Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
Bundesamt für Strassen

Verfahren zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit, der Verkehrsqualität und der Belastbarkeit von Verkehrsanlagen

Méthodes pour les calculs de la capacité, du niveau de service et des charges compatibles

Rudolf Keller & Partner Verkehrsingenieure AG, Muttenz
R. Keller, dipl. Bauingenieur ETH
T. Karel, dipl. Bauingenieur ETH

Forschungsauftrag VSS 1995/023 (17/95) auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute

Oktober 2002

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG 4

RESUME 6

SUMMARY 8

1. EINLEITUNG 10

2. FORSCHUNGSZIEL 11

3. VORGEHEN 12

4. METHODISCHES KONZEPT 13
4.1 Verkehrstechnische Dimensionierung 13
4.2 Nachfrage 14
4.3 Angebot 14
4.4 Belastbarkeit 14

5. GRUNDLAGENNORM (SN 640 017a) 15
5.1 Leistungsfähigkeit 15
5.2 Verkehrsqualität 15
5.3 Verfahren 16

6. FREIE STRECKEN AUF AUTOBAHNEN (SN 640 018) 17
6.1 Definition, Geltungsbereich 17
6.2 Grundlagen 17
6.3 Berechnungsverfahren 21
6.4 Ergebnisse 21
6.5 Offene Fragen 25

7. EINFAHRTEN IN HOCHLEISTUNGSSTRASSEN (SN 640 019) 26
7.1 Definition, Geltungsbereich 26
7.2 Grundlagen 27
7.3 Berechnungsverfahren 27
7.4 Ergebnisse 28
7.5 Offene Fragen 29

8. VERFLECHTUNGSSTRECKEN 30
8.1 Einleitung 30
8.2 Grundlagen 30
8.3 Folgerung 31
8.4. Offene Fragen 31

9. HAUPTVERKEHRS- UND VERBINDUNGSSTRASSEN (SN 640 020) 32
9.1 Definition, Geltungsbereich 32
9.2 Grundlagen 32
9.3 Berechnungsverfahren 37
9.4 Ergebnisse 37
9.5 Offene Fragen 39

10. KNOTEN OHNE LICHTSIGNALANLAGE (SN 640 022) 40

11. KNOTEN MIT LICHTSIGNALANLAGE (SN 640 023) 41
11.1 Definition, Geltungsbereich 41
11.2 Grundlagen 41
11.3 Verfahren 41
11.4 Ergebnisse 42
11.5 Offene Fragen 43

12. KNOTEN MIT KREISVERKEHR (SN 640 024) 44
12.1 Definition, Geltungsbereich 44
12.2 Grundlagen 45
12.3 Berechnungsverfahren 49
12.4 Ergebnisse 50
12.5 Offene Fragen 51

13. SCHLUSSBEMERKUNGEN 52

14. WEITERER FORSCHUNGSBEDARF 53

15. LITERATURVERZEICHNIS 54

ANHANG

SN 640 017a Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit
Grundlagennorm

SN 640 018 Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit
Freie Strecken auf Autobahnen

SN 640 019 Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit
Einfahrten in Hochleistungsstrassen

SN 640 020 Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit
Hauptverkehrs- und Verbindungsstrassen

SN 640 022 Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit
Knoten ohne Lichtsignalanlage

SN 640 023 Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit
Knoten mit Lichtsignalanlage

SN 640 024 Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit
Knoten mit Kreisverkehr

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der Forschungsarbeit ist bessere Grundlagen für die Bestimmung von Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit von Strassenverkehrsanlagen zu erarbeiten. Den Ausgangspunkt bildet der Forschungsbericht Nr. 276, der das Konzept der verkehrstechnischen Dimensionierung von Strassenverkehrsanlagen vorstellt.

In den 90-iger Jahren wurde ein deutsches Handbuch für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und der Beurteilung der Verkehrsqualität von Anlagen des Strassenverkehrs erarbeitet. Gleichzeitig erfuhr auch das amerikanische Highway Capacity Manual eine umfassende Überarbeitung. In der Schweiz liefen Forschungsaufträge zu gewissen Einzelfragen in diesem grossen und komplexen Forschungsthema.

Es galt die neuesten schweizerischen Forschungsergebnisse und weitere Unterlagen zu beurteilen, mit den deutschen und amerikanischen Arbeiten zu vergleichen und Vorschläge für aktuellere und differenziertere Normen zu erarbeiten, welche die materiell längst überholte Norm SN 641 145 aus dem Jahre 1973 ersetzen können. Die Methoden sollen so gewählt werden, dass eine Berechnung ohne Hilfe der EDV möglich ist. Als Ergebnis der Forschungsarbeit liegen die Grundlagen zum Themenkreis Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität und Belastbarkeit für folgende Normen vor:

- Grundlagen-Norm (Kopfnorm):
  Sie stellt die Verfahren zur Beurteilung des Verkehrsablaufs bei Verkehrsanlagen dar, wie die Ermittlung der Leistungsfähigkeit oder die Bestimmung der zugeordneten Verkehrsstärke bei einer festgelegten Verkehrsqualitätsstufe.
- Freie Strecken auf Autobahnen:
  Die Daten sind aufbereitet für 2 x zweistreifige und 2 x dreistreifige Autobahnen mit normalen, reduzierten und stark reduzierten Querschnitten, in Abhängigkeit von der Längsneigung und des Schwerverkehrsanteils. Als Mass für die Verkehrsqualität wird die Verkehrsdichte bestimmt. Zu beachten ist, dass die schweizerischen Werte unter den ausländischen Werten liegen. Der Grund dafür liegt u.a. bei den nach Fahrzeugkategorien unterschiedlichen Höchstgeschwindigkeiten.
- Einfahrten in Hochleistungsstrassen:
  Die Daten gelten für normgemäss ausgebildete Einfahrten in 2 x zweistreifige Autobahnen. Die Beurteilung erfolgt anhand der Verkehrsstärke des rechten Fahrstreifens unmittelbar nach der Einfahrt. Als Mass der Verkehrsqualität gilt wiederum die Verkehrsdichte.
- Hauptverkehrsstrassen und Verbindungsstrassen ausserhalb besiedelter Gebiete:
  Die Leistungsfähigkeit für zweistreifige Strassen wird in Abhängigkeit des Schwerverkehrsanteils, der Kurvigkeit (einschliesslich Überholverbot) und der Steigungsklasse angegeben. Für die Definition von Verkehrsqualitätsstufen fehlen genügend gesicherte Unterlagen. Es werden Reduktionsfaktoren gegenüber der Leistungsfähigkeit angegeben, die für die Bestimmung einer Dimensionierungsgrundlage benützt werden können.
- Knoten ohne Lichtsignalanlage:
  Das Verfahren entspricht dem entsprechenden deutschen Merkblatt, wobei „schweizerische“ Korrekturfaktoren berücksichtigt werden. Als Mass für die Verkehrsqualität gelten die mittleren Wartezeiten.
- Knoten mit Lichtsignalanlage:
  Die detaillierten Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit sind in der Normengruppe Lichtsignalanlagen enthalten. Im Rahmen dieses Forschungsauftrages galt es, ein einfacheres Schätzverfahren zu entwickeln. Dieses wird vorgestellt,

wobei auf die Koordination mit der Normengruppe Lichtsignalanlagen geachtet wurde. Als Mass für die Verkehrsqualität wurde der Auslastungsgrad gewählt.

- Knoten mit Kreisverkehr:
  Die verschiedenen Berechnungsmethoden werden vorgestellt und einander gegenübergestellt. Die Bestimmung der Leistungsfähigkeit kann anhand eines Diagrammes vorgenommen werden. Sie wird in Abhängigkeit der Verkehrsstärke auf der Kreisfahrbahn unmittelbar vor der untersuchten Einfahrt sowie auf Grund der Anzahl Fahrstreifen der Einfahrt bzw. der Kreisfahrbahn angegeben. Der Auslastungsgrad ist die massgebende Grösse zur Bestimmung der Verkehrsqualität.

Das Ziel, bessere Grundlagen zur Verfügung zu stellen, ist erreicht worden, wenn auch noch manche Fragen offen bleiben müssen und mit weiteren Forschungsarbeiten versucht werden soll, die Lücken zu schliessen. Dazu gehören u.a.: Einfahrten in dreistreifige Autobahnen; Einfluss der Fussgänger bei den Ausfahrten aus Kreisverkehrsplätzen; Definition der Verkehrsqualitätsstufen zweistreifigen Hauptverkehrsstrassen ausserorts oder der Einfluss von Lastwagenüberholverboten auf Autobahnen.

RESUME

Le but de la recherche était d'élaborer de meilleures bases pour déterminer la capacité et la charge compatible des infrastructures routières. Faisait office de point de départ le rapport de recherche no 276, qui présente le concept du dimensionnement des infrastructures routières selon la technique de circulation.

Dans les années 90 en Allemagne, un manuel a été élaboré pour le calcul de la capacité et l'évaluation du niveau de service du trafic sur les infrastructures routières. En même temps le Highway Capacity Manual américain a été profondément revu. En Suisse, des mandats de recherche relatifs à certaines questions de détail dans ce vaste et complexe thème de recherche étaient entrepris.

Il s'agissait d'évaluer les plus récents résultats de recherches suisses et d'autres documents, de les comparer avec les travaux allemands et américains et d'élaborer des propositions pour des normes plus actuelles et différenciées afin de remplacer la norme SN 641 145 datant de 1973 et depuis longtemps dépassée. Les méthodes devaient être choisies de manière à ne pas avoir à recourir à l'ordinateur. Les résultats de la recherche fournissent des bases concernant les capacités, les niveaux de service et les charges compatibles en vue des normes suivantes:

- Norme de base:
  Elle présente les procédures pour l'évaluation de l'écoulement du trafic sur les infrastructures de transport, par exemple pour le calcul de la capacité ou la détermination du débit pour un niveau de service donné.
- Autoroutes en section courante:
  Les données ont été préparées pour des routes à grand débit de 2 x 2 voies et 2 x 3 voies avec des profils en travers normaux, réduits et très réduits ainsi que selon la déclivité et la proportion de poids lourds. Le niveau de service est déterminé par la densité de trafic. A relever que les valeurs suisses se situent en dessous des valeurs étrangères. Ceci s'explique entre autres par les vitesses maximales différentes selon catégories de véhicules.
- Entrées de route à grand débit:
  Les données correspondent aux entrées aménagées selon les normes dans des routes à grand débit de 2 x 2 voies. L'évaluation est faite d'après le débit de la voie droite en aval de l'entrée. Le niveau de service est également déterminé par la densité de trafic.
- Routes principales et routes de liaison hors des zones urbanisées:
  La capacité de routes à deux voies est fonction du pourcentage des véhicules lourds, de la sinuosité (y compris interdiction de dépasser) et des classes de déclivité. Pour la définition des niveaux de service, il manque de bases suffisamment étayées. Des facteurs de réduction de la capacité sont fournis. Ils peuvent être utilisés pour aider au dimensionnement.
- Carrefours sans feux de circulation:
  La procédure correspond à celle de la notice allemande, mais des facteurs "suisses" de correction ont été introduits. Le niveau de service est déterminé par le temps d'attente moyen.
- Carrefours avec feux de circulation:
  Les procédures détaillées pour la détermination de la capacité se trouvent dans le groupe de normes consacré aux feux de signalisation. Dans le cadre de ce mandat de recherche, il s'agissait de développer une procédure simple pour des estimations. La procédure présentée a été coordonnée avec le groupe de normes "feux de circulation". Le niveau de service est déterminé par le degré d'utilisation.

- Giratoires:
  Les différentes méthodes de calcul sont présentées et confrontées. La capacité peut être déterminée à l'aide d'un diagramme. Elle est indiquée en fonction du débit de circulation sur l'anneau juste en amont de l'entrée examinée ainsi qu'en tenant compte du nombre de voies de l'entrée et du giratoire. Le niveau de service est déterminé par le degré d'utilisation.

Le but, qui était de mettre à disposition de meilleures bases, a été atteint même si bien des questions subsistent encore. Ces questions devraient être l'objet de recherches ultérieures en vue de combler les lacunes. Elles concernent entre autres: les entrées dans des routes à grand débit à trois voies, l'influence des piétons aux sorties des giratoires, la définition des niveaux de service des routes principales hors des zones urbanisées ou l'influence de l'interdiction au poids lourds de dépasser sur les autoroutes.

SUMMARY

The present research report provides transportation and traffic practitioners with improved methods for the calculation of capacity, level of service, and environmental tolerance of transportation facilities. It is based on results published in report no. 276, which presented the concepts and methodologies for the design of transportation facilities.

In the 90's, a German manual for the calculation of the capacity and for the evaluation of the levels of service for various street and highway facilities had been created. During the same time the U.S. Highway Capacity Manual (HCM) has seen two new editions (HCM 1994 and HCM 2000). Even in Switzerland many research studies concerning the field of capacity and level of service have been produced.

The new Swiss reports had to be analysed, compared with results of recent foreign studies, and combined into new standards that can replace the old SN 641 145 standard from 1973. The methods presented here offer the possibility to perform the calculations without computers for the following standards concerning capacity, level of service (LOS), and environmental tolerance.

- Basic information:
  Methodologies are presented for traffic-flow analysis, capacity calculation, service flow rates connecting to the various levels of service, and the environmental tolerance.
- Basic freeway segments:
  Basic freeway segments are outside the influence area of ramps or weaving areas of the freeway. For such segments, the report presents data for four-lane freeways (two lanes in each direction) and six-lane freeways (three lanes in each direction). The calculations consider the influence of lane width, the lateral clearance, the specific grades, and the percentage of heavy vehicles. The density defines the LOS. The capacities are lower than those given in manuals of other countries. One of the reasons are the speed limits that depend on the type of vehicle on the same freeway segment.
- Freeway ramps:
  The data are given only for ramps onto four-lane freeways. The calculations are based on the traffic volume in the right lane right after the merging area. The density also defines the LOS.
- Highways outside built-up areas:
  The capacity depends on the percentage of heavy vehicles, the specific grade, the frequency of curves, and the percentage of no-passing zones. The availability of certified data is insufficient to define levels of service. However, the report provides capacity reduction factors that may be used to estimate traffic volumes.
- Intersections without traffic lights, excluding roundabouts:
  The reported procedures are based on a model developed and refined in Germany with some correction factors that take into account Swiss behaviours. LOS is determined by the computed or measured control delay for each minor movement.
- Intersections with traffic lights:
  The detailed methodology for the capacity analysis can be found in the group of standards for signalised intersections. In this study, less complicated methods were developed to estimate the capacity, with a particular emphasis on coordination with the more detailed methods. LOS is determined by the load factor.
- Roundabouts:
  The report presents and compares the different methods of calculation. The capacity can be determined with a diagram, which is based on the volume of the roundabout roadway just before the examined entrance and the numbers of lanes of the entrance and of the roundabout roadway. The level of service is determined by the load factor.

The research goal of providing improved analysis methods was achieved. Nevertheless, many questions remain. Further studies are needed to fill these gaps, which include the entrance onto six-lane freeways, the influence of pedestrians at the exits of roundabouts, the determination of the level of services on two-lane highways outside of built-up areas, and the influence of no-passing restrictions for heavy vehicles on freeways.

1. EINLEITUNG

Mit dem Forschungsbericht Nr. 276 vom März 1993 [1] hatte die Forschungsstelle ein Konzept für die verkehrstechnische Dimensionierung von Strassenverkehrsanlagen vorgeschlagen. Dabei ging es nicht allein um die Bestimmung der Leistungsfähigkeit, sondern auch um die Ermittlung der Verkehrsqualität und der Belastbarkeiten aus Gründen der Umwelteinflüsse, der Verkehrssicherheit und des Strassenerhalts.

Etwa zur gleichen Zeit wurde in Deutschland ein neues, umfassendes und aktualisiertes Richtlinienwerk für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und der Beurteilung der Verkehrsqualität von Anlagen des Strassenverkehrs erarbeitet [2]. Im letzten Jahr ist die Weiterentwicklung des Handbuchs für gewisse Teilbereiche veröffentlicht worden [3].

Auch in den USA wurde das wegweisende Highway Capacity Manual Ende 1994 überarbeitet [4], inzwischen ist bereits die Ausgabe 2000 erschienen [5].

Mit den Unterlagen [1], [2] und [4], die trotz vielen Unterschieden viele Ähnlichkeiten aufweisen, waren die Voraussetzungen gegeben, um die konkreten praxisbezogenen Grundlagenarbeiten an die Hand zu nehmen.

Das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation entsprach in der Folge einem entsprechenden Forschungsgesuch der VSS und erteilte mit Schreiben vom 21. Dezember 1995 den Forschungsauftrag unter der Nummer 17/95.

Die Forschungsarbeit begleitete wiederum die VSS-Subkommission 171.2 mit den Herren
P. Schütz, Aarau (Vorsitz)
B. Albrecht, Luzern
Dr. W. Berg, Zürich
Dr. N. Bischofberger, Zürich
B. Dériaz, Genf
A. Gantenbein, Bern
P. Spacek, Zürich

Nach der Neustrukturierung der VSS-Kommissionen übernahm im letzten halben Jahr der Bearbeitung die Arbeitsgruppe 22 unter dem Vorsitz von Dr. G. Gottardi die Begleitung der Forschungsarbeit

Für das kritische Mitdenken und die vielen Anregungen an insgesamt 20 Sitzungen sei allen Herren an dieser Stelle herzlich gedankt.

Die sieben neuen Normen, welche sich auf die mit diesem Forschungsauftrag erarbeiteten Grundlagen stützen, sind zwischen dem Dezember 1998 und dem August 1999 erschienen.

2. FORSCHUNGSZIEL

Im Forschungsgesuch ist das Forschungsziel wie folgt umschrieben:

Es sollen die Grundlagen für Vornormen im Sinne von SN 641 000 erarbeitet werden. In einer sogenannten Kopfnorm sollen das methodische Konzept gezeigt und die Begriffe definiert werden. Dabei ist eine Koordination mit dem deutschen Richtlinienwerk [2] anzustreben, damit überall dort, wo es sachlich vertretbar ist, die gleiche Aussage gemacht wird. Für die nachstehenden Elemente von Strassenverkehrsanlagen sind Aussagen zu Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität und Belastbarkeit zu erarbeiten.

- Autobahnabschnitte (freie Strecken)
- Ein- und Ausfahrten an Richtungsfahrbahnen
- Verflechtungsstrecken
- Hauptverkehrsstrassen
- Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlagen
- Knotenpunkte mit Lichtsignalanlagen
- Kreisverkehrsplätze
- Zweistreifige Landstrassen

Dabei sollen schweizerische Forschungsergebnisse mit denjenigen aus Deutschland [2] und den USA [4] verglichen werden, wohl wissend, dass unterschiedliche verkehrsrechtliche Voraussetzungen zu unterschiedlichen sachlichen Ergebnissen führen können. Eigene Messungen und Erhebungen sind nicht vorgesehen.

Bereits im Forschungsgesuch wurde darauf hingewiesen, dass auch für

- Anlagen des öffentlichen Verkehrs
- Anlagen für den Fussgängerverkehr
- Anlagen für den Zweiradverkehr

Bedarf an Aussagen über Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität besteht. Auftragsgemäss werden diese Punkte jedoch nicht behandelt und einer späteren Forschungsarbeit überlassen.

Das Ziel der Arbeit war ausdrücklich Verfahren zu entwickeln, die mit "Bleistift und Papier" zu bewältigen sind. Damit muss der ganze Prozess bewusst Schritt für Schritt durchgearbeitet werden, was für die Interpretation der Ergebnisse von Vorteil ist, anderseits aber auch einen nicht unbedeutenden Zeitaufwand erfordert. In einem späteren Zeitpunkt werden Computerprogramme für die entsprechenden Berechnungen folgen müssen.

3. VORGEHEN

Zuerst wurde der Entwurf der Kopfnorm im Forschungsbericht 276 [1] überarbeitet. Insbesondere war die Abstimmung mit dem deutschen Handbuch [2] vorzunehmen. Dann erfolgte die Ausarbeitung der Grundlagennorm (frühere Bezeichnung: Kopfnorm).

Anschliessend wurden die Grundlagen für die sachlichen Inhalte von Normen für die vorgegebenen Elemente der Strassenverkehrsanlagen erarbeitet. Dabei galt es möglichst viele der vorhandenen Unterlagen aus dem In- und Ausland zu sichten, zu vergleichen und die nötigen Schlüsse zu ziehen. Sodann wurde der Normentwurf formuliert und in der Begleitkommission und den übergeordneten VSS-Gremien eingehend diskutiert.

Bei den Elementen Einfahrten in Hochleistungsstrassen sowie Knotenpunkte mit bzw. ohne Lichtsignalanlage konnte auf gleichzeitig laufende Forschungsarbeiten zurückgegriffen werden.

4. METHODISCHES KONZEPT

4.1 Verkehrstechnische Dimensionierung

Bei den Verfahren zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit, der Verkehrsqualität und der Belastbarkeit, kurz verkehrstechnische Dimensionierung genannt, sind drei Ansätze zu unterscheiden:

- Angebotsorientiertes Verfahren:
  Zu einem gegebenen Verkehrsangebot wird - unter Berücksichtigung der Belastbarkeiten - die bewältigbare Verkehrsstärke bestimmt.
- Nachfrageorientiertes Verfahren:
  Zu einer gegebenen Verkehrsstärke wird - unter Berücksichtigung der Belastbarkeiten - das benötigte Verkehrsangebot bestimmt.
- Leistungsanalyse:
  Wenn sowohl Angebot als auch Nachfrage gegeben sind, wird mit der Leistungsanalyse die Verkehrsqualität bestimmt und die Belastbarkeit beurteilt.

Die Abbildung 1 zeigt diese grundsätzlichen Zusammenhänge.

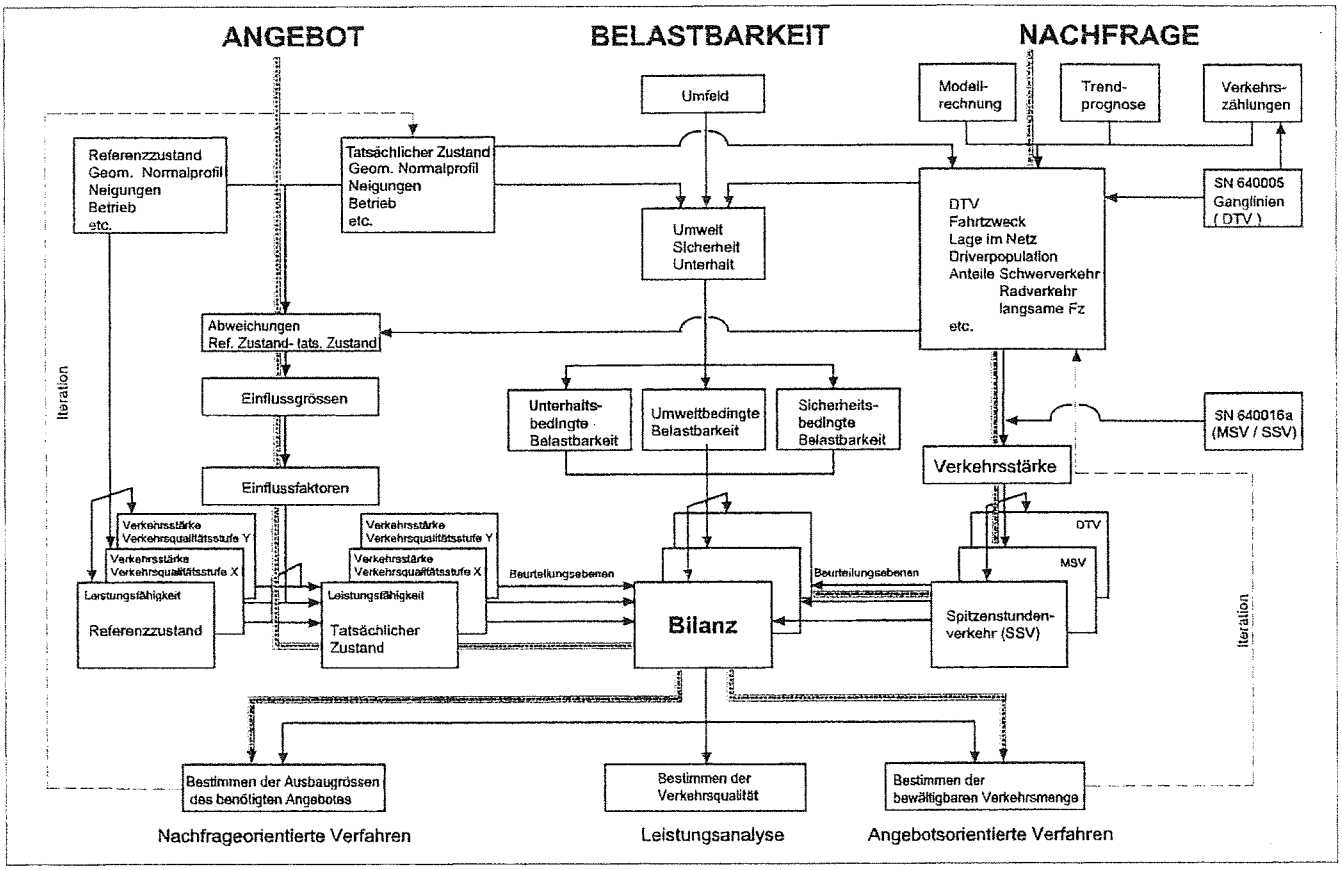


Abb 1.: Zusammenhänge

4.2 Nachfrage

Die Nachfrage wird definiert durch den massgebenden Verkehr [6]. In der Regel wird dies der massgebende stündliche Verkehr (MSV) sein. Eine andere Bezugsgrösse zu wählen ist möglich. Welcher Wert den Berechnungen zu Grunde gelegt wird, muss je nach dem zu untersuchenden Objekt festgelegt werden.

4.3 Angebot

Für die Beschreibung des Angebotes werden Verkehrsqualitätsstufen definiert analog dem amerikanischen Highway Capacity Manual [4] und dem deutschen Handbuch [2]. Es hat sich gezeigt, dass ein Alleingang der Schweiz mit anderen oder wenigeren Qualitätsstufen nicht sinnvoll ist. Da damit schweizerischerseits Neuland betreten wird, liegen auch kaum in der Schweiz gemessene Werte über die den Qualitätsstufen zugeordneten Verkehrsstärken vor.

Wie die einzelnen Verkehrsqualitätsstufen definiert werden, hängt vom betrachteten Element der Strassenverkehrsanlage ab. Zwischen der Wahl des MSV und der der Dimensionierung zu Grunde gelegten Verkehrsqualitätsstufe besteht ein mittelbarer Zusammenhang. Wenn z.B. auf der Nachfrageseite eine selten auftretende Verkehrsspitze als MSV gewählt wird, so darf dieser auf der Angebotsseite eine tiefere Verkehrsqualitätsstufe (z.B. die Leistungsfähigkeit) gegenübergestellt werden. Wenn anderseits von einem niedereren Wert für den MSV ausgegangen wird, empfiehlt es sich eine höherwertige Verkehrsqualitätsstufe gegenüberzustellen.

4.4 Belastbarkeit

Unter Belastbarkeit werden Grenzwerte bezeichnet, die andere Einflüsse auf die Grösse der Verkehrsnachfrage geltend machen, als das Gefüge von Verkehrsstärke, Verkehrsdichte und Geschwindigkeit unter den tatsächlich vorhandenen Randbedingungen.

Eine Unterteilung in

- Umweltbedingte Belastbarkeit
- Sicherheitsbedingte Belastbarkeit und
- Unterhaltsbedingte Belastbarkeit

hat sich als zweckmässig erwiesen.

Die umweltbedingte Belastbarkeit ist derart stark von den örtlichen Gegebenheiten abhängig, dass man sich mit Hinweisen zur Umweltschutzgesetzgebung und deren Verordnungen und Planungsmittel begnügen muss.

Die sicherheitsbedingten Belastbarkeiten werden einerseits dadurch berücksichtigt, dass nicht die höchsten beobachteten Verkehrsstärken, die oft auf unsicheren Verhaltensweisen beruhen, als Massstab gelten, sondern die von der Sicherheit her genügenden Richtwerte. (Beispiel: Zeitlücke von zwei sich folgenden Personenwagen auf Autobahnen: 2 s statt der oft beobachteten 1.5 - 1.7 s.)

Bei der unterhaltsbedingten Belastbarkeit lassen sich nur für die freien Strecken auf Hochleistungsstrassen allgemein gültige Aussagen machen.

5. GRUNDLAGENNORM (SN 640 017a)

Ein erster Entwurf der Grundlagennorm wurde bereits in der Forschungsarbeit "Verkehrstechnische Dimensionierung" [1] erarbeitet. Die Weiterentwicklung dieser Unterlage und der Vergleich mit den deutschen [2] und amerikanischen [4] Grundlagen führten schliesslich zum Ergebnis, wie es im Anhang wiedergegeben ist.

In Ergänzung dazu sollen die nachstehenden Hinweise den Blickwinkel ein wenig öffnen.

5.1 Leistungsfähigkeit

Es muss auch hier betont werden, dass zu jedem Wert der Leistungsfähigkeit die Angabe der Bedingungen, unter denen der Wert gilt, unausweichlich ist.

Unter den Strassenbedingungen werden die geometrischen Eigenschaften (horizontale und vertikale Linienführung) und die bauliche Ausprägung (Belag, Beleuchtung) verstanden. Davon abhängig sind Merkmale wie Anzahl und Breite der Fahrstreifen, Querneigungen, Kurvigkeit, Ausbaugeschwindigkeit. Der Strassenzustand und die Witterungsverhältnisse werden ebenfalls zu den Strassenbedingungen gezählt. Die Verfahren und die Werte zu Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität gehen grundsätzlich von schönem Wetter, trockenen Fahrbahnen, guten Sichtverhältnissen und Tageslicht aus.

Als Verkehrsbedingungen werden die Zusammensetzung des Verkehrsstromes aus den verschiedensten Arten von Fahrzeugen (Personenwagen, Lastwagen, Motorräder, Fahrräder) sowie die Zuteilung auf - sofern vorhanden - verschiedene Fahrstreifen verstanden.

Betriebsbedingungen sind von aussen bewusst vorgegebene Randbedingungen, die oft die Funktionsfähigkeit einer Verkehrsanlage erst ermöglichen. Darunter fallen z.B. Lichtsignalanlagen, Geschwindigkeitsbeschränkungen, Überhol- oder Abbiegeverbote, Parkverbote usw. Auch die Regelung der Vortrittsverhältnisse an einem Knotenpunkt gehört dazu, wie auch alle rechtlichen Bestimmungen über das Verhalten im Verkehr (z.B. Vortrittsregelung am Fussgängerstreifen).

Mit dieser Definition der Leistungsfähigkeit ist auch klar, dass die Werte tiefer liegen können, als diejenigen, die an gewissen Messstellen beobachtet werden. Denn diese hohen Werte können nur erreicht werden, wenn gegen eine oder mehrere der Betriebsbedingungen oder gegen die Gebote der Verkehrssicherheit verstossen wird.

5.2 Verkehrsqualität

Gemäss den deutschen Begriffsbestimmungen wird unter dem Begriff "Verkehrsqualität" ganz allgemein eine zusammenfassende Gütebeurteilung des Verkehrsflusses verstanden. Für die Beurteilung, ob der Verkehrsfluss gut, befriedigend, tragbar oder schlecht sei, braucht es mess- oder berechenbare Grössen, ein Mass für die Verkehrsqualität. Kriterien, die als Mass gelten können, sind z.B.:

- Geschwindigkeiten
- Reisezeiten
- Überholmöglichkeiten
- Wartezeiten
- Anzahl Halte

Sodann müssen dem Mass der Verkehrsqualität Werte auf einer Beurteilungsskala zugeordnet werden, was zu einer bestimmten Anzahl von Verkehrsqualitätsstufen führt.

Als nächsten Schritt muss der Zusammenhang zwischen der Verkehrsstärke und dem Mass der Verkehrsqualität definiert werden. Daraus ergeben sich dann die zugeordneten Verkehrsstärken. Darunter wird die höchste Verkehrsstärke verstanden, die einen Querschnitt einer Verkehrsanlage pro Zeitintervall durchfahren kann, ohne dass sich die Verkehrsqualität über die gewählte Verkehrsqualitätsstufe hinaus verschlechtert.

Die Beurteilung kann schliesslich auf zwei Arten erfolgen:

- Die vorhandene oder prognostizierte Verkehrsstärke wird mit der zugeordneten Verkehrsstärke der gewünschten Verkehrsqualitätsstufe verglichen.
- Der Wert des Masses der Verkehrsqualität, der bei der vorhandenen oder prognostizierten Verkehrsstärke erreichbar ist, wird mit dem vorgegebenen Grenzwert des Masses der Verkehrsqualität der gewünschten Stufe verglichen.

Oder anders ausgedrückt:

Das eine Mal werden die Verkehrsstärken (Mfz/h) unmittelbar miteinander verglichen, das andere Mal wird das Mass der Verkehrsqualität einander gegenübergestellt (z.B. Sekunden Wartezeit).

Dieses Konzept der Verkehrsqualität entspricht demjenigen des deutschen Handbuches [2], das sich wiederum an das amerikanische HCM [4] angelehnt hat. Diese Übereinstimmung wurde bewusst gesucht, damit auch gemessene Werte aus diesen Quellen, zumindest in dieser Beziehung vergleichbar werden.

5.3 Verfahren

Das in der Forschungsarbeit 15/87 entwickelte Schema der Zusammenhänge ist verfeinert worden (Abbildung 1). Die drei grundsätzlichen Verfahren

- Angebotsorientiertes Verfahren
- Nachfrageorientiertes Verfahren
- Leistungsanalyse

werden schrittweise beschrieben. In dieser Hinsicht gehen die schweizerischen Vorschläge weiter als das amerikanische Handbuch. Das deutsche Handbuch benützt den Begriff Bemessung, der grundsätzlich dem nachfrageorientierten Verfahren entspricht. Das angebotsorientierte Verfahren wird nur indirekt angesprochen.

Es soll hier noch einmal darauf hingewiesen werden, dass Verkehrsangebot und Verkehrsnachfrage keine voneinander unabhängigen Grössen sind. Zu einem gegebenen Angebot gehören bereits auch erste Annahmen über die Nachfrage (z.B. Lastwagenanteil). Mit Iterationsschritten können nötigenfalls in einem weiteren Durchgang diese ersten Annahmen korrigiert werden.

6. FREIE STRECKEN AUF AUTOBAHNEN (SN 640 018)

6.1 Definition, Geltungsbereich

Als Autobahnen werden richtungsgetrennte, kreuzungsfreie Hochleistungsstrassen mit zwei oder drei Fahrstreifen je Richtung bezeichnet. Vier- oder mehrstreifige Fahrbahnen sind in der Schweiz mit Ausnahme von gewissen Verzweigungsbereichen nicht vorhanden, weshalb sich Angaben für solche Autobahnen erübrigen.

Die freie Strecke wird nicht mit Längenangaben wie im HCM [4] definiert, sondern nur mit einer qualitativen Aussage; als freie Strecke gilt derjenige Teil einer Autobahn, der sich ausserhalb der Einflussbereiche von Verzweigungen und Anschlüssen befindet. Die genaue Abgrenzung ist im Einzelfall festzulegen.

6.2 Grundlagen

6.2.1 Zusammenfassung schweizerischer Forschungsergebnisse

6.2.1.1 Geschwindigkeitsniveau auf Autobahnen

Die nachstehende Tabelle zeigt das Geschwindigkeitsniveau auf schweizerischen Autobahnen in den Jahren 1989 - 1992 [7]. Für alle Messstellen galten die folgenden Randbedingungen:

- Zulässige Höchstgeschwindigkeiten:
  - 80 km/h: Schwere Motorwagen ohne Anhänger, Anhängerzüge und Sattelmotorfahrzeuge
    Leichte Motorwagen und schwere Personenwagen und Wohnmotorwagen mit Anhänger
  - 100 km/h: Gesellschaftswagen ohne Anhänger, schwere Wohnmotorwagen ohne Anhänger
  - 120 km/h: Generelle Höchstgeschwindigkeit auf Autobahnen

  Diese Limiten sind zu beachten, wenn der Vergleich mit ausländischen Quellen angestellt wird.

  Die Einhaltung der Höchstgeschwindigkeiten, insbesondere der Lastwagen, Lastenzüge und Sattelschlepper soll hier nicht diskutiert werden.
- Übersichtliche, gerade und ebene Strecken ausserhalb des Einflusses von Verzweigungen und Anschlüssen
- Trockene Fahrbahn, Tageslicht
- Messungen ausserhalb der Spitzenzeiten, d.h. mehr oder weniger freier Verkehrsfluss

Messstellen	Fahrbahnbreite [m] rechter/linker Streifen	V 15% [km/h]	V 50% [km/h]	V 85% [km/h]	Vm [km/h]
Bursins (N1)	3.8 m / 3.8 m	97	119	134	117
Niederbuchsiten (N1)	3.9 m / 3.6 m	88	110	122	107
Thalwil (N3)	3.5 m / 3.5 m	96	113	126	112
Maienfeld (N13)	4.2 m / 4.1 m	97	117	130	116
Tenniken (N2)	3.7 m / 3.7 m	88	114	128	111
Münsingen (N6)	3.5 m / 3.6 m	97	116	128	114
Gündlikon (N1)	3.7 m / 3.7 m	94	117	130	114
Uffikon (N2)	3.8 m / 3.8 m	88	114	127	112
Düdingen (N12)	3.5 m / 3.7 m	88	114	130	111
Cham (N4)	3.7 m / 3.7 m	87	107	121	105
Durchschnitt aus 38 Messungen	3.5-4.0 m / 3.5-4.0 m	92.3	114.2	127.9	112.2

Tab. 1: Resultate der Geschwindigkeitsmessung auf Autobahnen an 10 Messstellen

Die Messungen aus den Jahren 1989 - 1992 zeigen als Durchschnittswert von 38 Messungen eine mittlere Geschwindigkeit von 112.2 km/h. Eine Abhängigkeit zwischen Fahrsteifenbreite und mittleren Geschwindigkeit ist nicht festzustellen. Infolge der unterschiedlich festgelegten Höchstgeschwindigkeiten für die einzelnen Fahrzeugkategorien ist die Geschwindigkeitsverteilung verhältnismässig inhomogen.

6.2.1.2 Höchste gemessene Verkehrsbelastungen

Den automatischen Strassenverkehrszählungen können für das Jahr 2000 die folgenden Höchstwerte der Verkehrsbelastungen auf Autobahnen entnommen werden:

Zählstelle Nr.	Ort	Anzahl Fahrstreifen	Höchstwert für eine Richtung [Mfz/h]
97	A1 Bareggtunnel	2 x 2	4'786
20	A1 Umfahrung ZH N	2 x 2	4'247
43	A1 Préveranges	2 x 2	4'216
23	A1 Mattstetten	2 x 2	3'760
53	A3 Kerenzerbergtunnel	2 x 2	3'599
81	A2 Muttenz, Hard	2 x 3	5'418
56	A1 Grauholz	2 x 3	5'337
114	A1 Brüttisellen	2 x 3	5'056

Tab. 2: Höchste gemessene Verkehrsbelastungen auf Autobahnen 2000

Die Tabelle zeigt Werte auf, die deutlich über der üblicherweise genannten Leistungsfähigkeit von 1'800 PWE/h und Fahrstreifen oder 3'600 PWE/h und Richtung einer zweistreifigen Richtungsfahrbahn liegen.

Die höchste Belastung eines Fahrstreifens erreichte Werte von 2'620 bis 2'640 Mfz/h, d.h. die Fahrzeuge fahren mit einer durchschnittlichen Zeitlücke von knapp 1.4 Sekunden hintereinander her. Dieses Verhalten ist sehr gefährlich. Diese höchsten beobachteten Werte dürfen deshalb nicht als Dimensionierungsgrundlage benützt werden.

6.2.1.3 Messungen von Fundamentaldiagrammen

In der Studie des IVT der ETHZ [8] wurden an 8 Messstellen Fundamentaldiagramme (Geschwindigkeits-/Verkehrsstärke-/Verkehrsdichte-Diagramme) für vier verschiedene Typen von Autobahnen ermittelt. Ziel war die Aussagekraft von zumeist ausländischen Unterlagen für schweizerische Verhältnisse zu überprüfen. Gemessen wurden 6-Minuten-Intervalle, die dann auf Stundenwerte hochgerechnet wurden.

Für folgende Typen stehen Fundamentaldiagramme zur Verfügung:

Typ 1: HLS 2 x 3 Streifen, eben
Normgemässe Abmessungen
Höchstgeschwindigkeit: 120 km/h
(1 Messstelle)

Typ 2: HLS 2 x 2 Streifen, eben
Normgemässe Abmessungen
Höchstgeschwindigkeit: 120 km/h
(3 Messstellen)

Typ 3: HLS 2 x 2 Streifen, leichte Längsneigung
Normgemässe Abmessungen
Höchstgeschwindigkeit: 100 km/h
(2 Messstellen)

Typ4: HLS 2 x 2 Streifen, leichte Längsneigung
Reduzierte Abmessungen (Tunnel)
Höchstgeschwindigkeit: 80 km/h
(2 Messstellen)

Die ermittelten Diagramme können im Bereich geringer Dichten als gesichert gelten, die Punkthaufen liegen nahe beieinander. Im Bereich des Übergangs vom stabilen zum instabilen Verkehrsfluss können keine verlässlichen Aussagen gemacht werden, die gemessenen Werte streuen zu stark. Als maximale Verkehrsdichte vor der Staubildung wurden Werte von 70 - 85 Motorfahrzeuge/km gemessen.

Bei Lastwagenanteilen zwischen 0 % und 10 % konnte kein Einfluss auf die mittlere Geschwindigkeit festgestellt werden. Dies gilt für ebene und leicht geneigte (~3 %) Fahrbahnen.

6.2.2 Amerikanische Unterlagen

Das amerikanische Highway Capacity Manual (HCM) [4] befasst sich eingehend mit dem Verkehrsfluss auf Autobahnen.

Die ermittelten Daten gelten unter folgenden Randbedingungen (Referenzzustand):

- Höchstgeschwindigkeit 65/70 mph ≅104/112 km/h
- Reiner Personenwagenverkehr
- Trockene Fahrbahn, gutes Wetter
- Fahrstreifenbreite 3.6 m, seitliche Hindernisfreiheit 1.8 m
- Durchschnittliche, ortskundige Fahrzeuglenker
- Viertelstundenwerte auf die Stunde hochgerechnet

Die Fundamentaldiagramme werden für verschiedene Geschwindigkeitsniveaus (55 - 70 mph) entwickelt. Sie werden durch die Trassierungselemente, abweichende Höchstgeschwindigkeiten und regionalen Gegebenheiten bestimmt.

Die folgenden Einflussfaktoren können mit Korrekturfaktoren berücksichtigt werden:

- Anteil Schwerverkehr, Anteil Freizeitfahrzeuge (Wohnwagen oder ähnliche Fahrzeuge) für ebene und geneigte Strecken
- Abweichende Fahrstreifenbreiten und seitliche Hindernisfreiheiten
- Kollektiv der Fahrzeuglenker

Nicht berücksichtigt werden:

- Verkehrsabhängige Streckenbeeinflussungsanlagen
- Baustellen
- Fahrstreifen für Fahrzeuge mit hohem Besetzungsgrad (high occupancy vehicle lane)

Das HCM rechnet mit maximalen Verkehrsstärken von 2'200 PWE/h und Fahrstreifen bei 2 x zweistreifigen Autobahnen, bzw. 2'300 PWE/h bei 2 x dreistreifigen Autobahnen.

Als Kriterium für die Verkehrsqualität wird die Verkehrsdichte gewählt.

Im Weiteren wird auf das umfangreiche und bekannte Handbuch verwiesen.

6.2.3 Deutsche Unterlagen

Während der Bearbeitungszeit des Forschungsauftrages sind auch in Deutschland umfangreiche Untersuchungen vorgenommen worden [2] und [3].

In diesen Unterlagen werden ebenfalls Fundamentaldiagramme zur Verfügung gestellt. Dabei handelt es sich um die Zusammenhänge zwischen der Verkehrsstärke und der Personenwagenreisegeschwindigkeit.

Dabei wird unterschieden:

- 2 x dreistreifig mit Schwerverkehrsanteilen von ≥15 %, ≥10 % und ≤5 % für die Umfeldbedingungen hell oder dunkel, bzw. trockene oder nasse Fahrbahn
- 2 x zweistreifig als Verbindungsstrecke mit Schwerverkehrsanteilen ≥15 %, ≥10 % und ≤5 % und den Umfeldbedingungen hell oder dunkel, bzw. trockene oder nasse Fahrbahn
- 2 x zweistreifig in Ballungsräumen mit den oben genannten Unterscheidungen

Für diese Diagramme gilt, dass ausser der empfohlenen Richtgeschwindigkeit von 130 km/h keine Höchstgeschwindigkeit signalisiert ist. Die Strecken haben Längsneigungen <2 %. Die Querschnitte entsprechen der RAS-Q 96 [9]. Zusätzlich werden Verkehrsstärke/Geschwindigkeitsdiagramme gezeigt für 2 x zweistreifige und 2 x dreistreifige Autobahnen mit zulässiger Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h bzw. 100 km/h. Sie sind nur für die Umfeldbedingungen hell oder trocken verfügbar. Schliesslich zeigt das Diagramm einen "mittleren" Zusammenhang für Behelfsstreifen bei Baustellen auf Autobahnen, die nach dem Prinzip 4 + 0 bzw. 3 + 1 mit Geschwindigkeitsbegrenzung von 80 km/h oder 60 km/h betrieben werden.

Als Qualitätskriterium wird die mittlere Personenwagen-Reisegeschwindigkeit gewählt. Der kritische Wert für den Wechsel vom stabilen zum instabilen Verkehrsfluss und damit bestimmend für die Kapazität wird bei 75 km/h ermittelt. Die Kapazitäten werden wie folgt angegeben:

Kapazität je Richtungsfahrbahn [Mfz/h]								
zweistreifige Richtungsfahrbahnen						dreistreifige Richtungsfahrbahnen		
Schwerverkehrsanteil [%]						Schwerverkehrsanteil [%]		
≤5		10		≥15		≤5	10	≥15
BG	VS	BG	VS	BG	VS			
4'180	3'680	3'900	3'580	3'620	3'480	5'560	5'280	5'000

Tab. 3: Kapazitäten auf Autobahnstrecken mit Längsneigungen <2 %, ohne Geschwindigkeitsbegrenzung und mit Umfeldbedingungen hell und trocken
BG: Ballungsgebiet
VS: Verbindungsstrasse

6.3 Berechnungsverfahren

Angesichts der Tatsachen, dass

- die gesetzlichen Regelungen im Ausland (Höchstgeschwindigkeiten, Fahrregeln) sich stark von den schweizerischen Regeln unterscheiden,
- für schweizerische Autobahnen nur wenige gemessene Daten vorhanden sind,
- dennoch bessere Unterlagen als die alte Norm 641 145 dringend erwünscht sind,

haben sich Forschungsstelle und die begleitende Kommission entschlossen aus allen vorhandenen Unterlagen eine Beurteilung für schweizerische Verhältnisse vorzunehmen und Werte für die Leistungsfähigkeit wie für die zugeordneten Verkehrsstärken der Verkehrsqualitätsstufen zu ermitteln. Diese Werte sollen im Rahmen der weiteren Forschungstätigkeit gefestigt werden.

Neben den Ergebnissen in [8] werden vor allem die deutschen Diagramme für Strecken mit zulässigen Höchstgeschwindigkeiten von 80 km/h und 100 km/h beigezogen. Die differenzierten Höchstgeschwindigkeiten in der Schweiz für Personenwagen und Schwerverkehr lassen Korrekturen nach unten ratsam erscheinen.

Als Kriterium zur Festlegung der Verkehrsqualität wird die Dichte analog dem HCM [4] gewählt.

6.4 Ergebnisse

6.4.1 Leistungsfähigkeit

Die Leistungsfähigkeit und die übrigen Werte werden für sechs Autobahntypen angegeben:

- Typ 2 x 3 N bzw. 2 x 2 N mit genereller Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h und normalen Abmessungen gemäss SN 640 200 ff
- Typ 2 x 3 R bzw. 2 x 2 R mit signalisierter Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h und reduzierten Abmessungen, wie bei den städtischen Nationalstrassen, oder bei andern engen Verhältnissen

- Typ 2 x 3 SR bzw. 2 x 2 SR mit signalisierter Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h. Die stark reduzierten Abmessungen beziehen sich vor allem auf die Seitenfreiheit bzw. das Fehlen eines Standstreifens. Zu diesem Typ gehören die Tunnels.
  Für den Typ 2 x 3 SR gibt es keine schweizerischen Messreihen.

Als Referenzzustand wurde folgendes definiert:

- Fahrstreifenbreite: 3.5 m und mehr
- Seitliche Hindernisfreiheit: Abgestuft zwischen den Typen N, R und SR mit ≥2.5 m, 1.5 bis 2.5 m und ≤1.5 m
- Längsneigungen <2 %
- Schwerverkehrsanteil 0 - 5 %
- Geschwindigkeitsbeschränkung: Je nach Typ
- Überholverbot für schwere Motorfahrzeuge: Kein Überholverbot
- Guter Belag, trockene Fahrbahn, gute Sichtverhältnisse, Tageslicht
- Überwiegend Berufsverkehr

Mit diesen Voraussetzungen lassen sich die nachstehenden Werte ermitteln:

	Leistungsfähigkeit je Richtungsfahrbahn in Mfz/h					
Typ	2 x 3 N	2 x 3 R	2 x 3 SR	2 x 2 N	2 x 2 R	2 x 2 SR
Mfz/h	5'500	5'300	4'900	3'600	3'400	3'200

Tab. 4: Leistungsfähigkeit von Autobahnen

Im Vergleich zum deutschen Handbuch [3] liegt der Wert bei 2 x dreistreifigen Autobahnen leicht tiefer (5'500 Mfz/h gegenüber 5'560 Mfz/h). Bei den 2 x zweistreifigen Autobahnen entspricht er etwa dem deutschen Wert für die Verbindungsstrecken. Die hohen deutschen Werte für Ballungsgebiete können für schweizerische Verhältnisse nicht bestätigt werden, nicht zuletzt auch deshalb, weil sich kaum freie Strecken finden lassen, die eindeutig ausserhalb des Einflussbereiches von Anschlüssen und Verbindungsstrecken liegen.

Nimmt man eine gleichmässige Verteilung der Fahrbahnbelastung auf die zwei bzw. drei Fahrstreifen an, so ergeben sich Fahrstreifenbelastungen von 1'800 - 1'830 Mfz/h. Bei einem Schwerverkehrsanteil von beispielsweise 4 % und einem PW-Aequivalent des Schwerverkehrs von 2.0 ergibt sich eine Fahrstreifenleistungsfähigkeit von rund 1'900 PWE/h, was um 200 - 400 PWE unter den amerikanischen Werten liegt. Ein Grund dafür dürfte in der inhomogeneren Verkehrszusammensetzung liegen. Auch aus Überlegungen der Verkehrssicherheit empfiehlt sich den Wert nicht zu hoch anzusetzen und damit unsichere Zeitlücken quasi zu gestatten.

Die Wertetabellen sind für verschiedene Schwerverkehrsanteile, analog dem deutschen Handbuch mit den Grenzen ≥15 %, ≥10 %, ≤5 %, in Abhängigkeit der Längsneigungen (nur längere Steigungs- bzw. Gefällstrecken) erarbeitet worden.

Als Ergänzung werden auch die Leistungsfähigkeiten bei beengten Verhältnissen längs Baustellen angegeben, soweit Werte überhaupt vorhanden waren. Gegenüber dem normalen Fahrstreifen müssen Reduktionen von 15 - 20 % in Kauf genommen werden.

6.4.2 Verkehrsqualität

Als Kriterium für die Verkehrsqualität wird die Verkehrsdichte analog dem amerikanischen HCM [4] gewählt. Das deutsche Konzept mit dem Kriterium Personenwagenreisegeschwindigkeit geht von der freien Geschwindigkeit auf den deutschen Autobahnen aus und ist so nicht auf schweizerische Verhältnisse übertragbar.

Die Verkehrsdichte bei der Leistungsfähigkeit beträgt zwischen 75 und 85 Mfz/km je Richtungsfahrbahn bei 2 x dreistreifigen Autobahnen und zwischen 50 und 60 Mfz/km je Richtungsfahrbahn bei 2 x zweistreifigen Autobahnen, d.h. gegen 30 Mfz/km und Fahrstreifen. Beim Typ 2 x 2 SR können wegen den noch tieferen Geschwindigkeiten noch grössere Dichten auftreten.

Die Zuteilung zu den einzelnen Verkehrsqualitätsstufen erfolgt pragmatisch in Schritten von 15 Mfz/km bei den 2 x dreistreifigen und 10 Mfz/km bei den 2 x zweistreifigen Autobahnen.

Die folgende Tabelle gibt als Zusatzinformation eine Umschreibung der sechs Verkehrsqualitätsstufen an.

Qualitätsstufe	Verkehrsfluss Max. Verkehrsdichte/Streifen, Abstände (zw. PW)	Verkehrsqualität	Bewegungsspielraum des Fahrers
Stufe A:	vollkommen frei **ca. 5 PW/km, ca. 200 m**	hoher Komfort/ ausgezeichnet	in vollem Umfang
Stufe B:	nahezu frei, stetig (oberer Geschwindigkeitsbereich) **ca. 10 PW/km, ca. 100 m**	hoher Komfort/ gut	geringfügige Einflüsse durch übrige Verkehrsteilnehmer
Stufe C:	teilweise gebunden, stetig (unterer Geschwindigkeitsbereich) **ca. 15 PW/km, ca. 66 m**	befriedigender Komfort/insgesamt befriedigend	bemerkbar eingeschränkt (v.a. bei Fahrstreifenwechsel)
Stufe D:	gebunden, annähernd unstet **Max. Verkehrsdichte abhängig von Sicherheitsabstand von 2 s** (für jeweilige V mittel in Stufe D), **ca. 35 - 45 m**	reduzierter Komfort/ausreichend	stark eingeschränkt (ständige Behinderungen)
Stufe E:	stark gebunden, unstet **Max. Verkehrsdichte abhängig vom Autobahntyp und Schwerverkehrsanteil, £35 m**	schlechter bis sehr schlechter Komfort/mangelhaft	extrem eingeschränkt, kleinere Inhomogenitäten führen zu Stillstand
Stufe F:	Unterbrechung, Stillstand ("stop-and-go-Verkehr") **Max. Verkehrsdichte abhängig vom Autobahntyp und Schwerverkehrsanteil**	kein Komfort/ überlasteter Abschnitt	stockender oder stillstehender Kolonnenverkehr (Überlastung)

Tab. 5: Festlegung und Beschreibung der Verkehrsqualitätsstufen

Aus den Verkehrsdichten werden sodann die den Verkehrsqualitätsstufen zugeordneten Verkehrsstärken errechnet. Diese werden in Abhängigkeit vom Schwerverkehrsanteil und dieser wiederum in Abhängigkeit von der Längsneigung angegeben.

6.4.3 Belastbarkeit

6.4.3.1 Umweltbedingte Belastbarkeit

Die Schadstoffemissionen und die Lärmemissionen des Motorfahrzeugverkehrs sind gut dokumentiert, z.B. in den Berichten des BUWAL [10], [11]. Damit ist es möglich die Immissionen zu ermitteln und mit den Richt- und Planungswerten zu vergleichen. Wenn keine andern Massnahmen (Geschwindigkeitsbegrenzungen, Lärmschutzwände) getroffen werden können, so sind Reduktionen der Kapazitäten in Erwägung zu ziehen, damit die Belastung der Umwelt die Grenzwerte nicht überschreitet.

6.4.3.2 Sicherheitsbedingte Belastbarkeit

Sicherheit und Leistungsfähigkeit sind nach der Katastrophe im Gotthardtunnel im Herbst 2001 Gegenstand der öffentlichen Diskussion.

Bereits eingeführt ist ein Mindestabstand von 150 m zwischen zwei schweren Motorwagen auf der San Bernardino-Route (A 13). Damit ist an einem Beispiel gezeigt, dass sicherheitsmässige Überlegungen durchaus die sonst erreichbaren Kapazitäten verringern können.

In den Vorschlägen wird die Sicherheit insofern berücksichtigt, als dass die 2-Sekunden-Regel auch bei den Angaben zur Leistungsfähigkeit in etwa gilt, obwohl viel höhere Verkehrsstärken nicht nur einmal, sondern immer wieder gemessen werden.

6.4.3.3 Unterhaltsbedingte Belastbarkeit

Baustellen reduzieren die Leistungsfähigkeit bei gleicher Fahrstreifenzahl um etwa 15 - 20 % gegenüber der ungestörten Leistungsfähigkeit. Da immer wieder und an vielen Stellen unterhalten, erhalten und verbessert werden muss, steht nur selten das ganze Hochleistungsstrassennetz ungestört zur Verfügung. Bei Netzbetrachtungen ist diesem Umstand Rechnung zu tragen.

6.4.4 Einflussgrössen

Die Anzahl der Fahrsteifen, der Schwerverkehrsanteil in Abhängigkeit der Längsneigungen, die Querschnittsabmessungen (normal, reduziert, stark reduziert sowie die Geschwindigkeitsbeschränkungen) werden in den einzelnen Werten unmittelbar berücksichtigt.

Die für Autobahnen zulässigen Neigungen sind für den Personenwagenverkehr kaum von Bedeutung. Hingegen spielen sie für den Schwerverkehr eine massgebende Rolle. Neben dem Mass der Neigung ist auch die Länge der Steigungs- oder Gefällstrecke massgebend.

Über den Einfluss des Schwerverkehrs auf den Personenwagenverkehr auf Steigungsstrecken sind nur ältere Untersuchungen vorhanden. Bei genauerem Hinsehen kann festgestellt werden, dass auch neuere Untersuchungen sich sehr oft auf die gleichen älteren Quellen stützen.

Als Hinweise können die Daten aus dem deutschen Handbuch übernommen werden. Sie gelten aber nur für längere Steigungsstrecken ohne Zusatzstreifen. In dieser Hinsicht ist, vor allem auch im Hinblick auf den stetig wachsenden Schwerverkehr über die Alpen, der Forschungsbedarf offensichtlich.

Der Einfluss des Kollektivs der Fahrzeuglenker auf die Zusammensetzung des Fahrzeugparks, des Abstandsverhaltens sowie auf die Vertrautheit mit den Strassen-, Verkehrs- und Betriebsbedingungen ist gegeben. Quantitative Aussagen können jedoch keine gemacht werden.

Im Bericht des BUWAL über das Fahrverhalten auf Autobahnen [12] wurde zunächst nach Verkehrsarten unterschieden

- überwiegend Nahverkehr
- Mischverkehr von Nah- und Fernverkehr
- überwiegend Fernverkehr

Es konnte jedoch kein systematischer Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Verkehrsart ermittelt werden, weshalb dieses Typisierungsmerkmal wieder fallen gelassen wurde.

Die Werte aus dem amerikanischen HCM [4] dürfen nicht auf europäische Verhältnisse übertragen werden [8].

Die Auswirkungen eines Überholverbotes für Lastwagen bezüglich Leistungsfähigkeit ist nicht erforscht. Bei hohen Verkehrsdichten, wenn die Geschwindigkeit gegen 80 km/h zurückfällt, dürfte der Einfluss eher gering sein.

Die Reduktion der Leistungsfähigkeit bei wechselnden Umfeldbedingungen hat eine deutsche Untersuchung abgeschätzt mit folgendem Ergebnis [13]:

Einfluss	2 x 3 Streifen	2 x 2 Streifen
Dunkelheit	-360 Mfz/h	-210 bis - 380 Mfz/h
Nässe	-540 Mfz/h	-350 bis - 370 Mfz/h
Dunkelheit und Nässe	-880 Mfz/h	-550 bis - 730 Mfz/h

Tab. 6: Einfluss von Umfeldbedingungen auf die Leistungsfähigkeit

Diese Werte können als Hinweise auch für schweizerische Verhältnisse dienen.

6.5 Offene Fragen

Beim Element Autobahnen gibt es noch viele Zusammenhänge, Auswirkungen und Einflüsse, die man noch präziser und eingehender kennen lernen möchte. Auch die Übertragbarkeit ausländischer Untersuchungen auf schweizerische Verhältnisse sollte in vielfacher Hinsicht besser abgestützt werden. Im Vordergrund stehen dabei die Einflüsse des Schwerverkehrs in Steigungen mit und ohne Zusatzstreifen sowie die Einflüsse des Touristenverkehrs bzw. der touristischen Fahrzeuge (Wohnwagen etc.). Interessant könnte eine Studie über die Wirkungen eines Lastwagenüberholverbotes sein. Auch eine Untersuchung über die Auswirkungen einer andern gesetzlichen Regelung über die Benützung der Fahrstreifen auf Autobahnen (Aufhebung des Gebotes rechts zu fahren) wäre wünschenswert.

7. EINFAHRTEN IN HOCHLEISTUNGSSTRASSEN (SN 640 019)

7.1 Definition, Geltungsbereich

Die Arbeiten beschränken sich auf einstreifige Einfahrten in zweistreifige Richtungsfahrbahnen. Zudem werden bewusst nur "normgemäss" gebaute Einfahrten berücksichtigt. Der Grund dazu liegt in der notwendigen statistischen Aussagekraft, die nur durch eine grosse Anzahl von Messungen an vergleichbaren Messstellen erreicht werden kann. Die Mitberücksichtigung von Spezialfällen wie z.B. sehr kurze Beschleunigungsstreifen oder Einfahrten auf Steigungsstrecken würde zum einen die gewonnen Messresultate verfälschen, zum anderen können die Abweichungen gegenüber der "normgerechten" Einfahrt nicht genügend genau ermittelt werden, um diese in die Berechnungsverfahren gesichert (z.B. mittels Korrekturfaktoren) einbauen zu können.

Dies entspricht dem Vorgehen im deutschen HCM, in dem ebenfalls nur eine "normgemäss" gebaute Einfahrt betrachtet wird. Im Gegensatz dazu werden im us-amerikanischen HCM Berechnungsverfahren sowohl für Ein- wie auch für Ausfahrten angegeben. Diese berücksichtigen auch Vereinigungsstrecken, mehrstreifige Einfahrten sowie in der näheren Umgebung befindliche weitere Ein- und Ausfahrten. Deutsche Untersuchungen haben aufgezeigt, dass dieses detaillierte Berechnungsverfahren nicht auf deutsche Verhältnisse übertragen werden kann. Grund dafür ist das unterschiedliche Vortrittsverhalten, das einen deutlich höheren Einfluss der einfahrenden Fahrzeuge auf den us-amerikanischen Strecken bewirkt.

In der vorliegenden Arbeit werden die Ausfahrtsbereiche bewusst ausgeklammert. Veranschaulicht man sich die Anschlussbereiche auf dem Schweizer Autobahnnetz, so liegen bei Vollanschlüssen in "Rauten-" oder "Trompetenform" die Aus- und Einfahrtsbereiche hintereinander. Sowohl im Bemessungs- als auch im Analysefall ist in diesen Situationen in der Regel der Einfahrtsbereich, sowohl betreffend Leistungsfähigkeit als auch Verkehrsqualität "kritischer" als die Ausfahrtsbereiche.

Eine Beschränkung der verkehrstechnischen Analyse, resp. Dimensionierung auf die Einfahrtsbereiche genügt im Normalfall.

Im Fall von Halbanschlüssen mit nur einem Ausfahrtsbereich (für eine Fahrtrichtung) stellt sich die Situation anders dar. Vor Ausfahrtsbereichen ergeben sich Spurwechselvorgänge (meist auf den rechten Fahrstreifen), die weitgehend vom Anteil der ausfahrenden Fahrzeuge an der Gesamtverkehrsstärke anhängig sind. Im Ausfahrtsbereich selber ergeben sich Fahrstreifenwechsel in den Verzögerungsstreifen, die eine Verdünnung der Verkehrsströme bewirken und mit der gleichen Fahrgeschwindigkeit wie auf der Autobahn vorgenommen werden können.

Im Falle von stark belasteten Ausfahrten können die erwähnten Manöver zu gegenseitigen Behinderungen führen, die auch die Verkehrsqualität auf den durchgehenden Richtungsfahrbahnen beeinträchtigen. Kritisch wird dabei der rechte durchgehende Fahrstreifen. Probleme mit der Leistungsfähigkeit ergeben sich aber nur in Einzelfällen. Meist ist der der Ausfahrt nachfolgende Knoten des Hauptverkehrsstrassennetzes massgebend.

Mangels guter schweizerischer oder europäischer Unterlagen muss auf eine Bearbeitung von stark belasteten Ausfahrten vorläufig verzichtet werden. Die Zweckmässigkeit einer diesbezüglichen Forschungsarbeit ist zu prüfen.

Einfahrten in dreistreifige Richtungsfahrbahnen unterscheiden sich von den Einfahrten in zweistreifige Richtungsfahrbahnen nur insofern, als die Ermittlung der Verkehrsstärke auf dem rechten durchgehenden Fahrstreifen (vor, während und nach dem Einfahrtsbereich) der grösseren Ausweichmöglichkeit auf benachbarte Fahrstreifen angepasst werden muss. Grundsätzlich bleiben dabei die ermittelten Berechnungsformeln weiterhin gültig.

7.2 Grundlagen

Der Norm liegt die Forschungsarbeit 3/92 "Leistungsfähigkeit von Einfahrten in Hochleistungsstrassen" zu Grunde [14]. Mit dieser Arbeit wurden umfangreiche Messungen auf schweizerischen Autobahnen vorgenommen, so dass sich der Normentwurf zum grössten Teil auf schweizerische Verhältnisse stützen kann. Die Angaben aus ausländischen Publikationen werden nur als Vergleichsbasis gebraucht.

7.3 Berechnungsverfahren

7.3.2 Einfahrten in zweistreifige Richtungsfahrbahnen

Massgebend für die Beurteilung der Verkehrsstärke auf Einfahrten ist die Verkehrsstärke auf dem rechten Fahrstreifen kurz nach dem Einfahrtsbereich. Diese Verkehrsstärke (q_m) kann aus der Anzahl einfahrender Fahrzeuge (q_e) sowie der Anzahl Fahrzeuge auf dem rechten Fahrstreifen vor dem Einfahrtsbereich (q_1) mit Gleichungen berechnet werden, die aus umfassenden Messungen auf Schweizer Strassen entwickelt wurden [14].

Der Schwerverkehr wird im Berechnungsverfahren näherungsweise durch eine pauschale Umrechnung der Lastwagen in zwei Personwagen-Einheiten berücksichtigt. Der Einfluss der Lastwagen ist von grosser Bedeutung, da diese mehrheitlich auf dem rechten Fahrstreifen fahren und kaum Fahrstreifenwechsel im Bereich der Einfahrten vornehmen sowie bei grossen Verkehrsstärken die für einfahrende Fahrzeuge nutzbaren Fahrzeuglücken bestimmen. Somit ist es von Vorteil, wenn die Verkehrsstärke q_1 vor Ort ermittelt wird. Andernfalls kann diese anhand der Querschnittsbelastung abgeschätzt werden [14]. Dabei kann der Einfluss der Lastwagen leicht unterschätzt werden. Eine detaillierte Berücksichtigung der Lastwagen im Berechnungsverfahren dürfte wiederum zusätzliche Messungen bedingen, da auch im deutschen HCM keine Angaben dazu gemacht werden. Vorerst muss diese pauschale Betrachtung genügen. Bei einer Zählung der einfahrenden Fahrzeuge (q_e) soll wenn möglich auch die Verkehrsstärke q_1 und insbesondere der Lastwagenanteil erhoben werden.

Der Verkehr innerhalb der massgebenden Stunde weist kurzfristige Spitzen auf. Gemäss der Grundlagennorm erfolgt die verkehrstechnische Dimensionierung auf Grundlage von Stundenwerten unabhängig davon, ob sie tatsächlich während einer Stunde beobachtet, oder ob sie auf dieses Zeitintervall umgerechnet werden. Mit den Messungen des Forschungsauftrages können nicht nur die zugeordneten Verkehrsstärken für das Stundenmittel, sondern auch die übliche Schwankungsbreite der höchsten Verkehrsstärke aus 5 Min.-Intervallen angegeben werden.

Eine Dimensionierung auf kürzere Zeitintervalle ist in der Regel nicht notwendig, kann aber im Einzelfall sinnvoll sein. Die Beurteilung liegt im Ermessen des Anwenders.

Kürzere Belastungsspitzen können mit einer ca. 15%-igen Erhöhung der zugeordneten Verkehrsstärken berücksichtigt werden.

7.3.3 Hinweise zu Einfahrten in dreistreifige Richtungsfahrbahnen

Das Berechnungsverfahren für zweistreifige Richtungsfahrbahnen kann in den Grundsätzen näherungsweise übernommen werden. Die Grundlage der Abschätzung für dreistreifige Richtungsfahrbahnen entstammt dem us-amerikanischen sowie dem deutschen HCM. Auch bei diesem Typ einer Einfahrt ist eine genaue Kenntnis der Verkehrsstärke q_1 (rechter Fahrstreifen vor dem Einfahrtsbereich) von Vorteil. Eine Schätzung aus der Gesamtverkehrsstärke der Richtungsfahrbahn ist möglich.

Das dargestellte Schätzungsverfahren ist noch nicht anhand der Schweizer Verhältnisse überprüft worden und soll lediglich als Hinweis verstanden werden.

7.4 Ergebnisse

7.4.1 Leistungsfähigkeit

Die Beurteilung der Leistungsfähigkeit erfolgt anhand der Verkehrsstärke des rechten Fahrstreifens nach der Einfahrt (q_m). Sie wurde mit 1'900 PWE/h ermittelt [14], vorausgesetzt, dass die Spitzenstunde einschliesslich der Berücksichtigung von kurzzeitigen Spitzen betrachtet wird. Ohne Berücksichtigung der kurzzeitigen Spitzen kann mit einer Leistungsfähigkeit von 2'200 PWE/h gerechnet werden. Dieser Wert heisst, dass innerhalb der Spitzenstunde Stau und instabiler Verkehrsfluss auftreten können.

Das deutsche Handbuch [3] gibt als Leistungsfähigkeit einen Wert von 2'200 Mfz/h an als Summe des Verkehrsstromes auf dem rechten Fahrstreifen auf der Höhe der Trenninselspitze (q_1) und des einfahrenden Verkehrsstromes (q_e). Schweizerische Beobachtungen zeigen, dass q_m nicht der Summe von q_1 und q_e entspricht, sondern kleiner ist, weil während dem Einfädelungsvorgang noch Fahrzeuge vom rechten auf den linken Fahrstreifen wechseln [14]. Stellt man diese Feststellung in Rechnung, so sind die deutschen und die schweizerischen Richtwerte für die Leistungsfähigkeit nicht mehr weit voneinander entfernt.

7.4.2 Verkehrsqualitätsstufen

Die Abstufung der Verkehrsqualität erfolgt nach der Verkehrsdichte. Die Grenzwerte betragen:

Stufe	Verkehrsdichte auf rechtem Streifen nach der Einfahrt	zugeordnete Verkehrsstärke qm
A	0 … 7 PWE/km	0 … 600 PWE/h
B	7 … 12 PWE/km	600 … 950 PWE/h
C	12 … 18 PWE/km	950 … 1'350 PWE/h
D	18 … 26 PWE/km	1'350 … 1'650 PWE/h
E	26 … 40 PWE/km	1'650 … 1'900 PWE/h
F	>40 PWE/km	keine Angabe

Tab. 7: Zugeordnete Verkehrsstärken

Die Beurteilung der Verkehrsqualität erfolgt über die zugeordnete Verkehrsstärke. Die Werte q_m dürfen nicht mit denjenigen des deutschen Handbuchs [3] verglichen werden, da sie auf andere Weise definiert sind.

7.4.3 Belastbarkeit

Es werden keine besonderen Aussagen gemacht. Die Hinweise im Abschnitt "Freie Strecken" genügen.

7.4.4 Einflussgrössen

Die Grundlagen beschränken sich auf normgerecht ausgeführte Einfahrten. Mit Ausnahme des Schwerverkehrsanteils, der über die Umrechnung in Personenwageneinheiten berücksichtigt wird, können deshalb keine anderen Einflussgrössen berücksichtigt werden.

Die Beobachtungen [14] zeigen, dass für Einfahrten, welche mit einer Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h oder 100 km/h signalisiert sind, keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden konnten. Die signalisierte Höchstgeschwindigkeit hat somit keinen Einfluss. Hochbelastete Einfahrten mit der Höchstgeschwindigkeit 120 km/h sind selten anzutreffen. Aus Sicherheitsgründen wird meistens eine Beschränkung auf 80 km/h oder 100km/h angeordnet.

7.5 Offene Fragen

Das von der Forschungsstelle als Unsitte bezeichnete Verhalten, im Bereich von Einfahrten auf den linken Fahrstreifen auszuweichen, kann bei hoch belasteten Autobahnen zu kritischen Situationen führen, insbesondere weil öfters einfahrende Fahrzeuglenker davon ausgehen, der Durchfahrende werde ihm schon Platz machen. Wiederholt konnte auch festgestellt werden, dass auf der vortrittsberechtigten Autobahn Rückstau entsteht, während auf der nicht vortrittsberechtigten Einfahrt nur wenige Autos stehen.

Mit einer Sicherheitslinie zwischen den beiden Fahrstreifen der Hauptfahrbahn könnte das Ausweichen auf den linken Streifen unterbunden werden. Damit werden aber die Grundlagen der vorliegenden Überlegungen geändert. Sollte diese Massnahme grundsätzlich eingeführt werden, so sind die Werte bezüglich Leistungsfähigkeit usw. anzupassen.

Forschungsbedarf besteht auch bei Einfahrten in 2 x dreistreifige Autobahnen sowie bei stark belasteten Ausfahrten.

8. VERFLECHTUNGSSTRECKEN

8.1 Einleitung

Das Forschungsgesuch sah vor, Verflechtungsstrecken auf Autobahnen analog den Ein- und Ausfahrten zu behandeln. Es zeigte sich jedoch bald, dass nur wenige schweizerische Untersuchungen vorliegen und diese auch ganz besondere Fälle betreffen.

Auch das deutsche HCM muss sich mangels allgemein gültiger Unterlagen auf zwei Fälle beschränken:

- Verflechtung an der durchgehenden Richtungsfahrbahn zwischen einer Einfahrt und der nachfolgenden Ausfahrt mit einem durchgehenden zusätzlichen Fahrstreifen (Typ V).
- Verflechtung auf der Nebenfahrbahn bei einem Kleeblattanschluss (Typ VR).

Das amerikanische HCM unterscheidet drei Typen mit 2 - 3 Untertypen von Verflechtungsstrecken. Da die rechtlichen Vorschriften für das Verhalten auf Autobahnen in Amerika wesentlich anders sind als die schweizerischen Vorschriften, dürfen amerikanische Forschungsergebnisse nur sehr bedingt übernommen werden.

Die Datenlage ist einerseits zu bescheiden um darauf eine Norm aufzubauen. Anderseits sind "normale Verflechtungsstrecken" im schweizerischen Autobahnnetz eher selten. Es wurde deshalb auf das Normblatt "Verflechtungsstrecken" verzichtet. Im Forschungsbericht soll jedoch kurz darauf eingetreten werden.

