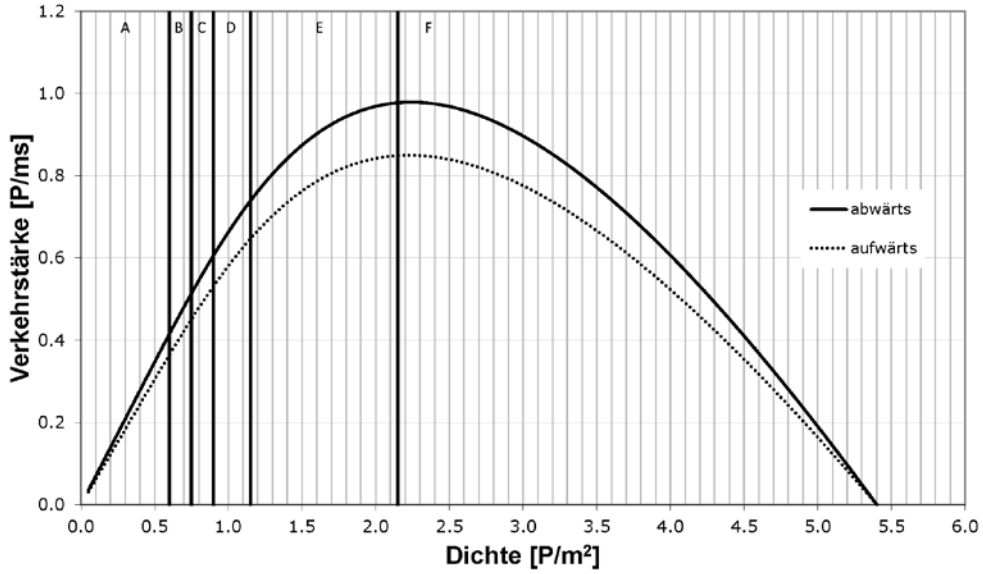


Abb. 11.167 VQS-Einstufung für Treppen und Rampen

11.8 Querverkehrsanlagen

11.8.1 Anlagenelemente

Signalisierte Furt

- Lineare, ebenerdige und örtlich festgelegte Querungsmöglichkeit von Fahrbahnen des motorisierten Individualverkehrs
- Zeitweilige technische Sicherung gegenüber dem Fahrverkehr durch Lichtsignalanlage

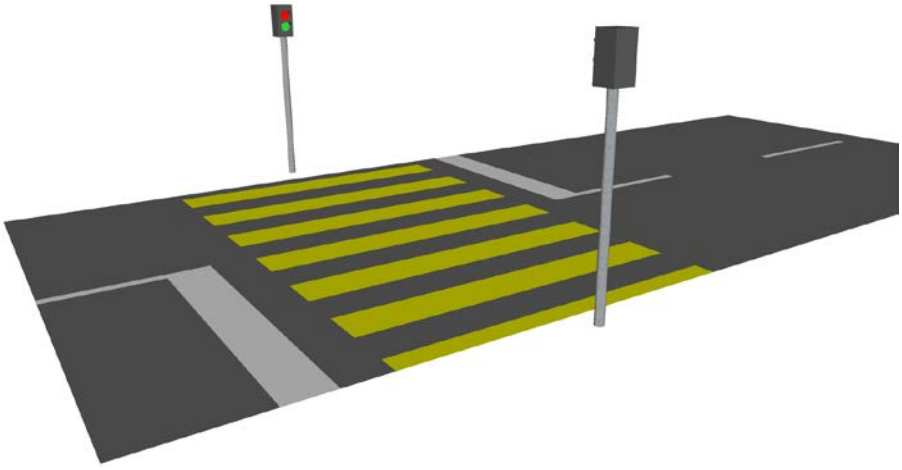


Abb. 11.168 Signalisierte Fussgängerfurt

11.8.2 Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit

Signalisierte Fussgängerfurt

An einer signalisierten Fussgängerfurt muss zwischen Wartevorgang (auf der Warteflä-

che) und Querungsvorgang unterschieden werden. Die Leistungsfähigkeit der Wartefläche gilt gemäss Kapitel 11.10. Die Leistungsfähigkeit des Querungsvorgangs über das gegebene Zeitintervall einer Grünphase ist von der nutzbaren Fläche der Querungsstelle, der Anzahl querender Personen und der Grünzeit der Lichtsignalanlage abhängig.

Die Gesamtfläche der Querung bestimmt sich aus:

$$A = B \cdot L \qquad (75)$$

mit

A	Grösse der Wartefläche	[m^2]
B	Breite der Querungsfläche	[m]
L	Länge der Querungsfläche	[m]

Die Zeit-Fussgängerfläche ist die Fläche, welche dem Fussgängerverkehr während der Freigabezeit zur Verfügung steht.

$$T_A = \frac{A \cdot t_F}{60} \qquad (76)$$

mit

T_A	Zeit-Fussgängerfläche	[m^2*s]
t_F	Freigabezeit	[min]

Die mittlere Querungszeit ergibt sich zu

$$t_Q = \frac{L}{v} \qquad (77)$$

mit

t_Q	Mittlere Querungszeit	[s]
v	Mittlere Querungsgeschwindigkeit der Fussgänger	[m/s]
L	Länge der Querungsfläche	[m]

Die gesamte Belegungszeit für die Querung ist das Produkt aus der Überquerungszeit und der Anzahl an Fussgängern, welche die Querung während eines Umlaufs benutzen.

$$T_Q = \frac{q_{15}}{900} \cdot t_U \cdot \frac{t_Q}{60} \qquad (78)$$

mit

T_Q	Gesamte Belegungszeit für die Querung	[P/s]
q_{15}	Fussgängerverkehrsstärke im 15-Minuten-Intervall	[P/15min]
t_U	Umlaufzeit	[s]
t_Q	Mittlere Querungszeit	[s]

Aus der gesamten Belegungszeit und der Zeit-Fussgängerfläche resultiert die Dichte.

$$D = \frac{t_Q}{T_A} \qquad (79)$$

Zur vereinfachten Abschätzung des effektiven Personenflusses pro Minute und der Dichte auf der Querungsfläche gilt der Grünzeitfaktor g_{FG}. Dieser ergibt sich aus dem Quotient des umzulegenden Zeitintervalls (in Sekunden) und der angenommenen Grünzeit in (Sekunden).

$$g_{FG} = \frac{t_i}{t_g} \qquad (80)$$

mit

g_{FG}	Grünzeitfaktor	[-]
t_g	Grünzeit der Fussgänger	[s]
t_i	Zeitintervall (der bestimmt werden soll)	[s]

Für 1-, 2-, 5-, 10-, 15-, 30- und 60-Minutenintervalle kann der Grünzeitfaktor für Fussgängergrünzeiten bis 60 Sekunden aus folgendem Diagramm direkt abgelesen werden.

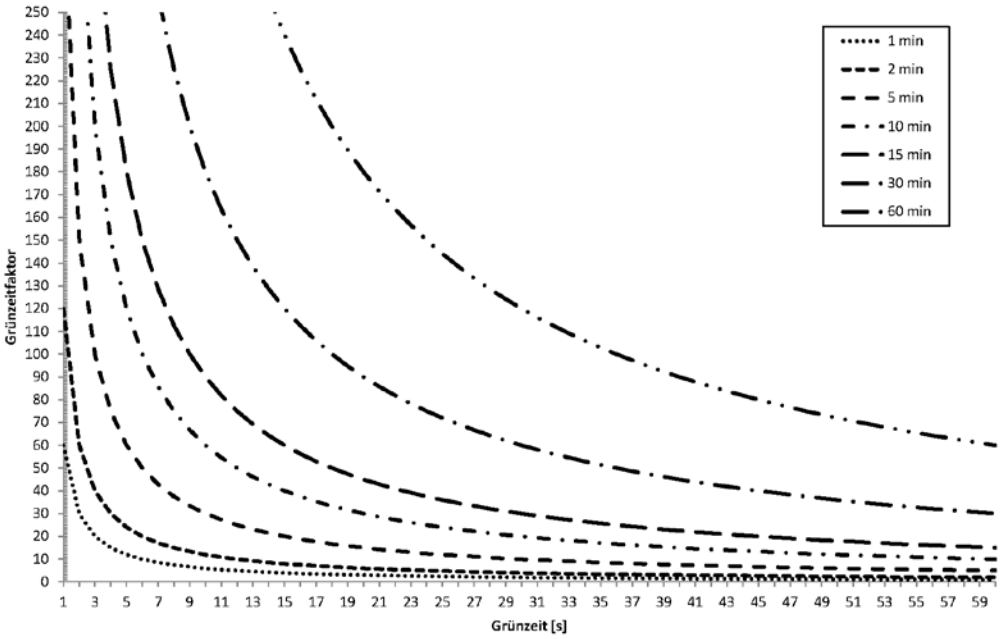


Abb. 11.169 Ermittlung des Grünzeitfaktors in Abhängigkeit der Grünzeit und des Erhebungsintervalls für Fussgängergrünzeiten bis 60 Sekunden

Kommentar

Der Grünzeitfaktor wurde hergeleitet und zusammengefasst aus Erhebungs- und Simulationskapitel 10. Die Anwendung des Grünzeitfaktors ist plausibel und vereinfacht die Umrechnung auf unterschiedliche Intervalle.

11.8.3 Bemessung der Grünphase

Die Grünphase ist auf v_{85} der Fussgänger auszulegen. Diese beträgt 1.05 m/s.

11.9 Mechanische Anlagen

11.9.1 Anlagenelemente

Fahrtreppe

- Elektrisch angetriebener Stetigförderer mit schrägem Transportband aus einzelnen Stufenelementen (Paletten), typischer Steigungswinkel ca. 30° - 35°
- Zur Überwindung eines mittleren Niveauunterschiedes zwischen 2 benachbarten Gehflächen, in der Regel 1 bis 2 Etagen
- Aufstandsbreite bestimmt für 1 bis 2 Personen pro Palette

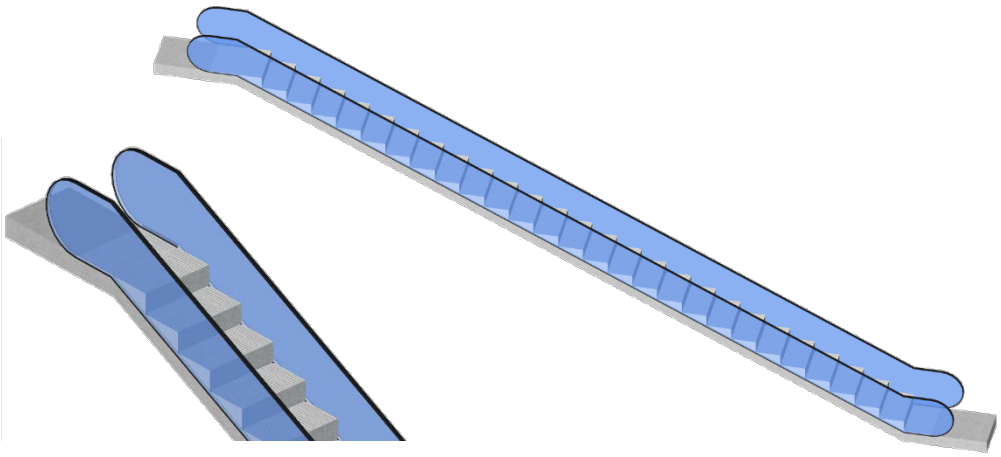


Abb. 11.170 Fahrtreppe

Personenaufzug

- Vertikale Transportkabine, die auf Anforderung zwischen festgelegten Stationen auf mehreren Etagen pendelt
- Hydraulisch oder elektrisch angetrieben

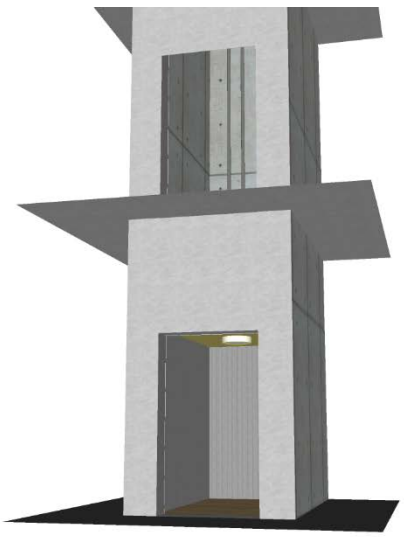


Abb. 11.171 Personenaufzug

11.9.2 Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit

Lift

Die Kapazität - gemessen in Personen pro Stunde und Richtung - eines ohne Zwischenhalt verkehrenden Lifts wird bestimmt durch die Umlaufzeit als Summe der Fahr- und Haltezeiten sowie die leistungsoptimale Belegung der Kabine. Sie kann mithilfe der folgenden Formel bestimmt werden.

$$K = 3600 \cdot \left(\frac{Q \cdot \frac{F}{2}}{t_{Halt} + \frac{h}{v_m}} \right) \quad (81)$$

K ... Transportkapazität der Liftanlage (Einzelkabine) [P/h/Richtung]
Q ... leistungsfähigkeitsoptimale Passagiergruppengrösse in der Liftkabine [P]
t_{Halt} ... Haltezeit pro Fahrt in eine Richtung (Ein- und Aussteigezeit + Türprozesszeiten) [s]
F ... Anzahl der Liftkabinen [-]
h ... Höhenunterschied zwischen unterem und oberen Halt [m]
v_m ... mittlere Fahrgeschwindigkeit der Kabine [m/s]

mit

$$t_{Halt} = t_{Tür} + t_{Ein} + t_{Aus} + t_R \quad (82)$$

$t_{Tür}$ ... Türprozesszeiten: Öffnen/Schliessen [s]
t_{Ein} ... Einsteigezeit [s]
t_{Aus} ... Aussteigezeit [s]
t_R ... Reaktionszeiten [s]

Zur Ermittlung der Passagiergruppengrösse, bei welcher die Leistungsfähigkeit der Anlage maximal wird, kann das folgende grafische Verfahren genutzt werden.

- Auftragen der Füllkurve der betrachteten Liftkabine nach rechts
- Abtragen der Fahrzeit auf der linken Seite der Abszisse
- Die Tangente an die Füllkurve gibt die Gerade mit dem steilst möglichen Anstieg, also der höchsten Förderleistung der Liftanlage, in Personen pro Zeiteinheit

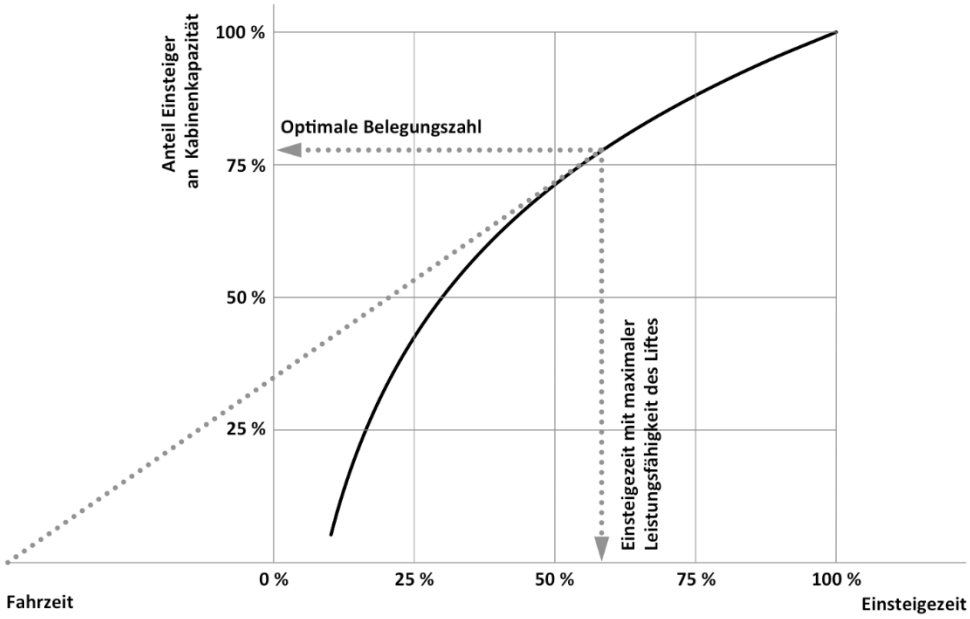


Abb. 11.172 Grafische Bestimmung der leistungsfähigkeitsoptimalen Passagiergruppengrösse

Die Füllkurve für gebräuchliche Liftkabinen ist folgendem Diagramm zu entnehmen:

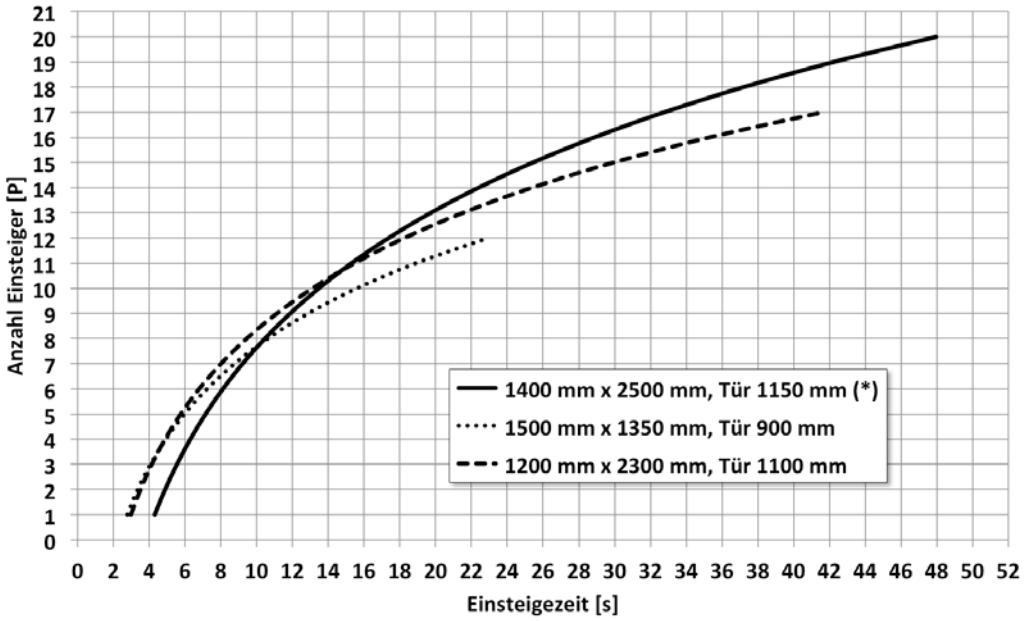


Abb. 11.173 Füllkurven für gebräuchliche Liftkabinen, (*) nominelles Fassungsvermögen gemäss Hersteller: 25 Personen

Kommentar

Die Betriebscharakteristik der Einzelkabine einer Liftanlage entspricht im Wesentlichen derer einer Pendelluftseilbahn. Verfahren und Formeln wurden daher hergeleitet aus [Weidmann, Barth 2009] sowie den Felderhebungen an der Liftanlage „Grosse Schanze“ in Bern (vgl. Kap. 10.3).

Fahrtreppe

Die Leistungsfähigkeit von Fahrtreppen ist von der lichten Innenbreite, dem Neigungswinkel, der Fussgängerdichte sowie der Geschwindigkeit der Fahrtreppe abhängig und wird berechnet durch:

$$L_R = v_{R,s} \cdot cos\alpha \cdot B_N \cdot D \qquad (83)$$

mit

L_R	Leistungsfähigkeit der Fahrtreppe	[P/s]
$v_{R,S}$	Schräggeschwindigkeit der Fahrtreppe	[m/s]
α	Neigungswinkel der Fahrtreppe	[°]
B_N	Nutzbare Breite	[m]
D	Fussgängerdichte auf der Fahrtreppe	[P/m²]

Mit Eigenbewegungsanteil wird die Leistungsfähigkeit der Fahrtreppe wie folgt errechnet:

$$L_R = q_{T,b} \cdot F_{St} \cdot \left(\frac{v_{R,s}}{a_R} + \frac{v_{F,v}}{h_R}\right) + (1 - q_{T,b}) \cdot F_{St} \cdot \frac{v_{R,s}}{a_R} \qquad (84)$$

mit

L_R	Leistungsfähigkeit der Fahrtreppe	[P/s]
$q_{T,b}$	Anteil der FG, die sich aktiv auf der Fahrtreppe hinauf- oder hinunter bewegen	[-]
F_{St}	Personen pro Treppenstufe	[P]
$v_{R,S}$	Schräggeschwindigkeit der Fahrtreppe	[m/s]
a_R	Stufentiefe der Fahrtreppe	[m]
$v_{F,v}$	Vertikalgeschwindigkeit der Fussgänger auf der Fahrtreppe	[m/s]
h_R	Höhe der Treppenstufe	[m]

Liegen keine genaueren Angaben vor, so ist mit einem Anteil von 20 bis 25 % der Fussgänger zu rechnen, die sich aktiv selbst fortbewegen. Die Eigenleistung beträgt 1.0 bis 1.5 Stufen pro Sekunde.

Die spezifische Leistungsfähigkeit wird unter Einbezug der baulichen Breit der Fahrtreppe errechnet:

$$L_{R,s} = \frac{L_R}{B_B} \qquad (85)$$

wobei

$L_{R,s}$	Spezifische Leistungsfähigkeit einer Fahrtreppe	[P/sm]
B_B	Bruttobreite (bauliche Breite der Fahrtreppe)	[m]

Bei üblichen Fahrtreppen muss zur nutzbaren Breite eine bautechnische Breite von 0.60 m hinzugefügt werden. Ist der anzuwendende Fahrtreppentyp bekannt, so gilt dessen bautechnische Breite.

Die spezifische Leistungsfähigkeit über die Innenbreite in Funktion der Rolltreppengeschwindigkeit ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Es ist kein Eigenleistungsanteil berücksichtigt.

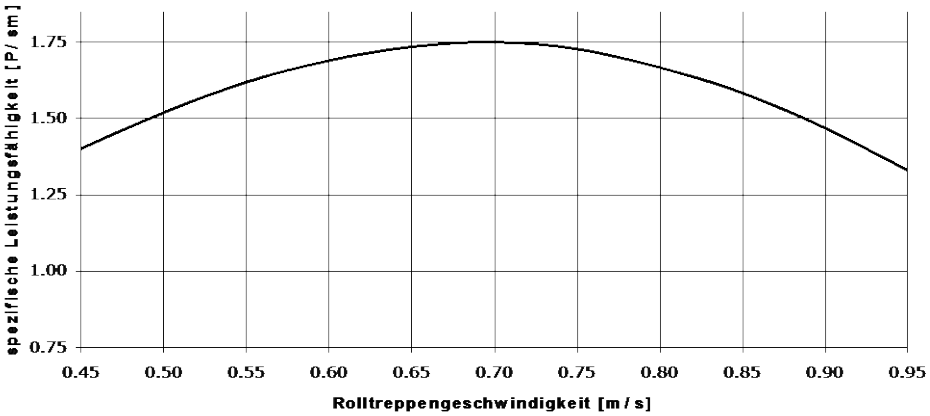


Abb. 11.174 Zusammenhang praktische spezifische Leistungsfähigkeit (für ein 5 Minuten Intervall) von der Antriebsgeschwindigkeit bei Fahrtreppen und Fahrsteigen, bezogen auf die lichte Innenbreite

Bei kurzfristigen Stossbelastungen können höhere Leistungsfähigkeiten erzielt werden. Diese dürfen nicht zur Dimensionierung verwendet werden, sondern dienen nur der Kontrolle.

Tab. 11.118 Steigerung der Leistungsfähigkeit von Fahrtreppen durch Stossbelastungen

Intervall	Steigerungsrate [%]	Leistungsfähigkeit [P/sm]
Bemessungswert		1.75
60s	+ 9	1.91
30s	+ 16	2.03
15s	+ 23	2.15

Kommentar

Hergeleitet und zusammengefasst aus Grundlagenkapitel 8. Bei Fahrtreppen ist stets zu prüfen, ob nicht der Zugang zur Fahrtreppe leistungsbestimmend ist.

11.9.3 Verkehrsqualität

Für Fahrtreppen und Lifte gelten folgende Verkehrsqualitätstufen:

Tab. 11.119 Qualitätsstufen für Mechanische Anlagen

VQS	Qualitätsstufen	
	Fahrtreppen	Lifte
	[P/m^2]	
A	< 0.65	< 0.95
B	0.65 – 0.80	0.95 – 1.30
C	0.80 – 1.00	1.30 – 1.65
D	1.00 – 1.25	1.65 – 2.20
E	1.25 – 2.40	2.20 – 4.50
F	> 2.40	> 4.50

11.9.4 Dimensionierung

Die Förderleistung von Fahrtreppen resp. die relative Transportkapazität von Liftanlagen für verschiedene VQS beträgt:

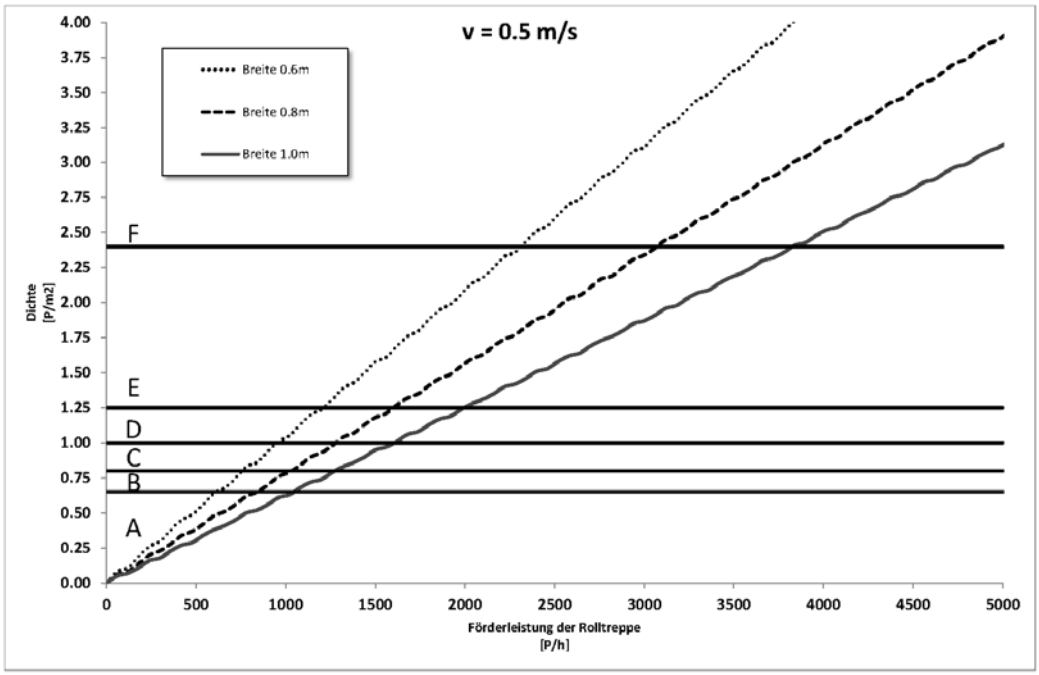


Abb. 11.175 VQS-Einstufung für Rolltreppen mit v=0.5m/s

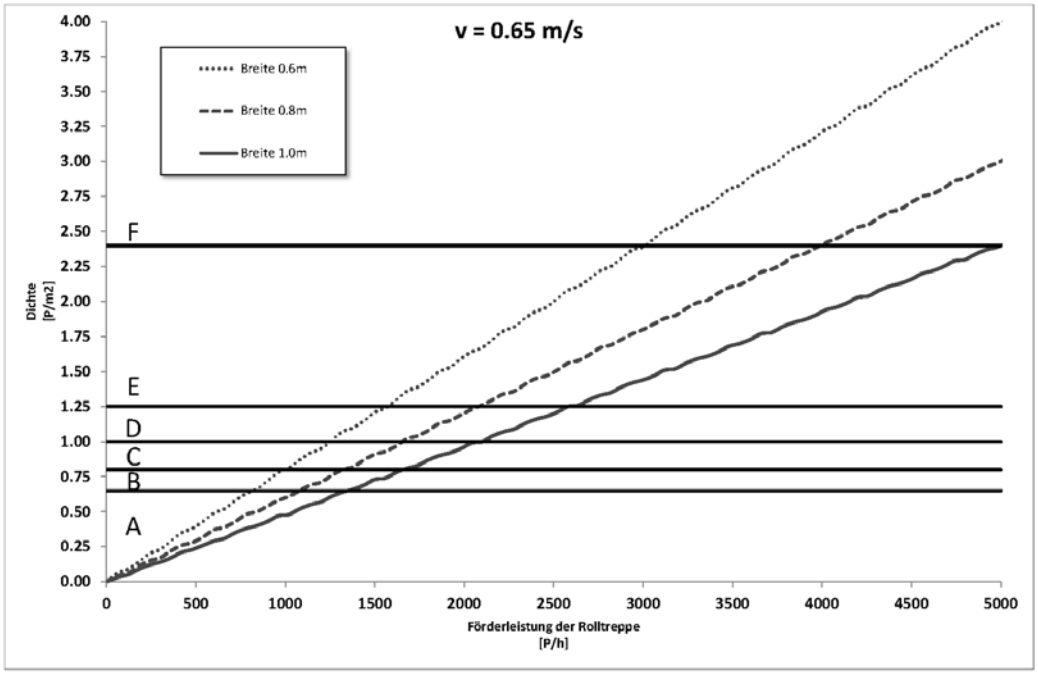


Abb. 11.176 VQS-Einstufung für Rolltreppen mit v=0.65m/s

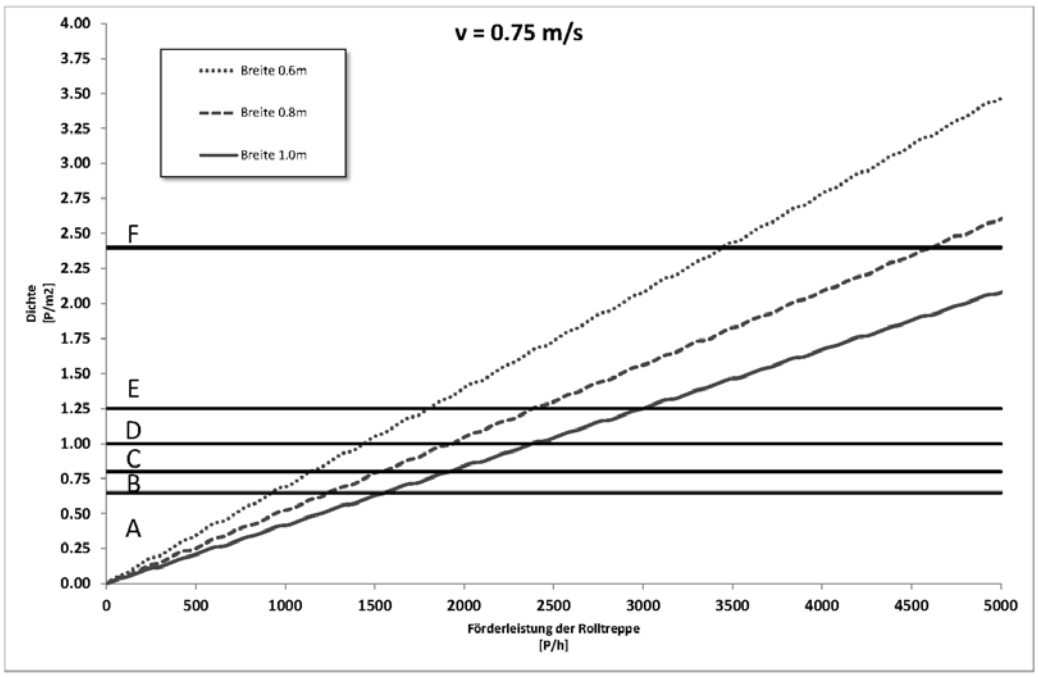


Abb. 11.177 VQS-Einstufung für Rolltreppen mit v=0.75m/s

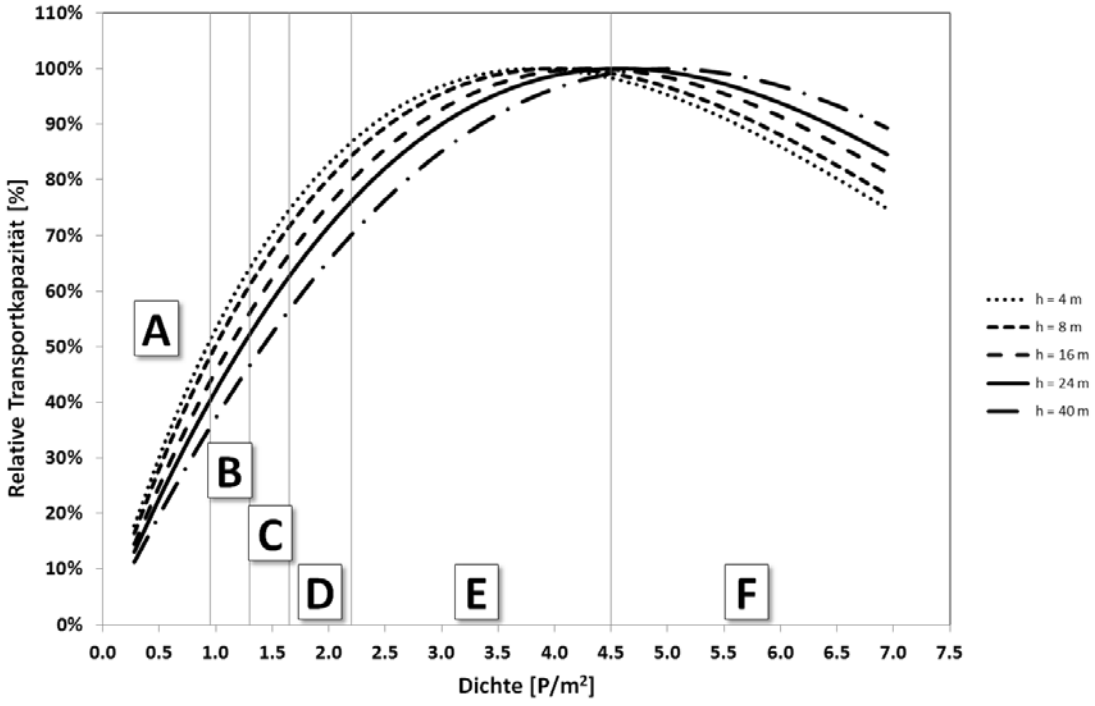


Abb. 11.178 VQS-Einstufung für Liftanlagen mit v=1.6 m/s und zugehörige relative Transportkapazität

11.10 Anlagen mit primärer Aufenthaltsfunktion

11.10.1 Anlagenelemente

Platz

- Ebene Fläche in oder ausserhalb von Gebäuden, auf der sich mehrere Fussgängerströme in unterschiedlichen Winkeln durchdringen
- Dient je nach Situation sowohl als Raum für die Fortbewegung als auch für den Aufenthalt
- Abzüge von der effektiv nutzbaren Fläche sind vorzunehmen aufgrund von Bepflanzung, Einbauten, Hindernissen und Attraktionen

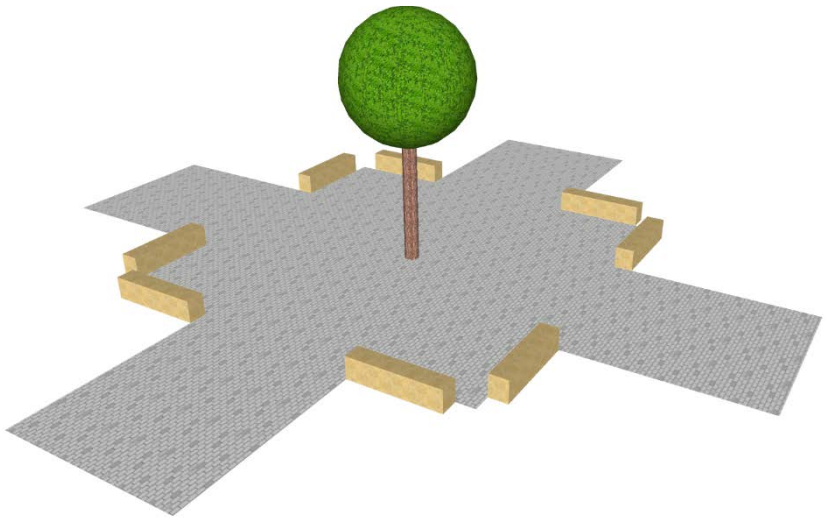


Abb. 11.179 Platz

Warte- und Staufläche

- Ebene Fussgängerfläche für den kurzfristigen Aufenthalt
- Dient als Pufferzone a) beim Übergang auf ein anderes Verkehrssystem (z. B. Wartebereich an einer Bushaltestelle) oder b) vor einem anschliessenden Engpass (z. B. Staufläche an einem Treppenabgang, Aufstellbereich vor einem Serviceschalter)

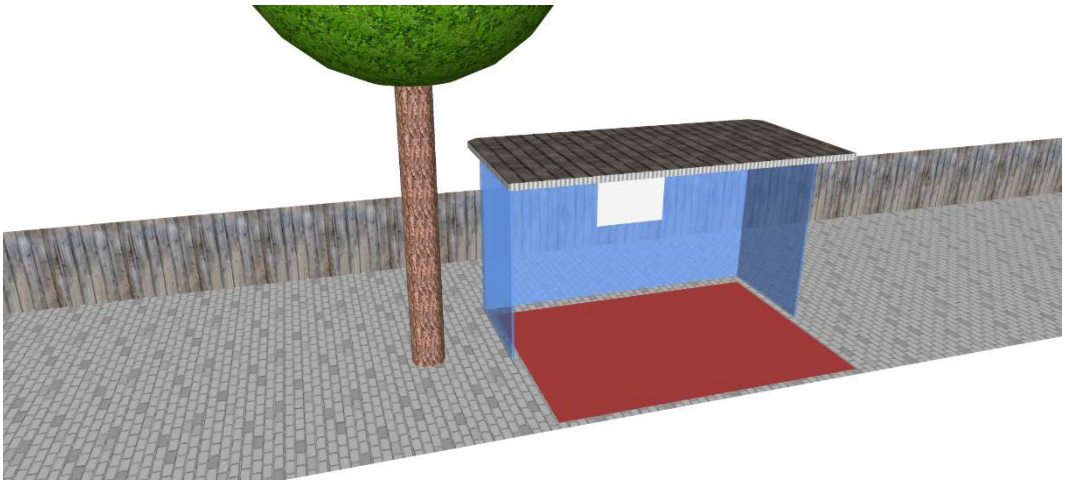


Abb. 11.180 Wartefläche (rot hervorgehoben) an einer Bushaltestelle

Kommentar

Die Darstellung der einzelnen Anlagenelemente erfolgte im Sinne einer groben Funktionsbeschreibung. Die eigens erstellten Abbildungen zeigen jeweils ein typisches Beispiel.

11.10.2 Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit

Allgemeiner Platzbedarf

Einzelne stehende Fussgänger benötigen folgende Flächen:

Tab. 11.120 Flächenanforderungen von Personen

	Flächenanspruch [m^2]
Person	0.55 - 0.80
Person mit Gepäck oder mit Schirm	0.80 - 1.00
Person mit Gehstock	0.70 - 0.85
Person mit Gehhilfen	0.90 - 1.00
Person mit Langstock (abzutastender Raum)	0.90 - 1.50
Personen mit Kind bzw. Hund	1.15 – 1.50

Kommentar

Die Tabelle entstammt Heft 71 der BASt.

Platz (zweidimensionale Bewegung)

Auf Plätzen resp. im Bereich von sich kreuzenden ebenen Gehwegen kann es zu einer Durchmischung von mehreren Verkehrsströmen kommen. Im Vermischungsbereich der sich kreuzenden Verkehrsströme soll die Fussgängerdichte den Grenzwert von 0.8 P/m^2 nicht überschreiten, wobei der Zeitmehrbedarf für die Personen beim Überqueren der Fläche ca. 50 % des Wertes im unbehinderten Fall beträgt. Aus dieser Bedingung und der Fläche des Kreuzungsbereichs leitet sich der zulässige Zufluss aus den verschiedenen Zugängen ab.

Kommentar

Beim Platzbereich ohne Aufweitung kommt es ab einem Gesamtfluss von ca. 0.8 P/sm praktisch zum Erliegen der Fortbewegung, d. h. die Verlustzeiten steigen jenseits dieses Werte unverhältnismässig stark bis auf das 10- bis 50-fache an. Für den Platzbereich mit einer Aufweitung, die der doppelten Zuwegbreite entspricht, verschiebt sich der Grenzwert auf ca. 1.1 P/sm. Die Spannweite des Zeitverlustes reicht hier von 40 % bis 140 %. Selbst bei der maximal getesteten Gesamtbelastung von 1.5 P/sm stellte sich auf dem grössten Kreuzungsbereich mit der 3-fachen Wegbreite immer noch ein durchschnittlicher Zeitverlust von ca. 70 % ein.

Wartefläche

Das Fassungsvermögen ist zunächst abhängig von der Dichte und der nutzbaren Fläche. Das zulässige Maximum ist aber nicht nur aus Qualitäts-, sondern gegebenenfalls auch aus Sicherheitsgründen zu beschränken, da die Fussgänger bei zu hohen Dichten den Wartebereich verlassen und einen Gefahrenbereich betreten. Gefahrenbereiche sind zum Beispiel die Strassenfahrbahn und der abmarkierte Gefahrenbereich von Perrons.

Warteflächen dienen oft als Pufferzone beim Übergang zwischen einer Fussgängeranlage und einem anderen Verkehrsmittel, z. B. an einer Bushaltestelle. Die Grösse der Wartefläche soll so bemessen sein, dass sie mindestens diejenige Anzahl von Personen aufnehmen kann, die im Mittel pro Kurs auf den ÖV wechselt.

Kommentar

Keiner.

Staufläche

Bei Stauflächen erfolgt kein Übergang auf ein anderes Verkehrssystem. Es handelt sich um besondere Warteflächen, bei denen die Fussgänger zu einem (Aufent-) Halt gezwungen werden, weil sich im Übergang zum darauf folgenden Anlagenelement ein Engpass befindet. Dort ist die Kapazität so stark reduziert, dass ein Rückstau entsteht und nachfolgende Fussgänger ebenfalls ihre Geschwindigkeit reduzieren müssen. Das massgebliche Kriterium ist hier der Zeitverlust gegenüber einer ungehinderten Fortbewegung ohne Engpass. Um sicherheitskritische Situationen, z. B. an Treppenabgängen auf einem Perron zu vermeiden, ist ebenfalls die Berücksichtigung der Personendichte im Staubereich notwendig. Sie wird damit als Hilfsgrösse zur Dimensionierung der Staufläche gebraucht. Letztere muss so gross dimensioniert werden, dass sie alle Personen aufnimmt, welche in einem bestimmten Zeitintervall nicht abfliessen können. Dabei sind zu lange Wartezeiten und vor allem dichtebedingte Gefährdungssituationen zu vermeiden.

Kommentar

Keiner.