8.2 Grundlagen

8.2.1 Schweizerische Untersuchungen

Die Berichtsverfasser kennen zwei ausführliche Untersuchungen von Verflechtungsstrecken in Basel. Die eine betrifft die A2, Gellertdreieck Ost (Teilstrecke zwischen der Verzweigung Gellert und der Verzweigung Hagnau in Fahrtrichtung Ost) [15], die andere die A2, Gellertdreieck Nord (Teilstrecke zwischen der Verzweigung Gellert und dem Anschluss Zürcherstrasse in Fahrtrichtung Nord) [16]. Die Kennwerte sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

	Anzahl Fahrstreifen	Verflechtungslänge m	V_{ZUL}	Verkehrsstärke Mfz/h	Fahrstreifenwechsel Mfz/h	Anteil verflechtender Fz %	V_m km/h
A2 Gellertdreieck Ost	3	500	80	4'250	1'500	46	68
A2 Gellertdreieck Nord	3	540	80	3'600	350	31	76

Tab. 8: Leistung von Verflechtungsstrecken

Hiezu einige Bemerkungen:

- Bei beiden beobachteten Strecken wählen die Automobilisten denjenigen Streifen, auf dem sie mit den wenigsten Fahrstreifenwechseln ans Ziel gelangen können.
- Bei beiden Verflechtungsabschnitten findet ein Grossteil der Verflechtungen zu Beginn der Abschnitte statt. Bereits nach 300 - 400 m sind beinahe alle Verflechtungsvorgänge abgeschlossen. Die Verflechtungsvorgänge verteilen sich also nicht regelmässig auf die vorhandenen Verflechtungslängen von 500 - 600 m. Das Verhalten der Verkehrsteilnehmer zielt somit darauf ab, so früh wie möglich zu verflechten, um ja nicht in die Situation zu kommen, kurz vor der Verzweigung noch riskante Verflech-

tungen durchführen zu müssen. Je kürzer die Verflechtungsstrecke bei ähnlichen Verkehrsströmen ist, desto mehr dürften sich die Fahrstreifenwechsel zu Beginn des Verflechtungsabschnittes konzentrieren.

8.2.2 Deutsche Untersuchungen

Das deutsche Handbuch [3] hat sich intensiv mit den Verflechtungsstrecken auseinandergesetzt. Der veröffentlichte Vorschlag für das Berechnungsverfahren für den Nachweis einer ausreichenden Verkehrsqualität auf Verflechtungsstrecken bei richtungsgetrennten Hochleistungsstrassen wird als äusserst pragmatisch und vorläufig bezeichnet, der auf jeden Fall der Überprüfung durch weitere Untersuchungen auf der Basis von aktuellem empirischem Datenmaterial bedarf.

8.3 Folgerung

Die Datenlage reicht nicht aus um einen Normvorschlag betreffend Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität und Belastbarkeit zu begründen.

Als Stütze kann einerseits das deutsche Handbuch [3] dienen. Anderseits kann für grobe Abschätzungen das Berechnungsverfahren für Einfahrten in Hochleistungsstrassen benützt werden. Die zugeordneten Verkehrsstärken liegen dabei leicht unter denjenigen für die reinen Einfahrten.

8.4. Offene Fragen

Beim Element "Verflechtungsstrecken" ist noch ein erhebliches Potential an Forschungsprojekten vorhanden, wie z.B. die Festlegung eines sinnvollen Masses für die Verkehrsqualität, der Einfluss des Schwerverkehrs oder eine genauere Analyse des Verkehrsverhaltens auf Verflechtungsstrecken.

Anderseits ist darauf hinzuweisen, dass Verflechtungsstrecken auf dem schweizerischen Autobahnnetz doch eher die Ausnahme darstellen. Die bestehenden Verflechtungsstrecken weisen vielfach ganz spezielle örtlich bedingte Eigenheiten auf, die sich schlecht für eine Normierung eignen.

9. HAUPTVERKEHRS- UND VERBINDUNGSSTRASSEN (SN 640 020)

9.1 Definition, Geltungsbereich

Als Hauptverkehrsstrassen werden innerorts längere Strassenabschnitte mit starkem Durchgangsverkehr und grossräumiger Verbindungsfunktion bezeichnet, die sich über mehrere Knoten hinweg erstrecken. Die Knoten sind entweder mit Lichtsignalanlagen oder durch Kreisverkehr geregelt. Die Hauptstrasse hat in der Regel das Vortrittsrecht. Massgebend für die Leistungsfähigkeit sind beinahe immer die Knotenpunkte. Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität der ganzen Strecke werden durch die einzelnen Knoten bestimmt. Eine besondere Behandlung für Hauptverkehrsstrassen innerorts hat deshalb nur eine untergeordnete Bedeutung und wird nicht mehr weiter verfolgt. Dies steht im Gegensatz zu amerikanischen Verhältnissen, wo oft kilometerlang auf mehrstreifigen Strassen durch bebautes Gebiet gefahren wird und eine Beurteilung der Strecke und nicht nur des massgebenden Knotens sinnvoll ist.

Die Überlegungen beschränken sich deshalb auf zweistreifige Hauptverkehrsstrassen und Verbindungsstrassen ausserorts. Sie weisen einen voll ausgebildeten Fahrstreifen je Fahrtrichtung auf und werden im Gegenverkehr betrieben. Mehrstreifige Strassen oder Strassen mit Zusatzstreifen werden nicht berücksichtigt.

9.2 Grundlagen

9.2.1 Schweizerische Untersuchungen

Den Berichtverfassern ist keine schweizerische Arbeit bekannt, die sich unmittelbar mit der Verkehrsqualität und der Leistungsfähigkeit von zweistreifigen Strassen ausserorts befasst. Es sind nur Arbeiten bekannt, die indirekt Schlüsse auf die Fragestellung zulassen. Zum einen liegen Geschwindigkeitsmessungen vor [12]:

Strassentyp	Fahrbahn-breite m	Kennwerte der V-Verteilung			
		v15 km/h	v50 km/h	v85 km/h	vm km/h
Verbindungsstrassen ausserorts	5.4 - 7.2 m	62.4	72.6	82.3	72.5
Hauptverkehrsstrassen ausserorts	6.0 - 8.0 m	67.2	77.1	88.2	77.7

Tab. 9: Geschwindigkeit auf zweistreifigen Hauptverkehrs- und Verbindungsstrassen

Zum andern wurde das Fahrverhalten auf Ausserortsstrassen aufgenommen und versucht das Verhalten einem Typisierungsraster zuzuordnen [12].

Die Merkmale sind:

- Querschnitt (Fahrbahnbreite)
- Längsneigung
- Linienführung (Kurvigkeit)
- Verkehrsstärke
- Verkehrsart (Nahverkehr/Fernverkehr)
- Abschnittslänge

Das Ergebnis kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Die wichtigste Einflussgrösse ist die Linienführung, da sie das Geschwindigkeitsniveau massgebend bestimmt.
- Auf Strassen mit hohen Verkehrsbelastungen werden vergleichsweise hohe Geschwindigkeiten gemessen. Dies wird auf den allgemein höheren Ausbaustandard der stärker belasteten Strassen zurückgeführt.
- Die Fahrstreifenbreite hat nur einen geringen Einfluss auf die Geschwindigkeit, sofern tatsächlich zwei voll ausgebildete Fahrstreifen zur Verfügung stehen (minimale Fahrbahnbreite 6.0 m).
- Der grösste Teil der Abweichungen von der mittleren Geschwindigkeit kann keinem der genannten Merkmale zugewiesen werden.

Nach den Hauptkriterien horizontale Linienführung, Längsneigung und Verkehrsstärke ergeben sich folgende mittlere Geschwindigkeiten (km/h):

Linienführung	Verkehrsstärke	Längsneigung		
		0 - 3 %	3 - 5 %	>5 %
stetig	schwach/mittel	65	54	60
	hoch	73	keine Aussage	66
eng	schwach/mittel	61	55	53
	hoch	71	50	keine Aussage
unstetig	schwach/mittel	51	(21) [1)]	46
	hoch	keine Aussage	keine Aussage	42

[1)] nur wenige Messabschnitte

Tab. 10: Mittlere Geschwindigkeit in Abhängigkeit von Linienführung und Verkehrsstärke

Die Werte gelten für trockene Fahrbahnen und Tageslicht.

Der Einfluss von Dunkelheit und nasser Fahrbahn wird in [12] wie folgt angegeben:

Nacht, trockene Fahrbahn	+ 5 km/h
nasse Fahrbahn, starker Regen	-15 % (-8 % bei Verkehrsstärken im Bereich der Leistungsfähigkeit)
schwacher Regen, feuchte Fahrbahn	-10 %

Tab. 11: Veränderung der mittleren Geschwindigkeit infolge veränderter Umfeldbedingungen

Der Verkehrsstärken-Statistik des ASTRA für das Jahr 2000 können folgende Höchstbelastungen auf zweistreifigen Landstrassen ausserorts entnommen werden.

Zählstelle	Spitzenstunde 2000			
	Richtung	Fz/h	Richtung	Fz/h
Rapperswil Seedamm	Rapperswil	1'012	Pfäffikon	1'127
Bellach	Solothurn	842	Biel	878
San Bernardino Tunnel	Bellinzona	1'128	Chur	1'294
Minusio-Verbanella	Locarno	1'158	Bellinzona	1'119
Sion West	Sion	993	Martigny	1'277
Frenkendorf/Füllinsdorf	Liestal	2'031	Pratteln	1'599
Gotthard Tunnel	Bellinzona	1'244	Altorf	1'304

Tab. 12: Höchste gemessene Verkehrsstärken auf zweistreifigen Strassen

9.2.2 Amerikanische Unterlagen

Im Highway Capacity Manual [4] werden die zweistreifigen Landstrassen ausserorts eingehend und umfassend behandelt. Als Referenzzustand werden Strassen definiert, welche folgende Eigenschaften aufweisen:

- Ausbaugeschwindigkeit ≥97 km/h
- Fahrstreifenbreite min. 3.65 m, zusätzlich befestigte Bankette von 1.85 m Breite
- Nur geringe Störungen durch abbiegende Fahrzeuge
- Gefälle/Steigung: 0 %
- Überholsichtweiten von 460 m auf dem ganzen betrachteten Abschnitt
- Ausgeglichene Richtungsanteile

Es ist sofort ersichtlich, dass nur sehr wenige Abschnitte von zweistreifigen Hauptverkehrsstrassen in der Schweiz diesen Anforderungen entsprechen. Die mittleren Geschwindigkeiten betragen rund 90 km/h, während in der Schweiz eine Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h gilt.

Amerikanische Grundlagen können somit höchstens sehr beschränkt auf schweizerische Verhältnisse übertragen werden.

Als Einflussfaktoren werden unausgeglichene Richtungsanteile, Anteil von Teilstrecken mit Überholsichtweiten von <460 m, die Längsneigungen, die Verkehrszusammensetzung sowie die Breite der Fahrsteifen und der Bankette berücksichtigt.

Die Verkehrsqualität wird mit den drei Parametern

- Durchschnittliche Reisezeit beider Fahrtrichtungen
- Anteil der Verlustzeiten im Kolonnenverkehr (Überholen nicht möglich)
- Auslastungsgrad gegenüber Leistungsfähigkeit

umschrieben.

Die Leistungsfähigkeit einer Strasse gemäss dem Referenzzustand wird mit 2'800 PWE/h (Summe beider Fahrtrichtungen) angegeben.

9.2.3 Deutsche Forschungsergebnisse

Als Landstrassen werden einbahnige Strassen mit einem Fahrstreifen für jede der beiden Fahrtrichtungen bezeichnet. Dazu gehören Strassen mit den Regelquerschnitten RQ 10,5, RQ 9,5 und RQ 7,5 nach der RAS-Q 1996 [9].

Die Fahrsteifenbreiten betragen zwischen 3.25 m und 3.75 m (inkl. Randmarkierung), die Bankette sind 1.50 m breit.

Als Einflussfaktoren werden

- die Längsneigungen (mit Steigungsklassen)
- die horizontale Linienführung (Kurvigkeit)
- die Überholmöglichkeiten und der Schwerverkehrsanteil

berücksichtigt.

Die Verkehrsqualität wird mit den Parametern

- mittlere Reisegeschwindigkeit der Personenwagen und
- Verkehrsdichte

beschrieben, wobei die gegenseitigen Abhängigkeiten einbezogen werden.

Die Leistungsfähigkeit einer Landstrasse der Steigungsklasse 1 (massgebende Geschwindigkeit des Bemessungslastwagens >70 km/h) mit einer gestreckten Linienführung (Kurvigkeit 0 - 75 gon/km) sowie einem kleinen Schwerverkehrsanteil (0 - 5 %) beträgt 2'500 Mfz/h als Summe des Verkehrs von beiden Fahrtrichtungen.

Auch die deutschen Untersuchungen bestätigen, dass bei Fahrbahnbreiten zwischen 7.00 m und 9.00 m keine Unterschiede im Verkehrsablauf zu erwarten sind. Spürbare Abminderungen der Reisegeschwindigkeit sind erst bei Fahrbahnbreiten unter 5.50 m zu erwarten.

Die direkte Berücksichtigung des Schwerverkehrs über Prozentanteile am Gesamtverkehr hat sich als sinnvoller erwiesen als eine Umrechnung in Personenwageneinheiten.

9.2.4 Österreichische Grundlagen

Es ist naheliegend einen Blick auf die österreichischen Grundlagen zu werfen, sind doch die topografischen Verhältnisse sehr gut mit den schweizerischen vergleichbar.

In den Richtlinien für Strassenbau (RVS) [17] ist unter Kapitel 3.7 eine Anleitung für die "Überprüfung der Anlageverhältnisse" von Strassen (ÜAS) enthalten. Dabei geht es um die Bestimmung des Qualitätsmerkmals Betriebsgeschwindigkeit sowie um die sogenannte Berechnungsverkehrsstärke. Diese geht von einer Grundleistungsfähigkeit aus. Mit drei Faktoren werden die Einflüsse von eingeschränkten Querschnitten, von Sichtweiten und Kurvigkeiten, sowie von Längsneigung und Schwerverkehrsanteilen berücksichtigt. Dabei bestehen gewisse Zusammenhänge unter den drei Faktoren.

Für den Faktor Verkehrsbedingungen (fv) werden beachtenswerte Diagramme vorgestellt, in welchen der Abminderungsfaktor in Abhängigkeit der Verkehrsstärke, des Lastwagenanteils und der Längsneigung gezeigt werden.

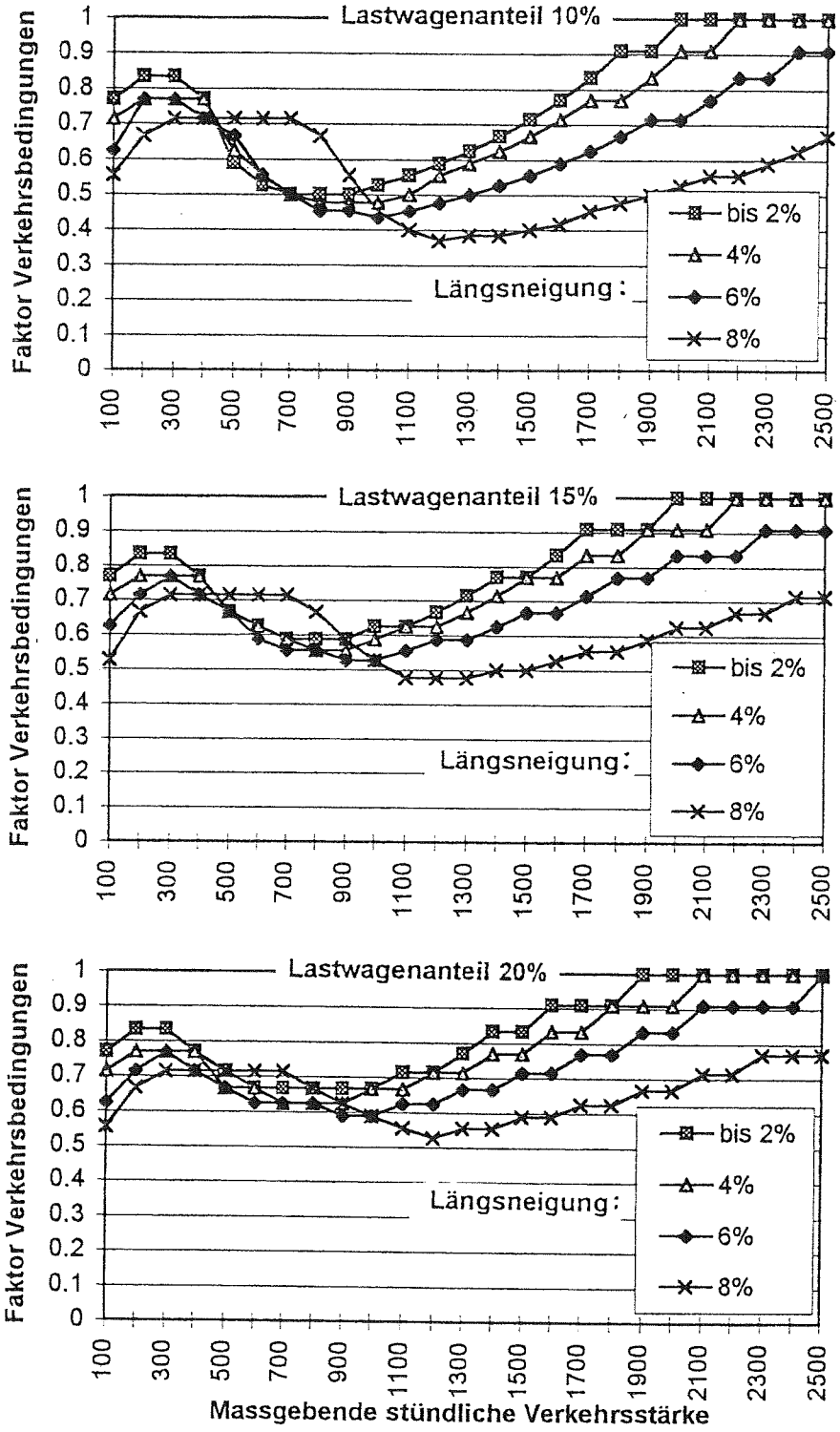


Abb. 2: Faktor Verkehrsbedingungen (f_V) in Abhängigkeit von der massgebenden stündlichen Verkehrsstärke, der Längsneigung (in Legende) sowie den Lastwagenanteilen 10% (oben), 15% (Mitte) und 20% (unten)

9.3 Berechnungsverfahren

Nach Abwägung aller gesichteten Unterlagen kamen die Begleitkommission und die Forschungsstelle zum Schluss, dass bezüglich der Leistungsfähigkeit ein Übertragen des deutschen Handbuches noch am ehesten den schweizerischen Verhältnissen gerecht werden kann.

Die Bestimmung eines Masses für die Verkehrsqualität scheiterte wegen mangelnden Grundlagen. Ohne Erfolg wurde versucht eine Methode zu entwickeln, bei der die Verlustzeiten bei Fahrten im Kolonnenverkehr massgebend wären. Weil alle andern möglichen Ansätze auch nicht zum Ziel führten, wird darauf verzichtet, ein Mass für die Verkehrsqualität anzugeben und zugeordnete Verkehrsstärken zu bestimmen.

Als Hilfe für die Dimensionierung wird deshalb eine Tabelle vorgestellt, die Reduktionsfaktoren gegenüber der Leistungsfähigkeit angibt. Die so ermittelten Werte können als Dimensionierungsgrundlage gelten. Sie entsprechen etwa der Verkehrsqualitätsstufe D.

9.4 Ergebnisse

9.4.1 Leistungsfähigkeit

Bei der Leistungsfähigkeit werden die folgenden Einflussgrössen berücksichtigt:

- Schwerverkehrsanteil
- Längsneigungen
- Kurvigkeit einschliesslich Zuschläge für Strecken mit Überholverboten

Die Wertetabelle wurde mangels eigener guter Unterlagen aus dem deutschen Handbuch [2] übernommen. Die Leistungsfähigkeit variiert zwischen 2'500 Mfz/h als Summe beider Fahrtrichtungen für ebene, wenig kurvige Strecken mit 0 % Schwerverkehrsanteil und 1'200 Mfz/h auf steilen, sehr kurvigen Strecken mit 15 % Schwerverkehrsanteil.

9.4.2 Verkehrsqualität

Es wurde kein Mass für die Verkehrsqualität bestimmt, da diesbezüglich keine befriedigenden übertragbaren Untersuchungen zur Verfügung stehen. Wie erwähnt werden Reduktionsfaktoren gegenüber der Leistungsfähigkeit angegeben, welche zu Werten für die Dimensionierung (entspricht etwa der Verkehrsqualitätsstufe D) führen. Die Reduktionsfaktoren sind ebenfalls abhängig von

- Schwerverkehrsanteil
- Längsneigungen
- Kurvigkeit einschliesslich Zuschläge für Strecken mit Überholverboten

Die Reduktionsfaktoren variieren zwischen 0.96 (eben, gerade, 0 % Schwerverkehr) und 0.75 (steil, kurvig, 15 % Schwerverkehr). Die absoluten Werte schwanken demnach zwischen 2'400 Mfz/h als Summe beider Fahrtrichtungen und 900 Mfz/h.

9.4.3 Belastbarkeit

Hiezu ist den Ausführungen in der Norm nichts beizufügen.

9.4.4 Einflussgrössen

Die Abhängigkeit zwischen den Wirkungen der verschiedenen Einflussgrössen und den Verkehrsstärken ist bei den zweistreifigen Hauptverkehrs- und Verbindungsstrassen sehr deutlich erkennbar.

Der Einfluss der Kurvigkeit und der Überholverbote ist bei kleinen Verkehrsstärken sehr hoch. Je stärker die Strasse belastet ist, desto kleiner wird der Einfluss. Umgekehrt verhält es sich bei den Längsneigungen. Bei wenig Verkehr ist der Einfluss klein, bei starkem Verkehr ist er gross. Der Lastwagenanteil hat bei mittleren Verkehrsstärken den grösseren Einfluss.

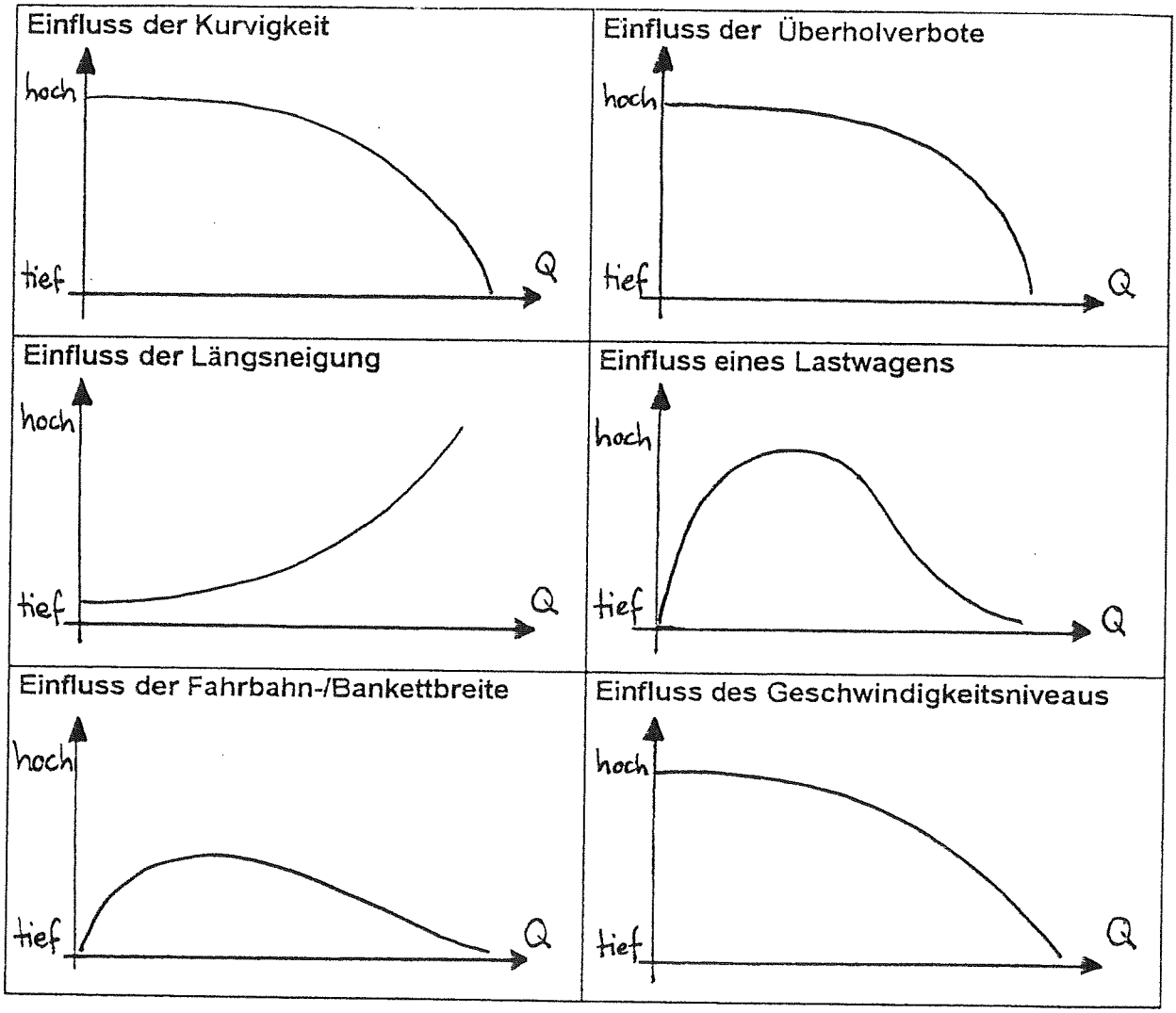


Abb. 3: Qualitative Abschätzung des Einflusses verschiedener Einflussgrössen auf die Verkehrsqualität in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke (Q)

Verschiedene Einflüsse sind zwar offensichtlich, aber zahlenmässig noch nicht oder zu wenig erfasst, als dass gesicherte Werte abgegeben werden können. Es betrifft dies zum Beispiel das Fahrerkollektiv, der Anteil von Wohnwagengespannen und/oder Landwirtschaftsfahrzeugen, der Anteil von Velos und Mofas und Fahrbahnbreiten unter 5.5 m / ev. unter 6.0 m.

9.5 Offene Fragen

Beim Thema Hauptverkehrsstrassen und Verbindungsstrassen sind noch sehr viele Fragen offen. Sie sollen stichwortartig aufgelistet werden:

- Mass der Verkehrsqualität und zugeordnete Verkehrsstärken
- Einfluss von Zusatzstreifen
- Einfluss von Velos/Mofas, Anteil Landwirtschaftsfahrzeuge und Wohnwagengespanne (und ähnliche Fahrzeuge)
- Einfluss Fahrerkollektiv
- Überprüfung der hier vorgelegten Werte anhand von praktischen Beispielen

Es ist weiter zu prüfen, ob für zweistreifige Hauptverkehrsstrassen mit nicht höhengleichen Anschlüssen eigene Werte ermittelt werden sollen. Das Gleiche gilt für dreistreifige Strassen, die im 2 + 1 bzw. 1 + 2 System betrieben werden.

10. KNOTEN OHNE LICHTSIGNALANLAGE (SN 640 022)

Die Norm stützt sich in weiten Teilen auf die Forschungsarbeit Nr. 422 "Schätzverfahren zur Leistungsbeurteilung von Knoten ohne Lichtsignalanlage" [18]. Ziel der Forschung war, die Anwendbarkeit des deutschen "Merkblattes zur Berechnung der Leistungsfähigkeit an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlagen" [19] auf schweizerische Verhältnisse zu überprüfen. Die Verfasser kamen zum Schluss, dass die Methode und die Werte des deutschen Merkblattes auch für die Schweiz geeignet sind, wenn folgende Ergänzungen beachtet werden:

- Verwendung der Zeitlücken der Geschwindigkeit 60 km/h für alle Geschwindigkeitsbereiche. Ausgenommen sind Anpassungen auf Grund besonderer Sicht- und Kreuzungsverhältnisse.
- Die Vortrittsregelung STOP oder kein Vortritt ist für die Ermittlung der Hauptstrombelastungen nicht zu berücksichtigen.
- Bei den Berechnungen ist ein Korrekturfaktor CH von +90 PWE/h zu berücksichtigen.
- Das 6-stufige Level-of-Service-Konzept ist einzuführen.

Die Norm hat diese Anregungen berücksichtigt.

Die Norm kann auf alle Einmündungen und Kreuzungen ohne Lichtsignalanlage angewendet werden mit Ausnahme der Kreisverkehrsplätze. Weiter dürfen Einmündungen und Kreuzungen in der Nachbarschaft von lichtsignalgesteuerten Knoten oder von Bahnübergängen sowie solche mit überdurchschnittlichen Fussgänger- und/oder Zweiradverkehr nur mit Einschränkungen mit dieser Methode beurteilt werden. Sobald die zufällige Verteilung der am Knoten ankommenden Fahrzeuge nicht zutrifft, sind Vorbehalte anzubringen.

Im Weiteren wird auf den erwähnten Forschungsbericht Nr. 422 [18] verwiesen.

11. KNOTEN MIT LICHTSIGNALANLAGE (SN 640 023)

11.1 Definition, Geltungsbereich

Dieses Element behandelt höhengleiche Knotenpunkte, die mit einer Lichtsignalanlage betrieben werden. Der Knoten soll gemäss den Regeln der SN 640 250 (Knoten: Grundlagennorm), SN 640 251 (Knoten: Knotenelement) und SN 640 252 (Knoten: Knoten in einer Ebene ohne Kreisverkehr) gestaltet sein.

Die Steuerung der Lichtsignalanlage kann mit einem Festzeitprogramm, teilverkehrsabhängig oder vollverkehrsabhängig erfolgen. Es kann sich um eine Einzelanlage handeln oder um eine Anlage innerhalb einer koordinierten Gruppe von Anlagen.

Mit der Normengruppe Lichtsignalanlagen (SN 640 832 bis SN 640 838) bestehen sehr detaillierte Unterlagen auch für die Ermittlung der Leistungsfähigkeit. Die Verfahren sind wegen ihrer Differenziertheit jedoch kaum mehr mit der als Forschungsziel der vorliegenden Arbeit genannten "Papier/Bleistift-Methode" vereinbar. Die begleitende Expertenkommission präzisierte deshalb die Aufgabe für dieses Element wie folgt: Es sollen Unterlagen geschaffen werden, die für einfachere Fälle mit angemessenem Aufwand zur Abschätzung der Leistungsfähigkeit bzw. der Verkehrsqualitätsstufe gelangen.

Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Koordination mit den Normengruppen Knoten (SN 640 250 ff) und Lichtsignalanlagen (SN 640 833 ff) gelegt.

11.2 Grundlagen

Neben der erwähnten schweizerischen Normengruppe Lichtsignalanlagen sind auch im deutschen Handbuch [2] wie im amerikanischen HCM [4] die Knotenpunkte mit Lichtsignalanlagen (LSA) ausführlich behandelt. Auf einen Vergleich der Verfahren wird verzichtet, da ausgezeichnete Unterlagen für schweizerische Verhältnisse vorhanden sind und kein Anlass besteht, diese nicht als massgebende Grundlage zu benützen.

11.3 Verfahren

Die im Kapitel 4 vorgestellten grundsätzlichen Methoden der angebotsorientierten und nachfrageorientierten Verfahren sowie der Leistungsanalyse sind auch bei LSA-gesteuerten Knoten anwendbar.

Das Berechnungsverfahren selbst lehnt sich bewusst an das Vorgehen in den Normen SN 640 833: Nutzen einer Lichtsignalanlage und SN 640 834: Phasentrennung an, die geeignet sind, überschlagsmässig die Leistungsfähigkeit sowie Qualitätsmerkmale wie mittlere Wartezeiten und Rückstaulängen zu bestimmen.

Die Überlegungen beschränken sich auf Einzelanlagen ohne Berücksichtigung von öffentlichen Verkehrsmitteln, welche mit Priorität in die Steuerung eingreifen können. Für die Leistungsberechnung von koordinierten Anlagen mit oder ohne Berücksichtigung von Prioritätsregelungen für den öffentlichen Verkehr wird auf die speziellen zur Zeit laufenden Forschungsprojekte verwiesen.

Im Besonderen wird auch die Methode der Geradeausaequivalente übernommen. Die Knotensteuerungen können oft nicht alle vortrittsbelasteten Knotenströme von den vortrittsberechtigten Knotenströmen in sogenannt reinen Phasen trennen. So haben häufig

rechtsabbiegende Verkehrsströme den über die Querstrasse gehenden Fussgängern den Vortritt zu lassen. Oder: Linksabbiegende Fahrzeuge haben bei vollem grünen Licht den entgegenkommenden Fahrzeugen den Vortritt zu gewähren. Vortrittsbelastete Verkehrsströme benötigen demnach längere Grünzeiten, da sie erst abfliessen können, wenn die in der gleichen Phase laufenden feindlichen Knotenströme die Konfliktfläche geräumt haben. Diesem Umstand wird mit den Geradeausaequivalenten Rechnung getragen. Genaueres dazu ist dem Forschungsbericht Nutzen einer Lichtsignalanlage [20] zu entnehmen.

11.4 Ergebnisse

11.4.1 Leistungsfähigkeit

Eine generelle Angabe zur Leistungsfähigkeit von Knoten mit LSA ist nicht sinnvoll, da die Verkehrsstrukturen an den Knoten höchst unterschiedlich sind. Die Leistungsfähigkeit und weitere Merkmale werden immer auf die einzelnen Verkehrsströme bezogen. Dabei wird von einem Wert der Fahrstreifensättigung von 1'800 PWE/h Grünzeit ausgegangen, was einer mittleren Zeitlücke von 2 Sekunden entspricht und damit ein korrektes, sicheres Fahrverhalten berücksichtigt. Es werden auch höhere Werte beobachtet, dann ist aber häufig ein Überfahren der Gelbzeit eingeschlossen.

Für die Umlaufzeit werden Werte zwischen 60 und 120 Sekunden eingesetzt. Noch längere Umlaufzeiten erhöhen die Leistungsfähigkeit, führen aber zum Teil zu nicht mehr akzeptierten Wartezeiten, insbesondere beim Fussgängerverkehr.

Üblicherweise wird der Spitzenstundenverkehr in % des DTV oder des DWV als massgebender Verkehr bezeichnet. In gewissen Fällen kann es jedoch angezeigt sein, die Spitzenviertelstunde als massgebend zu betrachten, das heisst den Berechnungen wird ein Wert von 4 x Spitzenviertelstunde oder 1.2 x Spitzenstunde zu Grunde gelegt. Solche Fälle können sein: Starker aber sehr kurzfristiger Mittagsverkehr, kritische Rückstaulängen, die andere Verkehrsströme blockieren.

11.4.2 Verkehrsqualität

Die Normengruppe Lichtsignalanlagen äussert sich nicht zu den Verkehrsqualitätsstufen. Hingegen werden Qualitätsmerkmale definiert und deren Berechnung vorgestellt.

Im deutschen wie im amerikanischen HCM werden die Verkehrsqualitätsstufen, wie bei den ungesteuerten Knoten, mit der mittleren Wartezeit definiert. Dies vermag jedoch nicht zu befriedigen, weshalb im deutschen HCM als zweites Kriterium der Auslastungsgrad hinzukommt.

In Abwägung der verschiedenen Ansätze wird vorgeschlagen die Qualitätsstufen in erster Linie über den Auslastungsgrad und mit einer qualitativen Umschreibung auch über die Wartezeiten zu definieren. Als Faustregel kann gelten, dass die Verkehrsqualität einer LSA genügend ist, wenn nicht zweimal vor der gleichen Ampel angehalten werden muss.

Die Berechnung des Auslastungsgrades erfolgt nach dem Verfahren der Normen SN 640 833: Nutzen einer Lichtsignalanlage und SN 640 834: Phasentrennung.

11.4.3 Belastbarkeit

Aus Sicht der Umwelt können keine Grenzwerte für die Verkehrsstärken einzelner Fahrstreifen angegeben werden.

Tatsache ist, dass die Luftschadstoffimmissionen stark von der Betriebsart der LSA und dem Auslastungsgrad bestimmt wird. Die Normen SN 640 833 und SN 640 834 geben überschlägige Berechnungsverfahren an.

Die Lärmsituation ist wesentlich weniger beeinflussbar.

Der sicherheitsmässigen Belastbarkeit wird mit der Sättigungsverkehrsstärke von 1'800 PWE/h Grünzeit hinreichend Rechnung getragen. Für andere sicherheitsrelevante Überlegungen wird auf die Norm Phasentrennung verwiesen.

Unterhalts- und Bauarbeiten in Knotenbereichen gehören zum städtischen Alltag. Aus der Sicht Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität können keine generellen Aussagen gemacht werden. Einen wesentlichen Einfluss haben die örtlichen Dispositionen der verschiedenen Leitungen (Lage der Schachtdeckel).

11.4.4 Einflussgrössen

Das Verfahren kann die Verkehrszusammensetzung mit der Umrechnung in Personenwageneinheiten berücksichtigen.

Der Referenzzustand geht von Längsneigungen der Knotenäste von <2 % aus. Messungen in genügender Zahl über die Leistungen auf stärker geneigten Knotenästen fehlen, so dass keine Aussagen gemacht werden können. Als Hinweis kann die Tabelle dienen, die für ungesteuerte Knoten angegeben wird. Allerdings sollen Umrechnungsfaktoren <1.0 bei Gefälle zum Knoten hin nicht angewendet werden. Bei den Betriebsbedingungen gilt als Referenzzustand eine Steuerung, in der alle Knotenströme einer Phase vortrittsberechtigt sind (Reine Phasen). Als Phase wird ein Intervall bezeichnet, währenddem ein oder mehrere Knotenströme gleichzeitig in den Knoten einfahren können.

Wenn auch vortrittsbelastete Knotenströme miteinbezogen werden, können sie mit der Methode der Geradeausaequivalenten berücksichtigt werden.

11.5 Offene Fragen

Der Bereich Lichtsignalanlagen ist bereits gut erforscht und dokumentiert, so dass nur wenig offene Fragen bleiben, wie z.B. der Einfluss der Längsgefälle auf den Knotenzufahrten oder der Einfluss von aufgeweiteten Fahrradaufstellflächen vor den Haltebalken [21].

12. KNOTEN MIT KREISVERKEHR (SN 640 024)

12.1 Definition, Geltungsbereich

Als Knoten mit Kreisverkehr werden Knoten bezeichnet, die eine in der Regel kreisrunde Fahrbahn aufweisen, welche im Gegenuhrzeigersinn befahren wird. Die auf der Kreisfahrbahn fahrenden Fahrzeuge sind gegenüber denjenigen aus den Kreiselzufahrten einfahrenden Fahrzeuge bevorrechtigt. Die Begriffe "Knoten mit Kreisverkehr", "Kreisverkehrsplatz", "Verkehrskreisel" und "Kreisel" werden synonym verwendet.

Die verschiedenen Ausprägungen der Verkehrskreisel können verschiedenen Typen zugeordnet werden.

Kreiseltyp	∅ [m]	Anzahl Fahrstreifen im Kreisel	Anzahl Fahrstreifen in Zufahrt	Kreiselmitte	Bemerkung
Grosskreisel	>35 m	(1), 2, (3)	(1), 2, (3)	Insel	meist Kreisel mit Verflechtungen
Kleinkreisel	28-35 m	1	1, (2)	Insel	
	25-28 m	1	1, (2)	Insel	5-armige Kreisel nicht mehr möglich
	22-25 m	1	1	Insel, teilweise befahrbar	eingeschränkte Befahrbarkeit
Minikreisel	18-24 m	1	1	Insel, teilweise befahrbar	eingeschränkte Befahrbarkeit
	14-20 m	1	1	Markierung	eingeschränkte Befahrbarkeit

Tab. 13: Kreiseltypen in Abhängigkeit vom Aussendurchmesser

Die Aussagen zu Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität beziehen sich in dieser Arbeit nur auf die sogenannten Kleinkreisel mit einem Aussendurchmesser zwischen 26 und 35 m (ev. bis 40 m), auf denen keine Verflechtungsvorgänge stattfinden. Die Mittelinsel ist nicht überfahrbar. Diese Umschreibung entspricht der Norm SN 640 263. Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität werden durch die nachstehenden Elemente der Kreiselgeometrie massgebend bestimmt.

- Aussendurchmesser des Kreisverkehrsplatzes
- Breite und Anzahl Fahrstreifen der Kreisfahrbahn
- Breite und Anzahl Fahrstreifen der Ein- und Ausfahrten
- Aufweitung der trichterförmigen Leitinsel der Kreiselarme
- Schnittwinkel der Kreiselarme

Die Referenzgrössen der Kreisel sind wie folgt definiert:

Breite Kreisfahrbahn:

- Einstreifige Kreisfahrbahn: 6 - 8 m, damit auf der Kreisfahrbahn nicht überholt werden kann
- Zweistreifige Kreisfahrbahn: Mit Markierung der Fahrsteifen ab 8 m

Breite Ein-/Ausfahrten:

- Einstreifige Einfahrten: 3 - 4 m
- Zweistreifige Einfahrten: 6 m
- Einstreifige Ausfahrten: 3 - 4 m

Breite Leitinsel:

- Übergeordnete Strassen (höhere Geschwindigkeiten) sowie starke Fussgängerströme: min. 4 m
- Untergeordnete Strassen: min. 2 m

Schnittwinkel/Abstände Kreiselarme:

- Abstände zwischen Kreiselarmen gleichmässig
- Schnittpunkte der Kreiselarme nahe beieinander und möglichst im Kreismittelpunkt
- Schnittwinkel zwischen Ein- und Ausfahrt: min. 25 - 30°

Kreiselform:

- Kreisrund
- Ovale und elliptische Fahrbahn mit Verhältnis grösserer/kleinerer Aussendurchmesser min. 0.75

Neigungsverhältnisse.

- Grosskreisel: bis 3 % Längsneigung
- Klein-, Mittelkreisel: Auch Längsneigung grösser 3 % möglich

Fussgängerstreifen:

- Auf übergeordneten Strassen: 4 - 5 m vom Kreisrand abgerückt
- Untergeordnete Strassen: min. 2 m vom Kreiselrand abgerückt

Geschwindigkeit auf der Kreiselfahrbahn:

- 20 - 30 km/h: Velofahrer und Motorfahrzeuge haben etwa die gleiche Geschwindigkeit

Die gewählte Definition deckt sich mit derjenigen des deutschen HCM.

12.2 Grundlagen

Zur Leistungsfähigkeit und zu den Qualitätsmerkmalen von Kreiseln wurden in den letzten 15 Jahren viele Arbeiten verfasst. Die Wichtigsten sind im Folgenden erwähnt:

12.2.1 Schweizerische Grundlagen

12.2.1.1 Verfahren EPFL

Das Verfahren basiert auf dem französischen Berechnungsverfahren nach CETUR und gilt für Kleinkreisel (Giratoire compact) mit ein- oder zweistreifiger Kreisfahrbahn mit ein- oder zweistreifigen Zufahrten.

12.2.1.2 Verfahren VSS

Dem Verfahren liegen Messungen auf schweizerischen Knoten mit Kreisverkehr zu Grunde, die im Forschungsbericht Nr. 204 [22] dokumentiert sind. Das Verfahren ist gültig für Kleinkreisel mit einem Aussendurchmesser zwischen 25 und 40 m. Die Kreisfahrbahn und die Zufahrten sind einstreifig ausgebildet (allgemeiner Fall). Dazu wird als

spezieller Fall eine einstreifige Zufahrt mit besonderer Busspur rechts sowie eine sehr hohe Belastung der Zufahrt (ca. 1'000 PWE/h) beurteilt. Die Leistungsfähigkeit einer Einfahrt (L_E) wird wie folgt angegeben:

Allgemeiner Fall: $L_E = 1'300 - 0.75\ Q_K$ (PWE/h)

Spezieller Fall: $L_E = 1'450 - 0.95\ Q_K$ (PWE/h)

(Q_K = Verkehrsstärke auf der Kreisfahrbahn vor der Zufahrt)

12.2.1.3 Guide Suisse des Giratoires

Dieses Handbuch stellt den Stand des Wissens für das Jahr 1990 dar [23]. Es übernimmt die Ermittlung der Leistungsfähigkeit des Forschungsberichtes Nr. 204 und ergänzt sie mit Angaben zur Leistungsfähigkeit für zweistreifige Einfahrten bei einstreifiger Kreisfahrbahn. Sie beträgt das 1.4-fache einer einstreifigen Einfahrt.

Als grobe Abschätzung kann die mittlere Wartezeit (t_w) in Sekunden mit

$$t_w = \frac{1'000 + 2 \cdot Q_K}{L_E - Q_E}$$

ermittelt werden. Dabei ist

Q_K: Verkehrsstärke auf der Kreisfahrbahn vor der Einfahrt

Q_E: Verkehrsstärke der einstreifigen Einfahrt

L_E: Leistungsfähigkeit der einstreifigen Einfahrt

12.2.2 Deutsche Grundlagen

Der Entwurf zum deutschen Handbuch befasste sich eingehend mit den Kreisverkehrsplätzen [2]. Die Regressionsgleichungen belegen den unmittelbaren Zusammenhang zwischen der Leistungsfähigkeit der Einfahrt und der Verkehrsstärke auf der Kreisfahrbahn vor der Einfahrt.

Es zeigte sich dann, dass bei hoch belasteten Kreiseln zum Teil höhere Leistungsfähigkeiten bei immer noch sicherem Verkehrsfluss gemessen wurden. Die neu ermittelten Formeln heissen [40]:

Zufahrt einstreifig/Kreisfahrbahn einstreifig (1/1): $L_E = 1'218 - 0.74\ Q_K$

Zufahrt einstreifig/Kreisfahrbahn mehrstreifig (1/2): $L_E = 1'250 - 0.53\ Q_K$

Neu wurde auch eine nichtlineare allgemein gültige Formel zur Berechnung der Leistungsfähigkeit ermittelt. Sie lautet:

$$L_E = \left(1 - \frac{\Delta \cdot Q_K}{n_K}\right)^{n_K} \cdot \frac{n_E}{t_F} \cdot e^{-Q_K \cdot \left(t_G - \frac{t_F}{2} - \Delta\right)}$$

Dabei ist:
- L_E: Leistungsfähigkeit der Einfahrt
- Q_K: Verkehrsstärke auf der Kreisfahrbahn vor der Einfahrt
- n_E: Anzahl Fahrstreifen der Einfahrt
- n_K: Anzahl Fahrstreifen der Kreisfahrbahn
- t_G: Grenzzeitlücke (gewichteter Mittelwert: 4.12 s)
- t_F: Folgezeitlücke (gewichteter Mittelwert: 2.88 s)
- Δ: Mindestzeitlücke zwischen den Fahrzeugen im Kreis (ca. 2.1 s)

Gegenüber den linearen Berechnungsmethoden ergeben sich insbesondere höhere Leistungsfähigkeiten bei grossen Verkehrsstärken in der Zufahrt und kleinen Verkehrsstärken im Kreis, wenn sowohl Zufahrten und Kreisfahrbahn mehrstreifig sind.

Für einstreifige Zufahrten und einstreifige Kreisfahrbahnen sind nur geringe Unterschiede festzustellen.

Der in der Schweiz häufig auftretende Fall von zweistreifigen Einfahrten und einstreifigen Kreisfahrbahnen ist in den Untersuchungen nicht enthalten.

Das überarbeitete deutsche HCM [3] übernimmt die nicht-linearen Berechnungsmethoden.

Sehr aufschlussreich und fundiert ist das Handbuch zum EDV-Programm "Kreisel" (Version 5) [24].

12.2.3 Französische Grundlagen

Hier sei kurz die Methode CETUR 88 vorgestellt. Nach [24] basiert die Methode auf Schätzungen ohne belegbare Datenbasis. Sie gilt für Kleinkreisel und arbeitet mit verhältnismässig groben Abgrenzungen.

Die Formeln lauten:

$L_E = (1'500 - 0.833 \cdot Q_B)/\gamma$

$Q_B = \beta \cdot Q_K + 0.2 \cdot Q_A$

Dabei ist:
- Q_K: Verkehrsstärke auf der Kreisfahrbahn vor der Einfahrt
- Q_A: Verkehrsstärke der Ausfahrt unmittelbar vor der betrachteten Einfahrt
- $\gamma = 1$ bei einstreifigen Zufahrten
- $\gamma = 0.7$ bei zweistreifigen Zufahrten
- $\beta = 1$ bei einer Breite der Kreisfahrbahn <8 m
- $\beta = 0.7$ bei einer Breite der Kreisfahrbahn >8 m und einem Durchmesser der Mittelinsel ≥20 m
- $\beta = 0.9$ bei einer Breite der Kreisfahrbahn >8 m und einem Durchmesser der Mittelinsel <20 m

12.2.4 Englische Unterlagen

England gilt als das "klassische" Land der Kreisverkehrsplätze. Das englische Verfahren des TRRL (Kimber) aus dem Jahre 1980 gilt als gesichert für englische Verhältnisse. Ihm liegen umfassende Messungen an Kreiseln aller Grössenordnungen zu Grunde.

Grundlagen:

- Verkehrsstärken: in Mfz/h
- Strombelastung: Verkehrsstärke in der Kreisfahrbahn auf der Höhe der Einfahrt : Q_K

- Geometrische Merkmale:

	Geometrische Merkmale:	Gültigkeitsbereich
E =	Breite Zufahrt am Rand des Kreisels	3.6 m ≤E ≤16.5 m
V =	Breite des zuführenden Fahrstreifens	1.9 m ≤V ≤12.5 m
L =	Länge der trichterförmigen Aufweitung	L ≥1 m
D =	Aussendurchmesser Kreisel auf Höhe Einfahrt	13.5 m ≤D ≤176 m
R =	Erster Radius des rechten Einfahrtsrandes	9.4 m ≤R
T =	Winkel zwischen Kreis und Zufahrt (Tangenten am Schnittpunkt der Mittellinie der Kreisfahrbahn und der Zufahrt)	0° ≤ T ≤77 °
S =	Mass der Aufweitung S = (E-V) / L	

Tab. 14: Geometrische Merkmale zur Beschreibung der Strassenbedingungen im Verfahren TRRL

Leistungsfähigkeit der Einfahrt:

$Q_E = k \cdot (F - f_c \cdot Q_K)$ wobei k, F und f_c z.T. kompliziert berechnet werden müssen

$F = 303 \cdot x_2$

$x_2 = V + (E - V) / 1 + 2 \cdot S)$

$k = 1 - 0.00347 \cdot (T - 30) - 0.978 \cdot (1 / R - 0.05)$

$f_c = 0.21 \cdot t_D \cdot (1 + 0.2\ x2)$

$S = (E - V) / L$

$t_D = 1 + 0.5 / (1 + EXP\ [(D - 60 / 10])$

Einen dominierenden Einfluss auf die Leistungsfähigkeit hat die Breite der Kreiseleinfahrt (E). Dies führt in der englischen Praxis zu trichterförmigen Aufweitungen in den Einfahrten, wo sich einfahrende Fahrzeuge nebeneinander aufstellen können.

Englische Untersuchungen entwickelten auch Verfahren zur Berechnung der Wartezeiten (Kimber/Hollis 1979) und der Rückstaulängen (Little), die häufig auch in andern Ländern benutzt werden.

12.2.5 Vergleich

Die nachstehende Abbildung gibt einen Überblick über die verschiedenen Berechnungsmethoden.

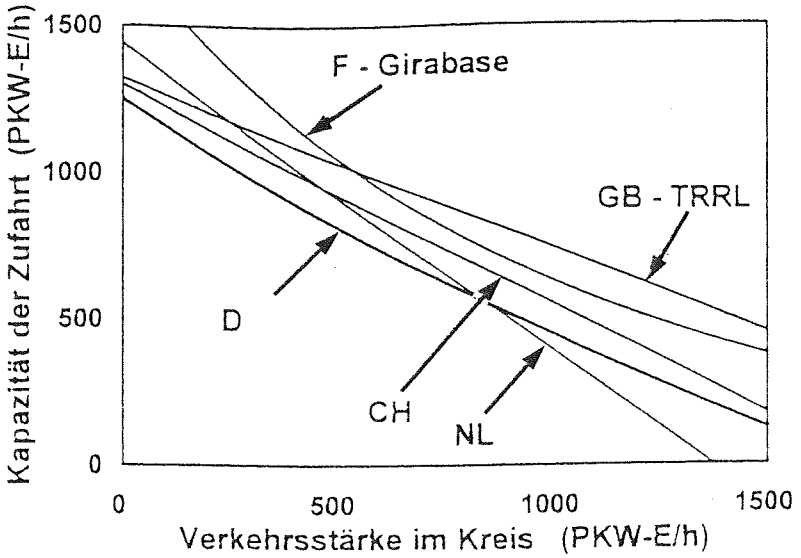


Abb. 4: Vergleich der Berechnungsmethoden für einstreifige Kreisfahrbahnen und einstreifige Zufahrten

Die schweizerische Formel nach VSS (Abschnitt 12.2.1.2) liegt etwa in der Mitte.

Während die Verkehrsabläufe des Motorfahrzeugverkehrs verhältnismässig gut wiedergegeben werden, bestehen über den Einfluss des Fussgängerverkehrs wenig Informationen.

Fussgänger, welche eine Einfahrt überqueren, haben vor allem bei hohen Belastungen einen geringen Einfluss, da sie zwischen den wartenden Fahrzeugen hindurch gehen können. Bei Verkehrsbelastungen ≥480 PWE/h in der einstreifigen Zufahrt und ≥900 PWE auf der einstreifigen Kreisfahrbahn hat der Fussgängerverkehr kaum mehr Einfluss auf die Leistungsfähigkeit.

Anders verhält es sich bei den Ausfahrten. Starke Fussgängerströme auf Fussgängerstreifen können einen entscheidenden Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Kreisels haben, denn der Fahrzeugführer hat vor Fussgängerstreifen besonders vorsichtig zu fahren und nötigenfalls anzuhalten, um den Fussgängern den Vortritt zu lassen, die sich schon auf dem Streifen befinden oder im Begriffe sind ihn zu betreten. Zahlenmässige Angaben über diesen Einfluss sind aber nur sehr spärlich vorhanden.

12.3 Berechnungsverfahren

Das Verfahren stützt sich auf die schweizerischen Grundlagen, denen Messungen in der Schweiz zu Grunde liegen und im internationalen Vergleich im Mittelfeld der verschiedenen Bestimmungskurven liegen. Die Angaben beziehen sich auf Kleinkreisel (Aussendurchmesser 26 bis 35 m) mit einstreifigen Kreiszufahrten und einstreifigen Kreisfahrbahnen. Die Belastungsannahmen müssen zwingend auf Personenwageneinheiten umgerechnet werden. Mit einem Wert von 0.5 PWE erhält das Fahrrad das doppelte Gewicht gegenüber dem Umrechnungsfaktor von 0.25 bei einem lichtsignalgesteuerten Knoten und berücksichtigt damit die stärkere Stellung des Fahrrads im Kreisverkehr. (Gemäss Art. 41b, Absatz 3 VRV können die Radfahrer auf Kreisverkehrsplätzen ohne Fahrstreifen-Unterteilung vom Gebot des Rechtsfahrens abweichen.)

Der in [22] definierte Spezialfall (Abschnitt 12.2.1.2) wird ebenfalls vorgestellt. Als Hinweise werden die Leistungsfähigkeiten der Kreiseleinfahrt in Abhängigkeit der Belastung der Kreisfahrbahn unmittelbar vor der Einfahrt für zweistreifige Einfahrten oder zwei- oder dreistreifige Kreisfahrbahnen sowie für einstreifige Einfahrten in zweistreifige Kreisfahrbahnen angegeben. Diese Werte wurden vom deutschen Handbuch [2] übernommen.

Der Fall der zweistreifigen Einfahrt mit einstreifigen Kreisfahrbahnen wird gemäss den Unterlagen aus der französischen Schweiz (Abschnitt 12.2.1.3) mit den Faktor 1.4 gegenüber einer einstreifigen Einfahrt berücksichtigt.

Als Kontrollgrösse wird die Leistungsfähigkeit der Ausfahrt eingeführt. Diese besteht aus einer Grundleistungsfähigkeit von 1'200 - 1'400 PWE/h je nach Kurvenradius und damit bestimmter Fahrbahnbreite (enger Radius → breitere Fahrbahn → kleinere Leistungsfähigkeit; grösserer Radius → schmalere Fahrbahn → grössere Leistungsfähigkeit). Dieser Grundwert wird sodann je nach Belastung des Fussgängerstreifens verringert. Diese verringerte Leistungsfähigkeit soll immer über den Belastungsannahmen liegen.

Zweistreifige Ausfahrten mit querenden Fussgängern dürfen aus Gründen der Verkehrssicherheit nicht gebaut werden.

12.4 Ergebnisse

12.4.1 Leistungsfähigkeit

Die Summe der Verkehrsbelastungen einer Einfahrt und der Kreisfahrbahn unmittelbar vor der Einfahrt kann zwischen 1'400 und 1'700 PWE/h liegen (einstreifige Einfahrt; einstreifige Kreisfahrbahn). Der Wert liegt damit nur wenig unter den 1'800 PWE/h, welche sich in einer Kolonne im 2-Sekunden-Abstand folgen.

Bei zweistreifigen Einfahrten und einstreifigen Kreisfahrbahnen erhöht sich der Wert auf rund 1'900 PWE/h. Alle Überlegungen gehen von einem korrekten Verhalten der Fahrzeuglenker aus, insbesondere, dass der Kreisvortritt respektiert wird. Beobachtungen zeigen, dass dies nicht immer der Fall ist. Stark belastete Kreisel verleiten oft zu aggressivem Fahrverhalten. Die Belastungen können in diesem Fall auch über der Leistungsfähigkeit liegen.

Massgebend für die Leistungsfähigkeit eines Kreisel ist diejenige Zufahrt, welche die kleinste Leistungsfähigkeit aufweist.

12.4.2 Verkehrsqualität

Die Beurteilung der Verkehrsqualität erfolgt wie bei den Knoten ohne Lichtsignalanlage mit den mittleren Wartezeiten. Damit die Vergleichbarkeit gewährleistet ist, werden auch die Stufen gleich behandelt, obwohl dies nicht zwingend nötig wäre. Bei mittleren Wartezeiten von $\leq$45 Sekunden wird ein Rückstau immer wieder abgebaut. Betragen diese mehr als 45 Sekunden, so kann ein Rückstau nicht mehr abgebaut werden. In diesem Fall ist eine Überprüfung der Rückstaulängen erforderlich.

12.4.3 Belastbarkeit

Ruhiger Verkehr, ohne Stop and Go, ohne lange Wartezeiten mit laufendem Motor hat einen positiven Einfluss auf die Lärm- und Schadstoffemissionen eines Knotens. Der Kreisverkehr kann in gewissen Fällen diesbezüglich günstiger sein als lichtsignalgesteuerte Knoten oder ungesteuerte Kreuzungen und Einmündungen.

Der Forschungsbericht Nr. 469 [25] kommt zum Schluss, dass die Auswirkungen des Umbaus von einer Kreuzung zu einem Kreisel auf Durchfahrtszeiten, Treibstoffverbrauch, Schadstoffemissionen usw. stark von lokalen Faktoren abhängen und keine allgemein gültigen Aussagen gemacht werden können. Insbesondere gibt es keine Richtlinie mit der eine umweltbezogene Belastbarkeit definiert werden könnte.

Die sicherheitsbezogenen Aspekte sind auf Grund von Unfallauswertungen an Schweizer Kreiseln [26] in die Norm über die geometrische Ausgestaltung von Kreiseln SN 640 263 eingeflossen. Die Zahl der Unfälle nimmt bei Einfahrten mit mehr als einem Fahrsteifen tendenziell zu. Ob das Bundesgerichtsurteil vom 9. August 2001 (Urteil 6S.633/2000) zu einer Klärung der rechtlichen Situation und damit zu einer Senkung der Unfallzahlen führt, muss vorerst offen bleiben.

Über die unterhaltsbezogene Belastbarkeit können keine Aussagen gemacht werden.

12.4.4 Einflussgrössen

Die wichtigsten geometrischen Parameter wie die Zahl der Fahrsteifen auf den Zufahrten und die Zahl der Fahrstreifen auf der Kreisfahrbahn werden unmittelbar in der Grafik über die Leistungsfähigkeit berücksichtigt.

Um dem massgebenden Einfluss der Fussgänger Rechnung tragen zu können, werden zwei Tabellen (Einfahrten bzw. Ausfahrten) vorgestellt. Bei den Einfahrten handelt es sich um einen Reduktionsfaktor in Abhängigkeit der Verkehrsstärke der Kreisfahrbahn und der Anzahl Fussgänger. Bei den Ausfahrten geht es unmittelbar um die Leistungsfähigkeit der Ausfahrt in Abhängigkeit der Anzahl Fussgänger.

Neigungen in den Zufahrten von mehr als ±2 % können über andere Wertungen bei der Umrechnung zu Personenwageneinheiten berücksichtigt werden.

Der Aussendurchmesser des Kreisels hat innerhalb des Geltungsbereiches von 26 bis 35 (40) m kaum einen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit, ebenso der Durchmesser der Kreismitte. Auch der Abstand der einzelnen Zufahrten ist nicht massgebend.

Wichtig ist hingegen das korrekte Verhalten der Fahrzeuglenker, d.h. dass beim Verlassen der Kreisel der rechte Zeiger gestellt wird. Nur so kann die Lücke im Kreisverkehr vom einfahrenden Fahrzeuglenker benützt werden.

12.4.5 EDV-gestützte Verfahren

Das Programm "Kreisel" [24] erlaubt die Berechnung von Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität für die meisten Kreisverkehrsplätze, wobei sehr viele Parameter berücksichtigt werden können. Verschiedene Berechnungsmethoden können gewählt werden.

12.5 Offene Fragen

Am wenigsten gesichert ist der Einfluss der Fussgänger auf die Leistungsfähigkeit der Ausfahrten.

Die Gültigkeit des pauschalen Faktors von 1.4 bei zwei- statt einstreifigen Zufahrten in einstreifige Kreisfahrbahnen ist zu überprüfen.

Forschungsbedarf zeigt sich auch bei der Leistungsfähigkeit von Minikreiseln (Aussendurchmesser 14 bis 24 m), bei ganz oder teilweise überfahrbaren Kreiselmitten.

13. SCHLUSSBEMERKUNGEN

Tempora mutandur et nos mutamur in illis: Dieser Satz gilt auch für das Verhältnis der Verkehrsplaner und Verkehrsingenieure zu den Fragen der Leistungsfähigkeit. Und die Feststellung, dass es schon immer Veränderungen gegeben hatte, der Rhythmus dieser Veränderungen jedoch immer schneller werde, trifft auch auf dieses Thema zu.

Das erste amerikanische Highway Capacity Manual erschien 1950, vor einem halben Jahrhundert. Ein entscheidender Schritt in der Weiterentwicklung waren das Highway Capacity Manual 1965, ein Buch etwa im Format A5 mit 400 Seiten. Es führte den Begriff der Level of Service (Verkehrsqualitätsstufen) ein. Die nächste Auflage war dann das HCM 1985, nun im A4 Format mit 450 Seiten. Dann folgten das HCM 1994/97 und jetzt liegt das HCM 2000 vor mit einem Umfang von rund 1'000 Seiten.

Neu im HCM 2000 sind die Kapitel über "Corridor and areawide analysis" und "Simulation and other models". Beide Themen sind auch für schweizerische Verhältnisse interessant. Mit dem Forschungsbericht Nr. 387 Korridorleistungsfähigkeit [27] wurde ein erster Beitrag geleistet für eine nicht nur auf ein Element oder eine Transportart ausgerichtete Betrachtungsweise.

Seit 10 Jahren gibt es internationale Symposien, die sich ausschliesslich dem Thema "Highway Capacity" widmen (Karlsruhe 1991, Sydney 1994, Kopenhagen 1998, Maui/ Hawaii 2000). In der Zusammenfassung des 4. Symposiums in Hawaii vom Juni 2000 [28] sind 42 Beiträge aufgelistet. Darunter sind einige interessante Ansätze, die für weitere Arbeiten der Beachtung wert sind.

- Einarbeitung der Verkehrssicherheit in das High Capacity Manual (G.S. Spring).
  Mit der sicherheitsbedingten Belastbarkeit wurde auch im vorliegenden Forschungsbericht versucht, diesem Aspekt Rechnung zu tragen.
- Ein wahrscheinlichkeitstheoretischer Ansatz für die Kapazität auf Autobahnen (M. Lorenz, L. Elefteriadou).
  Die Autoren zeigen auf, dass die Kapazität einer Strasse keine Konstante ist. Bei derselben Verkehrsstärke und den gleichen äusseren Bedingungen kann das eine Mal der Verkehr flüssig verlaufen oder das andere Mal zusammenbrechen. Mit umfangreichen Datenmengen können Wahrscheinlichkeiten für einen Verkehrszusammenbruch ermittelt werden.
- Verkehrsqualität von ganzen Strassennetzen (J.D. Leonhard, M. Oliveira).
- Verkehrsflussanalysen jenseits traditioneller Methoden (W. Brilon).
  Hier geht es um den Vorschlag, Kapazität und Verkehrsqualität nicht nur für Spitzenstunden zu betrachten, sondern die Verkehrsnachfrage über ein ganzes Jahr hinweg der Kapazität gegenüberzustellen. Dabei können auch systematische Veränderungen der Kapazität und zufällige Schwankungen berücksichtigt werden.

Hält man sich alle diese weltweiten Untersuchungen vor Augen, so stellt sich sofort die Frage, wo wir jetzt stehen nach der Veröffentlichung der SN 640 017a bis 640 024 im Jahre 1999. Die Antwort ist klar. Das Normenwerk enthält nun wesentlich bessere, und vor allem viel differenziertere Grundlagen als die alte Norm SN 641 145 aus dem Jahre 1973. Für die allermeisten Anwendungen können sie genügen. Veränderungen im Angebot erfolgen oft in viel gröberen Schritten (z.B. Ausbau von 2 x 2 auf 2 x 3 Streifen) als der Streubereich der Genauigkeit von Leistungsfähigkeiten.

Anfänglich war vorgesehen die Normen als Vornormen gemäss SN 641 000 zu veröffentlichen. Die Begleitkommission hat dann entschieden, die Bezeichnung Vornorm wegzulassen um den Arbeiten doch ein wenig mehr Gewicht zu verleihen. Dennoch ist allen Beteiligten klar, dass die Zahlenwerte laufend überprüft und ergänzt werden müssen und eine Normrevision vermutlich schon in 5 bis 10 Jahren nötig sein wird.

14. WEITERER FORSCHUNGSBEDARF

Dass mit der vorliegenden Forschungsarbeit die Forschung im Gebiet von Verkehrsqualität, Belastbarkeit und Leistungsfähigkeit nicht abgeschlossen sein kann, ist bereits aus dem Forschungsgesuch ersichtlich. Dort waren als weitere Elemente der öffentliche Verkehr, der Zweirad- und Fussgängerverkehr aufgelistet, die aber ausdrücklich vom Forschungsauftrag ausgenommen wurden. Hier ist weiterer Forschungsbedarf auszumachen. Teilweise ist er in Angriff genommen worden, wie z.B. Ermittlung der intermodalen Leistungsfähigkeit bei lichtsignalgesteuerten Knoten [29]. Der Forschungsbedarf bei den im Bericht behandelten Elementen ist jeweilen im Abschnitt "Offene Fragen" der einzelnen Kapitel erwähnt.

Als neue Forschungsthemen, zusätzlich zu den Anregungen bei den einzelnen Elementen der Strassenverkehrsanlagen, könnten angegangen werden:

- Leistungsfähigkeit und Verkehrssicherheit
- Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Netzen
- Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von intermodalen Korridoren und Systemen
- Verkehrsqualität, Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit bezogen auf ein ganzes Jahr

Es wird Aufgabe der zuständigen Fach- und Expertenkommission sein, einerseits die weiteren Forschungsprojekte anzupacken und anderseits die diesbezüglichen Forschungen weltweit aufmerksam zu verfolgen.

15. LITERATURVERZEICHNIS

[1] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen: Verkehrstechnische Dimensionierung, Konzept und Zusammenhänge, Rudolf Keller & Partner, Forschungsbericht Nr. 276, März 1993

[2] Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufes auf Strassen; "Deutsches HCM", Entwurf eines Handbuches Teile A und B, W. Brilon et al., Ruhr-Universität Bochum, 1993

[3] Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen, Schlussbericht Juli 1998, W. Brilon et al., Ruhr-Universität Bochum, April 1999

[4] Highway Capacity Manual (HCM) Special Report 209, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., 1994 (HCM 94)

[5] Highway Capacity Manual (HCM 2000), Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., 2000

[6] SN 640 016a Massgebender Verkehr, Zürich, November 1998

[7] Geschwindigkeitsniveau auf verschiedenen Strassentypen, IVT-ETH, Zürich, Dezember 1992

[8] Nationalstrasse N2 Basel - Chiasso, Kapazitätsuntersuchung, verkehrstechnische Studie zur Beurteilung der heutigen Kapazitätsverhältnisse, IVT-ETH, Zürich, Juni 1994

[9] Richtlinie für die Anlage von Strassen, Teil Querschnitte: RAS-Q 96, Forschungsgesellschaft für das Strassen- und Verkehrswesen, Köln, 1996

[10] Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs 1950 - 2000, Schriftenreihe Umwelt Nr. 225, BUWAL, Bern, 1995

[11] Strassenlärmmodell für überbaute Gebiete, Schriftenreihe Umwelt Nr. 15, BUWAL, Bern, 1991

[12] Fahrverhalten der Personenwagen in der Schweiz, Umwelt-Materialien Nr. 40, BUWAL, Bern, 1995

[13] Auswirkungen von zeitlich veränderten Leistungsfähigkeiten, M. Ponzlet, Strassenverkehrstechnik Nr. 7, 1996

[14] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen: Leistungsfähigkeit von Einfahrten in Hochleistungsstrassen, N. Bischofberger, Forschungsbericht Nr. 333, März 1995

[15] Baudepartement Basel-Stadt, Tiefbauamt: N2, Untersuchung des Verkehrsablaufes im Verflechtungsabschnitt Gellert-Dreieck-Ost bis Ausfahrt J18, März 1987

[16] Baudepartement Basel-Stadt, Tiefbauamt: N2, Leistung des Verflechtungsabschnittes Gellert-Dreieck-Nord bis Rhein, September 1983

[17] Forschungsgesellschaft für das Verkehrs- und Strassenwesen: Richtlinien und Vorschriften für den Strassenbau (RVS): Überprüfung der Anlageverhältnisse für Strassen, Wien, Juli 1994/November 1995

[18] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen: Schätzverfahren zur Leistungsbeurteilung von Knoten ohne Lichtsignalanlagen, Balmer und Partner/Erb + Partner, Forschungsbericht Nr. 422, Februar 1999

[19] Forschungsgesellschaft für das Strassen- und Verkehrswesen (FGSV): Merkblatt zur Berechnung der Leistungsfähigkeit von Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlagen, Köln, 1991

[20] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen: Nutzen einer Lichtsignalanlage, P. Pitzinger, Forschungsbericht Nr. 359, Februar 1995

[21] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen: Führung des leichten Zweiradverkehrs im Bereich von Knoten, F. Bühlmann, C. Pestalozzi, Forschungsbericht Nr. 428, November 1998

[22] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen: Ermittlung der Leistungsfähigkeit von innerörtlichen Kreisverkehrsplätzen, M. Simon, Forschungsbericht Nr. 204, November 1990

[23] Fonds für Verkehrssicherheit: Guide suisse des giratoires, Lausanne, Februar 1991

[24] Brilon, Ahn und Partner Systemtechnik: Handbuch zum EDV-Programm "Kreisel" Version 5.0, Mai 1998

[25] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen: Schadstoffemissionen bei verschiedenen Geschwindigkeiten, Verkehrskreisel, P. Züger et al., Forschungsbericht Nr. 469, Dezember 2000

[26] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen: Unfallgeschehen und Geometrie der Kreiselanlagen, F. Bühlmann, P. Spacek, Forschungsbericht Nr. 382, März 1997

[27] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen: Korridorleistungsfähigkeit, C. Hidber et al., Forschungsbericht Nr. 387, Dezember 1996

[28] W. Brilon et al.: 4th International Symposium on Highway Capacity 2000 in Maui/ Hawaii, in Strassenverkehrstechnik 9/2001

[29] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen: Ermittlung der intermodalen Leistungsfähigkeit von lichtsignalgeregelten Knoten, M. Simon, 2001

[30] E. Elefterniadou: The HCM 2000: Highlights, shortcomings and future direction, Oktober 2001

[31] S. Hoffmann et al.: Kapazität von Verflechtungsstrecken an planfreien Knotenpunkten, in Strassenverkehrstechnik 11/2000

[32] Youngho Kim, Hartmut Keller: Zur Dynamik von Verkehrszuständen im Fundamentaldiagramm, in Strassenverkehrstechnik 9/2001

[33] OECD: Capacité des voies principales de circulation, Paris 1983. Deutsche Übersetzung: Leistungsfähigkeit von Hauptverkehrsstrassen, Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik Heft Nr. 445, Bonn, 1985

[34] W. Schnabel, J. Korn: Knotenpunkte mit Lichtsignalanlagen, in Strassenverkehrstechnik 11/2000

[35] W. Schnabel et. al.: Die Qualität des Verkehrsablaufs auf städtischen Hauptverkehrsstrassen, in Strassenverkehrstechnik 12/1998

[36] W. Brilon, F. Weiser: Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten auf Landstrassen, in Strassenverkehrstechnik 9/1998

[37] N. Bischofberger: Zur Leistungsfähigkeit von Verkehrssystemen, Schriftenreihe des IVT Nr. 113, Zürich, Juli 1997

[38] Die Physik des Staus in NZZ, 17. Dezember 1997

[39] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen: Lichtsignalanlagen, Abschätzen der Leistungsfähigkeit, P. Pitzinger, Forschungsbericht Nr. 391, August 1996

[40] W. Brilon, L. Bonazio, N. Wu: Neue Forschungsergebnisse zur Kapazität von Kreisverkehrsplätzen, in Strassenverkehrstechnik Nr. 9/1997

ANHANG

Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute
Union des professionnels suisses de la route
Unione dei professionisti svizzeri della strada

Schweizer Norm
Norme Suisse
Norma Svizzera

SN 640 017a

EINGETRAGENE NORM DER SCHWEIZERISCHEN NORMEN-VEREINIGUNG SNV NORME ENREGISTREE DE L'ASSOCIATION SUISSE DE NORMALISATION

Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit

Grundlagennorm

A. Allgemeines

1. Geltungsbereich

Diese Norm gilt für verkehrsorientierte Strassen und deren Elemente, die dem fliessenden Verkehr dienen.

Das grundsätzliche Vorgehen lässt sich sinngemäss auch auf Verkehrsanlagen für Fussgänger, öffentlichen Nahverkehr u. a. übertragen.

2. Gegenstand

Diese Norm legt die Verfahren fest zur Beurteilung des Verkehrsablaufs bei Verkehrsanlagen, wie die Ermittlung der Leistungsfähigkeit oder die Bestimmung der zugeordneten Verkehrsstärke bei einer festgelegten Verkehrsqualitätsstufe. Sie zeigt weiter die vielschichtigen Zusammenhänge zwischen dem Verkehrsangebot (Strassenanlage), der Verkehrsnachfrage (Verkehrsstärken) und den Belastbarkeiten, die der Benutzung von Verkehrsanlagen aus Gründen des Umweltschutzes, der Sicherheit oder des Strassenerhalts Grenzen setzen.

Die Normengruppe «Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit» dient der Vereinheitlichung der Verfahren, um von einem gegebenen Verkehrsangebot auf die Leistungsfähigkeit, die den Verkehrsqualitätsstufen zugeordneten Verkehrsstärken und die Belastbarkeit zu schliessen (angebotsorientiertes Verfahren), oder ausgehend von den Verkehrsbelastungen die zugehörige Verkehrsanlage zu dimensionieren (nachfrageorientiertes Verfahren). Sie zeigt auch den Weg, wie eine gegebene Verkehrsstärke und ein gegebenes Angebot einander gegenübergestellt werden (Leistungsanalyse).

Eine weitergehende Beurteilung unter Einbezug aller Verkehrsteilnehmer und in Berücksichtigung der Verträglichkeit zwischen Mensch, Siedlung, Umwelt und Verkehr findet sich in Norm [2].

Capacité, niveau de service, charges compatibles

Norme de base

A. Généralités

1. Domaine d'application

Cette norme s'applique aux routes dont la fonction prioritaire est la circulation des véhicules.

Cette démarche fondamentale peut également s'appliquer, par analogie, aux infrastructures destinées aux piétons, aux transports publics urbains, etc.

2. Objet

Cette norme fixe la procédure pour l'évaluation de l'écoulement de la circulation d'infrastructures de transport, telle que le calcul de la capacité ou la détermination du débit de circulation pour un niveau de service donné. Elle montre en outre les rapports complexes existant entre l'offre de transport (infrastructure routière), la demande de transport (débits de circulation) et les charges compatibles qui limitent l'usage des infrastructures de transport pour des raisons de protection de l'environnement, de sécurité ou d'entretien.

Le groupe de normes «capacité, niveau de service et charges compatibles» sert à standardiser la procédure, afin qu'à partir d'une offre de transport donnée on puisse conclure sur la capacité, sur les débits de circulation correspondant aux niveaux de service et sur les charges compatibles (procédure d'après l'offre) ou, partant des débits de circulation, à dimensionner les infrastructures de transport correspondantes (procédure d'après la demande). Elle montre également comment comparer un débit de circulation donné à une offre donnée (analyse des performances).

Une évaluation plus approfondie comprenant tous les usagers et tenant compte de la compatibilité entre l'homme, l'habitat, l'environnement et la circulation est indiquée dans la norme [2].

Herausgeber:
Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS)
Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich

Zuständig: VSS-Kommission 2, Planung und Projektierung

Bearbeitung: Arbeitsgruppe 22, Verkehrsplanung

Genehmigt: Dezember 1998

Editeur:
Union des professionnels suisses de la route (VSS)
Seefeldstrasse 9, 8008 Zurich

Responsable: Commission VSS 2, Planification et projet

Elaboration: Groupe de travail 22, Planification de la circulation

Adoptée: décembre 1998

© 1998 by VSS Zurich

SN nach Bde / par vol. | SN nach Nr. / par No | EN nach Nr. / par No | EN nach TC / par TC

3. Zweck

Die Grundlagennorm definiert die Begriffe und zeigt die Grundsätze der Verfahren sowie die allgemein gültigen Zusammenhänge.

4. Aufbau der Normengruppe

Die Normengruppe «Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit» besteht aus einer Grundlagennorm sowie aus den Normen, die sich auf einzelne Elemente einer Strassenanlage beziehen wie zum Beispiel
– freie Strecken auf Autobahnen
– Einfahrten in Hochleistungsstrassen
– Hauptverkehrsstrassen innerhalb besiedelter Gebiete
– Zweistreifige Hauptverkehrs- und Regionalverbindungsstrassen ausserhalb besiedelter Gebiete
– Knotenpunkte mit und ohne Lichtsignalanlagen
– Knoten mit Kreisverkehr

5. Begriffe

a) Verkehr

Verkehrsstärke
Unter Verkehrsstärke wird die Verkehrsbelastung (Anzahl der Verkehrselemente eines Verkehrsstromes) je Zeitintervall an einem Querschnitt der Verkehrsanlage verstanden.

Verkehrsdichte
Unter Verkehrsdichte wird die Verkehrsbelastung je Streckenabschnitt zu einem bestimmten Zeitpunkt verstanden.

Verkehrsnachfrage
Unter Verkehrsnachfrage wird jene Verkehrsstärke verstanden, welche eine Verkehrsanlage benützt oder benützen möchte. Die Verkehrsnachfrage kann sich auf einen bestehenden oder zukünftigen Zustand beziehen.

Massgebender Verkehr
Unter massgebendem Verkehr wird jene Verkehrsstärke verstanden, die der Beurteilung von Angebot und Nachfrage einer Verkehrsanlage unter Berücksichtigung der Belastbarkeiten zu Grunde gelegt wird.

b) Leistungsfähigkeit und Randbedingungen

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

Strassenbedingungen
Unter Strassenbedingungen werden die geometrischen Eigenschaften und die bauliche Ausprägung eines Strassenabschnittes sowie die Strassenzustands- und Witterungsverhältnisse verstanden.

3. But

La norme de base donne les définitions et décrit les principes de la procédure ainsi que les relations généralement valables.

4. Structure du groupe de normes

Le groupe de normes «capacité, niveau de service charges compatibles» se compose d'une norme de base ainsi que des normes se rapportant aux différents éléments d'une infrastructure routière, tels que par exemple
– sections courantes d'autoroutes
– entrées de routes à grand débit
– routes principales à l'intérieur des espaces bâtis
– routes principales et routes de liaison régionales à deux voies à l'extérieur des espaces bâtis
– carrefours avec ou sans feux de circulation
– carrefours giratoires

5. Définitions

a) Circulation

Débit de circulation
Par débit de circulation on entend le volume de circulation (nombre de véhicules en circulation) passant par unité de temps en un point donné de l'infrastructure de transport.

Densité de circulation
Par densité de circulation on entend le nombre de véhicules par tronçon à un instant donné.

Demande de transport
Par demande de transport on entend le débit de circulation qui utilise ou devrait utiliser une infrastructure de transport. La demande de transport peut se référer à un état existant ou futur.

Trafic déterminant
Par trafic déterminant on entend le débit de circulation qui est à la base de l'évaluation de l'offre et de la demande pour une infrastructure de transport, compte tenu des charges compatibles.

b) Capacité et conditions

Capacité
Par capacité d'une infrastructure de transport on entend le débit de circulation maximal pouvant s'écouler sur un tronçon de cette infrastructure pendant un temps donné, compte tenu des conditions propres à la route, à la circulation et à l'exploitation.

Conditions routières
Par conditions routières on entend les caractéristiques géométriques et les particularités constructives d'un tronçon de route ainsi que l'état de la chaussée et les conditions météorologiques.

Verkehrsbedingungen
Unter Verkehrsbedingungen wird die Zusammensetzung des Verkehrsstromes aus Fahrzeugen unterschiedlicher Art sowie die Aufteilung auf Verkehrsstreifen und Richtung des Verkehrsstromes verstanden.

Betriebsbedingungen
Unter Betriebsbedingungen werden alle Anordnungen zur Steuerung oder Regelung des Verkehrsablaufes verstanden.

c) Verkehrsqualität

Verkehrsqualität
Unter Verkehrsqualität wird der Grad der gegenseitigen Behinderungen der Verkehrsteilnehmer verstanden.

Mass der Verkehrsqualität
Unter Mass der Verkehrsqualität werden die Kriterien verstanden, mit welchen sich die Behinderungen der Verkehrsteilnehmer beschreiben lassen.

Verkehrsqualitätsstufe
Eine bestimmte Verkehrsqualitätsstufe wird durch einen (oberen) Wert des Masses der Verkehrsqualität definiert.

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

d) Belastbarkeit

Umweltbedingte Belastbarkeit
Unter umweltbedingter Belastbarkeit wird die grösste Verkehrsstärke verstanden, bei der die Grenzwerte aus Sicht der Umweltschutzgesetzgebung (Lärm, Luftschadstoffe) eingehalten sind und die auch bezüglich anderer Umwelt- bzw. Umfeldkriterien (z. B. Trennwirkung in Siedlungen) noch verträglich ist.

Sicherheitsbedingte Belastbarkeit
Unter sicherheitsbedingter Belastbarkeit wird die grösste Verkehrsstärke verstanden, welche aus Sicherheitsgründen nicht überschritten werden sollte.

Unterhaltsbedingte Belastbarkeit
Unter der unterhaltsbedingten Belastbarkeit wird die grösste Verkehrsstärke verstanden, die aus dem Gesichtspunkt des Erhalts und Unterhalts der Strassen und Werkleitungen (Baustellen) verträglich ist.

e) Einflüsse

Referenzzustand
Unter Referenzzustand wird jener Zustand verstanden, für den in den Normen quantitative Aussagen über die Leistungsfähigkeit und die Verkehrsqualitätsstufen gemacht werden.

Conditions de circulation
Par conditions de circulation on entend la composition de la circulation selon différent types de véhicules et la répartition par direction et par voie de circulation.

Conditions d'exploitation
Par conditions d'exploitation on entend toutes les dispositions prises en vue de gérer l'écoulement de la circulation.

c) Niveau de service

Niveau de service
Par niveau de service on entend le degré de gêne réciproque entre usagers de la route.

Mesure du niveau de service
Par mesure du niveau de service on entend les critères avec lesquels la gêne réciproque entre usagers de la route peut être décrite.

Degré du niveau de service
Le degré du niveau de service est défini par une valeur (supérieure) de la mesure du niveau de service.

Débit de circulation correspondant
Par débit de circulation correspondant on entend le plus grand débit pouvant passer en un point d'une infrastructure de transport durant un intervalle de temps, sans pour autant diminuer le niveau de service choisi.

d) Charges compatibles

Charges compatibles avec l'environnement
Par charges compatibles avec l'environnement on entend le débit maximal de circulation pour lequel les valeurs limites de la législation sur l'environnement (bruit, pollution de l'air) sont respectées tout en étant encore compatible avec d'autres critères de l'environnement et du milieu social (p. ex. coupure de zones urbanisées).

Charges compatibles avec la sécurité
Par charges compatibles avec la sécurité on entend le débit maximal de circulation qui pour des raisons de sécurité ne devrait pas être dépassé.

Charges compatibles avec l'entretien
Par charges compatibles avec l'entretien on entend le débit maximal de circulation qui est compatible avec l'entretien et la maintenance des routes ainsi qu'avec les réseaux de distribution et d'évacuation (chantiers).

e) Influences

Etat de référence
Par état de référence on entend l'état pour lequel les normes donnent des indications quantitatives relatives à la capacité et aux niveaux de service.

Einflussgrössen
Unter Einflussgrössen werden jene Merkmale der Strassen-, Verkehrs- und Betriebsbedingungen verstanden, 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, um Werte für den tatsächlichen Zustand zu erhalten.

f) Verkehrsangebot

Verkehrsangebot
Unter dem Begriff Verkehrsangebot werden die dem Verkehr zur Verfügung stehenden Flächen und Einrichtungen mit den zugehörigen Merkmalen für einen tatsächlich vorhandenen oder für einen geplanten Zustand verstanden.

g) Verkehrstechnische Dimensionierung

Angebotsorientiertes Verfahren
Zu einem gegebenen Verkehrsangebot wird, unter Berücksichtigung der Belastbarkeiten, die bewältigbare Verkehrsstärke bestimmt.

Nachfrageorientiertes Verfahren
Zu einer gegebenen Verkehrsstärke wird, unter Berücksichtigung der Belastbarkeiten, das benötigte Verkehrsangebot bestimmt.

Leistungsanalyse
Wenn sowohl die Verkehrsstärke und die Verkehrsanlage gegeben sind, wird mit der Leistungsanalyse die Verkehrsqualität bestimmt, wobei die Belastbarkeiten einzubeziehen sind.

B. Verfahren

6. Konzept

Die Verfahren sind konzipiert als Gegenüberstellungen des Angebotes einer Verkehrsanlage, definiert durch die Leistungsfähigkeit bzw. der den Verkehrsqualitätsstufen zugeordneten Verkehrsstärken, mit der Nachfrage, definiert durch die Verkehrsstärke des massgebenden Verkehrs. Der Vergleich kann auch mit einer von der Verkehrsstärke abhängigen Grösse durchgeführt werden (z. B. Reisegeschwindigkeit, Wartezeiten).

Sind Angebot und Nachfrage gegeben, so spricht man von einer Leistungsanalyse. Ist nur die Nachfrage gegeben, so spricht man von einem nachfrageorientierten Verfahren. Ist das Angebot fest, so handelt es sich um ein angebotsorientiertes Verfahren.

Als wichtige Kontrollgrösse gelten in jedem Fall die Belastbarkeiten.

Facteurs d'influence
Par facteurs d'influence on entend les caractéristiques des conditions routières, de circulation et d'exploitation qui ont un effet direct sur la capacité et les débits de circulation correspondant aux niveaux de service.

Facteurs de correction
Avec les facteurs de correction, qui se rapportent chaque fois à un facteur d'influence déterminé, on corrige les valeurs de l'état de référence pour obtenir les valeurs de l'état effectif.

f) Offre de transport

Offre de transport
Par offre de transport on entend les surfaces et les aménagements mis à disposition de la circulation, avec les caractéristiques qui leur sont propres, pour un état existant ou planifié.

g) Dimensionnement selon la technique de circulation

Procédure d'après l'offre
Pour une offre de transport donnée, compte tenu des charges compatibles, on déterminera le débit de circulation possible.

Procédure d'après la demande
Pour un débit de circulation donné, compte tenu des charges compatibles, on déterminera l'offre de transport nécessaire.

Analyse des performances
Si tant le débit de circulation que l'infrastructure de transport sont donnés, on déterminera le niveau de service au moyen de l'analyse des performances en tenant compte des charges compatibles.

B. Procédures

6. Concept

Les procédures sont conçues en tant que comparaisons de l'offre d'une infrastructure de transport, définie par la capacité ou les débits de circulation correspondant aux niveaux de service, avec la demande définie par le trafic déterminant. La comparaison peut aussi s'effectuer avec une valeur dépendant du débit de circulation (p. ex. vitesse, temps d'arrêt).

Si l'offre et la demande sont données, il s'agit d'une analyse des performances. Si seule la demande est donnée, on parlera alors d'une procédure d'après la demande. Si l'offre est donnée, il s'agit d'une procédure d'après l'offre.

Dans tous les cas, les charges compatibles sont des valeurs de contrôle importantes.

Die Abbildung 1 stellt graphisch die grundsätzlichen Zusammenhänge dar und zeigt vereinfacht das Konzept der verschiedenen Beurteilungen. Die Abbildung 2 geht dann auf die Einzelheiten ein.

La figure 1 représente graphiquement les relations fondamentales et montre de manière simplifiée le concept des différentes évaluations. La figure 2 entre ensuite davantage dans les détails.

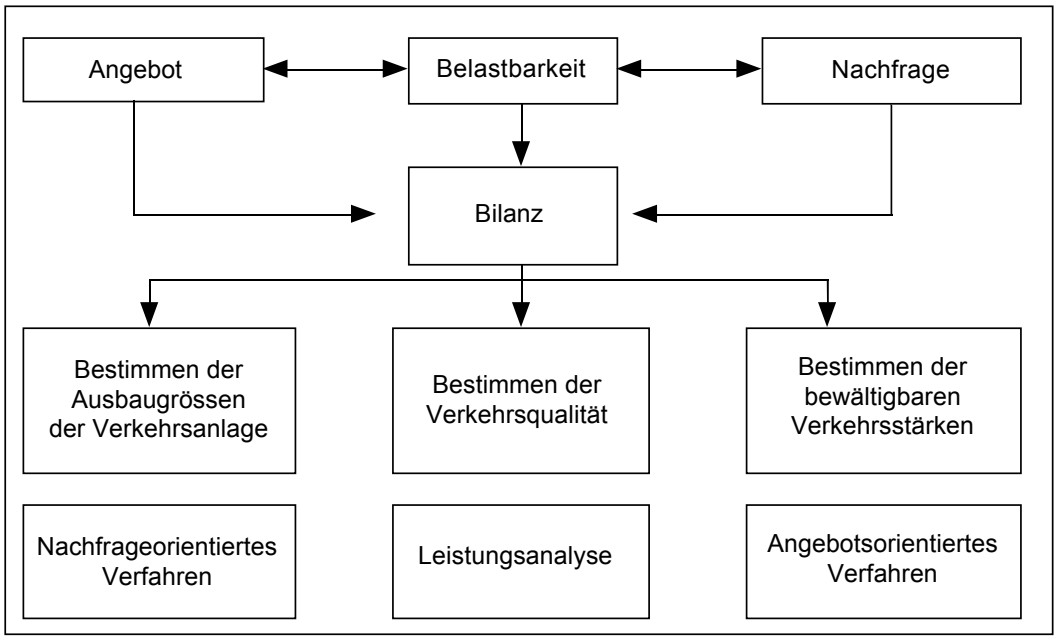


Abb. 1
Konzept

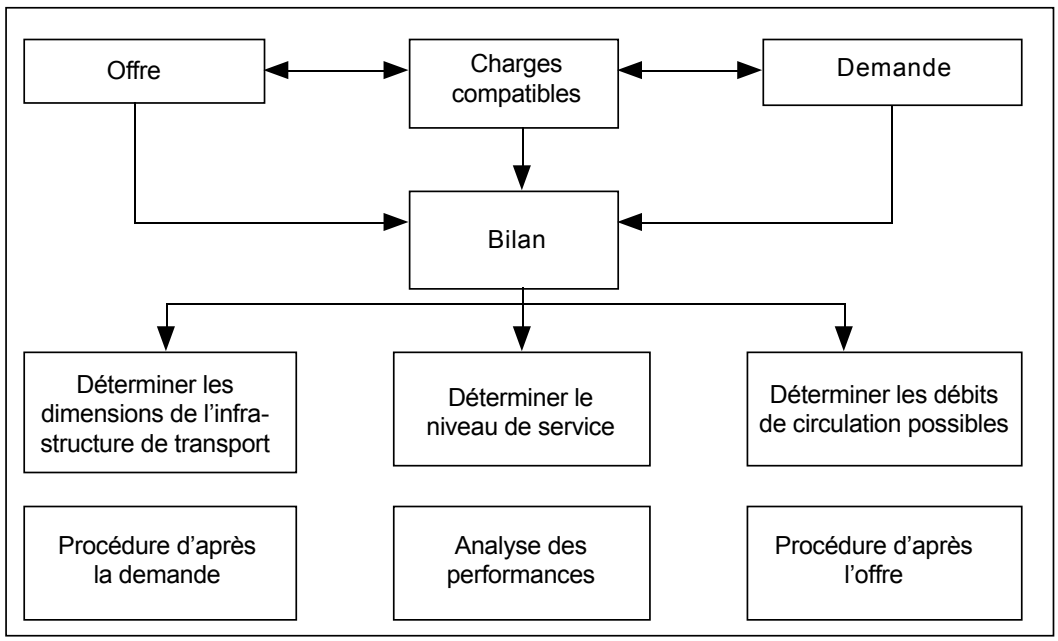


Fig. 1
Concept

7. Verkehrsqualität

Es werden 6 Stufen der Verkehrsqualität definiert: Diese Stufen gelten für alle Elemente von Verkehrsanlagen. Als Mass der Verkehrsqualität können je nach Element gewählt werden:
– Geschwindigkeiten
– Reisezeiten
– Überholmöglichkeiten
– Wartezeiten
– Auslastungsgrad
– Anzahl Halte
– oder eine Kombination davon

Die Aufzählung ist nicht abschliessend. Die Normen für die einzelnen Elemente bestimmen das jeweils massgebende Kriterium.

Die Verkehrsqualitätsstufen werden wie folgt beschrieben:

Stufe A
Die einzelnen Verkehrsteilnehmer werden von anderen nicht beeinflusst. Sie besitzen die von der Verkehrsanlage her mögliche Bewegungsfreiheit im vollen Umfang.

Stufe B
Die Anwesenheit anderer Verkehrsteilnehmer macht sich bemerkbar, bewirkt aber keine direkte Beeinträchtigung des Einzelnen. Ein leichter Einfluss auf die Bewegungsfreiheit und das Verhalten der Verkehrsteilnehmer ist jedoch festzustellen. Der Verkehrszustand ist äusserst stabil.

Stufe C
Der Verkehrszustand ist in jedem Fall stabil, aber die Beeinträchtigungen der Verkehrsteilnehmer untereinander nehmen zu. Das individuelle Fahrverhalten hängt nun in stärkerem Mass von dem Fahrverhalten der anderen Strassenbenutzer ab. Die Bewegungsfreiheit ist eingeschränkt, aber teilweise noch gegeben.

Stufe D
Der Verkehrsablauf ist gekennzeichnet durch hohe Belastungen, 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.

Stufe E
Der Verkehrsfluss wird instabil. Bei dieser Stufe wird die Leistungsfähigkeit erreicht. Dies bedeutet: Geringe Zunahmen in der Verkehrsstärke können zum Zusammenbruch bzw. Abbruch des Verkehrsflusses führen. Die Verkehrsqualität kann plötzlich auf ein deutlich niedrigeres Niveau abfallen. Es gibt keine Bewegungsfreiheit für die einzelnen Verkehrsteilnehmer mehr. Es treten ständige gegenseitige Behinderungen zwischen den Verkehrsteilnehmern auf.

Stufe F
In diesem Verkehrszustand ist auf der Verkehrsanlage die Nachfrage grösser als die grösstmögliche Verkehrsstärke, d.h. die Leistungsfähigkeit. Dies bedeutet: Die Verkehrsströme fliessen nur noch mit einem sehr geringen Qualitätsniveau. Es bilden sich wachsende Fahrzeugkolonnen. Die Verkehrsanlage ist überlastet. Der Verkehr bricht zusammen.

7. Niveaux de service

6 niveaux de service sont définis: Ces niveaux sont applicables à tous les éléments des infrastructures de transport. Selon l'élément on peut choisir comme mesure du niveau de service:
– les vitesses
– les temps de parcours
– les possibilités de dépassement
– les temps d'attente
– le degré d'utilisation
– le nombre d'arrêts
– ou une combinaison de ceux-ci

L'énumération n'est pas exhaustive. Les normes pour les différents éléments déterminent chaque fois le critère déterminant.

Les niveaux de service sont décrits comme suit:

Niveau A
Chaque usager de la route n'est pas influencé par d'autres. Il dispose de toute la liberté de manœuvre possible sur l'infrastructure de transport.

Niveau B
La présence d'autres usagers de la route est perceptible mais ne provoque aucune gêne directe pour chacun d'eux. On peut néanmoins constater une légère influence sur la liberté de manœuvre et le comportement des usagers. L'état de la circulation est extrêmement stable.

Niveau C
L'état de la circulation est dans tous les cas stable, mais la gêne entre usagers augmente. Le comportement de chacun dépend maintenant dans une plus large mesure des autres usagers. La liberté de manœuvre est réduite mais encore partiellement existante.

Niveau D
L'écoulement de la circulation est caractérisé par des charges élevées qui se traduisent par des ralentissements significatifs et des gênes à la liberté de mouvement. Ces interactions sont pratiquement permanentes. Mais cependant l'état de circulation est encore stable.

Niveau E
La circulation devient instable. A ce niveau la capacité est atteinte. Cela signifie que de faibles augmentations de charge peuvent conduire à la paralysie ou à l'arrêt de la circulation. Le niveau de service peut tout à coup tomber à un niveau nettement inférieur. Il n'y a plus de liberté de manœuvre. La gêne réciproque est permanente entre les usagers.

Niveau F
Pour l'infrastructure de transport soumise à cet état de circulation, la demande est plus élevée que le plus grand débit possible, c.-à-d. la capacité. Cela signifie: le trafic ne s'écoule plus qu'à un niveau de service très réduit. Les colonnes de véhicules s'allongent. L'infrastructure de transport est surchargée. La circulation est paralysée.

8. Verkehrsstärken

Grundsätzlich wird als massgebendes Zeitintervall einheitlich die Stunde bezeichnet. Es handelt sich somit um stündliche Verkehrsstärken unabhängig davon, ob sie tatsächlich während einer Stunde beobachtet oder ob sie auf dieses Intervall umgerechnet wurden.

Das Zeitintervall einer Messung oder einer Prognose soll um so kleiner gewählt werden, je grösser die Schwankungen der Verkehrsstärke sind und je empfindlicher die Anlage gegen schwankende Verkehrsstärken und deren Auswirkungen ist.

Die Bestimmung von Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität orientiert sich im allgemeinen an den Verkehrsstärken, die in den Spitzenverkehrsstunden anzutreffen sind.

Für die Beurteilung können verschiedene Verkehrsstärken als massgebend bezeichnet werden:
– Massgebender stündlicher Verkehr, ermittelt gemäss Norm [1]
– 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.

Wenn ein bestehender Zustand untersucht wird, soll wenn immer möglich auf Zählungen zurückgegriffen werden. Wird ein künftiger Zustand beurteilt, so können die Richtwerte in der Norm [1] eine Hilfe sein.

Schliesslich ist immer zu prüfen, ob nicht örtliche Besonderheiten massgebend sein können.

9. Randbedingungen

Neben der Verkehrsanlage und den Verkehrsstärken sind die Randbedingungen festzuhalten, da Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität keine festen Grössen sind, sondern grundsätzlich nur in Verbindung zu gegebenen Verhältnissen zu sehen sind. Anzugeben sind:
– Strassenbedingungen
– Verkehrsbedingungen
– Betriebsbedingungen

10. Einflussgrössen, Korrekturfaktoren

Diejenigen Einflussgrössen, welche für die Beurteilung des Verkehrsablaufs bei einem bestimmten Element der Verkehrsanlage massgebend sind, werden in den Einzelnormen festgelegt. Die Auswirkungen der Einflussgrössen sind entweder unmittelbar aus den Tabellen und Diagrammen zu entnehmen, oder es werden Korrekturfaktoren angegeben.

8. Débits de circulation

En principe, l'heure est l'intervalle de temps déterminant. Il s'agit par conséquent de débits horaires indépendants du fait qu'ils aient été effectivement observés durant une heure ou qu'ils aient été extrapolés pour cet intervalle.

L'intervalle de temps d'une mesure ou d'une prévision doit être choisi d'autant plus petit que les variations du débit de circulation sont grandes et que l'infrastructure de transport est sensible aux variations de débit et à leurs effets.

La détermination de la capacité et du niveau de service est basée, en général, sur les débits de circulation que l'on rencontre aux heures du trafic de pointe.

Pour l'évaluation plusieurs débits de circulation peuvent être considérés comme déterminants:
– débit horaire déterminant (trafic horaire déterminant), calculé selon la norme [1]
– débit horaire de pointe
– quatre fois la valeur du débit du quart d'heure de pointe

La valeur adéquate pour l'évaluation est différente selon l'élément de l'infrastructure de transport et est fixée par les normes y relatives.

Si un état existant doit être examiné, on se référera aux comptages de circulation, chaque fois que cela est possible. Si un état futur doit être évalué, les valeurs indicatives de la norme [1] peuvent aider.

Finalement, il convient toujours d'examiner si des particularités locales ne peuvent pas être déterminantes.

9. Conditions

A côté de l'infrastructure de transport et des débits de circulation, il convient de fixer les conditions, car la capacité et le niveau de service ne sont pas des grandeurs fixes; au contraire, elles ne doivent être considérées, en principe, qu'en relation avec des conditions données. Il faut préciser:
– les conditions routières
– les conditions de circulation
– les conditions d'exploitation

10. Facteurs d'influence, facteurs de correction

Pour un élément déterminé de l'infrastructure de transport, les facteurs d'influence, qui sont déterminants pour l'évaluation de l'écoulement de la circulation, sont fixés dans les normes y relatives. Les conséquences des facteurs d'influence sont soit reprises directement des tableaux et diagrammes, soit indiquées par des facteurs de correction.

11. Belastbarkeit

Für die Ermittlung der Belastbarkeiten können folgende Unterlagen dienlich sein:

Umweltbereich Luft
Aus Luftreinhalteverordnung (LRV) [5] und Massnahmeplänen:
– Immissionen Ist-Zustand
– Lokale klimatische Verhältnisse
– Meteodaten
– Immissionsgrenzwerte
– u. a.

Umweltbereich Lärm
Aus Lärmschutzverordnung (LSV) [6], Lärmbelastungskataster und Lärmempfindlichkeitsstufenplänen (LESP):
– Lärmbelastungen, Lärmbelastungskataster
– Lärmempfindlichkeitsstufen
– Lärmbelastungsgrenzwerte
– u. a.

Umweltbereich Siedlung
Hinweise, wie die städtebauliche Verträglichkeit von Verkehrsanlagen beurteilt werden kann, sind in der Literatur vorhanden [4].

Mit Hilfe dieser Unterlagen ist es möglich, die Belastbarkeiten von Verkehrsanlagen abzuschätzen. Die Genauigkeit der Schätzungen richtet sich nach der Planungsstufe.

Andere Umweltbereiche
Die übrigen Umweltbereiche Wasser, Boden, Flora/Fauna, Landschaft und Wald sind mit Ausnahmen von den Verkehrsstärken unabhängig und müssen in der Regel im Rahmen der verkehrstechnischen Dimensionierung nicht beurteilt werden.

Verkehrssicherheit
Es sind diejenigen Werte bezüglich Zeitlücken, Grenzzeitlücken oder Überholmöglichkeiten anzugeben, die aufgrund des Standes der Forschung einen sicheren Betrieb gewährleisten.

Unterhalt
Die Anforderungen bezüglich Unterhalt und Erhalt der Verkehrsanlage sowie der Werkleitungen sind zu formulieren.

11. Charges compatibles

Pour la détermination des charges compatibles, les documents suivants peuvent être utiles:

Environnement et air
Selon l'ordonnance sur la protection de l'air (OPair) [5] et les plans des mesures à prendre:
– état actuel des nuisances
– conditions climatiques locales
– données météorologiques
– valeurs limite des nuisances
– etc.

Environnement et bruit
Selon l'ordonnance sur la protection contre le bruit [6] cadastre de bruit et plans des degrés de sensibilité au bruit:
– nuisances sonores, cadastre du bruit
– degrés de sensibilité au bruit
– valeurs limites des nuisances sonores
– etc.

Environnement et urbanisation
Des renseignements sur la manière dont peut être évaluée la compatibilité urbanistique d'infrastructures de transport sont disponibles dans la documentation [4].

A l'aide de cette documentation il est possible d'évaluer les charges compatibles d'infrastructures de transport. L'exactitude des estimations dépend de l'étape de projet.

Autres domaines de l'environnement
Les autres domaines de l'environnement: eau, sol, flore, faune, paysage et forêt sont, sauf exception, indépendants des débits de circulation et ne doivent pas être évalués dans le cadre d'un dimensionnement selon la technique de circulation.

Sécurité routière
Pour les créneaux, les créneaux limites ou les possibilités de dépassement, on n'indiquera que des valeurs qui, sur la base de l'état de la recherche, garantissent une exploitation sûre.

Entretien
Les exigences relatives à l'entretien et à la maintenance de l'infrastructure de transport et des réseaux de distribution et d'évacuation doivent être définies.

12. Beurteilungsebenen

Die Verkehrsstärke einer Strasse oder eines Knotenpunktes unterliegt zeitlichen Schwankungen. Gewisse Spitzenwerte können nur während einer einzigen Viertelstunde auftreten. Auch die Verkehrsqualität muss nicht über den ganzen Tag gleich angesetzt werden. Kurzfristig, z. B. während einer Viertelstunde, kann eine weniger gute Verkehrsqualitätsstufe verantwortet werden.

Die Beurteilung bzw. die Gegenüberstellung von Angebot und Nachfrage kann somit auf verschiedenen Ebenen stattfinden. Wird bei der Nachfrage die vierfache Spitzenviertelstunde als massgebender Stundenverkehr eingesetzt, so darf auf der Angebotsseite die Leistungsfähigkeit (Qualitätsstufe E) gewählt werden.

12. Niveaux d'évaluation

Le débit de circulation d'une route ou d'un carrefour est sujet à des variations temporelles. Certaines valeurs de pointe ne peuvent se produire que pendant un seul quart d'heure. De même, le niveau de service ne doit pas être identique durant toute une journée. Pour une durée limitée, p. ex. durant un quart d'heure, un niveau de service moins bon peut être admis.

L'évaluation ou la comparaison de l'offre et de la demande peut par conséquent avoir lieu à plusieurs niveaux. Si la demande se fonde sur un débit horaire déterminant égal à quatre fois le débit d'un quart d'heure, on pourra choisir, pour l'offre, la capacité (niveau de service E).

Wird hingegen von massgebendem stündlichem Verkehr gemäss Norm [1] oder der Abendspitzenstunde in % des DWV ausgegangen, so empfiehlt sich auf der Angebotsseite die Qualitätsstufe D einzusetzen.

Wenn Prognosewerte mit grösseren Unsicherheiten behaftet sind, so wird empfohlen, auf der Nachfrageseite eine höherwertige Verkehrsqualitätsstufe für die Beurteilung einzustellen.

Als Regel gilt:
Bei Planungsstudien und Vorprojekten soll die Bilanz auf der Ebene MSV und den mittleren Verkehrsqualitätsstufen (C oder D) gezogen werden. In diesen Projektstufen soll nicht bereits auf die Leistungsfähigkeit (E) dimensioniert werden. Berücksichtigt man jedoch beim definitiven Projekt die Spitzenviertelstunde, so darf sie der Leistungsfähigkeit (E) gegenübergestellt werden.

Bei der Beurteilung sind benachbarte Elemente der Strassenanlage und, wenn nötig, auch Netzbetrachtungen in die Erwägungen einzubeziehen.

13. Zusammenhänge

Das Bestimmen der Leistungsfähigkeit und der Verkehrsqualität besteht in einer Beurteilung von Angebot und Nachfrage, wobei die Belastbarkeiten einzubeziehen sind. Angebot und Nachfrage sind auf vielfältige Weise miteinander verknüpft.

Ausgangspunkt beim angebotsorientierten Verfahren ist eine gegebene Verkehrsanlage mit ihren spezifischen Randbedingungen, die sich vom Referenzzustand der Normen unterscheiden können. Da die Einflussgrössen auch verkehrliche Charakteristiken umfassen (z. B. die Lastwagenanteile), müssen auch Merkmale der Nachfrage vorgegeben oder angenommen werden. Mit Hilfe der Tabellen, der Diagramme und der Korrekturfaktoren in den Einzelnormen (Ziffer 4) können sodann die Leistungsfähigkeit oder andere Werte der Verkehrsstärken der gegebenen Anlage bestimmt werden.

Das nachfrageorientierte Verfahren geht von einer gegebenen, gemessenen, berechneten oder geschätzten Verkehrsstärke aus. Sodann wird in einer ersten Näherung das Verkehrsangebot bestimmt, die Werte wie Leistungsfähigkeit usw. ermittelt und eine erste Bilanz (Leistungsanalyse) gezogen. Je nach Ergebnis sind iterative Schritte nötig.
Im Zentrum jeder Arbeit steht die Leistungsanalyse, welche das Angebot und die Nachfrage einander gegenüberstellt und überprüft, ob die Belastbarkeiten eingehalten sind.

En revanche, si l'on part d'un débit horaire déterminant selon la norme [1] ou de l'heure de pointe du soir en % du TJOM, il est recommandé de choisir, pour l'offre, le niveau de service D.

Si les prévisions sont incertaines, il est recommandé, pour la demande, de choisir pour l'évaluation un niveau de service plus exigeant.

On appliquera la règle suivante:
Lors d'études de planification et d'avant-projets on établira le bilan au niveau du THD (trafic horaire déterminant) et du niveau de service moyen (C ou D). A cette étape de projet il ne faut pas déjà dimensionner pour la capacité (E). Si cependant on tient compte, lors du projet définitif, du quart d'heure de pointe, alors on peut le comparer à la capacité (E).

Lors de l'évaluation, on inclura dans les considérations des éléments voisins de l'infrastructure routière et, si nécessaire, également des considérations sur le réseau.

13. Relations

La détermination de la capacité et du niveau de service consiste en une évaluation de l'offre et de la demande durant laquelle on tiendra compte des charges compatibles. L'offre et la demande sont liées l'une à l'autre de multiples manières.

Le point de départ d'une procédure d'après l'offre est une infrastructure de transport donnée, avec ses conditions spécifiques qui peuvent différer de l'état de référence des normes. Etant donné que les facteurs d'influence comprennent aussi des caractéristiques de la circulation (p. ex. le pourcentage de camions) les caractéristiques de la demande doivent aussi être fixées ou admises. A l'aide des tableaux, des diagrammes et des facteurs de correction des normes y relatives (chiffre 4) on peut ensuite déterminer la capacité ou d'autres valeurs des débits de circulation de l'infrastructure de transport donnée.

La procédure d'après la demande part d'un débit de circulation donné, mesuré, calculé ou estimé. Ensuite, dans une première approximation, on détermine l'offre de transport, on calcule les valeurs telles que la capacité, etc., et on établit un premier bilan (analyse des performances). Selon le résultat, une démarche itérative s'avérera nécessaire.
Au cœur de chaque procédure se trouve l'analyse des performances qui a pour objet de comparer l'offre avec la demande et de vérifier si les capacités admissibles sont respectées.

Die Abbildung 2 zeigt die Zusammenhänge im Einzelnen.

La figure 2 montre les relations en détail.

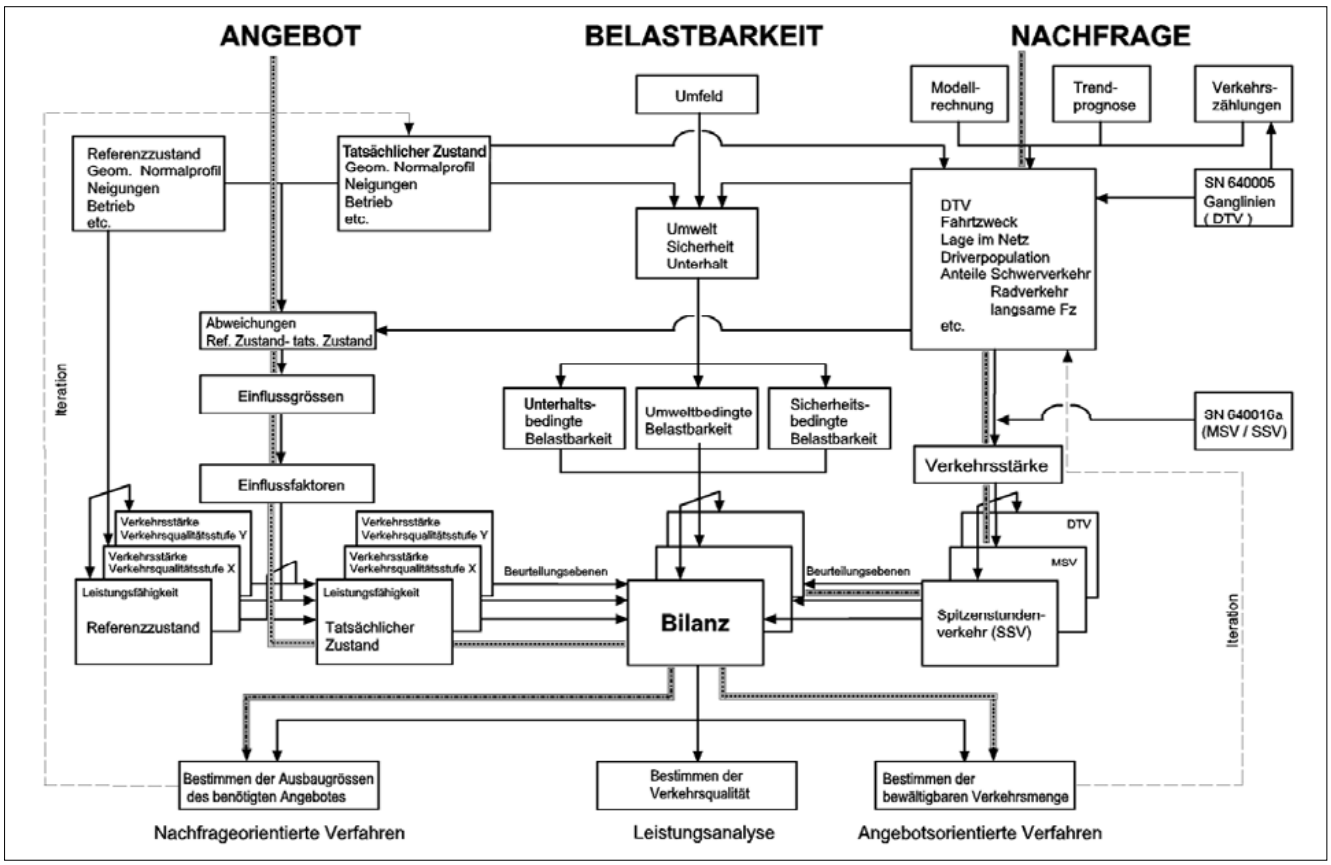


Abb. 2
Zusammenhänge

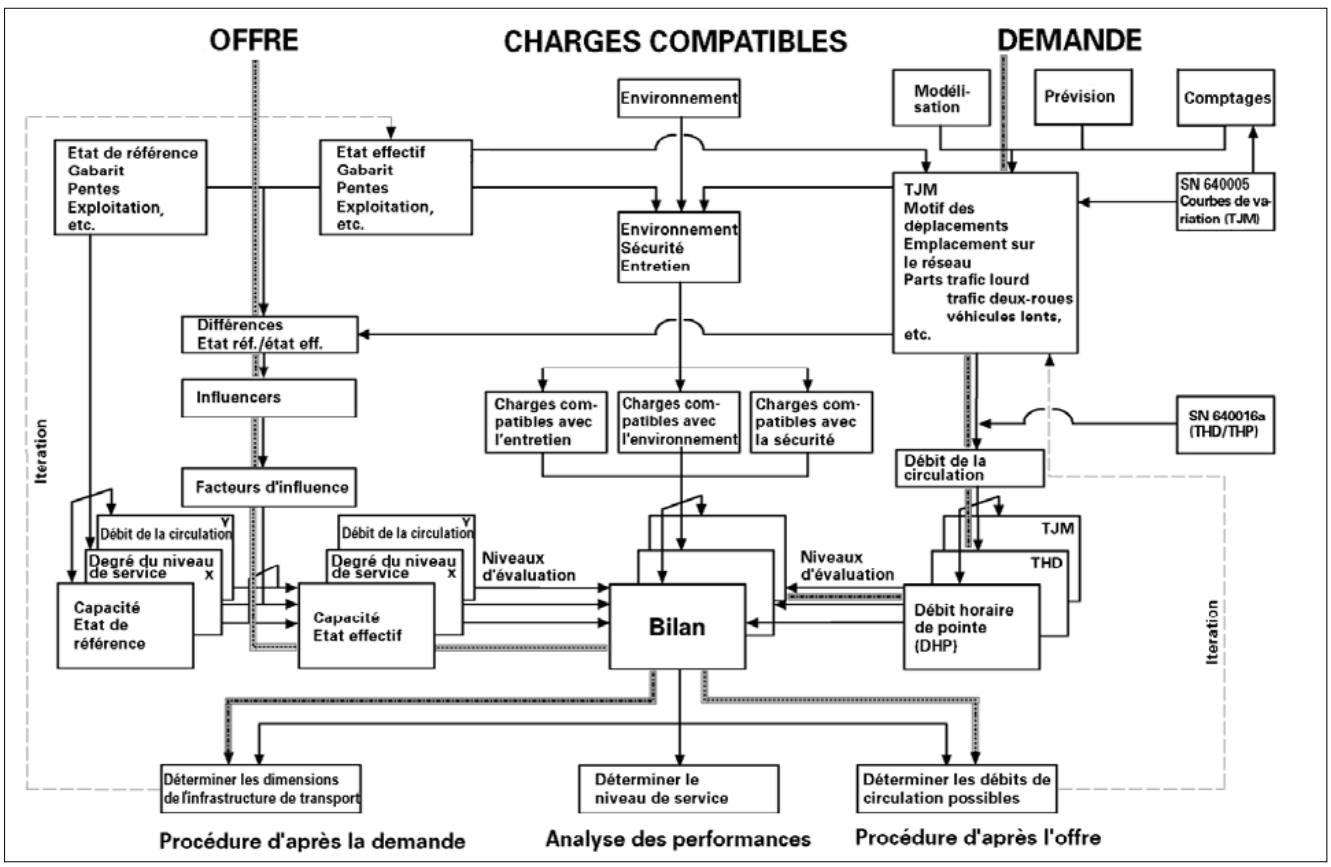


Fig. 2
Relations

14. Vorgehen

Für das gewählte Element einer Verkehrsanlage sind je nach dem zur Anwendung kommenden Verfahren die nachstehenden Schritte durchzuführen:

a) Hinweis

Anstelle der Verkehrsstärke kann je nach Element auch eine Funktion der Verkehrsstärke (z. B. Wartezeiten) zur Beurteilung gelangen.

b) Angebotsorientiertes Verfahren

Schritte:
1 Beschreibung des tatsächlichen Zustandes
2 Feststellen der Abweichungen vom Referenzzustand
3 Bestimmen der Einflussgrössen und Korrekturfaktoren
4 Bestimmen der zugeordneten Verkehrsstärken für den Referenzzustand aus den Einzelnormen
5 Ermittlung der zugeordneten Verkehrsstärken für den tatsächlichen Zustand
6 Abschätzung der Belastbarkeiten
7 Kontrolle Belastbarkeiten mit zugeordneten Verkehrsstärken gemäss Schritt 5
8 Angabe der bewältigbaren Verkehrsstärken bei verschiedenen Verkehrsqualitätsstufen und unter Berücksichtigung der Belastbarkeiten

c) Nachfrageorientiertes Verfahren

Schritte:
1 Bestimmen der massgebenden Verkehrsstärke
2 Wahl der zu beurteilenden Verkehrsqualitätsstufe
3 «Vordimensionierung» des Elementes der Verkehrsanlage
4 Wie Schritte 2 bis 5 des angebotsorientierten Verfahrens
5 Vergleich Ergebnis Schritt 4 mit Ergebnis Schritt 1
Wenn i. O.: weiter Schritt 6
Wenn nicht i. O.: Schritt 3 mit anderer Vordimensionierung wiederholen
6 Abschätzung der Belastbarkeiten
7 Kontrolle Belastbarkeiten mit zugeordneten Verkehrsstärken gemäss Schritt 5
8 Angabe der Dimensionen der Verkehrsanlage mit Hinweis auf die Belastbarkeiten und allenfalls zu treffenden Massnahmen

d) Leistungsanalyse

Schritte:
1 Wie Schritte 1 bis 5 des angebotsorientierten Verfahrens
2 Bestimmen der massgebenden Verkehrsstärken
3 Abschätzung der Belastbarkeiten
4 Gegenüberstellung der zugeordneten Verkehrsstärken gemäss Schritt 1 und der massgebenden Verkehrsstärken gemäss Schritt 2
5 Kontrolle Belastbarkeiten mit zugeordneten Verkehrsstärken bzw. massgebenden Verkehrsstärken
6 Angabe der Verkehrsqualitätsstufe mit Hinweis auf die Belastbarkeiten

14. Déroulement

Selon la procédure appliquée, on effectuera, pour l'élément choisi de l'infrastructure de transport, les étapes suivantes:

a) Remarque

A la place du débit de circulation et selon l'élément, une fonction du débit (p. ex. temps d'attente) permet aussi d'effectuer l'évaluation.

b) Procédure d'après l'offre

Etapes:
1 Décrire l'état effectif
2 Constater les différences par rapport à l'état de référence
3 Déterminer les facteurs d'influence et les facteurs de correction
4 Déterminer pour l'état de référence, à partir des normes y relatives, les débits de circulation correspondants
5 Calculer pour l'état réel les débits de circulation correspondants
6 Estimer les charges compatibles
7 Contrôler les charges compatibles avec les débits de circulation correspondants selon étape 5
8 Indiquer les débits de circulation possibles, compte tenu des charges compatibles, pour différents niveaux de service

c) Procédure d'après la demande

Etapes:
1 Déterminer le débit de circulation déterminant
2 Choisir le niveau de service à évaluer
3 «Prédimensionner» l'élément de l'infrastructure de transport
4 Comme les étapes 2 à 5 de la procédure d'après l'offre
5 Comparer le résultat de l'étape 4 avec celui de l'étape 1
Si en ordre: étape 6
Sinon: répéter l'étape 3 avec un autre prédimensionnement
6 Estimer les charges compatibles
7 Contrôler les charges compatibles avec les débits de circulation correspondants selon étape 5
8 Indiquer les dimensions de l'infrastructure de transport en précisant les charges compatibles et éventuellement les mesures à prendre

d) Analyse des performances

Etapes:
1 Comme les étapes 1 à 5 de la procédure d'après l'offre
2 Définir les débits de circulation déterminants
3 Evaluer les charges compatibles
4 Comparer les débits de circulation correspondants selon étape 1 et les débits de circulation déterminants selon étape 2
5 Contrôler les charges compatibles respectivement avec les débits correspondants et avec les débits déterminants
6 Indiquer le niveau de service en précisant les charges compatibles

C. Literaturverzeichnis

[1] SN 640 016 Massgebender Verkehr
[2] SN 640 025 Planungsvorgehen für Betriebs- und Gestaltungskonzepte von verkehrsorientierten Strassen
[3] ETHZ/IVT Stadtverträglichkeit von Verkehrsräumen, Zürich 1994
[4] Integrierte Verkehrsplanung: Planerische Vorbereitung von Strassenprojekten, Glaser, Saxer + Partner / J. Dietiker, Forschungsbericht Nr. 383 der EVED, 1997
[5] Luftreinhalteverordnung (LRV)
[6] Lärmschutzverordnung (LSV)

C. Bibliographie

[1] SN 640 016 Trafic déterminant
[2] SN 640 025 Procédé de planification pour les concepts d'exploitation et d'aménagement de routes dont la fonction prioritaire est la circulation
[3] ETHZ/IVT Stadtverträglichkeit von Verkehrsräumen, Zürich 1994
[4] Integrierte Verkehrsplanung: Planerische Vorbereitung von Strassenprojekten, Glaser, Saxer + Partner / J. Dietiker, Forschungsbericht Nr. 383 der EVED, 1997
[5] Ordonnance sur la protection de l'air (OPair)
[6] Ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB)

Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute
Union des professionnels suisses de la route
Unione dei professionisti svizzeri della strada
Association of Swiss Road and Traffic Engineers

Schweizer Norm
Norme Suisse
Norma Svizzera
Swiss Standard

SN

640 018

EINGETRAGENE NORM DER SCHWEIZERISCHEN NORMEN-VEREINIGUNG SNV NORME ENREGISTREE DE L'ASSOCIATION SUISSE DE NORMALISATION

Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit

Freie Strecken auf Autobahnen

A. Allgemeines

1. Geltungsbereich

Diese Norm gilt für freie Strecken auf Autobahnen (Strassentyp Hochleistungsstrasse mit baulicher Richtungstrennung [6]) mit zwei- oder dreistreifigen Richtungsfahrbahnen.

2. Gegenstand

Diese Norm beschreibt das Verfahren für die verkehrstechnische Dimensionierung und für die Beurteilung des Verkehrsablaufs auf freien Strecken der Autobahnen. Das Verfahren basiert auf dem Konzept der Grundlagennorm [5] und wird für jede Fahrtrichtung getrennt angewendet.

3. Zweck

Diese Norm dient der Vereinheitlichung des Verfahrens, um auf freien Autobahnstrecken von einem gegebenen Verkehrsangebot auf die Leistungsfähigkeit, die den Verkehrsqualitätsstufen zugeordneten Verkehrsstärken und die Belastbarkeit zu schliessen (angebotsorientiertes Verfahren) oder ausgehend von der Verkehrsnachfrage die zugehörige Verkehrsanlage zu dimensionieren (nachfrageorientiertes Verfahren). Sie zeigt auch den Weg, wie eine Beurteilung der Verkehrsqualität bei gegebener Verkehrsstärke und bei gegebenem Verkehrsangebot erfolgen kann (Leistungsanalyse).

Sie gibt ebenfalls Hinweise zur sicherheitsbedingten Belastbarkeit infolge Witterung sowie zur unterhaltsbedingten Belastbarkeit infolge Baustellen.

4. Begriffe

Die Begriffsdefinitionen sind in der Grundlagennorm [5] enthalten.

Capacité, niveau de service, charges compatibles

Autoroutes en section courante

A. Généralités

1. Domaine d'application

Cette norme s'applique aux autoroutes en section courante à chaussée unidirectionnelle à deux ou trois voies (type de routes: route à grand débit avec séparation physique des sens de circulation [6]).

2. Objet

Cette norme décrit la démarche pour le dimensionnement selon la technique de circulation ainsi que pour l'évaluation de l'écoulement de la circulation sur des autoroutes en section courante. La démarche se base sur le concept de la norme de base [5] et est appliquée séparémment à chaque sens de circulation.

3. But

La norme permet d'uniformiser la démarche pour des sections courantes d'autoroute, afin qu'à partir d'une offre de transport donnée, on puisse conclure sur la capacité, les débits de circulation correspondant aux niveaux de service et les charges compatibles (procédure d'après l'offre) ou partant de la demande de transport dimensionner les infrastructures de transport correspondantes (procédure d'après la demande). Elle montre aussi la manière dont le niveau de service peut être évalué pour un débit de circulation et une offre de transport donnés (analyse des performances).

Elle donne également des informations sur les charges compatibles avec la sécurité par suite d'intempéries ainsi que sur les charges compatibles avec l'entretien résultant de chantiers.

4. Définitions

Les définitions sont données dans la norme de base [5].

Herausgeber:
Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS)
Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich

Zuständig: VSS-Kommission 2, Planung und Projektierung

Bearbeitung: Arbeitsgruppe 22, Verkehrsplanung

Genehmigt: April 1999

Editeur:
Union des professionnels suisses de la route (VSS)
Seefeldstrasse 9, 8008 Zurich

Responsable: Commission VSS 2, Planification et projet

Elaboration: Groupe de travail 22, Planification de la circulation

Adoptée: avril 1999

© 1999 by VSS Zurich

Freie Strecken auf Autobahnen

Als freie Strecken auf Autobahnen gelten Strassenabschnitte von Hochleistungsstrassen ausserhalb der Einflussbereiche von Anschlüssen und Verzweigungen.

Autoroute en section courante

Par autoroute en section courante on entend des tronçons de route à grand débit en dehors de la zone d'influence des jonctions et des échangeurs.

B. Verkehrstechnische Dimensionierung

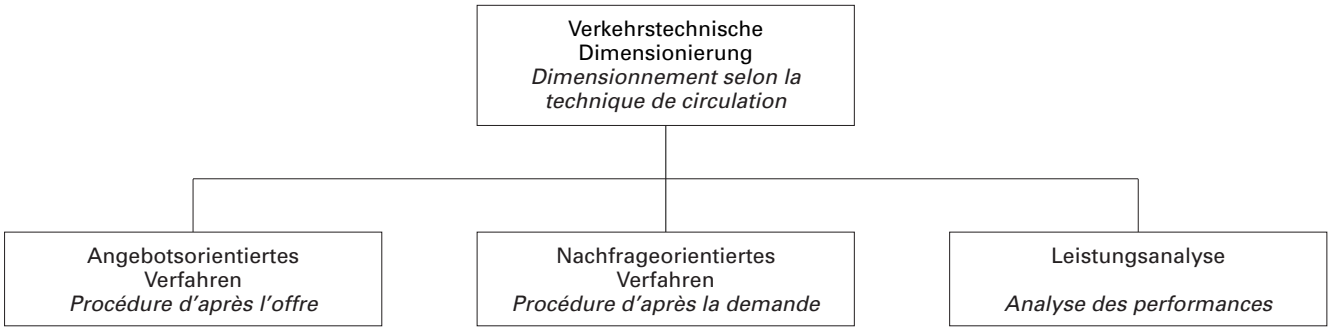
5. Wahl des Verfahrens

In der verkehrstechnischen Dimensionierung können grundsätzlich drei Verfahren [5] unterschieden werden:

B. Dimensionnement selon la technique de circulation

5. Choix de la démarche

Pour le dimensionnement selon la technique de circulation, on distingue en principe trois démarches [5]:



Vorherrschende Anwendungsfälle / *Cas d'application prédominants:*

Ausgangslage: Bestehender Strassenabschnitt ***Situation initiale:*** *Tronçon de route existant*	**Ausgangslage:** Erwartete Verkehrsstärken ***Situation initiale:*** *Débits de circulation prévus*	**Ausgangslage:** Bestehender Strassenabschnitt und bekannte Verkehrsstärken ***Situation initiale:*** *Tronçon de route existant et débits de circulation connus*
Ziel: Angabe der bewältigbaren Verkehrsstärken ***Objectif:*** *Indication des débits de circulation maîtrisables*	**Ziel:** Dimensionierung des Strassenabschnittes ***Objectif:*** *Dimensionnement du tronçon de route*	**Ziel:** Leistungsbilanz ***Objectif:*** *Bilan des performances*

Abb. 1
Vorgehensweise in der verkehrstechnischen Dimensionierung nach Norm [5] mit Angabe des vorherrschenden Anwendungsfalles

Fig. 1
Démarche pour le dimensionnement selon la technique de circulation conformément à la norme [5] avec indication des cas d'application prédominants

Die Wahl des Verfahrens ergibt sich aus der konkreten Fragestellung.

Le choix de la démarche résulte du problème posé.

6. Arbeitsschritte

Die Reihenfolge der Arbeitsschritte ist von der Wahl der Vorgehensweise abhängig. Sie ist aus der Tabelle 1 ersichtlich.

Während die Leistungsanalyse in einem Arbeitsdurchgang abgeschlossen ist, können sowohl für das angebotsorientierte Verfahren als auch für das nachfrageorientierte Verfahren mehrere Iterationsschritte erforderlich sein.

6. Etapes

La succession des étapes dépend du choix de la démarche. Elle est indiquée dans le tableau 1.

Alors que l'analyse des performances est réalisée en une seule étape, plusieurs étapes itératives peuvent être nécessaires tant pour la procédure d'après l'offre que pour celle d'après la demande.

Tab. 1
Arbeitsschritte der drei Verfahren in der verkehrstechnischen Dimensionierung

Verfahren	Angebotsorientiertes Verfahren	Nachfrageorientiertes Verfahren	Leistungsanalyse
1. Schritt	Abgrenzung der freien Strecke (Ziffer 4)	Bestimmen der massgebenden Verkehrsstärke (Ziffer 8)	Abgrenzung der freien Strecke (Ziffer 4)
2. Schritt	Beschreibung des tatsächlichen Zustandes soweit möglich (Ziffer 7)	Wahl der anzustrebenden Verkehrsqualitätsstufe (Ziffer 11)	Beschreibung des tatsächlichen Zustandes (Ziffer 7)
3. Schritt	Ermittlung Autobahntyp (Ziffer 9) Bestimmen der Einflussgrössen und der Abweichungen vom Referenzzustand (Ziffer 10)	«Vordimensionierung» der Autobahnstrecke für gewählten Autobahntyp (Ziffer 9) Beschreibung tatsächlicher Zustand soweit möglich (Ziffer 7)	Ermittlung Autobahntyp (Ziffer 9) Bestimmen der Einflussgrössen und der Abweichungen vom Referenzzustand (Ziffer 10)
4. Schritt	Bestimmen – zugeordnete Verkehrsstärke für Referenzzustand (Ziffer 12) / tatsächlichen Zustand (Ziffer 10/ Ziffer 14) – massgebende Verkehrsstärke (Ziffer 8)	Bestimmen – Einflussgrössen und Abweichungen vom Referenzzustand (Ziffer 10) – zugeordnete Verkehrsstärke für Referenzzustand (Ziffer 12) / tatsächlichen Zustand (Ziffer 10/ Ziffer 14)	Bestimmen – zugeordnete Verkehrsstärke für Referenzzustand (Ziffer 12) / tatsächlichen Zustand (Ziffer 10/ Ziffer 14) – massgebende Verkehrsstärke (Ziffer 8)
5. Schritt	Gegenüberstellung zugeordnete Verkehrsstärke ⟷ massgebende Verkehrsstärke		
6. Schritt	Abschätzung der Belastbarkeit (Ziffern 15 bis 17)		
7. Schritt	Kontrolle Belastbarkeit ⟷ zugeordnete bzw. massgebende Verkehrsstärke für tatsächlichen Zustand		
8. Schritt	Angabe – bewältigbare Verkehrsstärke (unter Berücksichtigung der Belastbarkeiten)	Angabe – Dimensionierung der Autobahnstrecke (Hinweis auf Belastbarkeiten und allenfalls zu treffende Massnahmen)	Angabe – Leistungsreserve/-manko und Verkehrsqualitätsstufe (Hinweis auf die Belastbarkeit)
Iteration	Veränderung massgebende Verkehrsstärke in Schritt 4	Wahl eines anderen Autobahntyps in Schritt 3	Keine Iterationsschritte

Tab. 1
Etapes pour les trois démarches de dimensionnement selon la technique de circulation

Démarche	Procédure d'après l'offre	Procédure d'après la demande	Analyse des performances
Etape 1	Délimitation de la section courante (chiffre 4)	Détermination du débit de circulation déterminant (chiffre 8)	Délimitation de la section courante (chiffre 4)
Etape 2	Dans la mesure du possible, description de l'état réel (chiffre 7)	Choix du niveau de service recherché (chiffre 11)	Description de l'état réel (chiffre 7)
Etape 3	Détermination du type d'autoroute (chiffre 9) Détermination des facteurs d'influence et des dérogations par rapport à l'état de référence (chiffre 10)	«Prédimensionnement» du tronçon d'autoroute correspondant au type d'autoroute choisi (chiffre 9) Dans la mesure du possible, description de l'état réel (chiffre 7)	Détermination du type d'autoroute (chiffre 9) Détermination des facteurs d'influence et des dérogations par rapport à l'état de référence (chiffre 10)
Etape 4	Détermination – du débit de circulation correspondant à l'état de référence (chiffre 12)/état effectif (chiffre 10/chiffre 14) – du débit de circulation déterminant (chiffre 8)	Détermination – des facteurs d'influence et des dérogations par rapport à l'état de référence (chiffre 10) – du débit de circulation correspondant à l'état de référence (chiffre 12) / état réel (chiffre 10/ chiffre 14)	Détermination – du débit de circulation correspondant à l'état de référence (chiffre 12) / état réel (chiffre 10/ chiffre 14) – du débit de circulation déterminant (chiffre 8)
Etape 5	Comparaison du débit de circulation correspondant ⟷ débit de circulation déterminant		
Etape 6	Estimation des charges compatibles (chiffres 15 à 17)		
Etape 7	Contrôle des charges compatibles ⟷ débit de circulation correspondant ou déterminant pour l'état réel		
Etape 8	Indication – du débit de circulation maîtrisable en tenant compte des charges compatibles	Indication – dimensionnement du tronçon d'autoroute (référence aux charges compatibles et le cas échéant aux mesures à prendre)	Indication – réserve/déficit de capacité et niveaux de service (référence aux charges compatibles)
Itération	Modification du débit déterminant à l'étape 4	Choix d'un autre type d'autoroute à l'étape 3	Pas d'itération

C. Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität

7. Merkmale

Das Fahrverhalten und damit auch die Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität sind in starkem Mass von den vorhandenen oder zukünftigen Strassen-, Verkehrs- und Betriebsbedingungen abhängig [5]. Die entsprechenden Merkmale müssen zu Beginn des Berechnungsverfahrens aufbereitet werden. Tabelle 2 gibt Hinweise über die Herkunft und mögliche Quellen der Grundlagen:

C. Capacité, niveau de service

7. Caractéristiques

Le comportement du conducteur et par conséquent aussi la capacité et le niveau de service dépendent dans une grande mesure des conditions existantes et futures de la route, du trafic et de l'exploitation [5]. On traitera les caractéristiques correspondantes au début du dimensionnement. Le tableau 2 donne des indications quant à la provenance et aux sources possibles des bases:

Tab. 2
Merkmale der Strassen-, Verkehrs- und Betriebsbedingungen mit Angabe der Grundlagen zur Beurteilung der Verkehrsqualität sowie der Leistungsfähigkeit

Merkmale	Grundlagen zur Beurteilung der Verkehrsqualität / Leistungsfähigkeit
Strassenbedingungen	**Planunterlagen**
Geometrisches Normalprofil – Anzahl Fahrstreifen – Fahrstreifenbreite – Seitliche Hindernisfreiheit	Gegebenheiten/Projekt, VSS-Normen [8]–[10]
Längsneigungen (Gradient, Länge)	Gegebenheiten/Projekt, VSS-Norm [7]
Verkehrsbedingungen	**Verkehrserhebungen**
Verkehrsstärken	Verkehrszählungen [1], Modellrechnungen, Schätzungen, Ganglinientyp [3], Dauerkurven [4], Lage im Netz
Schwerverkehrsanteil (inkl. Anteil langsamer Fahrzeuge wie z. B. PW mit Wohnanhänger)	Verkehrszählungen [1], Modellrechnungen, Schätzungen, Ganglinientyp [3], Lage im Netz
Kollektiv der Fahrzeuglenker	Verkehrsbefragungen [2], Ganglinientyp [3], Lage im Netz
Betriebsbedingungen	**Rechtsgrundlagen**
Geschwindigkeitsbeschränkungen	SVG/VRV/SSV, Situation, Signalisationspläne
Überholverbote für schwere Motorfahrzeuge	SVG/VRV/SSV, Situation, Signalisationspläne

Tab. 2
Caractéristiques des conditions de la route, de la circulation et de l'exploitation avec indication des bases pour l'évaluation du niveau de service ainsi que de la capacité

Caractéristiques	Bases pour l'évaluation du niveau de service/de la capacité
Conditions routières	**Plans**
Profil géométrique type – nombre de voies de circulation – largeur des voies de circulation – absence d'obstacles latéraux/du terre-plein central	Conditions locales/projet, normes VSS [8]–[10]
Déclivité (gradient, longueur)	Conditions locales/projet, norme VSS [7]
Conditions de circulation	**Recensements de la circulation**
Débits de circulation	Comptages [1], modèles de calcul, estimations, courbes de variation [3], courbes des débits classés [4], situation dans le réseau
Pourcentage de trafic lourd (y compris les véhicules lents tels que p. ex. voiture avec caravanne)	Comptages [1], modèles de calcul, estimations, courbes de variation [3], situation dans le réseau
Collectif des conducteurs de véhicules	Enquêtes [2], courbe de variation [3], situation dans le réseau
Conditions d'exploitation	**Bases légales**
Limitations de vitesse	LCR/OCR/OSR, situation, plan de signalisation
Interdiction de dépasser pour les véhicules lourds	LCR/OCR/OSR, situation, plan de signalisation

8. Massgebende Verkehrsstärke

Die verkehrstechnische Dimensionierung für freie Strecken auf Autobahnen erfolgt ausschliesslich anhand von stündlichen Verkehrsstärken. Dies hat zur Folge, dass die Verkehrsqualität infolge der Schwankungen der Verkehrsstärke innerhalb der betrachteten Stunde variieren kann. Anzugeben ist die Verkehrsstärke mit der Anzahl Fahrzeuge pro Stunde und Richtung sowie der Schwerverkehrsanteil.

Als massgebende Verkehrsstärken stehen folgende Grössen im Vordergrund:

– Durchschnittliche Abendspitzenstunde in % des DTV (in besonderen Fällen auch die Morgenspitzenstunde)
– Massgebender Verkehr, ermittelt aus Dauerkurven [4]

Bei vorhandenen Verkehrsanlagen soll wenn immer möglich auf Ergebnisse von Verkehrserhebungen zurückgegriffen werden. Zukünftige Verkehrsstärken können aufgrund von Modellrechnungen geschätzt werden. Dabei können die Richtwerte in der Norm [4] eine Hilfe sein.

8. Débit de circulation déterminant

On effectue le dimensionnement de sections courantes d'autoroutes selon la technique de circulation exclusivement sur la base des débits horaires de circulation. Cela a pour conséquence que le niveau de service peut varier suite aux fluctuations du débit de circulation durant l'heure considérée. On indiquera le débit de circulation par le nombre de véhicules par heure et par direction ainsi que le pourcentage de véhicules lourds.

Comme débits de circulation déterminants, on considère surtout les valeurs suivantes:

– moyenne des heures de pointe du soir en % du TJM (dans des cas particuliers également les pointes horaires du matin)
– trafic déterminant calculé à partir des courbes des débits classés [4]

Pour des infrastructures de transport existantes, on se réfèrera chaque fois que cela est possible aux résultats de recensements de circulation. Les débits futurs de circulation peuvent être estimés sur la base de modèles de calcul. A cet effet, les valeurs indicatives de la norme [4] peuvent être utiles.

9. Autobahntypen

Die Leistungsfähigkeit wird im wesentlichen durch die Anzahl der Fahrstreifen und den Ausbaugrad, insbesondere die seitliche Hindernisfreiheit (Tabelle 4) bestimmt. Das Geschwindigkeitsniveau im freien Verkehrsfluss richtet sich weitgehend nach der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Autobahnen mit stark reduzierten Ausbaugrössen weisen in der Regel signalisierte Höchstgeschwindigkeiten von 80 km/h, Autobahnen mit reduzierten Ausbaugrössen signalisierte Höchstgeschwindigkeiten von 100 km/h auf. Autobahnen mit normalen Ausbaugrössen weisen in der Regel generelle Höchstgeschwindigkeiten von 120 km/h auf. Es werden deshalb sechs Typen von Autobahnen unterschieden (Tabelle 3). Für diese Typen werden zugeordnete Verkehrsstärken und Leistungsfähigkeiten angegeben (Tabelle 6).

9. Types d'autouroutes

La capacité est principalement déterminée sur la base du nombre de voies de circulation et du degré d'aménagement, en particulier l'absence d'obstacles latéraux (tableau 4). Le niveau de vitesse d'un flux de circulation libre dépend largement de la vitesse maximale autorisée. Les autoroutes présentant des caractéristiques d'aménagement très réduites sont signalisées en règle générale pour une vitesse maximale de 80 km/h, les autoroutes avec des caractéristiques d'aménagement réduites pour une vitesse maximale de 100 km/h. Sur les autoroutes avec caractéristiques normales, la vitesse maximale est généralement de 120 km/h. C'est pourquoi on distingue six types d'autoroute (tableau 3). Les débits de circulation et les capacités de ces types sont donnés au tableau 6.

Tab. 3
Autobahntypen

Ausbaugrad	Normal (N)	Reduziert (R)	Stark reduziert (SR)
Lage/Anwendung	ausserorts	– ausserorts bei erschwerten topographischen Verhältnissen – innerorts und in Agglomerationsgebieten (kurze Anschlussabstände) – in Tunneln	
Ausbaugeschwindigkeit V_A (in der Regel auch Höchstgeschwindigkeit)	120 km/h (generell)	100 km/h (signalisiert)	80 km/h (signalisiert)
zweistreifig	Typ 2×2-N	Typ 2×2-R	Typ 2×2-SR
dreistreifig	Typ 2×3-N	Typ 2×3-R	Typ 2×3-SR

Tab. 3
Types d'autoroutes

Degré d'aménagement	Normal (N)	Réduit (R)	Très réduit (SR)
Situation/application	hors localité	– **hors localité** en cas de conditions topographiques difficiles – en localité et à l'intérieur des espaces bâtis (faibles distances entre les jonctions) – en tunnel	
Vitesse de base V_A (en règle générale vitesse maximale)	120 km/h (limite générale)	100 km/h (signalisé)	80 km/h (signalisé)
à deux voies	type 2×2-N	type 2×2-R	type 2×2-SR
à trois voies	type 2×3-N	type 2×3-R	type 2×3-SR

Autobahnabschnitte in Baustellenbereichen werden nach Betriebsformen gemäss Tabelle 9 unterschieden.

10. Einflussgrössen und Referenzzustand

a) Referenzzustand

Die Kennwerte gemäss Tabelle 4 charakterisieren den entsprechenden Referenzzustand für alle Autobahntypen.

b) Berücksichtigung des tatsächlichen Zustandes

Das Verfahren zur verkehrstechnischen Dimensionierung berücksichtigt nur die wichtigsten Einflussgrössen.

Die Abweichungen des tatsächlichen Zustandes vom Referenzzustand werden im Verfahren gemäss Tabelle 4 berücksichtigt.

Nicht jede dieser Einflussgrössen hat im vorliegenden Berechnungsverfahren die gleiche Bedeutung. Insbesondere die Einflüsse des Kollektivs der Fahrzeuglenker, der Fahrstreifenbreiten sowie der seitlichen Hindernisfreiheit werden mangels erforschter Zusammenhänge nicht mit Korrekturfaktoren, sondern in Schritt 4 (Tabelle 1) qualitativ berücksichtigt. Dabei muss abgeschätzt werden, ob die ermittelten Verkehrsstärken für den Referenzzustand den tatsächlichen Zustand genügend berücksichtigen, oder ob sie aufgrund weiterer Einflussgrössen ober- oder unterhalb der Verkehrsstärken des Referenzzustandes liegen können.

c) Fahrstreifenbreiten

Sollten die Fahrstreifenbreiten unter dem Referenzzustand liegen, ist mit einer Verringerung der Verkehrsqualität und der Leistungsfähigkeit zu rechnen. Schmälere Fahrstreifen sind auf bestehenden Autobahnen nur entweder in Baustellenbereichen nach Norm [11] vorhanden oder sie bilden Spezialfälle und sind damit nicht Gegenstand der Norm.

On distingue les tronçons d'autoroute dans les zones de chantier selon les formes d'exploitation du tableau 9.

10. Facteurs d'influence et état de référence

a) Etat de référence

Les valeurs caractéristiques selon tableau 4 définissent l'état de référence correspondant à tous les types d'autoroute.

b) Prise en compte de l'état réel

La démarche pour le dimensionnement selon la technique de circulation ne tient compte que des facteurs d'influence les plus importants.

Les écarts de l'état réel par rapport à l'état de référence seront pris en compte dans la démarche décrite au tableau 4.

Dans la présente démarche de calcul, tous les facteurs d'influence n'ont pas la même importance. En particulier, parce qu'elles n'ont pas fait l'objet d'une recherche suffisante, les influences du collectif des conducteurs, de la largeur des voies de circulation ainsi que de l'absence d'obstacles latéraux ne sont pas converties en facteurs de correction mais sont évaluées qualitativement à l'étape 4 (tableau 1). En conséquence, il convient d'apprécier si les débits de circulation déterminés pour l'état de référence tiennent suffisamment compte de l'état réel ou si, sur la base d'autres facteurs d'influence, ils peuvent se situer en-dessus ou en-dessous des débits de l'état de référence.

c) Largeurs de voies de circulation

Si les largeurs de voies de circulation sont inférieures à l'état de référence, il faut compter avec une réduction du niveau de service et de la capacité. On ne trouve des voies de circulation plus étroites sur les autoroutes existantes que dans les zones de chantier selon norme [11] ou dans des cas particuliers qui ne font pas l'objet de cette norme.

d) Seitliche Hindernisfreiheit

Bei einer seitlichen Hindernisfreiheit von min. 1,5 m ist nicht mit einer Abnahme der Verkehrsqualität sowie der Leistungsfähigkeit zu rechnen. Eine Verschlechterung ist aber auf Autobahnstrecken ohne Standstreifen und mit einer seitlichen Hindernisfreiheit von unter 1,5 m, wie z. B. in Tunnelquerschnitten, wahrscheinlich.