11.10.3 Verkehrsqualität

Für Plätze und Warteflächen gelten folgende Verkehrsqualitätsstufen:

Tab. 11.121 Qualitätsstufen für Plätze / Kreuzungen

VQS	Qualitätsstufen
	Platz / Kreuzungen (zweidimensionale Situation)
	[P/m^2]
A	< 0.15
B	0.15 – 0.25
C	0.25 – 0.35
D	0.35 – 0.45
E	0.45 – 0.80
F	> 0.80

Tab. 11.122 Qualitätsstufen für Warte- und Stauflächen

VQS	Qualitätsstufen	
	Allgemeine Warteflächen (nicht sicherheitskritisch)	Warteflächen vor LSA, Perrons (sicherheitskritisch)
	[P/m^2]	
A	< 0.90	< 0.55
B	0.90 – 1.20	0.55 – 0.75
C	1.20 – 1.50	0.75 – 0.95
D	1.50 – 2.00	0.95 – 1.25
E	2.00 – 4.00	1.25 – 2.50
F	> 4.00	> 2.50

Kommentar

Unter sicherheitskritischen Warteflächen werden jene Anlagen verstanden, welche nicht baulich gegenüber den Anlagen des Individual- und öffentlichen Verkehrs abgegrenzt sind. Bei Überschreiten einer bestimmten Dichte besteht das Risiko, dass die Fussgänger in den Gefahrenbereich ausweichen. Die Bemessungsdichte muss daher reduziert werden. Da im Bemessungsverfahren die VQS mit einer bestimmten Auftretungsdauer verknüpft ist, werden die Grenzwerte herabgesetzt. Diese Grenzwerte sind derzeit empirisch noch nicht gut abgesichert und in weiteren Arbeiten zu verifizieren.

11.10.4 Dimensionierung

Der mittlere Zeitverlust bei zweidimensionalen Situationen für verschiedene VQS beträgt:

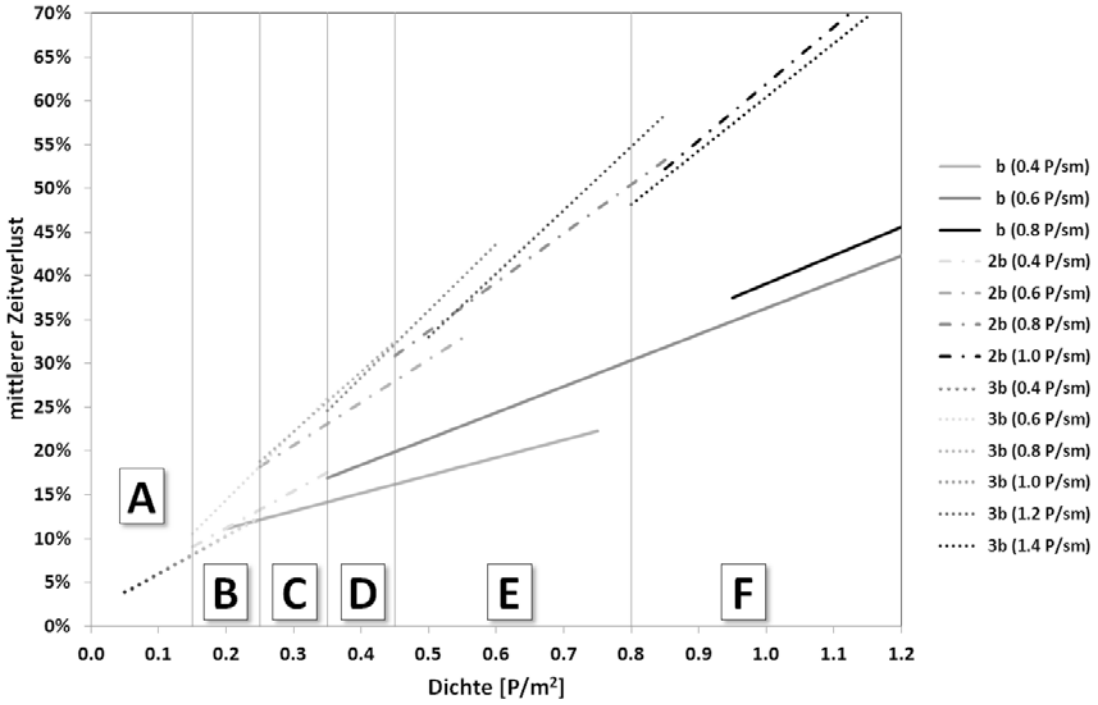


Abb. 11.181 VQS-Einstufung für Plätze / Kreuzungen (zweidimensionale Anlagen) mit einem Gesamtfluss von 0.4 P/sm bis 1.4 P/sm

11.10.5 Gemischt genutzte Flächen

Flächen, welche sowohl dem Warten wie auch der Fortbewegung dienen, sind zur Dimensionierung in fiktive Teilflächen für je eine der beiden Teilfunktionen zu gliedern. Es ist für jede dieser Teilflächen nachzuweisen, dass die geforderten VQS eingehalten werden. Dabei ist die Abgrenzung zwischen den Teilflächen iterativ so lange zu verändern, bis überall dieselbe VQS erreicht ist. Die fiktiven Teilflächen für das Warten sind dort abzugrenzen, wo wartende Personen auftreten werden. Die Teilflächen für die Bewegung sollen durchgehende Spuren auf möglichst direktem Weg zwischen den Quellen und Zielen bilden.

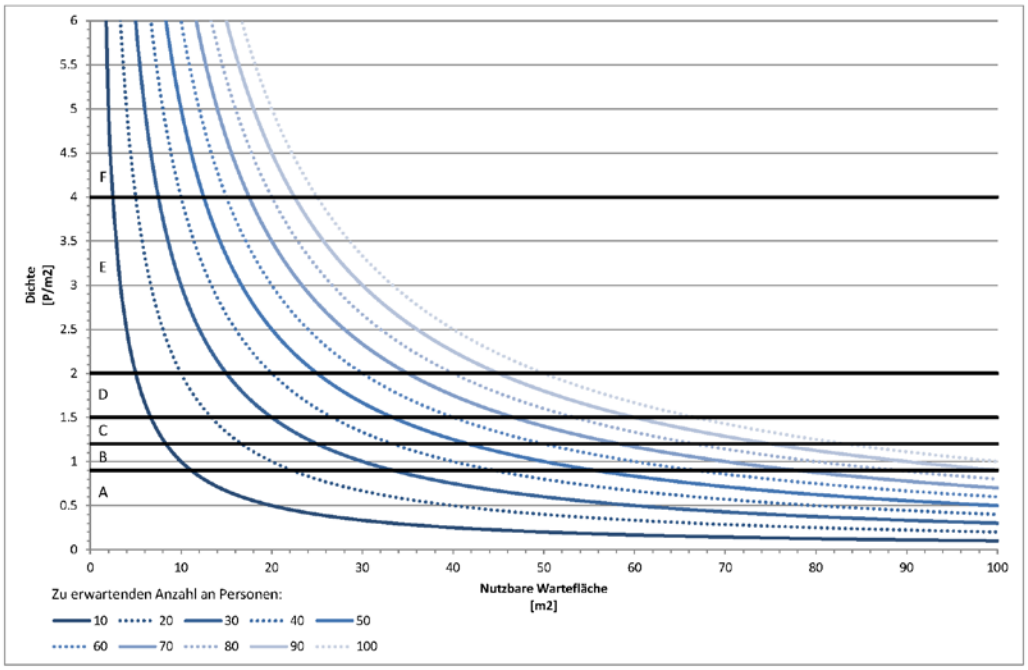


Abb. 11.182 VQS-Einstufung für allgemeine Warteflächen in Abhängigkeit der Warteflächengrösse (nicht sicherheitskritisch)

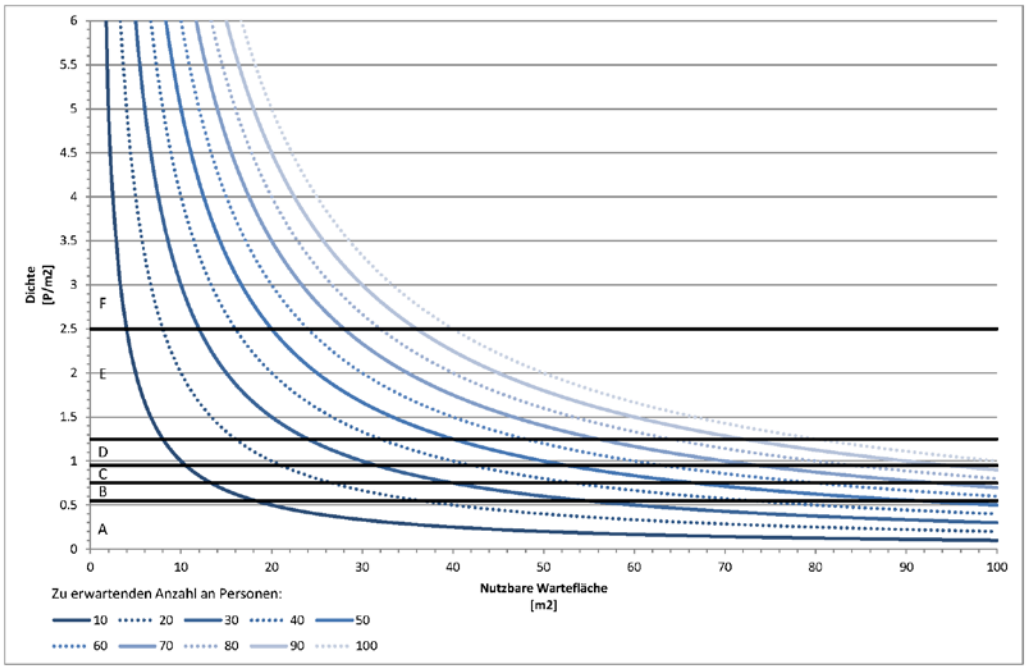


Abb. 11.183 VQS-Einstufung für Warteflächen vor LSA, Perrons in Abhängigkeit der Warteflächengrösse (Sicherheitskritisch)

11.11 Hinweise zu Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit von Verknüpfungsanlagen

Zugänge zu Anlagen des öffentlichen Verkehrs

Für übliche Zugangssysteme des öffentlichen Verkehrs sowie deren Anwendung in andern Fällen kann mit folgenden Leistungsfähigkeiten gerechnet werden:

Tab. 11.123 Durchgangszeiten und Kapazitäten an unterschiedlichen Zugangssystemen zum öffentlichen Verkehr

Art des Zugangs	Leistungsfähigkeit [P/min]
Freier Zugang (einfache Barriere)	40 – 60
Ticketkontrolle durch Personal	25 – 35
Einfacher Eingang mit Münzeinwurf oder Wertmarke	25 – 50
Doppeleingang mit Münzeinwurf	15 – 25
Kartenleser (verschiedene Typen)	25 – 40
Eingangs- und Ausgangsdrehkreuz	20
Ausgangsdrehkreuz	28
Ausgangstür, 0.9m Breite	75
Ausgangstür, 1.2m Breite	100
Ausgangstür, 1.5m Breite	125

Kommentar

Werte übernommen aus [TCRP 2003].

Drehsperre / Drehkreuz

Die Leistungsfähigkeit von Drehkreuzen / Drehsperren ist abhängig von der möglichen Durchgangsbreite, der Drehgeschwindigkeit der mechanischen Elemente sowie vom Kontrollsystem. Der Personenfluss von Drehkreuzen liegt zwischen 25 Personen pro Minute für magnetische System und 40 Personen pro Minute für kontaktlose Systeme.

Kommentar

Übernommen aus [Hoogendoorn 2004].

Karusselltür

Die Leistungsfähigkeit von Karusselltüren ist abhängig von der möglichen Durchgangsbreite, der Rotationsgeschwindigkeit der Drehtür, der Fussgängerpopulation und des Fussgängerflusses. Der Personenfluss bei Karusselltüren liegt zwischen 27 und 39 Personen pro Minute

Kommentar

Übernommen aus [Daamen 2007b].

11.12 Anwendungsbeispiele

Die folgenden Zahlenbeispiele sind nur zur Darstellung eines einfachen Rechenganges gedacht und lassen sich nicht auf konkrete Projekte übertragen.

11.12.1 Ebener Gehweg

Für den Abschnitt eines Trottoirs sollen die spezifische Leistungsfähigkeit sowie die notwendige Fusswegbreite für die Spitzenstunde bestimmt werden. Die Querschnittsbelastung beträgt während der Hauptverkehrszeit am Morgen 7‘200 P/h für Haupt- und Gegenrichtung zusammen. In der geringer belasteten Richtung sind 40 % der Fussgänger unterwegs. Die Benützungsqualität auf dem betrachteten Abschnitt soll mindestens VQS B entsprechen.

Gemäss der Tabelle „Qualitätsstufen für ebene Gehwege“ darf die maximale Personendichte auf diesem Abschnitt 0.45 P/m^2 betragen, um als VQS B eingestuft zu werden. Unter Zuhilfenahme des Diagramms „VQS-Einstufung für ebene Gehwege“ wird für diesen Dichtewert eine zugehörige spezifische Verkehrsstärke von 0.57 P/ms abgelesen. Da es sich nicht um Einrichtungsverkehr handelt, ist dieser Wert entsprechend der Tabelle „Änderung der Kapazität bei Personenströmen im Gegenverkehr in Abhängigkeit des Anteils der Ströme am Gesamtfluss im Querschnitt“ nochmals um 6 % abzumindern. Für die Berechnung wird also ein Wert von 0.54 P/ms herangezogen.

Die gegebene Querschnittsbelastung entspricht einem Fluss von 2 P/s. Dividiert durch den spezifischen Personenfluss ergibt sich eine notwendige Nettobreite des Gehweges von ca. 3.75 m. Um während der betrachtenden Spitzenstunde auf diesem Abschnitt eine VQS B gewährleisten zu können, muss also die Breite des Trottoirs abzüglich der Verlustbreiten gemäss Tabelle „Verlustbreite zur Berechnung der Leistungsfähigkeit“ mindestens dieser ermittelten Nettobreite entsprechen.

Kommentar

Keiner.

11.12.2 Platz

Im Rahmen einer Verkehrsberuhigungsmassnahme soll der Verflechtungsbereiches von vier sich rechtwinklig kreuzenden Gehwegen dimensioniert werden. Insgesamt wird die Fläche in der Spitzenzeit pro Stunde von ca. 10‘000 Personen überquert werden. Die Aufteilung der Zuflüsse inkl. der zugehörigen Wegbreiten ist folgender Tabelle zu entnehmen. Gesucht ist die Mindestgrösse des Verflechtungsbereiches, um eine VQS der Kategorie C zu gewährleisten. Der mittlere Zeitverlust beim Überqueren der Fläche gegenüber der unbehinderten Bewegung ist ebenfalls anzugeben.

Tab. 11.124 Zuströme des Verflechtungsbereiches und Wegebreiten

Zuweg	Zufluss [P/h]	Zuwegbreite [m]
1	1755	3.25
2	3780	8.00
3	1485	2.75
4	2970	5.50

In diesem Beispiel wird angenommen, dass sich zusätzlich 20 Elternpaare mit Kind im Kreuzungsbereich aufhalten, welche die Bewegung der Passanten behindern. Mithilfe der Tabelle „Flächenanspruch von Personen“ lässt sich der Platzbedarf dieser zusätzlichen Personen zu 40 m^2 (20 x Person mit Kind à 1.25 m^2 plus 20 Personen à 0.75 m^2) bestimmen. Teilt man den Zufluss [P/h] durch das Produkt aus 3‘600 und der Wegbreite, so erhält man den jeweiligen spezifischen Zufluss [P/sm]. Für Zuweg 4 ergibt sich so bspw. ein spezifischer Zufluss von 0.15 P/sm. Aufaddiert ergeben alle Zuflüsse eine Summe von 0.6 P/sm. Dem Diagramm „VQS-Einstufung für Plätze / Kreuzungen (zweidimensio-

nale Anlagen) mit einem Gesamtfluss von 0.4 P/sm bis 1.4 P/sm“ ist zu entnehmen, dass bei diesem Wert eine Grösse des Verflechtungsbereiches in Frage kommt, die einem Quadrat mit der dreifachen Seitenlänge der mittleren Zuwegbreite entspricht. Im Beispiel sind dies ca. 14.60 m. Um den Hindernissen in Form der sich aufhaltenden Familien Rechnung zu tragen, wird für diese entsprechend eine Zusatzfläche von 40 m^2 aufgeschlagen. Die Grösse des Verflechtungsbereiches sollte also ca. 254 m^2 (214 m^2 + 40 m^2). Gegebenenfalls sind weitere Zuschläge aufgrund fester Einbauten vorzunehmen.

Kommentar

Keiner.

11.12.3 Fahrtreppe

Für einen neu zu gestaltenden Bahnhof soll eine Rolltreppe dimensioniert werden. Die Belastung wird während der massgebenden Spitzenstunde 2‘000 P/h betragen; die Benützungsqualität für die massgebende Spitzenstunde soll mindestens VQS D entsprechen. Die maximale Rolltreppengeschwindigkeit soll 0.65 m/s nicht überschreiten.

Gemäss der Tabelle „Qualitätsstufen für mechanische Anlagen“ darf die maximale Personendichte auf der Rolltreppe 1.25 P/m^2 betragen, um als VQS D eingestuft zu werden. Unter Zuhilfenahme der Diagramme „VQS-Einstufung für Rolltreppen mit v = 0.5 m/s“ und „VQS-Einstufung für Rolltreppen mit v = 0.65 m/s“ kann die nutzbare Rolltreppendimension abgelesen werden. Bei einer Rolltreppengeschwindigkeit von 0.5 m/s liegt keine der Rolltreppenbreiten im angestrebten VQS-Bereich. Bei einer Rolltreppengeschwindigkeit von 0.65 m/s kann eine Rolltreppenbreite von 0.8 m resp. 1.0 m zur Dimensionierung genutzt werden. Die Breite von 0.8 m liegt im oberen Dichtebereich der VQS D wogegen die Breite von 1.0 m noch vom Dichtebereich der VQS C abgedeckt wird. Eine Dimensionierung auf v = 0.65 m/s mit einer Breite von 0.8 m resp. 1.0 m ist möglich.

Kommentar

Keiner.

11.12.4 Lift

Im folgenden Rechenbeispiel wird die Kapazität der Direktverbindung der untersuchten Anlage am Bahnhof ermittelt. Die Haltezeit ergibt sich aus 5 s Zugangs- und Türprozesszeit, 17 s Aussteigezeit und 44 s Einsteigezeit zu insgesamt 66 s. Unter Berücksichtigung der mittleren Fahrgeschwindigkeit von 1.6 m/s, einer Transporthöhe von 24 m und 20 Passagieren erhält man für eine Kabine eine Leistungsfähigkeit von 444 Personen pro Stunde. Unter den gleichen technischen Randbedingungen liegt die Kapazität bei einer Gruppengrösse von 15 Personen (Haltezeit 5 s + 14 s + 25 s = 44 s) bei 458 Personen pro Stunde und Richtung.

Ablesebeispiel:

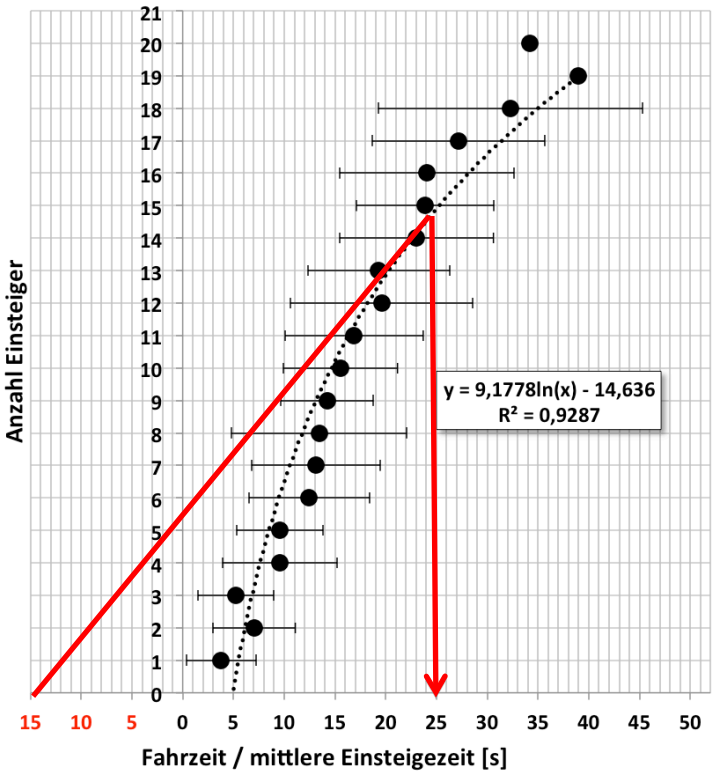


Abb. 11.184 Füllkurve Kabine

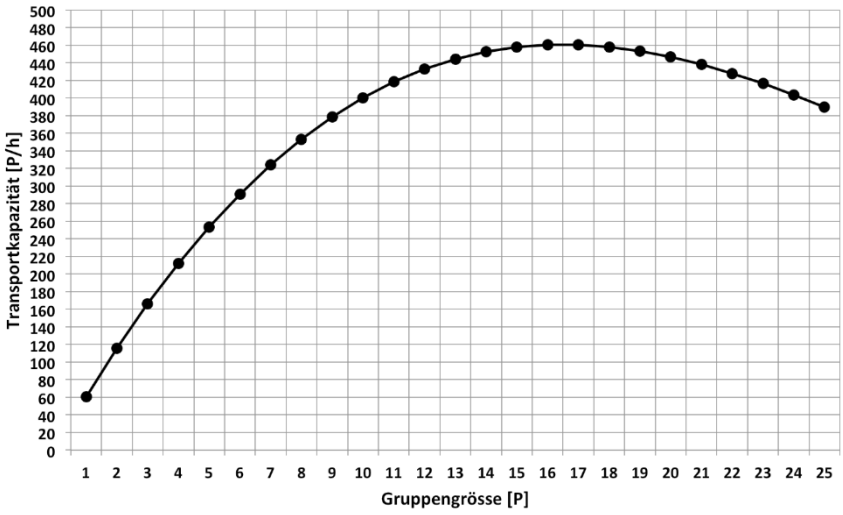


Abb. 11.185 Leistungsfähigkeit der untersuchten Liftkabine in Abhängigkeit der Belegung (Kabinenmasse: 1500 mm x 2400 mm, Türbreite: 1150 mm)

Kommentar

Keiner.

11.13 Literaturverzeichnis

[Weidmann, 1993] Weidmann, U.: Transporttechnik der Fussgänger - Transporttechnische Eigenschaften des Fussgängerverkehrs - Literaturauswertung. Zürich, IVT, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau. Nr 90, 1993

[Buchmüller, 2007] Buchmüller, S: Parameters of pedestrians, pedestrian traffic and walking facilities. Schriftenreihe / Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme. Zürich, ETH Zurich: 48 S., 2007

[Scherer, 2009] Scherer, M.: Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr – Vorstudie, Forschungsbericht, Bundesamt für Strassen. SVI 2007/005,. Bern 2009

[640070, 2009] SN 640 070: Fussgängerverkehr - Grundlagen, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich

[Weidmann, 2013] Weidmann, U., U. Kirsch, E. Puffe, D. Jacobs, C. Pestalozzi und V. Conrad: Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des leichten Zweirad- und des Fussgängerverkehrs, Forschungsbericht, Bundesamt für Strassen, VSS 2007/306, Bern 2013

Kommentar

Keiner.

Teil D - Schlussfolgerungen

12 Synthese

12.1 Einleitung

In der vorliegenden Studie gelang es, für den Velo- und Fussgängerverkehr basierend auf Literaturwerten und ergänzenden empirischen Untersuchungen erste Dimensionierungsnormen herzuleiten. Diese gestatten die verkehrstechnische Bemessung der gebräuchlichen Anlagen im Normalbetrieb. Im Fussgängerverkehr werden zudem durchgängig konsistente VQS formuliert, welche teilweise noch empirisch verfeinert werden können. Zur praktischen Anwendung sind sie nach Einschätzung der Forschungsstelle allerdings bereits genügend verlässlich.

Da sich in der Schweiz noch keine Veloanlagen finden, welche an der Kapazitätsgrenze operieren, sind die diesbezüglichen Bemessungsverfahren stärker qualitativ orientiert. Mit zunehmender Verbreitung des Velos werden die Aspekte der Verkehrsdichte vermehrt zu berücksichtigen sein. Zudem sind die Konsequenzen aus der Verbreitung der E-Bikes noch nicht umfassend abzuschätzen.

Insgesamt ist die Forschungsstelle davon überzeugt, dass ein hilfreicher Schritt zur Unterstützung der Dimensionierung von LV-Anlagen erreicht werden konnte. In diesem Kapitel wird aber abschliessend auch aufgezeigt, welche Verbesserungen noch möglich sind.

12.2 Leichter Zweiradverkehr

In Anlehnung an den Motorfahrzeugverkehr wird zur Beurteilung für die Verkehrsqualität für den leichten Zweiradverkehr ebenfalls ein sechsstufiges Bewertungssystem herangezogen. Für die Anlageelemente des Längsverkehrs, d.h. für Radstreifen, Radwege sowie Rad- und Fusswege wurde die Zuordnung der Anzahl Begegnungsereignisse zu den VQS aus dem amerikanischen Highway Capacity Manual [TRB 2000] übernommen. Die Übertragbarkeit auf Schweizer Verhältnisse konnte nicht überprüft werden (s. auch Forschungsbedarf in Kap. 12.4.1). Die VQS für Warteräume wurde empirisch ermittelt, da in der Literatur keine Angaben dazu zu finden sind. Auch für dieses Anlageelement wären Befragungen der Velofahrenden erforderlich. Für Querungen wurden die VQS analog denjenigen für Motorfahrzeuge an Knoten ohne Lichtsignalanlage übernommen.

Für Radstreifen, Radwege sowie Rad- und Fusswege wurde als Messgrösse für die Verkehrsqualität die Anzahl der Begegnungsereignisse bestimmt, d.h. die Anzahl der Begegnungen mit entgegenkommenden Radfahrern und die Anzahl der Überholvorgänge. Dieses Kriterium wird auch in [TRB 2000] verwendet und ist besser geeignet als die oft vorgeschlagene Dichte. Die Qualität einer Radverkehrsanlage wird insbesondere dahingehend beurteilt, ob die individuelle Wunschgeschwindigkeit erreichbar ist. Fahren alle übrigen Radfahrer exakt mit einer Wunschgeschwindigkeit, so stört eine hohe Dichte nicht. Andererseits kann der Fahrfluss auch bei geringer Dichte, aber grosser Geschwindigkeitsstreuung, erheblich gestört sein. Die Formeln zur Ermittlung der Anzahl Begegnungsereignisse konnte ebenfalls aus [TRB 2000] übernommen werden. Wie oben erwähnt ist allerdings der Zusammenhang zwischen dem Grad der Störung und der Anzahl Begegnungsereignisse je nach Breite der Anlage für Schweizer Verhältnisse unbekannt.

Im neuen Highway Capacity Manual von 2010 [TRB 2010] wird für Radstreifen ein neuer Ansatz vorgeschlagen. Dieses Verfahren erlaubt, einen quantitativen Zusammenhang herzustellen zwischen VQ einerseits und Verkehrsbelastung, Verkehrszusammensetzung, Geschwindigkeit, Art und Anzahl der Fahr- und Parkierstreifen, Parkplatzbelegung und Belagsqualität andererseits. Bei dieser Methode hat das Radverkehrsaufkommen allerdings keinen Einfluss auf die Verkehrsqualität. Es ist zu prüfen, ob dieses Verfahren zur Ermittlung einer multimodalen VQS besser geeignet ist als das in diesem Bericht empfohlene.

Ein Bemessungsverfahren zur Bestimmung der Verkehrsqualität von Warteräumen ist in der Literatur nicht vorhanden. Deshalb wurde mittels Videoaufnahmen die Rückstaulänge und Räumzeit in Abhängigkeit der Verkehrsmenge, der LSA-Regelung und der Radstreifenbreite aufgenommen. Die beobachtete Radverkehrsmenge betrug dabei max. 500 Rf/h und entspricht gemäss dem empfohlenen Verfahren der VQS B. Die aus den Ergebnissen der Videoaufnahmen abgeleitete Formel zur Ermittlung der Räumzeit konnte für höhere Verkehrsbelastungen nicht verifiziert werden.

Zur Ermittlung der mittleren Wartezeit an Radwegquerungen wurde grundsätzlich das Verfahren für Knoten ohne LSA übernommen. Dabei wurden die gleichen Grenz- und Folgezeitlücken wie für den Motorfahrzeugverkehr angewendet. Für Querungen mit Mittelinsel konnte in [TRB 2010] eine Grenzzeitlücke gefunden werden. Der Einfluss von gleichzeitig querenden Radfahrern auf die maximale Leistungsfähigkeit wurde aufgrund der Videobeobachtungen an Warteräumen empirisch hergleitet. Der vorgeschlagene Ansatz berücksichtigt die Breite des Radwegs sowie die Sättigung im Warteraum. Dadurch wird die maximale Leistungsfähigkeit allerdings abhängig von der Belastung. Im Rahmen weiterer Forschungen ist dieser Ansatz zu verifizieren (s. Kap. 12.4.1).

12.3 Fussgängerverkehr

Fussgängeranlagen sind sehr vielgestaltig und lassen sich nicht in einem einzigen Arbeitsgang als Ganzes bemessen. Vielmehr sind diese in verkehrstechnisch homogene Teilanlagen zu gliedern. Diese werden zunächst isoliert betrachtet und können gegebenenfalls einzeln beurteilt und dimensioniert werden. Anschliessend sind die Übergänge zwischen den Teilanlagen zu beurteilen.

Die entwickelte Anlagensystematik, welche in der Grundform auch auf den Radverkehr übertragbar ist, deckt alle im öffentlichen Raum vorkommenden Typen ab und hat sich im Verlauf der Forschungsarbeit als sehr praktikable Einteilung erwiesen. Komplexe Fussgängeranlagen lassen sich so zur Neudimensionierung oder zur Überprüfung bestehender Einrichtungen leicht in logische Untereinheiten aufteilen, um bspw. Personenfluss, Verkehrsqualität oder Wartezeiten zu bestimmen.

Der primär als Anlage des Aufenthalts beschriebene Platz zeigt dabei verkehrstechnisch einen doppelten Charakter, da hier ebenfalls ein hoher Fortbewegungsanteil auftreten kann, sofern es sich um eine Wegekreuzung handelt.

In Anlehnung an den Motorfahrzeugverkehr wird zur Beurteilung der Verkehrsqualität für Fussgänger ebenfalls das eingeführte sechsstufige Bewertungssystem mit den Stufen A bis F herangezogen. Zu den ebenen Gehflächen, Warteflächen, Treppen und Querverkehrsanlagen lagen diesbezügliche schon hinreichende Informationen in der Literatur vor, welche – teilweise mit Anpassungen – übernommen werden konnten. Werte für Qualitätseinstufung des Verkehrsablaufs an einer signalisierten Fussgängerquerung wurden bspw. mittels einer Felderhebung und Videoauswertung bestätigt.

Mechanische Anlagen wurden im Rahmen dieser Studie insbesondere bezüglich der erreichbaren Leistungsfähigkeit mittels Feldmessungen untersucht. Die Erhebungen fanden an hochbelasteten Anlagen an den Bahnhöfen in Bern (Liftanlage „Grosse Schanze“) und Zürich (Fahrtreppe zum Bahnhof Museumsstrasse) statt, und gaben so gute Erkenntnisse, welche die Schweizer Verhältnisse widerspiegeln. Vor allem bei der Liftanlage konnten erstaunlich hohe Leistungen registriert werden

Die ermittelte maximale Leistungsfähigkeit von Fahrtreppen liegt teils signifikant unterhalb der bisher zur Verfügung stehenden theoretischen Literaturwerte und insbesondere vieler Herstellerangaben. Hier konnten im Rahmen der durchgeführten Erhebungen praxistaugliche Werte ermittelt werden, welche die tatsächlich erreichbaren Kapazitäten realistisch abbilden. Ein Unsicherheitsfaktor, der nicht gänzlich ausgeräumt werden konnte, ist der Einfluss der Eigenbewegung von Fussgängern auf Fahrtreppen. Dieser Effekt ist in Zukunft noch qualitativ und vor allem quantitativ gezielt zu analysieren, um die Verlässlichkeit der Kapazitätsangaben zu verbessern. Nach aktuellem Wissensstand ist davon

auszugehen, dass die erforschten Erkenntnisse bezüglich Fahrtreppen auch auf Fahrsteige übertragbar sind. Dies ist im Rahmen weiterführender Forschungen ebenfalls noch zu bestätigen und exakt zu quantifizieren.

Für Liftanlagen wurde erstmals empirisch die sogenannte Füllkurve hergeleitet. Sie beschreibt den Zeitbedarf für das Einsteigen in eine Liftkabine in Abhängigkeit von der Passagiergruppengrösse und erlaubt bei gegebenen Parametern, wie Fahrgeschwindigkeit und Haltezeit, die Bestimmung der maximalen Transportkapazität. Die unter „Offene Forschungsfragen“ genannten Vertiefungsthemen bezüglich der Kapazität von Liftanlagen sollten auch unter Zuhilfenahme von Erkenntnissen aus evakuationsdynamischen Studien - den Brandschutz- und Rettungsszenarien – bearbeitet werden. Liftanlagen dürfen aktuell im Notfall noch immer nicht eingesetzt werden, obwohl die erhältliche technische Ausrüstung sowie die mögliche Transportkapazität einen wesentlichen Beitrag zur Personenrettung beitragen könnte.

Sowohl zur Leistungsfähigkeit als auch zur Verkehrsqualität konnten für Anlagen der Verknüpfung in der Literatur keine hinreichenden Informationen gefunden werden, die in einen entsprechenden Normierungsvorschlag Eingang gefunden hätten. Im Rahmen der vorliegenden Studie bestand diesbezüglich keine Möglichkeit für eine detailliertere Untersuchung (siehe offene Forschungsfragen, Kap. 12.4.2). Es wurde dennoch versucht, einen ersten Ansatz für ein Dimensionierungsverfahren zu skizzieren.

12.4 Offene Forschungsfragen

12.4.1 Leichter Zweiradverkehr

Je nach Radverkehrsanlage ergibt sich der nachfolgende Forschungsbedarf.

Warteraum auf Radstreifen

- Befragung von Radfahrern, wie sie die Verkehrsqualität bei unterschiedlicher Verkehrsmenge, Dichte im Warteraum und Räumzeit beurteilen.
- Beobachtung des Verkehrsverhaltens und Aufnahme der Dichte und der Räumzeiten bei hohen Verkehrsbelastungen.
- Empfohlenes Bemessungsverfahren sowie Zuordnung zu den VQS überprüfen und allenfalls anpassen.

Radwegquerung ohne Lichtsignalanlage

- Bestimmung der Grenzzeit- und Folgezeitlücken für Radfahrer bei Radwegquerungen mit und ohne Mittelinsel.
- Häufigkeit des gleichzeitigen Querens mehrerer Radfahrer in Abhängigkeit der Belastungen sowie Einfluss dieses Verhaltens auf die maximale Leistungsfähigkeit bestimmen.
- Empfohlenes Bemessungsverfahren überprüfen und allenfalls anpassen.

Radstreifen, Radwege, Rad- und Fusswege

- Befragung von Radfahrern, wie sie die Verkehrsqualität bei unterschiedlichen Verkehrsmengen und je nach Geschwindigkeitsverteilung sowie Breite der Fahrstreifen beurteilen.
- Zuordnung der Anzahl Begegnungsereignisse zu den VQS überprüfen und allenfalls anpassen.
- Für Radstreifen prüfen, ob Verfahren an [TRB 2010] angepasst werden soll.

12.4.2 Fussgängerverkehr

Allgemein gültig für sämtliche Anlagentypen sind weiterführende qualitative und quantitative Analysen wünschenswert, welche neue Erkenntnisse bezüglich Fussgängern mit Gepäck, z.B. den immer mehr verbreiteten Rollkoffern, sowie bezüglich des Verhaltens sozialer Gruppen liefern. Spezieller Forschungsbedarf für einzelne Anlagentypen wird im Folgenden benannt.

Die Leistungsfähigkeit von Treppen ist derzeit noch empirisch schlechter abgestützt als jene von ebenen Gehwegen. Für enge Anlagen mit Breiten von unter etwa 5 m sind zudem die Besonderheiten des Gegenverkehrs zu vertiefen. Dieser Gesichtspunkt ist insbesondere für Perronzugänge relevant.

Bei Rolltreppen sind detaillierte Studien vor allem in folgenden Bereichen zu empfehlen:

- Exakte Quantifizierung des Eigenbewegungsanteils bei verschiedenen Einsatzorten und Belastungssituationen
- Untersuchung der Anwendbarkeit von Analogiebetrachtungen bezüglich Gesetzmässigkeiten der Fahrtreppe, welche ebenfalls für Fahrsteige gelten können

Zum Thema der Personenaufzüge sind folgende Aspekte noch offen, welche für eine umfangreichere Dimensionierungsgrundlage analysiert werden sollten:

- Auswirkungen von weiteren Fördergeschwindigkeiten und Kabinengrössen auf die Kapazität einer Liftanlage, d.h. Ableitung weiterer Füllkurven zur Bestimmung der jeweils leistungsfähigkeitsoptimalen Passagiergruppengrösse
- Untersuchung weiterer Steuerungskonzepte von Liftanlagen bezüglich einer Erhöhung der Transportkapazität, evtl. unter Berücksichtigung energetischer Aspekte
- Analyse des Transportablaufes per Lift bei Berücksichtigung eines oder mehrerer Zwischenstopps (Analogie zum Luftseilbahn- oder Busbetrieb)

Bezüglich der zweidimensionalen Situationen, also Plätzen und Kreuzungen werden diverse weiterführende Untersuchungen empfohlen:

- Einfluss der Geometrie des Verflechtungsbereiches auf das Verhalten der Fussgänger und damit die notwendige Grösse der Fläche, um eine bestimmte Verkehrsqualität bei gegebenen Zuflussstärken gewährleisten zu können
- Auswirkungen stark unterschiedlicher Zuflussstärken auf die die Entstehung von Konfliktsituationen im Verflechtungsbereich und damit verbundene Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit
- Untersuchung sich kreuzender Fussgängerströme bei Vorhandensein von abbiegenden Wegebeziehungen, auch im Zusammenhang mit einer Änderung der Geometrie betrachten
- Exakte Quantifizierung des Einflusses von sich aufhaltenden Personen im Verflechtungsbereich als quasi-statische Hindernisse mit einer bestimmten Bewegungsfreiheit, betrifft auch allfällige feste Einbauten als immobile Hindernisse
- Herleitung eines transparenten, praktisch einfach anwendbaren Bemessungsverfahrens

Hinsichtlich Stauflächen vor Attraktionen als besondere Vertreter von Anlagen des Aufenthalts bietet sich ebenfalls eine qualitative und quantitative Analyse des Fussgängerverhaltens an. Hierbei ist insbesondere die Form und Grösse der durch wartende Personen belegten Fläche in Abhängigkeit vom Typ der Attraktion interessant. Ebenso sollte die zeitliche Verteilung des Warteprozesses genauer untersucht werden. Die zulässigen Personendichten auf sicherheitskritischen Anlagen wie Perrons, Fussgängerzonen mit öV und Warteräumen vor LSA, sind empirisch noch zu bestätigen.

Die bei Verknüpfungsanlagen wie bspw. Drehkreuzen u. ä. in der Schweiz erreichbaren Kapazitäten (Durchflussraten) sind empirisch zu bestätigen. Dabei sollte ebenfalls der qualitative Bewegungsablauf im Bereich dieser Anlagen detailliert untersucht werden.

Abschliessend ist zu empfehlen, die Norm längerfristig auch mit den Bemessungsverfahren für die Entfluchtung zu ergänzen.