Die zugeordneten Verkehrsstärken des Typs 2×2-SR basieren zum Teil auf Messungen in Tunnelstrecken und berücksichtigen bereits die fehlende seitliche Hindernisfreiheit (kein Standstreifen).

e) Längsneigungen

Für Steigungsstrecken mit Längsneigungen von mehr als 2% verringern sich die Werte für die zugeordneten Verkehrsstärken mit zunehmender Länge, Neigung des Abschnittes und mit zunehmendem Anteil an Schwerverkehr [15]. Für längere Steigungsabschnitte sind die zugeordneten Verkehrsstärken in Tabelle 7 angegeben. Für kürzere Steigungsstrecken sowie aufeinanderfolgende unterschiedliche Längsneigungen liegen noch keine gesicherten Erkenntnisse vor. In solchen Fällen empfiehlt es sich, als Näherung die Längen solcher Teilabschnitte zusammenzulegen und das gewichtete Mittel der Längsneigungen zu verwenden.

f) Schwerverkehrsanteil

Der Schwerverkehrsanteil wird in % der Gesamtzahl der Motorfahrzeuge angegeben. Er enthält auch die sogenannt langsamen Fahrzeuge, wie Wohnwagengespanne. In der Tabelle 6 sind die Werte für Schwerverkehrsanteile von ≤ 5% (Referenzzustand), 10% und ≥ 15% angegeben.

g) Kollektiv der Fahrzeuglenker

Das Kollektiv der Fahrzeuglenker bestimmt die Zusammensetzung des Fahrzeugparks, der Fahrzeugbeladung, das Abstandsverhalten sowie die Vertrautheit mit den Strassen-, Verkehrs- und Betriebsbedingungen. Die vielfältigen Strukturen lassen die örtlich und zeitlich sehr verschiedenen Kollektive nicht normieren. Bei erhöhten Anteilen an Tourismusverkehr sind leicht unter den Normwerten liegende Leistungsfähigkeiten, bei täglich wiederkehrenden hohen Verkehrsstärken im Berufspendlerverkehr teilweise auch über den Normwerten liegende Leistungsfähigkeiten zu erwarten. Je nach örtlicher Situation können dabei grosse Spannbreiten von bewältigbaren Verkehrsstärken auftreten. Insbesondere dann, wenn die sicherheitsbedingten Mindestzeitlücken nicht eingehalten werden. Diese Werte dürfen aber nicht auf andere Autobahnabschnitte übertragen werden.

h) Zeitlücken

Die Zeitlückenverteilung ist von zahlreichen bereits beschriebenen Einflussgrössen abhängig und wird daher im Verfahren nicht explizit berücksichtigt.

i) Geschwindigkeitsbeschränkungen

Die generelle Höchstgeschwindigkeit auf Autobahnen in der Schweiz beträgt 120 km/h. Tiefere Höchstgeschwindigkeiten sind signalisiert, wenn es die geo-

d) Absence d'obstacles latéraux

On ne comptera pas avec une diminution du niveau de service ainsi que de la capacité si la largeur de la zone latérale libre d'obstacles est d'au moins 1,5 m. Une diminution du niveau de service sur des tronçons d'autoroutes sans bande d'arrêt d'urgence comprenant une zone latérale libre d'obstacles d'une largeur inférieure à 1,5 m, comme p. ex. en tunnel, est probable.

Les débits de circulation correspondant au type 2×2-SR se basent partiellement sur des mesures réalisées en tunnel et tiennent compte de l'absence d'une zone latérale libre d'obstacles (aucune voie d'arrêt d'urgence).

e) Déclivité

Pour des rampes de plus de 2%, les débits de circulation correspondants diminuent avec l'augmentation de la longueur, de la pente du tronçon et du pourcentage de véhicules lourds [15]. Pour des rampes plus longues, le tableau 7 donne les débits de circulation correspondants. Pour des rampes plus courtes ainsi que pour une succession de rampes de pentes différentes, on ne dispose pas encore de données fiables. En pareil cas, il est recommandé, en tant qu'approximation, de regrouper les longueurs de ces tronçons partiels et d'utiliser la moyenne pondérée de leur déclivité.

f) Pourcentage du trafic lourd

La part du trafic lourd est exprimée en % du nombre total des véhicules à moteur. Elle comprend également les véhicules dits lents, tels que caravanes. Le tableau 6 indique les valeurs pour des poucentages ≤ 5% (état de référence), 10% et ≥ 15%.

g) Collectif des conducteurs

Le collectif des conducteurs détermine la composition du parc des véhicules, le chargement des véhicules, la distance entre véhicules ainsi que l'expérience des conditions de la route, de la circulation et de l'exploitation. Compte tenu des structures très variées, on ne peut pas normaliser des collectifs qui, en raison de particularités locales et temporelles, diffèrent l'une de l'autre. Avec une augmentation du trafic touristique, on peut s'attendre à une capacité légèrement inférieure aux valeurs normales, alors qu'elles peuvent être partiellement supérieures lors de la réapparition journalière de débits élevés de pendulaires professionnels. Selon la situation locale, les débits de circulation peuvent présenter des écarts élevés maîtrisables. Ceci est notamment le cas lorsque les créneaux minimaux imposés par les conditions de sécurité ne sont pas respectés. Ces valeurs ne peuvent cependant pas être reportées sur d'autres tronçons d'autoroutes.

h) Créneaux

La répartition des créneaux dépend de nombreux facteurs d'influence déjà décrits et n'est par conséquent pas prise en considération de manière explicite dans la démarche.

i) Limitations de vitesse

La limite générale de la vitesse sur les autoroutes est de 120 km/h. Des vitesses maximales plus basses sont signalées lorsque les caractéristiques géométriques de

metrische Anlage der Strasse erfordert (niedrigere Ausbaugeschwindigkeiten). Niedrigere Höchstgeschwindigkeiten aus betrieblichen Gründen können im vorliegenden Verfahren nicht berücksichtigt werden.

j) Überholverbote für schwere Motorfahrzeuge

Ausländische Messungen [14] zeigen eine leichte Erhöhung der PW-Geschwindigkeiten mit Einführung von Überholverboten für schwere Motorfahrzeuge. Dieser Einfluss wird bei zunehmenden Verkehrsstärken und Lastwagenanteilen wirksam und ist zudem abhängig von den Neigungsverhältnissen sowie der jeweiligen Geschwindigkeitsbegrenzung. Einflüsse auf die zugeordneten Verkehrsstärken sowie die Leistungsfähigkeit auf Schweizer Autobahnstrecken können nicht abgeschätzt werden.

k) Witterungs- und Lichtverhältnisse

Regen, Schnee, Nebel und Eis treten sehr unregelmässig auf und üben einen unterschiedlich starken Einfluss aus, insbesondere in Kombination, z. B. mit der Dunkelheit. Ihr Einfluss entzieht sich einer Normierung. Die gemessenen Werte widerspiegeln jeweils die spezifische Situation vor Ort und können nicht ohne weiteres auf andere Strecken übertragen werden.

la route le nécessitent (vitesse de base réduite). Dans la présente démarche, on ne tient pas compte des vitesses maximales plus basses pour des raisons d'exploitation.

j) Interdictions de dépasser pour véhicules lourds

Des mesures effectuées à l'étranger [14] montrent une légère augmentation des vitesses des voitures de tourisme liée à l'introduction de l'interdiction de dépasser pour les véhicules lourds. Cette influence est efficace en cas d'augmentation du débit de la circulation et du pourcentage des véhicules lourds et dépend en outre des déclivités ainsi que des limitations de vitesse momentanées. On ne peut pas évaluer les influences sur les débits de circulation correspondants ainsi que celles sur la capacité du réseau autoroutier suisse.

k) Conditions de météorologie et d'éclairage

La pluie, la neige, le brouillard et la glace surviennent très irrégulièrement et exercent une influence plus ou moins forte, en particulier en combinaison, p. ex. avec l'obscurité. Leur influence n'est pas normalisable. Les valeurs mesurées reflètent chaque fois la situation spécifique d'un lieu et ne peuvent pas sans autre être reportées sur d'autres tronçons.

Tab. 4
Berücksichtigung der massgebenden Einflussgrössen

Massgebende Einflussgrössen	Kennwerte Referenzzustand	Berücksichtigung im Verfahren bei abweichenden Merkmalen
Anzahl Fahrstreifen	Zweistreifig/dreistreifig (je Fahrtrichtung)	Autobahntyp, direkt in Wertetabelle (Tabelle 6)
Fahrstreifenbreite	3,5 m und mehr	Es wird nur mit dem Referenzzustand gerechnet (Ausnahme Baustellen: Ziffer 17)
Seitliche Hindernisfreiheit	Breite Standstreifen: Typ 2×2-N: ≥ 2,5 m Typ 2×3-N: ≥ 2,5 m Typ 2×2-R: min. 1,5 m Typ 2×3-R: min. 1,5 m Typ 2×2-SR: ≤ 1,5 m Typ 2×3-SR: ≤ 1,5 m Breite Mittelstreifen: min. 2,0 m	Qualitative Hinweise bei Abweichungen vom Referenzzustand
Längsneigungen (Gradient, Länge)	Ebene Fahrbahn mit max. Längsneigung 2%	Hinweise zu Steigungsstrecken (Ziffer 14)
Schwerverkehrsanteil (inkl. Anteil langsamer Fahrzeuge)	0–5%	Direkt aus Wertetabelle (Tabelle 6)
Kollektiv der Fahrzeuglenker	Berufspendlerverkehr überwiegend	Qualitative Hinweise bei Abweichungen vom Referenzzustand
Zeitlücken		Sicherheitsrelevante Mindestzeitlücken berücksichtigt
Geschwindigkeitsbeschränkungen	Generelle oder signalisierte Höchstgeschwindigkeit entsprechend der Ausbaugeschwindigkeit	Direkt aus Wertetabelle (Tabelle 6)
Überholverbot für schwere Motorfahrzeuge	Keine Überholverbote	Keine Berücksichtigung
Witterungs- und Lichtverhältnisse (Strassenzustand)	Guter Belag, trockene Fahrbahn, gute Sichtverhältnisse, Tageslicht	Als sicherheitsbedingte Belastbarkeit berücksichtigt

Tab. 4
Prise en compte des facteurs d'influence déterminants

Facteurs d'influence déterminants	Valeurs caractéristiques de l'état de référence	Approche en cas de caractéristiques divergentes
Nombre de voies de circulation	A deux voies/à trois voies par sens de circulation	Type d'autoroutes résultant du tableau 6
Largeur des voies de circulation	3,5 m et plus	Calcul uniquement avec l'état de référence (exception chantiers, chiffre 17)
Absence d'obstacles latéraux	Largeur des voies d'arrêt d'urgence: type 2×2-N: ≥ 2,5 m type 2×3-N: ≥ 2,5 m type 2×2-R: min. 1,5 m type 2×3-R: min. 1,5 m type 2×2-SR: ≤ 1,5 m type 2×3-SR: ≤ 1,5 m Largeur du terre-plein central: min. 2,0 m	Indications qualitatives en cas d'écarts par rapport à l'état de référence
Déclivité (gradient, largeur)	Chaussée avec une déclivité max. de 2%	Indications relatives aux rampes (chiffre 14)
Pourcentage des véhicules lourds (y compris pourcentage des véhicules lents)	0–5%	Résulte du tableau 6
Collectif des conducteurs	Trafic pendulaire prépondérant	Indications qualitatives en cas d'écarts par rapport à l'état de référence
Créneaux		Prise en compte des créneaux minimaux importants du point de vue de la sécurité
Limitations de vitesse	Vitesse (limite générale ou signalisée) conforme à la vitesse de base	Résulte du tableau 6
Interdiction de dépasser pour les véhicules lourds	Aucune interdiction de dépasser	Aucune prise en compte
Conditions de météorologie et d'éclairage (état de la route)	Bon revêtement, chaussée sèche, bonne visibilité, lumière de jour	Prise en compte des charges compatibles avec la sécurité

Die im Referenzzustand definierten Strassenbedingungen mit trockener Fahrbahn und Tageslicht stellen den günstigsten Betriebszustand dar, auch hinsichtlich der Sicherheit. Für die verkehrstechnische Dimensionierung werden wegen der mangelnden Normierbarkeit der Witterungs- und Lichtverhältnisse diese Einflussgrössen als Belastbarkeit berücksichtigt.

Les conditions routières définies dans l'état de référence, soit chaussée sèche et lumière du jour, représentent l'état d'exploitation le plus favorable, également du point de vue de la sécurité. Pour le dimensionnement selon la technique de circulation, ces facteurs d'influence sont considérés en tant que charges compatibles du fait que les conditions de météorologie ne sont pas normalisables.

11. Verkehrsqualitätsstufen

Auf freien Strecken auf Autobahnen treten mit zunehmender Verkehrsstärke Behinderungen bei der Geschwindigkeitswahl sowie beim Fahrstreifenwechsel auf. Zur Beurteilung der Verkehrsqualität werden in Tabelle 5 sechs Verkehrsqualitätsstufen definiert [5].

11. Niveaux de service

Sur les sections courantes d'autoroutes, on relève suite à un débit de circulation croissant des entraves dues au choix de la vitesse ainsi qu'au changement de voies de circulation. Pour évaluer le niveau de service, le tableau 5 définit six niveaux [5].

Tab. 5
Verkehrsqualitätsstufen für freie Strecken auf Autobahnen

Qualitätsstufe	Verkehrsfluss	Verkehrsqualität	Bewegungsspielraum des Fahrers
Stufe A	vollkommen frei	ausgezeichnet	in vollem Umfang
Stufe B	nahezu frei, stetig (oberer Geschwindigkeitsbereich)	gut	geringfügige Einflüsse durch übrige Verkehrsteilnehmer
Stufe C	teilweise gebunden, stabil (unterer Geschwindigkeitsbereich)	befriedigend	bemerkbar eingeschränkt (v. a. bei Fahrstreifenwechsel)
Stufe D	gebunden, annähernd stabil	ausreichend	stark eingeschränkt (ständige Behinderungen)
Stufe E	stark gebunden, teilweise instabil	mangelhaft	extrem eingeschränkt kleinere Inhomogenitäten führen rasch zu Stillstand
Stufe F	Unterbrechung, Stillstand («Stop-and-go-Verkehr»), dauernd instabil	überlastet	stockender oder stillstehender Kolonnenverkehr (Überlastung)

Tab. 5
Niveaux de service des sections courantes d'autoroutes

Niveaux de service	Circulation	Niveau de service	Marge de manœuvre du conducteur
Niveau A	entièrement libre	excellent	totale
Niveau B	à peu près libre, constante (domaine supérieur de vitesse)	bon	influence minime des autres usagers
Niveau C	partiellement dépendante, stable (domaine inférieur des vitesses)	satisfaisant dans l'ensemble	réduite de manière significative (surtout lors de changements de voies de circulation)
Niveau D	dépendante, presque stable	suffisant	très réduite (entraves permanentes)
Niveau E	très dépendante, partiellement instable	insuffisant	extrêmement réduite, de petites hétérogénéités conduisent rapidement à l'arrêt
Niveau F	interruption, arrêt («circulation en accordéon»), instable en permanence	surchargé	circulation en file, ralentie ou arrêtée (surcharge)

Die Festlegung der Verkehrsqualitätsstufen erfolgt mittels der Verkehrsdichte. Diese kann für jeden Autobahntyp sowie für einige Schwerverkehrsanteile in die den Verkehrsqualitätsstufen zugeordneten Verkehrsstärken umgerechnet werden.

Die Stufeneinteilung kann wie folgt umschrieben werden:

- Die Stufen A und B kennzeichnen einen Verkehrsfluss mit geringsten Einflüssen der Verkehrsstärken auf die Fahrgeschwindigkeiten.
- In den Stufen C und D nehmen mit wachsenden Verkehrsstärken die gegenseitigen Behinderungen immer mehr zu, verbunden mit einem immer grösseren Rückgang der Fahrgeschwindigkeiten. Der Verkehrsfluss bleibt dabei aber immer noch stabil.

On détermine les niveaux de service à l'aide de la densité de circulation. Pour chaque type d'autoroute ainsi que pour quelques poucentages de trafic de véhicules lourds on peut convertir la densité de circulation en débit de circulation correspondant au niveau de service.

La classification des niveaux peut être décrite comme suit:

- Les niveaux A et B caractérisent une circulation avec des influences minimes des débits de circulation sur la vitesse.
- Aux niveaux C et D, la gêne entre usagers augmente toujours avec le débit de circulation en relation avec une réduction croissante de la vitesse. Cependant, le flux de circulation reste encore stable.

– An der Grenze zwischen den Stufen D und E beginnt der Verkehrsfluss zeitweise instabil zu werden. Je mehr sich die Verkehrsstärken der Stufe F nähern, desto länger dauern die instabilen Situationen an.
– Die Grenze zwischen den Qualitätsstufen E und F wird erreicht, wenn während der ganzen Stunde instabiler Verkehrsfluss mit Stau oder «Stop-and-go-Verkehr» herrscht.
– Im Bereich des Verkehrszusammenbruches (Stufe F) variieren die Verkehrsdichten und -stärken sehr stark, so dass für diesen Bereich keine Richtwerte angegeben werden.

12. Zugeordnete Verkehrsstärken und Leistungsfähigkeit

In Tabelle 6 lassen sich für die jeweiligen Autobahntypen und Verkehrsqualitätsstufen die zugeordneten Verkehrsstärken bestimmen. Die Angaben sind als vorläufige Richtwerte zu betrachten. Sie gelten für ebene Strecken (Längsneigungen ≤ 2%).

– A la limite des niveaux D et E, la circulation commence à devenir temporairement instable. Plus le débit de circulation s'approche du niveau F, plus les situations instables dureront.
– On passe à la limite entre le niveau E et F lorsque la circulation est instable avec des bouchons ou une circulation en accordéon durant une heure entière.
– Lorsque la circulation est paralysée (niveau F), la densité et le débit de circulation varient très fortement de sorte qu'aucune valeur indicative ne peut être donnée dans ce cas.

12. Débits de circulation et capacité correspondants

Le tableau 6 permet de déterminer pour chaque type d'autoroute et pour chaque niveau de service le débit de circulation correspondant. Ces données sont à considérer comme des valeurs indicatives, provisoires. Elles sont valables pour des tronçons avec une déclivité ≤ 2%.

Tab. 6
Richtwerte für Verkehrsdichten und zugeordnete Verkehrsstärken für die jeweiligen Autobahntypen und Verkehrsqualitätsstufen, in Abhängigkeit vom Schwerverkehrsanteil

Tab. 6
Valeurs directives et débits de circulation attribués à chaque type d'autoroute ainsi que niveau de service en fonction du pourcentage de véhicules lourds

Autobahntypen Schwerverkehrsanteil [%] *Types d'autoroutes et pourcentage [%] de trafic de véhicules lourds*		Max. Verkehrsdichte (Mfz/km, Richtung) je Verkehrsqualitätsstufe *Densité maximale de circulation (vhc/km, direction) par niveau de service*						Max. Verkehrsstärke (Mfz/h, Richtung) je Verkehrsqualitätsstufe (zugeordnete Verkehrsstärke) *Débit max. de circulation (vhc/h, direction) par niveau de service (débit de circulation correspondant)*					
		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Typ 2×3-N	≤ 5% 10% ≥ 15%	20	35	50	60	75	*	2400 2400 2400	4100 4100 4100	4900 4800 4700	5300 5100 4900	5500 5300 5100	* * *
Typ 2×3-R**	≤ 5% 10% ≥ 15%	15	30	45	60	85	*	1500 1500 1500	2700 2700 2700	4000 4000 3900	4900 4900 4700	5300 5100 5000	* * *
Typ 2×3-SR**	–	15	30	45	65	90	*	1200	2400	3500	4500	4900	*
Typ 2×2-N	≤ 5% 10% ≥ 15%	10	20	30	40	50	*	1200 1200 1200	2300 2300 2300	2900 2900 2800	3400 3300 3200	3600 3400 3300	* * *
Typ 2×2-R	≤ 5% 10% ≥ 15%	10	20	30	40	60	*	1000 1000 1000	1800 1800 1800	2600 2600 2500	3200 3100 3000	3400 3300 3200	* * *
Typ 2×2-SR	–	10	20	30	45	70	*	800	1500	2100	2900	3200	*

* Keine Angabe von Richtwerten für Verkehrsqualitätsstufe F möglich
** Richtwerte basieren auf Schätzungen (Herleitung aus ausländischen Quellen)

* Aucune valeur indicative possible pour le niveau de service
** Les valeurs indicatives se basent sur des estimations (tirées de sources étrangères)

Die Schwerverkehrsanteile werden in Tabelle 6 wie folgt berücksichtigt:

– Für Schwerverkehrsanteile, die zwischen den angegebenen Werten liegen, kann interpoliert werden.
– Bei Autobahnen mit Höchstgeschwindigkeit 80 km/h (Typen 2×3-SR und 2×2-SR) kann auf eine Berücksichtigung der Schwerverkehrsanteile verzichtet werden.

Au tableau 6, on tient compte comme suit du pourcentage du trafic lourd:

– Pour un pourcentage de trafic lourd situé entre les valeurs indiquées, on effectuera une interpolation.
– Pour des autoroutes avec une vitesse maximale de 80 km/h (types 2×3-SR et 2×2-SR), on ne tiendra pas compte du pourcentage du trafic lourd.

Die Leistungsfähigkeit variiert je nach Autobahntyp sowie nach Schwerverkehrsanteil. Insbesondere im Bereich der Leistungsfähigkeit sind für einzelne Autobahntypen bereits wesentlich höhere Verkehrsstärken gemessen worden, allerdings bei sehr labilen Verkehrszuständen und unter Inkaufnahme von kleinen, aus der Sicht der Verkehrssicherheit problematischen Zeitlücken.

13. Dimensionierungsempfehlung

Auf neuen oder auszubauenden freien Autobahnstrecken sind für den massgebenden Verkehr die Verkehrsqualitätsstufen C oder D als Dimensionierungsgrundlage geeignet [5] (Ziffer 12).

14. Hinweis zu zugeordneten Verkehrsstärken in Steigungen

Als Hinweis können zugeordnete Verkehrsstärken in Anlehnung an [15] angegeben werden. Diese Werte sind nur für längere Steigungsstrecken, auf welchen sich die Dauergeschwindigkeit einstellt, anzuwenden.

La capacité varie selon le type d'autoroute ainsi que selon le pourcentage du trafic lourd. En ce qui concerne la capacité, on a mesuré pour certains types d'autoroutes des débits de circulation nettement plus élevés, toutefois, pour des états de circulation très instables et en prenant le risque de petits créneaux qui rendent la sécurité routière problématique.

13. Recommandation pour le dimensionnement

Sur des sections courantes d'autoroutes nouvelles ou à aménager, les niveaux de service C ou D conviennent comme base de dimensionnement pour le trafic déterminant [5] (chiffre 12).

14. Remarque relative aux débits de circulation correspondants dans les rampes

Il convient de relever que l'on peut indiquer les débits de circulation correspondants en se référant à [15]. On appliquera ces valeurs uniquement à de longues rampes où la vitesse de croisière se stabilise.

Tab. 7
Richtwerte von zugeordneten Verkehrsstärken (Mfz/h, Richtung) auf längeren Steigungsstrecken mit Längsneigungen > 2% [15]

Tab. 7
Valeurs indicatives de débits de circulation (vhc/h, direction) correspondant à de longues rampes avec déclivité > 2% [15]

Steigung / *Rampe*		2% < i ≤ 3%			3%< i ≤ 4%			i > 4%		
LW-Anteil / *Pourcentage de vhc lourds [%]*		≤ 5%	10%	≥ 15%	≤ 5%	10%	≥ 15%	≤ 5%	10%	≥ 15%
Typ 2×3-N	A	2350	2350	2300	2300	2300	2200	2200	2150	2050
	B	4050	4000	3900	3950	3900	3600	3800	3700	3400
	C	4800	4600	4500	4700	4500	4200	4500	4300	3900
	D	5200	5000	4800	5100	4900	4600	4900	4700	4400
	E	5400	5200	5000	5300	5100	4850	5150	4950	4650
Typ 2×3-R[1)]	A		1500			1450			1400	
	B		2700			2650			2500	
	C		4000			3900			3650	
	D		4900			4800			4600	
	E		5100			5000			4900	
Typ 2×3-SR[1)]	A		1200			1150			1100	
	B		2400			2300			2200	
	C		3500			3400			3200	
	D		4500			4400			4300	
	E		4900			4800			4700	
Typ 2×2-N	A	1200	1150	1150	1150	1100	1000	1100	1000	900
	B	2200	2100	2000	2100	2050	1900	2000	1900	1800
	C	2900	2750	2600	2800	2700	2400	2700	2500	2300
	D	3350	3150	3000	3300	3100	2900	3200	3000	2800
	E	3550	3350	3200	3500	3300	3100	3400	3200	3000
Typ 2×2-R[1)]	A		1000			950			900	
	B		1800			1750			1700	
	C		2600			2500			2400	
	D		3100			3000			2900	
	E		3300			3200			3100	
Typ 2×2-SR[1)]	A		800			750			700	
	B		1500			1450			1350	
	C		2100			2000			1900	
	D		2900			2800			2700	
	E		3200			3100			3000	

[1)] Werte sind weitgehend unabhängig vom Schwerverkehrsanteil

[1)] Valeurs en principe indépendantes du pourcentage de véhicules lourds

D. Belastbarkeit

15. Umweltbedingte Belastbarkeit

Die Richtwerte sind aus den entsprechenden kantonalen Massnahmenplänen Luftreinhaltung, den Lärmbelastungskatastern oder den Lärmempfindlichkeitsstufenplänen zu ermitteln.

16. Sicherheitsbedingte Belastbarkeit

Der Übergang zwischen stabilem und zeitweise instabilem Verkehr (Stufen D und E) ist so festgelegt, dass bei entsprechenden Verkehrsstärken durchschnittliche Zeitlücken von ungefähr 2 s eingehalten werden. Mit den Empfehlungen zur Dimensionierung (Verkehrsqualitätsstufe C oder D) werden bereits sicherheitsbezogene Aspekte berücksichtigt. Zusätzliche Sicherheitsaspekte ergeben sich aus den Witterungseinflüssen.

Für die Einflüsse von Schnee und Nebel liegen keine Schätzungen vor. Gemäss [12] können die in Tabelle 8 angegebenen Reduktionen der Leistungsfähigkeiten bei folgenden wechselnden Umfeldbedingungen grob abgeschätzt werden:

Tab. 8
Schätzungen der Reduktion der Leistungsfähigkeit (Stufe E) bei wechselnden Umfeldbedingungen im Vergleich zum Referenzzustand

Autobahntyp *Type d'autoroute*	Reduktion der Leistungsfähigkeit *Réduction de la capacité*		
	Dunkelheit *Obscurité*	Nässe *Humidité*	Dunkelheit + Nässe *Obscurité + humidité*
Typ 2×3-N	–5%	–10%	–15%
Typ 2×2-N	–5% bis / *à* – 10%*	–10%	–15% bis / *à* –20%*

* Reduktion je nach Lage im Netz: ausserhalb dicht besiedelter Gebiete gelten die niedrigeren Werte

17. Unterhaltsbedingte Belastbarkeit

Die zur Erhaltung des Bauwerks notwendigen Baustellen haben teilweise Kapazitätseinschränkungen zur Folge.

Mögliche Verkehrsführungen in Baustellenbereichen mit reduzierten Fahrstreifenbreiten, Höchstgeschwindigkeiten oder teilweisem Spurabbau sind der Norm [11] zu entnehmen. Danach sind im Normalfall die Höchstgeschwindigkeiten mit v_{zul} = 80 km/h signalisiert, maximal sind v_{zul} = 100 km/h, minimal v_{zul} = 60 km/h zulässig. Die Ermittlung der Belastbarkeit wird nach Fahrtrichtung getrennt durchgeführt.

Ausser der Leistungsfähigkeit sowie der zulässigen Verkehrsstärke ohne Staubildung im Baustellenbereich können keine weiteren zugeordneten Verkehrsstärken angegeben werden. Die entsprechenden Werte für signalisierte Höchstgeschwindigkeiten von 60 km/h dürften unterhalb derjenigen aus Tabelle 9 liegen.

In Abhängigkeit vom Autobahntyp und vom Schwerverkehrsanteil wird für die jeweilige Betriebsform auf Autobahnbaustellen [12] die Leistungsfähigkeit und die Verkehrsqualität pro Fahrtrichtung gemäss Tabelle 9 abgeschätzt:

D. Charges compatibles

15. Charges compatibles avec l'environnement

Les valeurs seront déterminées sur la base des plans cantonaux de mesures de protection de l'air, des cadastres de bruits ou des plans de degrés de sensibilité.

16. Charges compatibles avec la sécurité

Le passage d'un état de circulation stable à un état partiellement instable (niveaux D et E) est fixé de manière que l'on puisse observer un créneau moyen d'environ 2 s dans le cas de débits de circulation correspondants. Dans le cadre des recommandations pour le dimensionnement (niveau de service C ou D), on tient déjà compte de l'aspect de sécurité. Des aspects de sécurité supplémentaires résultent des conditions météorologiques.

Pour les influences de la neige et du bouillard, on ne dispose d'aucune estimation. Conformément à l'étude [12], on peut évaluer de manière sommaire les réductions de capacités données au tableau 8 pour les changements des conditions environnantes suivantes:

Tab. 8
Estimation de la réduction de la capacité (niveau E) en cas de changement des conditions environnantes par rapport à l'état de référence

Autobahntyp *Type d'autoroute*	Reduktion der Leistungsfähigkeit *Réduction de la capacité*		
	Dunkelheit *Obscurité*	Nässe *Humidité*	Dunkelheit + Nässe *Obscurité + humidité*
Typ 2×3-N	–5%	–10%	–15%
Typ 2×2-N	–5% bis / *à* – 10%*	–10%	–15% bis / *à* –20%*

* Réduction selon la situation dans le réseau: les valeurs les plus basses sont applicables hors des espaces bâtis denses

17. Charges compatibles avec l'entretien

Les chantiers nécessaires à l'entretien de l'ouvrage donnent lieu partiellement à des réductions de capacité.

Des guidages possibles de la circulation dans les zones de chantier avec des largeurs de voies de circulation réduites, des vitesses limitées et des suppressions partielles de voies sont donnés dans la norme [11]. Selon cette norme, on signalisera, dans le cas normal les vitesses maximales autorisées, v_{aut} = 80 km/h, au maximum v_{aut} = 100 km/h, au minimum v_{aut} = 60 km/h. La détermination des charges compatibles se fait séparément par sens de circulation.

Hormis la capacité ainsi que le débit de circulation admissible sans formation de bouchons dans la zone de chantier, on ne peut pas indiquer d'autres débits de circulation correspondants. Les valeurs y relatives pour la vitesse maximale signalisée à 60 km/h devraient se situer au-dessous de celles mentionnée au tableau 9.

En fonction du type d'autoroute et du pourcentage de poids lourds, on estimera, pour chaque forme d'exploitation de chantiers d'autoroute, la capacité et le niveau de service par sens de circulation selon tableau 9:

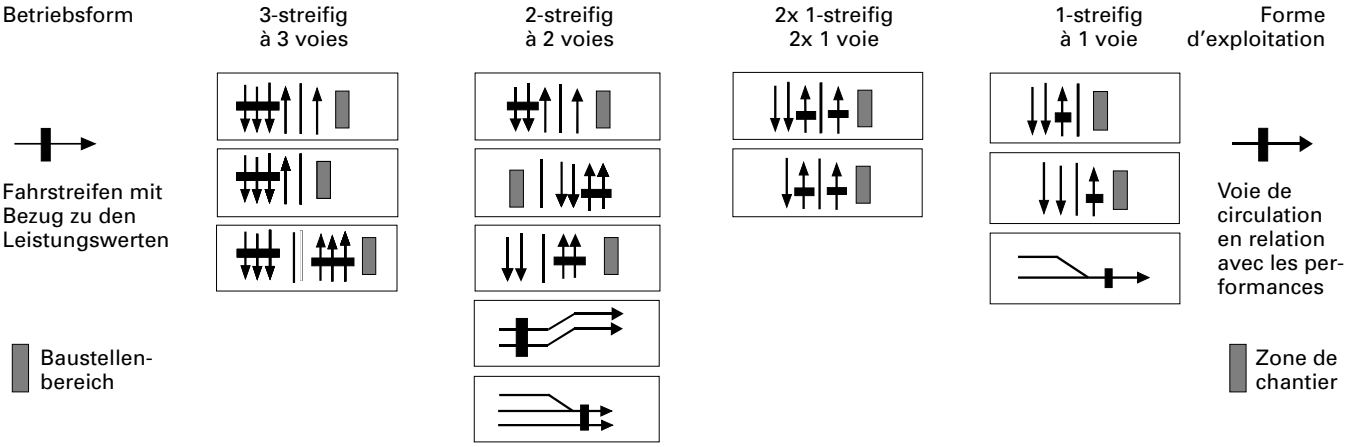


Abb. 2
Betriebsformen bei Baustellen

Fig. 2
Formes d'exploitation sur les chantiers

Tab. 9
Vorläufige Richtwerte für zulässige Verkehrsstärken und Leistungsfähigkeiten (Mfz/h, Richtung) bei unterschiedlichen Betriebsformen im Baustellenbereich [13], abhängig vom Autobahntyp und Schwerverkehrsanteil

Tab. 9
Valeurs indicatives provisoires pour débits de circulation et capacités admissibles (vhc/h, direction) pour différentes formes d'exploitation dans la zone de chantier [13] en fonction du type d'autoroute et du pourcentage de trafic lourd

Autobahntyp und Schwerverkehrsanteil *Type d'autoroute et pourcentage de trafic lourd*	Betriebsform im Baustellenbereich pro Fahrtrichtung *Forme d'exploitation dans la zone de chantier par sens de circulation*	Verkehrsstärke ohne Stau[2] bei v = 80 km/h pro Fahrtrichtung *Débit de circulation sans bouchon[2] pour v = 80 km/h par sens de circulation*	Leistungsfähigkeit[3] bei v = 80 km/h pro Fahrtrichtung *Capacité[3] pour v = 80 km/h par sens de circulation*
Typ 2×3-N 0%	3-streifig / *3 voies* 2-streifig / *2 voies*	4300 3100	4800–5000 keine Angaben / *pas d'indic.*
Typ 2×3-N 10%	3-streifig / *3 voies* 2-streifig / *2 voies*	4300 2900	4800–5000 keine Angaben / *pas d'indic.*
Typ 2×2-N 0%	2-streifig / *2 voies* 2×1-streifig / *2×1 voies*[1] 1-streifig / *1 voie*	3100 2700 1350	keine Angaben / *pas d'indic.* 3000 1500
Typ 2×2-N 10%	2-streifig / *2 voies* 2×1-streifig / *2×1 voies*[1] 1-streifig / *1 voie*	2900 2400 1200	keine Angaben / *pas d'indic.* 3000 1500
Typ 2×2-R 0%	2-streifig / *2 voies* 2×1-streifig / *2×1 voies*[1] 1-streifig / *1 voie*	3100 2700 1350	keine Angaben / *pas d'indic.* 3000 1500
Typ 2×2-R 10%	2-streifig / *2 voies* 2×1-streifig / *2×1 voies*[1] 1-streifig / *1 voie*	2900 2400 1200	keine Angaben / *pas d'indic.* 3000 1500
Typ 2×2-SR	2-streifig / *2 voies* 2×1-streifig / *2×1 voies*[1] 1-streifig / *1 voie*	2900 2400 1200	keine Angaben / *pas d'indic.* 3000 1500

[1] ein Fahrstreifen in der Richtungsfahrbahn/ ein Fahrstreifen in der Gegenfahrbahn
[2] entspricht ungefähr Verkehrsqualitätsstufe D
[3] entspricht ungefähr Verkehrsqualitätsstufe E

[1] une voie de circulation dans la chaussée unidirectionnelle/ une voie de circulation dans la chaussée à sens inverse
[2] correspond environ au niveau de service D
[3] correspond environ au niveau de service E

Anhang: Anwendungsbeispiele

18. Neubau eines Autobahnabschnittes (nachfrageorientiertes Verfahren)

Im Zuge einer Stadtumfahrung soll ein Streckenabschnitt einer Autobahn dimensioniert werden. Mit ihr wird versucht, möglichst einen grossen Teil des Durchgangsverkehrs auf der Autobahn zu kanalisieren. Um sie besser in die Umgebung einzupassen, sollen auf dem Streckenabschnitt eine Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h signalisiert sowie grössere Längsneigungen zugelassen werden.

Welchen Ausbau muss die Strasse aufweisen, um die prognostizierten 28 000 Mfz/Tag je Fahrtrichtung (DTV) mit einem Schwerverkehrsanteil von 5% bewältigen zu können?

Schritt 1: Die massgebende Verkehrsstärke berechnet sich nach der Norm [4]. Angenommen wird der Ganglinien-Typ 2: Fernverkehr mit Pendler. Die Richtungsanteile sind ausgeglichen. Gemäss zugehöriger Dauerkurve beträgt die massgebende Verkehrsstärke (Mittelwert Typ 2) zwischen 10,6% (30. Stunde) und 10% (100. Stunde) des DTV. Es muss also mit rund 3000 bis 2800 Mfz/h für den massgebenden Verkehr gerechnet werden.

Schritt 2: Um den prognostizierten Verkehr mit ausreichend hoher Sicherheit bewältigen zu können, wird eine Dimensionierung auf die Verkehrsqualitätsstufe D vorgenommen.

Schritt 3: Die Strecke wird als Typ 2×2-SR vordimensioniert. Sie weist in West-Ost-Richtung eine lange Steigungsstrecke auf. Der tatsächliche Zustand lässt sich mit der «Vordimensionierung» wie folgt beschreiben:

Massgebende Verkehrsstärke:
3000 bis 2800 Mfz/h mit Schwerverkehrsanteil 5%

Kollektiv der Fahrzeuglenker:
Fernverkehr mit Pendler (aus Schritt 1)

Fahrstreifen:
zwei je Fahrtrichtung, normgemässe Breite [8]–[10]

Seitliche Hindernisfreiheit:
Querschnitt mit normalen Standstreifen

Signalisation:
Höchstgeschwindigkeit 80 km/h, kein Überholverbot

Längsneigung:
West-Ost-Richtung: Steigung von 4%
Ost-West-Richtung: Gefälle von 4% ist als ebene Strecke zu betrachten

Annexe: Exemples d'application

18. Construction d'un nouveau tronçon d'autoroute (procédure d'après la demande)

Dans le cadre d'une déviation de localité, un tronçon d'autoroute doit être dimensionné. On essaye ainsi de canaliser si possible sur l'autoroute une grande partie du trafic de transit. Pour une meilleure intégration, on signalisera une vitesse limitée à 80 km/h et on tolérera des déclivités plus élevées.

Quelles doivent être les caractéristiques géométriques de cette route permettant d'écouler le trafic évalué à 28 000 vhc/jour par sens de circulation (TJM) avec un pourcentage de trafic lourd de 5%?

Etape 1: Le débit de circulation déterminant se calcule d'après la norme [4]. On admet la courbe de variation type 2: trafic à longue distance avec pendulaires. Les pourcentages directionnels sont égaux. Selon la courbe des débits classés correspondante, le débit de circulation déterminant (valeur moyenne type 2) est situé entre 10,6% (30ème heure) et 10% (100ème heure) du TJM. Il faut alors compter pour le trafic déterminant avec 3000 à 2800 vhc/h en chiffres ronds.

Etape 2: Pour pouvoir écouler le trafic prévu avec une sécurité suffisamment élevée, on référera au niveau de service D pour le dimensionnement.

Etape 3: Le tronçon est prédimensionné en tant que type 2×2-SR. Il comporte une rampe orientée d'Ouest en Est. Au moyen du «prédimensionnement», l'état réel peut être décrit comme suit:

Débit de circulation déterminant:
3000 à 2800 vhc/h avec 5% de trafic lourd

Collectif des conducteurs:
Trafic à longue distance avec pendulaires (étape 1)

Voies de circulation:
deux par sens de circulation, largeur conforme aux normes [8]–[10].

Absence d'obstacles latéraux:
Profil en travers avec voies d'arrêt d'urgence normales

Signalisation:
Vitesse maximale 80 km/h, aucune interdiction de dépasser

Déclivité:
Sens Ouest-Est: rampe de 4%
Sens Est-Ouest: pente de 4% à considérer comme tronçon sans déclivité (plat)

Schritt 4: Abweichung vom Referenzzustand; Steigung von 4% in West-Ost-Richtung

Etape 4: Ecart par rapport à l'état de référence; rampe de 4% dans le sens Ouest-Est

Schritt 5: Die der Verkehrsqualitätsstufe D zugeordneten Verkehrsstärken können den massgebenden Verkehrsstärken in Tabellen 6 und 7 gegenübergestellt werden.

Etape 5: Les débits de circulation correspondant au niveau de service D peuvent être comparés aux débits de circulation déterminants des tableaux 6 et 7.

Massgebende Verkehrsstärke *Débit de circulation déterminant*	Zugeordnete Verkehrsstärken Stufe D *Débit de circulation correspondant au degré D*	
	West-Ost-Richtung *Sens Ouest-Est*	Ost-West-Richtung *Sens Est-Ouest*
2800 bis / *à* 3000 Mfz/h / *vhc/h*	2800 Mfz/h / *vhc/h*	2900 Mfz/h / *vhc/h*

Mit einem zweistreifigen Autobahnquerschnitt kann die gewünschte Verkehrsqualitätsstufe für den massgebenden Verkehr nur teilweise erreicht werden. Das bedeutet, dass in West-Ost-Richtung in ca. 100 Stunden/Jahr, in Ost-West-Richtung in ca. 50 Stunden/Jahr mit teilweise instabilem Verkehrsfluss während der Spitzenstunden (Verkehrsqualitätsstufe E) gerechnet werden muss.

Le niveau de service recherché pour le trafic déterminant ne peut être atteint que partiellement avec un profil d'autoroute à deux voies. Ceci signifie qu'on doit compter dans le sens Ouest-Est durant env. 100 h/année et dans le sens Est-Ouest durant env. 50 h/année avec une circulation partiellement instable durant les heures de pointe (niveau de service E).

Schritt 6: Die Belastbarkeiten werden wie folgt angegeben:
- Aus Luft- und Lärmschutzgründen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h sowie möglichst stetiger Verkehrsfluss ohne Staus und stockenden Kolonnenverkehr
- Sicherheitsbedingte Belastbarkeit mit der Dimensionierung auf Verkehrsqualitätsstufe D berücksichtigt
- Die Sperrung eines Fahrstreifens für beide Fahrtrichtungen muss für den Unterhalt möglich sein (2×1-streifig): ca. 2400 Mfz/h ohne Stau, max. ca. 3000 Mfz/h mit Stau

Etape 6: Les charges compatibles sont données comme suit:
- Vitesse maximale de 80 km/h pour des raisons de protection de l'air et de protection contre le bruit ainsi que circulation fluide en permanence sans bouchon et sans formation de file d'attente
- Charges compatibles avec la sécurité par un dimensionnement se référant au niveau de service D.
- La suppression d'une voie de circulation pour les deux sens de circulation doit être possible pour l'entretien (2×1 voie): environ 2400 vhc/h sans bouchon, max. env. 3000 vhc/h avec bouchon

Schritt 7: Der möglichst stetige Verkehrsfluss kann mit den gewählten Autobahnquerschnitten nicht immer erreicht werden, die Leistungsfähigkeit wird aber beim massgebenden Verkehr nicht überschritten. Bei der Sperrung eines Fahrstreifens für eine Richtung für den Unterhalt muss allerdings mit instabilem Verkehr (Stau) gerechnet werden.

Etape 7: Avec le profil type de l'autoroute choisi, on ne peut pas toujours garantir une circulation fluide constante; cependant, la capacité correspondant au trafic déterminant n'est pas dépassée. En cas de suppression d'une voie de circulation dans un sens de circulation pour l'entretien, on doit s'attendre à une circulation instable (bouchon).

Schritt 8: Da unter normalen Betriebsbedingungen der zweistreifige Querschnitt knapp genügt, wird auf einen Iterationsschritt mit dreistreifigem Querschnitt verzichtet.

Etape 8: Compte tenu que dans des conditions normales d'exploitation un profil à deux voies suffit tout juste, on renonce à l'étape itérative pour un profil à trois voies.

19. Beurteilung eines bestehenden Autobahnabschnittes (angebotsorientiertes Verfahren)

Gegenstand der Untersuchung ist ein längerer ebener Autobahnabschnitt, der als Transitstrecke im Tunnel liegt. Im Rahmen von Bauarbeiten wird die Kapazität einer benachbarten Strasse zeitweise reduziert, so dass mit Verkehrsverlagerungen von ca. 200–500 Mfz/h in den Spitzenstunden auf die betrachtete Strecke gerechnet werden muss.

19. Evaluation d'un tronçon d'autoroute existant (procédure d'après l'offre)

L'étude a pour objet un tronçon d'autoroute plus ou moins long, sans déclivité, qui est un tronçon de transit en tunnel. Lors de travaux de construction, on réduit momentanément la capacité d'une route avoisinante, ce qui reportera env. 200–500 vhc/h aux heures de pointe sur le tronçon considéré.

Für die bestehende Situation sowie für den Zustand mit der benachbarten Baustelle soll die Verkehrsqualität ermittelt sowie allfällige Massnahmen für einen möglichst reibungslosen Betrieb auch in den Spitzenstunden vorgeschlagen werden.

Nach Ziffer 6 steht in dieser Aufgabenstellung das angebotsorientierte Verfahren im Vordergrund. Nach Tabelle 1 sind die folgenden Arbeitsschritte durchzuführen:

Schritt 1: Der mittlere Tunnelabschnitt kann als genügend lang für eine freie Strecke betrachtet werden.

Schritt 2: Der tatsächliche Zustand präsentiert sich wie folgt:

Fahrstreifen
zwei je Fahrtrichtung, Breite von jeweils 3,7 m

Seitliche Hindernisfreiheit
Tunnelquerschnitt ohne Standstreifen

Signalisation
Höchstgeschwindigkeit 80 km/h, kein Überholverbot

Längsneigung
Steigung von 2% = eben

Verkehrsstärken

1. Stunde	3100 Mfz/h	LW-Anteil 3%	AspW*
10. Stunde	3000 Mfz/h	LW-Anteil 8%	Samstag
30. Stunde	2800 Mfz/h	LW-Anteil 6%	AspW
50. Stunde	2700 Mfz/h	LW-Anteil 9%	AspW
100. Stunde	2600 Mfz/h	LW-Anteil 10%	AspW

* AspW = Abenspitzenstunde Werktags

Schritt 3:
- Autobahntyp 2×2-SR, bei dem die fehlende seitliche Hindernisfreiheit bereits explizit berücksichtigt ist
- Leicht erhöhte Schwerverkehrsanteile, die zum Teil auch Verkehr von langsamen Fahrzeugen wie Wohnmotorwagen und PW mit Wohnanhängern einschliessen
- Grosse Anteile an ortskundigem Transit- und Freizeitverkehr
- Keine weiteren wesentlichen Abweichungen vom Referenzzustand

Il s'agit de déterminer le niveau de service pour l'état existant ainsi que pour l'état avec le chantier avoisinant et de proposer des mesures éventuelles pour une exploitation avec le moins d'entraves possibles même aux heures de pointe.

Selon chiffre 6, on choisira en premier lieu la procédure d'après l'offre pour résoudre ce problème. Selon le tableau 1, il convient de procéder par étapes comme suit:

Etape 1: On peut admettre que le tronçon médian en tunnel est suffisamment long pour être considéré comme section courante.

Etape 2: L'état réel se présente comme suit:

Voies de circulation
deux par sens de circulation, largeur de 3,7 m pour chacune des voies

Absence d'obstacles latéraux
Profil type du tunnel sans voie d'arrêt d'urgence

Signalisation
Vitesse maximale 80 km/h, aucune interdiction de dépasser

Déclivité
Pente de 2% = plat

Débits de circulation

1ère heure	3100 vhc/h	Pourcentage PL 3%	hpjo*
10ème heure	3000 vhc/h	Pourcentage PL 8%	Samedi
30ème heure	2800 vhc/h	Pourcentage PL 6%	hpjo
50ème heure	2700 vhc/h	Pourcentage PL 9%	hpjo
100ème heure	2600 vhc/h	Pourcentage PL 10%	hpjo

* hpjo = heure de pointe jour ouvrable

Etape 3:
- Type d'autoroute 2×2-SR, où l'on a explicitement déjà tenu compte de l'absence d'une zone libre d'obstacles latéraux
- Pourcentage de trafic lourd légèrement plus élevé résultant partiellement de véhicules lents tels que mobilhome et voitures avec caravane
- Fort pourcentage de trafic indigène de transit et de loisir
- Pas d'autres différences essentielles par rapport à l'état de référence

Schritt 4: Die massgebende Verkehrsstärke bestimmt sich nach Norm [4] als 30. bis 100. Stunde der Dauerkurve. Die übrigen in Schritt 2 aufgeführten Werte dienen zur Beurteilung der Verkehrsqualität in extremen Verkehrsspitzen.
Die den Verkehrsqualitätsstufen zugeordneten Verkehrsstärken für den Autobahntyp 2×2-SR aus Tabelle 6 lauten:

Etape 4: On définit le débit de circulation déterminant selon la norme [4] en tant que trafic de la 30ème à la 100ème heure de la courbe des débits classés. Les autres valeurs citées à l'étape 2 servent à l'évaluation du niveau de service en cas de pointes de circulation extrêmes.
Les débits de circulation correspondant au niveau de service pour le type d'autoroute 2×2-SR selon le tableau 6 sont les suivants:

Verkehrsqualitätsstufe	A	B	C	D	E	*Niveau de service*
Zugeordnete Verkehrsstärke (Mfz/h)	800	1500	2100	2900	3200	*Débit de circulation correspondant (vhc/h)*

Schritt 5: In der Gegenüberstellung der für die Beurteilung massgebenden Verkehrsstärken mit den zugeordneten Verkehrsstärken lässt sich die jeweilige Verkehrsqualität bestimmen. Betrachtet wird sowohl die bestehende Situation als auch die Situation mit Mehrverkehr, der durch eine Baustelle auf einer benachbarten Autobahn bedingt ist.

Etape 5: En comparant les débits de circulation déterminants pour l'évaluation avec les débits de circulation correspondants, on peut déterminer chaque niveau de service. On analysera tant la situation existante que celle avec trafic supplémentaire qui résulte d'un chantier sur une autoroute avoisinante.

	Bestehende Situation / *situation existante*		Situation mit Mehrverkehr / *situation avec trafic supplémentaire*	
Betrachtete Verkehrsstärke *Débit de circulation considéré*	Verkehrsstärke (Mfz/h) *Débit de circulation (vhc/h)*	Verkehrsqualitätsstufe *Niveau de service*	Verkehrsstärke (Mfz/h) *Débit de circulation (vhc/h)*	Verkehrsqualitätsstufe *Niveau de service*
1. Stunde / *1ère heure*	3100	E	3300–3600	F
10. Stunde / *10ème heure*	3000	E	3200–3500	F
30. Stunde / *30ème heure*	2800	D	3000–3300	Grenze / *limite* E/F
50. Stunde / *50ème heure*	2700	D	2900–3200	E
100. Stunde / *100ème heure*	2600	D	2800–3100	E

Schritte 6/7: Belastbarkeiten werden nicht untersucht, weil die Verkehrsverlagerungen nur vorübergehend auftreten.

Etape 6/7: On n'examine pas les charges compatibles car les reports de trafic ne sont que passagers.

Schritt 8: In der bestehenden Situation kann bei massgebenden Verkehrsstärken (30. bis 100. Stunde) stabiler Verkehrsfluss der Verkehrsqualitätsstufe D gewährleistet werden. Bei Verkehrsspitzen (1. bis 10. Stunde) wird die Grenze zur Verkehrsqualitätsstufe E überschritten.
Mit dem Mehrverkehr wird bei massgebenden Verkehrsstärken je nach Verkehrsverlagerung die Verkehrsqualitätsstufe E oder F erreicht. Dies bedeutet, dass bereits bei geringem Zusatzverkehr mit instabilem Verkehrsfluss in der werktäglichen Abendspitzenstunde zu rechnen ist. Im Spitzenverkehr kommt es zu längeren Staus, die erst nach der Spitzenstunde mit Abklingen der Verkehrsstärken abgebaut werden können. Mit verkehrslenkenden Massnahmen muss versucht werden, den Zusatzverkehr auf rund 100–300 Mfz in der Spitzenstunde zu beschränken.

Etape 8: Dans la situation existante, on peut pour des débits de circulation déterminants (30ème à 100ème heure) garantir une circulation stable au niveau de service D. Pour les pointes de trafic (1ère à 10ème heure) la limite du niveau de service E est dépassée.

Selon le report de trafic, on atteint les niveaux de service E ou F avec le trafic supplémentaire lors des débits de circulation déterminants. Cela signifie que même avec un faible trafic supplémentaire, on peut s'attendre à une circulation instable durant les heures de pointe du soir des jours ouvrables. Lors du trafic de pointe se forment de longues files d'attente qui ne peuvent être réduites qu'après les heures de pointe avec la diminution des débits de circulation. On tentera par des mesures de gestion du trafic de limiter durant l'heure de pointe le trafic supplémentaire à 100 à 300 vhc en chiffres ronds.

F. Literaturverzeichnis

[1] SN 640 002 Verkehrserhebung, Verkehrszählungen
[2] SN 640 003 Verkehrserhebung, Verkehrsbefragungen
[3] SN 640 005 Ganglinientypen und durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV); inkl. Beilage SN 640 005 Ganglinientypen des schweren Verkehrs
[4] SN 640 016 Massgebender Verkehr
[5] SN 640 017 Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Grundlagenorm
[6] SN 640 041 Projektierung, Grundlagen; Strassentyp, Hochleistungsstrassen (HLS)
[7] SN 640 110 Linienführung; Elemente der vertikalen Linienführung
[8] SN 640 200 Geometrisches Normalprofil; Allgemeine Grundsätze, Begriffe und Elemente
[9] SN 640 201 Geometrisches Normalprofil, Grundabmessungen und Lichtraumprofil der Verkehrsteilnehmer
[10] SN 640 202 Geometrisches Normalprofil, Erarbeitung
[11] SN 640 885 Signalisation von Baustellen auf Autobahnen und Autostrassen
[12] Auswirkung von zeitlich veränderten Leistungsfähigkeiten; Forschungsauftrag des Bundesministeriums für Verkehr; W. Brilon/M. Ponzlet, 1995
[13] Nationalstrassen N2, Basel–Chiasso, Kapazitätsuntersuchung, Schriftenreihe des IVT ETHZ, Nr. 104, Juni 1994
[14] Verkehrliche und ökologische Auswirkung der Anordnung von Überholverboten für LKW auf Autobahnen; Forschungsauftrag des Bundesministers für Verkehr; W. Brilon/O. Drews, 1996
[15] Verfahren für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufes auf Strassen «Deutsches HCM», Entwurf eines Handbuches, Teil A; Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr Universität Bochum, 1993

F. Bibliographie

[1] SN 640 002 Recensements dans les transports; comptages
[2] SN 640 003 Recensements dans les transports; enquêtes
[3] SN 640 005 courbes caractéristiques de variation et trafic journalier moyen (TJM); y compris SN 640 005 courbes caractéristiques de variation pour le trafic lourd
[4] SN 640 016 Trafic déterminant
[5] SN 640 017 Capacités, niveaux de service, charges compatibles; norme de base
[6] SN 640 041 Etablissement des projets; type de route: routes à grand débit (RGD)
[7] SN 640 110 Tracé; éléments géométriques du trafic en plan
[8] SN 640 200 Profil géométrique type; principes généraux, définitions et éléments
[9] SN 640 201 Profil géométrique type; dimensions de base
[10] SN 640 202 Profil géométrique type; élaboration
[11] SN 640 885 Signalisation de chantier sur les autoroutes et semi-autoroutes
[12] Auswirkung von zeitlich veränderten Leistungsfähigkeiten; Forschungsauftrag des Bundesministeriums für Verkehr; W. Brilon/M. Ponzlet, 1995
[13] Nationalstrassen N2, Basel–Chiasso, Kapazitätsuntersuchung, Schriftenreihe des IVT ETHZ, Nr. 104, Juni 1994
[14] Verkehrliche und ökologische Auswirkung der Anordnung von Überholverboten für LKW auf Autobahnen; Forschungsauftrag des Bundesministers für Verkehr; W. Brilon/O. Drews, 1996
[15] Verfahren für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufes auf Strassen «Deutsches HCM», Entwurf eines Handbuches, Teil A; Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr Universität Bochum, 1993

Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute
Union des professionnels suisses de la route
Unione dei professionisti svizzeri della strada
Association of Swiss Road and Traffic Engineers

Schweizer Norm
Norme Suisse
Norma Svizzera
Swiss Standard

640 019

EINGETRAGENE NORM DER SCHWEIZERISCHEN NORMEN-VEREINIGUNG SNV NORME ENREGISTREE DE L'ASSOCIATION SUISSE DE NORMALISATION

Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit

Einfahrten in Hochleistungsstrassen

A. Allgemeines

1. Geltungsbereich

Diese Norm gilt für einstreifige Einfahrten in zweistreifige Richtungsfahrbahnen von Hochleistungsstrassen, sofern diese normgemäss [3] ausgebildet sind. Für von diesem Typ abweichende Einfahrten gilt diese Norm nur bedingt.

Im Falle von Einfahrten in dreistreifige Richtungsfahrbahnen gibt die Norm Hinweise.

2. Gegenstand

Die Norm beschreibt das Verfahren für die verkehrstechnische Dimensionierung und die Beurteilung des Verkehrsablaufs auf Einfahrten in Hochleistungsstrassen.

Sie gibt Hinweise zur Verkehrsqualität von Einfahrten in dreistreifige Richtungsfahrbahnen sowie zu Verflechtungsstrecken.

3. Zweck

Die Norm dient der Vereinheitlichung des Verfahrens, um auf Einfahrten in Hochleistungsstrassen einerseits von einem gegebenen Verkehrsangebot auf die Leistungsfähigkeit und die den Verkehrsqualitätsstufen zugeordneten Verkehrsstärken zu schliessen (angebotsorientiertes Verfahren) oder ausgehend von der Verkehrsnachfrage die zugehörige Verkehrsanlage zu dimensionieren (nachfrageorientiertes Verfahren). Sie zeigt auch den Weg, wie eine gegebene Verkehrsnachfrage und ein gegebenes Verkehrsangebot einander gegenübergestellt werden (Leistungsanalyse).

Die Norm hilft die Leistungsfähigkeit festzulegen und ordnet jeder Verkehrsqualitätsstufe eine entsprechende Verkehrsstärke zu.

Capacité, niveau de service, charges compatibles

Entrées de route à grand débit

A. Généralités

1. Domaine d'application

Cette norme s'applique aux entrées à une voie de routes à grand débit avec chaussées à deux voies séparées pour autant que ces dernières soient aménagées conformément à la norme [3]. On appliquera cette norme avec réserve aux entrées qui s'écartent de ce type.

La norme donne des indications pour des entrées de chaussées séparées à trois voies.

2. Objet

Cette norme décrit la démarche pour le dimensionnement selon la technique de circulation et l'évaluation de l'écoulement de la circulation aux entrées de routes à grand débit.

Elle fournit des indications sur le niveau de service des entrées de chaussées séparées à trois voies et également pour des tronçons d'entrecroisement.

3. But

Cette norme permet d'uniformiser la démarche pour des routes à grand débit, d'une part pour déterminer à partir d'une offre de transport la capacité et les débits de circulation correspondant au niveau de service (procédure d'après l'offre), d'autre part pour dimensionner l'infrastructure à partir de la demande de transport (procédure d'après la demande). Elle montre aussi la manière dont une demande de transport et une offre de transport données peuvent être comparées (analyse des performances).

La norme aide à déterminer la capacité et indique les débits de circulation correspondant à chaque niveau de service.

Herausgeber:
Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS)
Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich

Zuständig: VSS-Kommission 2, Planung und Projektierung

Bearbeitung: Arbeitsgruppe 22, Verkehrsplanung

Genehmigt: März 1999

Editeur:
Union des professionnels suisses de la route (VSS)
Seefeldstrasse 9, 8008 Zurich

Responsable: Commission VSS 2, Planification et projet

Elaboration: Groupe de travail 22, Planification de la circulation

Adoptée: mars 1999

© 1999 by VSS Zurich

SN nach Bde / par vol. | SN nach Nr. / par No | EN nach Nr. / par No | EN nach TC / par TC

B. Berechnungsverfahren

4. Einfahrten in zweistreifige Richtungsfahrbahnen

Bei der Bestimmung der Leistungsfähigkeit und der Verkehrsqualität sind, je nach verfügbaren Ausgangsdaten über die Verkehrsstärke auf der Richtungsfahrbahn der Hochleistungsstrasse vor der Einfahrt, zwei Vorgehensweisen zu unterscheiden. Entweder ist lediglich die gesamte Verkehrsstärke auf der Richtungsfahrbahn ($q_1 + q_2 = q_{12}$) oder es sind die Verkehrsstärken der einzelnen Fahrstreifen (q_1; q_2) bekannt. Die Beurteilung der Verkehrsqualitätsstufe bzw. der Leistungsfähigkeit der Einfahrt erfolgt anhand der Verkehrsstärke des rechten Fahrstreifens (q_m) nach der Einfahrt.

B. Procédure de calcul

4. Entrée dans des chaussées séparées à deux voies

Pour déterminer la capacité et le niveau de service, on distingue deux procédures selon les données de base disponibles relatives au débit de circulation sur la chaussée séparée à grand débit avant l'entrée. Soit on connaît le débit de circulation total sur la chaussée séparée ($q_1 + q_2 = q_{12}$), soit on connaît les débits de circulation des différentes voies (q_1; q_2). On appréciera resp. le niveau de service et la capacité de l'entrée sur la base du débit de circulation sur la voie de droite (q_m) après l'entrée.

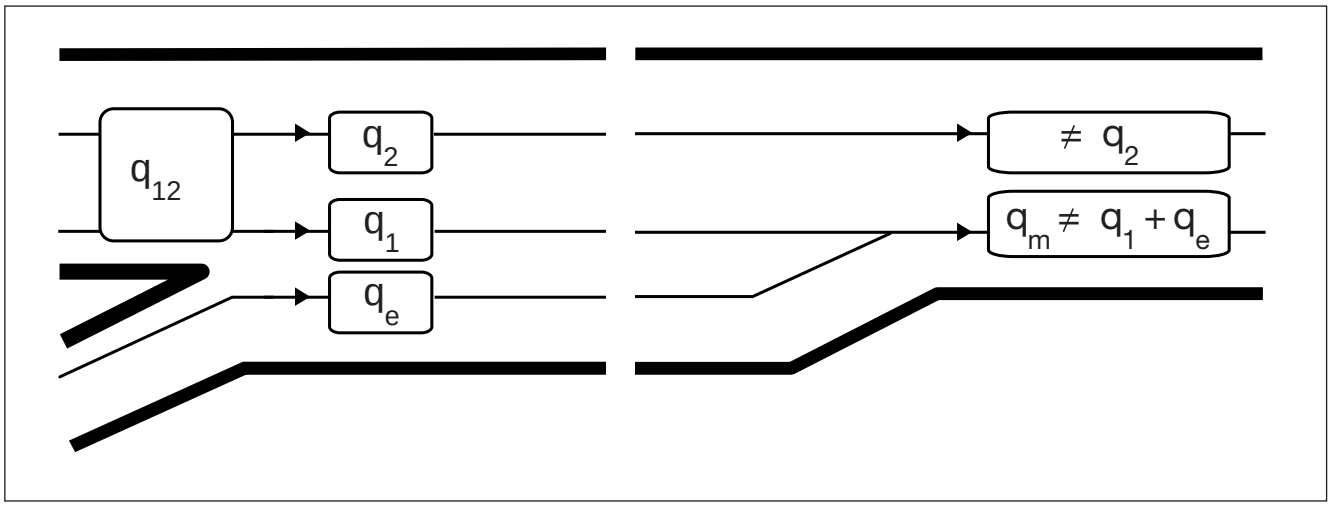


Abb. 1
Verkehrsströme im Bereich von Einfahrten in zweistreifige Richtungsfahrbahnen

Fig. 1
Courants de circulation dans la zone d'entrée de chaussées séparées à deux voies

Ausgehend von der vorhandenen Aufgabenstellung und Datenlage ist das Vorgehen zu wählen:

Partant de la définition de la tâche et des données disponibles, on choisira la procédure:

Tab. 1
Vorgehensweisen in der verkehrstechnischen Dimensionierung

Bestimmung der Leistungsfähigkeit/Verkehrsqualität	Verkehrsstärken der Richtungsfahrbahn vor der Einfahrt	Vorgehen: (Ziffer 5)
Nachfrageorientiert	als Summe bekannt (q_{12}) einzeln bekannt (q_1; q_2)	Schritte 1 und 3 Schritte 2 und 3
Angebotsorientiert	als Summe bekannt (q_{12}) einzeln bekannt (q_1; q_2)	Schritte 3 und 1 Schritte 3 und 2

Tab. 1
Démarche pour le dimensionnement selon la technique de circulation

Détermination de la capacité du niveau de service	Débit de circulation de la chaussée séparée avant l'entrée	Démarche: (chiffre 5)
Procédure d'après la demande	Connue pour l'ensemble des voies (q_{12}) Connue par voie (q_1; q_2)	Etapes 1 et 3 Etapes 2 et 3
Procédure selon l'offre	Connue pour l'ensemble des voies (q_{12}) Connue par voie (q_1; q_2)	Etapes 3 et 1 Etapes 3 et 2

Die Leistungsanalyse umfasst nach Norm [2] eine Gegenüberstellung von gegebenem Angebot und gegebener Nachfrage. Die Bestimmung der Leistungsfähigkeit bzw. der Verkehrsqualität erfolgt angebots- oder nachfrageorientiert.

5. Vorgehensschritte

Schritt 1: Berechnung von q_m ohne Kenntnis der einzelnen Fahrstreifenbelastungen

Der Fall, dass q_1 und q_2 nicht einzeln, sondern nur als Summe q_{12} bekannt sind, ist sehr oft anzutreffen. Die dann anzuwendende Gleichung erlaubt eine direkte Bestimmung von q_m aus q_{12} und q_e. Dies gilt im Falle der nachfrageorientierten Bestimmung der Leistungsfähigkeit/Verkehrsqualität wie auch bei der zulässigen Verkehrsstärke der Einfahrt (q_e) im Falle der angebotsorientierten Bestimmung der Leistungsfähigkeit/Verkehrsqualität. Dabei ist näherungsweise von zwei Personenwageneinheiten (PWE) pro LW auszugehen.

$q_m = 657 + 0{,}251 \cdot q_{12} + 0{,}393 \cdot q_e$

Geltungsbereich: [PWE]: $1100 < q_{12} < 3800$
$300 < q_e < 1500$

Die Ergebnisse lassen sich auch aus Abbildung 2 ermitteln:

L'analyse des performances selon norme [2] comprend une comparaison entre l'offre et la demande données. La détermination de la capacité et du niveau de service s'effectue d'après l'offre ou la demande.

5. Etapes de la démarche

Etape 1: Calcul de q_m sans connaître les débits des différentes voies de circulation

Le cas selon lequel on ne connaît ni q_1, ni q_2, mais seulement leur somme q_{12}, est fréquent. L'équation applicable dans ce cas permet de déterminer directement q_m à partir de q_{12} et q_e. Ceci est valable dans le cas de la détermination de la capacité/du niveau de service d'après la demande ainsi que pour les débits admissibles de circulation de l'entrée (q_e) dans le cas de la détermination de la capacité/du niveau de service d'après l'offre. On admettra approximativement deux unités voiture-particulière (UVP) par camion.

$q_m = 657 + 0{,}251 \cdot q_{12} + 0{,}393 \cdot q_e$

Domaine de validité: [UVP]: $1100 < q_{12} < 3800$
$300 < q_e < 1500$

On peut déterminer les résultats du calcul dans la figure 2:

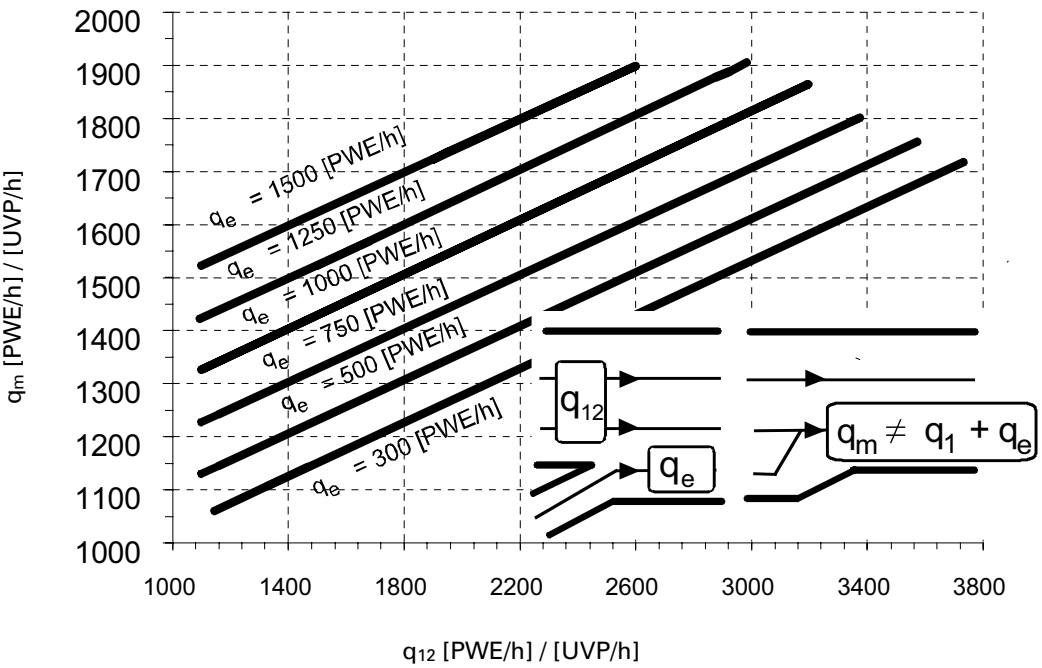


Abb. 2
Nomogramm zur Bestimmung von q_m in Abhängigkeit von q_{12} und q_e

Fig. 2
Nomogramme pour la détermination de q_m en fonction de q_{12} et q_e

Schritt 2: Berechnung von q_m in Kenntnis der Belastung des rechten Fahrstreifens vor der Einfahrt q_1

Da q_m auf dem gleichen Fahrstreifen wie q_1 liegt, erhöht die Kenntnis von q_1 die Genauigkeit des Resultats für q_m gegenüber der Bestimmung mit der Gleichung aus Schritt 1. Wenn zur Beurteilung der Verkehrssituation an einer Einfahrt eine Verkehrszählung durchgeführt wird,

Etape 2: Calcul de q_m à partir du débit de circulation avant l'entrée de la voie de circulation de droite q_1

Etant donné que q_m est sur la même voie de circulation que q_1, la connaissance de q_1 augmente la précision des résultats pour q_m par rapport au calcul avec l'équation de l'étape 1. Si pour apprécier la situation de la circulation à une entrée, on procède à un comptage, q_1 devrait

sollte q_1 erhoben werden. In diesem Fall kann folgende Gleichung zur Bestimmung von q_m verwendet werden (1 LW = 2 PWE):

$q_m = -877 + 1{,}99 \cdot (q_1 + q_e) - 0{,}00033 \cdot (q_1 + q_e)^2$

Geltungsbereich [PWE]: $950 \leq (q_1 + q_e) \leq 2350$

Die Ergebnisse lassen sich auch aus Abbildung 3 ermitteln:

être compté. Dans ce cas, on appliquera la formule suivante pour calculer q_m (1 camion = 2 UVP):

$q_m = -877 + 1{,}99 \cdot (q_1 + q_e) - 0{,}00033 \cdot (q_1 + q_e)^2$

Domaine de validité [UVP]: $950 \leq (q_1 + q_e) \leq 2350$

On peut déterminer les résultats du calcul dans la figure 3:

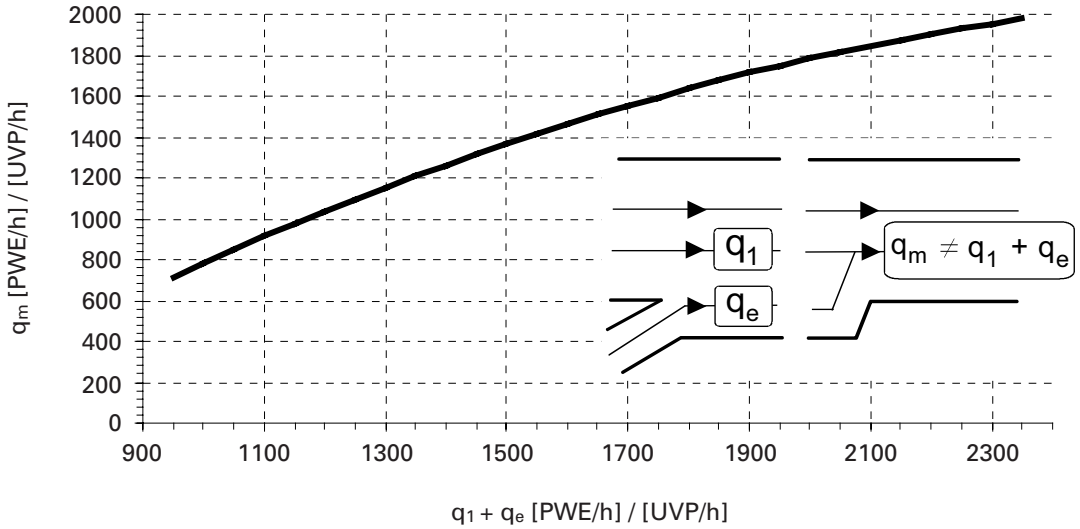


Abb. 3
Nomogramm zur Bestimmung von q_m in Abhängigkeit von $q_1 + q_e$

Fig. 3
Nomogramme pour déterminer q_m en fonction de $q_1 + q_e$

Schritt 3: Stufen der Verkehrsqualität

Die Verkehrsqualität bzw. Leistungsfähigkeit der Einfahrt wird anhand des Verkehrsstroms q_m auf dem rechten Fahrstreifen nach der Einfahrt beurteilt. Die den einzelnen Stufen der Verkehrsqualität gemäss Norm [2] zugeordneten Verkehrsstärken sind in Tabelle 2 dargestellt.

Etape 3: Niveau de service

On évalue le niveau de service et la capacité de l'entrée sur la base du courant de circulation q_m de la voie de circulation de droite après l'entrée. Les débits de circulation correspondant aux différents degrés de qualité selon la norme [2] sont représentés dans le tableau 2.

Tab. 2
Beurteilung der Verkehrsqualität mittels zugeordneter Verkehrsstärke q_m

Tab. 2
Evaluation du niveau de service au moyen du débit de circulation correspondant q_m

Verkehrsqualitätsstufe *Niveau de service*	Bereich von q_m [PWE/h][1)] *Domaine de q_m [UVP/h]*[1)]
A	0... 600
B	600... 950
C	950...1350
D	1350...1650
E	1650...1900
F	[2)]

[1)] Dimensionierung auf Stundenmittel, Auftreten kurzfristiger Spitzen berücksichtigt

[2)] Der Verkehrsqualitätsstufe F (unterbrochener Verkehrsfluss) kann keine Verkehrsstärke eindeutig zugeordnet werden. Ist $q_m > 1900$ PWE/h, liegt ein unsteter Verkehrszustand im Bereich E–F vor, die anfallende Verkehrsstärke ist grösser als die Leistungsfähigkeit. Da der Verkehrsfluss bereits in Stufe E instabil zu werden beginnt, ist die Qualitätsstufe D als Dimensionierungsgrundlage geeignet. Werden die höchstbelasteten 5 Minuten einer Stunde als Basis der Dimensionierung verwendet, können die Werte aus Tabelle 2 um 15% erhöht werden. Dies dient zur Beurteilung kurzfristiger Überlastungen.