Anhänge

I Kriterien und Messgrössen Radverkehr 293

II Normierungsvorschlag Radverkehr 295

III Abkürzungen Radverkehr 320

IV Begriffsdefinitionen Fussgängerverkehr 321
IV.1 Begriffe zu mechanischen und nichtmechanische Anlagen des FG-Verkehrs 321
IV.2 Begriffe zur Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität nach SN 640017a 322

V Materialien 324
V.1 Erhebungen 324
V.2 Simulationen 329

VI Normierungsvorschlag Fussgängerverkehr 331

VII Abkürzungen Fussgängerverkehr 364

I Kriterien und Messgrössen Radverkehr

			Anlagenbezug			Planungsstufe			Relevanz für die einzelne Anlage / Bemessungssituation					
Kriterium	Bezeichnung	Messgrösse(n)	Einzelelement	Strecke	Netz	Planung	Betrieb	Begleitumstände	Warteräume vor Querungen	Übergänge/ Querungen	Radstreifen	Radweg	Rad- und Fussweg	Bus- und Radstreifen
Zeit														
Direktheit	Direkte Linienführung	Abweichung [%] von der Luftlinie unter Berücksichtigung der Höhendifferenz	(X)	X	(X)	X								
	Fahrtunterbrechungen durch Knoten, Einengung usw.	Anzahl/Distanz [#/m]; Anzahl grosser Knoten/Distanz [#/m]	X	X	X	X	X				X	X	X	X
Wartezeiten	Wartezeit an Knoten und Querungen	Mittlere Wartezeit [sec] oder Max. Wartezeit [sec]	X	X		X	X		X	X				
Geschwindigkeit	Effektive Fahrgeschwindigkeit	V [m/sec]	X	X	X		X				X	X	X	X
	Durchschnittliche Reisezeit	Reisezeit [min]		X	X		X							
Raum														
Zugewiesener Raum	Breite der Rf-Anlage	Breite [m]	X	X		X				X	X	X	X	X
	Fläche der Rf-Anlage	Fläche [m2]	X			X			X	X				
	Trennung zum MIV/ÖV	Qualitativ	X	X		X					(X)	X	X	(X)
	Trennung zum Fg	Qualitativ	X	X		X				X		X	X	
Behinderungen durch ...														
andere Radfahrer	Rf-Verkehrsstärke	Q [Rf/h]	X	X			X			X	X	X	X	X
	Rf-Verkehrsdichte	K [Rf/m2]	X	X			X		X	X	X	X	X	X
	Behinderung durch Überholvorgänge/ Kreuzungsmanöver	Anzahl [#/h] oder Qualitativ	X	X		X	X			X	X	X	X	X
Fussgänger	Behinderung durch Anzahl Begegnungsfälle mit Fg	Anzahl [#/h] oder Qualitativ	X	X		X	X			X			X	
	Fg-Dichte neben Radverkehrsanlage	Dichte [Fg/m^2]	X	X		X	X			X	(X)	(X)	X	(X)
ÖV	Behinderung des Fahrflusses an ÖV-Haltestellen	Qualitativ; in Abhängigkeit des Haltestellentyps	X	(X)		X	X				X	X	X	X
	Frequenz ÖV	Frequenz [Kurse/h]	X	X			X				(X)			X
Mfz	Behinderung des Fahrflusses durch Überhol-/ Kreuzungsvorgänge Mfz	Anzahl [#/h] oder Qualitativ	X	X		X	X			X	X			X
	Anzahl Fahrstreifen Mfz	Anzahl [#]	X	X		X			X	X	X			X
	Breite Fahrstreifen Mfz	Breite [m]	X	X		X			X	X	X			X
	Entfernung zum Mfz auf dem nächstgelegenen Streifen	Distanz [m]	X	X		X			X	X	X	X	X	X
	Geschwindigkeit v_{85} Mfz	V Mfz [km/h]	X	X		X	X			X	X			X
	Abbiegevorgänge Mfz	Anzahl [#/h] oder Qualitativ	X	X		X	X			X	X	X	X	X
	Konflikte mit Anlieferverkehr	Anzahl [#/h] oder Qualitativ	X	X		X	X				X	X	X	X
	Beeinträchtigungen durch ruhenden Verkehr/Längsparkierung	Anzahl Parkiermanöver [#/h]; Anzahl [P/m]; Schutzstreifenbreite zur Parkierung [m]	X	X		X	X				X	X	X	X
	Anzahl einmündende Strassen	Anzahl [#/m] oder Qualitativ	X	X		X			X	X	X	X	X	X

			Anlagenbezug			Planungsstufe			Relevanz für die einzelne Anlage / Bemessungssituation					
Kriterium	Bezeichnung	Messgrösse(n)	Einzelelement	Strecke	Netz	Planung	Betrieb	Begleitumstände	Warteräume vor Querungen	Übergänge/ Querungen	Radstreifen	Radweg	Rad- und Fussweg	Bus- und Radstreifen
Zuverlässigkeit														
Homogenität	Homogenität der Führungsart	Anzahl der Wechsel über einen bestimmten Streckenabschnitt [#/m]		X		X								
Verfügbarkeit														
Verfügbarkeit	Angebot/ Art einer Radverkehrsanlage	Qualitativ	X	X		X			X	X	X	X	X	X
	Parkieranlage	Belegungsgrad	X			X	X							
Benutzerfreundlichkeit														
Orientierung	Wegweisung	Qualitativ	X	X	X	X	X	X		X				
Verkehrsablauf anderer Verkehrsarten	Verkehrsaufkommen Mfz	Q Mfz [Fz/h]	X	X			X			X	X			X
	Verkehrsaufkommen Fg	Q Fg [Fg/h]	X	X			X			X		X	X	
	Geschwindigkeit v_{85} Mfz	V Mfz [km/h]	X	X			X			X	X			X
Verkehrsablauf anderer Verkehrsarten	Frequenz ÖV	Frequenz [Kurse/h]	X	X			X			X	X			X
Einfluss der Umgebung	Umgebende Raumnutzung/ Umfeldqualität	Qualitativ	X	X				X			X	X	X	X
	Luft und Lärmbelästigung	Messwerte [PM_{10}], [CO^2] und [db]	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X
	Bepflanzungen	Qualitativ	X	X				X				X	X	
	Gestaltung der Rf-Anlage	Qualitativ	X	X		X			X	X	X	X	X	X
	Vertikale Linienführung	Steigung/ Längsneigung über Streckenabschnitt [%]; Qualitativ	X	X		X					X	X	X	X
Zustand der Infrastruktur	Fahrbahnoberfläche/ Belag/ Instandhaltung	Intakter Anteil [%] der Asphalt- oder Betonfahrbahnoberfläche; Anteil [%] komfortabel befahrbarer Wege	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
Sicherheitsempfinden	Sicherheit im öffentlichen Raum	Qualitativ	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
	Breite der Verkehrsfläche	Breite [m]	X	X		X				X	X	X	X	X
	Verkehrsstärke des angrenzenden Mfz	Verkehrsstärke [DTV], Anteil Schwerlastverkehr	X	X		X	X			(X)	X	(X)	(X)	X
	Geschwindigkeit v_{85} des angrenzenden Mfz	V Mfz [km/h]	X	X		X	X			(X)	X	(X)	(X)	X
	klar erkennbare Zuordnung der Fahrbereiche/ Verkehrsflächen	Qualitativ	X	X		X			X	X	X	X	X	X
	gute Sicht auf den übrigen Verkehr	Qualitativ	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X

II Normierungsvorschlag Radverkehr

INHALTSVERZEICHNIS **Seite**

A Allgemeines ... 297
1 Geltungsbereich ... 297
2 Gegenstand ... 297
3 Zweck ... 297
4 Anwendbarkeit ... 297

B Begriffe ... 297
5 Begegnungsereignis ... 297
6 Weitere Begriffe ... 297

C Radstreifen, Radwege, Rad- und Fusswege ... 298
7 Einflussgrössen für die Verkehrsqualität ... 298
7.1 Direkte Einflussgrössen ... 298
7.2 Indirekte Einflussgrössen ... 298
8 Kennwerte der indirekten Einflussgrössen für den Referenzzustand ... 299
8.1 Radstreifen ... 299
8.2 Radwege, Rad- und Fusswege ... 299
9 Bemessungsverfahren ... 299
9.1 Radstreifen ... 300
9.2 Radwege ... 300
9.3 Rad- und Fusswege ... 301
10 Verkehrsqualitätsstufen ... 302
10.1 Definition der Verkehrsqualitätsstufen ... 302
10.2 Verkehrsqualitätsstufen von Radstreifen ... 302
10.3 Verkehrsqualitätsstufen von Radwegen, Rad- und Fusswegen ... 303

D Warteraum bei Knoten mit Lichtsignalanlage ... 304
11 Einflussgrössen für die Verkehrsqualität ... 304
11.1 Direkte Einflussgrössen ... 304
11.2 Indirekte Einflussgrössen ... 304
12 Kennwerte der indirekten Einflussgrössen für den Referenzzustand ... 305
13 Bemessungsverfahren ... 305
14 Verkehrsqualitätsstufen ... 306
14.1 Definition der Verkehrsqualitätsstufen ... 306
14.2 Verkehrsqualitätsstufen von Warteräumen ... 306

E Radwegquerung ohne Lichtsignalanlage ... 307
15 Generelles Vorgehen ... 307
16 Bezeichnung der Ströme und Rangfolge ... 307
17 Massgebende Hauptstrombelastung ... 307
18 Grundleistungsfähigkeit G ... 307
19 Maximale Leistungsfähigkeit L ... 308
20 Leistungsreserve R ... 310
21 Mittlere Wartezeit w ... 310
22 Verkehrsqualitätsstufen ... 310

F Leistungsfähigkeit ... 311
23 Theoretische Leistungsfähigkeit von Radverkehrsanlagen ... 311

G Belastbarkeit ... 312
24 Sicherheitsbedingte Belastbarkeit ... 312
25 Unterhaltsbedingte Belastbarkeit ... 312

H Qualitätsanforderungen ... 312
26 Bewertung weiterer Qualitätsanforderungen ... 312

I Anwendungsbeispiele ... 313

27 Radstreifen 313
28 Radwege 314
29 Rad- und Fusswege mit gemeinsamer Verkehrsfläche 316
30 Warteraum bei Knoten mit Lichtsignalanlage 316
31 Radwegquerung ohne Lichtsignalanlage 318

J Literaturverzeichnis 319

A Allgemeines

1 Geltungsbereich

Diese Norm gilt für folgende Anlagen des leichten Zweiradverkehrs:

- Radstreifen
- Radwege
- Rad- und Fusswege
- Warteräume für den leichten Zweiradverkehr
- Radwegquerungen

2 Gegenstand

Die Norm beschreibt das Verfahren für die verkehrstechnische Bemessung und für die Beurteilung des Verkehrsablaufs des leichten Zweiradverkehrs an den in Kapitel 1 erwähnten Anlagen. Das Verfahren basiert auf dem Konzept der Grundlagennorm SN 640 017 «Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Grundlagennorm» [1].

3 Zweck

Die Norm dient der Vereinheitlichung des Verfahrens zur Beurteilung der Verkehrsqualität für die in Kapitel 1 erwähnten Anlagen bei den in [1] beschriebenen Anwendungen (angebotsorientiertes Verfahren, nachfrageorientiertes Verfahren, Leistungsanalyse).

4 Anwendbarkeit

Die Angaben in dieser Norm zu den Radstreifen, Radwegen sowie Rad- und Fusswegen stützen sich im Wesentlichen auf ausländische Literatur. Die Übertragbarkeit auf Schweizer Verhältnisse konnte nicht verifiziert werden.

Die Angaben zu den Warteräumen basieren auf Videoerhebungen in der Schweiz bei Verkehrsmengen bis max. 500 Radfahrer/h. Angaben zu höheren Radverkehrsmengen sind hochgerechnet und konnten nicht durch Felderhebungen überprüft werden.

Die Angaben zu den Radwegquerungen stützen sich im Wesentlichen auf die Norm SN 640 022 „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Knoten ohne Lichtsignalanlage“ [2]. Es wurden die gleichen Grenz- und Folgezeitlücken wie für den motorisierten Verkehr verwendet, da keine Werte für den Radverkehr bekannt sind.

B Begriffe

5 Begegnungsereignis

Begegnungsereignisse sind Überholmanöver von Radfahrern und Fussgängern und Begegnungen mit entgegenkommenden Radfahrern und Fussgängern.

6 Weitere Begriffe

Weitere Begriffe zum leichten Zweiradverkehr sind in der Norm SN 640 060 «Leichter Zweiradverkehr; Grundlagen» [3] definiert.

Weitere Begriffe zu Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit sind in [1] definiert.

C Radstreifen, Radwege, Rad- und Fusswege

7 Einflussgrössen für die Verkehrsqualität

7.1 Direkte Einflussgrössen

Die direkten Einflussgrössen werden im Bemessungsverfahren als Variablen eingesetzt und haben somit einen direkten Einfluss auf die Verkehrsqualitätsstufen. Für Radstreifen, Radwege sowie Rad- und Fusswege werden folgende Faktoren direkt berücksichtigt:

Verkehrsbedingungen

- Verkehrsmenge Radfahrer und Fussgänger
- Richtungsanteile Radfahrer und Fussgänger

Betriebsbedingungen

- mittlere Geschwindigkeit der Radfahrer und der Fussgänger je Richtung
- Standardabweichung der Geschwindigkeit der Radfahrer und der Fussgänger

7.2 Indirekte Einflussgrössen

Es ist davon auszugehen, dass die indirekten Einflussgrössen die Verkehrsqualität ebenfalls beeinflussen. Sie werden jedoch im Bemessungsverfahren nicht berücksichtigt, da deren Auswirkungen quantitativ nicht bekannt sind. In Kapitel 6 wird mit dem Referenzzustand definiert, für welche Kennwerte der indirekten Einflussgrössen die Bemessung ihre Gültigkeit hat. Für Radstreifen, Radwege sowie Rad- und Fusswege haben folgende indirekten Faktoren einen Einfluss:

Strassenbedingungen

- Geometrisches Normalprofil (Breite, seitliche Hindernisfreiheit)
- Kurvigkeit
- Längsneigung

Verkehrsbedingungen

- Kollektiv der Radfahrer
- Verkehrsmenge Motorfahrzeuge

Betriebsbedingungen

- Oberfläche

Einzelne dieser Einflussgrössen beeinflussen die Geschwindigkeit der Radfahrer und die Standardabweichung. Für die Längsneigung ist dieser Zusammenhang teilweise quantitativ bekannt.

8 Kennwerte der indirekten Einflussgrössen für den Referenzzustand

Für die indirekten Einflussgrössen wird ein Referenzzustand definiert, für welchen die ermittelte Verkehrsqualitätsstufe gültig ist.

8.1 Radstreifen

Tab. 1: Indirekte Einflussgrössen für die Verkehrsqualität von Radstreifen und Kennwerte für den Referenzzustand

Einflussgrössen	Kennwerte Referenzzustand	Berücksichtigung im Verfahren bei abweichenden Werten
Strassenbedingungen		
Radstreifenbreite	Breite 1.5 m	Andere Breiten nicht berücksichtigt
Seitliche Hindernisfreiheit	0.5 m gegenüber Mauern usw.	Andere Breiten nicht berücksichtigt
Kurvigkeit	keine Kurven	Keine Berücksichtigung von Kurven
Längsneigung	horizontal	Korrektur für andere Neigungen durch Änderung der Geschwindigkeitsverteilung
Verkehrsbedingungen		
Kollektiv der Radfahrer	Alltagsverkehr	Keine Berücksichtigung
Verkehrsmenge Motorfahrzeuge	Unbekannt	Keine Berücksichtigung
Betriebsbedingungen		
Oberfläche	Asphaltbetonbelag	Keine Berücksichtigung

8.2 Radwege, Rad- und Fusswege

Tab. 2: Indirekte Einflussgrössen für die Verkehrsqualität von Radwegen sowie Rad- und Fusswegen und Kennwerte für den Referenzzustand

Einflussgrössen	Kennwerte Referenzzustand	Berücksichtigung im Verfahren bei abweichenden Werten
Strassenbedingungen		
Wegbreite	Breite 2.5 m / 3.0 m	Andere Breiten nicht berücksichtigt
Seitliche Hindernisfreiheit	0.5 m gegenüber Mauern usw.	Andere Breiten nicht berücksichtigt
Kurvigkeit	keine Kurven	Keine Berücksichtigung von Kurven
Längsneigung	horizontal	Korrektur für andere Neigungen durch Änderung der Geschwindigkeitsverteilung
Verkehrsbedingungen		
Kollektiv der Radfahrer	Alltagsverkehr	Keine Berücksichtigung
Betriebsbedingungen		
Oberfläche	Asphaltbetonbelag	Keine Berücksichtigung

9 Bemessungsverfahren

Messgrösse für die Verkehrsqualität ist die Anzahl der Begegnungsereignisse pro Stunde auf einer Strecke von 1 km. Diese setzen sich zusammen aus der Anzahl der Überholvorgänge und der Anzahl der Begegnungsvorgänge. Je nach Anlage sind folgende Begegnungsereignisse relevant:

- Radstreifen: Überholen Rf – Rf
- Radweg: Überholen Rf – Rf, Begegnen Rf – Rf
- Rad- und Fussweg: Überholen Rf – Rf, Überholen Rf – Fg, Begegnen Rf – Rf, Begegnen Rf – Fg

Mit diesem Bemessungsverfahren wird nur die Verkehrsqualität des leichten Zweiradverkehrs bestimmt.

9.1 Radstreifen

Für Radstreifen berechnet sich die Anzahl der Begegnungsereignisse (= Anzahl Überholvorgänge) mit folgender Formel:

$$F_{ü} = \frac{2 \times q \times \sigma}{v \times \sqrt{\pi}}$$

$F_{ü}$	Anzahl Überholvorgänge pro Stunde [-/h]
q	Verkehrsbelastung Radfahrer in der Spitzenstunde [Rf/h]
v	Mittlere Geschwindigkeit Radfahrer [km/h]
σ	Standardabweichung Geschwindigkeit Radfahrer [km/h]

Die mittlere Geschwindigkeit und die Standardabweichung sind für bestehende Anlagen während der Spitzenstunde vor Ort zu erheben. Für neue Anlagen ohne Längsneigung beträgt die mittlere Geschwindigkeit 22 km/h und die Standardabweichung 5 km/h.

9.2 Radwege

Für **Zweirichtungs-Radwege** berechnet sich die Anzahl der Begegnungsereignisse je für die beiden Fahrtrichtungen getrennt, und zwar mit folgender Formel:

$$F = \frac{2 \times q_R \times \sigma_R}{v_R \times \sqrt{\pi}} + 0.5 \times q_G \times \left(1 + \frac{v_R}{v_G}\right)$$

F	Anzahl Begegnungsereignisse pro Stunde [-/h]
q_R	Verkehrsbelastung Radfahrer in Beurteilungs-Richtung in der Spitzenstunde [Rf/h]
q_G	Verkehrsbelastung Radfahrer in Gegenrichtung in der Spitzenstunde [Rf/h]
v_R	Mittlere Geschwindigkeit Radfahrer in Beurteilungs-Richtung [km/h]
σ_R	Standardabweichung Geschwindigkeit Radfahrer in Beurteilungs-Richtung [km/h]
v_G	Mittlere Geschwindigkeit Radfahrer in Gegenrichtung [km/h]

Für Radwege **ohne Längsneigung** kann in der obigen Formel i.d.R. $v = v_G = v_R$ gesetzt werden:

$$F = \frac{2 \times q_R \times \sigma}{v \times \sqrt{\pi}} + q_G$$

Bei **Einrichtungs-Radwegen** ist die Anzahl der Begegnungsereignisse F identisch mit der Anzahl der Überholvorgänge $F_{ü}$. Die Bemessungsformel ist damit identisch mit derjenigen für Radstreifen gemäss Kapitel 7.1:

$$F_{ü} = \frac{2 \times q \times \sigma}{v \times \sqrt{\pi}}$$

Die mittlere Geschwindigkeit und die Standardabweichung sind für bestehende Anlagen während der Spitzenstunde vor Ort zu erheben. Für neue Anlagen ohne Längsneigung beträgt die mittlere Geschwindigkeit 18 km/h und die Standardabweichung 6 km/h. Für nicht horizontale Radwege können die mittlere Geschwindigkeit und die Standardabweichung aus dem Diagramm in Abbildung 1 herausgelesen werden.

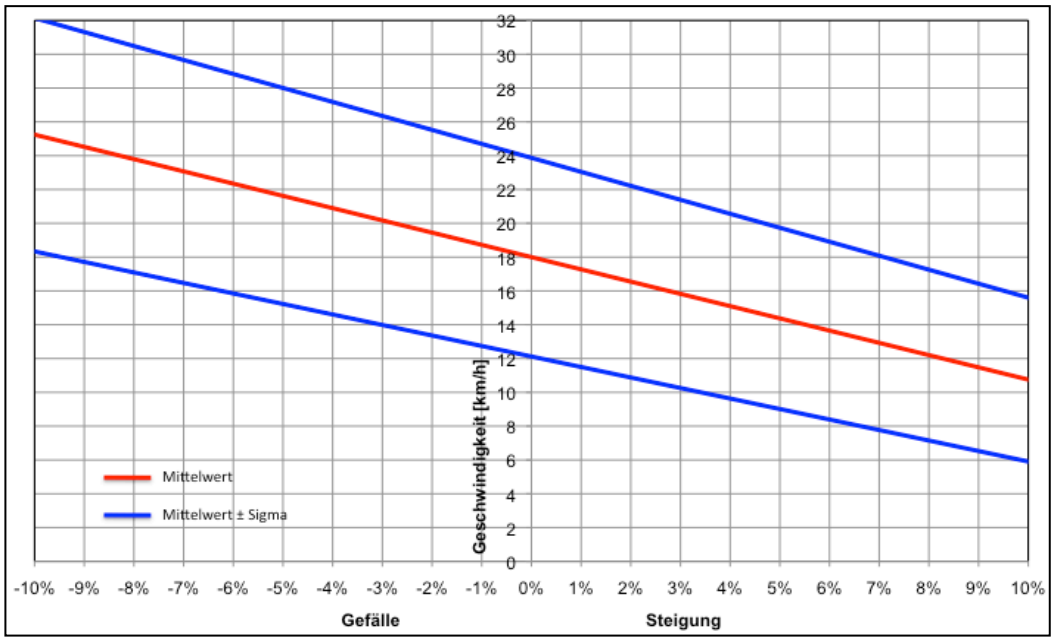


Abb. 1 Mittlere Geschwindigkeit und Standardabweichung auf Radwegen sowie Rad- und Fusswegen in Abhängigkeit der Längsneigung.

9.3 Rad- und Fusswege

Für Rad**- und Fusswege mit getrennten Verkehrsflächen** wird die Verkehrsqualität für den Radweg analog Kapitel 7.2. bemessen.

Für **Zweirichtungs-Rad- und Fusswege mit gemeinsamer Verkehrsfläche** berechnet sich die Anzahl der Begegnungsereignisse je für die beiden Fahrtrichtungen getrennt mit folgender Formel:

$$F = q_{RFg} \times \left(\frac{v_{RRf}}{v_{RFg}} - 1\right) + \frac{2 \times q_{RRf} \times \sigma_{RRf}}{v_{RRf} \times \sqrt{\pi}} + 0.5 \times q_{GFg} \times \left(1 + \frac{v_{RRf}}{v_{GFg}}\right) + 0.5 \times q_{GRf} \times \left(1 + \frac{v_{RRf}}{v_{GRf}}\right)$$

F	Anzahl Begegnungsereignisse pro Stunde [-/h]
q_{RFg}	Verkehrsbelastung Fussgänger in Beurteilungs-Richtung in der Spitzenstunde [Rf/h]
q_{RRf}	Verkehrsbelastung Radfahrer in Beurteilungs-Richtung in der Spitzenstunde [Rf/h]
q_{GFg}	Verkehrsbelastung Fussgänger in Gegenrichtung in der Spitzenstunde [Rf/h]
q_{GRf}	Verkehrsbelastung Radfahrer in Gegenrichtung in der Spitzenstunde [Rf/h]
v_{RFg}	Mittlere Geschwindigkeit Fussgänger in Beurteilungs-Richtung [km/h]
v_{RRf}	Mittlere Geschwindigkeit Radfahrer in Beurteilungs-Richtung [km/h]
σ_{RRf}	Standardabweichung Geschwindigkeit Radfahrer in Beurteilungs-Richtung [km/h]
v_{GFg}	Mittlere Geschwindigkeit Fussgänger in Gegenrichtung [km/h]
v_{GRf}	Mittlere Geschwindigkeit Radfahrer in Gegenrichtung [km/h]

Für gemeinsame Rad- und Fusswege ohne Längsneigung kann in der obigen Formel i.d.R. $v = v_G = v_R$ gesetzt werden:

$$F = q_{RFg} \times \left(\frac{v_{Rf}}{v_{Fg}} - 1\right) + \frac{2 \times q_{RRf} \times \sigma_{Rf}}{v_{Rf} \times \sqrt{\pi}} + 0.5 \times q_{GFg} \times \left(1 + \frac{v_{Rf}}{v_{Fg}}\right) + q_{GRf}$$

Bei einem **Einrichtungs-Rad- und Fussweg mit gemeinsamer Verkehrsfläche** ist die Anzahl der Begegnungsereignisse F identisch mit der Anzahl der Überholvorgänge $F_{ü}$.

$$F = q_{Fg} \times \left(\frac{v_{Rf}}{v_{Fg}} - 1 \right) + \frac{2 \times q_{Rf} \times \sigma_{Rf}}{v_{Rf} \times \sqrt{\pi}}$$

Die mittlere Geschwindigkeit und die Standardabweichung sind für bestehende Anlagen während der Spitzenstunde vor Ort zu erheben. Für neue Anlagen ohne Längsneigung beträgt die mittlere Geschwindigkeit 18 km/h und die Standardabweichung 6 km/h. Für nicht horizontale Rad- und Fusswege können die mittlere Geschwindigkeit und die Standardabweichung aus dem Diagramm in Abbildung 1 herausgelesen werden.

10 Verkehrsqualitätsstufen

10.1 Definition der Verkehrsqualitätsstufen

Auf Radstreifen, Radwegen sowie Rad- und Fusswegen wird mit zunehmender Verkehrsstärke die freie Geschwindigkeitswahl der Radfahrer eingeschränkt. Dadurch wird die Reisezeit verlängert, was insbesondere im Alltagsverkehr als Reduktion der Verkehrsqualität wahrgenommen wird.

Zur Beurteilung der Verkehrsqualität werden in der Tabelle 3 sechs Verkehrsqualitätsstufen (VQS) definiert. Die Zuordnung der Messgrössen zu den einzelnen VQS ist in den Kapiteln 8.2 und 8.3 angegeben.

Tab. 3: Definition der Verkehrsqualitätsstufen für Radstreifen, Radwege sowie Rad- und Fusswege

Verkehrsqualitätsstufe	Verkehrsqualität	Beschreibung	Anteil Nutzer mit Begegnungen
A	Sehr gut	Alle Radfahrer können sich frei bewegen. Es finden kaum Begegnungsereignisse statt. Alle erreichen ihre Wunschgeschwindigkeit.	≤ 10%
B	Gut	Die Bewegungsfreiheit ist kaum eingeschränkt. Einige Begegnungsereignisse, die keine Reduzierung der Geschwindigkeit erfordern.	11-20%
C	Zufrieden stellend	Die Zahl der Begegnungsereignisse nimmt zu und führt bei einzelnen Radfahrern zu einer Reduzierung der Geschwindigkeit.	21-40%
D	Ausreichend	Die Zahl der Begegnungsereignisse nimmt deutlich zu und führt häufig zu einer Reduzierung der Geschwindigkeit.	41-70%
E	Mangelhaft	Ständige Begegnungsereignisse beeinträchtigen den Fahrtablauf und führen fast immer zu einer Reduzierung der Geschwindigkeit.	71-100%
F	Ungenügend	Alle Radfahrer sind mit Begegnungsereignissen konfrontiert. Die gegenseitige Beeinträchtigung ist so stark, dass die Geschwindigkeit dauernd reduziert ist.	100%

10.2 Verkehrsqualitätsstufen von Radstreifen

Die Messgrösse für die Verkehrsqualität von Radstreifen ist die Anzahl der Begegnungsereignisse bzw. die Anzahl Überholvorgänge $F_{ü}$ pro Stunde auf einer Strecke von 1km gemäss Kapitel 7.1. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Zuordnung der Anzahl Begegnungsereignisse zu den VQS.

Tab. 4: Verkehrsqualitätsstufen für Radstreifen in Abhängigkeit der Anzahl Begegnungsereignisse

VQS	A	B	C	D	E	F
$F_{ü}$ [–/h]	≤ 25	26-50	51-100	101-175	176-250	> 250

10.3 Verkehrsqualitätsstufen von Radwegen, Rad- und Fusswegen

Die Messgrösse für die Verkehrsqualität von Radwegen bzw. Rad- und Fusswegen ist die Anzahl der Begegnungsereignisse *F pro Stunde auf einer Strecke von 1 km*. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Zuordnung der Anzahl Begegnungsereignisse zu den VQS.

Tab. 5: Verkehrsqualitätsstufen für Radwege sowie Rad- und Fusswege in Abhängigkeit der Anzahl Begegnungsereignisse

VQS	1-Richtungs-Radweg, b = 2.50 m F [–/h]	1-Richtungs-Radweg, b = 3.00 m F [–/h]	2-Richtungs-Radweg, b = 2.50 m F [–/h]	2-Richtungs-Radweg, b = 3.00 m F [–/h]
A	≤ 25	≤ 150	≤ 40	≤ 90
B	26-50	151-300	41-60	91-140
C	51-100	301-600	61-100	141-225
D	101-175	601-1050	101-150	226-340
E	176-250	1051-1500	151-200	341-450
F	> 250	> 1500	> 200	> 450

D Warteraum bei Knoten mit Lichtsignalanlage

Die Verkehrsqualität des Warteraums an einem Knotenarm ist nicht mit der Verkehrsqualität des gesamten Knotens identisch. In einem ersten Schritt wird in der Regel die Qualität des Gesamtknotens mit der Steuerung der Lichtsignalanlage optimiert. Dazu dient als Messgrösse die Wartezeit. In einem zweiten Schritt wird nun die Verkehrsqualität des Warteraums für die Radfahrer beurteilt. Diese kann durch die Geometrie des Warteraums beeinflusst werden. Für die Beurteilung des Warteraums wird die Steuerung der LSA als gegeben betrachtet. Unabhängig von der Wartezeit führen ungenügende Platzverhältnisse im Warteraum zu Komforteinbussen und zu Sicherheitsmängeln.

Die nachfolgenden Aussagen gelten nur für Anlagen mit zuführendem Radstreifen und für solche mit zuführendem und ausgeweitetem Radstreifen.

11 Einflussgrössen für die Verkehrsqualität

11.1 Direkte Einflussgrössen

Die direkten Einflussgrössen werden im Bemessungsverfahren als Variablen eingesetzt und haben somit einen direkten Einfluss auf die Verkehrsqualitätsstufen. Für Warteräume bei Lichtsignalknoten werden folgende Faktoren direkt berücksichtigt:

Strassenbedingungen

- Geometrie des Warteraums (Breite des Radstreifens, Fläche des ausgeweiteten Radstreifens)

Verkehrsbedingungen

- Verkehrsmenge Radfahrer

Betriebsbedingungen

- Steuerung LSA (Grünzeit, Rotzeit, Anzahl Phasen)

11.2 Indirekte Einflussgrössen

Es ist davon auszugehen, dass die indirekten Einflussgrössen die Verkehrsqualität ebenfalls beeinflussen. Sie werden jedoch im Bemessungsverfahren nicht berücksichtigt, da deren Auswirkungen quantitativ nicht bekannt sind. In Kapitel 10 wird mit dem Referenzzustand definiert, für welche Kennwerte der indirekten Einflussgrössen die Bemessung ihre Gültigkeit hat. Für Warteräume bei Lichtsignalknoten haben folgende indirekten Faktoren einen Einfluss:

Strassenbedingungen

- Längsneigung
- Breite des anliegenden Fahrstreifens

Verkehrsbedingungen

- Kollektiv der Radfahrer
- Verkehrsmenge Motorfahrzeuge

Betriebsbedingungen

- Abbiegebeziehungen

Die indirekten Einflussgrössen beeinflussen die Räumgeschwindigkeit der Radfahrer und die Räumzeit sowie den Wunsch bzw. die Möglichkeit zum nebeneinander Aufstellen und damit die Rückstaulänge.

12 Kennwerte der indirekten Einflussgrössen für den Referenzzustand

Für die indirekten Einflussgrössen wird ein Referenzzustand definiert, für welchen die ermittelte Verkehrsqualitätsstufe gültig ist.

Tab. 6: Indirekte Einflussgrössen für die Verkehrsqualität von Warteräumen und Kennwerte für den Referenzzustand

Einflussgrössen	Kennwerte Referenzzustand	Berücksichtigung im Verfahren bei abweichenden Werten
Strassenbedingungen		
Längsneigung	horizontal	Andere Neigungen nicht berücksichtigt
Breite des anliegenden Fahrstreifens	Breite 3.5 m	Andere Breiten nicht berücksichtigt
Verkehrsbedingungen		
Kollektiv der Radfahrer	Alltagsverkehr	Keine Berücksichtigung
Verkehrsmenge Motorfahrzeuge	Unbekannt	Keine Berücksichtigung

13 Bemessungsverfahren

Messgrösse für die Verkehrsqualität von Warteräumen an Lichtsignalknoten ist der Quotient f von mittlerer Räumzeit zu mittlerer Grünzeit.

$$f = \frac{Räumzeit[s]}{Grünzeit[s]}$$

Räumzeit Mittlerer Zeitbedarf des zuhinterst wartenden Radfahrers für das Räumen des Warteraums ab Beginn der Grünphase, massgebend ist die Spitzenstunde.

Grünzeit Mittlere Dauer der Grünphase in der Spitzenstunde.

Voraussetzung ist, dass die Zufahrt zum Warteraum bei Rot wie auch das Wegfahren bei Grün jederzeit ohne Behinderungen möglich ist.

Die mittlere Räumzeit t wird mit folgender Formel berechnet:

$$t = \left(\frac{q_{Rf} \times Rotphasenanteil}{AnzahlRotphasen} - a \right) \times \left(\frac{1}{b - 0.30} \right) \times 1.6$$

q_{Rf} Massgebende Verkehrsmenge Radfahrer [Rf/h]
Rotphasenanteil Zeitlicher Anteil der Rotphasen in der massgebenden Spitzenstunde [%]
Anzahl Rotphasen Anzahl Rotphasen in der massgebenden Spitzenstunde
a Anzahl der im ausgeweiteten Bereich eines Radstreifens wartenden Radfahrer, und zwar ohne diejenigen, die in der Verlängerung des Radstreifens warten
b Breite des Radstreifens [m]

Massgebende Verkehrsmenge

Als massgebende Verkehrsmenge wird die 4-fache 15-Minutenbelastung in der Spitzenstunde verwendet. Ist nur der Spitzenstundenwert bekannt, so wird dieser mit 1.3 multipliziert.

14 Verkehrsqualitätsstufen

14.1 Definition der Verkehrsqualitätsstufen

Die Verkehrsqualität in einem Warteraum wird einerseits durch die Dichte im Warteraum [Radfahrende/m^2] und anderseits durch den Zeitbedarf [s] für das Räumen des Warteraums ab Beginn der Grünphase („Räumzeit“) beeinflusst. Dieser Zeitbedarf stellt letztlich eine Verlängerung der Reisezeit dar, was insbesondere im Alltagsverkehr ein relevantes Qualitätskriterium ist. Wird die Räumzeit bei einer Anlage regelmässig zu gross, werden sich die Radfahrenden im Warteraum dichter aufstellen, um den Zeitverlust zu minimieren. Dies führt dann wiederum zu einer Reduktion der Qualität.

Zur Beurteilung der Verkehrsqualität werden in der Tabelle 7 sechs Verkehrsqualitätsstufen (VQS) definiert. Die Zuordnung der Messgrösse zu den einzelnen VQS ist in Kapitel 12.2 angegeben.

Tab. 7: Definition der Verkehrsqualitätsstufen für Warteräume an Lichtsignalknoten

Verkehrsqualitätsstufe	Verkehrsqualität	Beschreibung
A	Sehr gut	Die Rückstaulänge und damit die Räumzeit sind gering. Es finden keine Beeinträchtigungen im Warteraum statt.
B	Gut	Die Rückstaulänge nimmt leicht zu. Es finden kaum Beeinträchtigungen im Warteraum statt.
C	Zufrieden stellend	Die Rückstaulänge nimmt weiter zu. Es treten einige gegenseitige Störungen im Warteraum auf.
D	Ausreichend	Die Rückstaulänge und auch die Dichte im Warteraum nehmen weiter zu. Dadurch treten vermehrt gegenseitige Behinderungen im Warteraum auf.
E	Mangelhaft	Die Rückstaulänge und auch die Dichte im Warteraum sind gross. Es finden häufige Beeinträchtigungen im Warteraum statt.
F	Ungenügend	Die Rückstaulänge wird so gross, dass nicht alle Radfahrer in einer Grünphase den Knoten passieren können. Dies führt zu einer hohen Dichte im Warteraum und zu starken gegenseitigen Beeinträchtigungen.

14.2 Verkehrsqualitätsstufen von Warteräumen

Die Messgrösse für die Verkehrsqualität von Warteräumen an Lichtsignalknoten ist der Quotient f von mittlerer Räumzeit zu mittlerer Grünzeit gemäss Kapitel 11. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Zuordnung zu den VQS.

Tab. 8: Verkehrsqualitätsstufen für Warteräume an Lichtsignalknoten

VQS	A	B	C	D	E	F
f	≤ 0.2	≤ 0.4	≤ 0.6	≤ 0.8	≤ 1.0	> 1.0

E Radwegquerung ohne Lichtsignalanlage

15 Generelles Vorgehen

Das Vorgehen zur Ermittlung der Verkehrsqualität richtet sich nach [2].

Die nachfolgenden Aussagen beziehen sich auf eine nicht vortrittsberechtigte Querung eines Zweirichtungs-Radwegs über eine Strasse. Von der Strasse abbiegende Radfahrer werden nicht berücksichtigt.

16 Bezeichnung der Ströme und Rangfolge

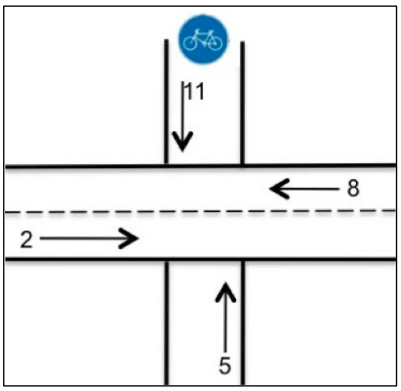


Abb. 2 Bezeichnung der Verkehrsströme

Die Bezeichnung der Ströme in Abbildung 2 richtet sich nach [2]. Es gilt folgende Rangfolge:

Rang 1 Ströme 2 und 8
Rang 2 Ströme 5 und 11

17 Massgebende Hauptstrombelastung

Die Hauptstrombelastung für die querenden Ströme 5 und 11 entspricht der Belastung auf der Hauptachse:

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

q_{p5}	Massgebende Hauptstrombelastung für Strom 5 [Fz/h]
q_{p11}	Massgebende Hauptstrombelastung für Strom 11 [Fz/h]
q_2	Belastung Hauptstrom 2 [Fz/h]
q_8	Belastung Hauptstrom 8 [Fz/h]

18 Grundleistungsfähigkeit G

Analog [2] gelten folgende Zeitlücken:

- Grenzzeitlücke t_g = 6.5 s
- Folgezeitlücke t_f = 4.0 s

Die Grenzzeitlücke von 6.5 s gilt für eine Querung ohne Mittelinsel. Ist die Radwegquerung mit einer Mittelinsel ausgestattet, so reduziert sich die Grenzzeitlücke gemäss [4] auf 5.5 s.

Die Grundleistungsfähigkeit G für die Nebenströme 5 und 11 kann dem Diagramm in Abbildung 3 entnommen werden. Analog [2] wurde die Grundleistungsfähigkeit gegenüber dem Berechnungsmodell um 90 Rf/h erhöht.

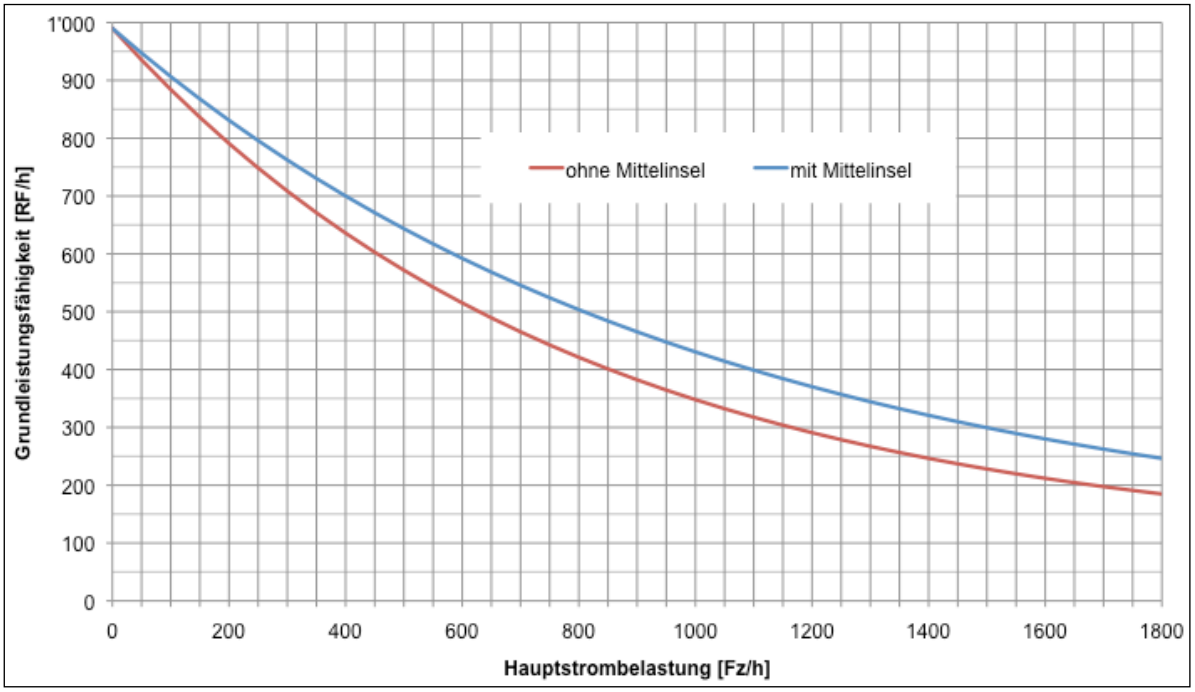


Abb. 3 Grundleistungsfähigkeit G ohne und mit Mittelinsel in der Radwegquerung

19 Maximale Leistungsfähigkeit L

Unter Vernachlässigung in den Radweg einbiegender Radfahrer entspricht die maximale Leistungsfähigkeit L grundsätzlich der Grundleistungsfähigkeit G. Dabei ist allerdings nicht berücksichtigt, dass sich Radfahrende zumindest teilweise (individuelles Verhalten) und zeitweise (nur ab einer bestimmten Sättigung) nebeneinander aufstellen und die Strasse gleichzeitig queren. Radfahrer, welche die Strasse gleichzeitig queren werden nur als 1 Radfahrer gezählt, womit sich die Leistungsfähigkeit gegenüber der Grundleistungsfähigkeit erhöht.

Die theoretische Anzahl der Radfahrer, die sich im Warteraum auf einem Fahrstreifen nebeneinander aufstellen, bestimmt sich wie folgt:

$$n = b - 0.3$$

n Anzahl Radfahrer, die sich nebeneinander aufstellen
b Fahrstreifenbreite auf Radweg [m]

Das parallele Aufstellen und Queren ist jedoch abhängig von der Sättigung des Radwegs im Wartebereich, d.h. von der Wahrscheinlichkeit, dass sich mehr als ein Radfahrer im Warteraum aufhält. Bei einer Sättigung von 1 wird die theoretische Anzahl n erreicht.

Die maximale Leistungsfähigkeit L_i berechnet sich demnach wie folgt:

$$L_i = G_i \times a_i \times (b - 0.3)$$

L_i Maximale Leistungsfähigkeit des Nebenstroms i [Rf/h]
G_i Grundleistungsfähigkeit des Nebenstroms i [Rf/h]

a_i Sättigung auf dem Nebenstrom i = q_i/L_i [-]
b Fahrstreifenbreite auf Radweg [m]

Dabei gelten folgende Einschränkungen:

- Li ≥ Gi
  Die Grundleistungsfähigkeit ist auch bei geringer Sättigung gegeben.
- ai ≤ 1.0
  Bei einer Sättigung über 1 können sich nicht mehr Radfahrende nebeneinander aufstellen, als von der Breite her möglich ist.
- b ≥ 1.30 m
  Weniger als ein Radfahrer kann sich nicht aufstellen.

Unter Berücksichtigung von $a_i = q_i/L_i$ ergibt sich die maximale Leistungsfähigkeit mit folgender Formel:

$$L_i = \sqrt{G_i \times q_i \times (b - 0.3)}$$

L_i Maximale Leistungsfähigkeit des Nebenstroms i [Rf/h]
G_i Grundleistungsfähigkeit des Nebenstroms i [Rf/h]
q_i Belastung auf dem Nebenstrom i [Rf/h]
b Fahrstreifenbreite auf Radweg [m]

Aus den nachfolgenden Abbildungen kann die maximale Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit der Grundleistungsfähigkeit und der Radverkehrsbelastung auf dem Radweg für Fahrstreifenbreiten von 1.5 m (Abbildung 4) und 2.25 m (Abbildung 5) bestimmt werden.