[1)] Dimensionnement selon la moyenne horaire compte tenu de pointes de courte durée

[2)] Aucun débit de circulation ne peut être attribué clairement au niveau de service F (flux de circulation interrompu). Si $q_m > 1900$ UVP/h, on a un état de circulation instable au niveau E–F, le débit étant plus grand que la capacité. Etant donné que la circulation commence à devenir instable déjà au degré E le niveau de service D convient comme base de dimensionnement. Si l'on base le dimensionnement sur le trafic le plus élevé des 5 minutes, on augmentera les valeurs du tableau de 15%. Ceci permet d'évaluer des surcharges de trafic de courte durée.

6. Hinweise zu Einfahrten in dreistreifige Richtungsfahrbahnen

Die nachfolgenden Erwägungen entstammen einer Literaturauswertung [5], [6] und sind als Grobschätzungen zu betrachten, deren Ergebnisse entsprechend gewürdigt werden müssen.
Auch bei dreistreifigen Richtungsfahrbahnen erfolgt die Bemessung bzw. Beurteilung der Leistungsfähigkeit resp. Verkehrsqualität auf dem rechten Fahrstreifen nach der Einfahrt. Dazu ist jedoch die etwas andere Verteilung der Verkehrsstärken auf die einzelnen Fahrstreifen zu berücksichtigen.

6. Indications relatives aux chaussées séparées à trois voies

Les considérations suivantes proviennent d'une recherche bibliographique [5], [6] et doivent être considérées en tant qu'évaluation sommaire dont les résultats feront l'objet d'une interprétation adéquate.
Pour les chaussées séparées à trois voies, on dimensionnera et évaluera la capacité et le niveau de service également sur la voie de circulation de droite après l'entrée. On tiendra compte en outre d'une répartition quelque peu différente des débits de circulation sur les différentes voies.

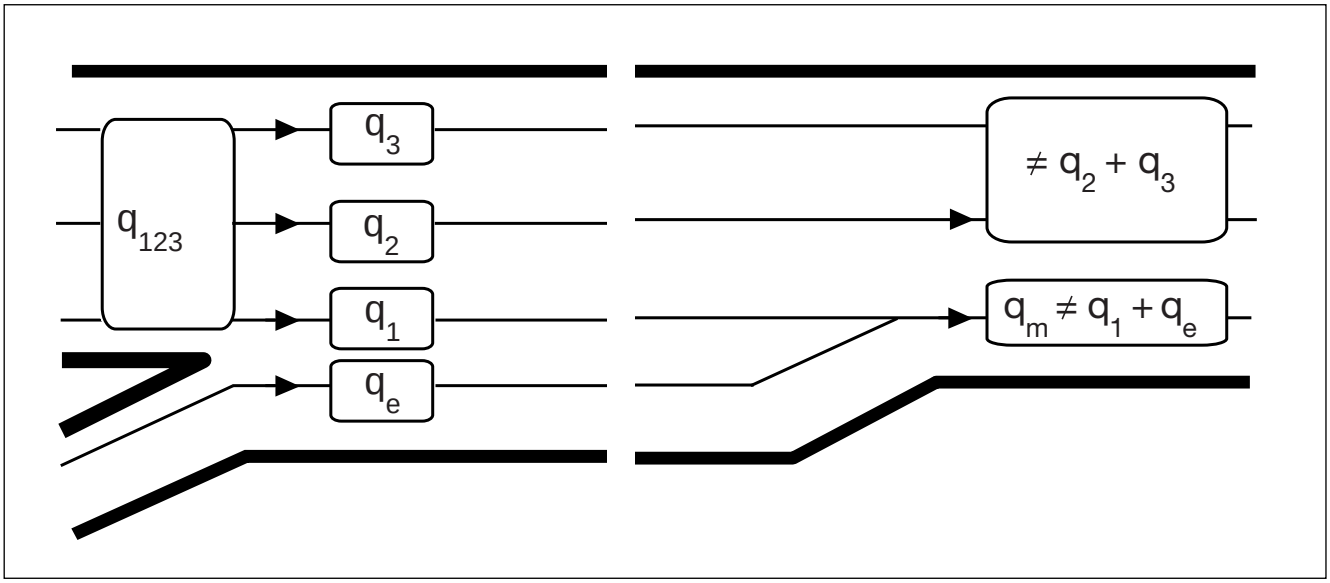


Abb. 4
Verkehrsströme im Bereich von Einfahrten in dreistreifige Richtungsfahrbahnen

Fig. 4
Courants de circulation dans la zone d'entrée de chaussée à trois voies

Schritt 1: Die Gesamtverkehrsstärke der Hauptfahrbahn ($q_1 + q_2 + q_3 = q_{123}$) ist dazu auf ⅔ zu reduzieren:

$q_{12} = ⅔ \cdot (q_1 + q_2 + q_3)$

Ist q_1 direkt bekannt, so kann dieser Schritt ausgelassen werden.

Etape 1: Le débit de circulation total de la chaussée principale ($q_1 + q_2 + q_3 = q_{123}$) sera réduit au ⅔:

$q_{12} = ⅔ \cdot (q_1 + q_2 + q_3)$

Si q_1 est connu, on peut renoncer à cette étape.

Schritt 2: Die Berechnung von q_m kann dann mit dem Nomogramm gemäss Abbildung 2 erfolgen oder mit der dazugehörenden Formel.

Ist q_1 direkt bekannt, kann q_m direkt mit dem Nomogramm gemäss Abbildung 3 ermittelt werden oder mit der dazugehörenden Formel. Dabei wird die Verkehrsstärke q_m leicht überschätzt. Die Schätzung insgesamt liegt somit auf der sicheren Seite.

Etape 2: Le calcul de q_m peut être calculé avec le nomogramme selon figure 2 ou avec la formule correspondante.

Si q_1 est connu, on peut calculer q_m avec le nomogramme selon figure 3 ou avec la formule correspondante. Dans ce cas, le débit q_m est légèrement surévalué. On obtiendra ainsi une estimation fiable dans l'ensemble.

Schritt 3: Zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit und der Verkehrsqualität gemäss Tabelle 2 wird dieses q_m zusätzlich um 5% reduziert.

Etape 3: Pour l'évaluation de la capacité et du niveau de service selon tableau 2, cette valeur q_m sera en outre réduite de 5%.

7. Hinweis zu Verflechtungsstrecken

Als Verflechtungsstrecken gelten mehrstreifige Richtungsfahrbahnen zwischen Vereinigungs- und nachfolgendem Verzweigungsbereich oder naheliegenden Ein- und Ausfahrten, die mittels zusätzlichem Fahrstreifen miteinander verbunden sind. Sie weisen meist unterschiedliche Strassen-, Betriebs- und Verkehrsbedingungen auf und sind im Schweizer Autobahnnetz Ausnahmefälle.

Zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit und der Verkehrsqualität auf Verflechtungsstrecken kann vorläufig kein abgesichertes und allgemein anwendbares Berechnungsverfahren verwendet werden.

Für genaue Bestimmungen der Leistungsfähigkeit und der Verkehrsqualität müssen im Anwendungsfall gesonderte Untersuchungen durchgeführt werden. Für ganz grobe Abschätzungen kann das Berechnungsverfahren für Einfahrten in Hochleistungsstrassen näherungsweise auf Verflechtungsstrecken angewendet werden. Dabei liegen die zugeordneten Verkehrsstärken aus Verflechtungsstrecken immer leicht unter denjenigen aus Einfahrten. Somit ist es möglich, eine sehr grobe Abschätzung der Verkehrsqualität und der Leistungsfähigkeit auf Verflechtungsstrecken mit dieser Norm unter Berücksichtigung einer entsprechenden kritischen Würdigung der Resultate durchzuführen.

7. Indications relatives aux tronçons d'entrecroisement

Sont considérées comme tronçons d'entrecroisement les chaussées séparées à trois voies entre la zone de convergence et la zone suivante de bifurcation ou à proximité d'entrées et de sorties qui sont reliées entre elles par une voie de circulation supplémentaire. Ils présentent le plus souvent des conditions routières, d'exploitation et de circulation différentes et constituent des exceptions sur le réseau des autoroutes suisses.

Pour déterminer la capacité et le niveau de service de tronçons d'entrecroisement, il n'existe actuellement aucun procédé de calcul sûr et généralement applicable.

Pour déterminer la capacité et le niveau de service dans un cas concret, on procédera à des études particulières. Pour des évaluations très sommaires, on peut appliquer approximativement aux tronçons d'entrecroisement le procédé de calcul pour les entrées de routes à grand débit. Dans ce cas, les débits de circulation correspondants sur les tronçons d'entrecroisement seront toujours légèrement inférieurs à ceux des entrées. Il est ainsi possible de procéder à une évaluation très sommaire du niveau de service et de la capacité sur des tronçons d'entrecroisement sur la base de cette norme en tenant compte d'une appréciation critique des résultats.

C. Anwendungsbeispiele

8. Nachfrageorientiertes Verfahren

a) Vorgaben

Betrachtet wird eine einstreifige Einfahrt in eine zweistreifige Richtungsfahrbahn einer Autobahn, die normgemäss ausgebaut ist. Die Verkehrsstärke auf der Autobahn vor der Einfahrt beträgt 2400 PW und 300 LW in der Spitzenstunde. Durch die vorgesehene Entwicklung eines Industriegebiets wird die Belastung der Einfahrt auf 800 PW und 100 LW in der Spitzenstunde ansteigen.

b) Fragestellung

Ist die vorhandene Einfahrt ausreichend oder sind Massnahmen zu treffen?

c) Lösung

q_{12} = 2400 PW + 2 · 300 LW = 3000 PWE
q_e = 800 PW + 2 · 100 LW = 1000 PWE

Berechnung von q_m (Schritt 1):

$q_m = 657 + 0{,}251 \cdot q_{12} + 0{,}393 \cdot q_e = 1803$ PWE

Beurteilung von q_m (Schritt 3):

Mit den gegebenen Verkehrsstärken wird in der Einfahrt die Verkehrsqualitätsstufe E erreicht. Innerhalb der betrachteten Stunde muss daher mit zähflüssigem und teilweise instabilem Verkehrsfluss gerechnet werden. Die Einfahrt ist also nicht mehr genügend leistungsfähig und hat insbesondere auch kaum Reserven mehr, wenn sich das Verkehrsvolumen auf der Autobahn selbst weiterentwickelt.

C. Exemples d'application

8. Procédure d'après la demande

a) Données

On considère une entrée à une voie d'une autoroute à chaussée séparée à deux voies aménagée conformément aux normes. Le débit de pointe sur l'autoroute avant l'entrée compte 2400 voitures individuelles et 300 camions. A la suite du développement prévu d'une zone industrielle, le débit de pointe de l'entrée augmentera de 800 voitures et de 100 camions.

b) Problème

L'entrée existante est-elle suffisante ou des mesures doivent-elles être prises?

c) Solution

q_{12} = 2400 voit + 2 · 300 cam = 3000 UVP
q_e = 800 voit + 2 · 100 cam = 1000 UVP

Calcul de q_m (étape 1):

$q_m = 657 + 0{,}251 \cdot q_{12} + 0{,}393 \cdot q_e = 1803$ UVP

Evaluation de q_m (étape 3):

Avec les débits de circulation donnés, l'entrée atteint le niveau de service E. On doit donc s'attendre à une circulation ralentie et partiellement instable. La capacité de l'entrée n'est par conséquent plus suffisante et il n'y a pratiquement plus de réserve pour le cas où le volume de circulation sur l'autoroute se développe.

Mit einer weiteren Zunahme der massgebenden Verkehrsstärke q_m gegen die Leistungsfähigkeit hin (1900 PWE/h) nimmt die Dauer der instabilen Verkehrszustände innerhalb der betrachteten Stunde zu.
Es ist zu beachten, dass sich bei überlasteten Einfahrten erfahrungsgemäss der Rückstau zuerst auf den Hauptfahrbahnen der Autobahn auszubilden beginnt, da die am Verkehr Teilnehmenden in unsteten Verkehrssituationen oft dem einfahrenden Verkehr den Vortritt lassen (Gefahr von Auffahrunfällen). Für die Erschliessung des Industriegebiets wären also andere Lösungen zu treffen.

9. Angebotsorientiertes Verfahren

Berechnung der maximal zulässigen Belastung einer Einfahrt:

Die Grenze der Verkehrsqualitätsstufe D für q_m liegt bei 1650 PWE/h. Bei q_{12} = 3000 PWE/h wird unter diesen Bedingungen:

$q_{emax} = (q_m - 657 - 0{,}251 \cdot q_{12}) / 0{,}393 = 610$ PWE/h

(Gleichung aus Schritt 1)

Um eine genügende Verkehrsqualität der Einfahrt während der betrachteten Stunde sicherzustellen, hat sich die Erschliessung des zukünftigen Industriegebiets so auszurichten, dass die Einfahrt mit max. 610 PWE belastet wird.

Si le débit déterminant q_m se développe pour atteindre la capacité (1900 UVP/h) la durée des états de circulation instable augmente durant l'heure considérée.

On tiendra compte, par expérience, que les entrées surchargées créent un bouchon tout d'abord sur la chaussée principale de l'autoroute car les usagers dans des situations instables laissent souvent la priorité au trafic qui entre (danger de collision en chaîne). Pour la desserte de la zone industrielle, il conviendrait de prendre d'autres dispositions.

9. Procédure d'après l'offre

Calcul du débit maximum admissible d'une entrée:

La limite du niveau de service D pour q_m est de 1650 UVP/h. Pour q_{12} = 3000 UVP/h, on aura dans ces conditions:

$q_{emax} = (q_m - 657 - 0{,}251 \cdot q_{12}) / 0{,}393 = 610$ UVP/h

(équation selon étape 1)

Pour garantir durant l'heure considérée un niveau de service suffisant de l'entrée, la desserte de la future zone industrielle doit être conçue de manière à ce que l'entrée ait un débit maximal de max. 610 UVP.

D. Literaturverzeichnis

[1] SN 640 016 Massgebender Verkehr
[2] SN 640 017 Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Grundlagennorm
[3] SN 640 261 Knoten; Kreuzungsfreie Knoten
[4] Leistungsfähigkeit von Einfahrten in Hochleistungsstrassen, Forschungsbericht Nr. 333, Emch + Berger Zürich AG, März 1995
[5] Highway Capacity Manual (HCM), Special Report 209, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., 1994
[6] Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufes auf Strassen «Deutsches HCM», Entwurf eines Handbuches, Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr Universität Bochum, 1993

D. Bibliographie

[1] SN 640 016 Trafic déterminant
[2] SN 640 017 Capacité, niveau de service, charges compatibles; norme de base
[3] SN 640 261 Carrefours; carrefours dénivelés
[4] Capacité des rampes d'entrée sur les routes à grand débit, rapport de recherche nº 333, Emch + Berger Zürich AG, März 1995
[5] Highway Capacity Manual (HCM), Special Report 209, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., 1994
[6] Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufes auf Strassen «Deutsches HCM», Entwurf eines Handbuches, Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr Universität Bochum, 1993

Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute
Union des professionnels suisses de la route
Unione dei professionisti svizzeri della strada
Association of Swiss Road and Traffic Engineers

Schweizer Norm
Norme Suisse
Norma Svizzera
Swiss Standard

640 020

EINGETRAGENE NORM DER SCHWEIZERISCHEN NORMEN-VEREINIGUNG SNV NORME ENREGISTREE DE L'ASSOCIATION SUISSE DE NORMALISATION

Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit

Hauptverkehrs- und Verbindungsstrassen

A. Allgemeines

1. Geltungsbereich

Diese Norm gilt für zweistreifige Hauptverkehrsstrassen und zweistreifige Regional-Verbindungsstrassen ausserhalb besiedelter Gebiete (zweistreifige HVS/RVS ausserorts) sowie für Hauptverkehrsstrassen innerorts (HVS innerorts), deren Ausbaustandard den üblichen Charakteristiken der beiden Strassentypen [10] und [11] entspricht.

2. Gegenstand

Diese Norm beschreibt das Verfahren für die verkehrstechnische Dimensionierung und für die Beurteilung des Verkehrsablaufs auf den Hauptverkehrs- und Regional-Verbindungsstrassen. Das Verfahren basiert auf dem Konzept der Grundlagennorm [5].

3. Zweck

Diese Norm dient der Vereinheitlichung des Verfahrens, um für zweistreifige HVS/RVS ausserorts entweder von einem gegebenen Verkehrsangebot auf die Leistungsfähigkeit, die Verkehrsqualität und die Belastbarkeit zu schliessen (angebotsorientiertes Verfahren) oder ausgehend von der Verkehrsnachfrage die zugehörige Verkehrsanlage zu dimensionieren (nachfrageorientiertes Verfahren). Sie zeigt auch den Weg, wie näherungsweise eine Beurteilung der Verkehrsqualität bei gegebener Verkehrsstärke und bei gegebenem Verkehrsangebot erfolgen kann (Leistungsanalyse).

Für die HVS innerorts gibt die Norm Hinweise, wie Fragen von Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität und Belastbarkeit zu behandeln sind.

Capacité, niveau de service, charges compatibles

Routes principales et routes de liaison

A. Généralités

1. Domaine d'application

Cette norme s'applique aux routes principales à deux voies et aux routes de liaison régionales à deux voies hors des espaces bâtis (RP/RLR à deux voies hors des espaces bâtis) ainsi qu'aux routes principales à l'intérieur des localités (RP à l'intérieur des localités) dont le niveau d'aménagement correspond aux caractéristiques usuelles des deux types de route [10] et [11].

2. Objet

Cette norme décrit la démarche pour le dimensionnement selon la technique de circulation et pour l'évaluation de l'écoulement de la circulation sur les routes principales et les routes de liaison régionales. La démarche se base sur le concept de la norme de base [5].

3. But

Cette norme permet d'uniformiser la démarche pour des RP/RLR à deux voies hors des espaces bâtis afin qu'à partir d'une offre de transport donnée on puisse conclure sur la capacité (procédure d'après l'offre) ou partant de la demande de transport (procédure d'après la demande) dimensionner les infrastructures de transport correspondantes. Elle montre également la démarche pour une évaluation approximative du niveau de service dans le cas d'un débit de circulation et d'une offre de transport donnés (analyse des performances).

Pour les RP à l'intérieur des localités, la norme donne des indications sur la manière de traiter la capacité, le niveau de service et les charges compatibles.

Herausgeber:
Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS)
Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich

Zuständig: VSS-Kommission 2, Planung und Projektierung

Bearbeitung: Arbeitsgruppe 22, Planung

Genehmigt: Juni 1999

Editeur:
Union des professionnels suisses de la route (VSS)
Seefeldstrasse 9, 8008 Zurich

Responsable: Commission VSS 2, Planification et projet

Elaboration: Groupe de travail 22, Planification

Adoptée: juin 1999

© 1999 by VSS Zurich

SN nach Bde / par vol. | SN nach Nr. / par No | EN nach Nr. / par No | EN nach TC / par TC

4. Begriffe

Kurvigkeit

Als Kurvigkeit wird die Summe aller Absolutbeträge der Winkeländerung (gesamte Richtungsänderung) der Trasse, bezogen auf die Streckenlänge, bezeichnet. Sie wird in gon/km ausgedrückt.

Richtungsanteil

Der Richtungsanteil ist der Prozentsatz der höheren Verkehrsstärke von zwei entgegengesetzten Fahrtrichtungen an der Verkehrsstärke beider Fahrtrichtungen.

Hauptverkehrsstrasse, Regionalverbindungsstrasse

Die Definition dieser Strassentypen entspricht den Normen [10] und [11].

Weitere Begriffsdefinitionen sind in der Norm [5] enthalten.

4. Définitions

Sinuosité

Par sinuosité on entend la somme de toutes les valeurs absolues des changements de direction du tracé rapportée à la longueur du tronçon. Elle est exprimée en gon/km.

Pourcentage du sens de circulation

Le pourcentage du sens de circulation est le quotient du débit de circulation le plus élevé des deux sens de circulation sur le débit de circulation des deux sens exprimé en %.

Route principale, route de liaison régionale

La définition de ces types de route figure dans les normes [10] et [11].

D'autres définitions sont mentionnées dans la norme [5].

B. Verkehrstechnische Dimensionierung

5. Wahl des Verfahrens

In der verkehrstechnischen Dimensionierung können grundsätzlich drei Verfahren [5] unterschieden werden:

B. Dimensionnement selon la technique de circulation

5. Choix de la démarche

Pour le dimensionnement selon la technique de circulation, on distingue en principe trois démarches [5]:

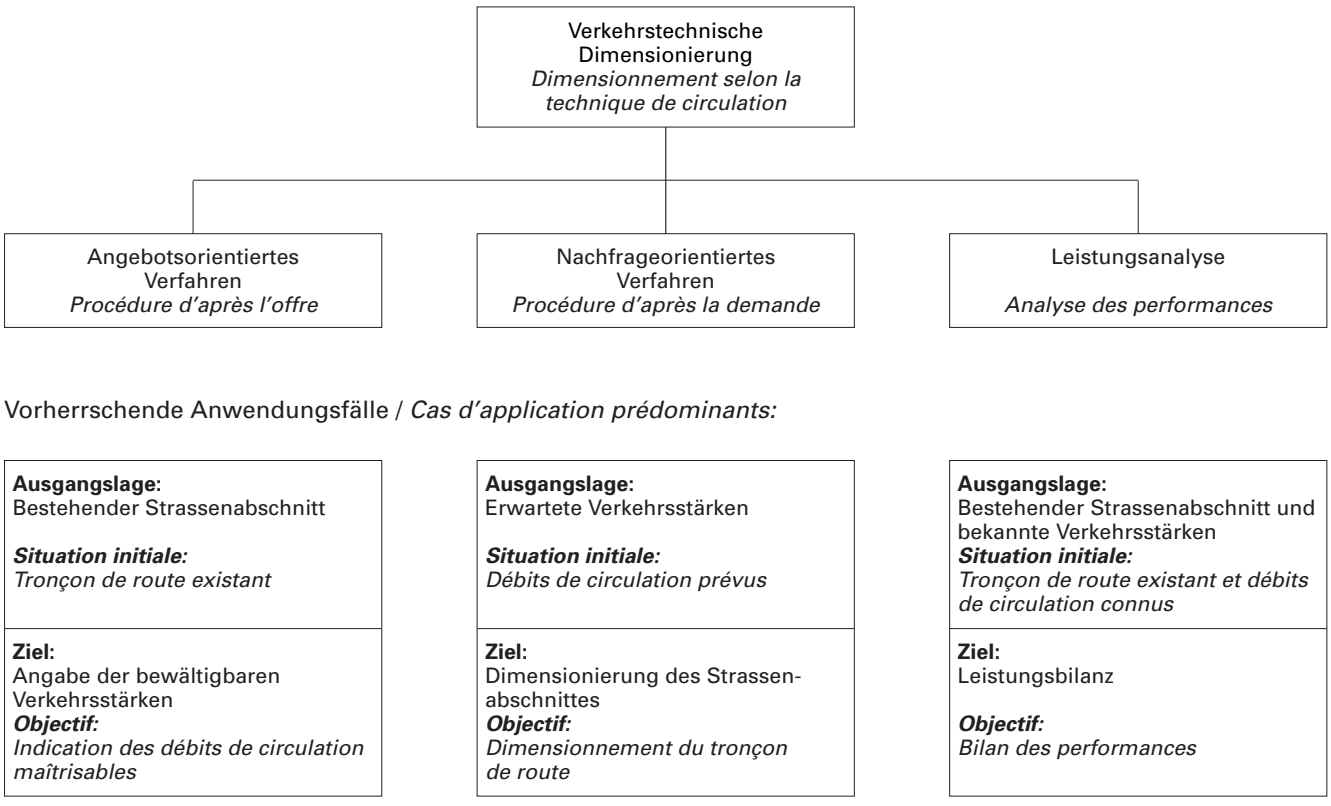


Abb. 1
Vorgehensweisen in der verkehrstechnischen Dimensionierung nach [5] mit Angabe des vorherrschenden Anwendungsfalles

Fig. 1
Démarches pour le dimensionnement selon la technique de circulation conformément à la norme [5] avec indication des cas d'application prédominants

Die Wahl des Verfahrens ergibt sich aus der konkreten Fragestellung.

Le choix de la démarche résulte du problème posé.

6. Arbeitsschritte

a) Zweistreifige HVS/RVS ausserorts

Die Reihenfolge der Arbeitsschritte ist von der Wahl der Vorgehensweise abhängig. Sie ist aus der Tabelle 1 ersichtlich.

Während die Leistungsanalyse in einem Arbeitsdurchgang abgeschlossen ist, können sowohl für das angebotsorientierte Verfahren als auch für das nachfrageorientierte Verfahren mehrere Iterationsschritte erforderlich sein.

6. Etapes

a) RP/RLR à deux voies hors des espaces bâtis

La succession des étapes dépend du choix de la démarche. Elle est indiquée dans le tableau 1.

Alors que l'analyse des performances est réalisée en une seule étape, plusieurs étapes itératives peuvent être nécessaires, tant pour la procédure d'après l'offre que pour celle d'après la demande.

Tab. 1
Arbeitsschritte der drei Verfahren in der verkehrstechnischen Dimensionierung für zweistreifige HVS/RVS ausserorts

Verfahren	Angebotsorientiertes Verfahren	Nachfrageorientiertes Verfahren	Leistungsanalyse
1. Schritt	– Abgrenzung des Strassenabschnittes (Ziff. 1, 7)	– Bestimmen der massgebenden Verkehrsstärke (Ziff. 8)	– Abgrenzung des Strassenabschnittes (Ziff. 1, 7)
2. Schritt	– Beschreibung des tatsächlichen Zustandes soweit möglich (Ziff. 7)	– «Vordimensionierung» des Strassenabschnittes (Festlegung der Merkmale, Ziff. 7)	– Beschreibung des tatsächlichen Zustandes (Ziff. 7)
3. Schritt	– Bestimmen der Einflussgrössen und der Abweichungen vom Referenzzustand (Ziff. 9)	– Beschreibung der Projektmerkmale aus Schritt 2 soweit möglich (Ziff. 7)	– Bestimmen der Einflussgrössen und der Abweichungen vom Referenzzustand (Ziff. 9)
4. Schritt	Bestimmen – Leistungsfähigkeit und Dimensionierungsempfehlung für tatsächlichen Zustand (Ziff. 11 und 12) – massgebende Verkehrsstärke (Ziff. 8)	Bestimmen – Leistungsfähigkeit und Dimensionierungsempfehlung für tatsächlichen Zustand (Ziff. 11 und 12)	Bestimmen – Leistungsfähigkeit für tatsächlichen Zustand (Ziff. 11) – massgebende Verkehrsstärke (Ziff. 8)
5. Schritt	– Gegenüberstellung Leistungsfähigkeit/Dimensionierungsempfehlung ⟷ massgebende Verkehrsstärke		
6. Schritt	– Abschätzung der Belastbarkeiten (Abschnitt D, Ziffern 13–15)		
7. Schritt	– Kontrolle Belastbarkeiten ⟷ Massgebende Verkehrsstärke/Leistungsfähigkeit/Dimensionierungsempfehlung für tatsächlichen Zustand		
8. Schritt	Angabe – Leistungsfähigkeit (unter Berücksichtigung der Belastbarkeiten sowie der Dimensionierungsempfehlung)	Angabe – Dimensionierung des Streckenabschnittes (Hinweis auf Belastbarkeiten und allenfalls zu treffende Massnahmen)	Angabe – Leistungsreserve/-manko (Hinweis auf die Belastbarkeiten)
Iteration	Veränderung Verkehrsstärke in Schritt 4	Wahl anderer Dimensionierungselemente in Schritt 2	Keine Iterationsschritte

Tab. 1
Etapes pour les trois procédures de dimensionnement selon la technique de circulation applicables aux RP/RLR hors des espaces bâtis

Procédure	Procédure d'après l'offre	Procédure d'après la demande	Analyse des performances
1ère étape	– Délimitation du tronçon routier (ch. 1, 7)	– Détermination des débits de circulation déterminants	– Délimitation du tronçon routier (ch. 1, 7)
2ème étape	– Description, dans la mesure du possible, de l'état réel (ch. 7)	– Prédimensionnement du tronçon routier (détermination des caractéristiques, ch. 7)	– Description de l'état réel (ch. 7)
3ème étape	– Détermination des facteurs d'influence et des écarts par rapport à l'état de référence (ch. 9)	– Description, dans la mesure du possible, des caractéristiques du projet à partir de l'étape 2	– Détermination des facteurs d'influence et des écarts par rapport à l'état de référence (ch. 9)
4ème étape	Détermination – de la capacité et de la recommandation pour le dimensionnement de l'état réel (ch. 11 et 12) – du débit de circulation déterminant	Détermination – de la capacité et de la recommandation pour le dimensionnement de l'état réel (ch. 11 et 12)	Détermination – de la capacité de l'état réel (ch. 11) – du débit de circulation déterminant (ch. 8)
5ème étape	– Comparaison de la capacité/recommandation pour le dimensionnement ⟷ débit de circulation déterminant		
6ème étape	– Estimation des charges compatibles (chapitre D, chiffres 13–15)		
7ème étape	– Contrôle des charges compatibles ⟷ débit de circulation déterminant/capacité/recommandation pour le dimensionnement de l'état réel		
8ème étape	Indication – Capacité (en tenant compte des charges compatibles et de la recommandation pour le dimensionnement)	Indication – Dimensionnement du tronçon routier (relatif aux charges compatibles et, si nécessaire, aux mesures à prendre)	Indication – Réserve/déficit de capacité (relatif aux charges compatibles)
Itération	Modification des débits de circulation déterminants à la 4ème étape	Choix d'autres éléments de dimensionnement à la 2ème étape	Pas d'itération

b) HVS innerorts

Die Leistungsfähigkeit auf Hauptstrassen innerorts hängt im Wesentlichen von der niedrigsten Leistungsfähigkeit an allen zu durchfahrenden Knoten ab. Die Leistungsfähigkeit an den Einzelknoten lässt sich mit den Normen [6], [7] und [8] ermitteln.

Die Verkehrsqualitätsstufen an den einzelnen Knoten können ebenfalls mit den Normen [6], [7] und [8] ermittelt werden. Über mehrere Knoten hinweg gesehen, können Hauptverkehrsstrassen innerorts höhere Verkehrsqualitätsstufen aufweisen als einzelne Knoten für sich.

C. Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität

Dieser Abschnitt gilt ausschliesslich für zweistreifige HVS/RVS ausserorts.

7. Merkmale

Das Fahrverhalten und damit auch die Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität sind in starkem Mass von den vorhandenen oder zukünftigen Strassen-, Verkehrs- und Betriebsbedingungen abhängig [5]. Diese Merkmale müssen zu Beginn des Berechnungsverfahrens aufbereitet werden. Tabelle 2 gibt Hinweise über die Herkunft und mögliche Quellen der Grundlagen:

b) RP à l'intérieur des localités

La capacité des routes principales à l'intérieur des localités dépend pour l'essentiel de la capacité la plus faible de tous les carrefours traversés. On peut calculer la capacité de chaque carrefour à l'aide des normes [6], [7] et [8].

On peut également calculer les niveaux de service de chaque carrefour à l'aide des normes [6], [7] et [8]. Si on considère plusieurs carrefours, les routes principales à l'intérieur des localités peuvent présenter des niveaux de service plus élevés que chaque carrefour pris individuellement.

C. Capacité, niveau de service

Ce chapitre n'est applicable qu'aux RP/RLR à deux voies hors des espaces bâtis.

7. Caractéristiques

Le comportement du conducteur et par conséquent aussi la capacité et le niveau de service dépendent dans une large mesure des conditions existantes ou futures de la route, du trafic et de l'exploitation [5]. On traitera ces caractéristiques au début du dimensionnement. Le tableau 2 donne des indications quant à la provenance et aux sources possibles des bases:

Tab. 2
Merkmale der Strassen-, Verkehrs- und Betriebsbedingungen von zweistreifigen HVS/RVS ausserorts mit Angabe der Grundlagen zur Beurteilung der Verkehrsqualität sowie der Leistungsfähigkeit

Merkmale zweistreifiger HVS/RVS ausserorts	Grundlagen zur Beurteilung der Verkehrsqualität/Leistungsfähigkeit
Strassenbedingungen	**Planunterlagen**
Geometrisches Normalprofil – Fahrstreifenbreite – Standstreifenbreite – Bankettbreite – Rad- und Gehwege, Radstreifen	Gegebenheiten/Projekt, VSS-Normen [14], [15] und [16]
Kurvigkeit	Gegebenheiten/Projekt
Längsneigungen (Gradient, Länge)	Gegebenheiten/Projekt, VSS-Norm [12]
Seitlicher Zutritt	Gegebenheiten/Projekt, VSS-Normen [10] und [11]
Zusatzstreifen in Steigungen	Gegebenheiten/Projekt, VSS-Norm [13]
Verkehrsbedingungen	**Verkehrserhebungen**
Verkehrsstärken mit Richtungsanteilen	Verkehrszählungen [1] und [2], Modellrechnungen, Schätzungen, Ganglinientyp [3], Dauerkurven [4], Lage im Netz
Schwerverkehrsanteil	Verkehrszählungen [1] und [2], Modellrechnungen, Schätzungen, Ganglinientyp [3], Lage im Netz
Anteil langsamer Fahrzeuge sowie leichter Zweiräder	Verkehrszählungen [1] und [2], Modellrechnungen, Schätzungen, Ganglinientyp [3], Lage im Netz
Kollektiv der Fahrzeuglenker	Verkehrsbefragungen [1] und [2], Ganglinientyp [3], Lage im Netz
Betriebsbedingungen	**Rechtsgrundlagen**
Geschwindigkeitsbeschränkungen	SVG/VRV/SSV, Situation, Signalisationspläne
Überholverbote	SVG/VRV/SSV, Situation, Signalisations-/Markierungspläne

Tab. 2
Caractéristiques des conditions de la route, de la circulation et de l'exploitation de RP/RLR à deux voies hors des espaces bâtis avec indication des bases pour l'évaluation du niveau de service ainsi que de la capacité

Caractéristiques des RP/RLR à deux voies hors des espaces bâtis	Bases pour l'évaluation du niveau de service/capacité
Conditions de la route	**Plans**
Profil géométrique type – largeur de chaussée – largeur de la bande d'arrêt d'urgence – largeur de l'accotement – pistes cyclables, trottoirs, bandes cyclables	Conditions locales/projet, normes VSS [14], [15] et [16]
Sinuosité	Conditions locales/projet
Déclivités (gradient, longueur)	Conditions locales/projet, norme VSS [12]
Accès latéral	Conditions locales/projet, normes VSS [10] et [11]
Voies additionnelles en rampe	Conditions locales/projet, norme VSS [13]
Conditions du trafic	**Recensements de la circulation**
Débits de circulation avec pourcentage par sens	Comptages [1] et [2], modèles de calcul, estimations, type de courbe de variation [3], courbes des débits classés [4], position dans le réseau
Pourcentage de trafic lourd	Comptages [1] et [2], modèles de calcul, estimations, type de courbe de variation [3], position dans le réseau
Pourcentage des véhicules lents ainsi que des deux-roues légers	Comptages [1] et [2], modèles de calcul, estimations, type de courbe de variation [3], position dans le réseau
Collectif des conducteurs de véhicules	Enquêtes [1] et [2], type de courbe de variation [3], position dans le réseau
Conditions d'exploitation	**Bases légales**
Limitations de vitesse	LCR/OCR/OSR, situation, plans de signalisation
Interdictions de dépasser	LCR/OCR/OSR, situation, plans de signalisation/marquage

8. Massgebende Verkehrsstärke

Die verkehrstechnische Dimensionierung für zweistreifige Hauptverkehrsstrassen- und Regionalverbindungsstrassen ausserhalb besiedelter Gebiete erfolgt ausschliesslich anhand von stündlichen Verkehrsstärken. Dies hat zur Folge, dass die Verkehrsqualität infolge der Schwankungen der Verkehrsstärke innerhalb der betrachteten Stunde variieren kann. Angegeben sind die Verkehrsstärke mit der Anzahl Fahrzeuge pro Stunde sowie der Schwerverkehrsanteil.

Als massgebende Verkehrsstärke stehen folgende Grössen im Vordergrund:

– Durchschnittliche Abendspitzenstunde in % des DTV (in besonderen Fällen auch die Morgenspitzenstunde)
– Massgebender Verkehr, ermittelt aus Dauerkurven [4]

Bei vorhandenen Verkehrsanlagen soll wenn immer möglich auf Ergebnisse von Verkehrserhebungen zurückgegriffen werden. Zukünftige Verkehrsstärken können aufgrund von Modellrechnungen geschätzt werden. Dabei können die Richtwerte in [4] eine Hilfe sein.

9. Ausbaustandards, Einflussgrössen und Referenzzustand

Das Geschwindigkeitsniveau im freien Verkehrsfluss wird weitgehend durch die vertikale und horizontale Linienführung, die Sichtweiten und die zulässige Höchstgeschwindigkeit bestimmt. Die Leistungsfähigkeit wird zudem durch den Schwerverkehrsanteil, den Anteil von langsamen Fahrzeugen, Velos und Mofas sowie den Richtungsanteil bestimmt.

a) Referenzzustand

Die Kennwerte gemäss Tabelle 3 charakterisieren den entsprechenden Referenzzustand für beide Typen.

b) Berücksichtigung des tatsächlichen Zustandes

Das Verfahren zur verkehrstechnischen Dimensionierung beschränkt sich auf die wichtigsten Einflussgrössen. Massgebend sind dabei die Merkmale, die sich über den Grossteil des Strassenabschnittes erstrecken. Die Abweichungen des tatsächlichen Zustandes vom Referenzzustand werden im Verfahren gemäss Tabelle 3 berücksichtigt. Kleinere örtliche Abweichungen werden nicht berücksichtigt.

Nicht jede dieser Einflussgrössen hat im vorliegenden Berechnungsverfahren die gleiche Bedeutung. Insbesondere die Einflüsse aus dem Kollektiv der Fahrzeuglenker, der Fahrstreifenbreiten, der seitlichen Hindernisfreiheit sowie des Anteils langsamer Fahrzeuge und leichter Zweiräder werden mangels erforschter Zusammenhänge nicht mit Korrekturfaktoren, sondern in Schritt 4 (Tabelle 1) gemäss Ziffer 9 qualitativ abgeschätzt.

Dabei muss erwogen werden, ob die ermittelten Verkehrsstärken für den Referenzzustand den tatsächlichen Zustand genügend berücksichtigen oder aufgrund weiterer Einflussgrössen ober- oder unterhalb der ermittelten Verkehrsstärken liegen können.

8. Débit de circulation déterminant

On effectue le dimensionnement des routes principales et des routes de liaison régionales à deux voies hors des espaces bâtis exclusivement sur la base des débits de circulation horaires. Cela a pour conséquence que le niveau de service peut varier suite aux fluctuations du débit de circulation durant l'heure considérée. Le débit de circulation est donné par le nombre de véhicules à l'heure ainsi que par le pourcentage de véhicules lourds.

Comme débit de circulation déterminant, on considère avant tout les valeurs suivantes:

– moyenne des heures de pointe du soir en % du TJM (dans des cas particuliers également les pointes horaires du matin)
– trafic déterminant calculé à partir des courbes des débits classés [4]

Pour des infrastructures de transport existantes, on se réfèrera chaque fois que cela est possible aux résultats des recensements de circulation. Les débits futurs de circulation peuvent être estimés sur la base de modèles de calcul. A cet effet, les valeurs indicatives de la norme [4] peuvent être utiles.

9. Niveau d'aménagement, facteurs d'influence et état de référence

En section courante, on détermine le niveau de vitesse surtout sur la base du tracé en plan et du profil en long, des distances de visibilité et des vitesses maximales autorisées. En outre, on détermine la capacité sur la base du pourcentage du trafic poids lourds, du pourcentage des véhicules lents, des cycles et des vélomoteurs ainsi que du pourcentage des sens de circulation.

a) Etat de référence

Les valeurs caractéristiques du tableau 3 définissent l'état de référence pour les deux types.

b) Prise en considération de l'état réel

La démarche pour le dimensionnement selon la technique de circulation se limite aux facteurs d'influence les plus importants. En conséquence, les caractéristiques déterminantes sont celles qui s'étendent sur la plus grande partie du tronçon de route. On tiendra compte des écarts de l'état réel par rapport à l'état de référence dans la démarche selon tableau 3. On ne prendra pas en considération de petits écarts localisés.

Dans la présente démarche de calcul, tous les facteurs d'influence n'ont pas la même importance. En particulier, parce qu'elles n'ont pas fait l'objet d'une recherche, les influences du collectif des conducteurs, de la largeur des voies de circulation, de l'absence d'obstacles latéraux ainsi que du pourcentage des véhicules lents et des deux-roues légers ne sont pas converties en facteurs de correction mais sont évaluées qualitativement à l'étape 4 (tableau 1) selon chiffre 9.

Il convient cependant d'examiner si les débits de circulation de l'état de référence tiennent suffisamment compte de l'état réel ou si sur la base d'autres facteurs d'influence ils se situent au-dessus ou au-dessous des débits calculés.

Tab. 3
Berücksichtigung der massgebenden Einflussgrössen zweistreifiger HVS/RVS ausserorts

Massgebende Einflussgrössen zweistreifiger HVS/RVS ausserorts	Kennwerte Referenzzustand	Berücksichtigung im Verfahren bei abweichenden Merkmalen
Strassenbedingungen		
Fahrstreifenbreite	3,5 m	Kleinere Breiten nicht berücksichtigt
Seitliche Hindernisfreiheit	Bankettbreite und allfällige Mehrzweckstreifen: 1,0 m (min. 0,5 m) anbaufrei	Hinweise bei Abweichungen
Kurvigkeit	0–75 gon/km	Kurvigkeitsklassen in Wertetabelle
Längsneigungen (Gradient, Länge)	ebene Fahrbahn mit max. Längsneigung 2%	Steigungsklassen in Wertetabelle
Verkehrsbedingungen		
Richtungsanteil	Annähernd ausgeglichen	Keine Berücksichtigung
Schwerverkehrsanteil	0–5 %	Direkt aus Wertetabelle
Anteil langsamer Fahrzeuge	0% (keine langsamen Fahrzeuge)	Keine Berücksichtigung
Anteil leichter Zweiräder	0%	Keine Berücksichtigung
Kollektiv der Fahrzeuglenker	Berufspendlerverkehr überwiegend	Hinweise bei Abweichungen vom Referenzzustand
Betriebsbedingungen		
Geschwindigkeitsbeschränkungen	Höchstgeschwindigkeit 80 km/h	Keine Berücksichtigung
Überholverbote	Keine Überholverbote	Zuschlag zur Kurvigkeit
Witterungs- und Lichtverhältnisse (Strassenzustand)	Guter Belag, trockene Fahrbahn, gute Sichtverhältnisse, Tageslicht	Keine Berücksichtigung

Tab. 3
Prise en considération des facteurs d'influence déterminants pour les RP/RLR hors des espaces bâtis

Facteurs d'influence déterminants de RP/RLR à deux voies hors des espaces bâtis	Valeurs caractéristiques de l'état de référence	Prise en considération dans la démarche de caractéristiques divergentes
Conditions routières		
Largeur de voie de circulation	3,5 m	Des largeurs inférieures ne sont pas prises en compte
Absence d'obstacles latéraux	Largeur des accotements et des év. voies à affectation variable: 1,0 m (min. 0,5 m) libre de construction	Indications en cas de divergences
Sinuosité	0–75 gon/km	Classes de sinuosité dans le tableau y relatif
Déclivités (gradient, longueur)	Chaussée plane avec max. 2% de déclivité	Classes de rampes dans le tableau y relatif
Conditions de circulation		
Pourcentage des sens de circulation	Approximativement compensés	Pas pris en considération
Pourcentage des poids lourds	0–5 %	Directement à partir du tableau y relatif
Pourcentage des véhicules lents	0% (aucun véhicule lent)	Pas pris en considération
Pourcentage des deux-roues légers	0%	Pas pris en considération
Collectif des conducteurs de véhicules à moteur	Surtout pendulaires professionnels	Indications en cas de divergences par rapport à l'état de référence
Conditions d'exploitation		
Limitations de vitesse	Vitesse maximale 80 km/h	Pas pris en considération
Interdictions de dépasser	Pas d'interdiction de dépasser	Supplément sur sinuosité
Conditions météorologiques et de luminosité (état de la route)	Revêtement en bon état, chaussée sèche, bonne visibilité, lumière de jour	Pas pris en considération

c) Fahrstreifenbreiten

Sollten die Fahrstreifenbreiten unter 3,5 m liegen, ist mit einer Verringerung der Verkehrsqualität und der Leistungsfähigkeit zu rechnen. Dies trifft insbesondere bei hohen Anteilen des Schwerverkehrs sowie der Velos/Mofas zu. Es können keine Angaben über die Höhe der Reduktionen gemacht werden.

d) Seitliche Hindernisfreiheit

Die seitliche Hindernisfreiheit wird auf zweistreifigen Hauptverkehrs- und Regionalverbindungsstrassen ausserhalb besiedelter Gebiete durch befestigte Bankette und allfällig vorhandene Mehrzweckstreifen gewährleistet. Unter Berücksichtigung der Anforderungen der Strassenerhaltung und der Verkehrssicherheit ist eine minimale seitliche Hindernisfreiheit von 1,0 m angezeigt.

Bei seitlicher Hindernisfreiheit von weniger als 0,5 m ist mit einer Abnahme der Verkehrsqualität sowie der Leistungsfähigkeit zu rechnen. Zu deren Grösse können in dieser Norm keine Angaben gemacht werden.

e) Kurvigkeit

Die Verkehrsqualität sowie die Leistungsfähigkeit auf zweistreifigen Hauptverkehrs- und Regionalverbindungsstrassen ausserhalb besiedelter Gebiete werden durch die vorhandenen Überholsichtweiten beeinflusst, die insbesondere von der Kurvigkeit des Strassenabschnittes abhängig sind. Die Kurvigkeit wird über den ganzen Strassenabschnitt berechnet als:

$$KU = \frac{\Sigma|\phi|}{L}$$

wobei:
KU = Kurvigkeit [gon/km]
ϕ = Winkeländerung der Trasse [gon]
L = Länge des Strassenabschnittes [km]
n = Zahl der Kurven

In gebirgigen Strassenabschnitten können auch Kurvigkeiten von über 350 gon/km auftreten. Die Leistungsfähigkeiten können auf solchen Abschnitten evtl. noch unterhalb derjenigen der Kurvigkeitsklasse > 250 gon/km aus Tabelle 4 liegen. Gesicherte Angaben über die Höhe der Reduktion können nicht gemacht werden.

f) Längsneigungen

In Steigungsstrecken mit Längsneigungen > 2% verringern sich die Geschwindigkeiten von Lastwagen mit zunehmender Länge und Neigung des Abschnittes. Auch bei geringen Verkehrsstärken kann somit ein einzeln fahrender Lastwagen die Verkehrsqualität wesentlich beeinflussen und die Leistungsfähigkeit verringern.

Die Einflüsse der Längsneigungen werden in Anlehnung an deutsche Richtlinien [18] durch fünf Steigungsklassen berücksichtigt. Die Steigungsklassen in Tabelle 4 werden durch die massgebende Geschwindigkeit eines Bemessungslastwagens auf dem Strassenabschnitt nach [13] definiert:

c) Largeur des voies de circulation

Si la largeur des voies de circulation est inférieure à 3,5 m, il faut compter avec une diminution du niveau de service et de la capacité. En particulier, cela est valable en cas de pourcentage élevé de trafic poids lourd ainsi que de deux-roues légers. On ne peut donner aucune indication sur l'importance de la réduction.

d) Absence d'obstacles latéraux

L'absence d'obstacles latéraux sur les routes principales et les routes de liaison régionales à deux voies hors des espaces bâtis est assurée par des accotements stabilisés et d'éventuelles voies de circulation à affectation variable. Pour tenir compte des exigences de l'entretien des routes et de la sécurité routière, la largeur minimale de la zone latérale libre d'obstacles devrait être de 1,0 m.

Si la largeur de la zone libre d'obstacles latéraux est inférieure à 0,5 m il faut compter avec une diminution du niveau de service et de la capacité. En ce qui concerne leur importance, aucune indication ne peut être donnée dans cette norme.

e) Sinuosité

Le niveau de service et la capacité des routes principales et des routes de liaison régionales à deux voies hors des espaces bâtis sont influencés par les distances de visibilité de dépassement existantes qui, en particulier, dépendent de la sinuosité du tronçon de route. La sinuosité est calculée sur toute la longueur du tronçon à l'aide de la formule:

$$KU = \frac{\Sigma|\phi|}{L}$$

où:
KU = sinuosité [gon/km]
ϕ = changements de direction du tracé [gon]
L = longueur du tronçon de route en km
n = nombre de courbes

Sur des tronçons de montagne, on peut obtenir des sinuosités supérieures à 350 gon/km. Sur de tels tronçons, les capacités peuvent même être inférieures à celles de la classe de sinuosité > 250 gon/km selon tableau 4. Des indications sûres sur l'importance de la réduction ne peuvent pas être données.

f) Déclivités

Dans les rampes dont la déclivité est > 2%, la vitesse des camions se réduit en fonction de l'augmentation de la longueur et de la pente du tronçon. Même par faibles débits de circulation un seul camion peut perturber sensiblement le niveau de service et réduire la capacité.

On tiendra compte de l'influence des déclivités selon les directives allemandes [18] en considérant cinq classes de rampes. Les classes de rampes du tableau 4 sont définies, sur un tronçon de route, par la vitesse déterminante d'un camion de référence selon [13]:

Tab. 4
Zuordnung von Steigungsklassen nach der massgebenden Geschwindigkeit des Bemessungslastwagens gemäss [13]

Massgebende Geschwindigkeit des Bemessungslastwagens gemäss [13] [km/h]	Steigungsklasse
> 70	1
60–70	2
45–60	3
30–45	4
< 30	5

Bei aufeinanderfolgenden Streckenabschnitten mit unterschiedlichen Längsneigungen muss zur Ermittlung der massgebenden Steigungsklasse für beide Fahrtrichtungen getrennt das Geschwindigkeitsdiagramm eines freifahrenden Bemessungslastwagens nach Norm [13] konstruiert werden. Ebene Streckenabschnitte sind der Steigungsklasse 1 zugeordnet.

g) Anteil langsamer Fahrzeuge und leichter Zweiräder

Als langsame Fahrzeuge werden landwirtschaftliche Fahrzeuge sowie Sonderfahrzeuge mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von max. 25 km/h bezeichnet.

Je nach Breite der Fahrstreifen und Bankette, der Anordnung von Ausweichstellen und Überholverboten, der Längsneigung sowie der Anzahl langsamer Fahrzeuge und leichter Zweiräder pro massgebende Stunde kann die Leistungsfähigkeit stark zurückgehen.

Angaben über die Höhe der Reduktion der Leistungsfähigkeit können nicht gemacht werden.

h) Kollektiv der Fahrzeuglenker

Das Kollektiv der Fahrzeuglenker bestimmt die Zusammensetzung des Fahrzeugparks, der Fahrzeugbeladung, das Abstandsverhalten sowie die Vertrautheit mit den Strassen-, Verkehrs- und Betriebsbedingungen. Die vielfältigen Strukturen lassen die örtlich und zeitlich sehr verschiedenen Kollektive nicht normieren. Bei erhöhten Anteilen an Tourismusverkehr sind leicht unter den Normwerten liegende Leistungsfähigkeiten, bei täglich wiederkehrenden hohen Verkehrsstärken im Berufspendlerverkehr teilweise auch über den Normwerten liegende Leistungsfähigkeiten zu erwarten.

i) Überholverbote

Der Einfluss von Überholverboten auf die Verkehrsqualität und die Leistungsfähigkeit tritt insbesondere auf Strassenabschnitten mit kleineren bis mittleren Verkehrsstärken sowie mit geringer Kurvigkeit auf. Er nimmt mit zunehmender Verkehrsstärke und Kurvigkeit ab.

Überholverbote werden in Tabelle 5 in Anlehnung an deutsche Richtlinien [18] mit einem Zuschlag zur Kurvigkeit berücksichtigt. Dieser ist abhängig vom Streckenanteil mit Überholverbot.

Tab. 4
Attribution des classes de rampes selon la vitesse déterminante d'un camion de référence selon [13]

Vitesse déterminante du camion de référence selon [13] [km/h]	Classe de rampe
> 70	1
60–70	2
45–60	3
30–45	4
< 30	5

Pour définir la classe de rampe déterminante d'un tronçon constitué d'une succession de segments de déclivités différentes, il est nécessaire de construire, pour les deux sens de circulation, le diagramme de vitesse d'un camion de référence circulant sans contraintes conformément à la norme [13]. On attribuera aux segments de tronçon plats la classe de rampe 1.

g) Pourcentage des véhicules lents et des deux-roues légers

Sont désignés véhicules lents, les véhicules agricoles ainsi que les véhicules spéciaux dont les caractéristiques de construction leur imposent une vitesse max. de 25 km/h.

La capacité peut être fortement réduite en fonction de la largeur des voies de circulation et des accotements, de la disposition des places d'évitement et des interdictions de dépasser, de la déclivité ainsi que du nombre des véhicules lents et des deux-roues légers.

Des indications sur l'importance de la réduction de la capacité ne peuvent pas être données.

h) Collectif des conducteurs de véhicules

Le collectif des conducteurs détermine la composition du parc des véhicules, le chargement des véhicules, la distance entre les véhicules ainsi que la connaissance des conditions de la route, de la circulation et de l'exploitation. Les structures variées ne permettent pas de normaliser des collectivités localement et temporairement très différentes. Avec une augmentation du trafic touristique, on peut s'attendre à une capacité légèrement inférieure aux valeurs normales, alors qu'elles peuvent être partiellement supérieures lors de la réapparition journalière de débits élevés de pendulaires professionnels.

i) Interdictions de dépasser

Les interdictions de dépasser ont une influence sur le niveau de service et la capacité, en particulier sur des tronçons de route caractérisés par des débits de circulation faibles à moyens ainsi que sur des tronçons de route à faible sinuosité. Cette influence diminue avec l'augmentation du débit et de la sinuosité.

On tient compte au tableau 5 des interdictions de dépassement selon les directives allemandes [18] avec un supplément pour sinuosité. Ce supplément dépend du pourcentage du tronçon avec dépassement interdit.

Tab. 5
Zuschlag zur Kurvigkeit bei Überholverboten

Streckenanteil mit Überholverbot [%]	Zuschlag zur Kurvigkeit [gon/km]
0–15	0–75
> 15–30	75–150
> 30–100	150–250

Tab. 5
Supplément pour sinuosité en cas d'interdiction de dépassement

Pourcentage du tronçon avec interdiction de dépassement [%]	Supplément pour sinuosité [%]
0–15	0–75
> 15–30	75–150
> 30–100	150–250

j) Geschwindigkeitsbeschränkungen

Das Geschwindigkeitsniveau auf zweistreifigen Hauptverkehrsstrassen und Regionalverbindungsstrassen ausserhalb besiedelter Gebiete wird vornehmlich durch die Kurvigkeit, die Längsneigung sowie durch die Verkehrsstärke beeinflusst. Örtliche Geschwindigkeitsbeschränkungen beeinflussen die Verkehrsqualität und die Leistungsfähigkeit vor allem bei niedrigen bis mittleren Verkehrsstärken und auf Strassenabschnitten mit niedrigen Kurvigkeiten. Es können aber keine Angaben zur Höhe der Reduktion angegeben werden.

j) Limitations de vitesse

Sur les routes principales et les routes de liaison à deux voies hors des espaces bâtis, le niveau de vitesse est surtout influencé par la sinuosité, la déclivité ainsi que par le débit de circulation. Des limitations de vitesse localisées influencent le niveau de service et la capacité, surtout en cas de débits de circulation bas à moyens et sur les tronçons de route à faible sinuosité. Aucune indication relative à l'importance de cette réduction ne peut être donnée.

10. Verkehrsqualitätsstufen

Für zweistreifige Hauptverkehrs- und Regionalverbindungsstrassen ausserhalb besiedelter Gebiete sollten nach der Grundlagennorm [5] sechs Verkehrsqualitätsstufen angegeben werden. Für die Definition der Verkehrsqualitätsstufen liegen aber ungenügende Unterlagen vor. Lediglich für den Bereich der Leistungsfähigkeit (Verkehrsqualitätsstufe E) können Kennwerte angegeben werden.

10. Niveaux de service

Selon la norme de base [5], six niveaux de service devraient être indiqués pour les routes principales et les routes de liaison régionales à deux voies hors des espaces bâtis. On ne dispose cependant que d'une documentation insuffisante pour la définition des niveaux de service. On ne peut donner des valeurs caractéristiques que pour le domaine de la capacité (niveau de service E).

11. Leistungsfähigkeit

In Anlehnung an deutsche Richtlinien [18] wird die Leistungsfähigkeit mit der Tabelle 6 bestimmt. Sie ist abhängig vom Schwerverkehrsanteil, der Steigungsklasse und der Kurvigkeit und wird als maximale Verkehrsstärke beider Fahrtrichtungen bei annähernd ausgeglichenen Richtungsanteilen definiert. Die Angaben sind als vorläufige Richtwerte zu betrachten.

11. Capacité

Selon les directives allemandes [18], la capacité est déterminée à l'aide du tableau 6. Elle dépend du pourcentage de trafic poids lourd, de la classe de rampe et de la sinuosité et est définie comme débit maximal des deux sens de circulation pour un pourcentage des sens de circulation à peu près équilibré. Ces indications doivent être considérées comme des valeurs indicatives provisoires.

Tab. 6
Leistungsfähigkeiten (Mfz/h für beide Fahrtrichtungen zusammen) in Abhängigkeit von Schwerverkehrsanteil, Kurvigkeit und Steigungsklasse

Tab. 6
Capacités (vhc/h pour les deux sens de circulation ensemble) en fonction du pourcentage du trafic poids lourd, de la sinuosité et des classes de rampes

Schwerverkehrsanteile/ Kurvigkeit *Pourcentage du trafic poids lourd/sinuosité*		Steigungsklasse 1 *Classe de rampe 1*	Steigungsklasse 2 *Classe de rampe 2*	Steigungsklasse 3 *Classe de rampe 3*	Steigungsklasse 4 *Classe de rampe 4*	Steigungsklasse 5 *Classe de rampe 5*
0%	0–75 gon/km	2500	2450	2350	2250	2150
	75–150 gon/km	2350	2300	2200	2100	1950
	150–250 gon/km	2200	2150	2050	1950	1800
	>250 gon/km	2050	2000	1900	1750	1650
5%	0–75 gon/km	2300	2250	2150	2050	2000
	75–150 gon/km	2150	2100	2000	1900	1800
	150–250 gon/km	2050	1950	1850	1750	1600
	>250 gon/km	1900	1800	1700	1550	1450
10%	0–75 gon/km	2200	2150	2050	2000	1900
	75–150 gon/km	2050	2000	1900	1800	1700
	150–250 gon/km	1950	1850	1750	1600	1500
	>250 gon/km	1800	1700	1550	1450	1300
15%	0–75 gon/km	2150	2100	2000	1900	1850
	75–150 gon/km	2000	1900	1800	1700	1600
	150–250 gon/km	1850	1750	1650	1550	1400
	>250 gon/km	1700	1600	1500	1350	1200

Einflüsse von seitlicher Hindernisfreiheit usw. gemäss Tabelle 3 sind nicht berücksichtigt.

Für Schwerverkehrsanteile, die zwischen den angegebenen Werten liegen, kann interpoliert werden.

Les influences de l'absence d'obstacles latéraux, etc. selon tableau 3 ne sont pas prises en considération.

Si le pourcentage du trafic poids lourd est entre les valeurs indiquées, il convient d'interpoler.

12. Dimensionierungsempfehlung

Für die Dimensionierung werden die Werte aus Tabelle 6 (Leistungsfähigkeit; ungefähr Verkehrsqualitätsstufe E) mittels der Faktoren der Tabelle 7 in Verkehrsstärken umgerechnet, die etwa der Verkehrsqualitätsstufe D entsprechen.

12. Recommandation pour le dimensionnement

Pour le dimensionnement, au moyen des facteurs du tableau 7, on convertit les valeurs du tableau 6 (capacité; environ niveau de service E) en débits de circulation correspondant approximativement aux niveaux de service D.

Tab. 7
Reduktionsfaktoren der Leistungsfähigkeit gemäss Tabelle 6 zur Berechnung der für die Dimensionierung empfohlenen Verkehrsstärke in Anlehnung an [19] in Abhängigkeit von Schwerverkehrsanteil, Kurvigkeit und Steigungsklasse

Tab. 7
Facteurs de réduction de la capacité selon tableau 6 pour le calcul des débits de circulation recommandés pour le dimensionnement selon [19] en fonction du pourcentage du trafic poids lourd, de la sinuosité et de la classe de rampe

Schwerverkehrsanteile/ Kurvigkeit *Pourcentage du trafic poids lourd/sinuosité*		Steigungsklasse 1 *Classe de rampe 1*	Steigungsklasse 2 *Classe de rampe 2*	Steigungsklasse 3 *Classe de rampe 3*	Steigungsklasse 4 *Classe de rampe 4*	Steigungsklasse 5 *Classe de rampe 5*
0%	0–75 gon/km	0,96	0,95	0,94	0,92	0,92
	75–150 gon/km	0,94	0,92	0,92	0,90	0,88
	150–250 gon/km	0,93	0,92	0,89	0,87	0,85
	>250 gon/km	0,92	0,89	0,87	0,84	0,82
5%	0–75 gon/km	0,96	0,94	0,92	0,90	0,89
	75–150 gon/km	0,94	0,92	0,90	0,88	0,86
	150–250 gon/km	0,92	0,91	0,89	0,87	0,81
	>250 gon/km	0,92	0,89	0,84	0,81	0,77
10%	0–75 gon/km	0,95	0,94	0,92	0,90	0,88
	75–150 gon/km	0,94	0,91	0,89	0,88	0,84
	150–250 gon/km	0,91	0,90	0,87	0,86	0,81
	>250 gon/km	0,89	0,87	0,84	0,81	0,77
15%	0–75 gon/km	0,95	0,94	0,91	0,88	0,86
	75–150 gon/km	0,94	0,92	0,89	0,87	0,82
	150–250 gon/km	0,91	0,90	0,86	0,84	0,79
	>250 gon/km	0,89	0,87	0,83	0,80	0,75

D. Belastbarkeit

13. Umweltbedingte Belastbarkeit

Die Richtwerte sind aus den entsprechenden kantonalen Massnahmenplänen Luftreinhaltung, den Lärmbelastungskatastern oder den Lärmempfindlichkeitsstufenplänen zu ermitteln.

Bei den Hauptverkehrsstrassen innerorts kann eine weitergehende Beurteilung der Belastbarkeit unter Berücksichtigung der Verträglichkeit zwischen Mensch, Siedlung, Umwelt und Verkehr gemäss dem Planungsvorgehen für Betriebs- und Gestaltungskonzepte von verkehrsorientierten Strassen [9] erfolgen.

14. Sicherheitsbedingte Belastbarkeit

Mit den Empfehlungen zur Dimensionierung (Ziffer 12) sowie mit den anzustrebenden Ausbaustandards der Normen [10], [11] werden bereits sicherheitsbezogene Aspekte berücksichtigt.

Die sicherheitsbedingte Belastbarkeit auf Hauptverkehrsstrassen innerhalb besiedelter Gebiete ist zudem nicht nur von der Betriebsweise der Knoten, sondern auch von der Intensität der Ansprüche an den Strassenraum durch Bebauung, Nutzung und Verkehr abhängig. Sie muss bei Bedarf für den jeweiligen Anwendungsfall gesondert festgelegt werden. Eine weitergehende Beurteilung unter Einbezug aller Verkehrsteilnehmer erfolgt mit dem Planungsvorgehen für Betriebs- und Gestaltungskonzepte von verkehrsorientierten Strassen [9].

Zusätzliche Sicherheitsaspekte ergeben sich aus den Witterungseinflüssen.

Regen, Schnee, Nebel und Eis treten sehr unregelmässig auf und üben einen unterschiedlich starken Einfluss aus, insbesondere in Kombination, z. B. mit der Dunkelheit. Ihr Einfluss entzieht sich einer Normierung. Gemessene Werte widerspiegeln jeweils die spezifische Situation vor Ort und können nicht ohne weiteres auf andere Strecken übertragen werden.

Die im Referenzzustand definierten Strassenbedingungen mit trockener Fahrbahn und Tageslicht stellen den günstigsten Betriebszustand dar, auch hinsichtlich der Sicherheit. Für die vorliegende verkehrstechnische Dimensionierung können die Witterungs- und Lichtverhältnisse nur qualitativ berücksichtigt werden.

15. Unterhaltsbedingte Belastbarkeit

Die zum Unterhalt und Erhalt des Bauwerks notwendigen Baustellen haben teilweise Kapazitätseinschränkungen zur Folge.

Mögliche Verkehrsführungen in Baustellenbereichen mit reduzierten Fahrstreifenbreiten, Höchstgeschwindigkeiten und Überholmöglichkeiten sind der Norm [17] zu entnehmen.

D. Charges compatibles

13. Charges compatibles avec l'environnement

Les valeurs indicatives seront déterminées sur la base des plans cantonaux de mesures pour la protection de l'air, des cadastres de bruit ou des plans des degrés de sensibilité.

Pour les routes principales à l'intérieur des localités on peut procéder à une évaluation plus poussée des charges compatibles en tenant compte de la compatibilité entre l'homme, la zone habitée, l'environnement et la circulation conformément à la démarche de planification pour les concepts d'exploitation et d'aménagement de routes à orientation trafic [9].

14. Charges compatibles avec la sécurité

Avec les recommandations sur le dimensionnement (chiffre 12) et les standards d'aménagement des normes [10] et [11], les aspects relatifs à la sécurité sont déjà pris en considération.

En outre les charges compatibles avec la sécurité sur les routes principales à l'intérieur des espaces bâtis ne dépendent pas seulement de la manière d'exploiter les carrefours mais aussi de l'importance des exigences de l'urbanisation, de l'occupation du sol et de la circulation relatives à l'espace routier. Elles doivent être définies selon les besoins de cas en cas. Une évaluation plus poussée comprenant tous les usagers de la route est effectuée avec la démarche de planification pour les concepts d'exploitation et d'aménagement de routes à orientation trafic [9].

D'autres aspects de sécurité résultent des influences des conditions météorologiques.

La pluie, la neige, le brouillard et la glace surviennent très irrégulièrement et exercent une influence plus ou moins forte, en particulier en combinaison, p. ex. avec l'obscurité. Leur influence n'est pas normalisable. Les valeurs mesurées reflètent chaque fois la situation spécifique d'un lieu et ne peuvent pas être reportées sans autre sur d'autres tronçons.

Les conditions routières définies dans l'état de référence, soit chaussée sèche et lumière du jour, représentent l'état d'exploitation le plus favorable, également du point de vue de la sécurité. Pour le présent dimensionnement selon la technique de circulation, on ne pourra tenir compte des conditions de météorologie et d'éclairage que qualitativement.

15. Charges compatibles avec l'entretien

Les chantiers nécessaires à l'entretien de l'ouvrage provoquent partiellement des réductions de capacité.

Sur la base de la norme [17], on peut déduire les guidages possibles de la circulation dans les zones de chantier avec des largeurs de voies de circulation réduites, des vitesses limitées et des possibilités de dépassement.

E. Literaturverzeichnis

[1] SN 640 002 Verkehrserhebungen, Verkehrszählungen
[2] SN 640 003 Verkehrserhebungen, Verkehrsbefragungen
[3] SN 640 005 Ganglinientypen und durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV); inkl. Beilage SN 640 005 Ganglinientypen des schweren Verkehrs
[4] SN 640 016 Massgebender Verkehr
[5] SN 640 017 Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Grundlagenorm
[6] SN 640 022 Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Knoten ohne Lichtsignalanlage
[7] SN 640 023 Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Knoten mit Lichtsignalanlage
[8] SN 640 024 Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Knoten mit Kreisverkehr
[9] SN 640 025 Planungsvorgehen für Betriebs- und Gestaltungskonzepte von verkehrsorientierten Strassen
[10] SN 640 042 Projektierung, Grundlagen; Strassentyp: Hauptverkehrsstrassen
[11] SN 640 043 Projektierung, Grundlagen; Strassentyp: Verbindungsstrassen
[12] SN 640 110 Linienführung, Elemente der vertikalen Linienführung
[13] SN 640 138 Linienführung, Zusatzstreifen in Steigungen und Gefälle
[14] SN 640 200 Geometrisches Normalprofil, Grundsätze
[15] SN 640 201 Geometrisches Normalprofil, Grundabmessungen
[16] SN 640 202 Geometrisches Normalprofil, Erarbeitung
[17] SN 640 898 Baustellen auf Haupt- und Nebenstrassen
[18] Richtlinien für die Anlage von Strassen, Teil: Querschnitte (RAS-Q 96), Forschungsgesellschaft für Strassen und Verkehrswesen, Ausgabe 1996
[19] Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufs auf Strassen, Deutsches HCM, Entwurf eines Handbuches, Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr Universität Bochum, 1993

E. Bibliographie

[1] SN 640 002 Recensements de la circulation, comptages
[2] SN 640 003 Recensements de la circulation, enquêtes
[3] SN 640 005 Courbes caractéristiques de variation et trafic journalier moyen TJM; y compris annexe SN 640 005 Courbes de variation caractéristiques du trafic lourd
[4] SN 640 016 Trafic déterminant
[5] SN 640 017 Capacité, niveau de service, charges compatibles; norme de base
[6] SN 640 022 Capacité, niveau de service, charges compatibles; carrefours sans feux de circulation
[7] SN 640 023 Capacité, niveau de service, charges compatibles; carrefours avec feux de circulation
[8] SN 640 024 Capacité, niveau de service, charges compatibles; carrefours giratoires
[9] SN 640 025 Démarche pour la planification de concepts d'exploitation et d'aménagement de routes à fonction trafic
[10] SN 640 042 Projet, bases; type de route: routes principales
[11] SN 640 043 Projet, bases; type de route: routes de liaison
[12] SN 640 110 Tracé, éléments du profil en long
[13] SN 640 138 Tracé, voies additionnelles en rampe
[14] SN 640 200 Profils géométriques types, principes généraux
[15] SN 640 201 Profils géométriques types, dimensions de base
[16] SN 640 202 Profils géométriques types, élaboration
[17] SN 640 898 Chantiers sur routes principales et secondaires
[18] Richtlinien für die Anlage von Strassen, Teil: Querschnitte (RAS-Q 96), Forschungsgesellschaft für Strassen und Verkehrswesen, Ausgabe 1996
[19] Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufs auf Strassen, Deutsches HCM, Entwurf eines Handbuches, Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr Universität Bochum, 1993

Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute
Union des professionnels suisses de la route
Unione dei professionisti svizzeri della strada
Association of Swiss Road and Traffic Engineers

Schweizer Norm
Norme Suisse
Norma Svizzera
Swiss Standard

640 022

EINGETRAGENE NORM DER SCHWEIZERISCHEN NORMEN-VEREINIGUNG SNV NORME ENREGISTREE DE L'ASSOCIATION SUISSE DE NORMALISATION

Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit

Knoten ohne Lichtsignalanlage

A. Allgemeines

1. Geltungsbereich

Diese Norm gilt für Einmündungen und vierarmige Kreuzungen ohne Lichtsignalanlage oder ohne Kreisverkehr. Die Anwendbarkeit schliesst Knoten ohne signalisierte Vortrittsregelung oder mit abknickender Hauptstrassenrichtung vom Berechnungsverfahren aus.
Diese Norm ist gemäss [5] auf Knoten mit einem grossen Aufkommen von Fussgängern oder leichtem Zweiradverkehr sowie auf Knoten in Nachbarschaft von Knoten mit Lichtsignalanlagen oder von Bahnübergängen nur bedingt anwendbar.

2. Gegenstand

Diese Norm beschreibt das Verfahren zur Abschätzung der Leistungsfähigkeit von Knoten ohne Lichtsignalanlage und ermöglicht die Beurteilung der Verkehrsqualität. Damit kann bei einer gegebenen Verkehrsstärke die zu erwartende Verkehrsqualität abgeschätzt werden oder ein Vergleich mit einer angestrebten Qualitätsstufe vorgenommen werden. Darüber hinaus werden Entscheidungsgrundlagen bereitgestellt, ob eine Änderung der Regelungs- oder Ausbauform des Knotens zur Gewährleistung der Funktionsfähigkeit notwendig ist.

3. Zweck

Diese Norm dient der Vereinheitlichung des Verfahrens zur Leistungsschätzung und zur Beurteilung der Verkehrsqualität von Knoten ohne Lichtsignalanlage bei den drei in der Grundlagennorm [1] beschriebenen Anwendungen (angebotsorientiertes Verfahren, nachfrageorientiertes Verfahren, Leistungsanalyse).

Capacité, niveau de service, charges compatibles

Carrefours sans feux de circulation

A. Généralités

1. Domaine d'application

Cette norme s'applique aux embranchements et aux carrefours à quatre branches sans feux de signalisation ou sans giratoire. Le procédé de calcul n'est pas applicable aux carrefours sans régime de priorité signalisé ainsi qu'à ceux où la route principale change de direction.
Cette norme selon [5] n'est applicable aux carrefours avec une grande affluence de piétons ou de deux-roues légers ainsi qu'aux carrefours situés à proximité de carrefours à feu ou de passages à niveau qu'à certaines conditions.

2. Objet

Cette norme décrit la démarche pour l'estimation de la capacité de carrefours sans feux de circulation et permet l'évaluation du niveau de service. On peut ainsi estimer pour un débit de circulation donné le niveau de service souhaité ou procéder à une comparaison avec un niveau de service recherché. En outre, elle permet de créer des bases de décision en vue de déterminer si une modification de la régulation ou du type de carrefour est nécessaire pour garantir l'aptitude au service.

3. But

Cette norme permet d'uniformiser la démarche pour l'estimation de la capacité et l'évaluation du niveau de service de carrefours sans feux de circulation pour les trois applications décrites dans la norme [1] (procédure d'après l'offre, procédure d'après la demande, analyse des performances).

Herausgeber:
Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS)
Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich
Zuständig: VSS-Kommission 2, Planung und Projektierung
Bearbeitung: Arbeitsgruppe 22, Verkehrsplanung
Genehmigt: Mai 1999

Editeur:
Union des professionnels suisses de la route (VSS)
Seefeldstrasse 9, 8008 Zurich
Responsable: Commission VSS 2, Planification et projet
Elaboration: Groupe de travail 22, Planification de la circulation
Adoptée: mai 1999

© 1999 by VSS Zurich

SN nach Bde / par vol. | SN nach Nr. / par No | EN nach Nr. / par No | EN nach TC / par TC

B. Berechnungsverfahren

4. Abgrenzungen

Das Berechnungsverfahren gilt für Knoten, die den Normanforderungen bezüglich Gestaltung und Sichtverhältnisse [2], [3], [4] genügen. Bei eingeschränkten Sichtweiten [4] oder bei Kreuzungswinkeln der Knotenäste von < 70 gon kann die Leistungsfähigkeit des Knotens reduziert werden.

Die Untersuchungen [5] haben zudem gezeigt, dass bei starken Rechtsabbiegeströmen (Anteil der Zufahrtsstärke > 50%) aus der Hauptstrasse (Verkehrsstrom 3 bzw. 9; Ziffer 6) die Vortrittsregelung durch Linkseinbiegeströme (Verkehrsstrom 4 bzw. 10) missachtet wird. Dies führt in der Regel zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit dieser Ströme.

Die Resultate sind entsprechend kritisch zu beurteilen und gegebenenfalls mit einem Simulationsmodell zu überprüfen.

5. Generelles Vorgehen

Festlegen Regime und Rangfolge

Festlegen der gewünschten Qualitätsstufe

↓

Ermittlung der massgebenden Belastungen pro Strom

↓

Ermittlung der massgebenden Hauptstrombelastungen q_{pi}

↓

Ermittlung der Grundleistungsfähigkeit G_i

↓

Ermittlung der maximalen Leistungsfähigkeit L_i bzw. L_m und der Wahrscheinlichkeit des staufreien Zustandes $p_{o,i}$

↓

Berechnung der Belastungsreserve R_i, Bestimmung der mittleren Wartezeit w_i

↓

Vergleich der angestrebten Qualitätsstufe und Wartezeit w

B. Procédé de calcul

4. Délimitation

Le procédé de calcul est valable pour les carrefours qui répondent aux exigences normatives quant à l'aménagement et aux conditions de visibilité [2], [3], [4]. En cas de visibilité restreinte [4] ou lorsque les branches du carrefour forment entre elles des angles < 70 gon, la capacité du carrefour peut être réduite.

Les études [5] ont en outre montré qu'en cas de forts courants tourne à droite (pourcentage du trafic entrant > 50%) provenant de la route principale (courant de circulation 3 resp. 9; chiffre 6), le régime de priorité n'est pas respecté par les courants tourne à gauche entrant (courant de circulation 4 resp. 10). En général, cela entraîne une augmentation de la capacité de ces courants.

Les résultats doivent être évalués de manière critique et, le cas échéant, contrôlés avec un modèle de simulation.

5. Déroulement général

Déterminer le régime et la hiérarchie

Déterminer le niveau de service recherché

↓

Définir les débits déterminants par courant

↓

Définir les débits déterminants des courants principaux q_{pi}

↓

Définir la capacité de base G_i

↓

Déterminer la capacité maximale L_i et L_m ainsi que la probabilité d'un état sans saturation $p_{o,i}$

↓

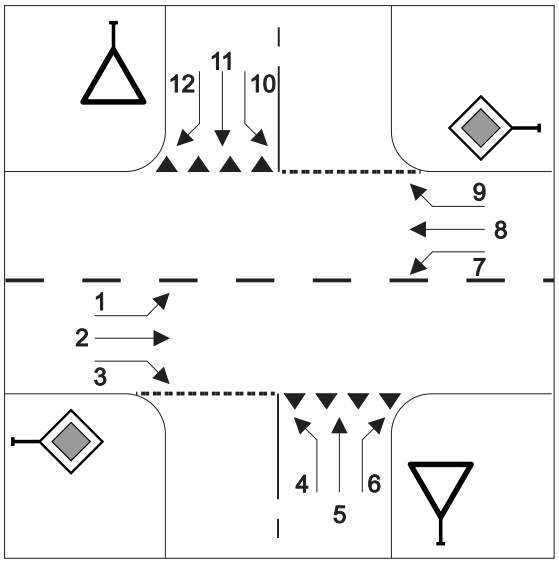
Calculer la réserve de débit R_i, déterminer le temps d'attente moyen w_i

↓

Comparer le niveau de service recherché et le temps d'attente w

6. *Bezeichnung der Ströme und Rangfolge*

a) Kreuzung / Carrefour

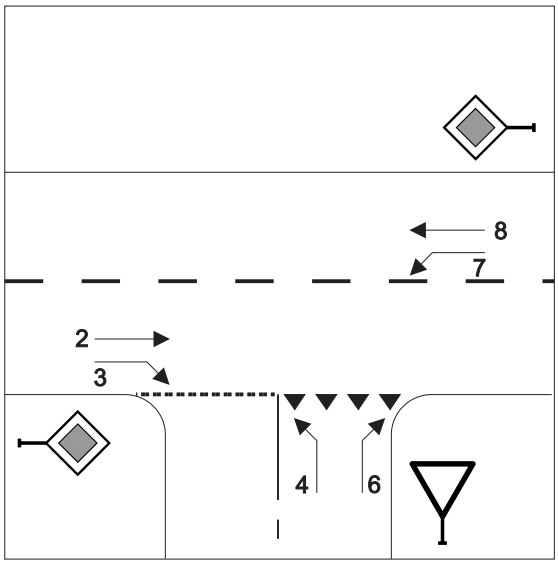


Rang 1 Strom / courant 2, 3, 8, 9
Rang 2 Strom / courant 1, 7, 6, 12
Rang 3 Strom / courant 5, 11
Rang 4 Strom / courant 4, 10

Abb. 1
Bezeichnung der Verkehrsströme an der Kreuzung a) und Einmündung b)

6. *Désignation des courants et hiérarchie*

b) Einmündung / Embranchement



Rang 1 Strom / courant 2, 3, 8
Rang 2 Strom / courant 7, 6
Rang 3 Strom / courant 4

Fig. 1
Désignation des courants de circulation dans un carrefour a) et dans un embranchement b)

7. *Ermittlung der massgebenden Hauptstrombelastung*

7. *Définition du débit du courant principal déterminant*

Linksabbieger von der Hauptstrasse	[F1]	$q_{p1} = q_8 + q_9$ [3)]	Tourne à gauche sortant de la route principale
	[F2]	$q_{p7} = q_2 + q_3$ [3)]	
Rechtseinbieger aus der Nebenstrasse	[F3]	$q_{p6} = q_2$ [2)] $+ 0{,}5 \cdot q_3$ [1)]	Tourne à droite provenant de la route secondaire
	[F4]	$q_{p12} = q_8$ [2)] $+ 0{,}5 \cdot q_9$ [1)]	
Kreuzen aus der Nebenstrasse	[F5]	$q_{p5} = q_2 + 0{,}5 \cdot q_3$ [1)] $+ q_8 + q_9$ [3)] $+ q_1 + q_7$	Croisement provenant de la route secondaire
	[F6]	$q_{p11} = q_8 + 0{,}5 \cdot q_9$ [1)] $+ q_2 + q_3$ [3)] $+ q_1 + q_7$	
Linkseinbieger aus der Nebenstrasse	[F7]	$q_{p4} = q_2 + 0{,}5 \cdot q_3$ [1)] $+ q_8 + q_1 + q_7 + q_{12}$ [4)] $+ q_{11}$	Tourne à gauche provenant de la route secondaire
	[F8]	$q_{p10} = q_8 + 0{,}5 \cdot q_9$ [1)] $+ q_2 + q_1 + q_7 + q_6$ [4)] $+ q_5$	

Anmerkungen:
Die Indizes und Nummern beziehen sich auf die Verkehrsströme nach Abbildung 1

1) q_3 bzw. q_9 müssen nicht berücksichtigt werden, wenn ein separater Streifen für den Rechtsabbieger vorhanden ist.
2) Bei mehr als einem Streifen auf der bevorrechtigten Strasse gilt für die Ströme 2 und 8 jeweils die Belastung auf dem rechten Fahrstreifen.
3) q_3 und q_9 müssen nicht berücksichtigt werden, wenn eine Dreiecksinsel für den Rechtsabbieger vorhanden ist und dieser mit «Kein Vortritt» oder «Stop» belastet ist.
4) q_6 und q_{12} entfallen, wenn diese Ströme durch eine Dreiecksinsel abgetrennt und mit «Kein Vortritt» oder «Stop» belastet sind.

Remarques:
Les indices et les numéros se rapportent aux courants de circulation selon figure 1.

1) q_3 et q_9 ne doivent pas être pris en considération s'il existe une voie pour tourne à droite.
2) Lorsque la route prioritaire compte plus d'une voie, on appliquera pour les courants 2 et 8 le débit de la voie de droite.
3) q_3 et q_9 ne doivent pas être pris en considération s'il existe un ilôt triangulaire pour tourne à droite et que celui-ci comporte une signalisation «Cédez-le-passage» ou «Stop».
4) q_6 et q_{12} deviennent caducs si ces courants sont séparés par un ilôt triangulaire et signalisés par un «Cédez-le passage» ou un «Stop».

8. Umrechnung der Verkehrsbelastungen in PWE/h der einzelnen Nebenströme

Fall 1: Belastung der einzelnen Fahrzeugkategorien unbekannt

[F9] q_i (PWE) = f (FZ) · q_i (FZ)

wobei f = Umrechnungsfaktor gemäss Tabelle
q_i = Verkehrsstärke eines Stromes [PWE/h]

Tab. 1
Umrechnungsfaktoren f bei unbekannten Belastungen der einzelnen Fahrzeugkategorien

Neigungsverhältnisse*	+4%	+2%	±0%	−2%	−4%	Déclivité*
f (Fz)	1,7	1,4	1,1	1,0	0,9	f (vhc)

* Neigungsverhältnisse in Fahrrichtung zum Knoten

Fall 2: Belastung der einzelnen Fahrzeugkategorien bekannt

[F10] q_i = f (PW) · q_i (PW) + f (LW) · q_i (LW) + f (LZ) · q_i (LZ) + f (MR) · q_i (MR) + f (FR) · q_i (FR)

wobei f = Umrechnungsfaktor einer Fahrzeugkategorie gemäss Tabelle
q_i = Verkehrsstärke eines Stromes [PWE/h]

Tab. 2
Umrechnungsfaktoren f bei bekannten Belastungen der einzelnen Fahrzeugkategorien

Neigungsverhältnisse*	+4%	+2%	±0%	−2%	−4%	Déclivité*
f (PW)	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	f (voit)
f (LW)	3,0	2,0	1,5	1,2	1,0	f (cam)
f (LZ)	6,0	3,0	2,0	1,5	1,2	f (TR)
f (MR)	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	f (mot)
f (FR)	–	–	0,25	–	–	f (vélo)

* Neigungsverhältnisse in Fahrrichtung zum Knoten

9. Grundleistungsfähigkeit G

Die Grundleistungsfähigkeit G für die einzelnen Nebenströme und die verschiedenen Fahrvorgänge (Linksabbiegen, Links-, Rechtseinbiegen, Kreuzen) wird aufgrund des Diagrammes (Abbildung 2) ermittelt. Vergleiche zwischen dem Berechnungsmodell [6] bzw. [7| und der effektiven Leistungsfähigkeit haben für die Schweiz eine zu tiefe berechnete Leistungsfähigkeit ergeben. Aus diesem Grund wurden die Grundleistungsfähigkeiten um 90 PWE/h im Diagramm (Abbildung 2) erhöht.

8. Conversion des débits de circulation des différents courants secondaires en unité de véhicule (uvp/h)

Cas 1: Débit des différentes catégories de véhicules inconnu

[F9] q_i (UVP) = f (vhc) · q_i (vhc)

où f = facteur de conversion selon tableau
q_i = débit de circulation d'un courant [UVP/h]

Tab. 1
Facteurs de conversion f lorsque le débit des différentes catégories de véhicules est inconnu

* Déclivité en direction du carrefour

Cas 2: Débit des différentes catégories de véhicules connu

[F10] q_i = f (voit) · q_i (cam) + f (cam) · q_i (cam) + f (TR) · q_i (TR) + f (mot) · q_i (mot) + f (vélo) · q_i (vélo)

où f = facteur de conversion d'une catégorie de véhicule selon tableau
q_i = débit de circulation d'un courant [UVP/h]

Tab. 2
Facteurs de conversion f lorsque le débit des différentes catégories de véhicules est connu

* Déclivité en direction du carrefour

9. Capacité de base G

La capacité de base G pour chacun des courants secondaires et les différentes séquences (tourne à gauche sortant, tourne à gauche et à droite entrant, croisement) sont déterminés sur la base du diagramme (figure 2). Des comparaisons entre le modèle de calcul [6] et [7] et la capacité effective ont conduit à une capacité calculée trop bases pour la Suisse. Pour cette raison, les capacités de base du diagramme (figure 2) ont été augmentées de 90 UVP/h.

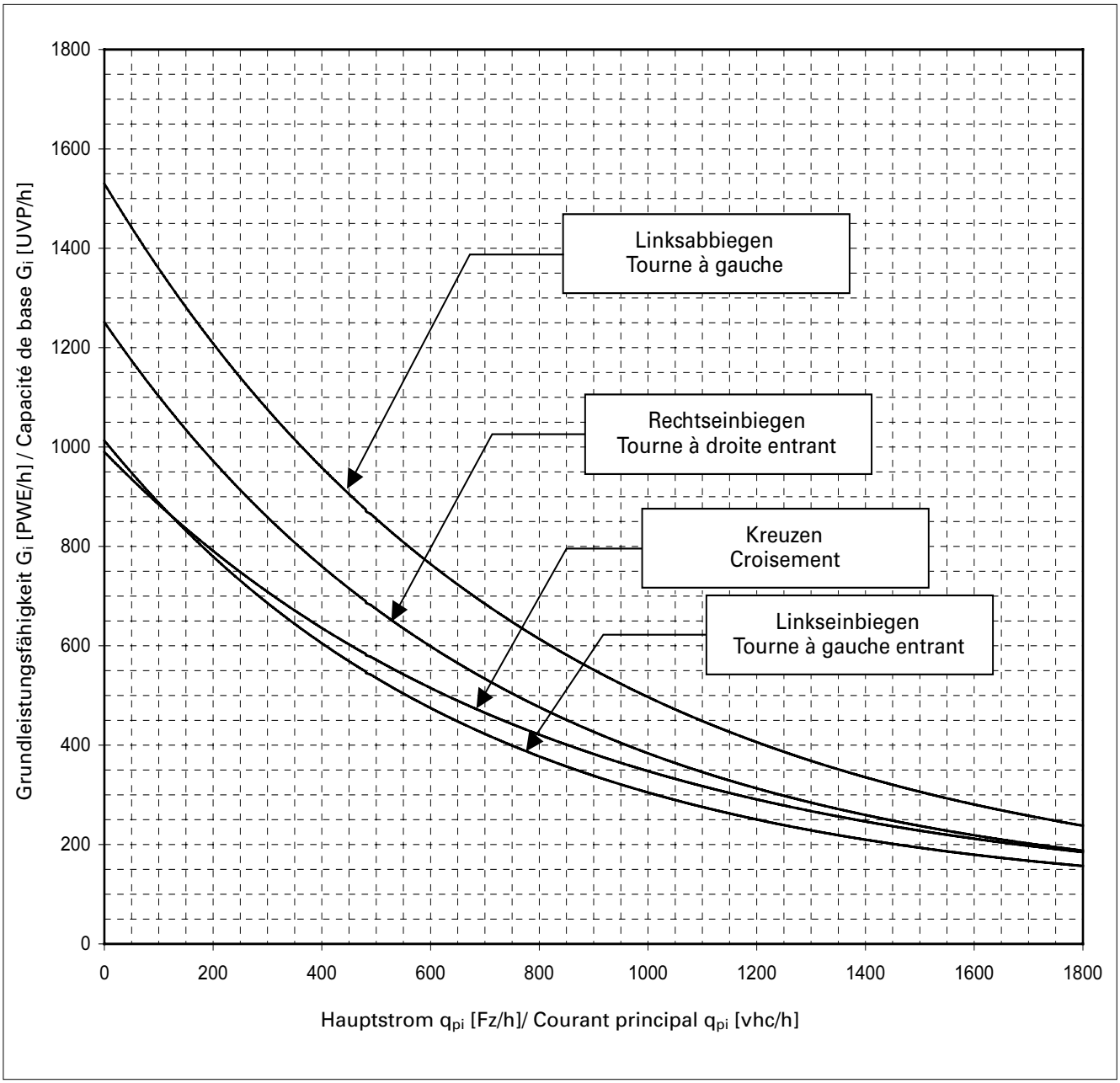


Abb. 2
Grundleistungsfähigkeiten der verschiedenen Fahrbeziehungen

Fig. 2
Capacité de base des différents courants de circulation

10. Maximale Leistungsfähigkeit L für Ströme zweiten Ranges

Für die Nebenströme zweiten Ranges (r = 2, Linksabbieger von der Hauptstrasse, Rechtseinbieger aus der Nebenstrasse) ist die Leistungsfähigkeit L_i gleich der Grundleistungsfähigkeit G_i.

[F11] $L_i = G_i$

wobei L = Leistungsfähigkeit [PWE/h]
G_i = Grundleistungsfähigkeit [PWE/h]
i = Ströme 1, 7, 6, 12

10. Capacité maximale L pour les courants du deuxième rang

Pour les courants secondaires du deuxième rang (r = 2, tourne à gauche de la route principale, tourne à droite provenant de la route secondaire), la capacité L_i est égale à la capacité G_i.

[F11] $L_i = G_i$

où L = capacité [UVP/h]
G_i = capacité de base [UVP/h]
i = courants 1, 7, 6, 12

11. Maximale Leistungsfähigkeit L für Ströme dritten und vierten Ranges

Bei Strömen dritten und vierten Ranges wird berücksichtigt, dass diese Ströme nur abfliessen können, wenn auf den Strömen mit dem Rang r = 2 und r = 3 kein Rückstau herrscht. Allgemein gilt für die Wahrscheinlichkeit $p_{o,i}$ eines rückstaufreien Warteraumes:

[F12] $p_{o,i} = 1 - a_i$ wobei $a_i = \frac{q_i}{L_i}$

wobei i = Ströme 1, 7, 6, 12, 5, 11
a_i = Auslastungsgrad des Nebenstromes
q_i = vorhandene Verkehrsstärke des Nebenstromes [PWE/h]
L_i = Leistungsfähigkeit des Stromes i gemäss Formel [F11] falls r = 2 oder [F15] und [F16] falls r = 3

Fall 1: Maximale Leistungsfähigkeit von Einmündungen

Für die Ermittlung der Leistungsfähigkeit des Stromes 4 (r = 3) muss die Grundleistungsfähigkeit mit der Wahrscheinlichkeit $p_{0,7}$ des rückstaufreien Zustandes im Linksabbiegestrom 7 abgemindert werden.

[F13] $L_4 = p_{0,7} \cdot G_4$, wobei $p_{0,7} = 1 - \frac{q_7}{L_7}$

Fall 2: Maximale Leistungsfähigkeit von Kreuzungen

Für die kreuzenden Ströme 5 und 11 gilt:

[F14] $p_x = p_{0,1} \cdot p_{0,7}$ mit $p_{0,1}$ und $p_{0,7}$ gemäss [F12]

[F15] $L_5 = p_x \cdot G_5$

[F16] $L_{11} = p_x \cdot G_{11}$

für die linkseinbiegenden Ströme 4, 10 aus der Nebenstrasse gilt:

[F17] $P_{y,i} = p_x \cdot p_{o,i}$ mit p_x gemäss [F14]

wobei i = Ströme 5, 11

Die tatsächlichen Wahrscheinlichkeiten $p_{z,5}$ und $p_{z,11}$ der staufreien Zustände in den Strömen 1, 7 und 5 bzw. 1, 7 und 11 können mit der Formel [F18] oder mit der Abbildung 3 bestimmt werden.

[F18] $p_{z,i} = 0{,}65 \cdot p_{y,i} - \frac{p_{y,i}}{p_{y,i} + 3} + 0{,}6 \cdot \sqrt{p_{y,i}}$

[F19] $L_4 = p_{z,11} \cdot p_{0,12} \cdot G_4$

[F20] $L_{10} = p_{z,5} \cdot p_{0,6} \cdot G_{10}$

11. Capacité maximale L pour les courants du troisième et quatrième rang

Pour les courants du troisième et quatrième rang, on tiendra compte que ces courants ne peuvent s'écouler que si aucun bouchon ne se produit sur les courants de rang r = 2 et r = 3. En général, la probabilité $p_{o,i}$ d'une zone d'attente sans bouchon est donnée par:

[F12] $p_{o,i} = 1 - a_i$ où $ai = \frac{q_i}{L_i}$

où i = courants 1, 7, 6, 12, 5, 11
a_i = degré d'utilisation du courant secondaire
q_i = débit de circulation du courant secondaire [UVP/h]
L_i = capacité du courant i selon formule [F11] pour le cas r = 2 ou [F15] et [F16] dans le cas r = 3

Cas 1: Capacité maximale des embranchements

Pour définir la capacité du courant 4 (r = 3), la capacité de base doit être réduite avec la probabilité $p_{0,7}$ d'un état sans bouchon dans le tourne à gauche.

[F13] $L_4 = p_{0,7} \cdot G_4$ où $p_{0,7} = 1 - \frac{q_7}{L_7}$

Cas 2: Capacité maximale de carrefour

Pour les courants 5 et 11 qui se croisent, on a:

[F14] $p_x = p_{0,1} \cdot p_{0,7}$ avec $p_{0,1}$ et $p_{0,7}$ selon [F12]

[F15] $L_5 = p_x \cdot G_5$

[F16] $L_{11} = p_x \cdot G_{11}$

pour les courants tourne à gauche provenant de la route secondaire, on a:

[F17] $P_{y,i} = p_x \cdot p_{o,i}$ avec p_x selon [F14]

où i = courants 5, 11

Les probabilités effectives $p_{z,5}$ et $p_{z,11}$ des états sans bouchon pour les courants 1, 7 et 5 ou 1, 7 et 11 peuvent être déterminées à l'aide de la fomule [F18] ou de la figure 3.

[F18] $p_{z,i} = 0{,}65 \cdot p_{y,i} - \frac{p_{y,i}}{p_{y,i} + 3} + 0{,}6 \cdot \sqrt{p_{y,i}}$

[F19] $L_4 = p_{z,11} \cdot p_{0,12} \cdot G_4$

[F20] $L_{10} = p_{z,5} \cdot p_{0,6} \cdot G_{10}$

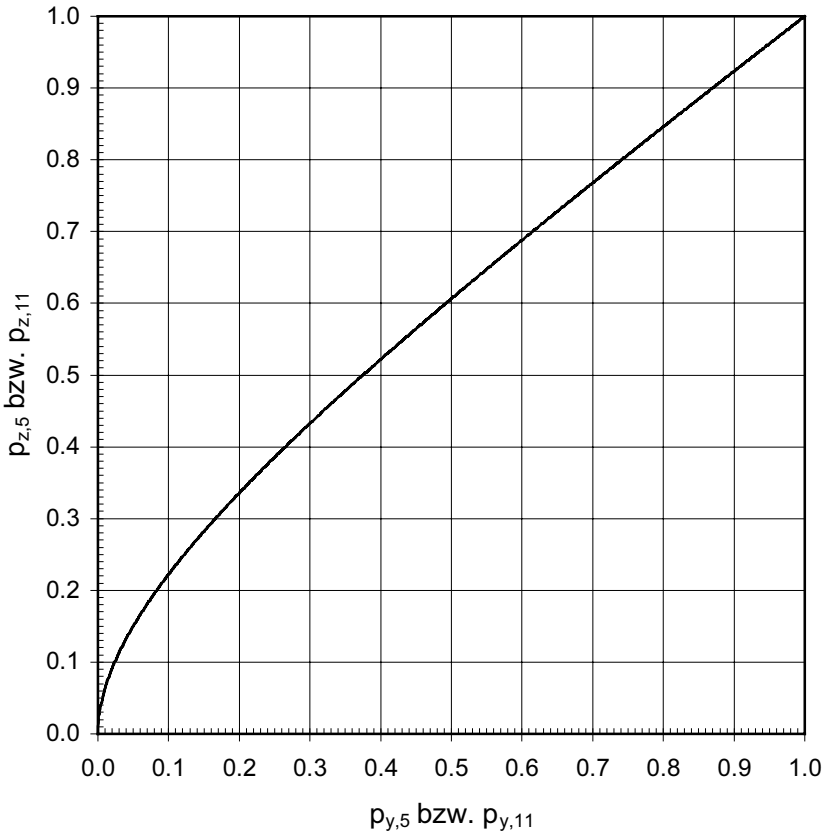


Abb. 3
Wahrscheinlichkeit des staufreien Zustandes in den Strömen 2. und 3. Ranges unter Berücksichtigung statistischer Abhängigkeiten

Fig. 3
Probabilité d'un état sans bouchon pour les courants de rang 2 et 3 compte tenu des relations statistiques

12. Mischstreifen

Als Mischstreifen werden Fahrstreifen bezeichnet, die im Knotenbereich von mehreren Strömen benutzt werden. In den Mischstreifen können sich die einzelnen Ströme gegenseitig behindern.

13. Leistungsfähigkeit L_m von Mischstreifen auf der Nebenstrasse

[F21] $$L_m = \frac{\sum q_i}{\sum a_i} \text{ mit } a_i = \frac{q_i}{L_i}$$

wobei
- i = Ströme 4, 5, 6 bzw. 10, 11, 12
- m = Index für einen Mischstreifen
- m = 4+5, 5+6, 4+5+6, 10+11, 11+12, 10+11+12 für Kreuzungen
- m = 4+6, 10+12 für Einmündungen
- L_m = vorhandene Leistungsfähigkeit des Mischstromes
- a_i = Auslastungsgrad des Mischstromes
- q_i = Verkehrsstärke des Nebenstromes
- L_i = Leistungsfähigkeit des Stromes i nach den Formeln [F11], [F13], [F15], [F16] oder [F19] und [F20]

14. Leistungsfähigkeit L_m von Mischstreifen auf der Hauptstrasse

Auf der Hauptstrasse können fehlende Abbiegestreifen für den Linksabbieger zu Behinderungen für erstrangige Fahrzeuge führen. Eine Abschätzung der Wahrscheinlichkeit $p_{0,i}$* des Auftretens eines Rückstaus kann mit folgender Formel erfolgen:

12. Voies mixtes

Par voies mixtes, on entend des voies qui, dans la zone de carrefour, sont utilisées par plusieurs courants. Dans les voies mixtes, les différents courants peuvent se gêner mutuellement.

13. Capacité L_m de voies mixtes sur la route secondaire

[F21] $$L_m = \frac{\sum q_i}{\sum a_i} \text{ avec } a_i = \frac{q_i}{L_i}$$

où
- i = courants 4, 5, 6 et 10, 11, 12
- m = indice pour une voie mixte
- m = 4+5, 5+6, 4+5+6, 10+11, 11+12, 10+11+12 pour carrefours
- m = 4+6, 10+12 pour embranchements
- L_m = capacité du courant mixte
- a_i = degré d'utilisation du courant mixte
- q_i = débit de circulation du courant secondaire
- L_i = capacité du courant i selon les formules [F11], [F13], [F15], [F16] ou [F19] et [F20]

14. Capacité L_m de voies mixtes sur la route principale

L'absence de voie de présélection pour les tourne à gauche peut donner lieu à des entraves pour les véhicules du premier rang. On peut estimer la probabilité $p_{0,i}$* de la formation d'un bouchon à l'aide de la formule suivante:

[F22] $p_{0,i}^* = 1 - \frac{q_i}{L_i} \times \frac{1800}{1800 - q_j - q_k}$

wobei i = Ströme 1 bzw. 7
j = Ströme 2 bzw. 8
k = Ströme 3 bzw. 9
Bemerkung:
q_j und q_k müssen gemäss den Formeln [F9] oder [F10] berechnet werden
$q_{j,k}$ = vorhandene Verkehrsstärke des Geradeausfahrers bzw. des Rechtsabbiegers [PWE/h]
L_i = Leistungsfähigkeit des Stromes i [PWE/h]

Um den Einfluss des Rückstaus auf den Hauptstrassenzufahrten auf die Leistungsfähigkeit der untergeordneten Nebenströme zu berücksichtigen, muss in den Formeln [F13], [F15] und [F16] bzw. [F18] für die Ströme 1 und 7 jeweils $p_{0,1}$ bzw. $p_{0,7}$ durch $p_{0,1}^*$ bzw. $p_{0,7}^*$ gemäss Formel [F22] ersetzt werden.

15. Leistungsreserve R der einzelnen Ströme

Die Leistungsfähigkeit beschreibt einen Verkehrszustand mit unzumutbar langen Wartezeiten und grossen Staulängen. Für die praktische Dimensionierung wird der Begriff Reserveleistung R als Differenz der Leistungsfähigkeit und der Bemessungsverkehrsstärke verwendet. Je grösser die Reserveleistung R ist, als desto besser wird die Qualität des Verkehrsablaufs bezeichnet.

[F23] $R_i = L_i - q_i$

[F24] $R_m = L_m - q_m$

wobei i = Ströme 1, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12
m = Index für einen Mischstrom
R_i, R_m = vorhandene Belastungsreserve des Stromes i bzw. m [PWE/h]
q_i, q_m = vorhandene Verkehrsstärke i bzw. m des Nebenstromes [PWE/h]
L_i, L_m = Leistungsfähigkeit des Stromes i bzw. m [PWE/h]

16. Mittlere Wartezeit w

Zwischen der Reserveleistung R und der mit der mittleren Wartezeit ausgedrückten Verkehrsqualität besteht ein Zusammenhang:

[F25] $w_i = f(L_i, R_i)$ bzw. $w_m = f(L_m, R_m)$

wobei i = Ströme 1, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12
w_i = mittlere Wartezeit der Fahrzeuge im Strom i [s]
f = gemäss Abbildung 4
L_i = Leistungsfähigkeit des Stromes i [PWE/h]
R_i = vorhandene Belastungsreserve des Stromes i [PWE/h]

Die Abhängigkeit der mittleren Wartezeit von der Leistungsfähigkeit L_i und der Reserveleistung R_i ist in der Abbildung 4 dargestellt. Die dargestellten Kurven sind Näherungswerte für alle wartepflichtigen Ströme und Mischströme. Für jede mittlere Wartezeit kann die entsprechende Qualitätsstufe gemäss Tabelle 3 abgelesen werden.

[F22] $p_{0,i}^* = 1 - \frac{q_i}{L_i} \times \frac{1800}{1800 - q_j - q_k}$

où i = courants 1 resp. 7
j = courants 2 resp. 8
k = courants 3 resp. 9
Remarque:
q_j et q_k doivent être calculés à l'aide des formules [F9] ou [F10]
$q_{j,k}$ = débit de circulation des conducteurs allant tout droit ou tournant à droite [UVP/h]
L_i = capacité du courant i [UVP/h]

Pour tenir compte de l'influence des bouchons des routes principales sur la capacité des courants secondaires, il faut remplacer pour les courants 1 et 7 dans les formules [F13], [F15] et [F16] ou [F18] chaque fois $p_{0,1}$ ou $p_{0,7}$ par $p_{0,1}^*$ ou $p_{0,7}^*$ selon la formule [F22].

15. Réserve de capacité des différents courants

La capacité décrit un état de circulation avec des temps d'attente intolérables et de grandes files d'attente. Pour le dimensionnement pratique, on utilise la notion de réserve de capacité R en tant que différence entre la capacité et le débit de circulation relatif au dimensionnement. Plus la réserve de capacité est grande, plus la fluidité du trafic est élevée.

[F23] $R_i = L_i - q_i$

[F24] $R_m = L_m - q_m$

où i = courants 1, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12
m = indice pour un courant mixte
R_i, R_m = réserve de débit du courant i et m [UVP/h]
q_i, q_m = débit de circulation du courant i et m [UVP/h]
L_i, L_m = capacité du courant i et m [UVP/h]

16. Temps d'attente moyen w

Il existe un rapport entre la réserve de capacité R et le niveau de service exprimé par le temps d'attente moyen:

[F25] $w_i = f(L_i, R_i)$ et $w_m = f(L_m, R_m)$

où i = courants 1, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12
w_i = temps d'attente moyen des véhicules du courant i [s]
f = selon figure 4
L_i = capacité du courant i [UVP/h]
R_i = réserve de débit du courant i [UVP/h]

La figure 4 décrit la relation entre le temps d'attente moyen d'une part et la capacité L_i et la réserve de capacité R_i d'autre part. Les courbes représentées sont des valeurs approximatives pour tous les courants mixtes et en attente. Pour chaque temps d'attente moyen, on peut déterminer le niveau de service correspondant selon le tableau 3.

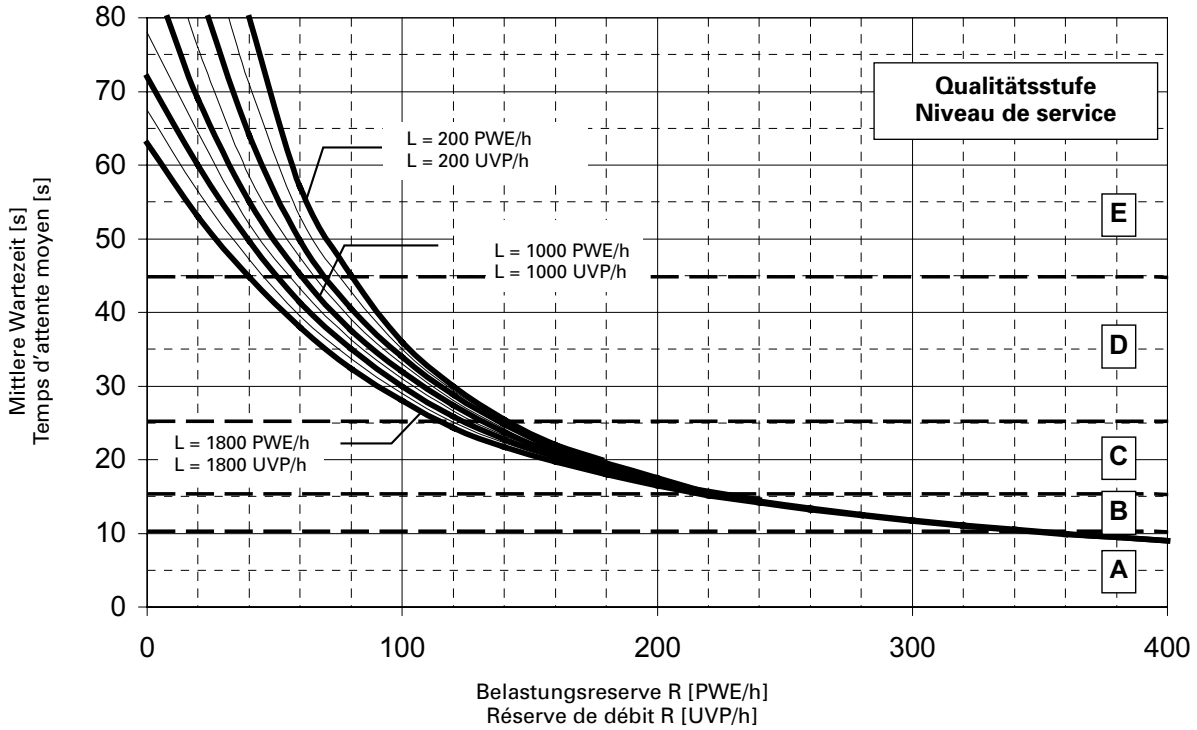


Abb. 4
Mittlere Wartezeit in Abhängigkeit von der Belastungsreserve und der Leistungsfähigkeit (nach Kimber, Hollis, 1979, [8])

Fig. 4
Temps d'attente moyen en fonction de la réserve de capacité et de la capacité (selon Kimber, Hollis, 1979, [8])

17. Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufes

Zur Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufes wird kontrolliert, ob bei einer vorhandenen Bemessungsverkehrsstärke q_i die vorgegebene mittlere Wartezeit w gemäss Tabelle 3 nicht überschritten wird.

[F26] $w_i \leq w$ bzw. $w_m \leq w$

wobei w_i = mittlere Wartezeit der Fahrzeuge in einem einzelnen Strom i [s]
w_m = mittlere Wartezeit der Fahrzeuge in einem Mischstrom [s]
w = für eine vorgegebene Qualitätsstufe angestrebte mittlere Wartezeit [s]

Die Beurteilung muss für alle untergeordneten Einzelströme und alle Mischströme erfolgen. Bei einer Gesamtbeurteilung des Knotens bezüglich der Verkehrssituation und bei der Bestimmung der Qualitätsstufen ist die kleinste Belastungsreserve (R_i, R_m) bzw. die grösste Wartezeit (w_i, w_m) massgebend. Als Grobbeurteilung kann das nachfolgende Schema angewendet werden:

① $R \geq 100$ in allen untergeordneten Strömen
– Ausreichende Qualität des Verkehrsablaufes
– Qualitätsstufe D oder besser
– Wartezeit im Mittel unter 45 s

② $0 < R < 100$ in einem untergeordneten Strom
– Kritische Verkehrsqualität
– Qualitätsstufe E
– Im Normalfall längere Wartezeiten als bei Knoten mit Lichtsignalanlage
– Detailprüfung mit Simulationsprogramm sinnvoll

17. Evaluation de la qualité de l'écoulement de la circulation

Pour évaluer la qualité de l'écoulement de la circulation, il convient de contrôler si le temps d'attente moyen donné w selon tableau 3 pour un débit de circulation existant q_i n'est pas dépassé.

[F26] $w_i \leq w$ resp. $w_m \leq w$

où w_i = temps d'attente moyen des véhicules dans un courant i [s]
w_m = temps d'attente moyen des véhicules dans un courant mixte [s]
w = temps d'attente moyen souhaité pour un niveau de service donné [s]

On effectuera l'évaluation pour tous les courants de rang inférieur et les courants mixtes. Lors d'une évaluation globale du carrefour relative aux conditions de la circulation et lors de la détermination des niveaux de service, c'est la plus petite réserve de capacité (R_i, R_m) ou le temps d'attente le plus long (w_i, w_m) qui est déterminant. Pour une évaluation sommaire, on peut appliquer le schéma suivant:

① $R \geq 100$ pour tous les courants de rang inférieur
– qualité suffisante de l'écoulement de la circulation
– niveau de service D ou meilleur
– temps d'attente moyen inférieur à 45 s

② $0 < R < 100$ dans un courant de rang inférieur
– niveau de service critique
– niveau de service E
– normalement, temps d'attente plus long que dans un carrefour à feu
– examen détaillé à l'aide d'un programme de simulation approprié

③ R < 0 in einem untergeordneten Strom
- Leistungsfähigkeit des Knotens überschritten
- Qualitätsstufe F
- Unzumutbar hohe Wartezeiten und Rückstaulängen
- Die Einrichtung eines Kreisverkehrsplatzes oder einer Lichtsignalanlage sollte geprüft werden

Tab. 3
Mittlere Wartezeiten für alle Qualitätsstufen

Qualitätsstufe	Mittlere Wartezeit w [s]	Beurteilung des Verkehrszustandes	
A	< 10	sehr gut	Ausgezeichnete Verkehrsqualität. Höchstens geringe Zeitverluste. Die Mehrzahl der Fahrzeuge muss in der Regel nicht warten.
B	10–15	sehr gut	Gute Verkehrsbedingungen. Geringe Beeinflussung der untergeordneten Ströme durch die vortrittsberechtigten Ströme. Die Wartezeiten sind tolerierbar.
C	15–25	gut	Befriedigende Qualität. Deutliche Beeinflussung der untergeordneten Ströme durch die vortrittsberechtigten Ströme. Spürbarer Anstieg der Wartezeit. Bildung von Stau, der aber bezüglich zeitlicher Dauer und räumlicher Ausdehnung keine nennenswerte Beeinträchtigung darstellt.
D	25–45	ausreichend	Ausreichende Verkehrsqualität. Auslastung nahe bei der zulässigen Belastung. Behinderungen in Form von Haltevorgängen. Stabilität der Verkehrssituation hinsichtlich Stau und Wartezeiten.
E	> 45	kritisch	Mangelhafte Qualität des Verkehrszustandes. Übergang vom stabilen in den instabilen Verkehrszustand. Geringe Zunahmen der Verkehrsbelastungen führen zu stark ansteigenden Wartezeiten und Staulängen. Kein Stauabbau. Stark streuende Wartezeiten. Der Verkehr kann knapp bewältigt werden. Die Sicherheit nimmt deutlich ab.
F	–	–	Völlig ungenügender Zustand (Überlastung). Anzahl der zufliessenden Fahrzeuge grösser als die Leistungsfähigkeit. Lange, wachsende Kolonnen und hohe Wartezeiten. Weitere Reduktion der Sicherheit.

③ R < 0 dans un courant de rang inférieur
- capacité du carrefour dépassée
- niveau de service F
- temps d'attente et longueur des files d'attente intolérables
- l'installation d'un giratoire ou de feux de circulation doit être examinée

Tab. 3
Temps d'attente moyen pour les niveaux de service

Niveau de service	Temps d'attente moyen [s]	Evaluation de l'état de la circulation	
A	< 10	très bon	Niveau de service excellent. Tout au plus, perte de temps minime. En général, la majorité des véhicules ne doit pas attendre.
B	10–15	très bon	Bonnes conditions de circulation. Les courants prioritaires n'influencent que très peu les courants de rang inférieur. Les temps d'attente sont tolérables.
C	15–25	bon	Niveau de service satisfaisant. Les courants de circulation prioritaires ont une influence marquée sur les courants de rang inférieur. Augmentation perceptible du temps d'attente. Formation de bouchons qui, compte tenu de leur durée et de leur étendue, ne présentent pas d'entraves notables.
D	25–45	suffisant	Niveau de service suffisant. Degré d'utilisation proche de la capacité admissible. Entraves sous forme d'arrêts successifs. Situation stable concernant les bouchons et les temps d'attente.
E	> 45	critique	Niveau de service insuffisant. Passage d'un état de circulation stable à un état instable. De petites augmentations de débits de circulation génèrent des durées de temps d'attente et des longueurs de bouchon croissantes. La circulation peut à peine être écoulée. La sécurité diminue fortement.
F	–	–	Etat complètement insuffisant (saturation). Le nombre des véhicules à écouler est plus grand que la capacité. La longueur des colonnes s'accroît. Longues attentes. Diminution de la sécurité.

C. Belastbarkeit

18. Umweltbedingte Belastbarkeit

Haltevorgänge sowie stockender Kolonnenverkehr führen in der Regel zu erhöhten Luftschadstoffemissionen. Sie hängen von den mittleren Wartezeiten und somit teilweise auch von der vorherrschenden Verkehrsqualitätsstufe ab. Generelle Obergrenzen für Verkehrsstärken können daraus aber nicht abgeleitet werden.
Die städtebauliche Verträglichkeit der Fahrstreifenanordnung ist im Einzelfall zu prüfen.

19. Sicherheitsbedingte Belastbarkeit

Aufgrund der anzustrebenden Qualitätsstufe (Ziffer 17) und Ausbaustandards [2] wurden bereits sicherheitsbezogene Aspekte berücksichtigt. Eine generelle Abhängigkeit von den Verkehrsstärken der einzelnen Fahrstreifen kann nicht angegeben werden.

20. Unterhaltsbedingte Belastbarkeit

Die zur Erhaltung des Bauwerks notwendigen Baustellen haben teilweise Kapazitätseinschränkungen zur Folge. Wird die Anzahl Fahrstreifen in einem Knotenast infolge einer Baustelle oder Unterhaltsarbeiten reduziert, so verändert sich die Leistungsfähigkeit bzw. die Verkehrsqualität je nach Fahrstreifenanordnung.

C. Charges compatibles

18. Charges compatibles avec l'environnement

Des arrêts successifs ainsi que de files au ralenti conduisent en général à une augmentation de la pollution de l'air. Elles dépendent des temps d'attente moyens et aussi partiellement du niveau de service. On ne peut cependant pas en déduire des limites supérieures générales pour les débits de circulation.
La compatibilité avec le milieu urbain de la disposition des voies de circulation fera l'objet d'un examen pour chaque cas particulier.

19. Charges compatibles avec la sécurité

Sur la base du niveau de service souhaité (chiffre 17) et du degré d'aménagement [2], on a d'ores et déjà tenu compte des aspects de la sécurité. Il n'est pas possible d'indiquer une relation générale avec les débits des différentes voies de circulation.

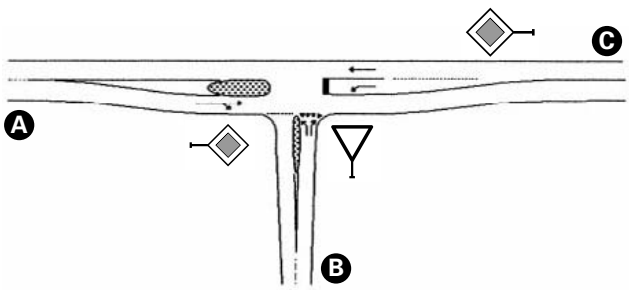
20. Charges compatibles avec l'entretien

Les chantiers nécessaires à l'entretien des ouvrages ont pour conséquence une diminution partielle de la capacité. Si un chantier ou des travaux d'entretien ont pour conséquence une réduction du nombre de voies d'une branche de carrefour, une modification de la capacité et du niveau de service interviendra selon la disposition des voies de circulation.

D. Berechnungsbeispiele

21. Einmündung

Situation



D. Exemples de calcul

21. Embranchement

Situation

Hauptstrasse / route principale: *A ← → C*
Nebenstrasse / route secondaire: *B*

Verkehrsdaten: *Abendspitzenstunde / Pointe horaire du soir*
Données trafic ☒ *Prognose / Prévisions*
☐ *Analyse / Analyse*

Zielvorgaben / But à atteindre
Mittlere Wartezeit w /
Temps d'attente moyen w: *45 sec*
Qualitätsstufe / Niveau de service: *D*

Knotengeometrie / *Géométrie du carrefour*

Zufahrt *Accès*	Strom *Courant*	Streifen *Voie*	Längsneigung *Déclivité* [% in Fahrrichtung Knoten] *[% en direction du carrefour]*	Dreiecksinsel und Vortrittsbeschränkung *Ilôt triangulaire et restriction de la priorité*
A	2	1	0	
	3	0	0	nein / *non*
B	4	1	0	
	6	1	0	nein / *non*
C	7	1	0	
	8	1	0	

Knotenbelastungen / *Débit du carrefour*								
Zufahrt *Accès*	Strom *Courant*	PW *voit* [PW/h] *[voit/h]*	LW *cam* [LW/h] *[cam/h]*	LZ *train routier* [LZ/h] / *[TR/h]*	MR *mot* [MR/h] *[mot/h]*	FR *vélo* [FR/h] *[vélo/h]*	Total	
							Fz / *vhc* [Fz/h] *[vhc/h]*	PWE *UVP* [PWE/h] / *[UVP/h]*
A	2	560		10			570	580
	3	190		10			200	210
B	4	170		10			180	190
	6	130		0			130	130
C	7	110		5			115	120
	8	400		25			425	450

Grundleistungsfähigkeit / *Capacité de base*				
Strom *Courant*	Belastungen *Débits*		Massgebender Hauptstrom q_{pi} *Courant principal déterminant* q_{pi}	Grundleistungsfähigkeit G_i *Capacité de base* G_i
	[Fz/h] / *[vhc/h]*	[PWE/h] / *[UVP/h]*	[Fz/h] / *[voit/h]*	[PWE/h] / *[UVP/h]*
7	115	120	770	635
6	130	130	670	550
4	180	190	1210	250

Leistungsfähigkeit der zweitrangigen Ströme / *Capacité des courants de deuxième rang*				
Strom *Courant*	Leistungsfähigkeit L_i *Capacité* L_i [PWE/h] / *[UVP/h]*	Auslastungsgrad a_i *Degré d'utilisation* a_i	Wahrscheinlichkeit des staufreien Zustandes *Probabilité d'un état sans bouchon*	
			$p_{0,7}$	$p_{0,7}$*
7	635	0,189	0,811	–
6	550	0,236		

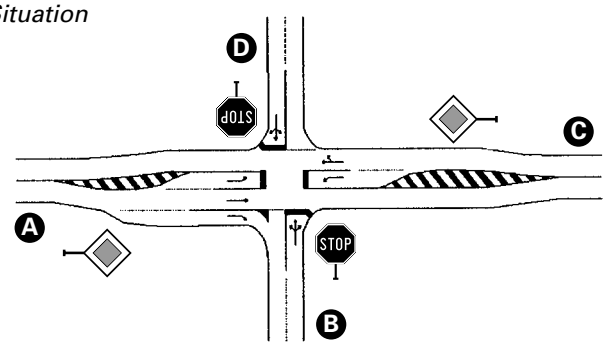
Leistungsfähigkeit des drittrangigen Stromes / *Capacité du courant de troisième rang*		
Strom *Courant*	Leistungsfähigkeit L_4 *Capacité* L_4 [PWE/h] / *[UVP/h]*	Auslastungsgrad a_4 *Degré d'utilisation* a_4
4	203	0,936

Leistungsfähigkeit des Mischstromes / *Capacité du courant mixte*				
Zufahrt *Accès*	Ströme *Courants*	Belastungen *Débits* [PWE/h] / *[UVP/h]*	Auslastungsgrad $\sum a_i$ *Degré d'utilisation* $\sum a_i$	Leistungsfähigkeit L_m *Capacité* L_m [PWE/h] / *[UVP/h]*
B	4+6	320	1,172	273

Beurteilung der Verkehrsqualität / *Evaluation du niveau de service*					
Strom *Courant*	Vorhandene Belastungsreserve R_i bzw. R_m *Réserve de débit existante* R_i *resp.* R_m [PWE/h] / *[UVP/h]*	Leistungsfähigkeit L_i bzw. L_m *Capacité* L_i *resp.* L_m [PWE/h] / *[UVP/h]*	Mittlere Wartezeit w_i bzw. w_m *Temps d'attente moyen* w_i resp. w_m [s]	Qualitätsstufe *Niveau de service*	Vergleich mit der angestrebten Wartezeit w bzw. Qualitätsstufe *Comparaison avec le temps d'attente w, resp. le niveau de service recherché*
7	515	635	5–10	A	<< 45 sehr gut / *très bon*
6	420	550	5–10	A	<< 45 sehr gut / *très bon*
4	13	203	> 80	E	>> 45 kritisch / *critique*
4+6	–47	273	> 80	E	>> 45 kritisch / *critique*

22. Kreuzung

Situation



22. Carrefour

Situation

Hauptstrasse / Route principale: *A ← → C*
Nebenstrasse / Route secondaire: *B ← → D*

Verkehrsdaten / *Abendspitzenstunde / Heure de pointe*
Données trafic: ☒ *Prognose / Prévisions*
☐ *Analyse / Analyse*

Zielvorgaben / But à atteindre
Mittlere Wartezeit w /
Temps d'attente moyen w: *45 sec*
Qualitätsstufe / Niveau de service: *D*

Knotengeometrie / *Géométrie du carrefour*				
Zufahrt *Accès*	Strom *Courant*	Streifen *Voie*	Längsneigung *Déclivité* [% in Fahrrichtung Knoten] *[% en direction du carrefour]*	Dreiecksinsel und Vortrittsbeschränkung *Ilôt triangulaire et restriction de la priorité*
A	1	1	0	
	2	1	0	
	3	1	0	nein / *non*
B	4	0	0	
	5	1	0	
	6	0	0	nein / *non*
C	7	1	0	
	8	1	0	
	9	0	0	nein / *non*
D	10	0	0	
	11	1	0	
	12	0	0	nein / *non*

Knotenbelastungen / *Débit du carrefour*								
Zufahrt *Accès*	Strom *Courant*	PW *voit* [PW/h] *[voit/h]*	LW *pd lourds* [LW/h] *[cam/h]*	LZ *train routier* [LZ/h] / *[TR/h]*	MR *mot* [MR/h] *[mot/h]*	FR *vélo* [FR/h] *[vhc/h]*	Total	
							Fz / *vhc* [Fz/h] *[vhc/h]*	PWE *UVP* [PWE/h] / *[UVP/h]*
A	1						30	33
	2						500	550
	3						220	242
B	4						170	187
	5						10	11
	6						60	66
C	7						90	99
	8						550	605
	9						0	0
C	10						5	6
	11						15	17
	12						20	22

Grundleistungsfähigkeit / *Capacité de base*				
Strom *Courant*	Belastungen *Débits*		Massgebender Hauptstrom q_{pi} *Courant principal déterminant q_{pi}*	Grundleistungsfähigkeit G_i *Capacité de base G_i*
	[Fz/h] / *[vhc/h]*	[PWE/h] / *[UVP/h]*	[FZ/h] / *[vhc/h]*	[PWE/h] / *[UVP/h]*
1	30	33	550	810
7	90	99	720	670
6	60	66	500	675
12	20	22	550	635
5	10	11	1170	300
11	15	17	1390	250
4	170	187	1205	250
10	5	6	1240	240

Leistungsfähigkeit der zweitrangigen Ströme / *Capacité des courants de deuxième rang*					
Strom *Courant*	Leistungsfähigkeit L_i *Capacité L_i* [PWE/h] / *[UVP/h]*	Auslastungsgrad a_i *Degré d'utilisation a_i*	Wahrscheinlichkeit des staufreien Zustandes *Probabilité d'un état sans bouchon*		
			$p_{0,i}$	$p_{0,i}$*	p_x
1	810	0,041	0,959	–	0,817
7	670	0,148	0,852	–	
6	675	0,098	0,902		
12	635	0,035	0,965		

Leistungsfähigkeit der drittrangigen Ströme / *Capacité des courants de troisième rang*					
Strom *Courant*	Leistungsfähigkeit L_i *Capacité* L_i [PWE/h] / *[UVP/h]*	Auslastungsgrad a_i *Degré d'utilisation* a_i	Wahrscheinlichkeit des staufreien Zustandes *Probabilité d'un état sans bouchon*		
			$p_{o,i}$	$p_{y,i}$	$p_{z,i}$
5	245	0,045	0,955	0,780	0,831
11	204	0,083	0,917	0,749	0,806

Leistungsfähigkeit der viertrangigen Ströme / *Capacité des courants du quatrième rang*		
Strom *Courant*	Leistungsfähigkeit L_i *Capacité* L_i [PWE/h] / *[UVP/h]*	Auslastungsgrad a_i *Degré d'utilisation* a_i
4	200	0,935
10	174	0,034

Leistungsfähigkeit des Mischstromes / *Capacité du courant mixte*				
Zufahrt *Accès*	Ströme *Courants*	Belastungen *Débits* [PWE/h] / *[UVP/h]*	Auslastungsgrad $\sum a_i$ *Degré d'utilisation* $\sum a_i$	Leistungsfähigkeit L_m *Capacité* L_m [PWE/h] / *[UVP/h]*
B	4+5	198	0,980	202
D	11+12	39	0,118	330

Beurteilung der Verkehrsqualität / *Evaluation du niveau de service*					
Strom *Courant*	Vorhandene Belastungsreserve R_i bzw. R_m *Réserve de débit existant* R_i *resp.* R_m [PWE/h] / *[UVP/h]*	Leistungsfähigkeit L_i bzw. L_m *Capacité* L_i *resp.* L_m [PWE/h] / *[UVP/h]*	Mittlere Wartezeit w_i bzw. w_m *Temps d'attente moyen* w_i *resp.* w_m [s]	Qualitätsstufe *Niveau de service*	Vergleich mit der angestrebten Wartezeit w bzw. Qualitätsstufe *Comparaison avec le temps d'attente w, resp. le niveau de service recherché*
1	777	810	5–10	A	<< 45 sehr gut / *très bon*
7	571	670	5–10	A	<< 45 sehr gut / *très bon*
6	609	675	5–10	A	<< 45 sehr gut / *très bon*
12	613	635	5–10	A	<< 45 sehr gut / *très bon*
5	234	245	15	B	<< 45 sehr gut / *très bon*
11	187	204	18	C	< 45 gut / *bon*
4	13	200	> 60	E	> 45 kritisch / *critique*
10	168	174	20	C	< 45 gut / *bon*
4/5/6	4	202	> 60	E	> 45 kritisch / *critique*
10/11/12	291	330	12	B	<< 45 sehr gut / *très bon*

E. Literaturverzeichnis

[1] SN 640 017 Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Grundlagennorm
[2] SN 640 251 Projektierung; Knoten, Knotenelemente
[3] SN 640 262 Projektierung; Knoten, Knoten in einer Ebene ohne Kreisverkehr
[4] SN 640 273 Projektierung, Knoten, Sichtverhältnisse
[5] Forschungsauftrag 13/95, «Einfaches Schätzverfahren zur Leistungsbeurteilung von Knoten», Ingenieurbüro Ballmer + Partner Aarau
[6] FGSV: Merkblatt zur Berechnung der Leistungsfähigkeit von Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlagen. Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen Arbeitsgruppe Verkehrsplanung
[7] Bundesministerium für Verkehr, «Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufes auf Strassen». Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 669
[8] Kimber R.M., Hollis E.M.: «Traffic Queues and Delays at Road Junctions», Transport and Road Research Laboratory (TRRL), Report Nr. LR 909, Crowthorne 1979

E. Bibliographie

[1] SN 640 017 Capacité, niveau de service, charges compatibles; norme de base
[2] SN 640 251 Elaboration des projets; carrefours; éléments de carrefours
[3] SN 640 262 Elaboration des projets; carrefours dénivelés non giratoires
[4] SN 640 273 Elaboration des projets; carrefours; visibilité
[5] Rapport de recherche 13/95, «Einfaches Schätzverfahren zur Leistungsbeurteilung von Knoten», Ingenieurbüro Ballmer + Partner Aarau
[6] FGSV: Merkblatt zur Berechnung der Leistungsfähigkeit von Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlagen. Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen Arbeitsgruppe Verkehrsplanung
[7] Bundesministerium für Verkehr, «Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufes auf Strassen». Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 669
[8] Kimber R.M., Hollis E.M.: «Traffic Queues and Delays at Road Junctions», Transport and Road Research Laboratory (TRRL), Report Nr. LR 909, Crowthorne 1979

Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute
Union des professionnels suisses de la route
Unione dei professionisti svizzeri della strada
Association of Swiss Road and Traffic Engineers

Schweizer Norm
Norme Suisse
Norma Svizzera
Swiss Standard

640 023

EINGETRAGENE NORM DER SCHWEIZERISCHEN NORMEN-VEREINIGUNG SNV NORME ENREGISTREE DE L'ASSOCIATION SUISSE DE NORMALISATION

Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit

Knoten mit Lichtsignalanlagen

A. Allgemeines

1. Geltungsbereich

Diese Norm gilt für Knoten in einer Ebene [5], die mit Lichtsignalanlagen [8] betrieben werden. Sie gilt nur für Fahrzeuge auf Fahrstreifen des Individualverkehrs und berücksichtigt auch Einflüsse von vortrittsbelasteten Verkehrsströmen. Der Fussgängerverkehr, der leichte Zweiradverkehr sowie der öffentliche Verkehr auf eigenen Fahrstreifen werden nur berücksichtigt, soweit sie Einfluss auf die Beurteilung der Leistungsfähigkeit, der Verkehrsqualität und der Belastbarkeit des Individualverkehrs haben.

2. Gegenstand

Diese Norm beschreibt ein Verfahren für die verkehrstechnische Dimensionierung und für die Beurteilung des Verkehrsablaufs auf Knoten mit Lichtsignalanlagen (LSA). Das Verfahren basiert auf dem Konzept der Grundlagennorm [4] sowie auf den Berechnungsempfehlungen in den Normen [9] und [10]. Es wird für jeden Fahrstreifen in den Knotenästen einzeln durchgeführt. Die Knotengeometrie entspricht den Anforderungen der Projektierungsnormen [6] und [7].
Dieses Verfahren berücksichtigt nur einfache Betriebsbedingungen und gilt für überschlägige Schätzungen. Für detaillierte Betrachtungen wie z.B. bei koordinierten Lichtsignalanlagen oder bei Privilegierung des öffentlichen Verkehrs wird auf die Normen [9], [10] und [11] verwiesen.

3. Zweck

Diese Norm dient der Vereinheitlichung des Verfahrens, um auf Knoten mit Lichtsignalanlagen entweder von einem gegebenen Verkehrsangebot auf die Leistungsfähigkeit, die Verkehrsqualität und die Belastbarkeit zu schliessen (angebotsorientiertes Verfahren), oder ausgehend von der Verkehrsnachfrage die zugehörige Verkehrsanlage zu dimensionieren (nachfrageorientiertes Verfahren). Sie zeigt auch den Weg, wie eine Beurteilung der Verkehrsqualität bei gegebener Verkehrsstärke und bei gegebenem Verkehrsangebot erfolgen kann (Leistungsanalyse).

Capacité, niveau de service, charges compatibles

Carrefours avec feux de circulation

A. Généralités

1. Domaine d'application

Cette norme s'applique aux carrefours à niveau [5] avec feux de circulation [8]. Elle s'applique uniquement aux véhicules empruntant les voies de circulation du transport individuel et tient compte des influences des courants de circulation non prioritaires. Le trafic piétons et deux-roues légers ainsi que les transports en commun sur des voies de circulation réservées ne sont pris en considération que dans la mesure où ils ont une influence sur la capacité, le niveau de service et les charges compatibles du transport individuel.

2. Objet

Cette norme décrit une démarche pour le dimensionnement selon la technique de circulation ainsi que pour l'évaluation de l'écoulement du trafic dans des carrefours avec feux de circulation. La démarche se fonde sur la norme de base [4] ainsi que sur les recommandations de calcul des normes [9] et [10]. On l'applique séparément pour chaque voie de circulation des branches du carrefour. La géométrie du carrefour correspond aux exigences des normes [6] et [7].
Cette démarche ne tient compte que de conditions d'exploitation simples et n'est valable que pour des estimations sommaires. Pour des considérations plus détaillées, telles que dans les cas de feux de circulation coordonnés ou de priorités aux transports en commun, on se référera aux normes [9], [10] et [11].

3. But

Cette norme permet d'uniformiser la démarche pour les carrefours avec feux de circulation afin qu'à partir d'une offre de transport donnée, on puisse en déduire la capacité, le niveau de service et les charges compatibles (procédure d'après l'offre) ou, en partant de la demande de transport, dimensionner les infrastructures de transport correspondantes (procédure d'après la demande). Elle montre également la démarche pour une évaluation du niveau de service dans le cas d'un débit de circulation et d'une offre de transport donnés (analyse des performances).

Herausgeber:
Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS)
Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich

Zuständig: VSS-Kommission 2, Planung und Projektierung

Bearbeitung: Arbeitsgruppe 22, Planung

Genehmigt: August 1999

Editeur:
Union des professionnels suisses de la route (VSS)
Seefeldstrasse 9, 8008 Zurich

Responsable: Commission VSS 2, Planification et Projet

Elaboration: Groupe de travail 22, Planification

Adoptée: août 1999

© 2000 by VSS Zurich

SN nach Bde / par vol. | SN nach Nr. / par No | EN nach Nr. / par No | EN nach TC / par TC

4. Begriffe

Die Begriffe sind in den Normen [4] bis [14] enthalten.

4. Définitions

Les définitions figurent dans les normes [4] à [14].

B. Verkehrstechnische Dimensionierung

B. Dimensionnement selon la technique de circulation

5. Wahl des Verfahrens

In der verkehrstechnischen Dimensionierung können grundsätzlich drei Verfahren [4] unterschieden werden:

5. Choix de la démarche

Pour le dimensionnement selon la technique de circulation, on distingue en principe trois démarches [4]:

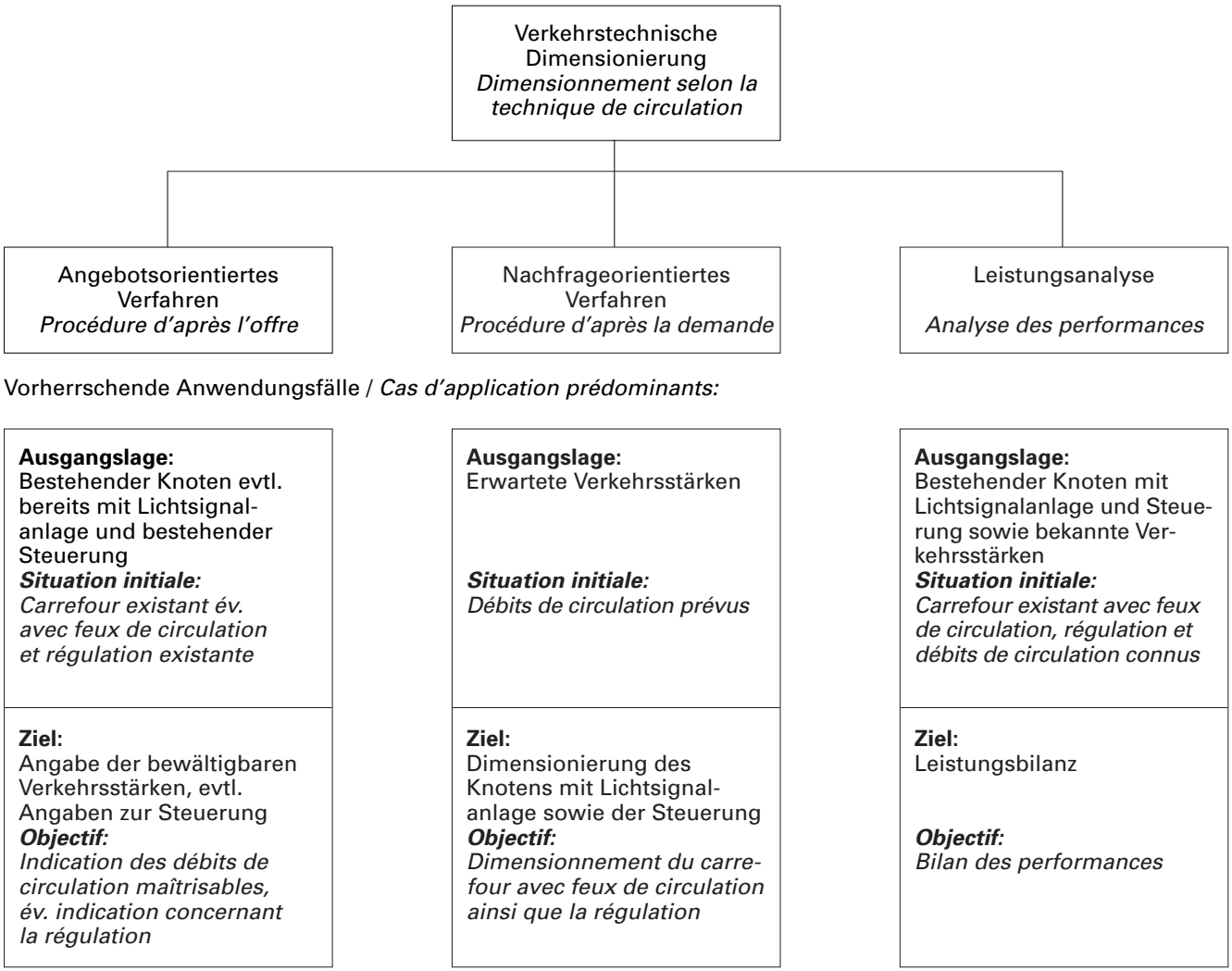


Abb. 1
Vorgehensweisen in der verkehrstechnischen Dimensionierung nach [4] mit Angabe des vorherrschenden Anwendungsfalles

Fig. 1
Démarche pour le dimesionnement selon la technique de circulation conformément à la norme [4] avec indication des cas d'application prédominant

Die Wahl des Verfahrens ergibt sich aus der konkreten Fragestellung. Im Anwendungsfall können mehrere Verfahren berücksichtigt werden.

6. Arbeitsschritte

Die Reihenfolge der Arbeitsschritte ist von der Wahl der Vorgehensweise abhängig. Sie ist aus der Tabelle 1 ersichtlich.
Während die Leistungsanalyse in einem Arbeitsdurchgang abgeschlossen ist, können sowohl für das angebotsorientierte als auch für das nachfrageorientierte Verfahren mehrere Iterationsschritte möglich sein.

Le choix de la démarche résulte de la manière concrète de poser le problème. Dans le cas particulier, on peut considérer plusieurs démarches.

6. Etapes

La succession des étapes dépend du choix de la démarche. Elle est indiquée dans le tableau 1.

Alors que l'analyse des performances est réalisée en une seule étape, plusieurs étapes itératives peuvent être nécessaires, tant pour la procédure d'après l'offre que pour celle d'après la demande.

Tab. 1
Arbeitsschritte der drei Verfahren in der verkehrstechnischen Dimensionierung

Verfahren	Angebotsorientiertes Verfahren	Nachfrageorientiertes Verfahren	Leistungsanalyse
1. Schritt	Bestimmen der massgebenden Verkehrsstärken je Knotenstrom (Ziffer 8)	Bestimmen der massgebenden Verkehrsstärken je Knotenstrom (Ziffer 8)	Vorhandene Strassen- und Betriebsbedingungen (Ziffer 9)
2. Schritt	Definitive Festlegung – Anzahl Fahrstreifen – Stauräume – Betriebsbedingungen (Ziffer 9)	Entwurf des Knotens – Anzahl Fahrstreifen – Stauräume – Betriebsbedingungen (Ziffer 9) – Zuordnung der Knotenströme zu den Fahrstreifen (Ziffer 8)	Ermitteln der massgebenden Verkehrsstärken je Knotenstrom bzw. je Fahrstreifen (Ziffer 8)
3. Schritt	Zuordnung der Knotenströme zu den Fahrstreifen (Ziffer 8)	Festlegung/Zuordnung der Verkehrsqualitätsstufen (Ziffer 11)	Ermitteln der bestehenden – Betriebsbedingungen – Grünzeitanteile (Ziffer 10)
4. Schritt	Abschätzen je Fahrstreifen – Leistungsfähigkeit und Rückstau (Ziffer 10) – Auslastungsgrad (Ziffer 11) – evtl. Wartezeit gemäss Normen [5], [6]		Beobachten/Messen je Fahrstreifen – Leistungsfähigkeit und Rückstau (Ziffer 10) – Wartezeit Ermittlung Auslastungsgrad (Ziffer 11)
5. Schritt	Gegenüberstellung an allen Fahrstreifen: zugeordnete Auslastungsgrade ↔ tatsächliche Auslastungsgrade		
6. Schritt	Abschätzung der Belastbarkeiten entsprechend Ziffern 12 bis 14, z.T. gemäss Normen [9], [10]		
7. Schritt	Kontrolle an allen Fahrstreifen oder Knotenästen: Belastbarkeiten ↔ Massgebende Verkehrsstärken/Leistungsfähigkeit/Verkehrsqualität		
8. Schritt	Angabe – Bewältigbare Verkehrsstärken (unter Berücksichtigung der Belastbarkeiten)	Angabe – Dimension des Knotens, Betriebsbedingungen (Hinweis auf Belastbarkeiten und allenfalls zu treffende Massnahmen)	Angabe – Leistungsreserve/-manko und Verkehrsqualitätsstufe (Hinweis auf die Belastbarkeiten)
Iteration	Veränderung massgebende Verkehrsstärken in Schritt 1	Wahl anderer Entwurfselemente in Schritt 2 (oder evtl. andere Knotenform nach Norm [5])	Keine Iterationsschritte notwendig

Tab. 1
Etapes pour les trois démarches de dimensionnement selon la technique de circulation

Démarche	Procédure d'après l'offre	Procédure d'après la demande	Analyse des performances
Etape 1	Détermination des débits de circulation déterminants par courant du carrefour (chiffre 8)	Détermination des débits de circulation déterminants par courant du carrefour (chiffre 8)	Conditions routières et d'exploitation existantes (chiffre 9)
Etape 2	Fixer définitivement: – nombre de voies de circulation – zones de stockage – conditions d'exploitation (chiffre 9)	Concevoir le carrefour – nombre de voies de circulation – zones de stockage – conditions d'exploitation (chiffre 9) – Attribution des courants du carrefour aux voies de circulation (chiffre 8)	Calculer les débits de circulation déterminants, resp. par courant de circulation et voie de circulation (chiffre 8)
Etape 3	Attribuer des courants du carrefour aux voies de circulation (chiffre 8)	Déterminer/attribuer les niveaux de service (chiffre 11)	Déterminer – conditions d'exploitation existantes – part du temps vert (chiffre 10)
Etape 4	Estimer par voie de circulation – capacité et file d'attente (chiffre 10) – degré d'utilisation (chiffre 11) – évent. temps d'attente selon normes [5], [6]		Observer/mesurer par voie de circulation – capacité et file d'attente (chiffre 10) – temps d'attente Détermination du degré d'utilisation (chiffre 11)
Etape 5	Comparer pour toutes les voies de circulation: degrés d'utilisation attribués ↔ degrés d'utilisation réel		
Etape 6	Estimer les charges compatibles conformément aux chiffres 12 à 14, partiellement selon normes [9], [10]		
Etape 7	Contrôler pour toutes les voies de circulation ou branches de carrefour: charges compatibles ↔ débit de circulation déterminants/capacité/niveau de service		
Etape 8	Indication – du débit de circulation maîtrisable (en tenant compte des charges compatibles)	Indication – dimensions du carrefour, conditions d'exploitation (en faisant référence aux charges compatibles et, le cas échéant, aux mesures à prendre)	Indication – réserve/déficit de capacité et niveaux de service (en faisant référence aux charges compatibles)
Itération	Modification des débits déterminants à l'étape 1	Choix d'autres éléments à l'étape 2 (ou év. autre forme de carrefour selon la norme [5])	Aucune itération

C. Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität

7. Merkmale

Die Merkmale der Strassenbedingungen sind den Normen [1] bis [3] sowie [6] bis [14] zu entnehmen. Bei bestehenden Knoten (Verfahren Leistungsanalyse) können die genannten Merkmale den Plan- bzw. den Steuerungsunterlagen entnommen werden.

8. Massgebende Verkehrsstärken

a) Stündliche Verkehrsstärken

Die verkehrstechnische Dimensionierung für Knoten mit Lichtsignalanlagen erfolgt in der Regel auf der Grundlage von stündlichen Verkehrsstärken. Da die Verkehrsqualität infolge der Schwankungen der Verkehrsstärke innerhalb der betrachteten Stunde zum Teil stark variieren kann, ist die Kenntnis der Verkehrsstärken in den Viertelstunden von Vorteil.
Als massgebende Verkehrsstärken stehen folgende Grössen im Vordergrund:
– Durchschnittliche Abendspitzenstunde als %-Anteil des DTV (in besonderen Fällen auch andere massgebende Spitzenstunden)
– Massgebender Verkehr, ermittelt aus Norm [3]

Bei vorhandenen Verkehrsanlagen soll wenn immer möglich auf Ergebnisse von Zählungen der Knotenströme in Viertelstundenintervallen [13] zurückgegriffen werden. Zukünftige Verkehrsstärken können aufgrund von Modellrechnungen geschätzt werden. Dabei können die Richtwerte in [3] eine Hilfe sein.
Die Ermittlung der massgebenden Spitzenstunden erfolgt durch die Auswertung der Verkehrszählungen [1], durch Analogiebetrachtungen anhand von Zählungen an benachbarten Knoten oder mittels typisierten Tagesganglinien aus Norm [2].

b) Viertelstündliche Verkehrsstärken (Spezialfälle)

Bei Knoten mit Lichtsignalanlagen, die zu Spitzenstunden im Bereich der Leistungsfähigkeit betrieben werden, können Schwankungen der Verkehrsstärken die Zufahrten zu den einzelnen Fahrstreifen blockieren, den Betrieb des öffentlichen Verkehrs behindern oder die Wartezeiten zeitweise sehr stark ansteigen lassen. In diesen Fällen ist eine Berücksichtigung von stündlichen Verkehrsstärken, die aus dem Vierfachen des stärksten Viertelstundenwertes berechnet werden, angezeigt. Falls die Viertelstundenwerte nicht bekannt sind, werden die stündlichen Verkehrsstärken pauschal mit einem Faktor von 1,2 multipliziert.

c) Verkehrsstärken der Fahrstreifen (Belastungsplan)

Die Verkehrsstärken der Knotenäste werden im Knotenbereich in die einzelnen Knotenströme unterteilt, den entsprechenden Fahrstreifen zugeordnet und als Verkehrsstärken der Knotenströme bzw. der Fahrstreifen bezeichnet. Die Verkehrsstärken der Fahrstreifen können in der verkehrstechnischen Dimensionierung Iterationsschritten unterliegen.