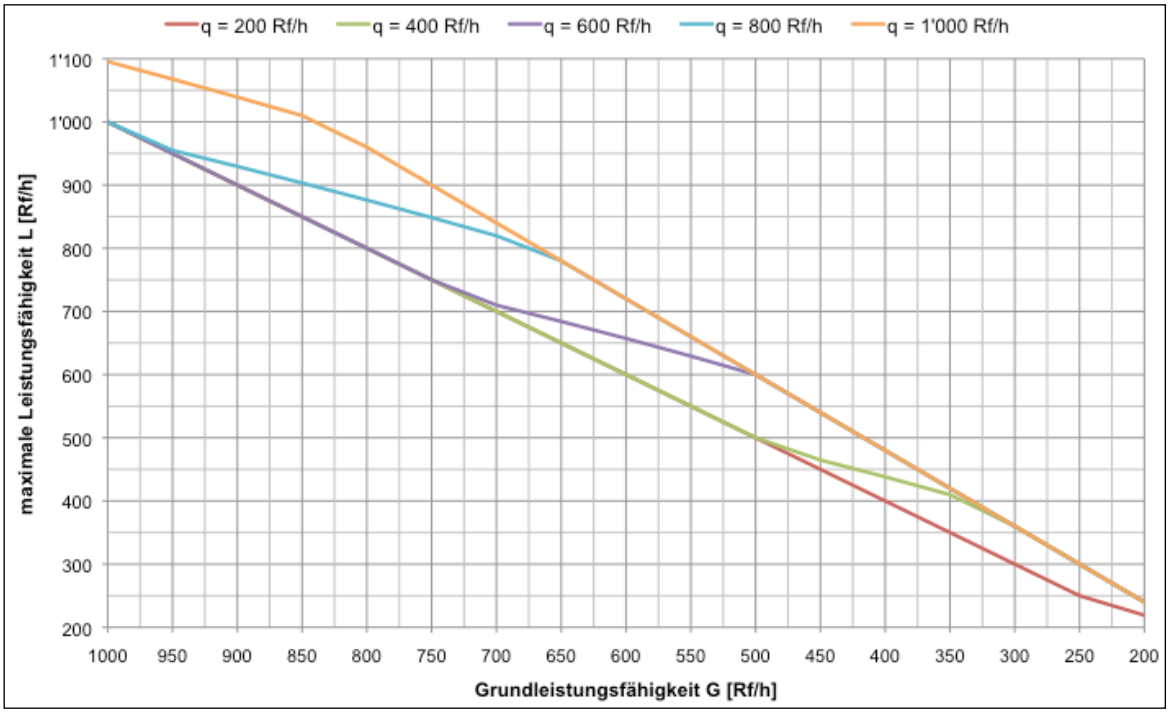


Abb. 4 Maximale Leistungsfähigkeit L in Abhängigkeit der Grundleistungsfähigkeit G und der Radverkehrsbelastung für eine Fahrstreifenbreite des Radwegs von 1.5 m

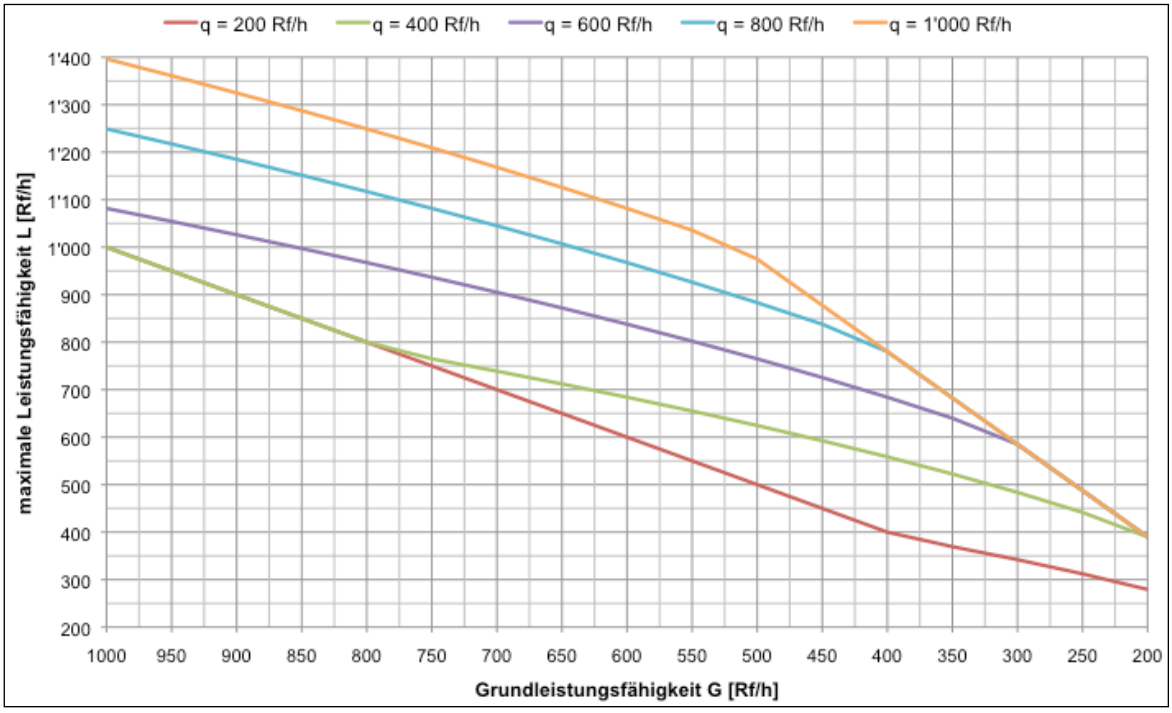


Abb. 5 Maximale Leistungsfähigkeit L in Abhängigkeit der Grundleistungsfähigkeit G und der Radverkehrsbelastung für eine Fahrstreifenbreite des Radwegs von 2.25 m

20 Leistungsreserve R

Die Leistungsreserve R entspricht der maximalen Leistungsfähigkeit L abzüglich der vorhandenen Verkehrsstärke q:

$$R_i = L_i - q_i$$

R_i Belastungsreserve des Nebenstroms i [Rf/h]
L_i Maximale Leistungsfähigkeit des Nebenstroms i [Rf/h]
q_i Verkehrsbelastung des Nebenstroms i [Rf/h]

21 Mittlere Wartezeit w

Die mittlere Wartezeit kann mit Abbildung 4 aus [2] bestimmt werden.

22 Verkehrsqualitätsstufen

Die Verkehrsqualität von Radwegquerungen kann mit Tabelle 3 aus [2] bestimmt werden.

F Leistungsfähigkeit

23 Theoretische Leistungsfähigkeit von Radverkehrsanlagen

Für die theoretische Leistungsfähigkeit von Radverkehrsanlagen gelten die Richtwerte gemäss Tabelle 9.

Tab. 9: Richtwerte der theoretischen Leistungsfähigkeit von Radverkehrsanlagen

Theoretische Leistungsfähigkeit von Radverkehrsanlagen		
Anlagetyp	**Breite**	**Theoretische Leistungsfähigkeit**
Radstreifen	1.25 – 1.75 m	2'500 – 3'000 Rf/h
1-Richtungs-Radweg	1.50 – 2.00 m	2'500 – 3'000 Rf/h
	2.50 – 3.00 m	4'000 – 4'500 Rf/h
2-Richtungs-Radweg *	2.50 – 3.00 m	2'500 – 3'000 Rf/h
	3.50 – 4.00 m	3'500 – 4'000 Rf/h
Gemeinsame Rad- und Fusswege im Zwei-Richtungsverkehr *	3.00 – 3.50 m	1'000 Rf/h bei 50 Fg/h 50 Rf/h bei 250 Fg/h

* Die angegebene Verkehrsmenge entspricht der Querschnittsbelastung.

Die in Tab. 9 angegebene Leistungsfähigkeit ist eine theoretische Grösse und weder für den Entwurf neuer noch für die Analyse bestehender Anlagen anwendbar.

Zwischen der theoretischen Leistungsfähigkeit und den Verkehrsqualitätsstufen besteht beim leichten Zweiradverkehr kein Zusammenhang. Wird z. B. für Radstreifen die VQS F bei rund 1'000 Rf/h erreicht, so beträgt die theoretische Leistungsfähigkeit 2'500 – 3'000 Rf/h. Eine Kolonnenfahrt bei geringer Geschwindigkeit oder gar eine Stausituation kommt auf Radstreifen in der Praxis nicht vor. Der Radverkehr ist nicht an den Radstreifen „gebunden“ und kann durch Mitbenutzung des Fahrstreifens für den Motorfahrzeugverkehr fast jederzeit überholen. Massgebend für die VQS ist die Zahl der Begegnungsereignisse. Aufgrund der relativ grossen Geschwindigkeitsunterschiede der verschiedenen Radfahrer ergibt sich jedoch nicht erst bei Kolonnenfahrt eine grosse Zahl an gegenseitigen Behinderungen (Überholmanöver). Diese werden von den Radfahrern bereits als unzumutbar beurteilt, bevor die theoretische Leistungsfähigkeit erreicht wird.

G Belastbarkeit

24 Sicherheitsbedingte Belastbarkeit

Die heutige Belastung der Radverkehrsanlagen stellt in der Regel kein Sicherheitsproblem dar. Die Sicherheit wird jedoch abnehmen, wenn infolge stärkerer Belastung die Anzahl der Begegnungsereignisse auf Radstreifen und Radwegen, die Wartezeit bei Querungen oder die Dichte in Warteräumen zunimmt. Damit die Sicherheit gewährleistet ist, sind die Anlagen ausreichend zu dimensionieren und die technischen Anforderungen an Radverkehrsanlagen einzuhalten.

25 Unterhaltsbedingte Belastbarkeit

Die zur Erhaltung des Bauwerks notwendigen Baustellen können die Verkehrsqualität von Radverkehrsanlagen erheblich einschränken. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn Radwege oder Radstreifen gesperrt werden und der Radverkehr umgeleitet oder gemeinsam mit dem Motorfahrzeugverkehr geführt wird.

Baustellen sind so zu organisieren, dass eine Sperrung der Radverkehrsanlage nicht oder höchstens für eine kurze Zeit erforderlich ist, dass allfällige Umwege möglichst kurz sind und dass insbesondere die Sicherheit der Radfahrer gewährleistet ist.

Die Breite von Radwegen ist so zu wählen, dass das Überholen oder Kreuzen von Unterhaltsfahrzeugen jederzeit möglich ist. Ansonsten wird die Verkehrsqualität zu stark eingeschränkt.

H Qualitätsanforderungen

26 Bewertung weiterer Qualitätsanforderungen

Neben der in den Abschnitten C-E erläuterten belastungsabhängigen Verkehrsqualität sind für den Radfahrer auch andere, nicht belastungsabhängige Anforderungen für die Verkehrsqualität von Bedeutung. Folgende Qualitätsanforderungen sind in [6] dargelegt:

- Fahrfluss
- Umfeldqualität
- Oberfläche
- Verkehrsregime und -belastung
- Homogenität
- Gefahrenstellen
- Sicherheitsempfinden
- Direktheit
- Erschliessung

Die Verkehrsbelastung und die Oberfläche sind als Einflussgrössen bei den Bemessungsverfahren bereits berücksichtigt. Die meisten übrigen Anforderungen wie z. B. die Homogenität oder die Direktheit beziehen sich primär auf Routen oder ganze Netze und können für eine einzelne Anlage nicht berücksichtigt werden.

Für die Anlagen in dieser Norm sind neben der verkehrsabhängigen Qualität zusätzlich die Anforderungen „Umfeldqualität“ und „Sicherheitsempfinden“ zu berücksichtigen. Für die Zuordnung zu den Qualitätsstufen wird auf [6] verwiesen.

I Anwendungsbeispiele

27 Radstreifen

Die nachfolgende Tabelle enthält die Anzahl der Begegnungsereignisse bzw. Überholvorgänge pro Stunde für verschiedene Verkehrsbelastungen, Geschwindigkeiten und Standardabweichungen.

Tab. 10: Anzahl Überholvorgänge/h und VQS (Buchstabe in Klammern) in Abhängigkeit der Belastung und der Geschwindigkeit von Radfahrenden auf Radstreifen

Belastung	St.abw.	mittlere Geschwindigkeit [km/h]							
[Rf/h]	[km/h]	12	14	16	18	20	22	24	26
50	4	20 (A)	15 (A)	15 (A)	15 (A)	10 (A)	10 (A)	10 (A)	10 (A)
	5	25 (A)	20 (A)	20 (A)	15 (A)	15 (A)	15 (A)	10 (A)	10 (A)
	6	30 (B)	25 (A)	20 (A)	20 (A)	15 (A)	15 (A)	15 (A)	15 (A)
100	4	40 (B)	30 (B)	30 (B)	25 (A)	25 (A)	20 (A)	20 (A)	15 (A)
	5	45 (B)	40 (B)	35 (B)	30 (B)	30 (B)	25 (A)	25 (A)	20 (A)
	6	55 (C)	50 (B)	40 (B)	40 (B)	35 (B)	30 (B)	30 (B)	25 (B)
200	4	75 (C)	65 (C)	55 (C)	50 (B)	45 (B)	40 (B)	40 (B)	35 (B)
	5	95 (C)	80 (C)	70 (C)	65 (C)	55 (C)	50 (B)	45 (B)	45 (B)
	6	115 (D)	95 (C)	85 (C)	75 (C)	70 (C)	60 (C)	55 (C)	50 (B)
400	4	150 (D)	130 (D)	115 (D)	100 (C)	90 (C)	80 (C)	75 (C)	70 (C)
	5	190 (E)	160 (D)	140 (D)	125 (D)	115 (D)	105 (D)	95 (C)	85 (C)
	6	225 (E)	195 (E)	170 (D)	150 (D)	135 (D)	125 (D)	115 (D)	105 (D)
600	4	225 (E)	195 (E)	170 (D)	150 (D)	135 (D)	125 (D)	115 (D)	105 (D)
	5	280 (F)	240 (E)	210 (E)	190 (E)	170 (D)	155 (D)	140 (D)	130 (D)
	6	340 (F)	290 (F)	255 (F)	225 (E)	205 (E)	185 (E)	170 (D)	155 (D)
800	4	300 (F)	260 (F)	225 (E)	200 (E)	180 (E)	165 (D)	150 (D)	140 (D)
	5	375 (F)	320 (F)	280 (F)	250 (E)	225 (E)	205 (E)	190 (E)	175 (D)
	6	450 (F)	385 (F)	340 (F)	300 (F)	270 (F)	245 (E)	225 (E)	210 (E)
1000	4	375 (F)	320 (F)	280 (F)	250 (F)	225 (E)	205 (E)	190 (E)	175 (D)
	5	470 (F)	405 (F)	355 (F)	315 (F)	280 (F)	255 (F)	235 (E)	215 (E)
	6	565 (F)	485 (F)	425 (F)	375 (F)	340 (F)	310 (F)	280 (F)	260 (F)

Aus der Tabelle 10 ist erkennbar, dass die Anzahl der Überholvorgänge zunimmt bzw. sich die VQS verschlechtert, wenn die mittlere Geschwindigkeit abnimmt und die Standardabweichung zunimmt. Konkret heisst dies z. B., dass in Steigungen wegen der geringeren mittleren Geschwindigkeit die VQ abnimmt. Ebenso nimmt die VQ ab, wenn sich auf dem Radstreifen schnelle Velofahrer (z. B. Sportler mit Rennrad) und langsamere Velofahrer (ältere Menschen, Familien) mischen, da dann die Standardabweichung zunimmt. In solchen Fällen kann zur Erhöhung der VQ z. B. ein strassenbegleitender oder separat geführter Weg für die langsameren Velofahrer (ohne Benutzungspflicht für die Radfahrenden) angelegt werden.

Die Grenzen der Verkehrsqualitätsstufen sind aus den nachfolgenden Abbildungen erkennbar.

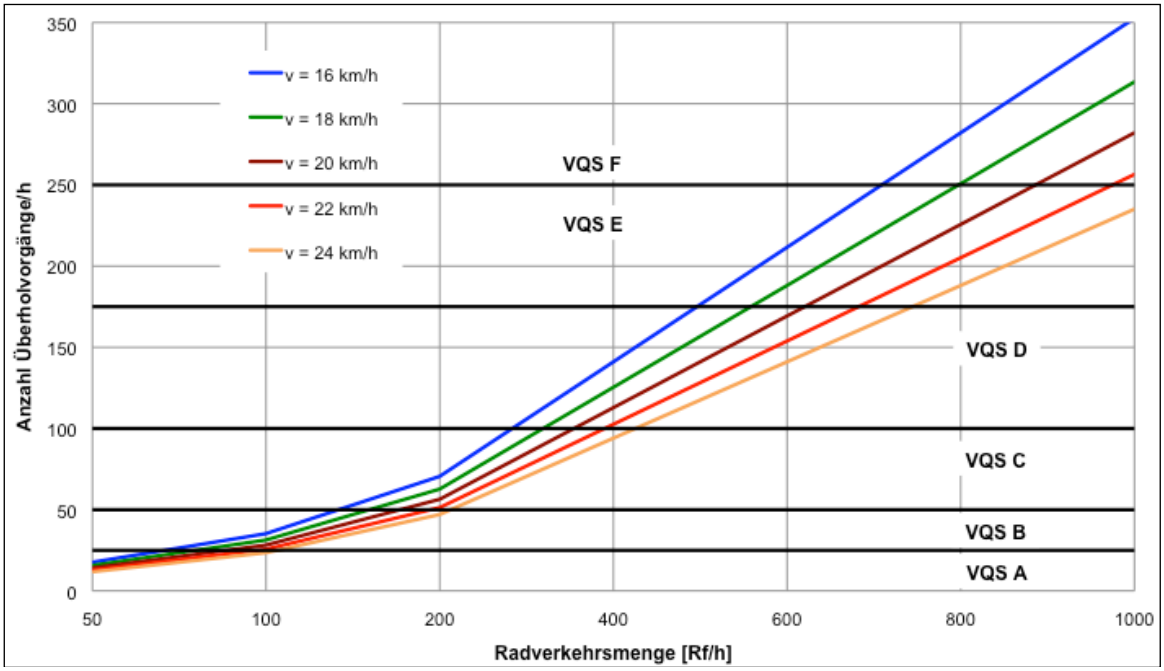


Abb. 6 Anzahl Überholvorgänge/h und VQS für Radstreifen mit unterschiedlichen mittleren Geschwindigkeiten und einer Standardabweichung von σ = 5 km/h.

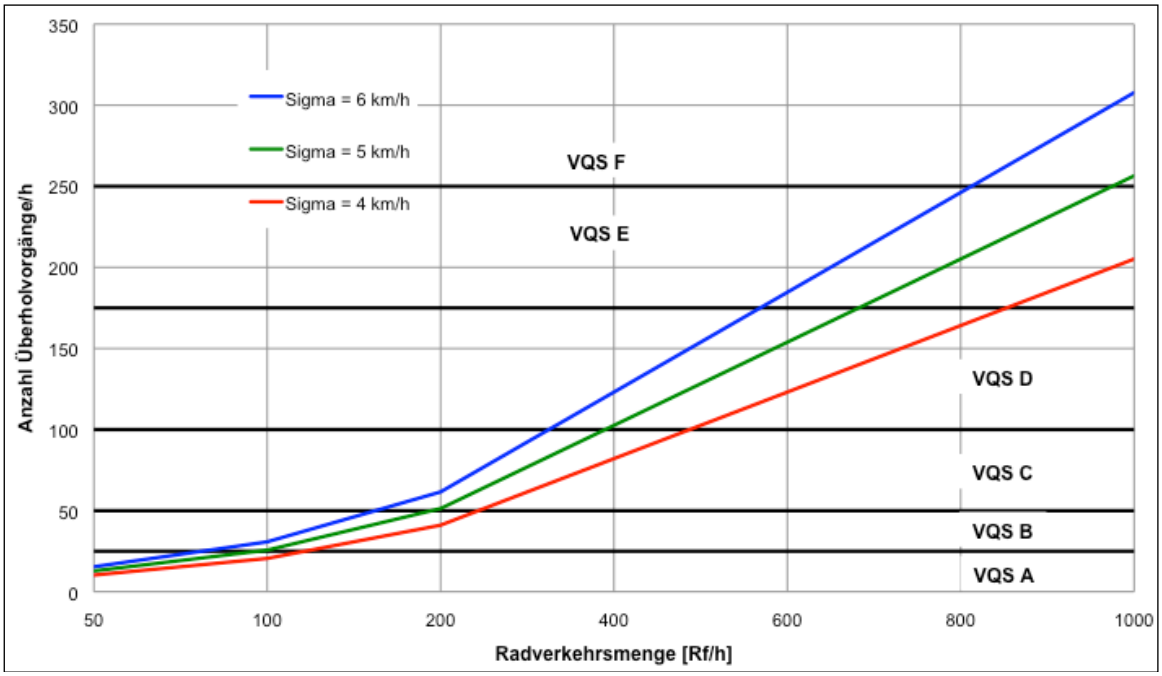


Abb. 7 Anzahl Überholvorgänge/h und VQS für Radstreifen mit unterschiedlichen Standardabweichungen und einer mittleren Geschwindigkeit von 22 km/h.

28 Radwege

Für Zweirichtungs-Radwege ist die Verkehrsqualität für beide Fahrtrichtungen getrennt zu ermitteln. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Anzahl Begegnungsereignisse und die VQS für horizontale Zweirichtungs-Radwege mit einer Breite von 3.00 m, bei einer Geschwindigkeit von 18 km/h und einer Standardabweichung vom 6 km/h, bei unterschiedlichen Verkehrsmengen und Richtungsanteilen.

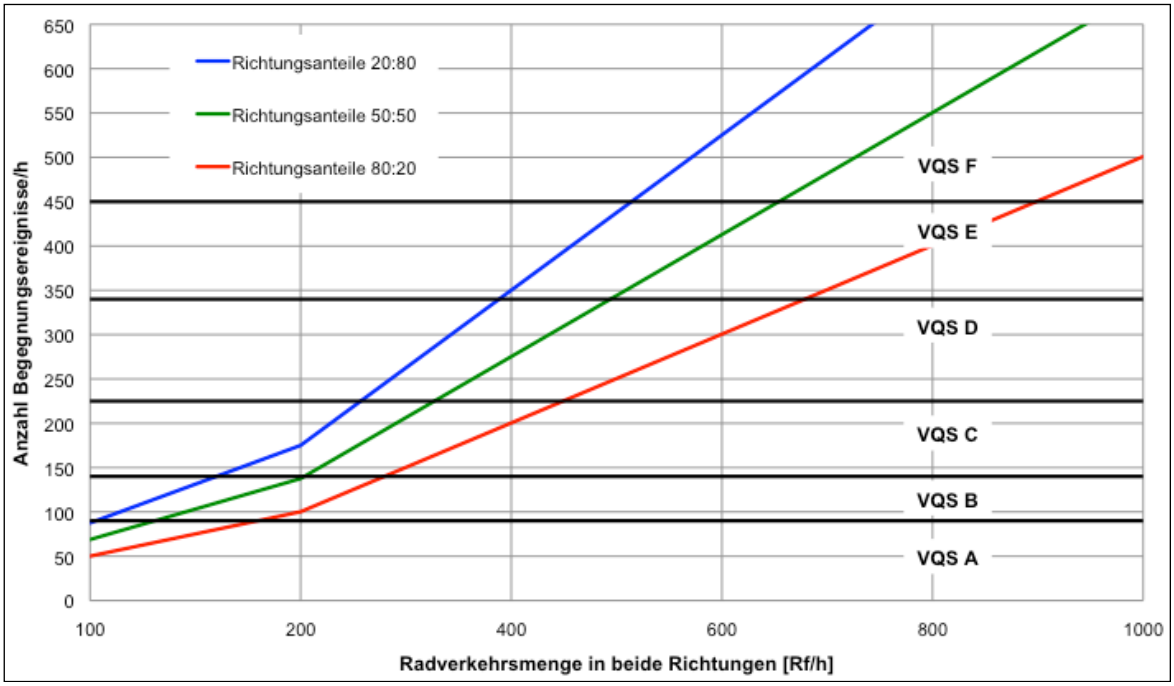


Abb. 8 Anzahl Begegnungsereignisse/h und VQS für horizontale Zweirichtungs-Radwege mit einer Breite von 3.00 m, bei einer Geschwindigkeit von 18 km/h und einer Standardabweichung vom 6 km/h, bei unterschiedlichen Verkehrsmengen und Richtungsanteilen (erste Zahl = Anteil in Betrachtungsrichtung)

Beispiel:

Gesucht ist die VQS eines Zweirichtungs-Radwegs mit folgenden Angaben:

- Breite: 3.0 m
- Längsneigung: 3%
- Verkehrsmenge 7-8 Uhr: 450 Rf/h, Richtungsanteil abwärts 70%
- Verkehrsmenge 17-18 Uhr: 400 Rf/h, Richtungsanteil abwärts 30%

Schritt 1:

Aus Abbildung 1 können in etwa folgende mittleren Geschwindigkeiten und Standardabweichungen heraus gelesen werden:

- Abwärts: 20 ± 6.5 km/h
- Aufwärts: 16 ± 5.5 km/h

Schritt 2:

Mit der Formel in Kapitel 7.2 kann die Anzahl der Begegnungsereignisse berechnet werden:

- 7-8 Uhr, abwärts: F = 270
- 7-8 Uhr, aufwärts: F = 340
- 17-18 Uhr, abwärts: F = 360
- 17-18 Uhr, aufwärts: F = 220

Schritt 3:

Gemäss Tabelle 5 in Kapitel 8.3 kann die VQS bestimmt werden:

- 7-8 Uhr, abwärts: D
- 7-8 Uhr, aufwärts: D
- 17-18 Uhr, abwärts: E
- 17-18 Uhr, aufwärts: C

Die Verkehrsqualität des Zweirichtungs-Radwegs entspricht der **Stufe E**.

Das Beispiel zeigt, dass nicht immer die Spitzenstunde für die VQS massgebend ist. Der Einfluss der Längsneigung und der Richtungsanteile ist zu berücksichtigen.

29 Rad- und Fusswege mit gemeinsamer Verkehrsfläche

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Verkehrsqualitätsstufen für folgende Anlage und Verkehrssituation:

- Zweirichtungs-Rad- und Fussweg
- Längsneigung: 0%
- Breite: 3.00 m
- Geschwindigkeit Radfahrer: 18 ± 6 km/h
- Geschwindigkeit Fussgänger: 4 km/h
- Belastungsangaben für beide Richtungen, Richtungsanteile 50:50

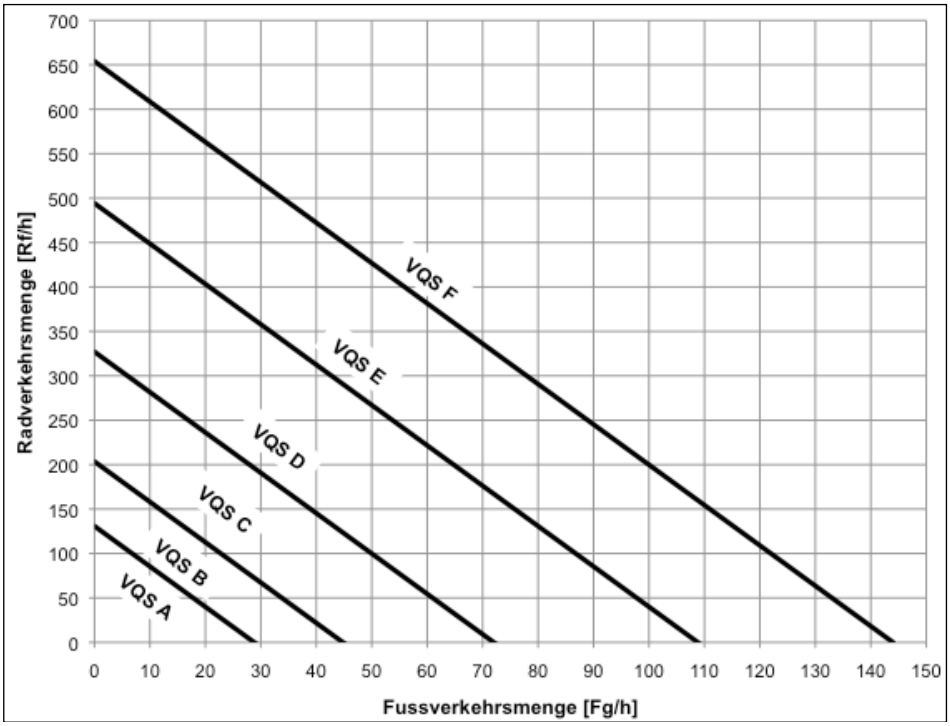


Abb. 9 VQS für horizontale Zweirichtungs-Rad- und Fusswege mit einer Breite von 3.00 m, einer Geschwindigkeit der Radfahrer von 18 ± 6 km/h, einer Geschwindigkeit der Fussgänger von 4 km/h und einem Verhältnis der Richtungsanteile von 50:50 für unterschiedliche Rad- und Fussverkehrsmengen (Belastungsangaben für beide Richtungen)

30 Warteraum bei Knoten mit Lichtsignalanlage

Zu bestimmen ist die Verkehrsqualität des Warteraums für Radfahrer. Aus dem Knotenprojekt sind folgende Angaben bekannt:

- Anteil Rotphasen = 55%
- Anzahl Rotphasen = Anzahl Grünphasen = 50/h
- Ø Grünzeit pro Phase (ergibt sich aus den obigen Festlegungen) = 32 s

Die Ermittlung der VQS soll für folgende Geometrien des Warteraums und folgende Radverkehrsmengen erfolgen:

- Radstreifenbreiten = 1.25 m; 1.50 m; 1.75 m
- Ausgeweiteter Radstreifen mit b = 1.50 m (Annahme: im ausgeweiteten Bereich warten 4 Radfahrer)
- q_{Rf} = 250; 500; 1000; 1250; 1500; 2000 Rf/Spitzenstunde

Schritt 1:

Bestimmen der massgebenden Radverkehrsmenge:

- Multiplikation von q_{Rf} in der Spitzenstunde mit dem Faktor 1.3.

Schritt 2:

Berechnung der mittleren Räumzeit t mit der Formel in Kapitel 11.

Schritt 3:

Bestimmung der VQS mit Tabelle 8 in Kapitel 12.2.

Das Ergebnis ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

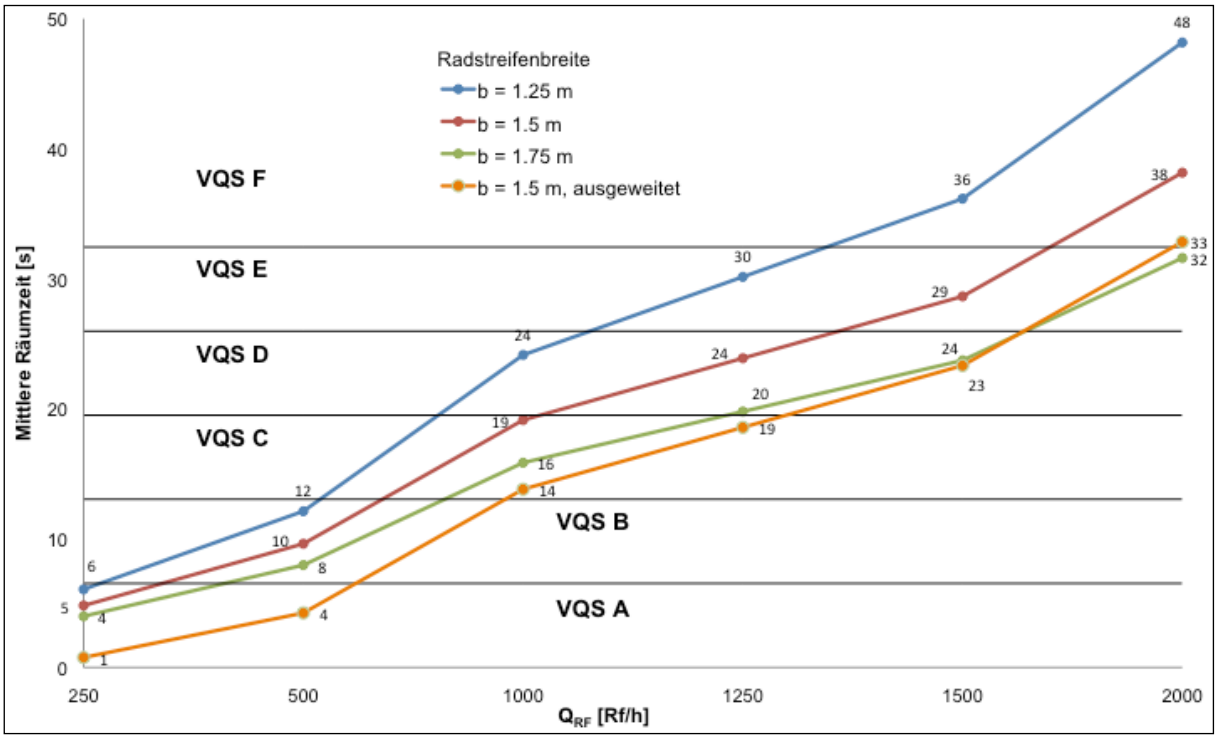


Abb. 10 Mittlere Räumzeit und Verkehrsqualitätsstufe in Abhängigkeit der Verkehrsmenge und der Radstreifenbreite bei einem Rotphasenanteil von 55% und 50 Rotphasen/h.

Die Abbildung 10 zeigt folgendes:

- Die Radstreifenbreite hat einen deutlichen Einfluss auf die Verkehrsqualität des Warteraums.
- Wird die Breite von 1.25 m auf 1.75 m vergrössert, reduziert sich die mittlere Räumzeit um etwa ein Drittel.
- Ein ausgeweiteter Radstreifen reduziert für dieses Beispiel die mittlere Räumzeit um 5 bis 6 s.
- Kritische Verhältnisse (VQS E oder F) treten bei einer Radstreifenbreite von 1.50 m erst bei Spitzenstundebelastungen über etwa 1'250 Rf/h auf.

31 Radwegquerung ohne Lichtsignalanlage

Es soll die Verkehrsqualität einer Radwegquerung bestimmt werden. Zudem ist abzuklären, ob ein geschützter Mittelbereich mit Verkehrsinseln für die Querung die VQS verbessert. Die Anlage ist wie folgt definiert:

- Motorfahrzeugmenge auf zu querender Strasse: je Richtung 600 Mfz/h
- Radfahrermenge auf Radweg: je Richtung 400 Rf/h
- Radwegbreite: 4.5 m

Schritt 1:

Massgebende Hauptstrombelastung: 1'200 Fz/h

Schritt 2:

Grundleistungsfähigkeit G gemäss Abbildung 3:

- ohne Mittelbereich: G = 290 Rf/h
- mit geschütztem Mittelbereich: G = 370 Rf/h

Schritt 3:

Leistungsfähigkeit L gemäss Abbildung 5:

- ohne Mittelbereich: L = 475 Rf/h
- mit geschütztem Mittelbereich: L = 540 Rf/h

Schritt 4:

Reserve R = L – q:

- ohne Mittelbereich: R = 75 Rf/h
- mit geschütztem Mittelbereich: R = 140 Rf/h

Schritt 5:

Mittlere Wartezeit gemäss Abbildung 4 in [2]:

- ohne Mittelbereich: w = ca. 45 s
- mit geschütztem Mittelbereich: w = ca. 24 s

Schritt 6:

Verkehrsqualitätsstufe bestimmen gemäss Tabelle 3 in [2]:

- ohne Mittelbereich: Stufe D – E
- mit geschütztem Mittelbereich: Stufe C

Der geschützte Mittelbereich mit Verkehrsinseln reduziert die mittlere Wartezeit um rund 20 s und führt zu einer Verbesserung der Verkehrsqualität um etwa 1 Stufe.

J Literaturverzeichnis

[1] SN 640 017 Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Grundlagennorm
[2] SN 640 022 Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Knoten ohne Lichtsignalanlage
[3] SN 640 060 Leichter Zweiradverkehr; Grundlagen
[4] Highway Capacity Manual 2010, TRB 2010, USA
[5] Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des leichten Zweirad- und des Fussgängerverkehrs, Forschungsauftrag VSS 2007/306, 2013
[6] Handbuch „Planung von Velorouten“, ASTRA, 2008

III Abkürzungen Radverkehr

Begriff	Bedeutung
Fg	Fussgängerinnen und Fussgänger
Fz	Fahrzeug
HVS	Hauptverkehrsstrasse
K	Verkehrsdichte
LOS	Level of Service
LSA	Lichtsignalanlage
LW	Lastwagen
Mfz	Motorfahrzeug
PW	Personenwagen
Q	Verkehrsstärke
Rf	Radfahrerinnen und Radfahrer
V	Geschwindigkeit
V_{85}	Geschwindigkeit, die von 85% der Fahrzeuge nicht überschritten wird
VQ	Verkehrsqualität
VQS	Verkehrsqualitätsstufe
w	mittlere Wartezeit

IV Begriffsdefinitionen Fussgängerverkehr

IV.1 Begriffe zu mechanischen und nichtmechanische Anlagen des FG-Verkehrs

Begriffe zu mechanischen und nicht-mechanischen Anlagen des Fussgängerverkehrs sind in der folgenden Tab. IV.125 beschrieben.