C. Capacité, niveau de service

7. Caractéristiques

Les caractéristiques des conditions routières et des conditions d'exploitation résultent des normes [1] à [3] ainsi que [6] à [14]. Pour des carrefours existants (démarche d'analyse des performances), les caractéristiques citées sont données dans les plans, resp. dans les documents relatifs à la commande des feux de circulation.

8. Débits de circulation déterminants

a) Débits horaires de circulation

On effectue le dimensionnement des carrefours avec feux de circulation selon la technique de circulation à partir des débits horaires déterminants. Etant donné que durant l'heure considérée, le niveau de service peut varier fortement par suite des fluctuations des débits de circulation, il est utile de connaître les débits de circulation au quart d'heure.
Comme débits de circulation déterminants, on considère avant tout les valeurs suivantes:
– moyenne des heures de pointe du soir en % du TJM (dans des cas particuliers également d'autres pointes horaires déterminantes)
– trafic déterminant calculé selon la norme [3]

Pour des infrastructures de transport existantes, on se réfèrera chaque fois que cela est possible aux résultats de comptages des courants de carrefour durant un quart d'heure [13]. Les débits de circulation futurs peuvent être estimés à l'aide de modélisation. A cet effet, les valeurs indicatives de la norme [3] peuvent être utiles.
Les heures de pointe déterminantes sont établies par dépouillement des comptages [1], par analogie à l'aide de comptages de carrefours voisins ou à l'aide de courbes caractéristiques de variation journalières selon la norme [2].

b) Débits de circulation du quart d'heure (cas spéciaux)

Pour des carrefours à feux exploités durant les heures de pointe à la limite de leur capacité, les variations des débits de circulation peuvent bloquer l'accès aux voies de circulation, empêcher l'exploitation des transports en commun ou accroître temporairement fortement les temps d'attente. En pareil cas, il est indiqué de tenir compte d'un débit de circulation horaire correspondant au quadruple du débit du quart d'heure le plus élevé. Si le débit du quart d'heure n'est pas connu, on multipliera les débits horaires par 1,2.

c) Débits de circulation des voies de circulation (plan de charges)

Dans le carrefour, les débits de circulation des branches sont subdivisés en courants, attribués aux voies de circulation correspondantes et désignés comme débits de courants de carrefour ou de voies de circulation. Pour le dimensionnement selon la technique de circulation, les débits des voies de circulation peuvent faire l'objet d'itérations.

9. Referenzzustand und Einflussgrössen

a) Referenzzustand

Als Referenzzustand für die Verkehrsbedingungen gelten Verkehrsstärken, die ausschliesslich aus Personenwagen zusammengesetzt sind.
Als Referenzzustand für die Strassenbedingungen gelten Knoten in einer Ebene mit einer Längsneigung der Knotenäste von < 2%. Die Knoten sind gemäss den Normen [6] und [7] ausgebildet.
Im Referenzzustand für die Betriebsbedingungen gilt, dass alle Knotenströme in einer Phase vortrittsberechtigt sind (vollständige Phasentrennung nach Norm [10]). Als Phase wird nach Norm [8] ein Intervall bezeichnet, während dem ein oder mehrere Knotenströme gleichzeitig in den Knoten einfahren können.

b) Berücksichtigung der tatsächlichen Verkehrsbedingungen

Die Verkehrsstärken von Lastwagen, Motorrädern und leichten Zweirädern werden nach Norm [11] wie folgt in Personenwagen-Einheiten [PWE] umgerechnet:

Personenwagen:	1 PW	=	1 PWE
Lastwagen:	1 LW	=	2 PWE
Motorrad:	1 MR	=	0,5 PWE
Leichtes Zweirad:	1 FR	=	0,25 PWE

Die leichten Zweiräder sind in der Umrechnung in Personenwagen-Einheiten nur zu berücksichtigen, wenn sie die Fahrt der Motorfahrzeuge auf dem gleichen Fahrstreifen behindern (z. B. beim Abbiegen oder bei schmalen Fahrstreifen).

c) Berücksichtigung der vorhandenen Strassenbedingungen

In der vorliegenden Norm werden Abweichungen vom Referenzzustand für Strassenbedingungen nicht berücksichtigt. In Fällen von Abweichungen vom Referenzzustand ist die Norm [11] anzuwenden.

d) Berücksichtigung der vorhandenen Betriebsbedingungen

Vortrittsbelastete Knotenströme

Lichtsignalanlagen können oft nicht alle vortrittsbelasteten Knotenströme Q_V von den vortrittsberechtigten Knotenströmen Q_F in reine Phasen trennen. Vortrittsbelastete Knotenströme Q_V benötigen demnach höhere Grünzeiten, da sie erst abfliessen können, wenn die in der gleichen Phase laufenden feindlichen Knotenströme Q_F den Knoten geräumt haben.
Zur Berücksichtigung dieser Behinderungen werden die vortrittsbelasteten Knotenströme Q_V nach den Normen [9] und [10] in einer 1. Näherung durch Multiplikation mit Geradeaus-Äquivalenten E_1 in äquivalenten Geradeausverkehr umgerechnet.
Die Geradeaus-Äquivalente E_1 hängen von der vortrittsberechtigten Verkehrsart und deren Verkehrsstärke Q_F ab. Sie werden für alle pro Phase vortrittsberechtigten Verkehrsarten nach Tabelle 2 bestimmt. Das Produkt dieser Geradaus-Äquivalente $\prod E_1$, multipliziert mit der Verkehrsstärke des vortrittsbelasteten Knotenstromes Q_V, ergibt die äquivalente Geradeaus-Verkehrsstärke $Q_{VÄ}$.

$$Q_{VÄ} = \prod E_1 \cdot Q_V = (E_{1,\,IV} \cdot E_{1,\,ÖV} \cdot E_{1,\,FG}) \cdot Q_V \text{ [PWE/h]}$$

9. Etat de référence et facteurs d'influence

a) Etat de référence

Comme état de référence pour les conditions de circulation, on appliquera exclusivement les débits de circulation des voitures de tourisme.
Comme état de référence pour les conditions routières, on admet des carrefours à niveaux dont les branches ont une déclivité < 2%. Les carrefours seront conçus selon les normes [6] et [7].
Comme état de référence pour les conditions d'expoitation, on admet que tous les courants du carrefour d'une phase sont prioritaires (séparation complète des phases selon norme [10]). Conformément à la norme [8], on désigne en tant que phase un intervalle durant lequel un ou plusieurs courants du carrefour peuvent circuler simultanément.

b) Prise en compte des conditions de circulation réelles

Les débits de circulation des camions, motos et deux-roues légers seront convertis selon norme [11] comme suit en unités-voiture de tourisme [UVP]:

voiture de tourisme:	1 voit.	=	1 UVP
camion:	1 cam	=	2 UVP
moto:	1 mot	=	0,5 UVP
deux-roues légers	1 vélo	=	0,25 UVP

Dans la conversion, on ne tiendra compte des deux-roues légers que s'ils constituent une gêne à la circulation des véhicules à moteur (p. ex. en obliquant ou sur des voies de circulation étroites).

c) Prise en compte des conditions routières existantes

Dans la présente norme, on ne tient pas compte pour les conditions routières des écarts par rapport à l'état de référence. On appliquera la norme [11] en cas d'écart par rapport à l'état de référence.

d) Prise en compte des conditions d'exploitation existantes

Courants de carrefour non prioritaires

Les feux de circulation ne peuvent souvent pas séparer tous les courants non prioritaires Q_V du carrefour des prioritaires Q_F uniquement par des phases. Les courants de carrefour non prioritaires Q_V ont besoin d'un temps de vert plus élevé, car ils ne peuvent s'écouler que lorsque, dans la même phase, les courants antagonistes Q_F ont quitté le carrefour.
Pour tenir compte de ces entraves, on convertira en première approximation les courants non prioritaires Q_V en trafic équivalent tout droit en les multipliant par les équivalents tout droit E_1 selon les normes [9] et [10].

Les équivalents tout droit E_1 dépendent du genre de trafic prioritaire et de son débit Q_F. Pour tous les genres de trafic prioritaires, on les déterminera par phase conformément au tableau 2. Le produit de ces équivalents tout droit $\prod E_1$, multiplié par les courants prioritaires Q_V, donne le débit équivalent tout droit $Q_{VÄ}$.

$$Q_{VÄ} = \prod E_1 \cdot Q_V = (E_{1,\,IV} \cdot E_{1,\,ÖV} \cdot E_{1,\,FG}) \cdot Q_V \text{ [UVP/h]}$$

Tab. 2
Geradeaus-Äquivalente E_1 vortrittsbelasteter Knotenströme (Q_V) in erster Näherung gemäss Normen [9] und [10], abhängig von vortrittsberechtigten Knotenströmen Q_F

Tab. 2
Equivalents tout droit E_1 des courants non prioritaires (Q_V) en première approximation selon normes [9] et [10], en fonction des courants prioritaires Q_F

Vortrittsberechtigte Knotenströme Q_F *Courants prioritaires Q_F*				
Individualverkehr einstreifig *Transport individuel sur une voie* $Q_{F,IV}$ [PWE/h]	Individualverkehr zweistreifig *Transport individuel sur deux voies* $Q_{F,IV}$ [PWE/h]	Öffentlicher Verkehr[1] *Transports en commun*[1] $Q_{F,ÖV}$ [Tram/h]	Fussgänger *Piétons* $Q_{F,FG}$ [Fg/h]	Geradeaus-Äquivalent, erste Näherung *Equivalent tout droit, première approximation* $E_{1,IV}$, $E_{1,ÖV}$, $E_{1,FG}$
0…50	0…100	0…10	0…150	1
50…100	100…200	10…30	150…250	1,2
100…250	200…350	30…60	250…500	1,5
250…500	350…700	60…120	500…1000	2
500…750	700…1000	120…180	1000…1400	3
750…1000	1000…1200	> 180	> 1400	4
> 1000	> 1200			5

[1] Busse mit eigenem Fahrstreifen werden näherungsweise als Tram betrachtet

[1] Les bus sur voies réservées sont considérés comme des trams

Die Behinderung der vortrittsbelasteten Knotenströme ist auch von der Grösse des Grünzeitanteils der vortrittsberechtigten Knotenströme abhängig. In der Norm [10] können in einer zweiten Näherung die Geradeaus-Äquivalente E_1 aus Tabelle 2 verbessert werden. Da diese Grünzeitanteile erst nach Abschätzung der Leistungsfähigkeit (Ziffer 10) bekannt sind, können die verbesserten Geradeaus-Äquivalente E_2 erst nach einer Iterationsrechnung ermittelt werden.

L'entrave des courants non prioritaires dépend de la part du temps vert des courants prioritaires. Conformément à la norme [10], on peut dans une deuxième approximation améliorer les équivalents tout droit E_1 qui proviennent du tableau 2. Etant donné que ces parts du temps vert ne sont connues qu'après estimation de la capacité (chiffre 10), on ne peut calculer les équivalents tout droit E_2 améliorés qu'après itération.

Kritische Verkehrsstärken

Die kritischen Verkehrsstärken Q_{krit} sind die grössten, unverträglichen, stündlichen Verkehrsstärken pro Fahrstreifen. Sie sind in einem Phasenplan getrennten Phasen zuzuordnen. Ihre Summe ΣQ_{krit} bestimmt massgebend den Ablauf der Lichtsignalanlage.

Jede Phase darf eine Mindestgrünzeit nicht unterschreiten [13]. Daraus ergibt sich eine minimale kritische Verkehrstärke $Q_{krit\,min}$ die wie folgt errechnet wird:

$$Q_{krit\,min} = \frac{t_{Gmin}}{2} \cdot \frac{3600}{Z}$$

Débits de circulation critiques

Les débits de circulation critiques Q_{krit} sont les plus grands débits de circulation horaires non compatibles par voie de circulation. Dans un plan de phases, ils sont attribués à des phases séparées. Leur somme ΣQ_{krit} définit de manière déterminante le fonctionnement des feux de circulation.
Pour que les temps verts minimaux des feux de circulation ne soient pas inférieurs à ceux fixés par la norme [13], le débit de circulation critique $Q_{krit\,min}$ est déterminé comme suit:

$$Q_{krit\,min} = \frac{t_{Gmin}}{2} \cdot \frac{3600}{Z}$$

Unkritische Verkehrsstärken

Die unkritischen Verkehrsstärken Q sind kleiner als die kritischen, oder sie sind mit mehreren kritischen Verkehrsstärken pro Fahrstreifen verträglich. Sie sind nicht massgebend für den Ablauf der Lichtsignalanlage.

Débits de circulation non critiques

Les débits de circulation non critiques Q sont plus petits que les débits critiques ou bien ils sont compatibles avec plusieurs débits critiques par voie de circulation. Ils ne sont pas déterminants pour les feux de circulation.

Umlaufzeit Z

Als gebräuchliche Werte für die Umlaufzeit, die in der Norm [11] als Dauer eines Zyklus der Signalzeiten definiert ist, gelten Z = 60 s bis Z = 90 s. Umlaufzeiten Z < 45 s und Z > 120 s sollten nicht verwendet werden.

Cycle Z

Z = 60 s à Z = 90 s est la valeur usuelle d'un cycle défini dans la norme [11] en tant que durée d'un cycle de feux. Des cycles Z < 45 s et Z > 120 s ne devraient pas être utilisés.

10. Leistungsfähigkeit

Die Leistungsfähigkeit wird für jeden Fahrstreifen wie folgt ermittelt:

10. Capacité

La capacité est déterminée comme suit pour chaque voie de circulation:

1. Berechnung der Grünzeitanteile kritischer Verkehrsstärken Q_{krit}

Die Grünzeitanteile λ_{krit} der einzelnen kritischen Verkehrsstärken ergeben sich näherungsweise zu:

$\lambda_{krit} = Y \cdot Q_{krit} / \Sigma Q_{krit}$

Der Faktor Y berücksichtigt den Anteil der vom Individualverkehr effektiv nutzbaren Grünzeiten eines Umlaufes (= 1,0 – Anteil der Summe der Zwischenzeiten). Wird für die Zwischenzeiten pauschal von 5 s pro Phase ausgegangen, so ergeben sich je nach gewählter Umlaufzeit sowie Anzahl Phasen pro Umlauf folgende Faktoren Y:

Tab. 3
Faktor Y zur überschlägigen Berücksichtigung der Leistungsverluste durch Zwischenzeiten (je 5 s pro Phase) bei der Berechnung der kritischen Grünzeitanteile λ_{krit} für 2-, 3- und 4-phasige LSA

1. Calcul des parts du temps vert des différents débits de circulation critiques Q_{krit}

Les parts du temps vert λ_{krit} des différents débits de circulation critiques sont données approximativement par:

$\lambda_{krit} = Y \cdot Q_{krit} / \Sigma Q_{krit}$

Le facteur Y tient compte de la part effective des temps verts d'un cycle utilisé par le transport individuel (= 1,0 – part de la somme des temps interverts). Si l'on admet pour les temps interverts 5 s par phase, on obtient, selon le cycle choisi ainsi que le nombre de phases par cycle, les facteurs Y suivants:

Tab. 3
Facteur Y pour la prise en compte approximative de la perte de capacité par les temps interverts (5 s pour chaque phase) lors du calcul des parts du temps vert critiques λ_{krit} des feux de circulation à 2, 3 et 4 phases

Umlaufzeit Z *Cycle Z*	45 s	50 s	60 s	70 s	72 s	80 s	90 s	100 s	120 s
2-phasig *à 2 phases*	0,778	0,8	0,833	0,857	0,861	0,875	0,889	0,9	0,917
3-phasig *à 3 phases*	0,667	0,7	0,75	0,786	0,792	0,81	0,833	0,85	0,875
4-phasig *à 4 phases*	0,556	0,6	0,667	0,714	0,722	0,75	0,778	0,8	0,833

Neben der überschlägigen Ermittlung des Faktors Y können aber auch gemäss Norm [10] ermittelte Zwischenzeiten zur Ermittlung des Faktors Y verwendet werden.

2. Berechnung der Grünzeitanteile unkritischer Verkehrsstärken Q_{krit}

Die Grünzeitanteile λ der unkritischen Verkehrsstärken entsprechen jenen der gleichzeitig abfliessenden kritischen Verkehrsstärken λ_{krit}.

3. Privilegierung ÖV/Bestehende Grünzeitanteile

Die ermittelten Grünzeitanteile des Individualverkehrs λ können durch eine Privilegierung des öffentlichen Verkehrs verändert werden. Die Ermittlung der korrigierten Grünzeitanteile kann gemäss den Normen [9] oder [10] erfolgen.
In der Leistungsanalyse werden die an der bestehenden Lichtsignalanlage gemessenen Grünzeitanteile λ zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit verwendet.

4. Ermittlung der Leistungsfähigkeit eines Fahrstreifens

Die Leistungsfähigkeit eines Fahrstreifens $L = \lambda \cdot S$ folgt aus dem Produkt von Grünzeitanteil λ und Fahrstreifensättigung S. Für die Fahrstreifensättigung S können als Richtwert rund 1800 PWE/h eingesetzt werden. Dieser Richtwert berücksichtigt durchschnittliche Verhältnisse.

Die ermittelten Leistungsfähigkeiten können nur genutzt werden, wenn sichergestellt ist, dass die Zufahrten zu den Fahrstreifen nicht durch Rückstau blockiert sind. Im Falle einer möglichen Blockierung von Fahrstreifenzufahrten ist der Rückstau k von benachbarten Fahrstreifen gemäss Ziffer 10 entsprechend zu reduzieren.
Der Rückstau k für den Individualverkehr wird nach [16] ermittelt. Für ausgewählte Umlaufzeiten von Z = 60 s, Z = 70 s, Z = 90 s und Z = 120 s sind im Anhang zu vorliegender Norm die entsprechenden Diagramme abgebildet (Abbildungen 6 bis 9).

Mis à part le calcul approximatif du facteur Y, on peut également appliquer les temps interverts définis selon la norme [10] pour définir le facteur Y.

2. Calcul des parts du temps vert des débits de circulation non critique Q_{krit}

Les parts du temps vert λ des débits de circulation non critiques correspondent à ceux λ_{krit} des débits de circulation critiques qui s'écoulent simultanément.

3. Priorité aux transports en commun/parts du temps vert existants

Les parts du temps vert λ calculées pour le transport individuel peuvent être modifiées en donnant la priorité aux transports en commun. La détermination des parts du temps vert peut être effectuée conformément aux normes [9] et [10].
Lors de l'analyse des performances, on appliquera pour déterminer la capacité les parts du temps vert λ mesurées sur la régulation de l'installation de feux de circulation existante.

4. Calcul de la capacité d'une voie de circulation

La capacité d'une voie de circulation $L = \lambda \cdot S$ résulte du produit du temps vert λ par la saturation S de la voie de circulation. Comme valeur indicative de la saturation d'une voie de circulation, on peut admettre 1800 UVP/h en chiffres ronds. Cette valeur indicative tient compte de conditions moyennes.
Les capacités calculées ne peuvent être utilisées que s'il est établi que les accès aux voies de circulation ne sont pas bloquées par des files d'attente. En cas de blocage possible des accès aux voies de circulation, on réduira en conséquence la file d'attente k des voies de circulation voisines selon le chiffre 10.
La file d'attente k pour le transport individuel est calculée selon [16]. Pour des cycles de Z = 60 s, Z = 70 s, Z = 90 s et Z = 120 s, l'annexe de la présente norme donne les diagrammes correspondants (figures 6 à 9).

Die Rückstaulänge ergibt sich aus der Multiplikation des Rückstaus k mit der durchschnittlichen Länge einer PWE von 6 m.

5. Überlegungen zur Verkehrslenkung

Werden aufgrund von Überlegungen zur Verkehrslenkung im angebotsorientierten Verfahren entweder die Leistungsfähigkeit, die Rückstaulänge oder eine Verkehrsqualitätsstufe mit zugeordneten Auslastungsgraden für einen oder mehrere Fahrstreifen i vorgegeben, dann lässt sich der entsprechende Grünzeitanteil $\lambda_{i, GEG}$ für diese Fahrstreifen wie folgt bestimmen:

- Festlegung Auslastungsgrad $x_{GEG} \rightarrow L_{GEG} = Q / x_{GEG}$
- Festlegung Leistungsfähigkeit $L_{GEG} \rightarrow$ Grünzeitanteil $\lambda_{i, GEG} = L_{GEG} / S$
- Festlegung Rückstau $k_{GEG} \rightarrow$ Grünzeitanteil $\lambda_{i, GEG}$ aus Anhang

Falls einer der vorgegebenen Grünzeitanteile $\lambda_{i,GEG}$ innerhalb einer Phase kritisch wird (= $\lambda_{i, krit, GEG}$), dann folgen die Grünzeitanteile der übrigen kritischen Verkehrsstärken $\lambda_{j, krit}$ zu

$$\lambda_{j, krit} = (Y - \Sigma\lambda_{i, krit, GEG}) \cdot Q_{j, krit} / (\Sigma Q_{j, krit} - \Sigma Q_{i, krit})$$

11. Verkehrsqualität

a) Bestimmung des Auslastungsgrades

Die Qualität des Verkehrsablaufes wird anhand des Auslastungsgrades beurteilt. Der Auslastungsgrad x = Q / L ist das Verhältnis von Verkehrsstärke Q und der Leistungsfähigkeit L eines Fahrstreifens.

b) Verkehrsqualitätsstufen

Die Werte gelten sowohl für isoliert betriebene Lichtsignalanlagen als auch für koordinierte Lichtsignalanlagen. Die Verkehrsqualitätsstufen werden mit zugeordneten Auslastungsgraden wie folgt definiert:

La longueur de la file d'attente résulte de la multiplication de la file d'attente k par la longueur moyenne d'une UVP de 6 m.

5. Considérants du point de vue de la gestion du trafic

Si sur la base de considérants du point de vue de la gestion du trafic, soit la capacité, soit la longueur de la file d'attente ou un niveau de service avec l'attribution de degrés d'utilisation pour une ou plusieurs voies de circulation i sont préalablement donnés dans le cadre de la procédure d'après l'offre, on déterminera la part du temps vert correspondant $\lambda_{i, GEG}$ pour ces voies de circulation comme suit:

- détermination du degré d'utilisation $x_{GEG} \rightarrow L_{GEG} = Q / x_{GEG}$
- détermination de la capacité $L_{GEG} \rightarrow$ part du temps vert $\lambda_{i, GEG} = L_{GEG} / S$
- détermination de la file d'attente $k_{GEG} \rightarrow$ part du temps vert $\lambda_{i, GEG}$ de l'annexe

Si une des parts du temps vert $\lambda_{i, GEG}$ préalablement donnée devient critique à l'intérieur d'une phase (= $\lambda_{i, krit, GEG}$), il en résulte les parts du temps vert $\lambda_{j, krit}$ pour les autres débits de circulation critiques comme suit

$$\lambda_{j, krit} = (Y - \Sigma\lambda_{i, krit, GEG}) \cdot Q_{j, krit} / (\Sigma Q_{j, krit} - \Sigma Q_{i, krit})$$

11. Niveau de service

a) Détermination du degré d'utilisation

La qualité de l'écoulement de la circulation est évaluée à l'aide du degré d'utilisation. Le degré d'utilisation x = Q / L est le rapport du débit de circulation Q sur la capacité L d'une voie de circulation.

b) Niveaux de service

Les valeurs sont valables tant pour des feux de circulation isolés que coordonnés. Les niveaux de service sont définis en fonction des degrés d'utilisation comme suit:

Tab. 4
Festlegung der Verkehrsqualitätsstufen für einzelne Fahrstreifen mittels zugeordnetem Auslastungsgrad (z.T. nach [15])

Qualitätsstufe	Wartezeiten zugeordnete Auslastungsgrade	Verkehrsqualität	Länge Rückstau nach Ende der Grünzeit, max. Anzahl Halte vor LSA
Stufe A	Mehrheitlich ohne Wartezeiten oder nur kurze Zeitverluste Auslastungsgrad ≤ 0,3	ausgezeichnet	Rückstau wird vollständig abgebaut, ≤ 1 Halt
Stufe B	Wartezeiten hinnehmbar Auslastungsgrad ≤ 0,5	gut	Rückstau wird vollständig abgebaut, ≤ 1 Halt
Stufe C	Wartezeiten wachsen spürbar an Auslastungsgrad ≤ 0,7	zufriedenstellend	Rückstau wird in der Regel vollständig abgebaut, ≤ 1 Halt
Stufe D	Zeitverluste für alle Fahrzeuge spürbar, hohe Wartezeiten Auslastungsgrad ≤ 0,85	ausreichend	Rückstau kann nicht in allen Umläufen abgebaut werden, ≤ 2 Halte
Stufe E	Mehrfache Haltevorgänge aller Fahrzeuge, sehr lange und stark streuende Wartezeiten Auslastungsgrad ≤ 1,0	mangelhaft	Kein Abbau des z.T. sehr langen Rückstaus, > 2 Halte
Stufe F	Überlastung während ganzer Stunde (Zufluss grösser als Leistungsfähigkeit), sehr lange Wartezeiten Auslastungsgrad > 1,0	völlig unzureichend	Abbau des sehr langen Rückstaus erst nach Spitzenstunde, > 2 Halte

Tab. 4
Détermination des niveaux de service des différentes voies de circulation au moyen du degré d'utilisation attribué (partiellement selon [15])

Niveaux de service	Temps d'attente Degrés d'utilisation correspondants	Niveau de service	Longueur des files d'attente à la fin du temps vert, nombre maximal d'arrêts devant les feux
Niveau A	Le plus souvent sans temps d'attente ou seulement de petites pertes de temps Degré d'utilisation ≤ 0,3	excellent	La file d'attente est complètement résorbée, ≤ 1 arrêt
Niveau B	Temps d'attente acceptable Degré d'utilisation ≤ 0,5	bon	La file d'attente est complètement résorbée, ≤ 1 arrêt
Niveau C	Temps d'attente augmentent sensiblement Degré d'utilisation ≤ 0,7	satisfaisant	La file d'attente est en règle générale complètement résorbée, ≤ 1 arrêt
Niveau D	Perte de temps sensible pour tous les véhicules, temps d'attente élevés Degré d'utilisation ≤ 0,85	suffisant	Les files d'attente ne peuvent pas être résorbées à chaque cycle, ≤ 2 arrêts
Niveau E	Arrêts répétés de tous les véhicules, temps d'attente très longs et très variables Degré d'utilisation ≤ 1,0	insuffisant	Aucune élimination des files d'attente partiellement très longues, > 2 arrêts
Niveau F	Surcharge pendant des heures (afflux plus grand que la capacité), temps d'attente très longs Degré d'utilisation > 1,0	totalement insuffisant	Disparition des files d'attente très longues seulement après les heures de pointe, > 2 arrêts

Die Verkehrsqualitätsstufen müssen für alle Fahrstreifen ermittelt werden. Für die Einstufung des gesamten Knotens ist der Fahrstreifen mit der schlechtesten Einstufung massgebend.
Weitere Qualitätsmerkmale wie mittlere Wartezeiten können überschlägig mit den Normen [9] oder [10] ermittelt werden. Zu beachten ist, dass dort die entsprechenden Diagramme streng genommen für eine Umlaufzeit von 70 s gelten, überschlägig aber für alle Betriebsbedingungen angewendet werden.
Als Dimensionierungsgrundlage wird die Verkehrsqualitätsstufe D empfohlen. Sie sollte in den Spitzenstunden auf allen Fahrstreifen eingehalten werden. In begründeten Ausnahmefällen kann auch die Verkehrsqualitätsstufe E angewendet werden.

Les niveaux de service doivent être déterminés pour chaque voie de circulation. On classe l'ensemble du carrefour en fonction de la voie de circulation avec la plus mauvaise.
D'autres caractéristiques de qualité telles que les temps d'attente moyens peuvent être déterminées approximativement en application des normes [9] ou [10]. Il convient de relever que les diagrammes correspondants au sens strict sont valables pour un cycle de 70 s mais s'appliquent au sens large à toutes les conditions d'exploitation. Le niveau de service D est recommandé comme base pour le dimensionnement. Durant les heures de pointe, il devrait être respecté sur toutes les voies de circulation. Dans des cas exceptionnels justifiés, on peut aussi appliquer le niveau de service E.

D. Belastbarkeit

12. Umweltbedingte Belastbarkeit

Haltevorgänge sowie stockender Kolonnenverkehr («Stop-and-go») führen in der Regel zu erhöhten Luftschadstoffemissionen. Die Emissionen können für Varianten der Strassen- und Betriebsbedingungen mit den Normen [9] oder [10] überschlägig abgeschätzt werden. Sie hängen von den mittleren Wartezeiten ab und somit teilweise auch von der vorherrschenden Verkehrsqualitätsstufe. Generelle Obergrenzen für Verkehrsstärken können daraus aber nicht abgeleitet werden.
Mit der Signalzeitenplanung lässt sich der Lärmemissionspegel nicht spürbar verändern. Aus Lärmschutzgründen zulässige Obergrenzen für Verkehrsstärken können für die einzelnen Knotenäste (= Streckenabschnitte) und auch für die Gesamtverkehrsstärke im Knoten festgelegt werden. Die Abgrenzung des Lärmemissionspegels im Knotenbereich von denjenigen in den Knotenästen muss anhand örtlicher Gegebenheiten erfolgen. Die städtebauliche Verträglichkeit der Fahrstreifenanordnung sowie der Stauräume ist im Anwendungsfall einzeln zu prüfen.

D. Charges compatibles

12. Charges compatibles avec l'environnement

Les débits de circulation, les arrêts ainsi que la circulation en accordéon («Stop-and-go») polluent l'air. Pour des variantes de conditions routières et d'exploitation, les émissions peuvent être déterminées approximativement à l'aide des normes [9] ou [10]. Elles dépendent des temps d'attente moyens et partiellement du niveau de service prédominant. Pourtant on ne peut pas en déduire des limites supérieures générales.

Des modifications aux temps des phases ne permettent pas de changer de façon sensible le niveau sonore. Pour des raisons de protection du bruit, on peut fixer des limites supérieures admissibles applicables tant aux différentes branches d'un carrefour (= tronçon) qu'à l'ensemble des débits de circulation du carrefour. La distinction entre le niveau sonore dans la zone du carrefour et celui des branches est fonction des particularités locales. La compatibilité de la disposition des voies de circulation avec le milieu urbain ainsi que des zones de stockage doit faire l'objet d'un examen pour chaque cas particulier.

13. Sicherheitsbedingte Belastbarkeit

Mit den anzustrebenden Ausbaustandards gemäss den Normen [6] und [7] sowie den Kriterien zur Trennung von bedingt feindlichen Verkehrsströmen in der Norm [10] werden bereits sicherheitsbezogene Aspekte berücksichtigt. Eine generelle Abhängigkeit von den Verkehrsstärken der einzelnen Fahrstreifen kann aber nicht angegeben werden.

14. Unterhaltsbedingte Belastbarkeit

Die zum Unterhalt und Erhalt des Bauwerks notwendigen Baustellen haben teilweise Kapazitätseinschränkungen zur Folge. Wird die Anzahl Fahrstreifen in einem Knotenast infolge einer Baustelle oder von Unterhaltsarbeiten reduziert, so verändert sich die Leistungsfähigkeit bzw. die Verkehrsqualität je nach Fahrstreifenanordnung sowie nach den Betriebsbedingungen. Einflüsse durch erschwerte Knotenausfahrten können nicht quantifiziert werden.

E. Anwendungsbeispiele

15. Überschlägige Abschätzungen im nachfrageorientierten Verfahren

Das folgende Beispiel wurde in Anlehnung an Norm [9] konstruiert.
Im Zuge eines neuen Autobahnanschlusses wird der neu gebaute Autobahnzubringer (Knotenast 2) an einen bestehenden Knoten angeschlossen. Dieser Knoten liegt an einer städtischen Ausfallachse und wird von einer Tramlinie auf Eigentrassee gequert (Knotenäste 1 und 3). Wegen der umliegenden Bebauung sind an den Knotenästen 1, 3 und 4 Fussgängerquerungen erwünscht.

Schritt 1: Die massgebenden stündlichen Verkehrsstärken je Knotenstrom für den Individualverkehr werden mit Hilfe eines Verkehrsmodells ermittelt. Der vorliegende Knoten weist zur Abendspitzenstunde die grösste Summe aller Knotenströme im Individualverkehr auf. Diese Knotenströme sind gemäss Ziff. 9 bereits in PWE umgerechnet. Die Verkehrsstärken des öffentlichen Verkehrs entsprechen dem bestehenden Angebot. Die ungefähren Verkehrsstärken der Fussgängerströme sind aufgrund von Zählungen bekannt. Diese Daten sind in Abbildung 2 dargestellt.

13. Charge compatible avec la sécurité

Le standard d'aménagement recherché conformément aux normes [6] et [7] ainsi que les critères pour la séparation des courants de circulation probablement antagonistes selon la norme [10] prennent déjà en considération les aspects relatifs à la sécurité. On ne peut en déduire de manière générale un rapport avec le débit de chaque voie de circulation.

14. Charge compatible avec l'entretien

Les chantiers nécessaires à l'entretien des ouvrages ont pour conséquence une diminution partielle de la capacité. Si par suite d'un chantier ou de travaux d'entretien, le nombre de voies de circulation d'une branche du carrefour est réduit, la capacité et le niveau de service varient selon la disposition des voies et des conditions d'exploitation. On ne peut pas quantifier l'influence de sorties de carrefours difficiles.

E. Exemples d'application

15. Estimation sommaire dans le cas d'une procédure d'après la demande

L'exemple suivant a été conçu sur le modèle de la norme [9].

Dans le cadre d'un nouveau raccordement d'autoroute, le nouvel accès (branche 2) est raccordé à un carrefour existant. Ce carrefour est situé sur un axe de dégagement urbain et est traversé par une ligne de tramway en site propre (branches 1 et 3). En raison des constructions voisines, des passages piétons sont souhaités dans les branches 1, 3 et 4.

Etape 1: A l'aide d'un modèle de trafic, on détermine pour le transport individuel les débits de circulation horaire déterminants relatifs à chaque courant de carrefour. Le carrefour examiné accuse à l'heure de pointe du soir la somme la plus élevée de tous les courants de carrefour. Ces courants de carrefour sont déjà convertis en UVP conformément au chiffre 9. Les débits des transports en commun correspondent à l'offre réelle. Les débits approximatifs des courants de piétons sont connus sur la base de comptages. Ces données sont représentées dans la figure 2.

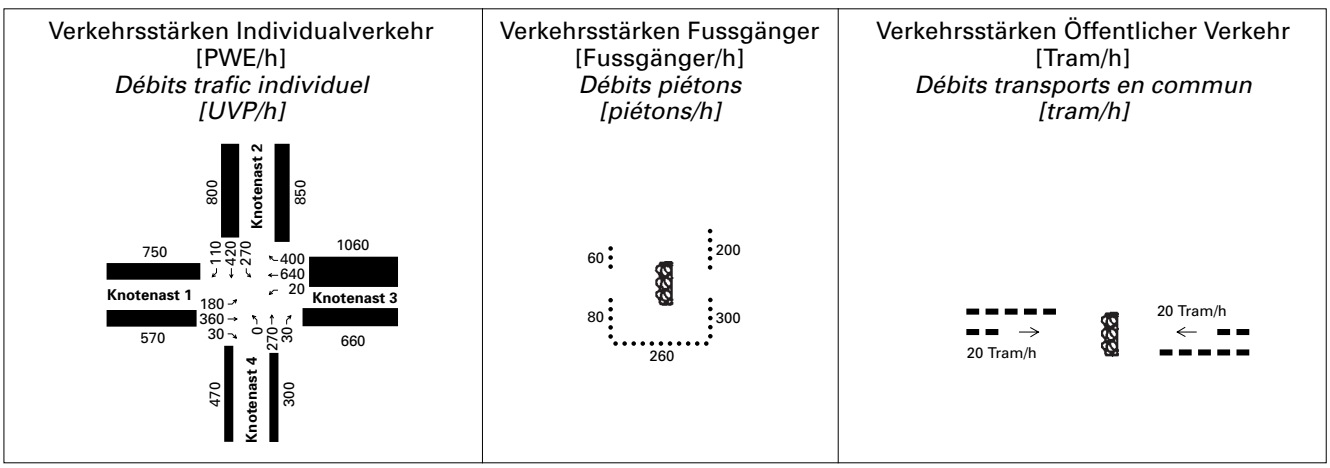


Abb. 2
Darstellung der massgebenden Verkehrsstärken der Knotenströme, getrennt nach Verkehrsarten (Belastungsplan)

Fig. 2
Représentation des débits de circulation déterminants des courants de carrefour, séparés selon le genre de trafic (plan de charges)

Schritt 2: Auf der Grundlage der Verkehrsstärken sowie der Anforderungen des öffentlichen Verkehrs und der Fussgänger werden der Fahrstreifenplan (Abbildung 3) und anschliessend der Phasenplan (Abbildung 4) entworfen.

Etape 2: Sur la base des débits de circulation ainsi que des exigences des transports en commun et des piétons, on conçoit le plan des voies de circulation (figure 3) et ensuite le plan des phases (figure 4).

Fahrstreifenplan,
Fahrstreifenumerierung

Plan des voies de circulation,
numérotation des voies de circulation

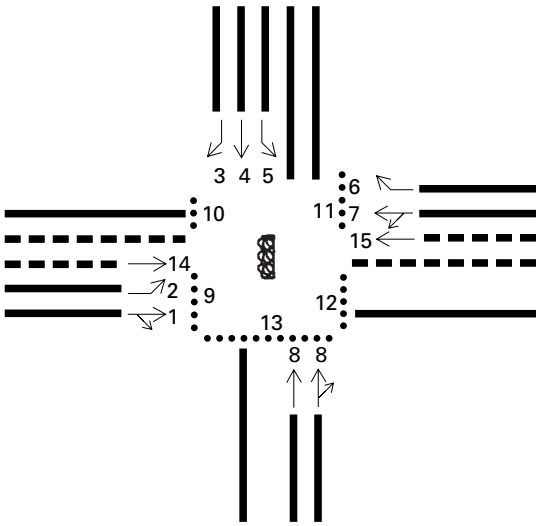


Abb. 3
Fahrstreifenplan, mit Numerierung aller Fahrstreifen

Fig. 3
Plan des voies de circulation avec numérotation de toutes les voies

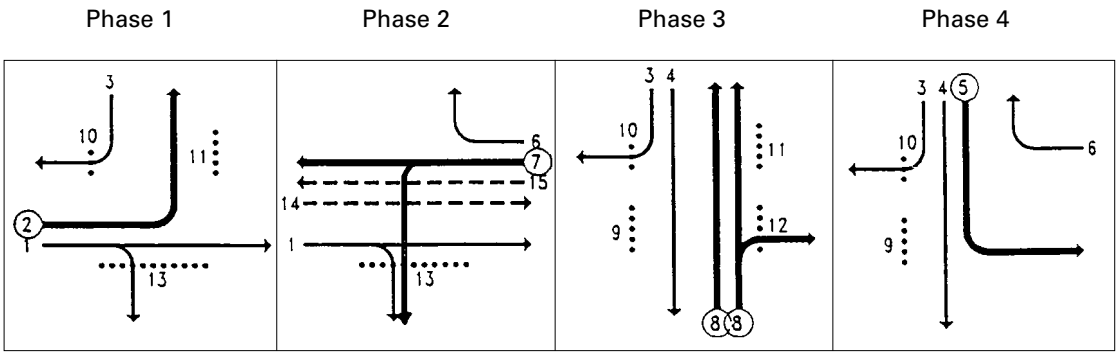


Abb. 4
Phasenplan auf der Grundlage der Fahrstreifenzuordnung in Abbildung 3

Fig. 4
Plan des phases sur la base de l'attribution des voies de circulation de la figure 3

Aus Abbildung 4 ist ersichtlich, dass in den Phasen 1, 3 und 4 der vortrittsbelastete Verkehrsstrom auf dem Fahrstreifen 3 warten muss, bis der Fussgängerstrom 10 die Strasse überquert hat. In der Phase 2 müssen die Linksabbieger des Fahrstreifens 7 dem Tram in beiden Richtungen, den Verkehrsströmen des Fahrstreifens 1 und dem Fussgängerstrom 13 den Vortritt lassen. In der Phase 3 hat der Fussgängerstrom 12 Vortritt vor den Rechtsabbiegern im rechten Fahrstreifen 8.
Weil die vortrittsbelasteten Knotenströme im Knoten warten müssen, erhöht sich ihr Grünzeitbedarf. Sie werden gemäss Ziffer 9 in äquivalente Geradeaus-Verkehrsstärken $Q_{VÄ}$ umgerechnet (Tabelle 5).
Für den ersten Berechnungsdurchlauf wird eine Umlaufzeit von Z = 120 s angenommen.

La figure 4 montre que dans les phases 1, 3 et 4, le mouvement de circulation non prioritaire doit attendre sur la voie 3 jusqu'à ce que le courant de piétons 10 ait traversé la route. Dans la phase 2, les tourne-à-gauche de la voie 7 doivent laisser la priorité au tram dans les deux directions, aux courants de circulation de la voie 1 et au courant des piétons 13. Dans la phase 3, le courant des piétons 12 a la priorité sur les tourne-à-droite de la voie de circulation 8.
Compte tenu que les courants non prioritaires doivent attendre, il est nécessaire d'augmenter leur temps vert. Conformément au chiffre 9, ils sont convertis en débits tout droit équivalents $Q_{VÄ}$ (tableau 5).
Pour un premier calcul, on admet un cycle d'une durée Z = 120 s.

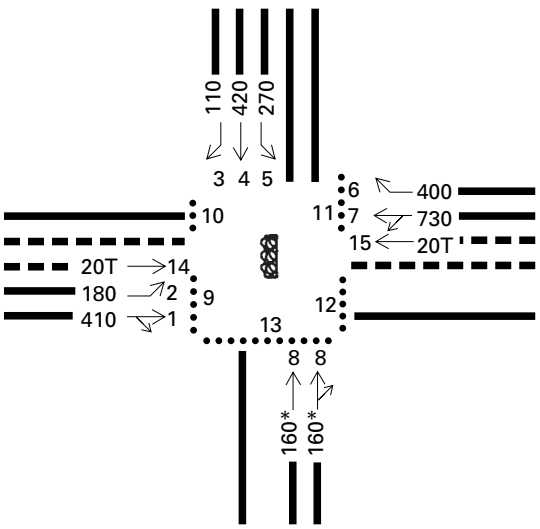
Tab. 5
Umrechnung der Verkehrsstärken der vortrittsbelasteten Knotenströme Q_V in äquivalente Geradeaus-Verkehrsstärken $Q_{VÄ}$ (erste Näherung)

Tab. 5
Conversion des débits de circulation des courants non prioritaires Q_V en débits tout droit équivalents $Q_{VÄ}$ (première approximation)

Vortrittsbelasteter Knotenstrom (Abb. 2) *Courant non prioritaire (fig. 2)*	Vortrittsberechtigte Knotenströme (Abb. 2) *Courant prioritaire (fig. 2)*	Geradeaus-Äquivalente E_1 (Tab. 2) *Equivalents tout droit E_1 (tab. 2)*	Äquivalente Geradeaus-Verkehrsstärke für vortrittsbelasteten Verkehrsstrom $Q_{VÄ}$ *Débits tout droit équivalents pour courant non prioritaire $Q_{VÄ}$*
20 PWE/h	20 Tram/h 20 Tram/h 390 PWE/h 260 Fg/h	$E_{1, ÖV} = 1{,}5$ $E_{1, IV} = 2$ $E_{1, FG} = 1{,}5$	20 PWE/h · (1,5 · 2 · 1,5) = 90 PWE/h
30 PWE/h	260 Fg/h	$E_{1, FG} = 1{,}5$	30 PWE/h · (1,5) = 45 PWE/h
110 PWE/h	60 Fg/h	$E_{1, FG} = 1$	110 PWE/h · 1 = 110 PWE/h
30 PWE/h	300 Fg/h	$E_{1, FG} = 1{,}5$	30 PWE/h · 1,5 = 45 PWE/h

Die Verkehrsstärken aus Abbildung 2 werden den Fahrstreifen des Fahrstreifenplanes (Abbildung 3) zugeordnet. Dabei werden für die vortrittsbelasteten Knotenströme die äquivalenten Geradeaus-Verkehrsstärken aus Tabelle 5 eingesetzt.

Les débits de circulation selon la figure 2 sont attribués conformément au plan des voies de circulation (figure 3). A cet effet, on introduit pour les courants non prioritaires les débits tout-droit équivalents du tableau 5.



* Verkehrsstärke pro Fahrstreifen Nr. 8
(270 PWE/h + 45 PWE/h) : 2 = rund 160 PWE/h

* Débit par voie de circulation No 8
(270 UVP/h + 45 UVP/h) : 2 = 160 UVP/h en chiffres ronds

Abb. 5
Verkehrsstärken der Fahrstreifen unter Berücksichtigung der vortrittsbelasteten Knotenströme

Fig. 5
Débits des voies de circulation en tenant compte des courants non prioritaires

Schritt 3: Auf allen Fahrstreifen des Individualverkehrs wird eine ausreichende Verkehrsqualität gefordert. Für die Dimensionierung wird daher die Verkehrsqualitätsstufe D vorgegeben. Mit dieser Verkehrsqualitätsstufe ist es in der Regel möglich, den öffentlichen Verkehr an der Lichtsignalanlage zu priorisieren, ohne dass eine unzumutbare Verkehrsqualität für den Individualverkehr entsteht.
Zudem soll die Länge der Fahrstreifen nachfragegerecht ausgebaut werden, so dass deren Zufahrt ohne Behinderungen möglich ist.

Schritt 4: Der Phasenplan gemäss Abbildung 4 enthält vier Phasen. Die Fahrstreifen 2, 7, 8 und 5 mit der grössten Verkehrsstärke in einer Phase werden für den Ablauf der Lichtsignalanlage kritisch.
Mit der gewählten Umlaufzeit von 120 s sowie den vier Phasen pro Umlauf beträgt der Faktor Y = 0,833 zur überschlägigen Berücksichtigung der Leistungsverluste durch Zwischenzeiten gemäss Tabelle 3.
Der Grünzeitanteil, die Leistungsfähigkeit, der Auslastungsgrad und die Rückstaulänge der kritischen Fahrstreifen sind für eine Fahrstreifensättigung S von 1800 PWE/h aus Tabelle 6 ersichtlich.

Etape 3: Un niveau de service suffisant est exigé sur toutes les voies de circulation du transport individuel. C'est pourquoi pour le dimensionnement, on part du niveau de service D. A ce niveau de service, il est en règle générale possible de donner la priorité aux transports en commun sans qu'il s'en suive un niveau de service intolérable pour le transport individuel.
En outre, la longueur des voies de circulation doit être aménagée conformément à la demande afin qu'elle soit accessible sans entrave.

Etape 4: Selon la figure 4, le plan des phases en comprend 4. Les voies 2, 7, 8 et 5 avec les débits les plus élevés dans une phase sont critiques pour le fonctionnement des feux de circulation.
Avec le cycle choisi de 120 s ainsi qu'avec les quatre phases par cycle, le facteur Y pour la prise en compte approximative des pertes de capacité dues aux temps interverts selon tableau 3 est de 0,833.
La part du temps vert, la capacité, le degré d'utilisation et la longueur des files d'attente de la voie de circulation critique pour une saturation de voies S de 1800 UVP/h résultent du tableau 6.

Tab. 6
Grünzeitanteil, Leistungsfähigkeit, Auslastungsgrad und Rückstaulänge kritischer Fahrstreifen

Tab. 6
Part du temps vert, capacité, degré d'utilisation et longueur des files d'attente des voies de circulation critiques

Fahrstreifen *Voie de circulation*	Verkehrsstärke Q [PWE/h] *Débit de circulation Q [UVP/h]*	Grünzeitanteil *Part du temps vert* (λ_{krit} = 0,833 · Q / ΣQ)	Leistungsfähigkeit *Capacité* (L = λ_{krit} · S)	Auslastungsgrad *Degré d'utilisation* (x = Q / L)	Rückstaulänge (PWE aus Diagramm in Abb. 9 · 6 m) *Longueur file d'attente (UVP du diagramme de la fig. 9 · 6 m)* [m]
2	180	0,112	202	0,89	60
7	730*	0,454	817*	0,89	162
8	160*	0,100	180*	0,89	48
5	270	0,168	303	0,89	78
Σ	1340	0,833	–	–	–

* Umgerechnet in Geradeaus-Äquivalente

* Conversion en équivalents tout-droit

Der Grünzeitanteil, die Leistungsfähigkeit, der Auslastungsgrad und die Rückstaulänge der unkritischen Fahrstreifen sind für eine Fahrstreifensättigung S von 1800 PWE/h aus Tabelle 7 ersichtlich.

Auf eine Berücksichtigung der Veränderung der Grünzeitanteile infolge Privilegierung des öffentlichen Verkehrs gemäss Normen [9] oder [10] wird in der vorliegenden überschlägigen Abschätzung verzichtet.

La part du temps vert, la capacité, le degré d'utilisation et la longueur des files d'attente de la voie de circulation non critique pour une saturation de voies S de 1800 UVP/h résultent du tableau 7.

Dans la présente estimation approximative, on renonce à tenir compte des parts du temps vert par suite de priorité donnée aux transports en commun selon les normes [9] ou [10].

Tab. 7
Grünzeitanteil, Leistungsfähigkeit, Auslastungsgrad und Rückstaulänge unkritischer Fahrstreifen

Tab. 7
Part du temps vert, capacité, degré d'utilisation et longueur des files d'attente des voies de circulation non critiques

Fahrstreifen *Voie de circulation*	Verkehrsstärke Q [PWE/h] *Débit de circulation Q [UVP/h]*	Grünzeitanteil λ der kritischen Fahrstreifen *Part du temps vert λ de la voie de circulation critique* ($= \lambda_{krit}$)	Leistungsfähigkeit *Capacité* ($L = \lambda \cdot S$)	Auslastungsgrad *Degré d'utilisation* ($x = Q / L$)	Rückstaulänge (PWE aus Diagramm in Abb. 9 · 6 m) *Longueur file d'attente (UVP du diagramme de la fig. 9 · 6 m)* [m]
1	410*	0,112 + 0,454	1019*	0,40	48
3	110	0,112 + 0,100 + 0,168	684	0,16	18
4	420	0,100 + 0,168	482	0,87	96
6	400	0,454 + 0,168	1120	0,36	42

* Umgerechnet in Geradeaus-Äquivalente

* Conversion en équivalents tout-droit

Schritt 5: Mit dem berechneten Auslastungsgrad wird die Verkehrsqualität der Fahrstreifen nach Ziffer 11 bestimmt. Die mittlere Wartezeit kann für alle Fahrstreifen des Individualverkehrs gemäss Normen [9] oder [10] überschlägig bestimmt werden.

Etape 5: On détermine le niveau de service des voies de circulation selon le chiffre 11 avec le degré d'utilisation calculé. Le temps d'attente moyen peut être déterminé approximativement pour toutes les voies de circulation du transport individuel selon les normes [9] ou [10].

Tab. 8
Ermittlung der Verkehrsqualität durch Gegenüberstellung der tatsächlichen Auslastungsgrade mit den zugeordneten Auslastungsgraden aus Tabelle 4 sowie überschlägige Ermittlung der mittleren Wartezeiten gemäss Normen [9] oder [10]

Tab. 8
Détermination du niveau de service en comparant le degré d'utilisation réel avec les degrés d'utilisation attribués selon tableau 4 ainsi que l'estimation sommaire des temps d'attente moyens selon les normes [9] ou [10]

Fahrstreifen *Voie de circulation*	Verkehrsstärke Q [PWE/h] *Débit de circulation Q [UVP/h]*	Grünzeitanteil λ *Part du temps vert λ*	Auslastungsgrad *Degré d'utilisation* x	Verkehrsqualitätsstufe *Niveau de service* Tab. 4	Mittlere Wartezeiten *Temps d'attente moyens* [s]
2	180	0,112	0,89	E	88
7	730*	0,454	0,89	E	37
8	160*	0,100	0,89	E	84
5	270	0,168	0,89	E	84
1	410*	0,566	0,40	B	9
3	110	0,380	0,16	A	16
4	420	0,268	0,87	E	53
6	400	0,622	0,36	B	5

* Umgerechnet in Geradeaus-Äquivalente

* Conversion en équivalents tout-droit

Aus Tabelle 8 ist ersichtlich, dass mit der gewählten Fahrstreifenanordnung und dem Phasenplan die über alle Fahrstreifen des Individualverkehrs geforderte Verkehrsqualitätsstufe D nicht eingehalten werden kann.

Il résulte du tableau 8 que, avec la disposition choisie des voies et le plan des phases, le niveau de service D exigé ne peut pas être respecté sur toutes les voies de circulation du transport individuel.

Schritt 6: Sicherheits- und unterhaltsbedingte Belastbarkeiten werden nicht vorgegeben. Die umweltbedingte Belastbarkeit wird anhand der Lärmschutzverordnung für jeden Knotenast festgelegt. Die Belastbarkeit der Knotenäste 1, 3 und 4 wird aufgrund der Art der Bebauung auf rund 1400 PWE/h festgelegt. Beim neu gebauten Autobahnzubringer (Knotenast 2) gelten die Planungswerte. Die Belastbarkeit liegt bei rund 1100 PWE/h für die Spitzenstunde.

Schritt 7: Pro Knotenast wird die tatsächliche Verkehrsstärke aus Abbildung 2 den Leistungsfähigkeiten (aus Tabellen 6 und 7), Verkehrsqualitäten (aus Tabelle 8) sowie Belastbarkeiten aus Schritt 6 gegenübergestellt.

Etape 6: Les charges compatibles avec la sécurité et l'entretien ne sont pas prescrites. Les charges compatibles avec l'environnement sont déterminées pour chaque branche sur la base de l'ordonnance pour la protection contre le bruit. La compatibilité des branches 1, 3 et 4 est déterminée en fonction du genre de construction à 1400 UVP/h en chiffres ronds. Les valeurs de planification sont applicables au nouvel accès à l'autoroute (branche de carrefour 2). La charge compatible s'élève à 1100 UVP/h en chiffres ronds pour l'heure de pointe.

Etape 7: Par branche de carrefour, le débit de circulation réel selon figure 2 est comparé aux capacités (tableaux 6 et 7), aux niveaux de service (tableau 8) ainsi qu'aux charges compatibles provenant de l'étape 6.

Tab. 9
Gegenüberstellung der Verkehrsstärken mit den Leistungsfähigkeiten (Tabellen 6 und 7), den Verkehrsqualitätsstufen (Tabelle 8) sowie den Belastbarkeiten pro Knotenast mit Angabe der möglichen Massnahmen

Tab. 9
Comparaison des débits de circulation avec la capacité (tableaux 6 et 7), les niveaux de service (tableau 8) ainsi que les charges compatibles par branche de carrefour avec indication des mesures envisageables

Knotenast/ Fahrstreifen *Branche de carrefour/ voie de circulation*		Verkehrsstärken Q *Débit de circulation Q*	Leistungsfähigkeiten L (Verkehrsqualitäten) *Capacités L (niveaux de service)*		Belastbarkeiten [PWE/h] *Charges compatibles [UVP/h]*	Mögliche Massnahmen zur Berücksichtigung der Belastbarkeit *Mesures envisageables pour tenir compte des charges compatibles*
1:	1 2 Ausfahrt Σ	390 PWE/h 180 PWE/h 750 PWE/h 1320 PWE/h	1019* PWE/h (B) 202 PWE/h (E)	↔	1400	Keine Massnahmen, evtl. Fahrstreifen 1 nur in Phase 2 *Aucune mesure, év. voie de circulation 1 seulement en phase 2*
2:	3 4 5 Ausfahrt Σ	110 PWE/h 420 PWE/h 270 PWE/h 850 PWE/h 1650 PWE/h	684 PWE/h (A) 482 PWE/h (E) 303 PWE/h (E)	↔	1100	Lärmschutzmassnahmen im Zusammenhang mit Neubau *Mesures de protection contre le bruit en cas de nouvelle construction*
3:	6 7 Ausfahrt Σ	400 PWE/h 660 PWE/h 660 PWE/h 1720 PWE/h	1120 PWE/h (B) 817* PWE/h (E)	↔	1400	Lärmtechnische Sanierung (z. B. Schallschutzfenster), Begrenzung Leistungsfähigkeit Fahrstreifen 6 *Assainissement sonore (p. ex. fenêtres antibruit), limitation de la capacité de la voie de circulation 6*
4:	8 Ausfahrt Σ	300 PWE/h 470 PWE/h 770 PWE/h	360* PWE/h (E)	↔	1400	Keine Massnahmen *Aucune mesure*

* Umgerechnet in Geradeaus-Äquivalente

* Conversion en équivalents tout-droit

Die Belastbarkeiten der Knotenäste 1 und 4 werden eingehalten. In den Knotenästen 2 und 3 werden die Belastbarkeiten mit den gegebenen Verkehrsstärken weit überschritten, so dass an diesen Knotenästen Massnahmen zu treffen sind. In der vorliegenden nachfrageorientierten Dimensionierung werden die Belastbarkeiten aus dem Kriterium Lärm durch verkehrsunabhängige Massnahmen wie Schallschutzfenster (Knotenast 3) sowie Lärmschutzwände/-wälle (Knotenast 2) erhöht, bis diese mit den vorhandenen Verkehrsstärken eingehalten werden können.

Der Vergleich der Verkehrsstärken mit den Leistungsfähigkeiten zeigt, dass die Fahrstreifen 1, 3 und 6 nur schwach ausgelastet sind und somit theoretisch weit grössere Verkehrsstärken aufnehmen könnten. Um z.B. die Belastbarkeiten im Knotenast 1 einzuhalten, könnten die Grünzeiten der Fahrstreifen 1 und 3 reduziert werden (Erhöhung Auslastungsgrad auf Verkehrsqualitätsstufe C oder D).

Schritt 8: Die Tabelle 6 zeigt, dass die kritischen Fahrstreifen 2, 5, 7 und 8 mit dem Knotenentwurf (Anzahl Fahrstreifen) und den Betriebsbedingungen (Fahrstreifenzuordnung, Phasenfolgen) eine sehr hohe Auslastung der Verkehrsqualitätsstufe E aufweisen. Im Schritt 3 wird für alle Fahrstreifen die Verkehrsqualitätsstufe D als Dimensionierungsgrundlage vorgegeben, so dass der Knotenentwurf und die Betriebsbedingungen nicht den Anforderungen entsprechen. In der nachfrageorientierten Dimensionierung müssen sie in einem Iterationsschritt angepasst werden.

Iteration: Beim Entwurf des Knotens und der Betriebsbedingungen im Schritt 2 (Iteration) werden folgende Änderungen vorgenommen:

- Der Fahrstreifen 6 dient neu den Rechtsabbiegern und den Geradeausfahrern. Dies bedingt einen zumindest kurzen zweiten Fahrstreifen in der Ausfahrt des Knotenastes 1
- Keine Fussgänger 10 in Phase 1 zwecks Aufheben der Mischphase (Verbesserung der Bedingungen für querende Fussgänger)
- Fahrstreifen 3 läuft daher nur in Phase 1

Die Resultate der Berechnungen gemäss den Schritten 3 (Iteration) bis 6 (Iteration) lassen sich im Schritt 7 (Iteration) wiederum zusammenfassen (Tabelle 10).

Les charges compatibles des branches 1 et 4 de carrefour sont respectées. En revanche, le débit de circulation donné accuse un dépassement notable pour les charges compatibles dans les branches 2 et 3 du carrefour, pour lesquelles des mesures s'imposent. Dans le cadre du présent dimensionnement d'après l'offre, on augmente les charges compatibles relatives au critère du bruit par des mesures sans aucun rapport avec le trafic telles que des fenêtres insonorisées (branche de carrefour 2) ainsi que des écrans antibruit (branche de carrefour 3) jusqu'à ce que les débits de circulation existants puissent être respectés.
La comparaison des débits de circulation avec la capacité montre que le trafic est faible sur les voies de circulation 1, 3 et 6 et qu'il serait théoriquement possible d'augmenter les débits de circulation. Pour respecter p.ex. les charges compatibles sur la branche 1 du carrefour on peut éventuellement réduire le temps vert des voies de circulation 1 et 3 (augmentation du degré d'utilisation au niveau de service C ou D).

Etape 8: Le tableau 6 montre que les voies de circulation critiques 2, 5, 7 et 8 accusent une charge très haute du niveau de service E par rapport à la conception du carrefour (nombre de voies de circulation) et aux conditions d'exploitation (attribution des voies de circulation, suite des phases). Dans l'étape 3, le niveau de service D est préalablement donné en tant que base de dimensionnement pour toutes les voies de circulation, de telle façon que la conception du carrefour ainsi que les conditions d'exploitation ne correspondent pas aux exigences. Dans le cadre d'un dimensionnement d'après la demande, il convient de les adapter lors d'itérations.

Itération: Lors de la conception du carrefour et de la détermination des conditions d'exploitation dans l'étape 2 (itération), on procédera aux modifications suivantes:

- La voie de circulation 6 sert nouvellement aux tourne-à-droite et aux conducteurs allant tout droit. Ceci requiert une deuxième voie de circulation du moins très courte à la sortie de la branche de carrefour 1
- Aucun piéton 10 dans la phase 1 en vue de supprimer la phase mixte (amélioration des conditions pour la traversée des piétons)
- La voie de circulation 3 ne fonctionne donc que dans la phase 1

Les résultats des calculs selon les étapes 3 (itération) à 6 (itération) peuvent à nouveau être résumés dans l'étape 7 (itération) (tableau 10).

Tab. 10
Gegenüberstellung der Verkehrsstärken mit den Leistungsfähigkeiten und den Verkehrsqualitätsstufen aus der Iterationsrechnung sowie den Belastbarkeiten pro Knotenast mit Angabe der möglichen Massnahmen

Knotenast/ Fahrstreifen *Branche de carrefour/ voie de circulation*		Verkehrsstärken Q *Débit de circulation Q*	Leistungsfähigkeiten L (Verkehrsqualitäten) *Capacités L (niveaux de service)*		Belastbarkeiten [PWE/h] *Charges compatibles [UVP/h]*	Mögliche Massnahmen zur Berücksichtigung der Belastbarkeit *Mesures envisageables pour tenir compte des charges compatibles*
1:	1 2 Ausfahrt Σ	390 PWE/h 180 PWE/h 750 PWE/h 1320 PWE/h	952* PWE/h (B) 229 PWE/h (D)	↔	1400	Fahrstreifen 3 nur in Phase 1 Voie de circulation 3 seulement *dans la phase 1*
2:	3 4 5 Ausfahrt Σ	110 PWE/h 420 PWE/h 270 PWE/h 850 PWE/h 1650 PWE/h	229 PWE/h (B) 547 PWE/h (D) 344 PWE/h (D)	↔	1100	Lärmschutzmassnahmen im Zusammenhang mit Neubau *Mesures de protection contre le bruit en cas de nouvelle construction*
3:	6/7 Ausfahrt Σ	1060 PWE/h 660 PWE/h 1720 PWE/h	1448* PWE/h (D)	↔	1400	Lärmtechnische Sanierung (z.B. Schallschutzfenster), Begrenzung *Assainissement sonore (p.ex. fenêtres antibruit)*
4:	8 Ausfahrt Σ	300 PWE/h 470 PWE/h 770 PWE/h	406* PWE/h (D)	↔	1400	Keine Massnahmen *Aucune mesure*

* Umgerechnet in Geradeaus-Äquivalente

Tab. 10
Comparaison des débits de circulation avec la capacité et le niveau de service résultant de l'itération ainsi que des charges compatibles par branche de carrefour avec indication des mesures envisageables

* Conversion en équivalents tout-droit

Mit den Änderungen (v.a. der zweistreifigen Ausfahrt im Knotenast 1) wird die Verkehrsqualitätsstufe D auf allen Fahrstreifen erreicht. Da die Verkehrsstärken unverändert bleiben, ergeben sich bei den Massnahmen zur Erhöhung der Belastbarkeiten keine Änderungen. Mit der Verbesserung der Auslastung des Fahrstreifens 3 werden die höchstmögliche Verkehrsstärke im Knotenast 1 reduziert sowie für den Fussgängerstrom 10 eine bessere Querungsmöglichkeit geschaffen.

16. Überschlägige Abschätzungen im angebotsorientierten Verfahren

Am Knoten aus dem vorherigen Beispiel (Ziffer 15) werden die Leistungsfähigkeit, die Verkehrsqualität und die Belastbarkeit im angebotsorientierten Verfahren abgeschätzt.

Schritt 1: Die massgebenden Verkehrsströme sind Abbildung 2 zu entnehmen.

Schritt 2: Die Anzahl sowie die Anordnung der Fahrstreifen ist Abbildung 3, die Festlegung der Betriebsbedingungen Abbildung 4 zu entnehmen. Auf Grund der städtebaulichen Situation ist der Stauraum folgender Fahrstreifen begrenzt:
Fahrstreifen 2: 40 m
(Rückstaulänge in Beispiel Ziffer 15: 60 m)
Fahrstreifen 5: 100 m
(Rückstaulänge in Beispiel Ziffer 15: 78 m)
Fahrstreifen 8: 100 m
(Rückstaulänge in Beispiel Ziffer 15: 48 m)

Les modifications (surtout celles concernant la sortie à deux voies sur la branche 1 du carrefour) permettent d'atteindre le niveau de service D sur toutes les voies de circulation. Comme les débits de circulation restent inchangés, il n'en résulte aucune modification des mesures pour l'augmentation des charges compatibles. En améliorant le degré d'utilisation de la voie de circulation 3, on réduit le débit de circulation maximal possible dans la branche 1 du carrefour et on crée une meilleure traversée pour le courant 10 de piétons.

16. Evaluation approximative dans le cadre de la procédure d'après l'offre

Sur le carrefour de l'exemple précédent (chiffre 15), on évalue la capacité, le niveau de service et la charge compatible dans le cadre de la procédure d'après l'offre.

Etape 1: Les courants de circulation déterminants sont mentionnés dans la figure 2.

Etape 2: Le nombre et la disposition des voies de circulation sont donnés à la figure 3, tandis que les conditions d'exploitation résultent de la figure 4. En raison de la situation en milieu urbain, la zone de stockage des voies de circulation suivantes est limitée comme suit:
voie de circulation 2: 40 m (longueur de la file d'attente dans l'exemple au chiffre 15: 60 m)
voie de circulation 5: 100 m (longueur de la file d'attente dans l'exemple au chiffre 15: 78 m)
voie de circulation 8: 100 m (longueur de la file d'attente dans l'exemple au chiffre 15: 48 m)

Schritt 3: Die Zuordnung der Knotenströme zu den Fahrstreifen erfolgt wiederum nach Tabelle 5 und Abbildung 5.

Schritt 4: Der Grünzeitanteil, die Leistungsfähigkeit, der Auslastungsgrad und die Rückstaulänge der kritischen Fahrstreifen sind der Tabelle 6, die Werte der unkritischen Fahrstreifen der Tabelle 7 zu entnehmen.

Der Rückstau des Fahrstreifens 2 reicht mit 60 m über den festgelegten Rückstauraum hinaus. Er soll im Mittel auf ca. 6 PWE bzw. 36 m begrenzt werden. Der Grünzeitanteil des Fahrstreifens 2 beträgt bei 6 PWE Rückstau und einer Verkehrsstärke von Q = 180 PWE/h nach Abbildung 9 ca. $\lambda_{GEG} = 0{,}2$.

Die übrigen Rückstaulängen aus Schritt 4 finden in den Stauräumen aus Schritt 2 Platz. Die Grünzeitanteile, die Leistungsfähigkeiten, die Auslastungsgrade und die Rückstaulängen aller Fahrstreifen müssen gemäss Ziffer 5 nochmals berechnet werden (S = 1800 PWE/h).

Etape 3: L'attribution des courants de carrefours aux voies de circulation s'effectue également conformément au tableau 5 et à la figure 5.

Etape 4: La part du temps vert, la capacité, le degré d'utilisation ainsi que la longueur des files d'attente des voies de circulation critiques résultent du tableau 6, les valeurs des voies de circulation non critiques du tableau 7.

La file d'attente de la voie de circulation 2 dépasse, avec 60 m, la zone de stockage fixée. Elle devrait être limitée à env. 6 UVP ou 36 m. La part du temps vert de la voie de circulation 2 avec une file d'attente de 6 UVP et un débit de circulation de Q = 180 UVP/h est de $\lambda_{GEG} = 0{,}2$, selon figure 9.

Les autres files d'attente de l'étape 4 ont suffisamment de place dans la zone de stockage de l'étape 2. Les parts du temps vert, la capacité, les degrés d'utilisation ainsi que les longueurs des files d'attente de toutes les voies de circulation sont à recalculer encore une fois selon chiffre 5 (S = 1800 UVP/h).

Tab. 11
Grünzeitanteil, Leistungsfähigkeit, Auslastungsgrad und Rückstaulänge kritischer Fahrstreifen

Tab. 11
Part du temps vert, capacité, degré d'utilisation et longueur de la file d'attente des voies de circulation critiques

Fahrstreifen *Voie de circulation*	Verkehrsstärke Q [PWE/h] *Débit de circulation Q [UVP/h]*	Grünzeitanteil *Part du temps vert* ($\lambda_{krit} = 0{,}633^{3)} \cdot Q / 1160^{2)}$)	Leistungsfähigkeit *Capacité* ($L = \lambda_{krit} \cdot S$)	Auslastungsgrad *Degré d'utilisation* ($x = Q / L$)	Rückstaulänge (PWE aus Diagramm in Abb. 5 · 6 m) *Longueur des files d'attente (UVP du diagramme de la fig. 5 · 6 m)* [m]
2	180	$\lambda_{GEG} = 0{,}200$	360	0,50	36
7	730[1)]	0,399	718[1)]	1,02	258
8	160[1)]	0,087	157[1)]	1,02	72
5	270	0,147	265	1,02	108
Σ	1160[2)]	0,833	–	–	–

1) Umgerechnet in Geradeaus-Äquivalente
2) $\Sigma Q_{i,krit} - \Sigma Q_{2,krit} = 1340 - 180 = 1160$
3) $\Sigma\lambda_{i,krit} - \lambda_{2,GEG} = 0{,}833 - 0{,}20 = 0{,}633$

1) Conversion en équivalents tout-droit
2) $\Sigma Q_{i,krit} - \Sigma Q_{2,krit} = 1340 - 180 = 1160$
3) $\Sigma\lambda_{i,krit} - \lambda_{2,GEG} = 0{,}833 - 0{,}20 = 0{,}633$

Der Grünzeitanteil, die Leistungsfähigkeit, der Auslastungsgrad und die Rückstaulänge der unkritischen Fahrstreifen lauten für S = 1800 PWE/h neu:

La part du temps vert, la capacité, le degré d'utilisation et la longueur des files d'attente des voies de circulation non critiques sont, pour S = 1800 UVP/h, maintenant:

Tab. 12
Grünzeitanteil, Leistungsfähigkeit, Auslastungsgrad und Rückstaulänge unkritischer Fahrstreifen

Tab. 12
Part du temps vert, capacité, degré d'utilisation et longueur de la file d'attente des voies de circulation non critiques

Fahrstreifen *Voie de circulation*	Verkehrsstärke Q [PWE/h] *Débit de circulation Q [UVP/h]*	Grünzeitanteil der kritischen Fahrstreifen *Part du temps vert de la voie de circulation critique* ($= \lambda_{krit}$)	Leistungsfähigkeit *Capacité* ($L = \lambda_{krit} \cdot S$)	Auslastungsgrad *Degré d'utilisation* ($x = Q / L$)	Rückstaulänge (PWE aus Diagramm in Abb. 5 · 6 m) *Longueur des files (UVP du diagramme de la fig. 5 · 6 m)* [m]
1	410*	0,200 + 0,399	1078*	0,38	48
3	110	0,200 + 0,087 + 0,147	781	0,14	18
4	420	0,087 + 0,147	421	1,00	150
6	400	0,399 + 0,147	983	0,41	48

* Umgerechnet in Geradeaus-Äquivalente

* Conversion en équivalents tout-droit

Schritt 5: Mit dem berechneten Auslastungsgrad wird die Verkehrsqualität der Fahrstreifen nach Ziffer 11 bestimmt. Die mittlere Wartezeit kann für alle Fahrstreifen des Individualverkehrs gemäss den Normen [9] oder [10] überschlägig bestimmt werden.

Etape 5: On détermine le niveau de service des voies de circulation selon le chiffre 11 à l'aide du degré d'utilisation calculé. Le temps d'attente moyen peut être déterminé approximativement pour toutes les voies de circulation du transport individuel selon les normes [9] ou [10].

Tab. 13
Ermittlung der Verkehrsqualität durch Gegenüberstellung der tatsächlichen Auslastungsgrade mit den zugeordneten Auslastungsgraden aus Tabelle 4 sowie überschlägige Ermittlung der mittleren Wartezeiten gemäss Normen [9] und [10]

Tab. 13
Détermination du niveau de service en comparant le degré d'utilisation réel avec les degrés d'utilisation attribués selon tableau 4 ainsi que estimation sommaire des temps d'attente moyens selon les normes [9] ou [10]

Fahrstreifen *Voie de circulation*	Verkehrsstärke Q [PWE/h] *Débit de circulation Q [UVP/h]*	Grünzeitanteil λ *Part du temps vert* λ	Auslastungsgrad *Degré d'utilisation* x	Verkehrsqualitätsstufe *Niveau de service*	Mittlere Wartezeiten aus Normen *Temps d'attente moyen selon normes [9], [10]* [s]
2	180	0,200	0,50	B	9
7	730*	0,399	1,02	F	> 100
8	160*	0,087	1,02	F	> 100
5	270	0,147	1,02	F	> 100
1	410*	0,599	0,38	B	8
3	110	0,434	0,14	A	12
4	420	0,234	1,00	E	90
6	400	0,546	0,41	B	10

* Umgerechnet in Geradeaus-Äquivalente

* Conversion en équivalents tout-droit

Mit der gewählten Anzahl Fahrstreifen, dem Phasenplan und dem Grünzeitanteil für den Fahrstreifen 2 kann keine ausreichende Verkehrsqualität (Stufe D) an allen Fahrstreifen erreicht werden. Drei der vier kritischen Fahrstreifen sind überlastet (Leistungsfähigkeit wird überschritten, Stufe F).

Le nombre de voies de circulation, le plan de phase et la part du temps vert choisis ne permettent pas d'atteindre un niveau de qualité suffisant (niveau D) sur toutes les voies de circulation. Trois des quatre voies de circulation critiques sont surchargées (dépassement de la capacité, niveau F).

Schritt 6: Die Belastbarkeiten entsprechen dem Beispiel in Ziffer 15 (Schritt 6).

Etape 6: Les charges compatibles correspondent à l'exemple du chiffre 15 (étape 6).

Schritt 7: Pro Knotenast wird die tatsächliche Verkehrsstärke aus Abbildung 2 allen Leistungsfähigkeiten (aus Tabellen 11 und 12), Verkehrsqualitäten (Tabelle 13) sowie Belastbarkeiten aus Schritt 6 gegenübergestellt.