Tab. IV.125 Begriffsdefinition nach VSS [VSS 1998b]

Begriff	Norm	Definition
Benutzergruppe	SN 640070 Fussgängerverkehr - Grundnorm	Umfassen zu Fuss Gehende mit ähnlicher körperlicher Konstitution, Erfahrung und Altersstufe
Benutzergruppe	SN 640240 Querungen-Grundlagen	Umfasst zu Fussgehende mit gleicher körperlicher Konstitution, Verkehrsausbildung, Alter und Erfahrung
Flächen	SN 640070 Fussgängerverkehr - Grundnorm	Bereiche, auf denen der Fussgängerverkehr allein zugelassen ist oder auf denen sich Bewegungslinien verschiedener Verkehrsarten im Mischverkehr überschneiden Dienen als Aufenthaltsbereiche für Fussgänger
Fussgängerstreifen	SN 640241 Fussgängerstreifen	Sind die für die Fussgänger bestimmte Übergänge über die Fahrbahn, auf welchen sie gegenüber dem strassengebundenen Verkehr den Vortritt haben
Fussgängerverkehr	SN 640070 Fussgängerverkehr - Grundnorm	Umfasst die Gesamtheit der Fortbewegung zu Fuss, mit oder ohne Hilfsmittel, und den Aufenthalt
Fussgängerverkehr	SN 640240 Querungen-Grundlagen	Umfasst den Verkehr zu Fuss, mit fahrzeugähnlichen Geräten sowie Rollstühlen
Fusswegenetz	SR 704 Bundesgesetz über Fuss- und Wanderwege	Bestehen aus für Fussgänger besonders geeigneten Verbindungen und erschliessen Ziele und Quellen im Siedlungsgebiet hindernisfrei. Sie sind von den Behörden in Plänen festzuhalten.
Gehflächen	SN 640070 Fussgängerverkehr - Grundnorm	Sind die für den Fussgängerverkehr bestimmten Verkehrsstreifen und -flächen
Querung für den Fussgängerverkehr (FV)	SN 640 240 Querung-Grundnorm	Ist eine Verkehrsanlage, welche dem FV zum Queren eines anderen Verkehrsträgers dient
Querungen	SN 640070 Fussgängerverkehr - Grundnorm SN 640240 Querungen-Grundnorm	Verkehrsanlagen, welche dem Fussgängerverkehr das Queren eines andern Verkehrsträgers (wie Strasse, Schiene) bzw. eines Gewässers erleichtern oder ermöglichen
Querungselement	SN 640 240 Querung-Grundnorm	Besteht aus baulichen oder betrieblichen Komponenten und dient der Ausrüstungen einer Querung (z.B. Lichtsignalanlage, Mittelinsel, Belagswechsel, Fussgängerstreifen, Verkehrsberuhigung)
Querungstyp	SN 640 240 Querung-Grundnorm	Unterscheiden sich nach: - Ausdehnung (punktuell, flächig), - Anzahl Ebenen (niveaugleich, Unter- oder Überführung) - Vortrittsregelung (mit oder ohne Vortritt für FV)
Rampe	SN 640238 FV Rampen, Treppen, Treppenwege	Anlage zur stufenlosen Überwindung eines Höhenunterschieds zwischen Anlageteilen (Strassen, Wege, Brücken) oder Geländeniveaus, die in einem räumlichen Zusammenhang zueinander stehen

Schnittstellen (Verknüpfung)	SN 640070 Fussgängerverkehr - Grundnorm	Dienen dem Wechsel von Fussgängerverkehrsanlage auf eine anderes Verkehrsmittel
Strecken	SN 640070 Fussgängerverkehr - Grundnorm	Linear verlaufende Fussgängerverkehrsanlage Wird nicht oder nur untergeordnet von anderen Verkehrsarten geschnitten oder tangiert
Treppe	SN 640238 FV Rampen, Treppen, Treppenwege	Ist eine aus mindestens drei Stufen gebildete Anlage zu Überwindung eines Höhenunterschieds zu unterscheiden sind gerade, abgewinkelte, Bogen- und Wendeltreppen Anlagen mit Neigungen weniger als etwa 20° (36 %) bezeichnet man als Treppenwege
Überführung	SN 640247 Überführung	Bauwerke, die den Fussgängern ein sicheres und hindernisfreies Überqueren von Verkehrswegen, Gewässern und Tälern ermöglichen Setzen sich aus der eigentlichen Brücke und den Zugängen (Rampen, Treppen, Aufzüge) zusammen
Unterführung	SN 240246 Unterführung	Sind Bauwerke, die den Fussgängern ein sicheres und hindernisfreies Unterqueren von Verkehrswegen ermöglichen Setzen sich aus dem eigentlichen Tunnel, den Portalen und den Zugängen (Rampen, Treppen) zusammen

IV.2 Begriffe zur Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität nach SN 640017a

Tab. IV.126 Begriffsdefinition nach

Begriff	**Definition**
Angebotsorientiertes Verfahren	Zu einem gegebenen Verkehrsangebot wird, unter Berücksichtigung der Belastbarkeit, die bewältigbare Verkehrsstärke bestimmt
Betriebsbedingungen	Alle Anordnungen zur Steuerung oder Reglung des Verkehrsablaufes
Einflussgrössen	Jene Merkmale der Strasse-, Verkehrs- und Betriebsbedingungen, die sich unmittelbar auf die Leistungsfähigkeit und die den Verkehrsqualitätsstufen zugeordneten Verkehrsstärken auswirken
Korrekturfaktoren	Mit den Korrekturfaktoren, welche sich jeweils auf eine bestimmte Einflussgrösse beziehen, werden die Werte des Referenzzustandes korrigiert
Leistungsanalyse	Wenn sowohl die Verkehrsstärke und die Verkehrsanlagen gegeben sind, wir d mit der Leistungsanalyse die Verkehrsqualität bestimmt, wobei die Belastbarkeiten einzubeziehen sind.
Leistungsfähigkeit	Grösstmögliche Verkehrsstärke, von der erwartet werden kann, dass sie einen Abschnitt dieser Anlage während eines gegebenen Zeitintervalles, bei gegeben Strassen-, Verkehrs- und Betriebsbedingungen, durch fahren kann
Mass der Verkehrsqualität	Kriterien, mit welchen sich die Behinderung der Verkehrsteilnehmer beschreiben lassen
Massgebender Verkehr	Jene Verkehrsstärke, die der Beurteilung von Angebot und Nachfrage einer Verkehrsanlage unter Berücksichtigung der Belastbarkeit zu Grunde gelegt wird
Nachfrageorientiertes Verfahren	Zu einer gegebenen Verkehrsstärke wird, unter Berücksichtigung der Belastbarkeit, das benötigte Verkehrsangebot bestimmt
Referenzzustand	Jener Zustand, für den in den Normen quantitative Aussagen über die Leistungsfähigkeit und die Verkehrsqualitätsstufen gemacht werden kann
Strassenbedingungen	Geometrische Eigenschaften und die baulichen Ausprägungen eines Strassenabschnittes sowie der Strassenzustands- und Witterungsverhältnisse
Verkehrsangebot	Die dem Verkehr zur Verfügung stehenden Flächen und Einrichtungen mit den zugehörigen Merkmalen für einen tatsächlichen

Verkehrsbedingungen	Zusammensetzung des Verkehrsstromes aus Fahrzeugen unterschiedlicher Art sowie die Aufteilung auf Verkehrsstreifen und Richtung des Verkehrsstromes
Verkehrsdichte	Verkehrsbelastung je Streckenabschnitt zu einem bestimmten Zeitpunkt
Verkehrsnachfrage	Jene Verkehrsstärke, welche eine Verkehrsanlage benützt oder benützen möchte Kann sich auf einen bestehenden oder zukünftigen Zustand beziehen
Verkehrsqualität	Grad der gegenseitigen Behinderung der Verkehrsteilnehmer
Verkehrsqualitätsstufe	Wird durch einen (oberen) Wert des Massen der Verkehrsqualität definiert
Verkehrsstärke	Verkehrsbelastung (Anzahl der Verkehrselemente eines Verkehrsstromes) je Zeitintervall an einem Querschnitt der Verkehrsanlage
verkehrstechnische Dimensionierung	
Zugeordnete Verkehrsstärke	Höchste Verkehrsstärke, die eine Querschnitt der Verkehrsanlage pro Zeitintervall durchfahren kann, ohne dass sich die Verkehrsqualität über die gewählte Verkehrsqualitätsstufe hinaus verschlechtert

V Materialien

V.1 Erhebungen

V.1.1 Liftpassagierbewegungen je 2-Minuten-Intervall von und nach Etage 0

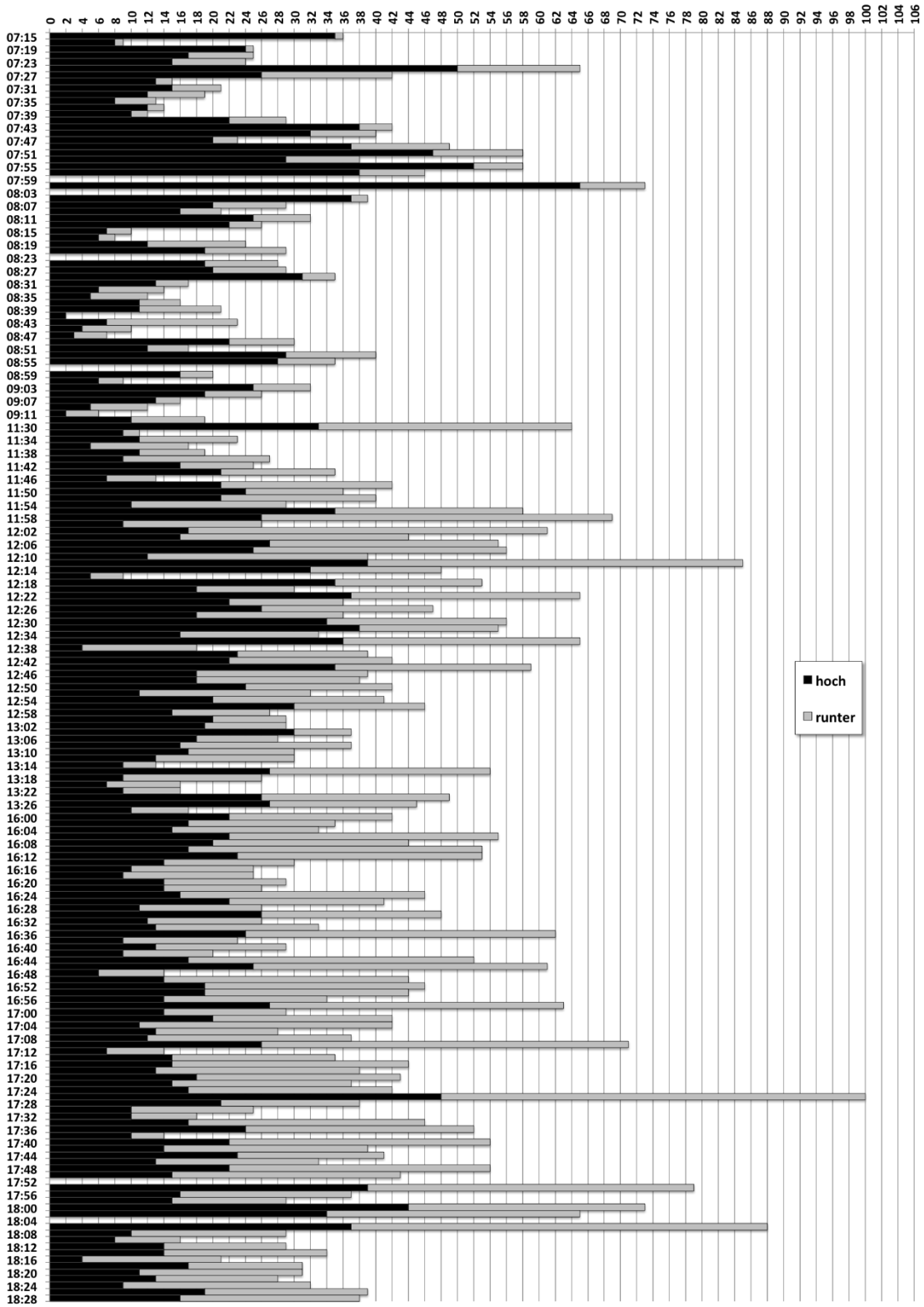


Abb. 12.1 Liftpassagierbewegungen je 2-Minuten-Intervall von und nach Etage 0

V.1.2 Belastung der Lift-/Treppenanlage

Bei separater Betrachtung, unterteilt nach den Liftkabinen links, Mitte, rechts und der Treppe ergibt sich für Intervalle von jeweils 10 Minuten folgende Belastungssituation. Dunkle Balken kennzeichnen die, von der Etage abfahrenden/weggehenden, helle Balken die ankommenden Liftpassagiere resp. Treppenbenutzer.

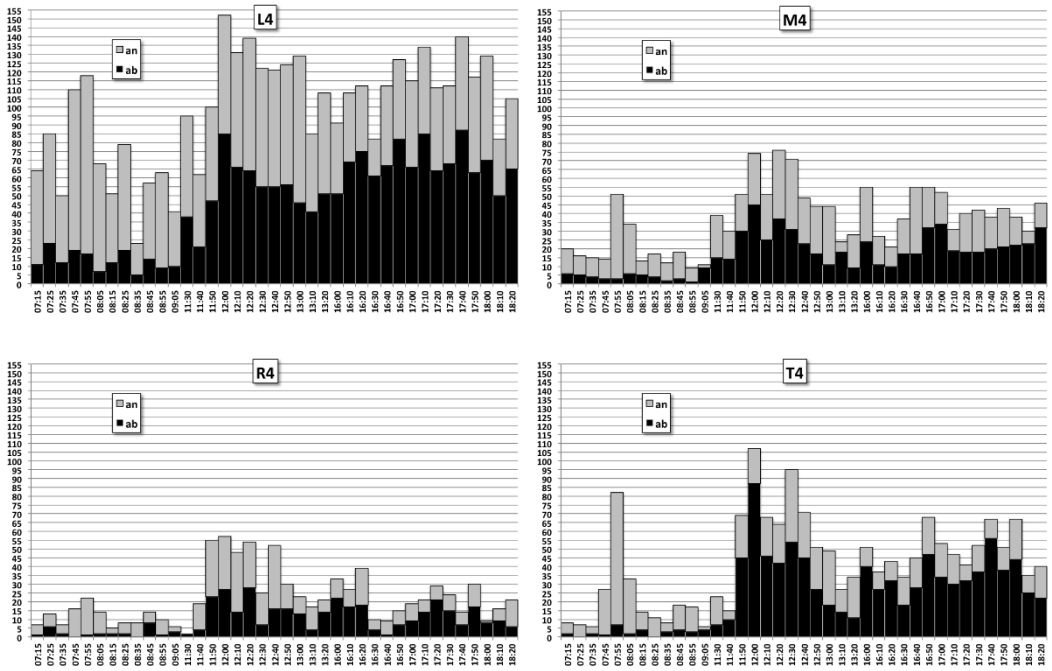


Abb. 12.2 Belastung der Lift-/Treppenanlage Etage 4 (Grosse Schanze, Universität)

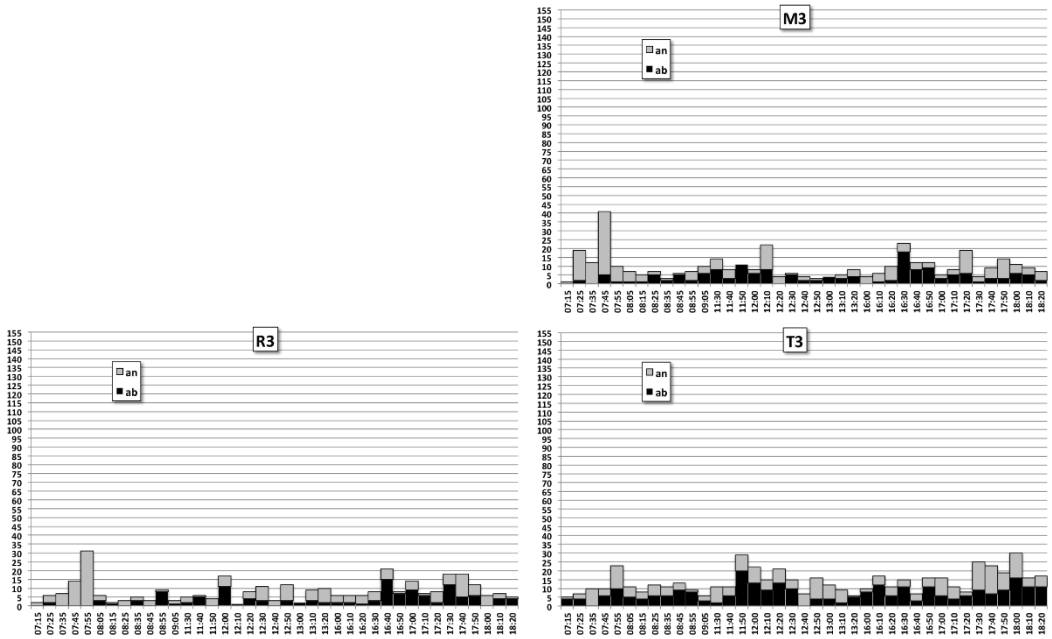


Abb. 12.3 Belastung der Lift-/Treppenanlage Etage 3

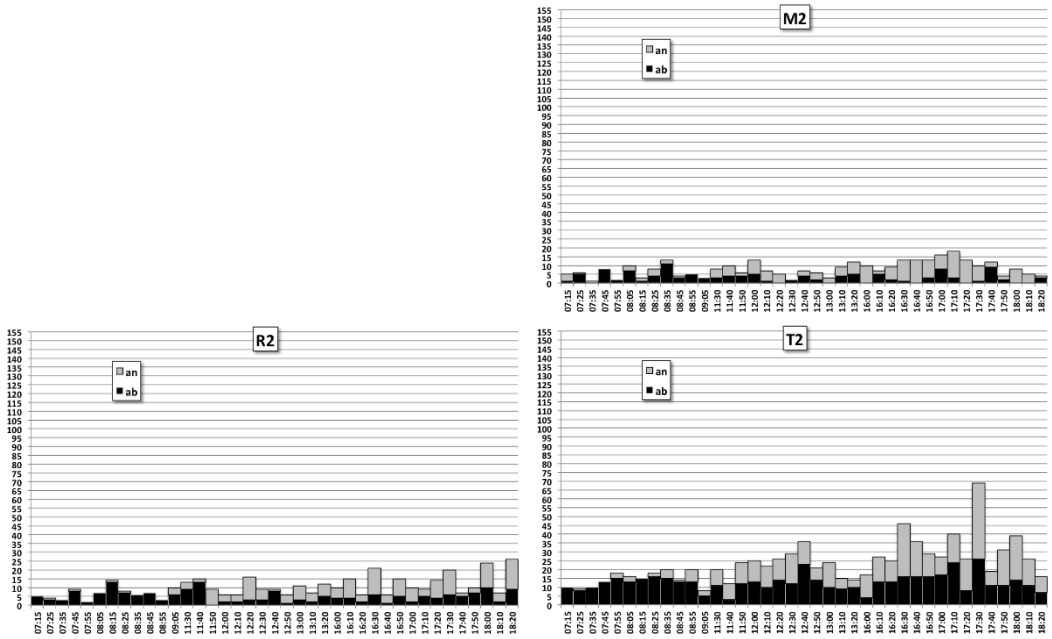


Abb. 12.4 Belastung der Lift-/Treppenanlage Etage 2

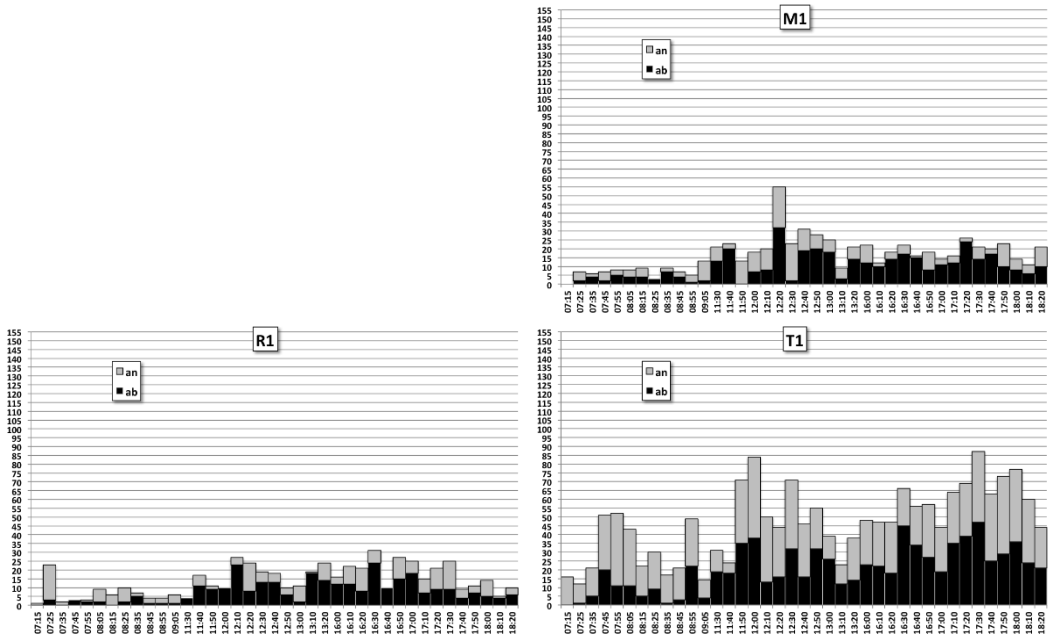


Abb. 12.5 Belastung der Lift-/Treppenanlage Etage 1 (Bahnhofvorfahrt)

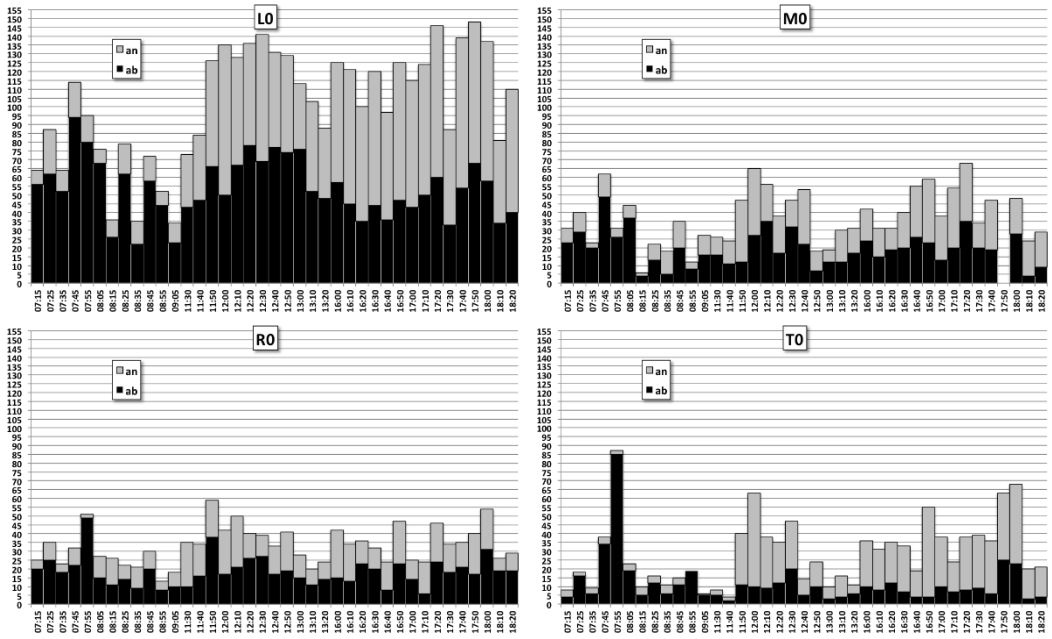


Abb. 12.6 Belastung der Lift-/Treppenanlage Etage 0 (Hauptunterführung)

V.1.3 Mittlere Anzahl Ankünfte und Abfahrten/Weggänge je Liftanlage und Treppe

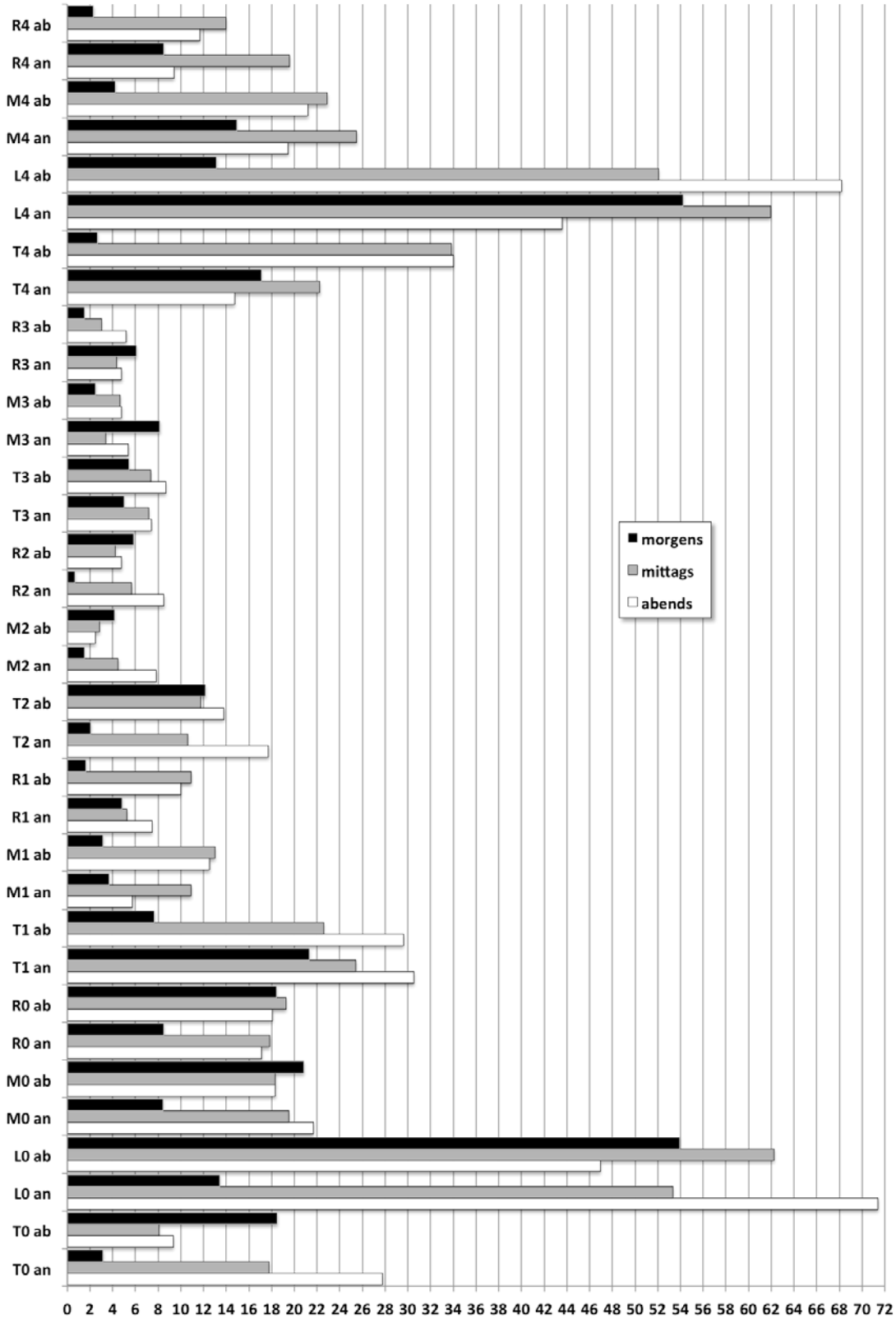


Abb. 12.7 Mittlere Anzahl Ankünfte und Abfahrten/Weggänge je Liftanlage (links L, Mitte M, rechts R) und Treppe T bezogen auf die Etagen 0 bis 4 in Intervallen von 10 Minuten in den 3 Blockzeiten morgens, mittags und abends (Direktlift = L)

V.2 Simulationen

V.2.1 Simulationsmaterial

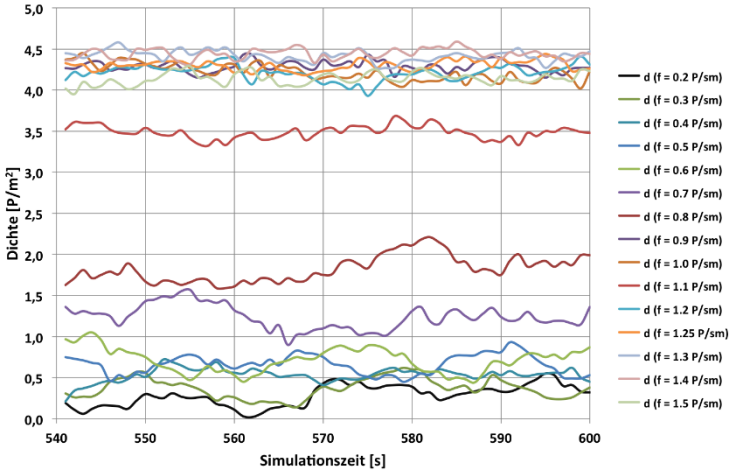


Abb. 12.8 *Dichteverlauf im Verflechtungsbereich (Grösse 25 m²) für einen Gesamtfluss von 0.2 P/sm bis 1.5 P/sm*

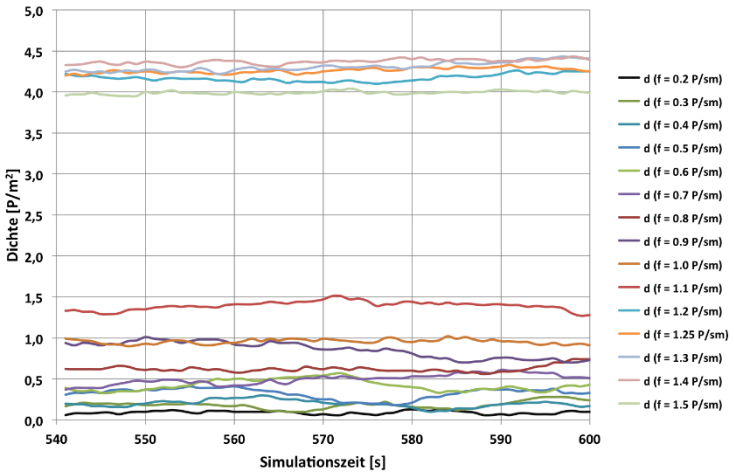


Abb. 12.9 *Dichteverlauf im Verflechtungsbereich (Grösse 100 m²) für einen Gesamtfluss von 0.2 P/sm bis 1.5 P/sm*

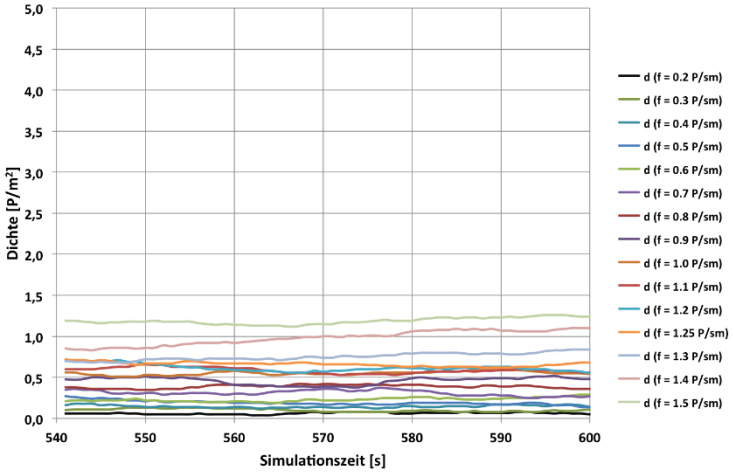


Abb. 12.10 *Dichteverlauf im Verflechtungsbereich (Grösse 225 m²) für einen Gesamtfluss von 0.2 P/sm bis 1.5 P/sm*

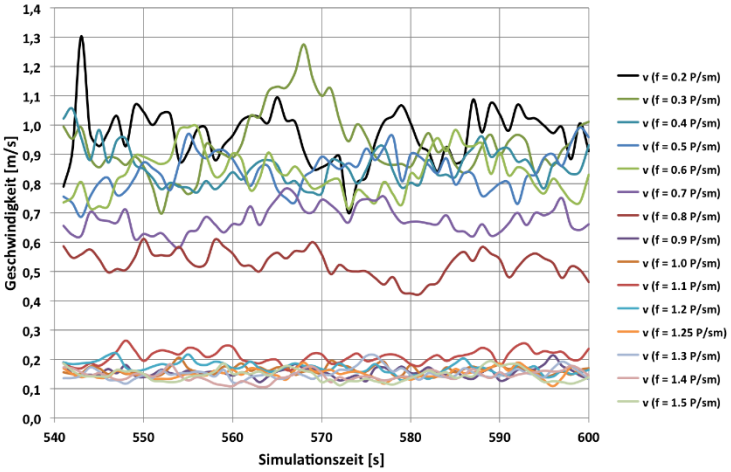


Abb. 12.11 *Geschwindigkeitsverlauf im Verflechtungsbereich (Grösse 25 m²) für einen Gesamtfluss von 0.2 P/sm bis 1.5 P/sm*

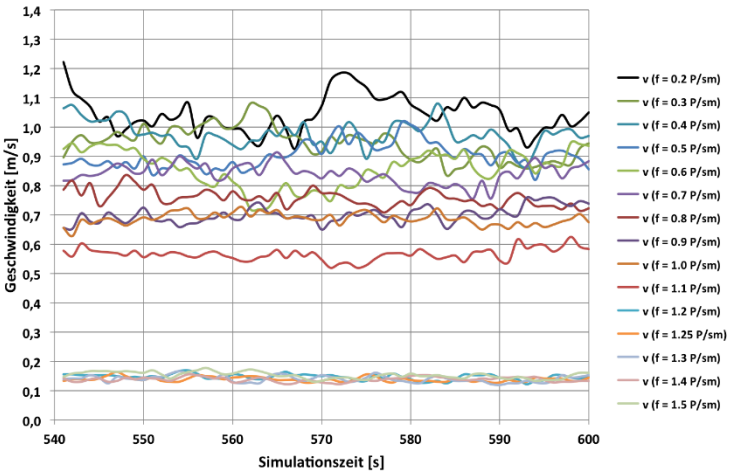


Abb. 12.12 *Geschwindigkeitsverlauf im Verflechtungsbereich (Grösse 100 m²) für einen Gesamtfluss von 0.2 P/sm bis 1.5 P/sm*

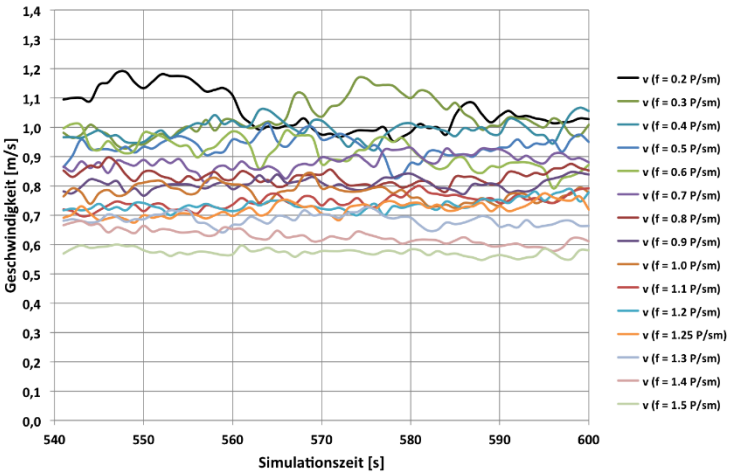


Abb. 12.13 *Geschwindigkeitsverlauf im Verflechtungsbereich (Grösse 225 m²) für einen Gesamtfluss von 0.2 P/sm bis 1.5 P/sm*

VI Normierungsvorschlag Fussgängerverkehr

INHALTSVERZEICHNIS

A Allgemeines ... 333
1 Geltungsbereich ... 333
2 Gegenstand ... 333
3 Zweck ... 333

B Begriffe ... 333
4 Leistungsfähigkeit ... 333
5 Verkehrsqualität ... 333

C Anlagentypen ... 334
6 Systematik der Fussgängeranlagen ... 334
7 Nicht behandelte Elemente ... 336

D Verkehrsqualität ... 336
8 Grundkonzept ... 336
9 Beschreibung der Qualitätsstufen ... 336

E Bemessungsverfahren ... 337
10 Generelles Vorgehen ... 337
11 Dimensionierungsnachfrage ... 338
12 Dimensionierungsqualitäten ... 339

F Ebene Gehflächen (eindimensionale Bewegung) ... 340
13 Anlagenelemente ... 340
14 Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit ... 340
15 Verkehrsqualität ... 342
16 Dimensionierung ... 342

G Niveau ausgleichende Anlagen ... 343
17 Anlagenelemente ... 343
18 Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit ... 344
19 Verkehrsqualität ... 346
20 Dimensionierung ... 346

H Querverkehrsanlagen ... 347
21 Anlagenelemente ... 347
22 Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit ... 347
23 Bemessung der Grünphase ... 349

I Mechanische Anlagen ... 349
24 Anlagenelemente ... 349
25 Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit ... 349
26 Verkehrsqualität ... 353
27 Dimensionierung ... 353

J Anlagen mit primärer Aufenthaltsfunktion ... 355
28 Anlagenelemente ... 355
29 Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit ... 355
30 Verkehrsqualität ... 356
31 Dimensionierung ... 357
32 Gemischt genutzte Flächen ... 358

K Verknüpfungsanlagen ... 359
33 Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit ... 359

L Anwendungsbeispiele ... 360
34 Ebener Gehweg ... 360
35 Platz ... 360

36 Fahrtreppe 361
37 Lift 361

M Literaturverzeichnis 363

A Allgemeines

1 Geltungsbereich

Diese Norm bezieht sich auf den Entwurf, die Dimensionierung und die Benützungsqualität allgemein zugänglicher Fussgängeranlagen im öffentlichen Verkehrsraum:

- Gehweg
- Rampe
- Treppe
- Wartefläche
- Staufläche
- Querverkehrsanlagen
- Fahrtreppe
- Fahrsteig
- Personenaufzug

Die beschriebenen Verfahren und Richtwerte finden nur Anwendung für den normalen Betriebsablauf. Für Evakuationssituationen sind sie nicht anwendbar.

2 Gegenstand

Die Norm beschreibt das Verfahren für die verkehrstechnische Bemessung und für die Beurteilung des Verkehrsablaufs des Fussgängerverkehrs auf den in Ziffer 6 erwähnten Anlagen. Es basiert auf dem Konzept der Grundlagennorm SN 640 017 „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Grundlagennorm“.

3 Zweck

Aufgrund dieser Norm sollen die Fussgängeranlagen verkehrstechnisch korrekt dimensioniert und ihr Betriebsablauf sowie die Benützungsqualität realitätsnah beurteilt werden können.

B Begriffe

4 Leistungsfähigkeit

Die Leistungsfähigkeit charakterisiert den Verkehrsfluss hinsichtlich der Zahl der Fussgänger, welche einen bestimmten Querschnitt in einer gegebenen Zeit zu durchschreiten vermögen. Sie bildet damit eine der Grundlagen für die Anlagendimensionierung.

5 Verkehrsqualität

Die Verkehrsqualität ist der Grad der gegenseitigen Behinderungen der Fussgänger. Das Mass der Verkehrsqualität gibt aufgrund des Kriteriums der Verkehrsdichte an, mit welchen Behinderungen sich ein Verkehrsteilnehmer bewegen kann.

Die Einteilung der Verkehrsqualitätsstufen folgt grundsätzlich der Grundlagennorm SN 640017a (Stand: Dezember 1998).

C Anlagentypen

6 Systematik der Fussgängeranlagen

Die Norm basiert auf einer funktionalen Segmentierung der Fussgängeranlagen. Letztere lassen sich in einer ersten Stufe nach ihrem Zweck einteilen:

- Verbindung; Nutzungsform: Fortbewegung
- Verknüpfung; Nutzungsform: Aufenthalt

In einer zweiten Stufe werden die Anlagen aufgrund ihrer verkehrstechnischen Funktionen und Eigenschaften weiter gegliedert.

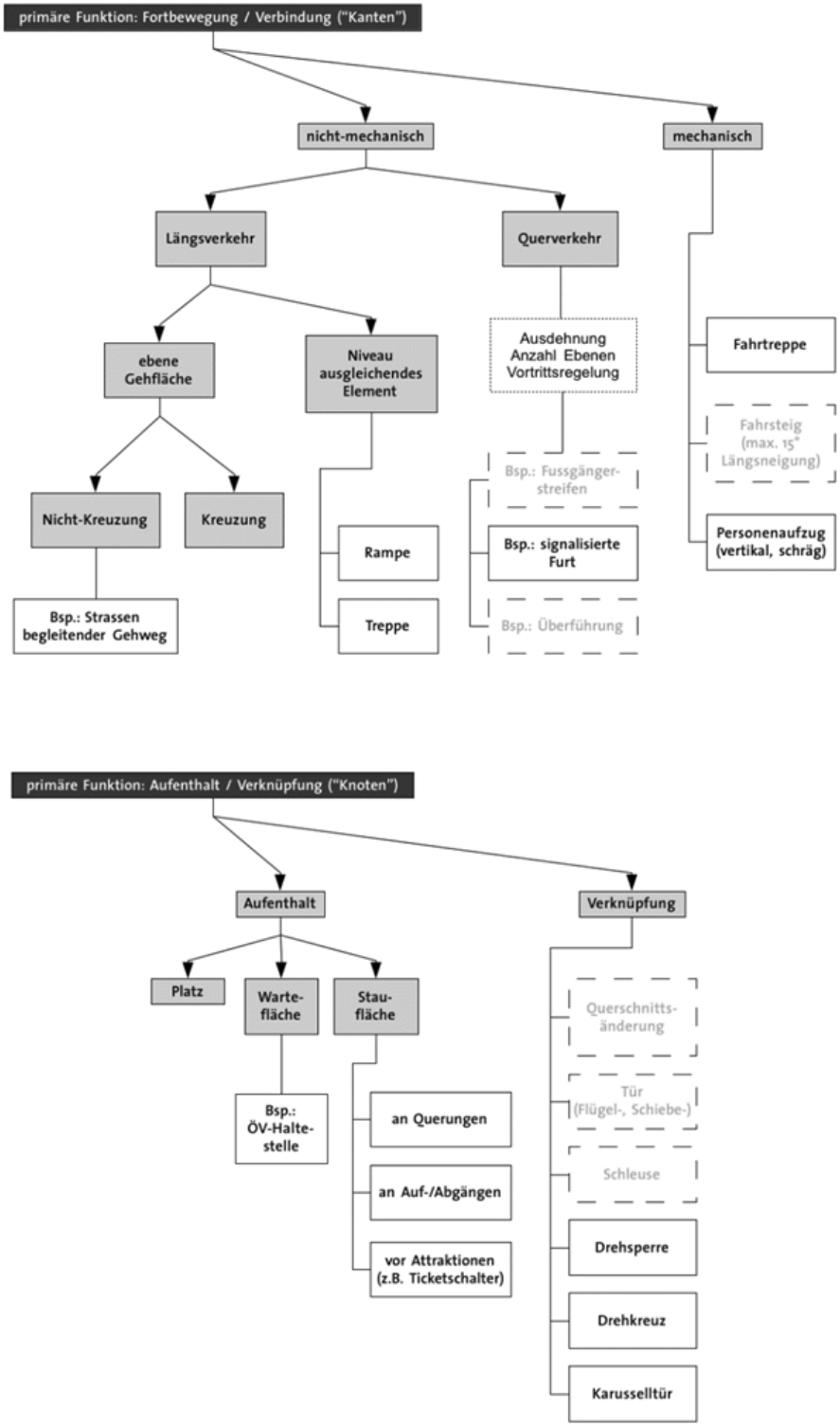


Abb. 1 Funktionale Systematik der Anlagenelemente für den Fussgängerverkehr

Jede Gesamtanlage lässt sich aus diesen Elementen zusammensetzen. Die Übergänge zwischen den einzelnen Teilbereichen sind hinsichtlich ihrer Kapazität jeweils besonders zu beachten.

7 Nicht behandelte Elemente

Folgende Anlagenelemente werden in dieser Norm nicht explizit oder nur summarisch behandelt:

Querverkehr

- Fussgängerstreifen, unsignalisiert
- Unterführung
- Überführung

mechanische Anlagen

- Fahrsteig

Verknüpfung/Querschnittsänderung

- Tür
- Schleuse

D Verkehrsqualität

8 Grundkonzept

Die Verkehrsqualität ist jene Bestimmungsgrösse für die Bemessung von Fussgängeranlagen, welche die Qualitätswahrnehmung wiedergibt. Durch die Unterscheidung von Verkehrsqualitätsstufen (VQS) kann die Leistungsbemessung einer Anlage auf die Dauer eines bestimmten Verkehrsaufkommens abgestimmt werden. Bei kurzzeitigen Spitzen ist ein verminderter Komfort, also eine niedrigere Qualitätsstufe zulässig als auf Dauer im Normalbetrieb. Es werden die sechs Abstufungen A bis F der Benützungsqualität unterschieden, wobei F die schlechteste Qualität beschreibt, bei welcher der Verkehrsfluss praktisch zum Erliegen kommt.

Jeder der nachfolgend beschriebenen Qualitätsstufen können pro Anlagentyp charakteristische Richtwerte zugeordnet werden, welche ihrerseits wiederum mit einer bestimmten Leistungsfähigkeit verbunden sind.

9 Beschreibung der Qualitätsstufen

Kriterien zur Abgrenzung der Zwischenstufen sind:

- Möglichkeit zur freien Geschwindigkeitswahl
- Häufigkeit eines erzwungenen Geschwindigkeitswechsels
- Zwang zur Beachtung anderer Fussgänger
- Häufigkeit eines erzwungenen Richtungswechsels
- Behinderung bei der Querung eines Fussgängerstromes
- Behinderung bei entgegengesetzter Bewegungsrichtung
- Behinderung beim Überholen
- Häufigkeit unbeabsichtigter Berührungen

Aus diesen Kriterien leiten sich für Anlagen des Bewegens respektive des Stehens folgende Umschreibungen der Verkehrsqualitätsstufen ab:

Tab. 1: Qualitative Beschreibung der Qualitätsstufen für Anlagen bei denen der Fussgänger geht

VQS	Beschreibung
A	Die Fussgänger haben freie Geschwindigkeitswahl. Sie werden durch andere Fussgänger äusserst selten beeinflusst. Die Verkehrsdichte ist sehr gering. In Wartesituationen gibt es keine Beeinträchtigungen.
B	Die Fussgänger werden nur selten wegen anderer Personen zu Geschwindigkeits- oder Richtungsänderungen gezwungen. Bei geringer Verkehrsdichte kommt es insgesamt nur zu geringfügigen Beeinträchtigungen. In Wartesituationen gibt es nur sehr geringe Beeinträchtigungen.
C	Die freie Geschwindigkeitswahl ist eingeschränkt. Die Verkehrsdichte erreicht ein spürbares Mass. Gelegentlich treten erzwungene Geschwindigkeits- oder Richtungsänderungen durch andere Fussgänger auf, die ständig beachtet werden müssen. In Wartesituationen sind Beeinträchtigungen durch andere Personen möglich, ohne dass es zu Körperkontakten kommt.
D	Die Geschwindigkeitswahl ist deutlich eingeschränkt. Fussgänger sind häufig zu Geschwindigkeits- oder Richtungsänderungen gezwungen. Die Verkehrsdichte ist hoch und die freie Bewegung stark behindert. Die mittlere Geschwindigkeit sinkt erkennbar ab. In Wartesituationen kommt es zur Bildung von Reihen oder Gruppen und zu unbeabsichtigten Körperkontakten mit anderen Personen. Der Verkehrszustand ist noch stabil.
E	Die Fussgänger haben keine freie Geschwindigkeitswahl. Gegenverkehr ist erheblich erschwert. Die Verkehrsdichte ist so hoch, dass es zu massiven Behinderungen kommt. In Wartesituationen sind Körperkontakte zu anderen Personen nicht zu vermeiden. Die Kapazität wird erreicht.
F	Der Zugang ist höher als die Kapazität. Richtungsänderungen sind kaum noch durchführbar, zeitweise kommt es zum Stillstand. Gegenverkehr wird unmöglich. Die Fussgänger haben ständig unabweisbare Körperkontakte zu anderen. Die Verkehrsanlage ist überlastet.

Tab. 2: Qualitative Beschreibung der Qualitätsstufen für Anlagen bei denen der Fussgänger steht

VQS	Beschreibung
A	Stillstehen und ungehinderte Zirkulation ist möglich, ohne andere Personen zu beeinträchtigen.
B	Stillstehen und leicht eingeschränkte Zirkulation ist möglich, ohne dass andere Personen beeinträchtigt werden.
C	Stillstehen und eingeschränkte Zirkulation ist möglich, ohne dass andere Personen beeinträchtigt werden. Dieser Zustand wird noch als angenehm empfunden.
D	Stehen ohne andere zu berühren ist noch möglich; das Herumgehen aber stark eingeschränkt. Vorwärtskommen ist nur in der Gruppe möglich. Über längere Zeit in dieser Dichte zu warten ist unbehaglich.
E	Körperkontakt mit anderen ist unvermeidlich, Herumgehen unmöglich. Warten in dieser Dichte ist nur für kurze Zeit ohne erhebliches Unbehagen ertragbar.
F	Nahezu alle Personen stehen in direktem Körperkontakt zueinander. Vorwärtskommen ist nicht möglich. Diese Dichte ist äusserst unbehaglich; sind solche Ansammlungen gross, so besteh Panikgefahr.

E Bemessungsverfahren

10 Generelles Vorgehen

Für die Analyse einer Anlage ist diese jeweils in ihre kleinsten funktionalen und verkehrstechnisch homogenen Elemente aufzuteilen. Die Dimensionierung neuer Elemente resp. die Überprüfung der Leistungsfähigkeit und zu erwartenden Verkehrsqualität in definierten Zeitintervallen erfolgen zunächst separat. Im Anschluss sind die Schnittstellen zwischen den Elementen zu prüfen. Es ist zu klären, ob die benachbarten Anlagenteile ebenfalls in der Lage sind, den Zu- und Abstrom von jeweiligen Vorgängerelementen mit der geforderten Qualität zu bewältigen.

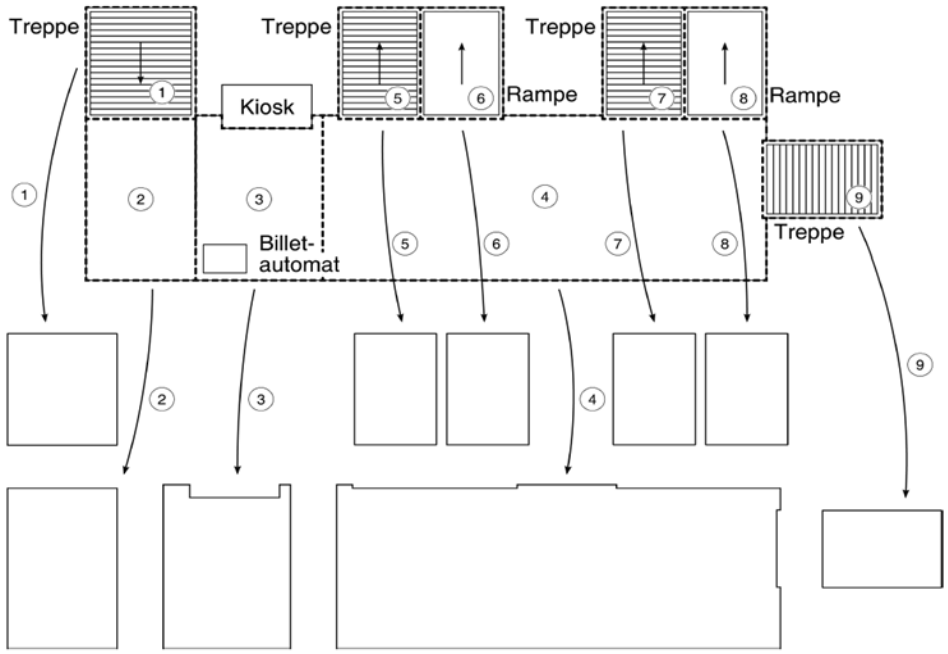


Abb. 2 Aufgliederung einer komplexen Anlage in funktionale Elemente

11 Dimensionierungsnachfrage

Ursachen für Nachfragestreuungen

Das Verkehrsaufkommen einer Fussgängeranlage unterliegt folgenden Streuungen:

- Jahreszeit
- Wochentag
- Tageszeit
- Kurzzeitige Streuungen

In der Bemessung sind insbesondere letztere mit ihrem stossweisen Auftreten der Fussgänger entscheidend, da Rückstauerscheinungen vermieden werden sollen.

Kurzzeitige Streuungen können aus zwei Gründen auftreten:

- Zufällige Pulks
- Stossweise Belastungen aus definierten Ursachen wie z.B. sich entleerende Reisezugwagen an Perrons etc.

Nachfragespitzen bei allgemeinen Fussgängeranlagen

Die Nachfrage allgemeiner Fussgängeranalagen schwankt in kurzen Zeitintervallen, wobei hohe Spitzenwerte nur kurzzeitig auftreten. Die Umrechnung der Verkehrsstärken zwischen verschiedenen Zeitintervallen kann mittels folgender Tabellen erfolgen, sofern keine genaueren Zählwerte vorliegen.

Tab. 3 Umrechnungsfaktoren für Fussgängerverkehrsstärken bei unterschiedlichen Zeitintervallen

Gegebene Fussgängerverkehrs-stärke in Personen je	Umrechnungsfaktor für	
	15 min	2 min
60 Minuten	0.30	0.06
30 Minuten	0.55	0.10
15 Minuten	1.00	0.18
10 Minuten	1.40	0.25

Nachfragespitzen bei Anlagen des öffentlichen Verkehrs

Bei Anlagen des öffentlichen Verkehrs werden die Verkehrsspitzen durch das Entleeren von Fahrzeugen verursacht. Die Nachfragespitzen sind deshalb mit Hilfe der Leistungsfähigkeit und Zahl der Türen zu bestimmen. Die Türleistungsfähigkeit ist in erster Näherung von der Türbreite und der Einstiegshöhe abhängig. Für typische Situationen und überschlägige Beurteilungen können folgende Richtwerte verwendet werden:

Tab. 4: Richtwerte für die Türleistungsfähigkeit in [P/s] von Bahnfahrzeugen und Bussen in Abhängigkeit von der Türbreite und der Einstiegshöhe (abgeleitet für durchschnittlich 20 P/Tür). Andere Einstiegshöhen sind zu interpolieren.

Einstiegshöhe [mm]	Lichte Türbreite [mm]		
	800	1250	1900
0 – 250	0.69 P/s	1.03 P/s	1.49 P/s
600 – 700	0.51 P/s	0.71 P/s	1.10 P/s

12 Dimensionierungsqualitäten

Bei der Dimensionierung der Anlagen sind folgende VQS möglichst einzuhalten:

Tab. 5: Dimensionierungsqualitäten für Fussgängeranlagen und Anlagen des öffentlichen Verkehrs

VQS	Allgemeine Fussgängeranlagen	Anlagen des öffentlichen Verkehrs
B	Massgebende Spitzenstunde	Massgebende Spitzenstunde
C	Massgebende Spitzen-Halbstunde	Fahrgastdichte auf Perrons vor Eintreffen eines Zuges und während Zugsdurchfahrten
D	Massgebende Spitzen-Viertelstunde	Mittleres Fahrgastaufkommen während eines Umsteigevorganges im Integrierten Taktfahrplan
E	Massgebender maximaler 2-Minuten-Wert	Fahrgastdichte auf Warteflächen von Tram- und Bushaltestellen bis 30 s vor Eintreffen des Kurses. Maximales Fahrgastaufkommen während eines Umsteigevorganges im Integrierten Taktfahrplan an kritischen Stellen der Anlage
F	Ist zu vermeiden, da bei dieser Dichte ein Rückstau und ein sukzessiver Leistungsrückgang auftreten kann	Ist zu vermeiden, da Umsteigezeiten nicht mehr gewährleistet sind und sicherheitskritische Situationen entstehen

Falls ein höherer Benützungskomfort geboten werden soll, sind grosszügigere Werte möglich. VQS F ist dagegen jedenfalls zu vermeiden, da bei dieser Dichte ein Rückstau und sukzessiver Leistungsrückgang auftreten kann.

F Ebene Gehflächen (eindimensionale Bewegung)

13 Anlagenelemente

Korridor / Strassen begleitender Gehweg

Lineare, ebene Gehfläche in oder ausserhalb von Gebäuden ohne kreuzende Verkehrsströme.

14 Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit

Leistungsfähigkeit in Funktion der Geschwindigkeit und Dichte

Die Leistungsfähigkeit ist abhängig von der Geschwindigkeit und der Dichte des Fussgängerstromes. Das Maximum der Leistungsfähigkeit wird nicht bei höchster Geschwindigkeit erreicht, da die Fussgängergeschwindigkeit mit der Dichte überproportional abnimmt. Maximale Leistungsfähigkeit und höchste Geschwindigkeit schliessen sich daher gegenseitig aus.

Die spezifische Leistungsfähigkeit in der Ebene wird durch folgende Formel ermittelt:

$$L_S = \frac{v(D)}{\left[\frac{1}{5.4} - \frac{ln\left(1 - \frac{v(D)}{1.34}\right)}{1.913}\right]}$$

wobei

L_S	spezifische Leistungsfähigkeit [P/sm]
v(D)	Fussgängergeschwindigkeit abhängig von einer bestimmten Dichte [m/s]

Abzüge von der effektiv nutzbaren Gehbreite sind vorzunehmen aufgrund von Bepflanzung, Einbauten, Hindernissen, Attraktionen und Sicherheitsabständen zu den Berandungen (Wände, Fahrbahn, etc.).

Die nutzbare Fusswegbreite B_N ergibt sich aus der Bruttobreite B_B abzüglich eines Verlustes B_H.

$$B_N = B_B - n_H \cdot B_H$$

wobei

B_B	Bruttobreite einer Fussgängeranlage [m]
B_H	Verlustbreite infolge von Wandeinflüssen oder Hindernissen [m]
H	Zahl der Begrenzungen des Fussweges, meist 2 [-]

Verlustbreite

Die Verlustbreite hängt von der Art der Begrenzung ab:

Tab. 6: Verlustbreite zur Berechnung der Leistungsfähigkeit	
Art der Begrenzung	**Verlustbreite [m]**
Hauswände bei Trottoirs	0.45
Betonwand in Korridor	0.25
Metallwand in Korridor	0.20
Strassenränder bei Trottoirs (Abstand zu Fahrbahn)	0.35
Gartenzäune , Bepflanzungen	0.35 – 0.60
Hauswände	0.45
Schaufenster (Rücksicht auf stehende Fussgänger)	0.75 – 1.00
Stützen (punktuelle Hindernisse)	0.25 - 0.30
Platzmehrbedarf in Kurven	0.15

Der Breitenverlust durch Hindernisse und Wandeinflüsse ist beidseits der Hindernisse auf einer Distanz von etwa 5 bis 6 m zu berücksichtigen, mit linear abnehmendem Ausmass. Überlagerungen von verschiedenen Wandeinflüssen und / oder Hindernissen sind dabei besonders zu beachten.

Fundamentaldiagramm

Die Beziehungen zwischen Fussgängerfluss, Dichte und Geschwindigkeit sind im Fundamentaldiagramm dargestellt.

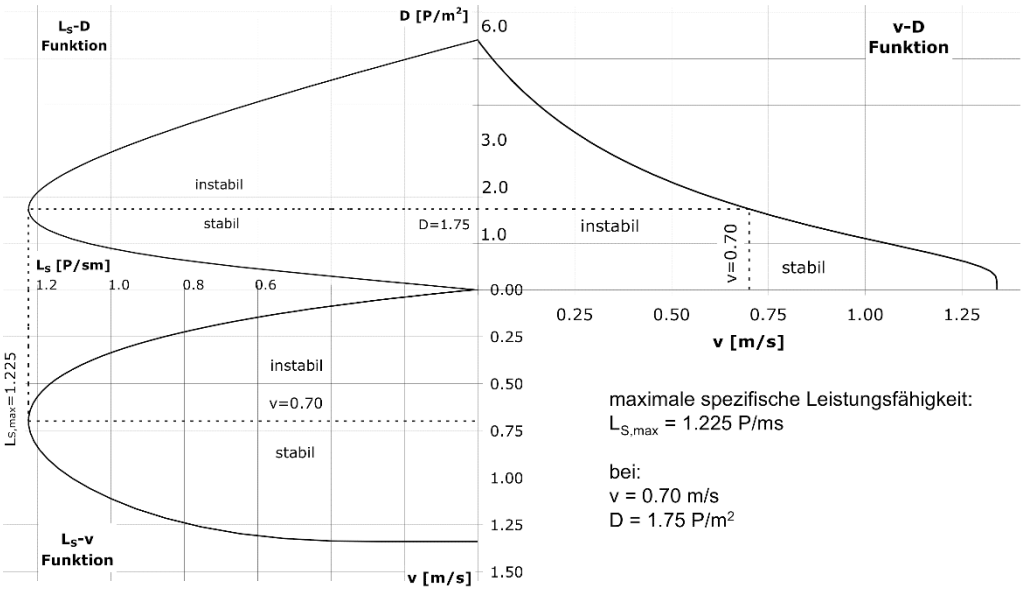


Abb. 3 Fundamentaldiagramm für ebene Wege, Richtungsverkehr

Gegenverkehrsverluste

Bei Personenströmungen im Gegenverkehr sind die zusätzlich auftretenden Beeinflussungen der einander ausweichenden Fussgänger zu berücksichtigen. Dies führt zur Verringerung der Gehwegkapazität.

Tab. 7: Änderung der Kapazität bei Personenströmen im Gegenverkehr in Abhängigkeit des Anteils der Ströme am Gesamtfluss im Querschnitt

Anteil der Fussgängerverkehrsstärke am Strom im Gesamtquerschnitt [%]		**Änderung der Kapazität gegenüber ausschliesslichem Einrichtungsbetrieb [%]**
Hauptrichtung	**Gegenrichtung**	
100	0	-
99	1	-5
97.5	2.5	-11
95	5	-14
92.5	7.5	-15
90	10	-14
85	15	-12
80	20	-11
70	30	-8
60	40	-6
50	50	-5

Für den schwächeren Verkehrsstrom ist rechnerisch minimal eine Gehspur von 0.70 m Breite vorzusehen. Für den Gegenstrom steht die Restbreite abzüglich der Wandeinflüsse zur Verfügung.

15 Verkehrsqualität

Für ebene Fusswege gelten folgende Verkehrsqualitätsstufen:

Tab. 8: Qualitätsstufen für ebene Gehwege

VQS	**Qualitätsstufen**
	Ebene Gehwege (Eindimensionale Situation)
	[P/m^2]
A	< 0.30
B	0.30 – 0.45
C	0.45 – 0.60
D	0.60 – 0.75
E	0.75 – 1.50
F	> 1.50

16 Dimensionierung

Die spezifische Leistungsfähigkeit für die verschiedenen VQS beträgt:

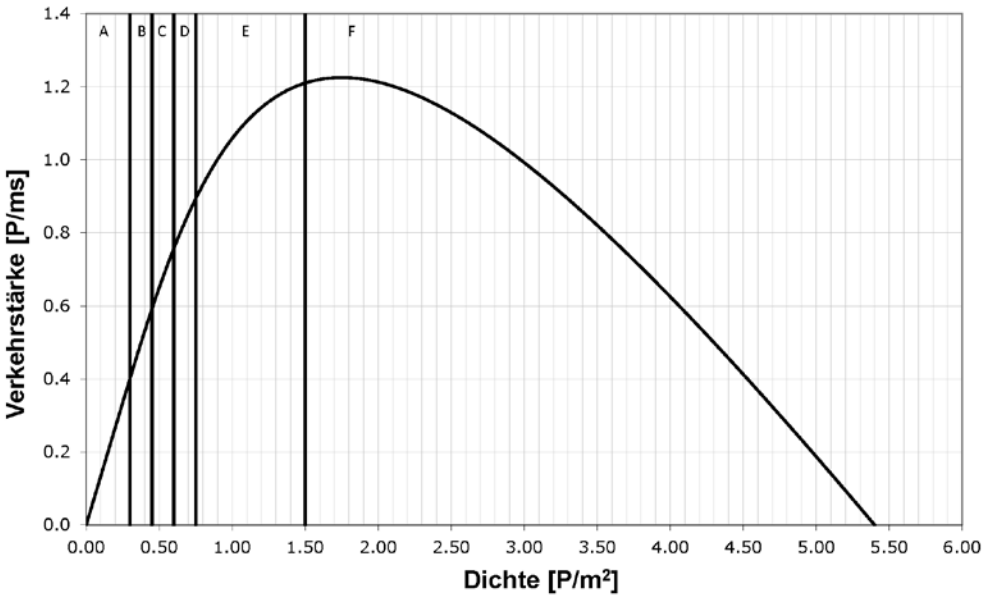


Abb. 4 VQS-Einstufung für ebene Gehwege und zugehörige spezifische Leistungsfähigkeit

G Niveau ausgleichende Anlagen

17 Anlagenelemente

Rampe

- Lineare, geneigte Gehfläche in oder ausserhalb von Gebäuden ohne kreuzende Verkehrsströme.
- Zur Überwindung eines geringen Niveauunterschiedes zwischen benachbarten Gehflächen (in der Regel bis max. 1 Etage).

Treppe

- Höhen- und längenversetzte Anordnung ebener Gehflächen (Stufen) in oder ausserhalb von Gebäuden mit einem Steigungswinkel zwischen 25° und 45°.
- Zur Überwindung eines geringen bis mittleren Niveauunterschiedes zwischen benachbarten Gehflächen.
- Steigungsmass als Verhältnis zwischen Stufenhöhe und Auftritt ist zweite Bestimmungsgrösse.

18 Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit

Rampen

Die Horizontalgeschwindigkeit auf Rampen ist neigungsabhängig.

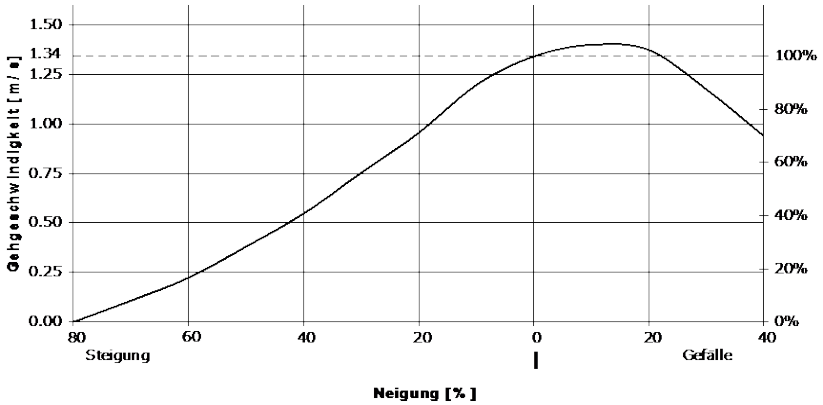


Abb. 5 Gehgeschwindigkeiten [m/s] in Funktion der Weglängsneigung

Tab. 9: Mittlere Gehgeschwindigkeiten auf geneigten Gehflächen/Rampen

Neigung	Gehrichtung					
	aufwärts			Abwärts		
	v	v_{hor}	v_{vert}	v	v_{hor}	v_{vert}
	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
0%	1.34	1.34	0.00	1.34	1.34	0.00
5%	1.29	1.29	0.06	1.40	1.38	0.07
10%	1.20	1.19	0.12	1.41	1.40	0.14
15%	1.10	1.07	0.16	1.42	1.40	0.21

Durch die verminderte Geschwindigkeit verringert sich auch der Verkehrsfluss entsprechend.

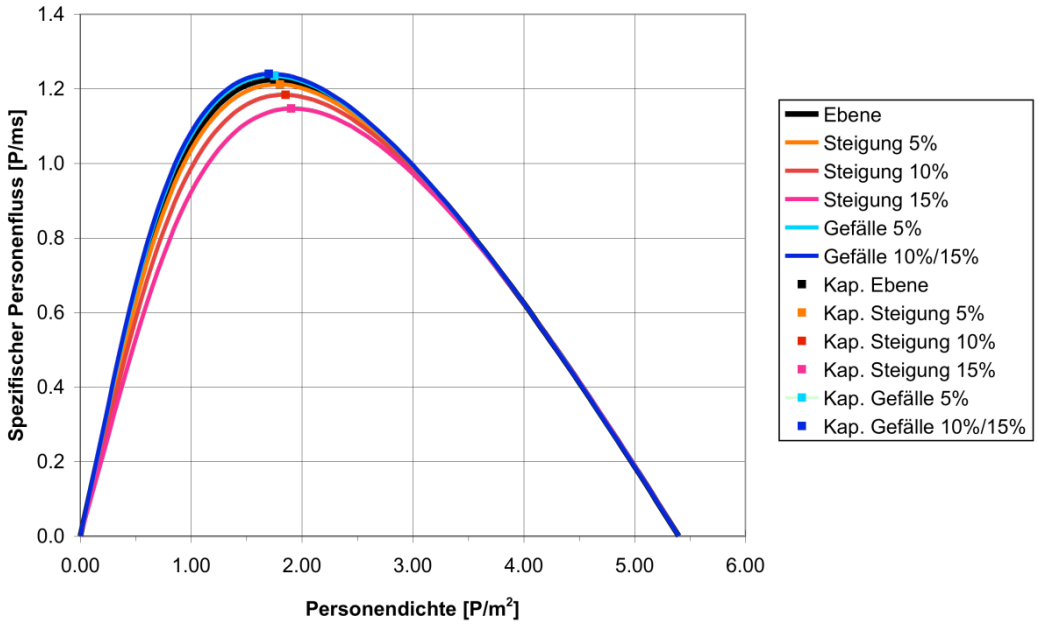


Abb. 6 Spezifische Leistungsfähigkeit für horizontale und geneigte Gehflächen in Funktion der Fussgängerdichte

Treppen

Die Leistungsfähigkeit in Funktion der Dichte folgt grundsätzlich demselben Verlauf wie jene in der Ebene. Die Gehgeschwindigkeiten sind aber reduziert.

Tab. 10: Mittlere Gehgeschwindigkeit auf Treppen

	$v_{horizontal}$	$v_{vertikal}$	f
	[m/s]	**[m/s]**	**[Stufen/s]**
Aufwärts	0.610	0.305	1.97
Abwärts	0.694	0.347	2.24

Die Leistungsfähigkeit für die aufwärtsgerichtete Bewegung berechnet sich aus:

$$L_{S,auf} = \frac{v(D)_{h,auf}}{\left[\frac{1}{5.4} - \frac{ln\left(1 - \frac{v(D)_{h,auf}}{0.610}\right)}{3.722}\right]}$$

wobei

$L_{s,auf}$ spezifische Leistungsfähigkeit bei Treppen aufwärts [P/sm]
$v(D)_{h,auf}$ Horizontalkomponente der Fussgängergeschwindigkeit bei bestimmter Dichte auf Treppen aufwärts [m/s]

Für das Abwärtsgehen gilt:

$$L_{S,ab} = \frac{v(D)_{h,ab}}{\left[\frac{1}{5.4} - \frac{ln\left(1 - \frac{v(D)_{h,ab}}{0.694}\right)}{3.802}\right]}$$

wobei

$L_{s,ab}$ spezifische Leistungsfähigkeit bei Treppen abwärts [P/sm]
$v(D)_{h,ab}$ Horizontalkomponente der Fussgängergeschwindigkeit bei bestimmter Dichte auf Treppen abwärts [m/s]

Mit zunehmender Treppenlänge nimmt die Geschwindigkeit ab, Daher müssen längere Treppen mit Zwischenpodesten versehen werden.

Die Leistungsfähigkeit von Treppen und Rampen berechnet sich analog zu den ebenen Fusswegen, mit angepasster spezifischer Leistungsfähigkeit. Es sind die Verlustbreiten analog zu den ebenen Fusswegen zu berücksichtigen.

Fundamentaldiagramm

Für Treppen in Aufwärts- und Abwärtsrichtung gilt folgendes Fundamentaldiagramm:

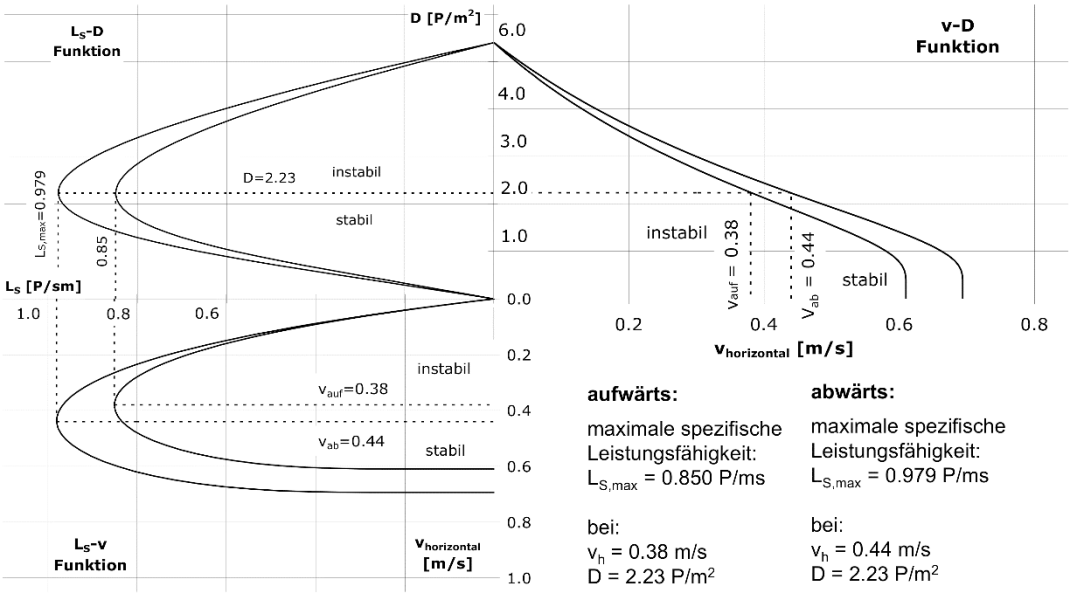


Abb. 7 Fundamentaldiagramm für Treppen, Richtungsverkehr

19 Verkehrsqualität

Für Treppen und Rampen gelten folgende Verkehrsqualitätstufen:

Tab. 11: Qualitätsstufen für Rampen und Treppen

VQS	Qualitätsstufen Rampen und Treppen (Eindimensionale Situation) [P/m²]
A	< 0.60
B	0.60 – 0.75
C	0.75 – 0.90
D	0.90 – 1.15
E	1.15 – 2.15
F	> 2.15

20 Dimensionierung

Die spezifische Leistungsfähigkeit für verschiedene VQS beträgt:

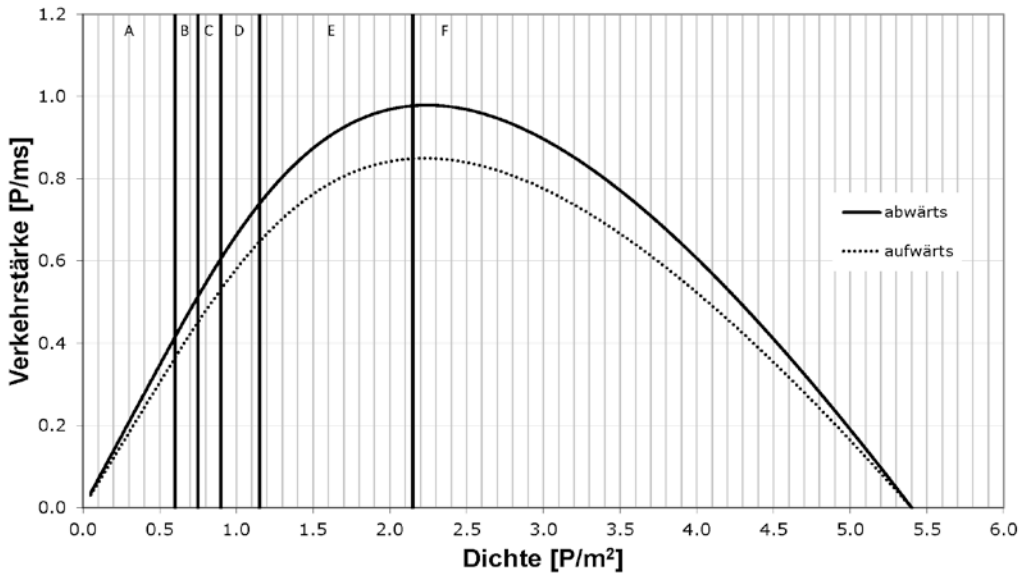


Abb. 8 VQS-Einstufung für Rampen und Treppen

H Querverkehrsanlagen

21 Anlagenelemente

Signalisierte Furt

- Lineare, ebenerdige und örtlich festgelegte Querungsmöglichkeit von Fahrbahnen des motorisierten Individualverkehrs.
- Zeitweilige technische Sicherung gegenüber dem Fahrverkehr durch Lichtsignalanlage.

22 Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit

Signalisierte Fussgängerfurt

An einer signalisierten Fussgängerfurt muss zwischen Wartevorgang (auf der Warteflächе) und Querungsvorgang unterschieden werden. Die Leistungsfähigkeit der Warteflächе gilt gemäss Ziffer 30. Die Leistungsfähigkeit des Querungsvorgangs über das gegebene Zeitintervall einer Grünphase ist von der nutzbaren Fläche der Querungsstelle, der Anzahl querender Personen und der Grünzeit der Lichtsignalanlage abhängig.

Die Gesamtfläche der Querung bestimmt sich aus:

$$A = B \cdot L$$

wobei

A Grösse der Wartefläche [m^2]
B Breite der Querungsfläche [m]
L Länge der Querungsfläche [m]

Die Zeit-Fussgängerfläche ist die Fläche, welche dem Fussgängerverkehr während der Freigabezeit zur Verfügung steht.

$$T_A = \frac{A \cdot t_F}{60}$$

wobei

T_A Zeit-Fussgängerfläche [m^2·min]
t_F Freigabezeit [s]

Die mittlere Querungszeit ergibt sich zu:

$$t_Q = \frac{L}{v}$$

wobei

t_Q Mittlere Querungszeit [s]
v Mittlere Querungsgeschwindigkeit [m/s]
L Länge der Querungsfläche [m]

Die gesamte Belegungszeit für die Querung ist das Produkt aus der Überquerungszeit und der Anzahl an Fussgängern, welche die Querung während eines Umlaufs benutzen.

$$T_Q = \frac{q_{15}}{900} \cdot t_U \cdot \frac{t_Q}{60}$$

wobei

T_Q Gesamte Belegungszeit für die Querung [P·min]
q_{15} Fussgängerverkehrsstärke im 15-min-Intervall [P/15 min]
t_U Umlaufzeit der Lichtsignalanlage [s]
t_Q Mittlere Querungszeit [s]

Aus der gesamten Belegungszeit und der Zeit-Fuss-gängerfläche resultiert die Dichte.

$$D = \frac{T_Q}{T_A}$$

Zur vereinfachten Abschätzung des effektiven Personenflusses pro Minute und der Dichte auf der Querungsfläche gilt der Grünzeitfaktor g_{FG}. Dieser ergibt sich aus dem Quotient des umzulegenden Zeitintervalls [s] und der angenommenen Grünzeit [s].

$$g_{FG} = \frac{t_i}{t_g}$$

wobei

g_{FG} Grünzeitfaktor [-]
t_G Grünzeit des Fussgängerstromes [s]
t_i Zu bestimmender Zeitintervall [s]

Für 1-, 2-, 5-, 10-, 15-, 30- und 60-min-Intervalle kann der Grünzeitfaktor für Fussgängergrünzeiten bis 60 Sekunden aus folgendem Diagramm direkt abgelesen werden.

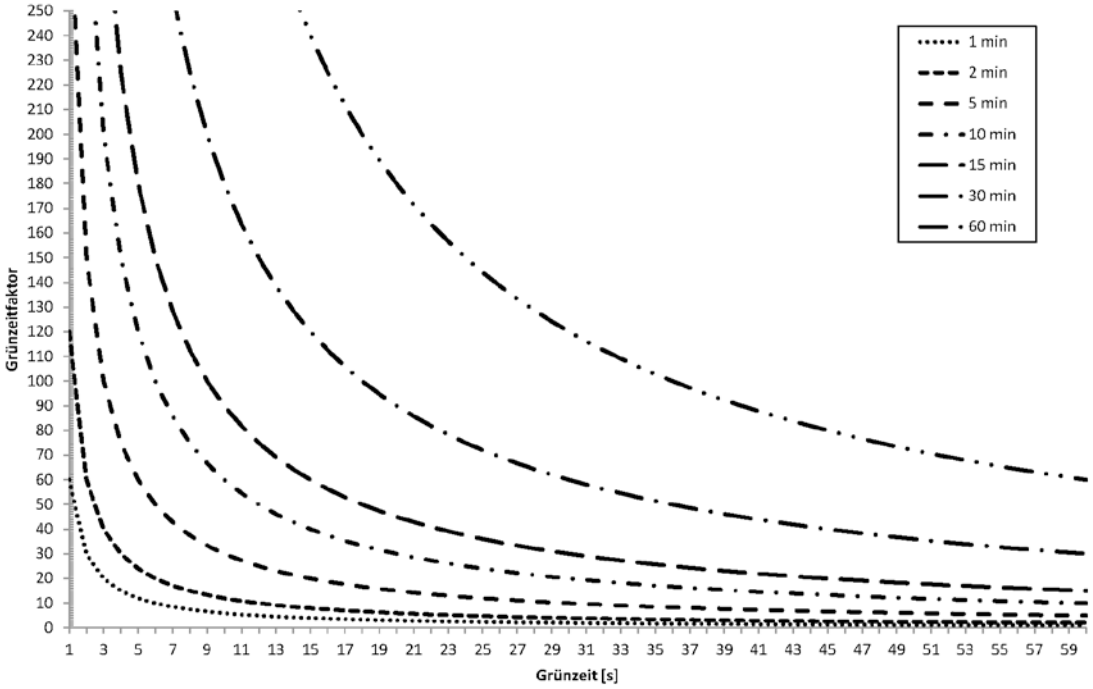


Abb. 9 Ermittlung des Grünzeitfaktors in Abhängigkeit der Grünzeit und des Erhebungsintervalls für Fussgängergrünzeiten bis 60 Sekunden

23 Bemessung der Grünphase

Die Grünphase ist auf v_{85} der Fussgänger auszulegen. Diese beträgt 1.05 m/s.

I Mechanische Anlagen

24 Anlagenelemente

Fahrtreppe

- Elektrisch angetriebener Stetigförderer mit schrägem Transportband aus einzelnen Stufenelementen (Paletten), typischer Steigungswinkel ca. 30° - 35°.
- Zur Überwindung eines mittleren Niveauunterschiedes zwischen benachbarten Gehflächen, in der Regel 1 bis 2 Etagen.
- Aufstandsbreite bestimmt für 1 bis 2 Personen pro Palette.

Personenaufzug/Lift

- Vertikale Transportkabine, die auf Anforderung zwischen festgelegten Stationen auf mehreren Etagen pendelt.
- Hydraulisch oder elektrisch angetrieben.

25 Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit

Lift

Die Kapazität - gemessen in Personen pro Stunde und Richtung - eines ohne Zwischenhalt verkehrenden Lifts wird bestimmt durch die Umlaufzeit als Summe der Fahr- und Haltezeiten sowie der leistungsoptimalen Belegung der Kabine. Sie kann mithilfe der folgenden Formel bestimmt werden.

$$K = 3600 \cdot \left(\frac{Q \cdot \frac{F}{2}}{t_{Halt} + \frac{h}{v_m}} \right)$$

wobei

K	Transportkapazität der Liftanlage (Einzelkabine) [P/h/Richtung]
Q	leistungsfähigkeitsoptimale Passagiergruppengrösse in der Liftkabine [P]
t_{Halt}	Haltezeit pro Fahrt in eine Richtung (Ein- und Aussteigezeit + Türprozesszeiten) [s]
F	Anzahl der Liftkabinen [-]
h	Höhenunterschied zwischen unterem und oberen Halt [m]
v_m	mittlere Fahrgeschwindigkeit der Kabine [m/s]

mit

$$t_{Halt} = t_{Tür} + t_{Ein} + t_{Aus} + t_R$$

wobei

$t_{Tür}$	Türprozesszeiten: Öffnen/Schliessen [s]
t_{Ein}	Einsteigezeit [s]
t_{Aus}	Aussteigezeit [s]
t_R	Reaktionszeiten [s]

Zur Ermittlung der Passagiergruppengrösse, bei welcher die Leistungsfähigkeit der Anlage maximal wird, kann das folgende grafische Verfahren genutzt werden.

- Auftragen der Füllkurve der betrachteten Liftkabine nach rechts
- Abtragen der Fahrzeit auf der linken Seite der Abszisse
- Die Tangente an die Füllkurve gibt die Gerade mit dem steilst möglichen Anstieg, also der höchsten Förderleistung der Liftanlage, in Personen pro Zeiteinheit

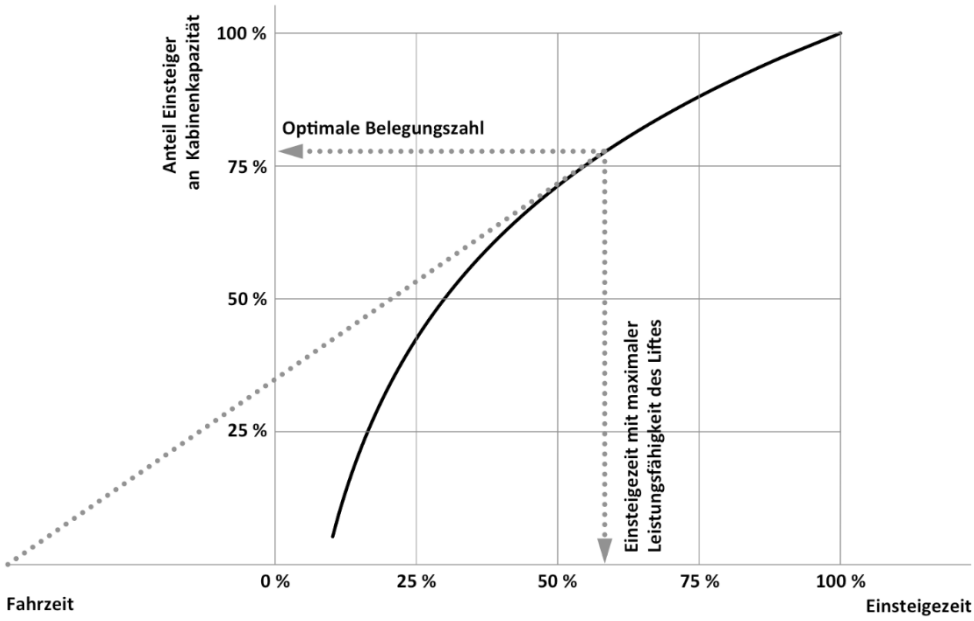


Abb. 10 Grafische Bestimmung der leistungsfähigkeitsoptimalen Passagiergruppengrösse

Die Füllkurve für gebräuchliche Liftkabinen ist folgendem Diagramm zu entnehmen:

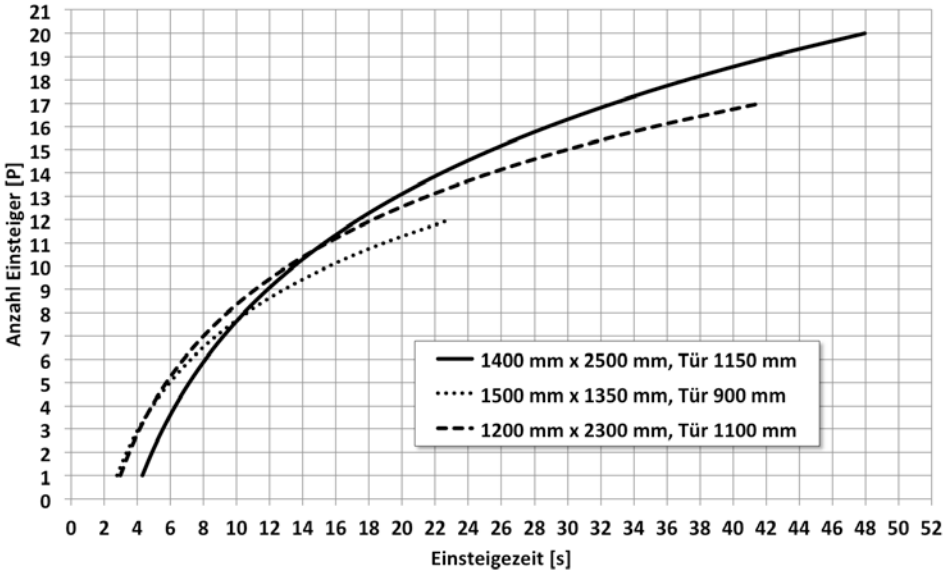


Abb. 11 Füllkurven für gebräuchliche Liftkabinen

Fahrtreppe

Die Leistungsfähigkeit von Fahrtreppen ist von der lichten Innenbreite, dem Neigungswinkel, der Fussgängerdichte sowie der Geschwindigkeit der Fahrtreppe abhängig. Sie wird berechnet durch:

$$L_R = v_{R,s} \cdot cos\alpha \cdot B_N \cdot D$$

wobei

L_R	Leistungsfähigkeit der Fahrtreppe [P/s]
$v_{R,S}$	Schräggeschwindigkeit der Fahrtreppe [m/s]
α	Neigungswinkel der Fahrtreppe [°]
B_N	Nutzbare Breite [m]
D	Fussgängerdichte auf der Fahrtreppe [P/m²]

Mit Eigenbewegung der Fussgänger wird die Leistungsfähigkeit der Fahrtreppe wie folgt errechnet:

$$L_R = q_{T,b} \cdot F_{St} \cdot \left(\frac{v_{R,s}}{a_R} + \frac{v_{F,v}}{h_R}\right) + (1 - q_{T,b}) \cdot F_{St} \cdot \frac{v_{R,s}}{a_R}$$

wobei

L_R	Leistungsfähigkeit der Fahrtreppe [P/s]
$q_{T,b}$	Anteil der FG, die sich aktiv auf der Fahrtreppe bewegen [-]
F_{St}	Personen pro Treppenstufe [P]
$v_{R,S}$	Schräggeschwindigkeit der Fahrtreppe [m/s]
a_R	Stufentiefe der Fahrtreppe [m]
$v_{F,v}$	Vertikalgeschwindigkeit der Fussgänger auf der Fahrtreppe [m/s]
h_R	Höhe der Treppenstufe [m]

Liegen keine genaueren Angaben vor, so ist mit einem Anteil von 20 bis 25 % der Fussgänger zu rechnen, die sich aktiv selbst fortbewegen. Die Eigenleistung beträgt dabei 1.0 bis 1.5 Stufen pro Sekunde.

Die spezifische Leistungsfähigkeit wird unter Einbezug der baulichen Breite der Fahrtreppe errechnet:

$$L_{R,s} = \frac{L_R}{B_B}$$

wobei

$L_{R,s}$ Spezifische Leistungsfähigkeit einer Fahrtreppe [P/sm]
B_B Bruttobreite (bauliche Breite der Fahrtreppe [m]

Bei üblichen Fahrtreppen muss zur nutzbaren Breite eine bautechnische Breite von 0.60 m hinzugefügt werden. Ist der anzuwendende Fahrtreppentyp bekannt, so gilt dessen bautechnische Breite.

Die spezifische Leistungsfähigkeit über die Innenbreite in Funktion der Rolltreppengeschwindigkeit ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Es ist kein Eigenleistungsanteil berücksichtigt.

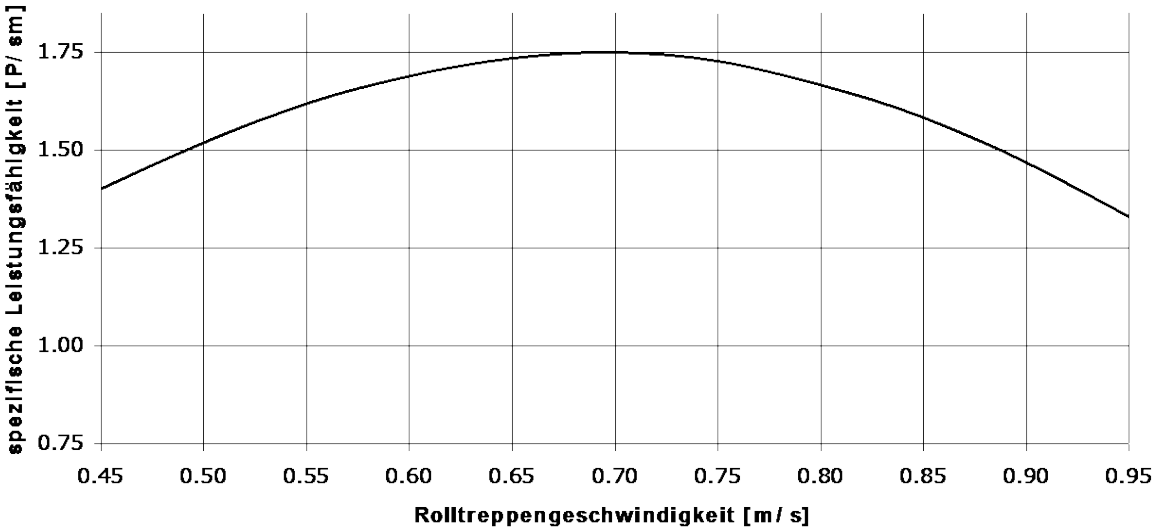


Abb. 12 Zusammenhang praktische spezifische Leistungsfähigkeit (für ein 5-min-Intervall) von der Antriebsgeschwindigkeit bei Fahrtreppen und Fahrsteigen, bezogen auf die lichte Innenbreite

Bei kurzfristigen Stossbelastungen können höhere Leistungsfähigkeiten erzielt werden. Diese dürfen nicht zur Dimensionierung verwendet werden, sondern dienen nur der Kontrolle.

Tab. 12: Steigerung der Leistungsfähigkeit von Fahrtreppen durch Stossbelastungen

Intervall	Steigerungsrate [%]	Leistungsfähigkeit [P/sm]
Bemessungswert		1.75
60s	+ 9	1.91
30s	+ 16	2.03
15s	+ 23	2.15

26 Verkehrsqualität

Für Rolltreppen und Lifte gelten folgende Verkehrsqualitätstufen:

Tab. 13: Qualitätsstufen für mechanische Anlagen

VQS	Qualitätsstufen	
	Rolltreppen	Lifte
	[P/m^2]	
A	< 0.65	< 0.95
B	0.65 – 0.80	0.95 – 1.30
C	0.80 – 1.00	1.30 – 1.65
D	1.00 – 1.25	1.65 – 2.20
E	1.25 – 2.40	2.20 – 4.50
F	> 2.40	> 4.50

27 Dimensionierung

Die spezifische Leistungsfähigkeit für verschiedene VQS beträgt:

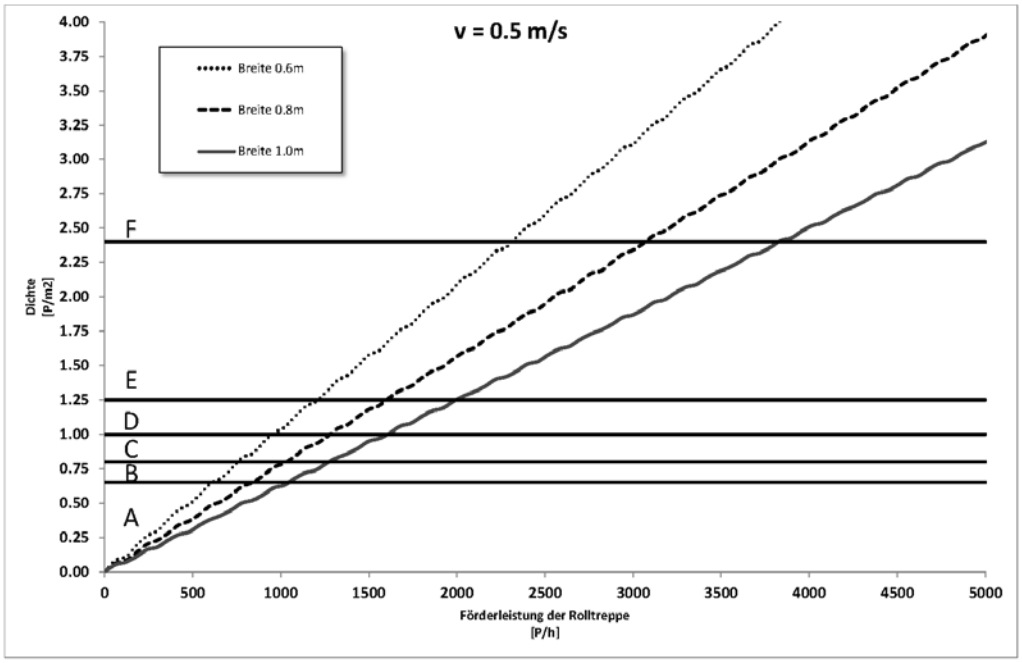


Abb. 13 VQS-Einstufung für Rolltreppen mit v = 0.5m/s

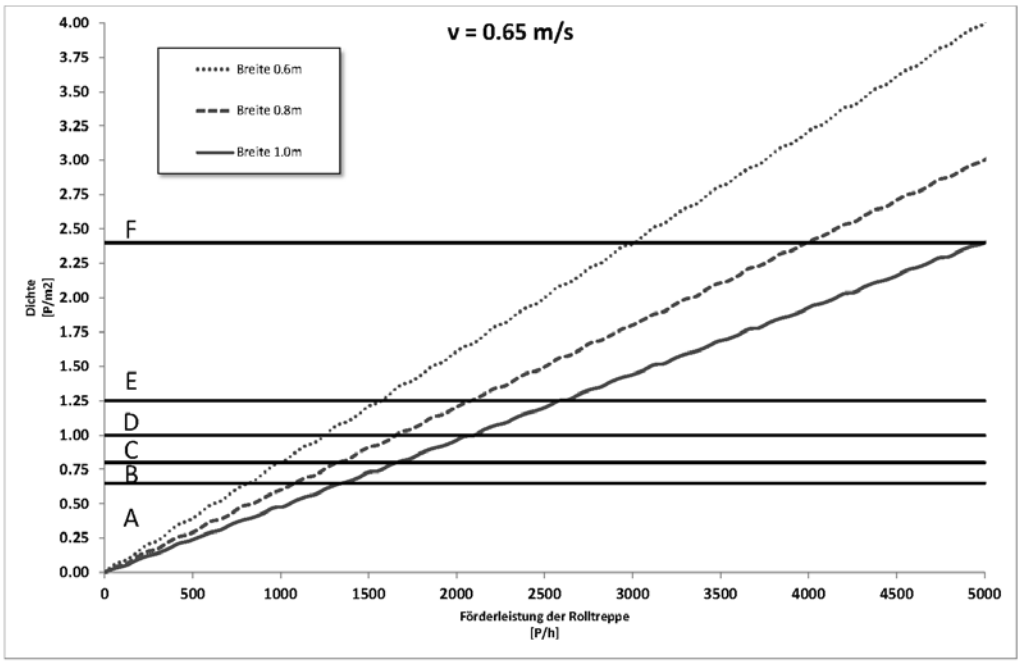


Abb. 14 VQS-Einstufung für Rolltreppen mit v = 0.65m/s

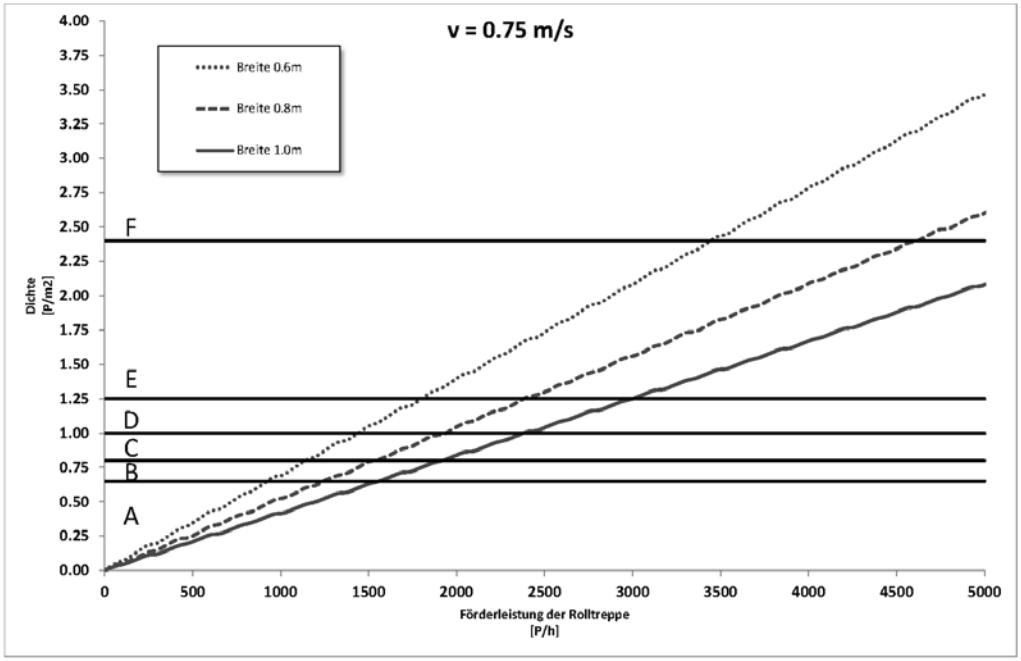


Abb. 15 VQS-Einstufung für Rolltreppen mit v = 0.75m/s

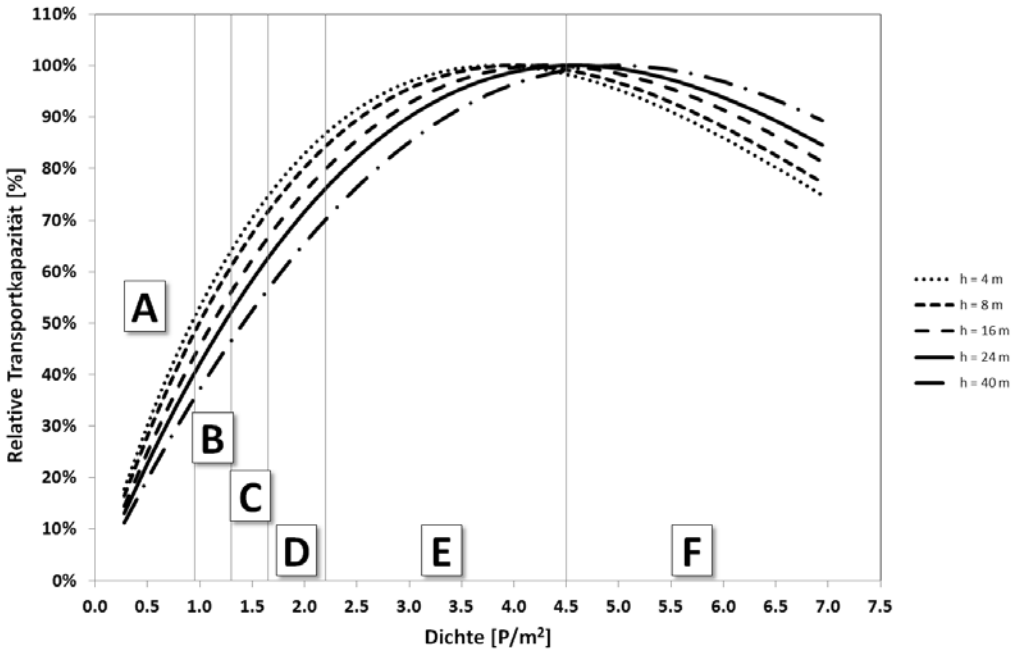


Abb. 16 VQS-Einstufung für Liftanlagen mit v = 1.6 m/s und zugehöriger relativer Transportkapazität

J Anlagen mit primärer Aufenthaltsfunktion

28 Anlagenelemente

Platz

- Ebene Fläche in oder ausserhalb von Gebäuden, auf der sich mehrere Fussgängerströme in unterschiedlichen Winkeln durchdringen.
- Dient je nach Situation sowohl als Raum für die Fortbewegung als auch für den Aufenthalt.
- Abzüge von der effektiv nutzbaren Fläche sind vorzunehmen aufgrund von Bepflanzung, Einbauten, Hindernissen und Attraktionen.

Warte- und Staufläche

- Ebene Fussgängerfläche für den kurzfristigen Aufenthalt.
- Dient als Pufferzone a) beim Übergang auf ein anderes Verkehrssystem (z.B. Wartebereich an einer Bushaltestelle) oder b) vor einem anschliessenden Engpass (z. B. Staufläche an einem Treppenabgang, Aufstellbereich vor einem Serviceschalter).

29 Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit

Allgemeiner Platzbedarf

Einzelne stehende Fussgänger benötigen folgende Flächen:

Tab. 14: Flächenanforderungen von Personen	
	Flächenanspruch [m^2]
Person	0.55 - 0.80
Person mit Gepäck oder mit Schirm	0.80 - 1.00
Person mit Gehstock	0.70 - 0.85
Person mit Gehhilfen	0.90 - 1.00
Person mit Langstock (abzutastender Raum)	0.90 - 1.50
Personen mit Kind bzw. Hund	1.15 – 1.50

Platz (zweidimensionale Bewegung)

Auf Plätzen resp. im Bereich von sich kreuzenden ebenen Gehwegen kann es zu einer Durchmischung von mehreren Funktionen kommen. Im Vermischungsbereich der sich kreuzenden Verkehrsströme soll die Fussgängerdichte den Grenzwert von 0.8 P/m^2 nicht überschreiten, wobei der Zeitmehrbedarf für die Personen beim Überqueren der Fläche ca. 50 % des Wertes im unbehinderten Fall beträgt. Aus dieser Bedingung und der Fläche des Kreuzungsbereichs leitet sich der zulässige Zufluss aus den verschiedenen Zugängen ab.

Wartefläche

Das Fassungsvermögen ist zunächst abhängig von der Dichte und der nutzbaren Fläche. Das zulässige Maximum ist aber nicht nur aus Qualitäts-, sondern gegebenenfalls auch aus Sicherheitsgründen zu beschränken, da die Fussgänger bei zu hohen Dichten den Wartebereich verlassen und einen Gefahrenbereich betreten. Gefahrenbereiche sind zum Beispiel die Strassenfahrbahn und der abmarkierte Gefahrenbereich von Perrons.

Warteflächen dienen oft als Pufferzone beim Übergang zwischen einer Fussgängeranlage und einem anderen Verkehrsmittel, z. B. an einer Bushaltestelle. Die Grösse der Wartefläche sollt so bemessen sein, dass sie mindestens diejenige Anzahl von Personen aufnehmen kann, die im Mittel pro Kurs auf den ÖV wechselt.

Staufläche

Bei Stauflächen erfolgt kein Übergang auf ein anderes Verkehrssystem. Es handelt sich um besondere Warteflächen, bei denen die Fussgänger zu einem (Aufent-) Halt gezwungen werden, weil sich im Übergang zum darauf folgenden Anlagenelement ein Engpass befindet. Dort ist die Kapazität so stark reduziert, dass ein Rückstau entsteht und nachfolgende Fussgänger ebenfalls ihre Geschwindigkeit reduzieren müssen. Das massgebliche Kriterium ist hier der Zeitverlust gegenüber einer ungehinderten Fortbewegung ohne Engpass.

Um sicherheitskritische Situationen, z.B. an Treppenabgängen auf einem Perron zu vermeiden, ist ebenfalls die Berücksichtigung der Personendichte im Staubereich notwendig. Sie wird damit als Hilfsgrösse zur Dimensionierung der Staufläche gebraucht. Letztere muss so gross dimensioniert werden, dass sie alle Personen aufnehmen kann, welche in einem bestimmten Zeitintervall nicht abfliessen können. Dabei sind zu lange Wartezeiten und vor allem dichtebedingte Gefährdungssituationen zu vermeiden.

30 Verkehrsqualität

Für Plätze / Kreuzungen (zweidimensionale Situation) gelten folgende Verkehrsqualitätsstufen:

Tab. 15: Qualitätsstufen für Plätze und Kreuzungen (zweidimensionale Situation)

VQS	Qualitätsstufen Platz / Kreuzungen (zweidimensionale Situation) [P/m²]
A	< 0.15
B	0.15 – 0.25
C	0.25 – 0.35
D	0.35 – 0.45
E	0.45 – 0.80
F	> 0.80

Tab. 16: Qualitätsstufen für Warte- und Stauflächen

VQS	Qualitätsstufen	
	Allgemeine Warteflächen (nicht sicherheitskritisch)	Warteflächen vor LSA, Perrons (sicherheitskritisch)
	[P/m²]	
A	< 0.90	< 0.55
B	0.90 – 1.20	0.55 – 0.75
C	1.20 – 1.50	0.75 – 0.95
D	1.50 – 2.00	0.95 – 1.25
E	2.00 – 4.00	1.25 – 2.50
F	> 4.00	> 2.50

31 Dimensionierung

Die spezifische Leistungsfähigkeit für verschiedene VQS beträgt:

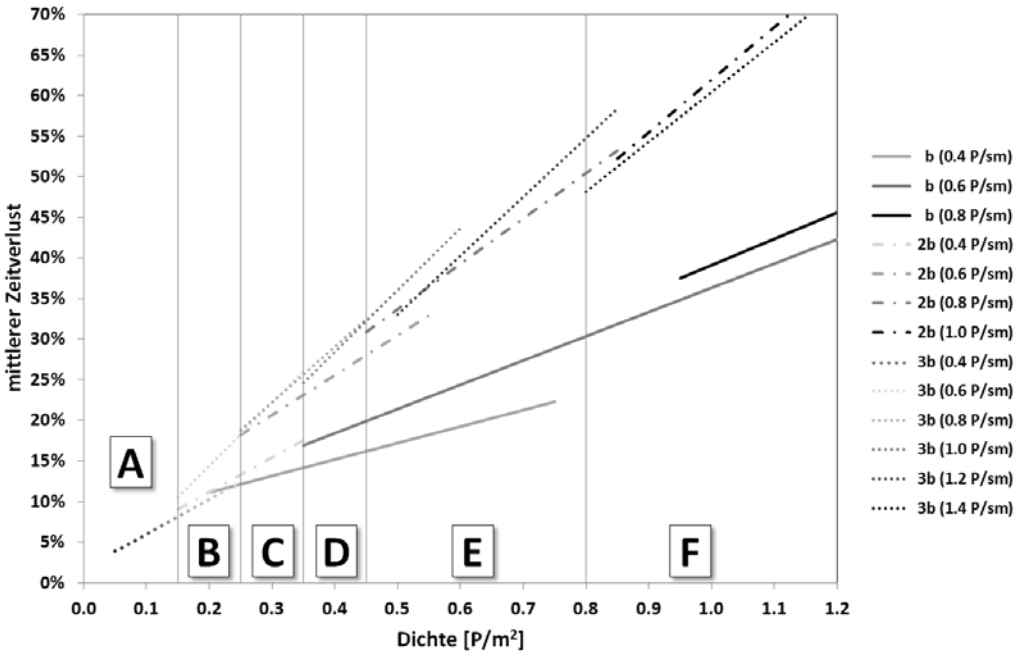


Abb. 17 VQS-Einstufung für Plätze / Kreuzungen (zweidimensionale Anlagen) mit einem Gesamtfluss von 0.4 P/sm bis 1.4 P/sm

32 Gemischt genutzte Flächen

Flächen, welche sowohl dem Warten wie auch der Fortbewegung dienen, sind zur Dimensionierung in fiktive Teilflächen für je eine der beiden Teilfunktionen zu gliedern. Es ist für jede dieser Teilflächen nachzuweisen, dass die geforderten VQS eingehalten werden. Dabei ist die Abgrenzung zwischen den Teilflächen iterativ so lange zu verändern, bis überall die geforderte VQS erreicht ist.

Die fiktiven Teilflächen für das Warten sind dort anzuordnen, wo wartende Personen auftreten werden. Die Teilflächen für die Bewegung sollen durchgehende Spuren auf möglichst direktem Weg zwischen den Quellen und Zielen bilden.

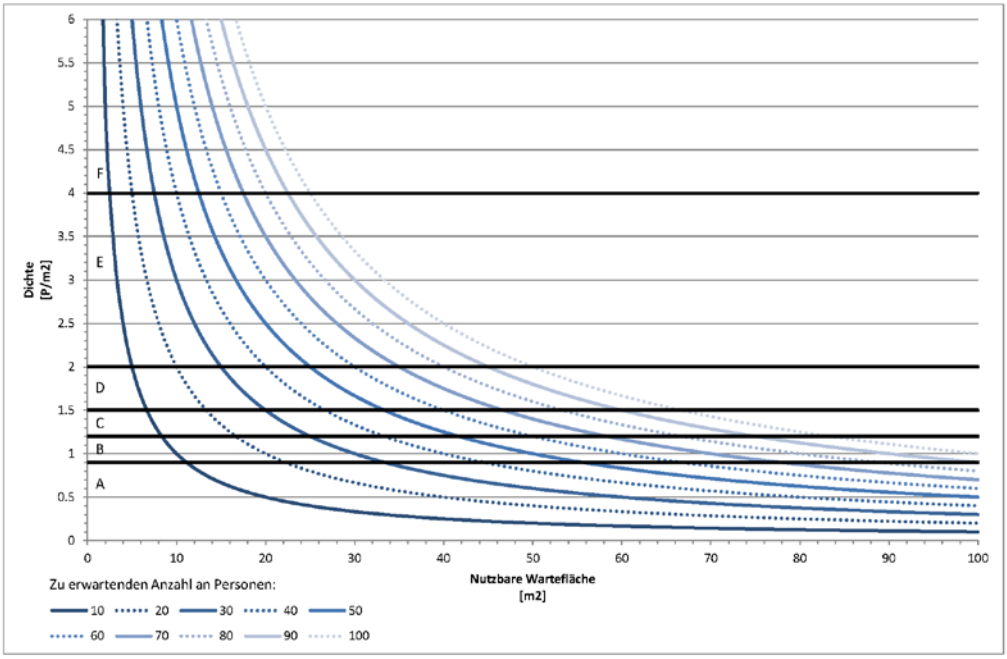


Abb. 18 VQS-Einstufung für allgemeine Warteflächen in Abhängigkeit der Warteflächengrösse (nicht sicherheitskritisch)

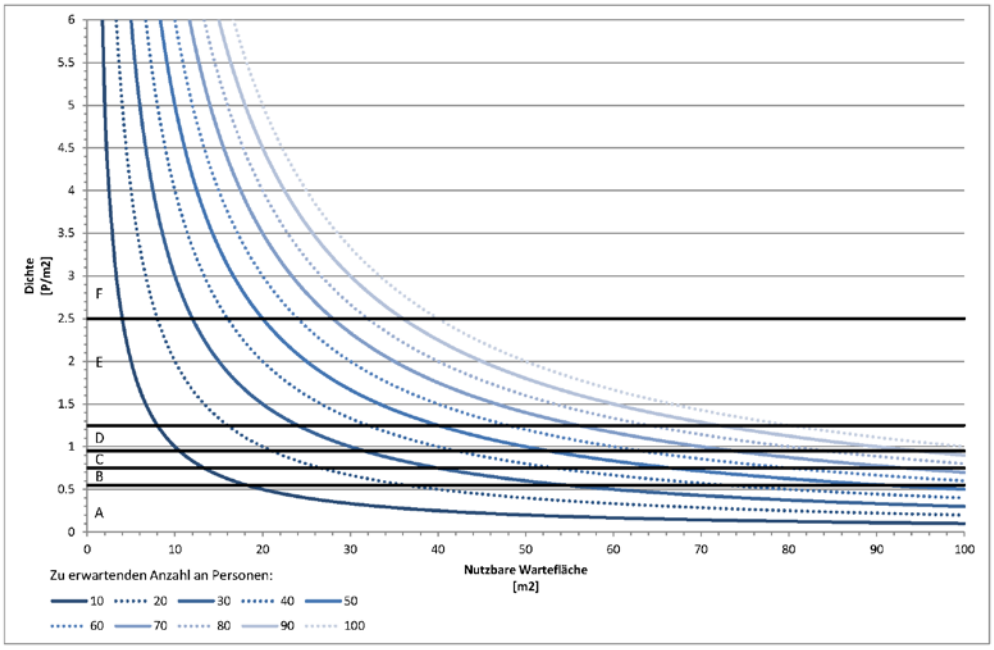


Abb. 19 VQS-Einstufung für Warteflächen vor LSA, Perrons in Abhängigkeit der Warteflächengrösse (sicherheitskritisch)

K Verknüpfungsanlagen

33 Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit

Zugänge zu Anlagen des öffentlichen Verkehrs

Für übliche Zugangssysteme des öffentlichen Verkehrs sowie deren Anwendung in anderen Fällen kann mit folgenden Leistungsfähigkeiten gerechnet werden:

Tab. 17: Durchgangszeiten und Kapazitäten an unterschiedlichen Zugangssystemen zum öffentlichen Verkehr

Art des Zugangs	Leistungsfähigkeit [P/min]
Freier Zugang (einfache Barriere)	40 – 60
Ticketkontrolle durch Personal	25 – 35
Einfacher Eingang mit Münzeinwurf oder Wertmarke	25 – 50
Doppeleingang mit Münzeinwurf	15 – 25
Kartenleser (verschiedene Typen)	25 – 40
Eingangs- und Ausgangsdrehkreuz	20
Ausgangsdrehkreuz	28
Ausgangstür, 0.9m Breite	75
Ausgangstür, 1.2m Breite	100
Ausgangstür, 1.5m Breite	125

Drehsperre / Drehkreuz

Die Leistungsfähigkeit von Drehkreuzen / Drehsperren ist abhängig von der möglichen Durchgangsbreite, der Drehgeschwindigkeit der mechanischen Elemente sowie vom Kontrollsystem. Der Personenfluss von Drehkreuzen liegt zwischen 25 Personen pro Minute für magnetische Systeme und 40 Personen pro Minute für kontaktlose Systeme.

Karusselltür

Die Leistungsfähigkeit von Karusselltüren ist abhängig von der möglichen Durchgangsbreite, der Rotationsgeschwindigkeit der Drehtür, der Fussgängerpopulation und dem Fussgängerfluss. Der Personenfluss bei Karusselltüren liegt zwischen 27 und 39 Personen pro Minute.

L Anwendungsbeispiele

Die folgenden Zahlenbeispiele sind nur zur Darstellung eines einfachen Rechenganges gedacht und lassen sich nicht auf konkrete Projekte übertragen.

34 Ebener Gehweg

Für den Abschnitt eines Trottoirs sollen die spezifische Leistungsfähigkeit sowie die notwendige Fusswegbreite für die Spitzenstunde bestimmt werden. Die Querschnittsbelastung beträgt während der Hauptverkehrszeit am Morgen 7‘200 P/h für Haupt- und Gegenrichtung zusammen. In der geringer belasteten Richtung sind 40 % der Fussgänger unterwegs. Die Benützungsqualität auf dem betrachteten Abschnitt soll mindestens VQS B entsprechen.

Gemäss der Tabelle „Qualitätsstufen für ebene Gehwege“ darf die maximale Personendichte auf diesem Abschnitt 0.45 P/m^2 betragen, um als VQS B eingestuft zu werden. Unter Zuhilfenahme des Diagramms „VQS-Einstufung für ebene Gehwege“ wird für diesen Dichtewert eine zugehörige spezifische Verkehrsstärke von 0.57 P/ms abgelesen. Da es sich nicht um Einrichtungsverkehr handelt, ist dieser Wert entsprechend der Tabelle „Änderung der Kapazität bei Personenströmen im Gegenverkehr in Abhängigkeit des Anteils der Ströme am Gesamtfluss im Querschnitt“ nochmals um 6 % abzumindern. Für die Berechnung wird also ein Wert von 0.54 P/ms herangezogen.

Die gegebene Querschnittsbelastung entspricht einem Fluss von 2 P/s. Dividiert durch den spezifischen Personenfluss ergibt sich eine notwendige Nettobreite des Gehweges von ca. 3.75 m. Um während der betrachtenden Spitzenstunde auf diesem Abschnitt eine VQS B gewährleisten zu können, muss die Breite des Trottoirs abzüglich der Verlustbreiten gemäss Tabelle „Verlustbreite zur Berechnung der Leistungsfähigkeit“ mindestens dieser ermittelten Nettobreite entsprechen.

35 Platz

Im Rahmen einer Verkehrsberuhigungsmassnahme soll der Verflechtungsbereich von vier sich rechtwinklig kreuzenden Gehwegen dimensioniert werden. Insgesamt wird die Fläche in der Spitzenzeit pro Stunde von ca. 10‘000 Personen überquert werden. Die Aufteilung der Zuflüsse inkl. der zugehörigen Wegbreiten ist folgender Tabelle zu entnehmen. Gesucht ist die Mindestgrösse des Verflechtungsbereiches, damit es zwischen gehenden Personen nicht zu unbeabsichtigten Körperkontakten kommt und der Zustand auch für sich aufhaltende Personen über längere Zeit noch als angenehm empfunden wird (VQS C). Der mittlere Zeitverlust beim Überqueren der Fläche gegenüber der unbehinderten Bewegung ist ebenfalls anzugeben.

Tab. 18: Zuströme des Verflechtungsbereiches und Wegebreiten

Zuweg	Zufluss [P/h]	Zuwegbreite [m]
1	1755	3.25
2	3780	8.00
3	1485	2.75
4	2970	5.50

In diesem Beispiel wird angenommen, dass sich zusätzlich 20 Elternpaare mit Kind im Kreuzungsbereich aufhalten, welche die Bewegung der Passanten behindern. Mithilfe der Tabelle „Flächenanspruch von Personen“ lässt sich der Platzbedarf dieser zusätzlichen Personen zu 40 m^2 (20 Person mit Kind à 1.25 m^2 plus 20 Personen à 0.75 m^2) bestimmen.

Teilt man den Zufluss [P/h] durch das Produkt aus 3‘600 und der Wegbreite, so erhält man den jeweiligen spezifischen Zufluss [P/sm]. Für Zuweg 4 ergibt sich so ein spezifischer Zufluss von 0.15 P/sm. Aufaddiert ergeben alle Zuflüsse eine Summe von 0.6 P/sm. Dem Diagramm „VQS-Einstufung für Plätze / Kreuzungen (zwei-dimensionale Anlagen) mit einem Gesamtfluss von 0.4 P/sm bis 1.4 P/sm“ ist zu entnehmen, dass bei diesem Wert eine Grösse des Verflechtungsbereiches in Frage kommt, die einem Quadrat mit der dreifachen Seitenlänge der mittleren Zuwegbreite entspricht. Im Beispiel sind dies ca. 14.60 m. Um den Hindernissen in Form der sich aufhaltenden Familien Rechnung zu tragen, wird für diese entsprechend eine Zusatzfläche von 40 m^2 aufgeschlagen. Die Grösse des Verflechtungsbereiches sollte also ca. 254 m^2 (214 m^2 + 40 m^2) betragen. Gegebenenfalls sind weitere Zuschläge aufgrund von festen Einbauten vorzunehmen.

36 Fahrtreppe

Für einen neu zu gestaltenden Bahnhof soll eine Rolltreppe dimensioniert werden. Dabei ist speziell ein Umsteigevorgang im integrierten Taktfahrplan zu betrachten. Während eines Zeitintervalls von 15 min betrage die Belastung der Anlage 600 Personen. Die Benützungsqualität in diesem Fall soll mindestens VQS D entsprechen. Die maximale Rolltreppengeschwindigkeit soll 0.65 m/s nicht überschreiten.

Mithilfe von Tab. 3 wird die Belastung zuerst auf einen Stundenwert hochgerechnet. Dieser ergibt sich zu (600 P/15 min) / 0.3 = 2'000 P/h. Gemäss der Tabelle „Qualitätsstufen für mechanische Anlagen“ darf die maximale Personendichte auf der Rolltreppe 1.25 P/m^2 betragen, um als VQS D eingestuft zu werden. Unter Zuhilfenahme der Diagramme „VQS-Einstufung für Rolltreppen mit v = 0.5 m/s“ und „VQS-Einstufung für Rolltreppen mit v = 0.65 m/s“ kann die nutzbare Rolltreppendimension abgelesen werden. Bei einer Rolltreppengeschwindigkeit von 0.5 m/s liegt keine der Rolltreppenbreiten im angestrebten VQS-Bereich. Bei einer Rolltreppengeschwindigkeit von 0.65 m/s kann eine Rolltreppenbreite von 0.8 m resp. 1.0 m zur Dimensionierung genutzt werden. Die Breite von 0.8 m liegt im oberen Dichtebereich der VQS D wogegen die Breite von 1.0 m noch vom Dichtebereich der VQS C abgedeckt wird. Eine Dimensionierung auf v = 0.65 m/s mit einer Breite von 0.8 m resp. 1.0 m ist möglich.

37 Lift

Im folgenden Rechenbeispiel wird die Kapazität einer Liftanlage am Bahnhof ermittelt, welche ohne Zwischenhalt verkehrt. Die Fahrzeit zwischen den Endpunkten betrage 15 s. Zur Kapazitätsermittlung zuerst ist die optimale Gruppengrösse aus der Füllkurve (Abb. 20) zu bestimmen.

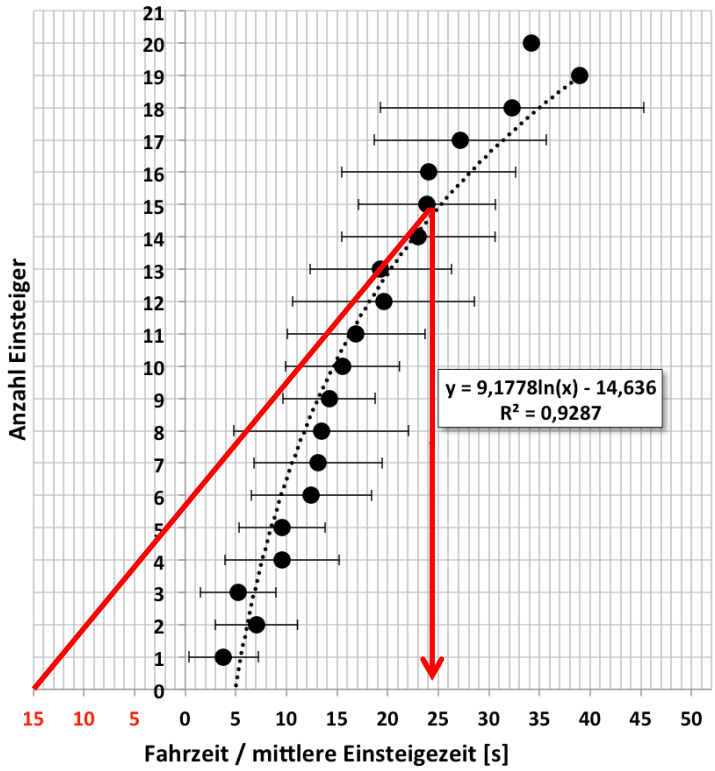


Abb. 20 Füllkurve Kabine

Die Fahrzeit wird auf der, der Einsteigezeit gegenüberliegenden Seite der Abszisse abgetragen. Eine Tangente an die Füllkurve ergibt die Gerade mit dem steilst möglichen Anstieg, also der höchsten Förderleistung der Liftanlage, in Personen pro Zeiteinheit. Im Beispiel ergibt sich bei einer Fahrzeit eine kapazitäts-optimale Gruppengrösse von 15 Personen sowie eine entsprechende Einsteigezeit von 25 s.

Die Haltezeit ergibt sich aus 5 s Zugangs- und Türprozesszeit, 17 s Aussteigezeit und 44 s Einsteigezeit zu insgesamt 66 s. Unter Berücksichtigung der mittleren Fahrgeschwindigkeit von 1.6 m/s, einer Transporthöhe von 24 m und 20 Passagieren erhält man für eine Kabine eine Leistungsfähigkeit von 444 Personen pro Stunde. Unter den gleichen technischen Randbedingungen liegt die Kapazität bei einer Gruppengrösse von 15 Personen (Haltezeit 5 s + 14 s + 25 s = 44 s) bei 458 Personen pro Stunde und Richtung (vgl. Abb. 21).

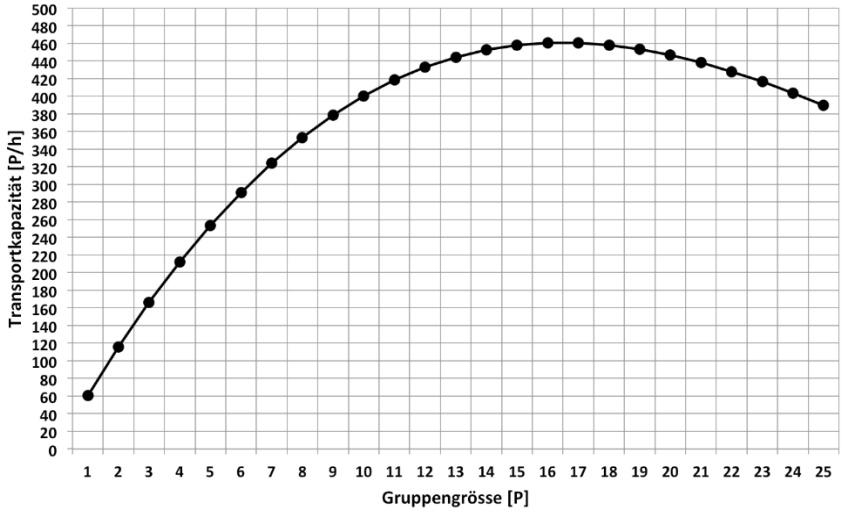


Abb. 21 Leistungsfähigkeit der Liftkabine in Abhängigkeit der Belegung (Kabinenmasse: 1500 mm x 2400 mm, Türbreite: 1150 mm)

38 Querungsfläche signalisierte Fussgängerfurt

Für eine signalisierte Fussgängerfurt soll die Dichte für den Querungsvorgang ermittelt werden. Der Zustrom zur Anlage beträgt 400 resp. 300 Personen pro 15 Minuten. Die Anlage hat eine Breite von 6 m und eine Länge von 9 m. Die Freigabezeit beträgt 25 s, die Umlaufzeit wird mit 60 s angegeben.

Aus der Breite und der Länge ergibt sich eine Querungsfläche von 54m2. Anhand der Fläche und der Freigabezeit ergibt eine Fläche von 22.5 m2*min, welche dem Fussgängerverkehr während der Freigabezeit zur Verfügung steht. Die mittlere Querungszeit ergibt sich aus der mittleren Querungsgeschwindigkeit der Fussgänger von 1.05 m/s und der Länge der Querung von 9 m zu 8.6 s. Die gesamte Belegungszeit für die Querung ist das Produkt aus der Überquerungszeit und der Anzahl an Fussgängern, welche die Querung während eines Umlaufs benutzen. Die gesamte Belegungszeit beträgt somit 6.69 P*min. Dividiert man die Belegungszeit durch die Zeit-Fussgängerfläche von 22.5 m2*min so erhält man eine Dichte von 0.3 P/m2 für die Querungsfläche.

M Literaturverzeichnis

[1] SN 640 017: Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Grundlagennorm

[2] SN 640 070: Fussgängerverkehr - Grundnorm

[3] Weidmann, U., U. Kirsch, E. Puffe, D. Jacobs, C. Pestalozzi und V. Conrad: Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des leichten Zweirad- und des Fussgängerverkehrs, Forschungsbericht, Bundesamt für Strassen, VSS 2007/306, Bern 2013

[4] Scherer, M.: Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr – Vorstudie, Forschungsbericht, Bundesamt für Strassen. SVI 2007/005, Bern 2009

[5] Buchmüller, S: Parameters of pedestrians, pedestrian traffic and walking facilities. Schriftenreihe / Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme. Zürich, ETH Zurich: 48 S., 2007

[6] Weidmann, U.: Transporttechnik der Fussgänger - Transporttechnische Eigenschaften des Fussgängerverkehrs - Literaturauswertung. Zürich, IVT, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau. Nr 90, 1993

VII Abkürzungen Fussgängerverkehr

Begriff	Bedeutung
BASt	Bundesanstalt für Strassenwesen
CH	Schweiz
EAE	Empfehlungen für die Anlagen von Erschliessungstrassen
EAHV	Empfehlungen für die Anlagen von Hauptverkehrsstrassen
EFA	Empfehlungen für Fussgängeranlagen
FG	Fussgänger
FGSV	Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen
HBS	Handbuch für die Bemessung von Fussgängerverkehrsanlagen
HCM	Highway Capacity Manual
LF	Leistungsfähigkeit
VQS	Level-of-Service
MA	mechanische Anlagen
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NMA	nicht-mechanische Anlagen
ÖV	Öffentlicher Verkehr
RF	Radfahrer (Velofahrer)
SN	Schweizer Norm
SVG	Strassenverkehrsgesetz
SVI	Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten
TRB	Transportation research board
VQ	Verkehrsqualität
VQS	Verkehrsqualitätsstufe(n)
VRV	Verkehrsregelverordnung
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen und Verkehrsfachleute

Literaturverzeichnis Radverkehr

ASTRA 2008	Bundesamt für Strassen ASTRA (2008): Planung von Velorouten – Handbuch; Vollzugshilfe Langsamverkehr Nr. 5, Bern
ASTRA 2003	Bundesamt für Strassen ASTRA (2003): Strassen mit Gemischtverkehr: Anforderungen aus Sicht der Zweiradfahrer; M. Reichenbach, R. Affolter; Forschungsbericht 1046; VSS, Zürich
ASTRA 2001	Bundesamt für Strassen ASTRA (2001): Führung des leichten Zweiradverkehrs auf Strassen mit öffentlichem Verkehr; C. Pestalozzi, Dr. S. Lagger, F. Schmid; Forschungsbericht 483; VSS, Zürich
ASTRA 1994	Bundesamt für Strassen ASTRA (1994): Projektierung von Radverkehrsanlagen; P. Bürkel, C. Pestalozzi; Forschungsbericht 324; VSS, Zürich
Bast 1993	Bast (1993): Verkehrssichere Anlage und Gestaltung von Radwegen; Verkehrstechnik Heft V9; Bergisch Gladbach
Bast 1998	Bast (1998): Bewertung der Attraktivität von Radverkehrsanlagen; Verkehrstechnik Heft V56; Bergisch Gladbach
Bast 2003/1	Bast (2003): Verkehrsqualität unterschiedlicher Verkehrsteilnehmerarten an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage; Verkehrstechnik Heft V100; Bergisch Gladbach
Bast 2003/2	Bast (2003): Bemessung von Radverkehrsanlagen unter verkehrstechnischen Gesichtspunkten; Verkehrstechnik Heft V103; Bergisch Gladbach
Bern 1989	Baudirektion des Kantons Bern (1989): Zweiradanlagen, Empfehlungen für Massnahmen; Bern
CED 2012	Cycling Embassy of Denmark (2012): Collection of Cycling Concepts 2012; Denmark
CROW 1994	CROW (1994): Radverkehrsplanung von A bis Z; Niederlande
FGSV 2005	FGSV (2005): HBS Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen; Köln
Münster 1995	Stadt Münster (1995): Gemeinsame Benutzung von Sonderfahrstreifen durch Bus- und Radverkehr; W. Angenendt, U. Neumann; Münster
NCDC 1983	National Capital Development Commission (1983): Cycleways; Technical Paper 37; Canberra
TRB 2000	Transportation Research Board (TRB) (2000): Highway Capacity Manual 2000 (HCM2000); TRB
TRB 2010	Transportation Research Board (TRB) (2010): Highway Capacity Manual 2010 (HCM2010); TRB
Allen 1998	Allen, D.P., Rouphail, N., Hummer, J.E., Milazzo, J.S. (1998): Operational Analysis of Uninterrupted Bicycle Facilities; Transportation Research Record, 1636, S. 29-36
Borgman 2003	Borgman, F. (2003): The Cycle Balance: benchmarking local cycling conditions; Published in: Rodney Tolley (ed.) (2003), Sustaining sustainable transport: planning for walking and cycling in urban environments; Cambridge (UK)
Botma 1995	Botma, H. (1995): Method to Determine Level of Service for Bicycle Paths and Pedestrian-Bicycle Paths; Transportation Research Record, 1502, S. 38-44
Jensen 2007	Jensen, S.U. (2007): Pedestrian and Bicyclist Level of Service in Roadway Segments; Transportation Research Record, 2031, S. 43-51
Landis 1997	Landis, B.W., V.R. Vattikuti und M.T. Brannick (1997): Real time human perceptions: towards a bicycle level of service, Transportation Research Record, 1578, S. 119-126
Petrisch 2007	Petritsch, T.A., B.W. Landis, H.F. Huang, P.S. McLeod, D. Lamb, W. Farah und M. Guttenplan (2007): Bicycle Level of Service for Arterials, Transportation Research Record, 2031, S. 34-42
Scherer 2010	Scherer, M., Spacek, P., Weidmann, U. (2010): Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr – Vorstudie; Forschungsbericht ASTRA 1277; SVI, Zürich
Schopf 1985	Schopf, J. M. (1985): Bewegungsabläufe und Qualitätsstandards für Fussgänger, Radfahrer und Kfz-Verkehr; Dissertation an der Fakultät für Bauingenieurwesen, TU Wien; Wien
Stinson 2003	Stinson, M. und C. Bhat (2003): An Analysis of Commuter Bicyclist Route Choice Using a Stated Preference Survey; Transportation Research Record, 1828, S. 107-115
VSS 1998	Norm SN 640 017: Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Grundlagennorm; VSS, Zürich
VSS 1999/1	Norm SN 640 022: Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Knoten ohne Lichtsignalanlage; VSS, Zürich
VSS 2008	Norm SN 640 023: Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Knoten mit Lichtsignalanlagen; VSS, Zürich
VSS 2006	Norm SN 640 024: Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Knoten mit Kreisverkehr; VSS, Zürich
VSS 1995	Norm SN 640 060: Leichter Zweiradverkehr – Grundlagen; VSS, Zürich
VSS 2001	Norm SN 640 064: Führung des leichten Zweiradverkehrs auf Strassen mit öffentlichem Verkehr; VSS, Zürich

VSS 1992	Norm SN 640 201: Geometrisches Normalprofil; Grundabmessungen und Lichtraumprofil der Verkehrsteilnehmer; VSS, Zürich
VSS 2003	Norm SN 640 240: Querungen für den Fussgänger- und leichten Zweiradverkehr – Grundlagen; VSS, Zürich
VSS 2010/1	Norm SN 640 246: Querungen für den Fussgänger- und leichten Zweiradverkehr – Unterführungen; VSS, Zürich
VSS 2010/2	Norm SN 640 247: Querungen für den Fussgänger- und leichten Zweiradverkehr – Überführungen; VSS, Zürich
VSS 1999/2	Norm SN 640 252: Knoten - Führung des leichten Zweiradverkehrs; VSS, Zürich

Literaturverzeichnis Fussgängerverkehr

Atzwanger 1995	Lebensraum Straße: Aspekte menschlicher Gehgeschwindigkeit. Zolltexte, Zeitschrift der österreichischen LandschaftsplanerInnen und LandschaftsökologInnen 5: 19-21. 1995
BaunetzWissen 2010	Baunetz und Wissen - Aufzüge und Fahrtreppen. Dezember 2010, Zugriff unter: http://www.baunetzwissen.de/index/Aufzuege-und-Fahrtreppen_522.html
BAV 2011	Forschungsbericht - Abstände auf Perrons. Bern, Bundesamt für Verkehr, 2011
Blue 2000	Modeling Four-Directional Pedestrian Flows. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1710(-1): 20-27. 2000
Brilon 1994	Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufes auf Strassen Bonn-Bad Godesberg, 1994
Buchmüller 2007	Parameters of pedestrians, pedestrian traffic and walking facilities. Schriftenreihe / Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme. Zürich, ETH Zurich: 48 S., 2007
Buchmüller 2008	Handbuch zur Anordnung und Dimensionierung von Fussgängeranlagen in Bahnhöfen - Interne Studie für die Schweizerischen Bundesbahnen. Zürich, 2008
Daamen 2007a	Capacity and Capacity Drop of a Revolving Door, 2007a
Daamen 2007b	Capacity and Capacity Drop of a Revolving Door. Traffic and Granular Flow '07: 45-54, 2007b
DIN 2009	DIN EN 115 - Sicherheit von Fahrtreppen und Fahrsteigen - Teil 1: Konstruktion und Einbau, D. I. f. N. e. V,
FGSV 2005	Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen - HBS, Köln
FGSV 2010	Richtlinien für Lichtsignalanlagen, RiLSA Lichtzeichenanlagen für den Strassenverkehr, Köln
Fruin 1971	Gastroscopy. Gastroenterology 61(4): 632-&. 1971
Fruin 1985a	Passenger information systems for transit transfer facilities. Washington, D.C., Transportation Research Board - National Research Council. 1985a
Fruin 1985b	Passenger information systems for transit transfer facilities. Synthesis of transit practice(7): 40 p. 1985b
Helbing 1995	Social Force Model for Pedestrian Dynamics. Physical Review E 51(5): 4282-4286. 1995
Helbing 1997	Verkehrsdynamik neue physikalische Modellierungskonzepte. Berlin [etc.], Springer. 1997
Helbing 2002	Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations. Pedestrian and Evacuation Dynamics: 21-58, 452. 2002
Hoogendoorn 2004	Applying microscopic pedistrian flow simulation to railway station design evaluation in Lisbon TRB No. 1878: pp. 83-94. 2004
Hoogendoorn 2005	Pedestrian behavior at bottlenecks. Transportation Science 39(2): 147-159. 2005
Kamelger 2000	The eternal city measured in seconds: Influence of green environments on walking pace in Rome. Homo 51: S63-S63. 2000
Khisty 1985	Pedestrian Cross Flow Characteristics and Performance. Environment and Behavior 17(6): 679-695. 1985
Khisty 1994	Evaluation of Pedestrian Facilites: Beyond the Level-of-Service Concept. Transportation Research Record(1438): p. 45-50. 1994
Kinsey 2011	Vertical transport evacuation modelling, University of Greenwich, 2011
Lanz R. 2006	Dimensionierung der fussgängerflächen von Haltestellen des strassengebundenen öffentlichen Verkehrs Forschungsauftrag VSS 1998/187. Zürich 2006
Navin 1969	PEDESTRIAN FLOW CHARACTERISTICS. Traffic Engineering, Inst Traffic Engr 39. 1969
Oeding 1963	Verkehrsbelastung und Dimensionierung von Gehwegen und anderen Anlagen des Fussgängerverkehrs. Bonn, Bundesminister für Verkehr. Heft 22, 1963
OSMA 2010	OSMA - Aufzüge, Förderleistungsberechnung. 2010, Zugriff unter: http://www.osma-aufzuege.de/
Otis 2010	Otis Österreich - Aufzüge - Fakten für Ihre Planung. 2010, Zugriff unter: http://www.otis.com/site/at
Puffe 2009	Empirische Untersuchungen zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit von Rolltreppen in Personenverkehrsanlagen und Entwurf einer Bemessungsmethodik Diploma Thesis, August 2009, Fakultät Kraftfahrzeugtechnik i.G., Westsächsische Hochschule Zwickau, Zwickau, 2009
Scherer 2009	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr – Vorstudie, Forschungsbericht Bundesamt für Strassen. SVI 2007/005,. Bern 2009
Schindler 2010a	Planungsnavigator - Visionen werden Wirklichkeit. Aufzüge, Fahrtreppen und Fahrsteige effizient und nachhaltig planen. 2010a

Schindler 2010b	Planungsleitfaden für Fahrtreppen und Fahrsteige - Schritt für Schritt zur optimalen Läsung, Zugriff unter: http://www.schindler.de/deu_schindler_planung.pdf, Dezember 2010
Schnabel 1980	Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Strassenverkehrsplanung. Berlin, Transpress. 1980
Schürch 1973	Fussgänger im Verkehr, Eine Literaturauswertung. Zürich ETHZ Lehrstuhl für Verkehrsingenieurwesen, 1973
Seyfried 2005	The fundamental diagram of pedestrian movement revisited. Journal of Statistical Mechanics-Theory and Experiment: -. 2005
Seyfried 2010	Enhanced Empirical Data for the Fundamental Diagram and the Flow Through Bottlenecks. Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008. W. W. F. Klingsch, C. Rogsch, A. Schadschneider and M. Schreckenberg, Springer Berlin Heidelberg: 145-156. 2010
Still 2000	Crowd dynamics, University of Warwick 2000
Stollof 2007	Pedestrian signal safety for older persons. Zugriff unter: http://www.aaafoundation.org/pdf/PEDsigtiming.pdf
TCRP 2003	Transit capacity and quality of service manual,
TRB 2000	Highway capacity manual HCM 2000, C. National Research, TRB
TRB 2010	Highway capacity manual HCM 2010, C. National Research, TRB
VSS 1992	Norm SN 640837 - Lichtsignalanlagen, Übergangszeiten und Mindestzeiten, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich
VSS 1998a	Norm SN 640016a - Massgebender Verkehr, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich
VSS 1998b	Norm SN 640017a - Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Grundlagennorm, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich
VSS 2006	Norm SN 640246 - Querungen für den Fussgänger- und leichten Zweiradverkehr; Unterführungen, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich
VSS 2009	Fussgängerverkehr, Grundnorm, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich
Weidmann 1993	Transporttechnik der Fussgänger - Transporttechnische Eigenschaften des Fussgängerverkehrs - Literaturauswertung. Zürich, IVT, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau. Nr 90, 1993
Weidmann 2008	Studie Personenhydraulik - Evaluation und Einsatz von Fussgängersimulationsprogrammen. IVT, ETH Zurich, 2008
Weidmann 2009	Infrastrukturen spurgeführter Systeme Band 3.2, Anlagenprojektierung, Vorlesungsskript, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, Zürich
Weidmann 2010	Bahninfrastruktur, Anlagenprojektierung Band 3.2, Vorlesungsskript / Institut für Verkehrsplanung, IVT, ETH, Zürich
Westphal 1972	Ein Beitrag zur Leistungsfähigkeit von Rolltreppen im U-Bahn-Berufsverkehr. Verkehr und Technik 5: 185-196. 1972
Westphal 1974	Leistungsfähigkeit fester Bahnsteigtreppen im Berufsverkehr der Deutschen Bundesbahn. Österreichische Ingenieur-Zeitung 17. Jg.(11): 377-385. 1974
Wilson 1980	Age-related differences in the road crossing behaviour of adult pedestrians. Crowthorne, Safety Dep., Transport and Road Research Laboratory. 1980

Projektabschluss

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK
Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 19.04.2013

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2007/306

Projekttitel: Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des leichten Zweirad- und des Fussgängerverkehrs

Enddatum: 31.03.2013

Texte

Zusammenfassung der Projektresultate:

Zweiradverkehr

Die Auswertung der Literatur erfolgte nach den Aspekten Leistungsfähigkeit, Merkmale der Verkehrsqualität und Bemessungsverfahren. Werte zur Leistungsfähigkeit sind nur für Radstreifen und Radwege vorhanden, wobei die vorhandenen Angaben sehr stark variieren. Ebenso sind die Qualitätsmerkmale primär für die Elemente des Längsverkehrs vorhanden, fehlen aber weitgehend für Warteräume und Querungen. Für die Bemessung der Qualität finden sich in der Literatur ganz unterschiedliche Ansätze. Für Radstreifen und Radwege wurde der amerikanische Ansatz über die Anzahl der Begegnungsereignisse (Begegnen und Überholen) weiter verfolgt. Für die Übertragbarkeit des Ansatzes aus dem Highway Capacity Manual wurden auf Radstreifen sowie Rad- und Fusswegen die Geschwindigkeitsverteilungen des Radverkehrs erhoben. Diese Messungen ergaben, dass die mittlere Geschwindigkeit deutlich über den verwendeten Werten in den USA, aber auch in Deutschland liegt und die Standardabweichung höher ist. Dieses Ergebnis ist u.a. auf das Vorhandensein von E-Bikes zurückzuführen. Da zur Beurteilung von Warteräumen in der Literatur keine Angaben zu finden waren, wurden verschiedene Warteräume mittels Videobeobachtungen unter-sucht. Die Resultate ermöglichten eine empirische Herleitung für ein Bemessungsverfahren.

Als Messgrösse für die Verkehrsqualität wird je nach Anlage folgendes empfohlen:
• Warteraum auf Radstreifen bei Knoten mit Lichtsignalanlage: Verhältnis von Räumzeit des Warteraums zu Grünzeit.
• Radweg-Querungen ohne Lichtsignalanlage: mittlere Wartezeit.
• Radstreifen, Radwege sowie Rad- und Fusswege: Anzahl Begegnungsereignisse pro Stunde über einen Kilometer.

Zur Berechnung der Räumzeit eines Warteraums wurde eine empirische Formel hergeleitet, in welcher die Radverkehrsmenge, die Aspekte der Signalsteuerung und die Breite des Radstreifens bzw. das Vorhandensein einer Aufweitung berücksichtigt sind. Das Verfahren zur Beurteilung der Qualität einer Radwegquerung lehnt sich im Wesentlichen an das bekannte Verfahren für Knoten ohne Lichtsignalanlage an. Die Berücksichtigung gleichzeitig querender Radfahrer wurde empirisch aus den Videobeobachtungen ermittelt. Für die Längselemente Radstreifen, Radweg sowie Rad- und Fussweg wurde der amerikanische Ansatz übernommen. Die Übertragbarkeit für die Zuordnung der Anzahl Begegnungsereignisse zu den Verkehrsqualitätsstufen auf Schweizer Verhältnisse konnte dabei nicht überprüft werden. Für den Radverkehr auf kombinierten Bus-Radstreifen werden keine Verkehrsqualitätsstufen empfohlen. Bei diesem Anlagetyp steht die Qualität, insbesondere die Fahrplanstabilität, des öffentlichen Verkehrs im Vordergrund.

Fussgängerverkehr

Grundlegend für die Entwicklung des Bemessungsverfahrens war die Herleitung einer allgemein gültigen Anlagensystematik. Sie gliedert sich in der obersten Betrachtungsebene nach den beiden Arten der primären Funktion: Fortbewegung oder Aufenthalt. Angesichts ihrer zunehmenden Verbreitung wurden mechanische Anlagen in Form von Personenaufzügen und Fahrtreppen ebenfalls erfasst.
Die Auswertung der vorhandenen Literaturquellen erfolgte geordnet nach Aspekten der Leistungsfähigkeit, der Verkehrsqualität sowie der Dimensionierung. Es zeigte sich, dass die bisherigen Untersuchungen zumindest teilweise Rückschlüsse auf die Ermittlung der Qualitätsstufen (VQS) zulassen. Bezüglich der Leistungsfähigkeit finden sich insbesondere für Anlagen des Aufenthalts und der Verknüpfung nur wenige verwertbare Angaben. Für Liftanlagen wurden im Ausland bereits Dimensionierungsansätze vorgestellt. Diese nehmen jedoch nicht Bezug auf die Einteilung nach VQS und sind nicht abgestimmt auf die Projektierung von Anlagen im öffentlichen Raum.
In der vorliegenden Studie wird ein Modulkonzept vorgestellt, welches es ermöglicht, komplexe Fussgängeranlagen aus elementaren Bestandteilen zusammenzufügen. Die Beurteilung der Verkehrsqualität sowie die Dimensionierung erfolgt dabei zunächst für alle Elemente (Module) separat. Im folgenden Arbeitsschritt werden diese logisch zu einer Gesamtanlage kombiniert und an den jeweiligen Schnittstellen gegenseitig abgestimmt. Wichtige Dimensionierungsgrössen sind der Personenfluss, die Verkehrsqualität, bspw. ausgedrückt durch die Personendichte je Quadratmeter, sowie die Wartezeit oder Verlustzeit.
Mithilfe manueller Erhebungen, automatisierter Zählungen und Mikrosimulationen konnten Daten gewonnen werden, welche bestehende Kenntnislücken ausfüllten und dazu dienten, Beurteilungs- und Dimensionierungsmethoden für die untersuchten Anlagentypen zu entwickeln. Erhoben wurde das Verkehrsgeschehen an einer signalisierten Fussgängerquerung, auf einer Fahrtreppe sowie bei einer Liftanlage. Die zweidimensionale Situation wurde mittels Mikrosimulation untersucht.
Für die signalisierte Querung wurden Erkenntnisse gewonnen bezüglich des Verhaltens der Fussgänger im Querungsbereich sowie zur Dimensionierung der Wartefläche am Lichtsignal. Bezüglich der Fahrtreppe wurden vor allem realistische Kapazitätswerte er-mittelt, die deutlich unterhalb der bisher angegeben theoretischen Transportleistung solcher Anlagen liegen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde erstmals die sogenannte Füllkurve für Liftanlagen hergeleitet, die es gestattet, die maximale Kapazität einer solchen Anlage in Abhängigkeit bestimmter Parameter zu bestimmen.

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Das Ziel war die Entwicklung eines Verfahrens, mittels dessen die Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität für Anlagen des Fuss- und Radverkehrs in der Schweiz gemessen werden kann. Weiter war aufgrund dieses Beurteilungskonzeptes jeweils ein Normentwurf zu erstellen, der Empfehlungen für Bemessungsaufgaben enthält. Diese Ziele wurden mit der vorliegenden Arbeit erreicht.

Folgerungen und Empfehlungen:

Die Ergebnisse dieser Arbeit und insbesondere der Normentwurf können für eine einheitliche Beurteilung von Anlagen des Fuss- und Radverkehrs in der Schweiz verwendet werden. Weiter liefern die Ergebnisse wichtige Beiträge für die Entwicklung von verkehrsmittelübergreifenden Beurteilungsverfahren.

Der Normentwurf an sich kann in ein Vernehmlassungsverfahren übernommen werden, um wichtige Rückmeldungen zu erhalten und damit am Ende eine einheitliche und anerkannte Methodik für die Qualitätsmessung zu entwickeln.

Publikationen:

Weidmann, U., U. Kirsch, E. Puffe, D. Jacobs, C. Pestalozzi, V. Conrad (2013) Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des leichten Zweirad- und des Fussgängerverkehrs, Schlussbericht VSS 2007/306, Schriftenreihe, Bundesamt für Strassen, UVEK, Bern

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Weidmann, Prof. Vorname: Ulrich

Amt, Firma, Institut: Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Aufgrund des umfangreichen Literaturstudiums sowie der eigenen empirischen Untersuchungen konnten die Ziele gemäss Ausschreibung erreicht werden. Die Begleitkommission ist mit den Ergebnissen und dem Bericht vollumfänglich einverstanden. Die Arbeit bildet einen Meilenstein bei der Weiterentwicklung zu einem multimodalen Beurteilungskonzept.

Umsetzung:

Für die Umsetzung und Anwendung der Bemessungsverfahren und der entwickelten Normen sind spezifische Fachkenntnisse in Planung und Betrieb von Fuss- und Radverkehrsanlagen nötig. Mit diesem Hintergrund ausgestattet, kann der Anwender eine Qualitätsbeurteilung für einzelne Anlagenteile, oder auch komplexere durchführen.

weitergehender Forschungsbedarf:

Es wird auf Kapitel 12.4 des Forschungsberichtes verwiesen.

Einfluss auf Normenwerk:

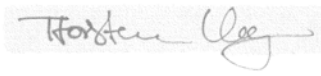
Es wurden 2 eigenständige Entwürfe für eine schweizerische Norm zum Zweirad- und Fussgängerverkehr erarbeitet. Sie stellen einen ersten Schritt hin zu einer multimodalen Qualitätsmessung dar.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Koy Vorname: Thorsten

Amt, Firma, Institut: Rapp Trans AG, Güterstrasse 137, 4018 Basel

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:



Forschung im Strassenwesen des UVEK: Formular 3 Seite 3 / 3

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Stand: 31.10.2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1422	ASTRA 2011/006_OBF	Fracture processes and in-situ fracture observations in Gipskeuper	2013
1421	VSS 2009/901	Experimenteller Nachweis des vorgeschlagenen Raum- und Topologiemodells für die VM-Anwendungen in der Schweiz (MDATrafo)	2013
1420	SVI 2008/003	Projektierungsfreiräume bei Strassen und Plätzen	2013
1419	VSS 2001/452	Stabilität der Polymere beim Heisseinbau von PmB-haltigen Strassenbelägen	2013
1416	FGU 2010/001	Sulfatwiderstand von Beton: verbessertes Verfahren basierend auf der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang D	2013
1415	VSS 2010/A01	Wissenslücken im Infrastrukturmanagementprozess "Strasse" im Siedlungsgebiet	2013
1414	VSS 2010/201	Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen der Strassenausstattung	2013
1413	SVI 2009/003	Güterverkehrsintensive Branchen und Güterverkehrsströme in der Schweiz Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz Teilprojekt B1	2013
1412	ASTRA 2010/020	Werkzeug zur aktuellen Gangliniennorm	2013
1411	VSS 2009/902	Verkehrstelematik für die Unterstützung des Verkehrsmanagements in ausserordentlichen Lagen	2013
1410	VSS 2010/202_OBF	Reduktion von Unfallfolgen bei Bränden in Strassentunneln durch Abschnittsbildung	2013
1409	ASTRA 2010/017_OBF	Regelung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2013
1408	VSS 2000/434	Vieillissement thermique des enrobés bitumineux en laboratoire	2012
1407	ASTRA 2006/014	Fusion des indicateurs de sécurité routière : FUSAIN	2012
1406	ASTRA 2004/015	Amélioration du modèle de comportement individuell du Conducteur pour évaluer la sécurité d'un flux de trafic par simulation	2012
1405	ASTRA 2010/009	Potential von Photovoltaik an Schallschutzmassnahmen entlang der Nationalstrassen	2012
1404	VSS 2009/707	Validierung der Kosten-Nutzen-Bewertung von Fahrbahn-Erhaltungsmassnahmen	2012
1403	SVI 2007/018	Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen	2012
1402	VSS 2008/403	Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten von Geokunststoffen	2012
1401	SVI 2006/003	Akzeptanz von Verkehrsmanagementmassnahmen-Vorstudie	2012
1400	VSS 2009/601	Begrünte Stützgitterböschungssysteme	2012
1399	VSS 2011/901	Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Incentivierung	2012
1398	ASTRA 2010/019	Environmental Footprint of Heavy Vehicles Phase III: Comparison of Footprint and Heavy Vehicle Fee (LSVA) Criteria	2012
1397	FGU 2008/003_OBF	Brandschutz im Tunnel: Schutzziele und Brandbemessung Phase 1: Stand der Technik	2012
1396	VSS 1999/128	Einfluss des Umhüllungsgrades der Mineralstoffe auf die mechanischen Eigenschaften von Mischgut	2012
1395	FGU 2009/003	KarstALEA: Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagbau	2012
1394	VSS 2010/102	Grundlagen Betriebskonzepte	2012
1393	VSS 2010/702	Aktualisierung SN 640 907, Kostengrundlage im Erhaltungsmanagement	2012
1392	ASTRA 2008/008_009	FEHRL Institutes WIM Initiative (Fiwi)	2012
1391	ASTRA 2011/003	Leitbild ITS-CH Landverkehr 2025/30	2012
1390	FGU 2008/004_OBF	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Belchentunnel	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1389	FGU 2003/002	Long Term Behaviour of the Swiss National Road Tunnels	2012
1388	SVI 2007/022	Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren	2012
1387	VSS 2010/205_OBF	Ablage der Prozessdaten bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1386	VSS 2006/204	Schallreflexionen an Kunstbauten im Strassenbereich	2012
1385	VSS 2004/703	Bases pour la révision des normes sur la mesure et l'évaluation de la planéité des chaussées	2012
1384	VSS 1999/249	Konzeptuelle Schnittstellen zwischen der Basisdatenbank und EMF-, EMK- und EMT-DB	2012
1383	FGU 2008/005	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Chienbergtunnel	2012
1382	VSS 2001/504	Optimierung der statischen Eindringtiefe zur Beurteilung von harten Gussasphaltsorten	2012
1381	SVI 2004/055	Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr	2012
1380	ASTRA 2007/009	Wirkungsweise und Potential von kombinierter Mobilität	2012
1379	VSS 2010/206_OBF	Harmonisierung der Abläufe und Benutzeroberflächen bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1378	SVI 2004/053	Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?	2012
1377	VSS 2009/302	Verkehrssicherheitsbeurteilung bestehender Verkehrsanlagen (Road Safety Inspection)	2012
1376	ASTRA 2011/008_004	Erfahrungen im Schweizer Betonbrückenbau	2012
1375	VSS 2008/304	Dynamische Signalisierungen auf Hauptverkehrsstrassen	2012
1374	FGU 2004/003	Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schweissnähte von KDB	2012
1373	VSS 2008/204	Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung	2012
1372	SVI 2011/001	Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen	2012
1371	ASTRA 2008/017	Potenzial von Fahrgemeinschaften	2011
1370	VSS 2008/404	Dauerhaftigkeit von Betonfahrbahnen aus Betongranulat	2011
1369	VSS 2003/204	Rétention et traitement des eaux de chaussée	2012
1368	FGU 2008/002	Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen?	2011
1367	VSS 2005/801	Grundlagen betreffend Projektierung, Bau und Nachhaltigkeit von Anschlussgleisen	2011
1366	VSS 2005/702	Überprüfung des Bewertungshintergrundes zur Beurteilung der Strassengriffigkeit	2010
1365	SVI 2004/014	Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?	2011
1364	SVI 2009/004	Regulierung des Güterverkehrs Auswirkungen auf die Transportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP D	2012
1363	VSS 2007/905	Verkehrsprognosen mit Online -Daten	2011
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung	2012
1360	VSS 2010/203	Akustische Führung im Strassentunnel	2012
1359	SVI 2004/003	Wissens- und Technologientransfer im Verkehrsbereich	2012
1358	SVI 2004/079	Verkehrsanbindung von Freizeitanlagen	2012
1357	SVI 2007/007	Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?	2012
1356	SVI 2007/014	Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen	2011
1355	FGU 2007/002	Prüfung des Sulfatwiderstandes von Beton nach SIA 262/1, Anhang D: Anwendbarkeit und Relevanz für die Praxis	2011
1354	VSS 2003/203	Anordnung, Gestaltung und Ausführung von Treppen, Rampen und Treppenwegen	2011
1353	VSS 2000/368	Grundlagen für den Fussverkehr	2011
1352	VSS 2008/302	Fussgängerstreifen (Grundlagen)	2011
1351	ASTRA 2009/001	Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels	2011
1350	VSS 2007/904	IT-Security im Bereich Verkehrstelematik	2011
1349	VSS 2003/205	In-Situ-Abflussversuche zur Untersuchung der Entwässerung von Autobahnen	2011
1348	VSS 2008/801	Sicherheit bei Parallelführung und Zusammentreffen von Strassen mit der Schiene	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1347	VSS 2000/455	Leistungsfähigkeit von Parkierungsanlagen	2010
1346	ASTRA 2007/004	Quantifizierung von Leckagen in Abluftkanälen bei Strassentunneln mit konzentrierter Rauchabsaugung	2010
1345	SVI 2004/039	Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen	2011
1344	VSS 2009/709	Initialprojekt für das Forschungspaket "Nutzensteigerung für die Anwender des SIS"	2011
1343	VSS 2009/903	Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr	2011
1342	FGU 2005/003	Untersuchungen zur Frostkörperbildung und Frosthebung beim Gefrierverfahren	2010
1341	FGU 2007/005	Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground	2011
1340	SVI 2004/051	Aggressionen im Verkehr	2011
1339	SVI 2005/001	Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten	2010
1338	VSS 2006/902	Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit	2009
1337	ASTRA 2006/015	Development of urban network travel time estimation methodology	2011
1336	ASTRA 2007/006	SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors	2010
1335	VSS 2007/502	Stripping bei lärmmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im Labormassstab	2011
1334	ASTRA 2009/009	Was treibt uns an? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen	2011
1333	SVI 2007/001	Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum	2011
1332	VSS 2006/905	Standardisierte Verkehrsdaten für das verkehrsträgerübergreifende Verkehrsmanagement	2011
1331	VSS 2005/501	Rückrechnung im Strassenbau	2011
1330	FGU 2008/006	Energiegewinnung aus städtischen Tunneln: Systemeevaluation	2010
1329	SVI 2004/073	Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen	2010
1328	VSS 2005/302	Grundlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen von Sicherheitsdefiziten	2011
1327	VSS 2006/601	Vorhersage von Frost und Nebel für Strassen	2010
1326	VSS 2006/207	Erfolgskontrolle Fahrzeugrückhaltesysteme	2011
1325	SVI 2000/557	Indices caractéristiques d'une cité-vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes.	2010
1324	VSS 2004/702	Eigenheiten und Konsequenzen für die Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen im überbauten Gebiet	2009
1323	VSS 2008/205	Ereignisdetektion im Strassentunnel	2011
1322	SVI 2005/007	Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit	2008
1321	VSS 2008/501	Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts	2010
1320	VSS 2007/303	Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen	2010
1319	VSS 2000/467	Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen	2010
1318	FGU 2006/001	Langzeitquellversuche an anhydritführenden Gesteinen	2010
1317	VSS 2000/469	Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen	2010
1316	VSS 2001/701	Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen	2010
1315	VSS 2006/904	Abstimmung zwischen individueller Verkehrsinformation und Verkehrsmanagement	2010
1314	VSS 2005/203	Datenbank für Verkehrsaufkommensraten	2008
1313	VSS 2001/201	Kosten-/Nutzenbetrachtung von Strassenentwässerungssystemen, Ökobilanzierung	2010
1312	SVI 2004/006	Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz	2010
1311	VSS 2000/543	VIABILITE DES PROJETS ET DES INSTALLATIONS ANNEXES	2010
1310	ASTRA 2007/002	Beeinflussung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2010
1309	VSS 2008/303	Verkehrsregelungssysteme - Modernisierung von Lichtsignalanlagen	2010
1308	VSS 2008/201	Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1307	ASTRA 2006/002	Entwicklung optimaler Mischgüter und Auswahl geeigneter Bindemittel; D-A-CH - Initialprojekt	2008
1306	ASTRA 2008/002	Strassenglätte-Prognosesystem (SGPS)	2010
1305	VSS 2000/457	Verkehrserzeugung durch Parkierungsanlagen	2009
1304	VSS 2004/716	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen	2008
1303	ASTRA 2009/010	Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung	2010
1302	VSS 1999/131	Zusammenhang zwischen Bindemitteleigenschaften und Schadensbildern des Belages?	2010
1301	SVI 2007/006	Optimierung der Strassenverkehrsunfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen	2009
1300	VSS 2003/903	SATELROU Perspectives et applications des méthodes de navigation pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route	2010
1299	VSS 2008/502	Projet initial - Enrobés bitumineux à faibles impacts énergétiques et écologiques	2009
1298	ASTRA 2007/012	Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen	2010
1297	VSS 2007/702	Einsatz von Asphaltbewehrungen (Asphalteinlagen) im Erhaltungsmanagement	2009
1296	ASTRA 2007/008	Swiss contribution to the Heavy-Duty Particle Measurement Programme (HD-PMP)	2010
1295	VSS 2005/305	Entwurfsgrundlagen für Lichtsignalanlagen und Leitfaden	2010
1294	VSS 2007/405	Wiederhol- und Vergleichspräzision der Druckfestigkeit von Gesteinskörnungen am Haufwerk	2010
1293	VSS 2005/402	Détermination de la présence et de l'efficacité de dope dans les bétons bitumineux	2010
1292	ASTRA 2006/004	Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes mit eigener Ölmühle	2010
1291	ASTRA 2009/005	Fahrmuster auf überlasteten Autobahnen Simultanes Berechnungsmodell für das Fahrverhalten auf Autobahnen als Grundlage für die Berechnung von Schadstoffemissionen und Fahrzeitgewinnen	2010
1290	VSS 1999/209	Conception et aménagement de passages inférieurs et supérieurs pour piétons et deux-roues légers	2008
1289	VSS 2005/505	Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN	2010
1288	ASTRA 2006/020	Footprint II - Long Term Pavement Performance and Environmental Monitoring on A1	2010
1287	VSS 2008/301	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren	2009
1286	VSS 2000/338	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Strassen ohne Richtungstrennung	2010
1285	VSS 2002/202	In-situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen	2009
1284	VSS 2004/203	Evacuation des eaux de chaussée par les bas-cotés	2010
1283	VSS 2000/339	Grundlagen für eine differenzierte Bemessung von Verkehrsanlagen	2008
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmassnahmen	2010
1281	SVI 2004/002	Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben	2009
1280	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit Verkehrspsychologischer Teilbericht	2010
1279	VSS 2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel	2009
1278	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit - Verkehrstechnischer Teilbericht	2009
1277	SVI 2007/005	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie	2010
1276	VSS 2006/201	Überprüfung der schweizerischen Ganglinien	2008
1275	ASTRA 2006/016	Dynamic Urban Origin - Destination Matrix - Estimation Methodology	2009
1274	SVI 2004/088	Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1273	ASTRA 2008/006	UNTERHALT 2000 - Massnahme M17, FORSCHUNG: Dauerhafte Materialien und Verfahren SYNTHESE - BERICHT zum Gesamtprojekt "Dauerhafte Beläge" mit den Einzelnen Forschungsprojekten: - ASTRA 200/419: Verhaltensbilanz der Beläge auf Nationalstrassen - ASTRA 2000/420: Dauerhafte Komponenten auf der Basis erfolgreicher Strecken - ASTRA 2000/421: Durabilité des enrobés - ASTRA 2000/422: Dauerhafte Beläge, Rundlaufversuch - ASTRA 2000/423: Griffigkeit der Beläge auf Autobahnen, Vergleich zwischen den Messergebnissen von SRM und SCRIM - ASTRA 2008/005: Vergleichsstrecken mit unterschiedlichen oberen Tragschichten auf einer Nationalstrasse	2008
1272	VSS 2007/304	Verkehrsregelungssysteme - behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen	2010
1271	VSS 2004/201	Unterhalt von Lärmschirmen	2009
1270	VSS 2005/502	Interaktion Strasse Hangstabilität: Monitoring und Rückwärtsrechnung	2009
1269	VSS 2005/201	Evaluation von Fahrzeugrückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen	2009
1268	ASTRA 2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebspartikeln des Strassenverkehrs (APART)	2009
1267	VSS 2007/902	MDAinSVT Einsatz modellbasierter Datentransfernormen (INTERLIS) in der Strassenverkehrstelematik	2009
1266	VSS 2000/343	Unfall- und Unfallkostenraten im Strassenverkehr	2009
1265	VSS 2005/701	Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Pilotuntersuchung)	2009
1264	SVI 2004/004	Verkehrspolitische Entscheidfindung in der Verkehrsplanung	2009
1263	VSS 2001/503	Phénomène du dégel des sols gélifs dans les infrastructures des voies de communication et les pergélisols alpins	2006
1262	VSS 2003/503	Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche	2009
1261	ASTRA 2004/018	Pilotstudie zur Evaluation einer mobilen Grossversuchsanlage für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen	2009
1260	FGU 2005/001	Testeinsatz der Methodik "Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten anhand der Messdaten des Lötschberg-Basistunnels	2009
1259	VSS 2004/710	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Synthesebericht	2008
1258	VSS 2005/802	Kaphaltestellen Anforderungen und Auswirkungen	2009
1257	SVI 2004/057	Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassenräumen	2009
1256	VSS 2006/903	Qualitätsanforderungen an die digitale Videobild-Bearbeitung zur Verkehrsüberwachung	2009
1255	VSS 2006/901	Neue Methoden zur Erkennung und Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit	2009
1254	VSS 2006/502	Drains verticaux préfabriqués thermiques pour la consolidation in-situ des sols	2009
1253	VSS 2001/203	Rétention des polluants des eaux de chausées selon le système "infilitrations sur les talus". Vérification in situ et optimisation	2009
1252	SVI 2003/001	Nettoverkehr von verkehrsintensiven Einrichtungen (VE)	2009
1251	ASTRA 2002/405	Incidence des granulats arrondis ou partiellement arrondis sur les propriétés d'ahérence des bétons bitumineux	2008
1250	VSS 2005/202	Strassenabwasser Filterschacht	2007
1249	FGU 2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen	2009
1248	VSS 2000/433	Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt	2008
1247	VSS 2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1246	VSS 2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert	2009
1245	VSS 2004/701	Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs in kommunalen Strassennetzen	2009
1244	VSS 2004/714	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen	2008
1243	VSS 2000/463	Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen	2008
1242	VSS 2005/451	Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut	2007
1241	ASTRA 2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests	2009
1240	ASTRA 2002/010	L'acceptabilité du péage de congestion : Résultats et analyse de l'enquête en Suisse	2009
1239	VSS 2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen	2009
1238	VSS 2005/303	Verkehrssicherheit an Tagesbaustellen und bei Anschlüssen im Baustellenbereich von Hochleistungsstrassen	2008
1237	VSS 2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz	2009
1236	ASTRA 2008/008_07	Analytische Gegenüberstellung der Strategie- und Tätigkeitsschwerpunkte ASTRA-AIPCR	2008
1235	VSS 2004/711	Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen - Standardisierte Erhaltungsmassnahmen	2008
1234	VSS 2006/504	Expérimentation in situ du nouveau drainomètre européen	2008
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten	2009
651	AGB 2006/006_OBF	Instandsetzung und Monitoring von AAR-geschädigten Stützmauern und Brücken	2013
650	AGB 2005/010	Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Betonstählen	2012
649	AGB 2008/012	Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Betonen	2012
648	AGB 2005/023 + AGB 2006/003	Validierung der AAR-Prüfungen für Neubau und Instandsetzung	2011
647	AGB 2004/010	Quality Control and Monitoring of electrically isolated post- tensioning tendons in bridges	2011
646	AGB 2005/018	Interactin sol-structure : ponts à culées intégrales	2010
645	AGB 2005/021	Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton aus Betongranulat	2010
644	AGB 2005/004	Hochleistungsfähiger Faserfeinkornbeton zur Effizienzsteigerung bei der Erhaltung von Kunstbauten aus Stahlbeton	2010
643	AGB 2005/014	Akustische Überwachung einer stark geschädigten Spannbetonbrücke und Zustandserfassung beim Abbruch	2010
642	AGB 2002/006	Verbund von Spanngliedern	2009
641	AGB 2007/007	Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Beton mit Luftpermeabilitätsmessungen	2009
640	AGB 2003/011	Nouvelle méthode de vérification des ponts mixtes à âme pleine	2010
639	AGB 2008/003	RiskNow-Falling Rocks Excel-basiertes Werkzeug zur Risikoermittlung bei Steinschlagschutzgalerien	2010
638	AGB2003/003	Ursachen der Rissbildung in Stahlbetonbauwerken aus Hochleistungsbeton und neue Wege zu deren Vermeidung	2008
637	AGB 2005/009	Détermination de la présence de chlorures à l'aide du Géoradar	2009
636	AGB 2002/028	Dimensionnement et vérification des dalles de roulement de ponts routiers	2009
635	AGB 2004/002	Applicabilité de l'enrobé drainant sur les ouvrages d'art du réseau des routes nationales	2008
634	AGB 2002/007	Untersuchungen zur Potenzialfeldmessung an Stahlbetonbauten	2008
633	AGB 2002/014	Oberflächenschutzsysteme für Betontragwerke	2008
632	AGB 2008/201	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten Testregion - Methoden zur Risikobeurteilung Schlussbericht	2010
631	AGB 2000/555	Applications structurales du Béton Fibré à Ultra-hautes Performances aux ponts	2008
630	AGB 2002/016	Korrosionsinhibitoren für die Instandsetzung chloridverseuchter Stahlbetonbauten	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
629	AGB 2003/001 + AGB 2005/019	Integrale Brücken - Sachstandsbericht	2008
628	AGB 2005/026	Massnahmen gegen chlorid-induzierte Korrosion und zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit	2008
627	AGB 2002/002	Eigenschaften von normalbreiten und überbreiten Fahrbahnübergängen aus Polymerbitumen nach starker Verkehrsbelastung	2008
626	AGB 2005/110	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Baustellensicherheit bei Kunstbauten	2009
625	AGB 2005/109	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen bei Kunstbauten	2009
624	AGB 2005/108	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Risikobeurteilung für Kunstbauten	2010
623	AGB 2005/107	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Tragsicherheit der bestehenden Kunstbauten	2009
622	AGB 2005/106	Rechtliche Aspekte eines risiko- und effizienzbasierten Sicherheitskonzepts	2009
621	AGB 2005/105	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Szenarien der Gefahrenentwicklung	2009
620	AGB 2005/104	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen	2009
619	AGB 2005/103	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Ermittlung des Netzrisikos	2010
618	AGB 2005/102	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung	2009
617	AGB 2005/100	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Synthesebericht	2010
616	AGB 2002/020	Beurteilung von Risiken und Kriterien zur Festlegung akzeptierter Risiken in Folge aussergewöhnlicher Einwirkungen bei Kunstbauten	2009