Etape 7: On compare le débit de circulation actuel résultant de la figure 2 à la capacité (résultant des tableaux 11 et 12), au niveau de service (tableau 13) ainsi qu'à la charge compatible selon l'étape 6.

Tab. 14
Gegenüberstellung der Verkehrsstärken mit den Leistungsfähigkeiten (Tabellen 11 und 12), den Verkehrsqualitätsstufen (Tabelle 13) sowie den Belastbarkeiten pro Knotenast mit Angabe der möglichen Massnahmen

Fahrstreifen *Voie de circulation*		Verkehrsstärke Q [PWE/h] *Débit de circulation Q [UVP/h]*	Leistungsfähigkeiten L (Verkehrsqualitäten) *Capacités L (niveaux de service)*		Belastbarkeiten [PWE/h] *Charges compatibles [UVP/h]*	Mögliche Massnahmen zur Berücksichtigung der Belastbarkeit *Mesures envisageables pour tenir compte des charges compatibles*
1:	1 2 Ausfahrt Σ	390 PWE/h 180 PWE/h 750 PWE/h 1320 PWE/h	1078* PWE/h (B) 360 PWE/h (B)	↔	1400	Keine Massnahmen Aucune mesure
2:	3 4 5 Ausfahrt Σ	110 PWE/h 420 PWE/h 270 PWE/h 850 PWE/h 1650 PWE/h	781 PWE/h (A) 421 PWE/h (E) 265 PWE/h (F)	↔	1100	Reduktion Verkehrsstärken, Lärmschutzmassnahmen im Zusammenhang mit Neubau *Réduction du débit de circulation; mesures pour la protection contre le bruit en cas de construction nouvelle*
3:	6 7 Ausfahrt Σ	400 PWE/h 660 PWE/h 660 PWE/h 1720 PWE/h	983 PWE/h (B) 718* PWE/h(F)	↔	1400	Reduktion Verkehrsstärken, Lärmtechnische Sanierung (z. B. Schallschutzfenster) *Réduction du débit de circulation; assainissement sonore (p. ex. fenêtres antibruit)*
4:	8 Ausfahrt Σ	300 PWE/h 470 PWE/h 770 PWE/h	314* PWE/h (F)	↔	1400	Keine Massnahmen *Aucune mesure*

* Umgerechnet in Geradeaus-Äquivalente

Tab. 14
Comparaison des débits de circulation avec la capacité (tableaux 11 et 12), les niveaux de service (tableau 13) ainsi que les charges compatible par branche de carrefour avec indications des mesures envisageables

* Conversion en équivalents tout-droit

Die Belastbarkeiten der Knotenäste 1 und 4 werden eingehalten. In den Knotenästen 2 und 3 werden die Belastbarkeiten mit den gegebenen Verkehrsstärken weit überschritten, so dass an diesen Knotenästen Massnahmen zu treffen sind. Im angebotsorientierten Verfahren sollen die Belastbarkeiten aus dem Kriterium Lärm durch verkehrsabhängige Massnahmen eingehalten werden. Kann die notwendige Reduktion der Verkehrsstärken nicht erreicht werden, sind wiederum verkehrunabhängige Massnahmen zu ergreifen (Ziffer 15, Schritt 7).

Schritt 8: Die Tabelle 14 zeigt, dass die kritischen Fahrstreifen 5, 7 und 8 mit der gegebenen Anzahl Fahrstreifen, den gegebenen Stauräumen und Betriebsbedingungen (Fahrstreifenzuordnung, Phasenfolgen) überlastet sind (Verkehrsqualitätsstufe F). Damit der Knoten zur Spitzenstunde einigermassen funktionsfähig bleibt, sollte für alle Fahrstreifen zumindest die Verkehrsqualitätsstufe E erreicht werden.

Les charges compatibles des branches 1 et 4 du carrefour sont respectées. Dans les branches 2 et 3 de carrefour, les débits de circulation existants dépassent les charges compatibles de beaucoup, si bien qu'il convient de prendre des mesures à cet endroit. Dans la procédure d'après l'offre, des mesures de trafic permettent de respecter les charges concernant le critère du bruit. Si la réduction requise du débit de circulation ne peut être atteinte, il convient de prendre à nouveau des mesures sans rapport avec le trafic (chiffre 15, étape 7).

Etape 8: Le tableau 14 montre que les voies de circulation critiques 5, 7 et 8 avec leurs nombres de voies ainsi que les zones de stockage et les conditions d'exploitation (attribution des voies de circulation, suite des phases) données accusent une surcharge (niveau de service F). Pour que le carrefour puisse fonctionner aux heures de pointe d'une manière ou d'une autre, on devrait obtenir pour toutes les voies de circulation au moins le niveau de service E.

Iteration: Im vorliegenden Fall können die Anzahl Fahrstreifen und die Stauräume nicht verändert werden. Änderungen an den Betriebsbedingungen sind hingegen möglich. Sie betreffen in der Regel nur die Steuerung der Lichtsignalanlage. Die Verkehrsstärken müssen im Schritt 3 neu soweit verändert werden, dass zumindest die Verkehrsqualitätsstufe E erreicht werden kann. Folgende Massnahmen werden vorgesehen:
- Der Verkehrsstrom des Fahrstreifens 2 (Linksabbieger, 180 PWE/h) wird nicht mehr über den Knotenast 1 , sondern neu über den Knotenast 4 geleitet. Die Verkehrsstärke beider Fahrstreifen 8 wird um jeweils 90 PWE/h erhöht (180 PWE/h : 2).
- Die Phase 1 entfällt. Der Phasenplan (Abbildung 4) enthält nur noch die Phasen 2–4. Somit beträgt der Faktor Y zur Berücksichtigung der Leistungsverluste durch Zwischenzeiten (Tabelle 3) 0,875.

Die Resultate der Berechnungen gemäss den Schritten 3 (Iteration) bis 6 (Iteration) lassen sich im Schritt 7 wiederum zusammenfassen.

Itération: Dans le présent cas, on ne peut modifier le nombre de voies de circulation ainsi que les zones de stockage. Des modifications des conditions d'exploitation sont en revanche possibles. Elles ne concernent en règle générale que la régulation des feux de circulation. Les débits de circulation doivent être modifiés dans l'étape 3 de telle façon qu'au moins le niveau de service E puisse être atteint. Les mesures suivantes sont prévues:
- Le courant de circulation de la voie de circulation 2 (tourne à gauche) ne passe plus par la branche de carrefour 1 mais nouvellement par la branche de carrefour 4. Le débit de circulation sur les 2 voies 8 augmente à 90 UVP/h (180 UVP/h : 2).
- Le plan de phases (figure 4) ne comprend plus que les phases 2–4. Le facteur Y qui permet de tenir compte de la perte de capacité en raison des temps interverts (tableau 3) s'élève à 0,875.

Les résultats des calculs selon les étapes 3 (itération) à 6 (itération) peuvent de nouveau être regroupés dans le cadre de l'étape 7.

Tab. 15
Gegenüberstellung der Verkehrsstärken mit den Leistungsfähigkeiten und den Verkehrsqualitätsstufen aus der Iterationsrechnung sowie den Belastbarkeiten pro Knotenast mit Angabe der möglichen Massnahmen.

Knotenast/ Fahrstreifen *Branche de carrefour/ voie de circulation*		Verkehrsstärken Q *Débit de circulation Q*	Leistungsfähigkeiten L (Verkehrsqualitäten) *Capacités L (niveaux de service)*		Belastbarkeiten [PWE/h] *Charges compatibles [UVP/h]*	Mögliche Massnahmen zur Berücksichtigung der Belastbarkeit *Mesures envisageables pour tenir compte des charges compatibles*
1:	1 Ausfahrt Σ	390 PWE/h 750 PWE/h 1140 PWE/h	877* PWE/h (B)	↔	1400	Keine Massnahmen *Aucune mesure*
2:	3 4 5 Ausfahrt Σ	110 PWE/h 420 PWE/h 270 PWE/h 850 PWE/h 1650 PWE/h	623 PWE/h (A) 623 PWE/h (C) 324 PWE/h (D)	↔	1100	Lärmschutzmassnahmen im Zusammenhang mit Neubau *Mesures de protection contre le bruit en cas de nouvelle construction*
3:	6 7 Ausfahrt Σ	400 PWE/h 660 PWE/h 660 PWE/h 1720 PWE/h	1200 PWE/h (B) 877* PWE/h (D)	↔	1400	Lärmtechnische Sanierung (z. B. Schallschutzfenster) *Assainissement sonore (p. ex. fenêtres antibruit)*
4:	8 Ausfahrt Σ	480 PWE/h 470 PWE/h 950 PWE/h	299* PWE/h (D)	↔	1400	Keine Massnahmen *Aucune mesure*

* Umgerechnet in Geradeaus-Äquivalente

Tab. 15
Comparaison des débits de circulation avec les capacités et les niveaux de service par suite d'itération et des charges compatibles par branche de carrefour avec indication des mesures envisageables.

* Conversion en équivalents tout-droit

Mit der Aufhebung des bezüglich Stauraum problematischen Fahrstreifens 2 und der Führung des Knotenstromes dieses Fahrstreifens über die Fahrstreifen 8 (Umleitung ausserhalb des Knotenbereiches) kann der Phasenplan vereinfacht werden. Anstelle von vier Phasen sind nur noch drei Phasen notwendig (Phasen 2–4 aus Abbildung 4). Trotz der Mehrbelastung des Knotenastes 4 wird dessen Belastbarkeit nicht überschritten. An allen Fahrstreifen wird nun eine ausreichende Verkehrsqualität erreicht.

En supprimant la voie de circulation 2, problématique en ce qui concerne la zone de stockage, et en faisant passer son courant de circulation par la voie de circulation 8 (déviation en dehors de la zone du carrefour), on peut simplifier le plan de phases. Au lieu de quatre phases, plus que trois phases sont nécessaires (phases 2–4 dans la figure 4). Malgré la surcharge dans la branche 4 du carrefour, on ne dépasse pas la charge compatible. Sur toutes les voies de circulation, on obtient ainsi un niveau de service suffisant.

F. Literaturverzeichnis

[1] SN 640 002 Verkehrserhebungen, Verkehrszählungen
[2] SN 640 005 Ganglinientypen und durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV); inkl. Beilage SN 640 005 Ganglinientypen des schweren Verkehrs
[3] SN 640 016 Massgebender Verkehr
[4] SN 640 017 Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Grundlagennorm
[5] SN 640 250 Knoten, Grundlagennorm
[6] SN 640 251 Knoten, Knotenelemente
[7] SN 640 262 Knoten, Knoten in einer Ebene (ohne Kreisverkehr)
[8] SN 640 832 Lichtsignalanlagen, Kopfnorm
[9] SN 640 833 Lichtsignalanlagen, Nutzen, inkl. Beilage
[10] SN 640 834 Lichtsignalanlagen, Phasentrennung, inkl. Beilage
[11] SN 640 835 Lichtsignalanlagen, Abschätzen der Leistungsfähigkeit
[12] SN 640 836 Lichtsignalanlagen, Gestaltung der Signalgeber
[13] SN 640 837 Lichtsignalanlagen, Übergangszeiten und Mindestzeiten
[14] SN 640 838 Lichtsignalanlagen, Zwischenzeiten
[15] Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Strassenbau: Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufes auf Strassen, Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 669 (1994), Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr Universität Bochum, 1993
[16] Bundesamt für Strassenbau, Nutzen einer Lichtsignalanlage; Forschungsbericht Nr. 359 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Ingenieurbüro Pitzinger, Zürich, vom Februar 1995

F. Bibliographie

[1] SN 640 002 Recensement de la circulation, comptages
[2] SN 640 005 Courbes caractéristiques de variation, trafic journalier moyen TJM, y compris annexe pour le trafic lourd
[3] SN 640 016 Trafic déterminant
[4] SN 640 017 Capacité, niveau de service, charges compatibles; norme de base
[5] SN 640 250 Carrefours, norme de base
[6] SN 640 251 Carrefours, éléments de carrefours
[7] SN 640 262 Carrefours, carrefours à niveau (non giratoires)
[8] SN 640 832 Installations feux de circulation, norme de base
[9] SN 640 833 Installations feux de circulation, utilité, y compris annexe
[10] SN 640 834 Installations feux de circulation, séparation des phases, y compris annexe
[11] SN 640 835 Installations de feux de circulation, évaluation de la capacité
[12] SN 640 836 Installations de feux de circulation, configuration des boîtes à feux
[13] SN 640 837 Installations de feux de circulation, temps transitoires et temps minimaux
[14] SN 640 838 Installations de feux de circulation, temps interverts
[15] Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Strassenbau: Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufes auf Strassen, Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 669 (1994), Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr Universität Bochum, 1993
[16] Office fédéral des routes, utilité d'une installation de feux de circulation; rapport de recherche No 359 sur demande de l'Union des professionnels suisses de la route (VSS), bureau d'ingénieur Pitzinger, Zurich, de février 1995

G. Anhang

Ermittlung des Rückstaus k für Umlaufzeiten von Z = 60 s, Z = 70 s, Z = 90 s und Z = 120 s auf Grundlage der Normen Nutzen [5] und Phasentrennung [6]:

G. Annexe

Détermination de la file d'attente k pour des cycles de Z = 60 s, Z = 70 s, Z = 90 s et Z = 120 s sur la base des normes utilité [5] et séparation des phases [6]:

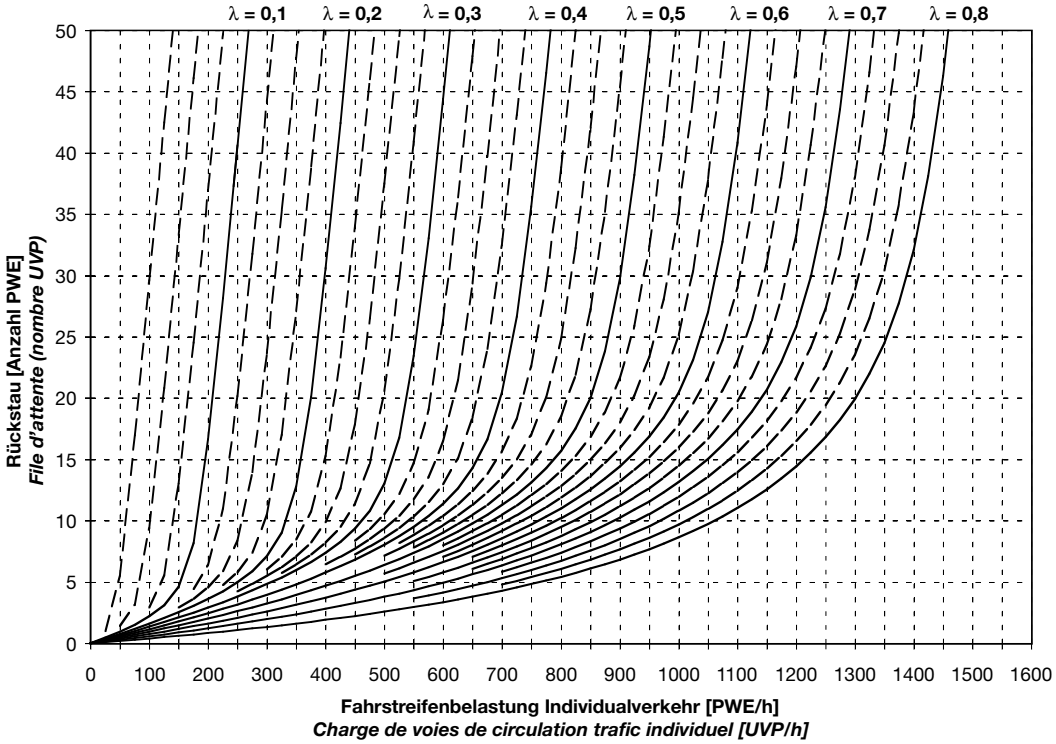


Abb. 6
Ermittlung des Knotenrückstaus k für eine Umlaufzeit Z = 60 s

Fig. 6
Détermination de la file d'attente k pour un cycle de Z = 60 s

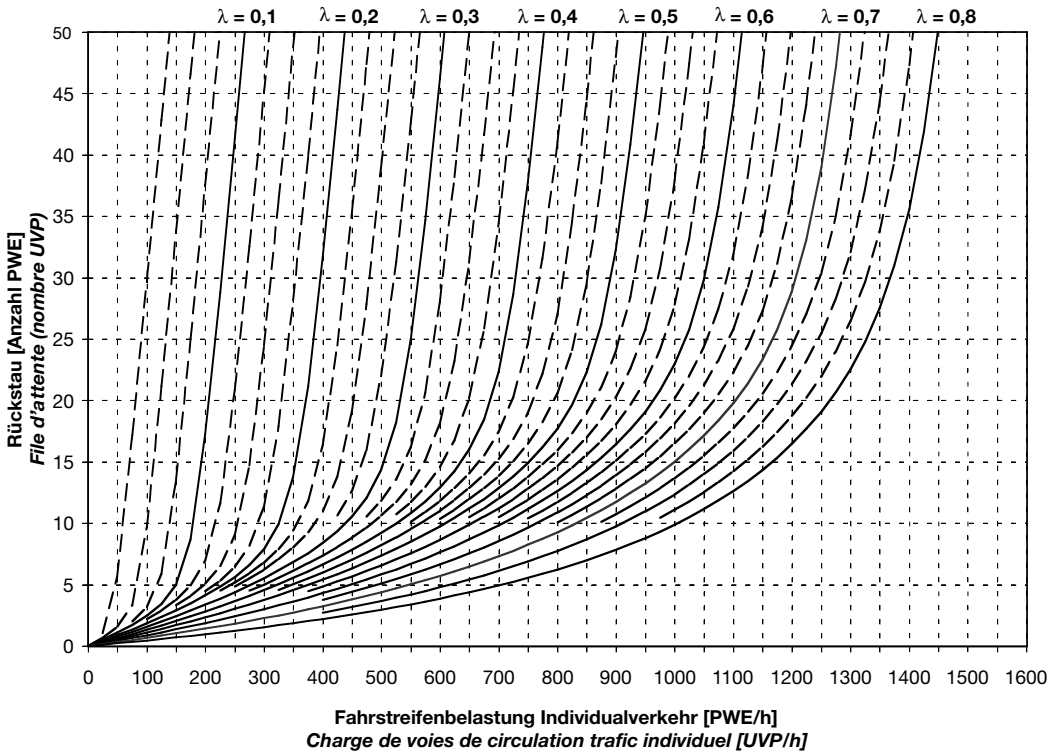


Abb. 7
Ermittlung des Knotenrückstaus k für eine Umlaufzeit Z = 70 s

Fig. 7
Détermination de la file d'attente k pour un cycle de Z = 70 s

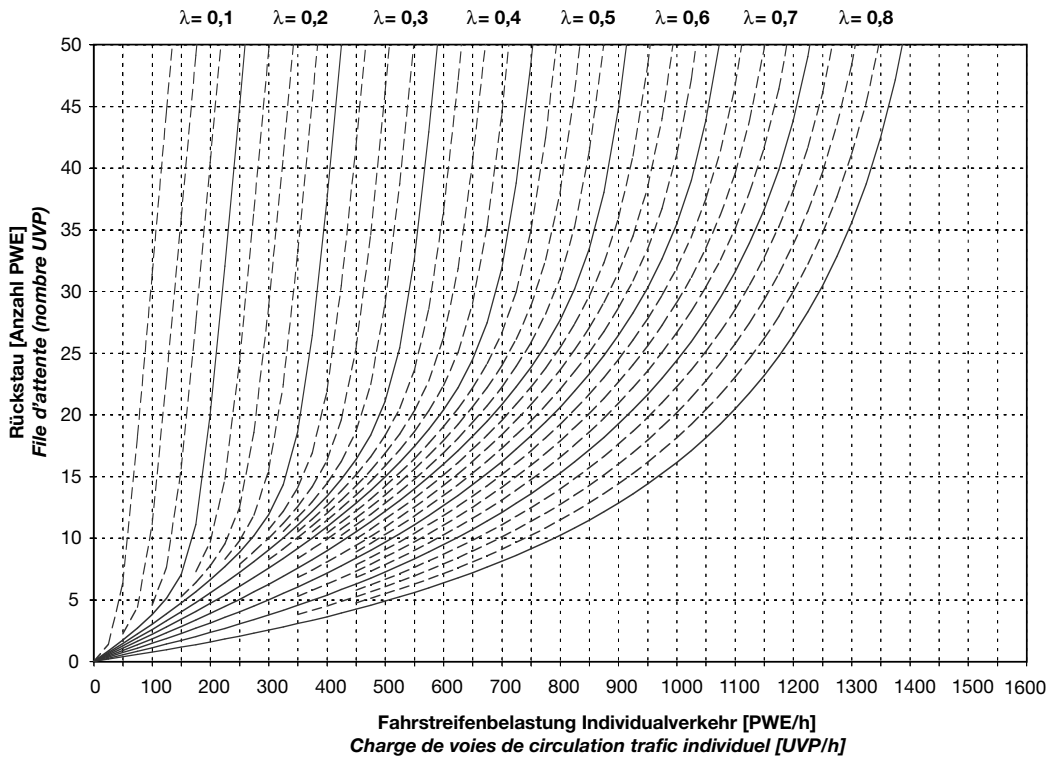


Abb. 8
Ermittlung des Knotenrückstaus k für eine Umlaufzeit Z = 90 s

Fig. 8
Détermination de la file d'attente k pour un cycle de Z = 90 s

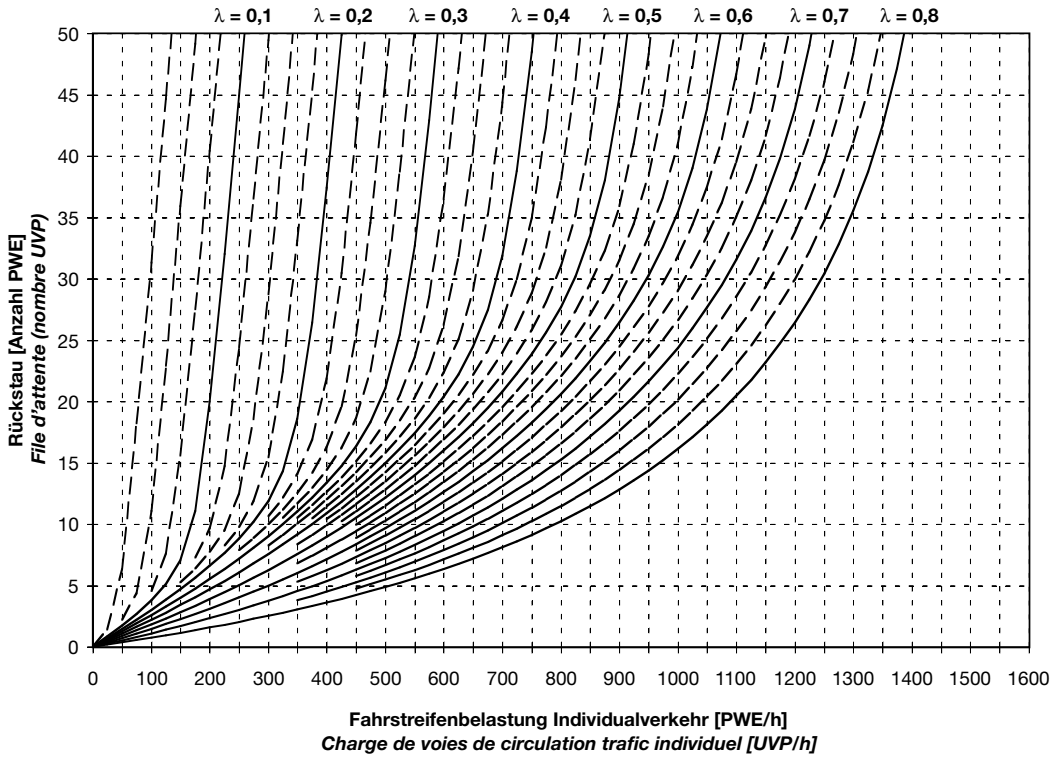


Abb. 9
Ermittlung des Knotenrückstaus k für eine Umlaufzeit Z = 120 s

Fig. 9
Détermination de la file d'attente k pour un cycle de Z = 120 s

Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute
Union des professionnels suisses de la route
Unione dei professionisti svizzeri della strada
Association of Swiss Road and Traffic Engineers

Schweizer Norm
Norme Suisse
Norma Svizzera
Swiss Standard

640 024

EINGETRAGENE NORM DER SCHWEIZERISCHEN NORMEN-VEREINIGUNG SNV NORME ENREGISTREE DE L'ASSOCIATION SUISSE DE NORMALISATION

Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit

Knoten mit Kreisverkehr

A. Allgemeines

1. Geltungsbereich

Diese Norm ist für Knoten mit Kreisverkehr (Kreisel) ohne Verflechtungen, mit einstreifiger Verkehrsführung und mit nicht überfahrbarer Mittelinsel gemäss der Norm [3] anwendbar. Ihre Ausführung entspricht den Vorgaben in den Normen [4] und [5]. Zu Nachbarknoten weisen sie einen solchen Abstand auf, dass die Kreiselfahrbahn nicht durch einen allfälligen Rückstau vom Nachbarknoten blockiert wird.
Auf Kreisel mit mehrstreifiger Verkehrsführung ist diese Norm nur bedingt anwendbar, da die Datenbasis ungenügend ist.

2. Gegenstand

Diese Norm beschreibt das Verfahren für die verkehrstechnische Dimensionierung und für die Beurteilung des Verkehrsablaufs auf Knoten mit Kreisverkehr innerhalb sowie ausserhalb besiedelter Gebiete. Das Verfahren basiert auf dem Konzept der Grundlagennorm [2] und wird für jede Ein- bzw. Ausfahrt des Knotens mit Kreisverkehr einzeln angewendet.
Die Norm gibt auch Hinweise für Kreisel mit mehreren Fahrstreifen [3].

3. Zweck

Diese Norm dient der Vereinheitlichung des Verfahrens, um auf Knoten mit Kreisverkehr entweder von einem gegebenen Verkehrsangebot auf die Leistungsfähigkeit, die Verkehrsqualität und die Belastbarkeit zu schliessen (angebotsorientiertes Verfahren) oder, ausgehend von der Verkehrsnachfrage, die zugehörige Verkehrsanlage zu dimensionieren (nachfrageorientiertes Verfahren). Sie zeigt auch den Weg, wie eine Beurteilung der Verkehrsqualität bei gegebener Verkehrsstärke und bei gegebenem Verkehrsangebot erfolgen kann (Leistungsanalyse).
Die Begriffe sind in den Normen [2] und [4] enthalten.

Capacité, niveau de service, charges compatibles

Carrefours giratoires

A. Généralités

1. Domaine d'application

Cette norme s'applique aux carrefours giratoires sans entrecroisements avec anneau à une voie et îlot central infranchissable selon la norme [3]. Leur exécution correspond aux directives des normes [4] et [5]. Leur distance par rapport aux carrefours voisins est suffisante afin qu'une éventuelle file d'attente générée par l'un de ceux-ci ne bloque pas la circulation sur l'anneau.

En raison de données de bases insuffisantes, cette norme n'est applicable qu'à certaines conditions aux carrefours giratoires avec anneau à voies multiples.

2. Objet

Cette norme décrit une démarche pour le dimensionnement selon la technique de circulation et pour l'évaluation de l'écoulement de la circulation de carrefours giratoires à l'intérieur ou à l'extérieur d'espaces bâtis. La démarche se fonde sur la norme de base [2] et s'applique séparément à chaque entrée et sortie du carrefour giratoire.
Cette norme donne également des indications pour les carrefours giratoires à voies multiples [3].

3. But

Cette norme permet d'uniformiser la démarche pour les carrefours giratoires afin qu'à partir d'une offre de transport donnée, on puisse en déduire la capacité, le niveau de service et les charges compatibles (procédure d'après l'offre) ou, en partant de la demande de transport, dimensionner les infrastructures de transport correspondantes (procédure d'après la demande). Elle montre également la démarche pour une évaluation du niveau de service dans le cas d'un débit de circulation et d'une offre de transport donnés (analyse des performances).
Les définitions sont données dans les normes [2] et [4].

Herausgeber:
Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS)
Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich

Zuständig: VSS-Kommission 2, Planung und Projektierung

Bearbeitung: Arbeitsgruppe 22, Planung

Genehmigt: August 1999

Editeur:
Union des professionnels suisses de la route (VSS)
Seefeldstrasse 9, 8008 Zurich

Responsable: Commission VSS 2, Planification et Projet

Elaboration: Groupe de travail 22, Planification

Adoptée: août 1999

© 2000 by VSS Zurich

4. Abgrenzung

Das vorliegende Verfahren darf nicht auf Kreisel mit vom Geltungsbereich abweichender Vortrittsregelung wie Rechtsvortritt, Querungen von Tram oder Bahn (mit und ohne Lichtsignalsicherung) und Fussgängerstreifen zur Mittelinsel angewendet werden. Auch Kreisel mit Verflechtungen (Verflechtungskreisel [3]) sowie Doppelkreisel und stark ovale Formen gemäss [4] werden vom vorliegenden Verfahren ausgeschlossen. Diese aufgeführten Spezialfälle bedürfen einer detaillierten verkehrstechnischen Betrachtung.
Kreisel mit einstreifiger Kreiselfahrbahn und zweistreifigen Einfahrten gelangen nur in der Schweiz zur Anwendung. Für diese Fahrstreifenanordnung stehen lediglich Schätzungen zur Verfügung [8] und [9].

4. Limites d'application

La présente démarche ne doit pas être appliquée aux carrefours giratoires avec régime de priorité particulier tel que priorité de droite, traversées de tramway ou de chemin de fer (avec ou sans régulation par feux) ou passages piéton vers l'îlot central. Sont également exclus de la présente démarche les carrefours giratoires avec entrecroisements ainsi que les carrefours giratoires doubles et ceux de forme ovale très prononcée. Ces cas spéciaux requièrent un examen détaillé du point de vue de la technique de circulation.
Les carrefours giratoires avec un anneau à une voie et des entrées à deux voies sont une forme particulière appliquée en Suisse. Pour la disposition des voies de circulation on ne dispose que d'estimations [8] et [9].

B. Verkehrstechnische Dimensionierung

5. Wahl des Verfahrens

In der verkehrstechnischen Dimensionierung können grundsätzlich drei Verfahren [2] unterschieden werden:

B. Dimensionnement selon la technique de circulation

5. Choix de la démarche

Pour le dimensionnement selon la technique de circulation, on distingue en principe trois démarches [2]:

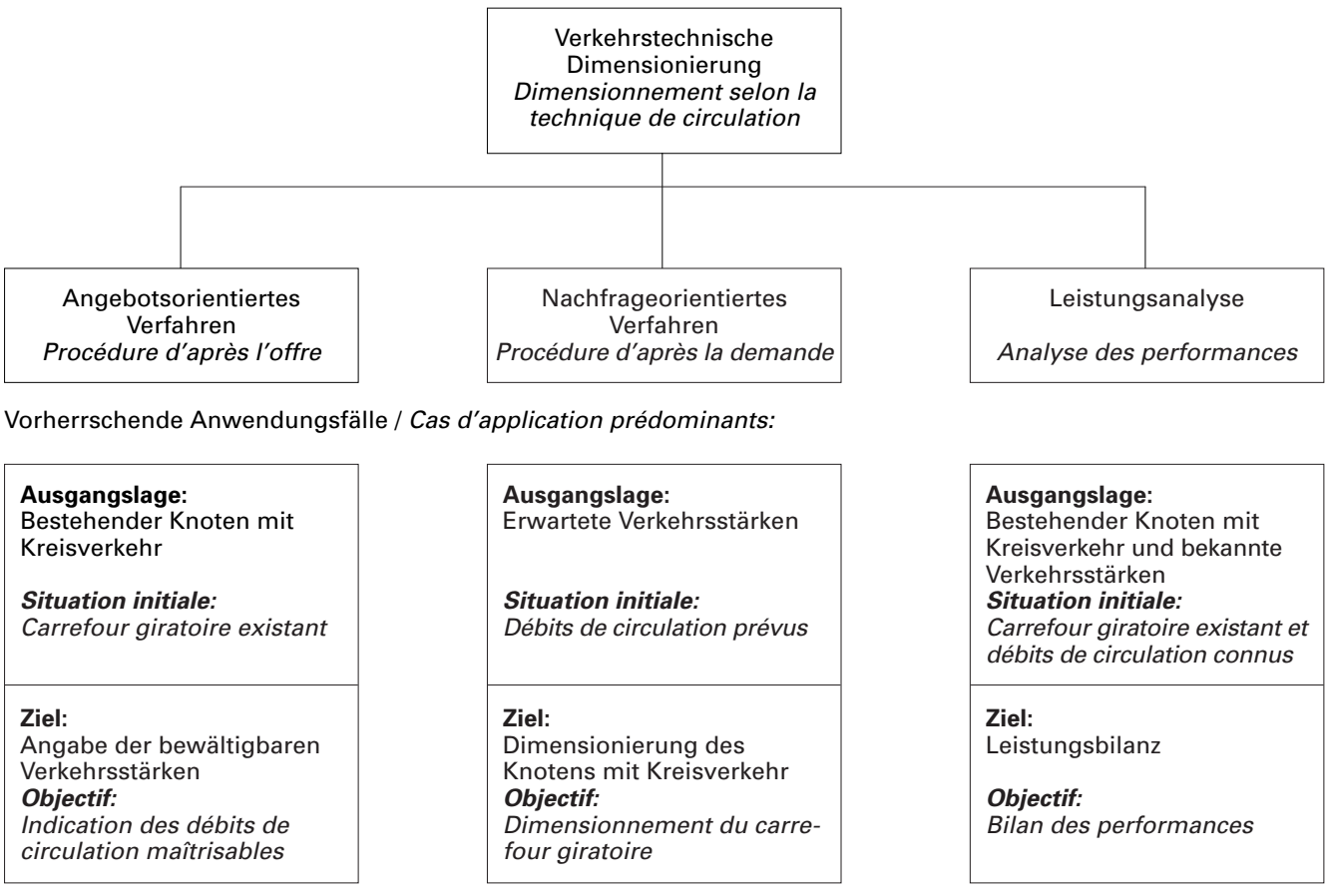


Abb. 1
Vorgehensweisen in der verkehrstechnischen Dimensionierung nach [2] mit Angabe des vorherrschenden Anwendungsfalles

Fig. 1
Démarches pour le dimensionnement selon la technique de circulation conformément à la norme [2] avec indication du cas principal d'application

Die Wahl des Verfahrens ergibt sich aus der konkreten Fragestellung. Im Anwendungsfall können mehrere Verfahren berücksichtigt werden.

Le choix de la démarche résulte de la manière concrète de poser le problème. Au moment de l'application on peut considérer plusieurs démarches.

6. Arbeitsschritte

Die Reihenfolge der Arbeitsschritte ist von der Wahl der Vorgehensweise abhängig. Sie ist aus der Tabelle 1 ersichtlich.
Während die Leistungsanalyse in einem Arbeitsdurchgang abgeschlossen ist, können sowohl für das angebotsorientierte Verfahren als auch für das nachfrageorientierte Verfahren mehrere Iterationsschritte erforderlich sein.

6. Etapes

La succession des étapes dépend du choix de la démarche. Elle est indiquée dans le tableau 1.

Alors que l'analyse des performances est réalisée en une seule étape, plusieurs étapes itératives peuvent être nécessaires, tant pour la procédure d'après l'offre que pour celle d'après la demande.

Tab. 1
Arbeitsschritte der drei Verfahren in der verkehrstechnischen Dimensionierung

Verfahren	Angebotsorientiertes Verfahren	Nachfrageorientiertes Verfahren	Leistungsanalyse
1. Schritt	– Überprüfung der Betriebsweise des Kreisels (Ziffern 1, 4)	– «Entwurf» des Kreisels nach Normen [3], [4] mit Festlegung der Anzahl Fahrstreifen	– Überprüfung der Betriebsweise des Kreisels (Ziffern 1, 4)
2. Schritt	Bestimmen – massgebende Verkehrsstärke/Knotenströme je Einfahrt (Ziffer 7) – Korrektur infolge Verkehrsmischung sowie evtl. Längsneigung (Ziffer 8) – Verkehrsstärken für den tatsächlichen Zustand in allen Einfahrten und Ausfahrten sowie auf der Kreiselfahrbahn auf Höhe der Einfahrten (Ziffer 7)		
3. Schritt	Bestimmen je Ausfahrt – Leistungsfähigkeit Ausfahrt für den tatsächlichen Zustand (Ziffer 9) – Gegenüberstellung Verkehrsstärke Ausfahrt ↔ Leistungsfähigkeit Ausfahrt für tatsächlichen Zustand (Ziffer 9)		
4. Schritt	Bestimmen je Einfahrt – Leistungsfähigkeit Einfahrt für den tatsächlichen Zustand (Ziffer 10) – Verkehrsqualität und zugeordnete Verkehrsstärken (Ziffer 11)		
5. Schritt	– Gegenüberstellung an allen Knoteneinfahrten: zugeordnete Verkehrsstärken ↔ massgebende Verkehrsstärken für den tatsächlichen Zustand		
6. Schritt	– Abschätzung der Belastbarkeiten (Ziffern 13–15)		
7. Schritt	– Kontrolle je Kreiselarm: Belastbarkeiten ↔ Leistungsfähigkeit/Verkehrsqualität/massgebende Verkehrsstärke für den tatsächlichen Zustand		
8. Schritt	Angabe – Bewältigbare Verkehrsstärken (unter Berücksichtigung der Belastbarkeiten)	Angabe – Dimensionierung des Kreisels (Hinweis auf Belastbarkeiten und allenfalls zu treffende Massnahmen)	Angabe – Leistungsreserve/-manko und Verkehrsqualitätsstufe (Hinweis auf die Belastbarkeiten)
Iteration	Veränderung der massgebenden Verkehrsstärken/Knotenströme in Schritt 2	Veränderung der Anzahl Fahrstreifen in Schritt 1 (oder evtl. andere Knotenform nach Norm [3])	Keine Iterationsschritte

Übersteigt in Schritt 3 die Verkehrsstärke in einer Ausfahrt deren tatsächliche Leistungsfähigkeit, so kann der Kreisverkehr längere Zeit völlig blockiert werden. In diesen Fällen sind andere Knotenformen gemäss Norm [3] vorzuziehen.

Tab. 1
Etapes pour les trois procédures de dimensionnement selon la technique de circulation

Procédure	Procédure d'après l'offre	Procédure d'après la demande	Analyse des performances
Etape 1	– Examen du fonctionnement du carrefour giratoire (chiffres 1 et 4)	– Conception du carrefour giratoire selon les normes [3] et [4] avec détermination du nombre de voies de circulation	– Examen du fonctionnement du carrefour giratoire (chiffres 1 et 4)
Etape 2	Détermination – des débits de circulation déterminants/courants directionnels pour chaque entrée (chiffre 7) – de la correction résultant de la composition du trafic et év. de la déclivité (chiffre 8) – des débits de circulation pour l'état réel sur toutes les entrées et sorties ainsi que sur l'anneau au droit des entrées (chiffre 7)		
Etape 3	Détermination pour chaque sortie – de la capacité de la sortie pour l'état réel (chiffre 9) – comparaison du débit de circulation de la sortie ↔ capacité de la sortie pour l'état réel (chiffre 9)		
Etape 4	Détermination pour chaque entrée – de la capacité de l'entrée pour l'état réel (chiffre 10) – du niveau de service et des débits de circulation correspondants (chiffre 11)		
Etape 5	– Comparaison pour toutes les entrées du carrefour: débits de circulation correspondants ↔ débits de circulation déterminants pour l'état réel		
Etape 6	– Estimation des charges compatibles (chiffres 13–15)		
Etape 7	– Contrôle pour chaque branche du giratoire: charges compatibles ↔ niveau de service/débits déterminants pour l'état réel		
Etape 8	Indication – Débits de circulation maîtrisables (en tenant compte des charges compatibles)	Indication – Dimensionnement du carrefour giratoire (en faisant référence aux charges compatibles et, le cas échéant, mesures à prendre)	Indication – Réserve/déficit de capacité et niveaux de service (en faisant référence aux charges compatibles)
Itération	Modification des débits de circulation déterminants/courants directionnels à la 2e étape	Modification du nombre de voies de circulation à la 1ère étape (ou év. autre forme de carrefour selon la norme [3]	Pas d'itération

A la 3e étape, si le débit de circulation d'une sortie est supérieur à sa capacité réelle, la circulation dans l'anneau peut être complètement bloquée pendant des temps assez longs. En pareils cas, on choisira d'autres formes de carrefour selon la norme [3].

C. Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität

7. Massgebende Verkehrsstärke

a) Stündliche Verkehrsstärken

Die verkehrstechnische Dimensionierung für Knoten mit Kreisverkehr erfolgt in der Regel auf Grundlage von stündlichen Verkehrsstärken. Als massgebende Verkehrsstärken stehen folgende Grössen im Vordergrund:
– Durchschnittliche Abendspitzenstunde in % des DTV (in besonderen Fällen auch andere massgebende Spitzenstunden)
– Massgebender Verkehr, ermittelt aus Dauerkurven [1]

C. Capacité, niveau de service

7. Débits de circulation déterminants

a) Débits horaires de circulation

En règle générale, on effectue le dimensionnement des carrefours giratoires sur la base des débits horaires de circulation. Comme débits de circulation déterminants, on considère avant tout les valeurs suivantes:
– moyenne des heures de pointe du soir en % du TJM (dans des cas particuliers également d'autres pointes horaires déterminantes)
– trafic déterminant calculé à partir des courbes des débits classés [1]

Bei vorhandenen Verkehrsanlagen soll wenn immer möglich auf Ergebnisse von Verkehrserhebungen zurückgegriffen werden. Zukünftige Verkehrsstärken können aufgrund von Modellrechnungen geschätzt werden. Dabei können die Richtwerte in [1] eine Hilfe sein.

b) Viertelstündliche Verkehrsstärken (Spezialfälle)

Da Knoten mit Kreisverkehr, die zu Spitzenstunden im Bereich der Leistungsfähigkeit betrieben werden, sehr empfindlich auf Schwankungen der Verkehrsstärken der Knotenströme innerhalb einer Stunde reagieren, kann in besonderen Fällen auch eine Berücksichtigung von Verkehrsstärken in Viertelstundenintervallen erfolgen. Dies gilt insbesondere für Knoten mit Kreisverkehr in Nähe von Autobahnausfahrten [10], Tunnels oder an Linien des öffentlichen Verkehrs (falls diese keine eigenen Fahrstreifen in den Zufahrten aufwiesen).

c) Knotenströme

In der verkehrstechnischen Dimensionierung müssen die Verkehrsstärken aller Knotenströme angegeben werden. Sind diese nicht bekannt, so müssen sie geschätzt werden. Sie werden für jeden Knotenstrom separat nach Tabelle 2 in Personenwagen-Einheiten (PWE) umgerechnet.

d) Belastungsplan

Die Knotenströme werden auf die vorhandenen Fahrstreifen umgelegt, so dass die Verkehrsstärken auf der Kreiselfahrbahn jeweils in Höhe einer Einfahrt ($Q_{K\,i}$), in den Einfahrten selbst ($Q_{E\,i}$) sowie in den Ausfahrten ($Q_{A\,i}$) abgelesen werden können. Zudem muss bei Kreiseln die Anzahl Fussgänger ($F_{G\,i}$) angegeben werden, wenn diese die Kreiselarme auf Fussgängerstreifen überqueren. Nützlich ist die Erarbeitung eines Belastungsplanes analog Abbildung 2.

Pour des infrastructures de transport existantes, on se référera chaque fois que cela est possible aux résultats de recensements de circulation. Les débits de circulation futurs peuvent être estimés à l'aide de modélisation. A cet effet, les valeurs indicatives de la norme [1] peuvent être utiles.

b) Débits de circulation du quart d'heure (cas spéciaux)

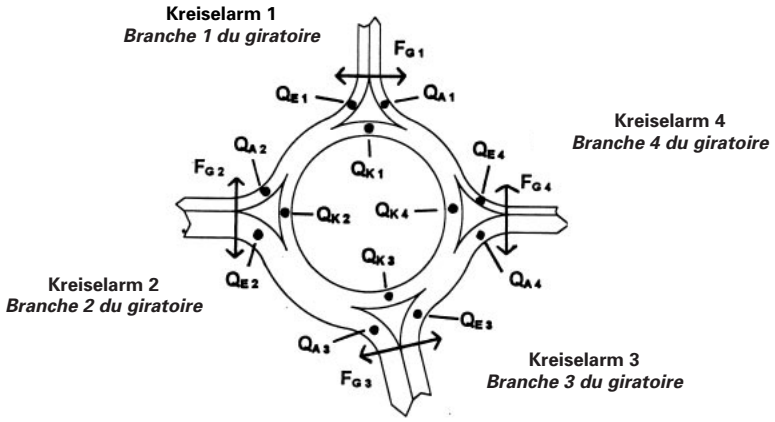
Etant donné que les carrefours giratoires exploités au niveau de leur capacité durant les heures de pointe sont très sensibles aux fluctuations des débits des courants directionnels durant une heure, on peut, dans des cas spéciaux, prendre en considération les débits de circulation du quart d'heure. En particulier, cela est valable pour les carrefours giratoires situés à proximité de sorties d'autoroutes [10], de tunnels ou le long de lignes de transports en commun (pour le cas où l'approche n'est pas en site propre).

c) Courants directionnels

Pour le dimensionnement selon la technique de circulation, les débits de circulation de tous les courants directionnels du carrefour doivent être indiqués. S'ils ne sont pas connus, ils doivent être estimés. Pour chaque courant directionnel, ils seront convertis séparément selon le tableau 2 en unités de véhicules particuliers [UVP].

d) Plan des charges

Les courants directionnels sont reportés sur les voies de circulation de manière que les débits de circulation sur l'anneau puissent toujours être lus au droit d'une entrée ($Q_{K\,i}$), aux entrées mêmes ($Q_{E\,i}$) ainsi qu'aux sorties ($Q_{A\,i}$). En outre le nombre de piétons ($F_{G\,i}$) doit être indiqué lorsque des passages piéton traversent les branches de carrefours giratoires. Il est utile d'élaborer un plan des charges par analogie à la figure 2.



$Q_{K\,i}$ [PWE/h]: Verkehrsstärke in Kreiselfahrbahn auf Höhe Einfahrt i

$Q_{E\,i}$ [PWE/h]: Verkehrsstärke in Kreiseleinfahrt i

$Q_{A\,i}$ [PWE/h]: Verkehrsstärke in Kreiselausfahrt i

$F_{G\,i}$ [Fg/h]: Die Ein-/Ausfahrt i querende Fussgänger (auf Fussgängerstreifen)

Abb. 2
Beispiel eines Belastungsplanes zur Angabe der im vorliegenden Verfahren massgebenden Verkehrsstärken $Q_{K\,i}$, $Q_{E\,i}$, $Q_{A\,i}$ und $F_{G\,i}$

$Q_{K\,i}$ [UVP/h]: Débit de circulation dans l'anneau au droit de l'entrée i

$Q_{E\,i}$ [UVP/h]: Débit de circulation à l'entrée i du giratoire

$Q_{A\,i}$ [UVP/h]: Débit de circulation à la sortie i du giratoire

$F_{G\,i}$ [piét/h]: Piétons traversant l'entrée et la sortie i (sur passage piéton)

Fig. 2
Exemple d'un plan de charges pour indiquer les débits déterminants $Q_{K\,i}$, $Q_{E\,i}$, $Q_{A\,i}$ et $F_{G\,i}$

8. Referenzzustand und Einflussgrössen

a) Referenzzustand

Die Strassen- und Betriebsbedingungen im Referenzzustand entsprechen dem Geltungsbereich der Norm. Im Referenzzustand wird ausschliesslich mit PWE ohne Fussgängerverkehr gerechnet (Verkehrsbedingungen).

b) Berücksichtigung des tatsächlichen Zustandes

Die Abweichungen des tatsächlichen Zustandes vom Referenzzustand werden im Verfahren wie folgt berücksichtigt:

Die Fahrzeugkategorien werden mit einer Umrechnung der einzelnen Fahrzeugklassen in PWE mittels PW-Äquivalenten berücksichtigt. Können die Anteile der einzelnen Fahrzeugkategorien nicht ermittelt werden, sind diese mit dem pauschalen Äquivalenzwert zu berücksichtigen. Grundsätzlich werden alle Knotenströme in PWE umgerechnet. Die entsprechenden Umrechnungsfaktoren sind in Tabelle 2 aufgeführt. Die PW-Äquivalente in der Einfahrt sind zudem von der Längsneigung der Einfahrt abhängig.
Die Längsneigung im Einfahrtsbereich hat in Zusammenhang mit den Fahrzeugkategorien ein verändertes Beschleunigungsverhalten zur Folge. Die Möglichkeit, eine in der Kreiselfahrbahn vorhandene Lücke zu nutzen, wird in einer Steigung verringert und in einem Gefälle erhöht. Die Längsneigung kann im Verfahren folgendermassen berücksichtigt werden:
- Pauschale Betrachtung: Der Einfluss der Längsneigung im Einfahrtsbereich wird vernachlässigt. Als PW-Äquivalente sind Werte für die Längsneigung von 0% aus Tabelle 2 zu verwenden.
- Detaillierte Betrachtung: Der Einfluss der Längsneigung im Einfahrtsbereich von +4% bis –4% wird gemäss Tabelle 2 berücksichtigt. Als PW-Äquivalente für die Verkehrsstärke in der Kreisfahrbahn sind die Werte für eine Längsneigung von 0% einzusetzen.

8. Etat de référence et facteurs d'influence

a) Etat de référence

Les conditions routières et les conditions d'exploitation de l'état de référence correspondent au domaine d'application de la norme. Dans l'état de référence, on ne compte que les UVP sans tenir compte des piétons (conditions de circulation).

b) Prise en compte de l'état réel

Les écarts de l'état réel par rapport à l'état de référence sont pris en considération dans la démarche comme suit:

On tient compte des catégories de véhicules en convertissant chacune d'elles en UVP au moyen de facteurs d'équivalence. Si les pourcentages des différentes catégories de véhicules ne peuvent pas être déterminés, on en tiendra compte avec le facteur d'équivalence global. En principe tous les courants directionnels sont convertis en UVP. Les facteurs de conversion correspondants sont donnés au tableau 2. Les équivalents voitures dans les entrées dépendent en outre de leur déclivité.

La déclivité, en relation avec les catégories de véhicules, a pour conséquence un comportement à l'accélération modifié. La possibilité d'utiliser un créneau sur l'anneau est réduite dans une rampe et augmentée dans une pente. Dans la démarche, on peut tenir compte de la déclivité comme suit:

- Prise en compte globale: L'influence de la déclivité dans la zone d'entrée est négligée. Comme équivalents voitures on applique les valeurs pour une déclivité de 0% selon le tableau 2.
- Prise en compte détaillée: Dans la zone d'entrée on tient compte de l'influence de la déclivité de +4% à –4% selon le tableau 2. Comme équivalents voitures, pour les débits de circulation dans l'anneau, on applique les valeurs pour une déclivité de 0%.

Tab. 2
PW-Äquivalente zur Berücksichtigung der Verkehrsmischung in der Einfahrt und in der Kreiselfahrbahn sowie zur Berücksichtigung der Längsneigung im Einfahrtsbereich aus [6]

Tab. 2
Equivalents UV pour tenir compte de la composition du trafic à l'entrée et sur l'anneau ainsi que pour la prise en compte de la déclivité dans la zone d'entrée [6]

Längsneigung / *Déclivité* [1]	Fahrzeugkategorien / *Catégories de véhicules*					
s [%]	Velo/Mofa *vélo/moped*	MR *moto*	PW *voit*	LW (inkl. Bus)[2] *cam (yc bus)*[2]	LZ (inkl. SZ)[2] *TR*[2]	Mfz[3] *vhc mot*[3]
+4%	–	0,7	1,4	3,0	6,0	1,7
+2%	–	0,6	1,2	2,0	3,0	1,4
±0%[4]	0,5	0,5	1,0	1,5	2,0	1,1
–2%	–	0,4	0,9	1,2	1,5	1,0
–4%	–	0,3	0,8	1,0	1,2	0,9

1) Längsneigung in Richtung Einfahrt (+ = Steigung; – = Gefälle)
2) Werden die Kategorien LW und LZ nicht unterschieden, so sind die Werte für die Kategorie LZ zu verwenden
3) Pauschale Berücksichtigung der Verkehrsmischung (ohne Velo/Mofa)
4) Äquivalenzwerte für Kreiselfahrbahn sowie für ebene Einfahrten

1) Déclivité en direction de l'entrée (+ = rampe; – = pente)
2) Si on ne distingue pas les catégories cam et TR, on appliquera les valeurs de la catégorie TR
3) Prise en compte globale de la composition du trafic (sans vélo et moped)
4) Valeurs équivalentes pour l'anneau et les entrées sans déclivité

Querende Fussgänger können die Leistungsfähigkeit und die Verkehrsqualität beeinträchtigen. Der Einfluss verringert sich in der Einfahrt mit wachsender Verkehrsstärke im Kreisel.
Der Einfluss der querenden Fussgänger in der Einfahrt auf die Leistungsfähigkeit wird nach [6] mit dem Korrekturfaktor f_F aus den Abbildungen 3 und 4 berücksichtigt.
Der Einfluss der querenden Fussgänger in der Ausfahrt auf die Leistungsfähigkeit ist aus Abbildung 5 ersichtlich.

Des piétons qui traversent peuvent porter atteinte à la capacité et au niveau de service. Dans l'entrée, l'influence se réduit avec l'augmentation des débits de circulation dans le carrefour giratoire.
L'influence sur la capacité des piétons qui traversent une entrée est prise en compte avec le facteur de correction f_F des figures 3 et 4 selon [6].

L'influence sur la capacité des piétons qui traversent une sortie est indiquée à la figure 5.

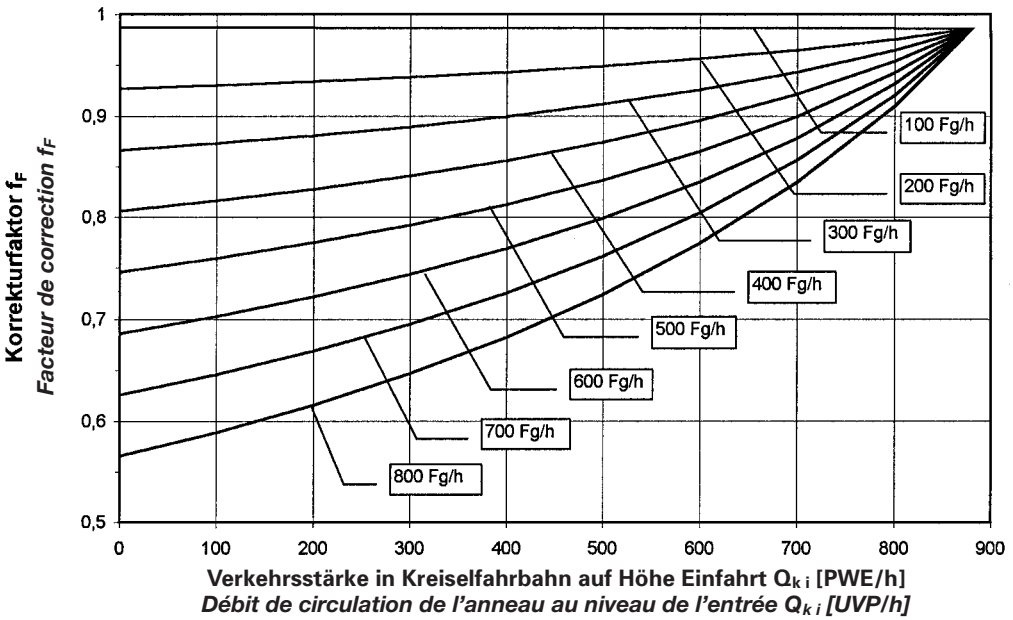


Abb. 3
Korrekturfaktor f_F für den Einfluss von querenden Fussgängern $F_{G\,i}$ [Fg/h] an einstreifigen Einfahrten bei Knoten mit Kreisverkehr [6]

Fig. 3
Facteur de correction f_F pour l'influence des piétons qui traversent $F_{G\,i}$ [piét/h] des entrées à une voie de carrefours giratoires [6]

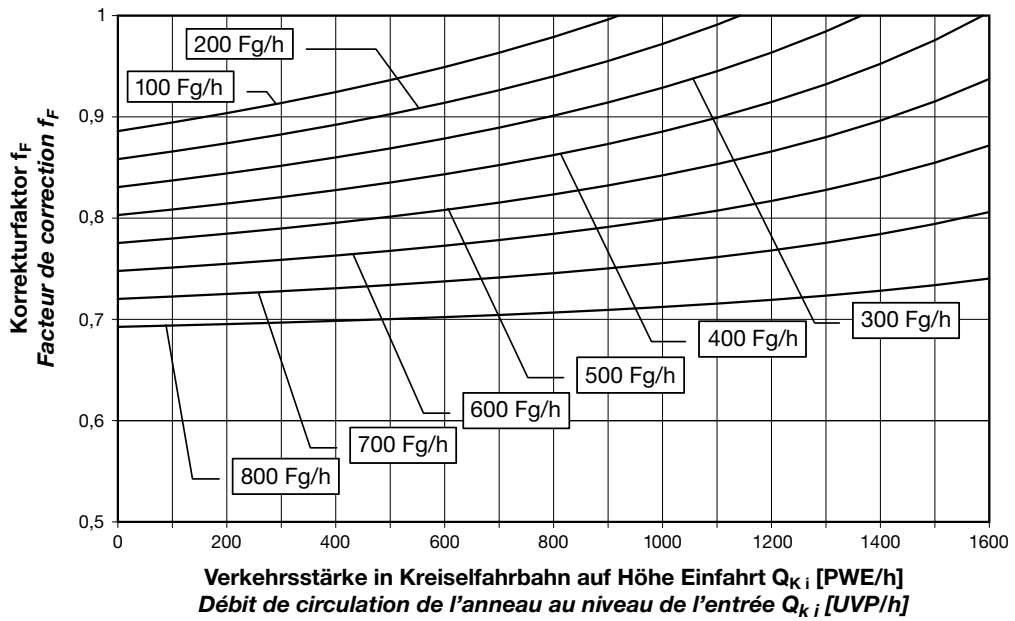


Abb. 4
Korrekturfaktor f_F für den Einfluss von querenden Fussgängern $F_{G\,i}$ [Fg/h] an zweistreifigen Einfahrten bei Knoten mit Kreisverkehr [6]

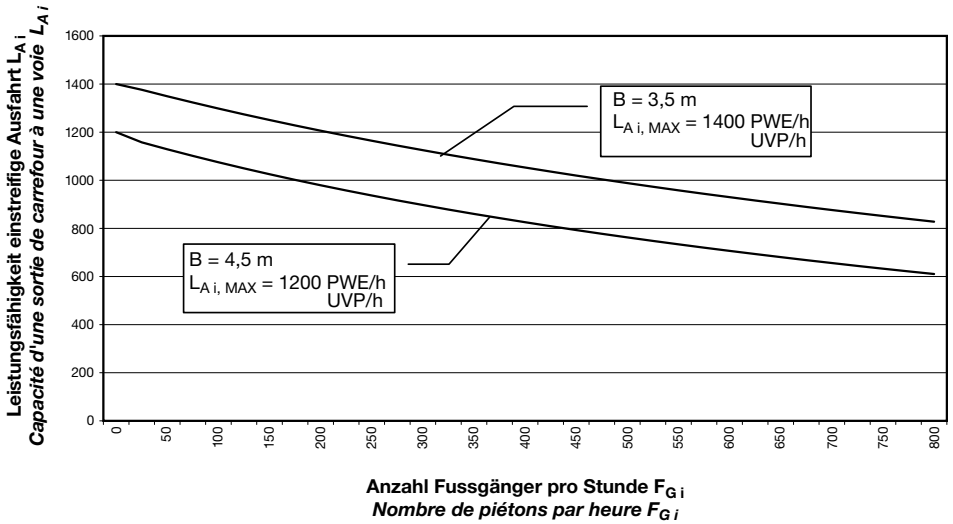
Fig. 4
Facteur de correction f_F pour l'influence des piétons qui traversent $F_{G\,i}$ [piét/h] des entrées à deux voies de carrefours giratoires [6]

9. Leistungsfähigkeit Ausfahrt

Ohne störende Einflüsse beträgt die Leistungsfähigkeit einer einstreifigen, gemäss Norm [4] gebauten Kreiselausfahrt ($L_{A\,i,\,MAX}$) rund 1200 bis 1400 PWE/h. Der Einfluss von Fussgängern, die die Kreiselausfahrt auf Fussgängerstreifen überqueren, bewirkt eine Reduktion der Leistungsfähigkeit einer Ausfahrt $L_{A\,i}$. Diese bewegt sich im Bereich zwischen den beiden folgenden Kurven der Abbildung 5.

9. Capacité des sorties

Sans influences perturbantes, la capacité ($L_{A\,i,\,MAX}$) d'une sortie de carrefour giratoire aménagée conformément à la norme [2] est en chiffre rond de 1200 à 1400 UVP/h. L'influence des piétons qui traversent sur un passage piéton la sortie du giratoire provoque une réduction de la capacité de la sortie $L_{A\,i}$. Celle-ci oscille entre les deux courbes suivantes (figure 5).



Breite der Ausfahrt gemäss Norm [4]: B = 3,5–4,5 m

Largeur de la sortie selon norme [4]: B = 3,5–4,5 m

Abb. 5
Überschlägige Schätzung der Leistungsfähigkeit einer einstreifigen Kreiselausfahrt $L_{A\,i}$ unter Berücksichtigung des Einflusses von querenden Fussgängern $F_{G\,i}$

Fig. 5
Estimation empirique de la capacité d'une sortie de carrefour giratoire à une voie $L_{A\,i}$ en tenant compte de l'influence des piétons qui traversent $F_{G\,i}$

Die Blockierung der Kreiselfahrbahn durch stockenden Abfluss aus dem Kreisel führt vielfach auch zu einer Reduktion der Leistungsfähigkeit der Einfahrten. Diese Effekte werden im vorliegenden Verfahren nicht berücksichtigt. Die Abklärung dieser Einflüsse, insbesondere die Dauer der Blockierung der Kreiselfahrbahn, lässt sich nur mit rechnergestützten Simulationsverfahren bewerkstelligen.
An allen Ausfahrten ist somit vorgängig zu prüfen, ob die Verkehrsstärke einer Ausfahrt ($Q_{A\,i}$) unterhalb der Leistungsfähigkeit der Ausfahrt für den tatsächlichen Zustand ($L_{A\,i}$) liegt.

$Q_{A\,i} \leq L_{A\,i}$ an allen Ausfahrten

Ist diese Bedingung bei einer Ausfahrt nicht gegeben, so sind andere Lösungen zu suchen.

Le blocage de l'anneau par un écoulement difficile de la circulation hors du carrefour giratoire conduit souvent à une réduction de la capacité des sorties. La présente démarche n'en tient cependant pas compte. La détermination de ces influences, en particulier la durée du blocage de l'anneau, ne peut s'effectuer que par une simulation par ordinateur.

Pour toutes les sorties, il convient par conséquent d'examiner préalablement si leur débit de circulation ($Q_{A\,i}$) est inférieur à la capacité de la sortie pour l'état réel ($L_{A\,i}$).

$Q_{A\,i} \leq L_{A\,i}$ pour toutes les sorties

Si une sortie ne remplit pas cette condition, il convient de rechercher d'autres solutions.

10. Leistungsfähigkeit Einfahrt

Die Leistungsfähigkeit einer Einfahrt ($L_{E\,i}$) in Knoten mit Kreisverkehr ist direkt abhängig von der Verkehrsstärke auf der Kreiselfahrbahn $Q_{K\,i}$ und wird, unterschieden nach Anzahl Fahrstreifen im Einfahrtsbereich sowie in der Kreiselfahrbahn, für normgemäss gebaute Knoten mit Kreisverkehr (Kleinkreisel [4]) wie folgt ermittelt:

10. Capacité des entrées

Selon le nombre de voies de circulation dans la zone d'entrée et de l'anneau, la capacité d'une entrée ($L_{E\,i}$) de carrefour giratoire, qui dépend directement du débit de circulation sur l'anneau $Q_{K\,i}$, est déterminée comme suit pour les carrefours giratoires aménagés conformément à la norme [4] (petits giratoires):

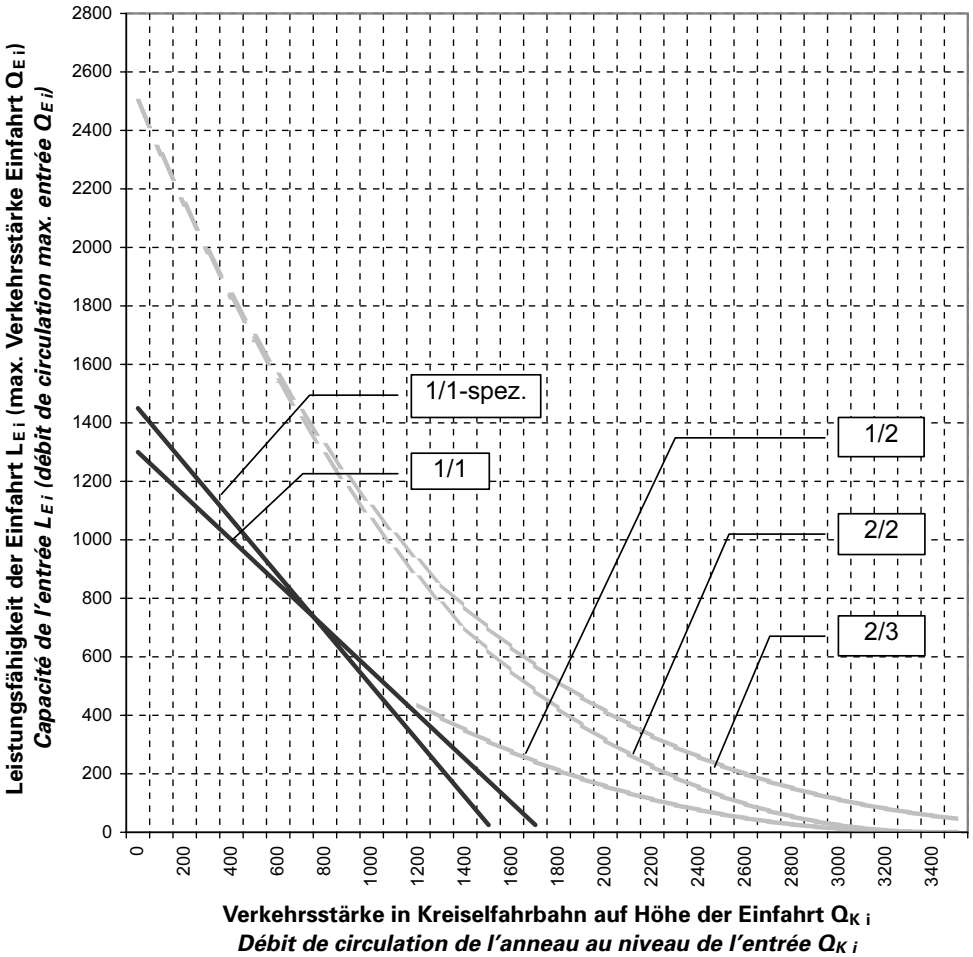


Abb. 6
Leistungsfähigkeit einer Kreiseleinfahrt ($L_{E\,i}$), abhängig von der Verkehrsstärke in der Kreiselfahrbahn $Q_{K\,i}$ sowie der Anzahl Fahrstreifen X/Y (X = in der Einfahrt, Y = in der Kreiselfahrbahn)

Die Regressionskurven gelten für:
1/1: Kurve nach [8] für einstreifige Einfahrt und einstreifige Kreiselfahrbahn
1/1-spez.: Kurve nach [8] für Spezialfälle mit einstreifiger Kreiselfahrbahn und Einfahrt und mit separater Busspur, einer trichterförmigen Aufweitung der Einfahrt am Kreiselrand (ohne dass zwei Fahrstreifen markiert sind) oder einer Verkehrsstärke ab 1000 PWE/h in der Einfahrt

Mit einem zweiten Fahrstreifen in der Einfahrt (2/1) erhöht sich die Leistungsfähigkeit gemäss Schätzungen in [8, 9] gegenüber den einstreifigen Einfahrten (1/1) um rund 40%. Dies gilt auch für den Spezialfall.
Für Knoten mit Kreisverkehr, die in der Kreiselfahrbahn mehrere Fahrstreifen aufweisen, sind im Sinne von Hinweisen die entsprechenden deutschen Kurven anzuwenden.
1/2: Kurven aus [7] als Hinweis für einstreifige Einfahrten und zweistreifige Kreiselfahrbahnen
2/2: Kurven aus [7] als Hinweis für zweistreifige Einfahrten und zweistreifige Kreiselfahrbahnen
2/3: Kurven aus [7] als Hinweis für zweistreifige Einfahrten und dreistreifige Kreiselfahrbahnen

Fig. 6
Capacité d'une entrée de carrefour giratoire ($L_{E\,i}$) en fonction du débit de circulation de l'anneau $Q_{K\,i}$ et du nombre de voies de circulation X/Y (X = dans l'entrée, Y = dans l'anneau)

Les courbes de régression sont valables pour:
1/1: Courbe selon [8] pour entrée et anneau à une voie
1/1-spéc.: Courbe selon [8] pour cas spéciaux avec entrée et anneau à une voie et voie bus séparée, avec un élargissement en forme d'entonnoir de l'entrée au bord du giratoire (sans marquage de deux voies) ou un débit de circulation supérieur à 1000 UVP/h dans l'entrée

Avec une deuxième voie de circulation dans l'entrée (2/1), la capacité est augmentée d'env. 40% par rapport aux entrées à une voie (1/1), selon les estimations de [8] et [9]. Ceci est également valable pour le cas spécial.
Pour des carrefours giratoires dont l'anneau est constitué de plusieurs voies de circulation, on appliquera, en tant qu'indication, les courbes allemandes correspondantes.
1/2: Courbes selon [7] en tant qu'indication pour entrées à une voie et anneaux à deux voies
2/2: Courbes selon [7] en tant qu'indication pour entrées et anneaux à deux voies
2/3: Courbes selon [7] en tant qu'indication pour entrées à deux voies et anneaux à trois voies

Die ermittelte Leistungsfähigkeit muss bei querenden Fussgängerströmen mit dem entsprechenden Korrekturfaktor f_F (Ziff. 8) multipliziert werden.
Die Leistungsfähigkeit eines Kreisels ist nur dann gegeben, wenn die Leistungsfähigkeit an jeder Einfahrt nicht überschritten wird. Massgebend sind die maximalen, gleichzeitig auftretenden stündlichen Verkehrsstärken.
Die Differenz zwischen der jeweiligen Leistungsfähigkeit und der vorhandenen Verkehrsstärke in der Einfahrt wird als vorhandene Belastungsreserve (R) der Einfahrt bezeichnet (Abbildung 7).

11. Verkehrsqualitätsstufen

Die Qualität des Verkehrsablaufes wird anhand der Belastungsreserven und der daraus ermittelbaren Wartezeiten beurteilt (auch umgekehrte Berechnungsfolge ist möglich). Das Hauptkriterium bildet die mittlere Wartezeit der Motorfahrzeuge, für jede Einfahrt für sich ermittelt. Die Verkehrsqualitätsstufe F wird nicht mittels mittlerer Wartezeit definiert. Die Grenze zwischen den Stufen E und F bildet die Leistungsfähigkeit.
Massgebend für den ganzen Knoten ist der Arm mit der schlechtesten Verkehrsqualitätsstufe.
Die mittleren Wartezeiten werden mit Hilfe von Abbildung 7 für jede Einfahrt einzeln in Abhängigkeit von der Belastungsreserve bestimmt.

En cas de traversées de piétons, on multipliera la capacité obtenue par le facteur de réduction f_F correspondant (chiffre 8).
La capacité d'un carrefour giratoire n'est obtenue que si la capacité de chaque entrée n'est pas dépassée. Les débits horaires maximaux simultanés sont déterminants.
La différence entre les capacités momentanées et les débits de circulation existants dans l'entrée est désignée comme réserve de débit disponible (R) (figure 7).

11. Niveaux de service

On évalue la qualité de l'écoulement de la circulation à l'aide des réserves de débit et des temps d'attente qui en résultent (un calcul en sens inverse est aussi possible). Le temps d'attente moyen des véhicules à moteur, déterminé séparément pour chaque entrée, constitue le critère principal. Le niveau de service F n'est pas défini à l'aide du temps d'attente moyen. La limite entre les niveaux E et F constitue la capacité.
La branche présentant le niveau de service le plus mauvais est déterminante pour l'ensemble du carrefour.
Les temps moyens d'attente sont déterminés séparément pour chaque entrée selon la figure 7 en fonction de la réserve.

Tab. 3
Festlegung der Qualitätsstufen mittels Grenzwerten der mittleren Wartezeit sowie Beschreibung der Kolonnenbildung (Länge Rückstau) nach [6]

Qualitätsstufe	– Kreiseldurchfahrt – Wartezeiten – mittlere Wartezeit bei Zufahrt	Verkehrsqualität	Kolonnenbildung (Länge Rückstau)
Stufe A	nahezu ungehindert Mehrzahl Mfz ohne Wartezeit (nur ca. 5s Orientierungszeit) ≤ 10 s	ausgezeichnet	keine Kolonnen
Stufe B	nur in geringem Mass behindert Wartezeit hinnehmbar ≤ 15 s	gut	kaum Kolonnen
Stufe C	häufige Beeinflussung durch vortrittsberechtigte Mfz Wartezeiten wachsen spürbar an ≤ 25 s	zufriedenstellend	kleinere Kolonnen
Stufe D	alle Mfz müssen Behinderungen hinnehmen z.T. für einzelne Mfz hohe Wartezeiten ≤ 45 s	ausreichend	vorübergehend längere Kolonnen, die abgebaut werden können
Stufe E	ständige Behinderungen mit zeitweiser Überlastung sehr lange und stark streuende Wartezeiten > 45 s	mangelhaft	kein Abbau der z.T. sehr langen Kolonnen
Stufe F	Überlastung während ganzer Stunde (Zufluss grösser als Leistungsfähigkeit) sehr lange Wartezeiten keine Angabe	völlig ungenügend	kein Abbau der z.T. sehr langen Kolonnen

Tab. 3
Détermination des niveaux de service à l'aide des valeurs limites du temps d'attente moyen et description de la formation de colonnes (longues files d'attente) selon [6]

Niveaux de service	– Traversée du giratoire – Temps d'attente – Temps d'attente moyen à l'entrée	Niveau de service	Formation de colonnes (longueur des files d'attente)
Niveau A	à peu près sans gêne pas de temps d'attente pour la majorité des véhicules à moteur (seulement env. 5 s de temps d'orientation) ≤ 10 s	excellent	aucune file d'attente
Niveau B	seulement faiblement gênés temps d'attente acceptables ≤ 15 s	bon	guère de file d'attente
Niveau C	influence fréquente des véhicules à moteur prioritaires, augmentation sensible des temps d'attente ≤ 25 s	satisfaisant	petites files d'attente
Niveau D	tous les véhicules à moteur doivent supporter des gênes temps d'attente partiellement élevé pour certains véhicules à moteur ≤ 45 s	suffisant	temporairement de longues files qui peuvent se résorber
Niveau E	gêne permanente avec surcharges temporaires temps d'attente très longs et fortement variables > 45 s	insuffisant	pas de diminution des files d'attente en partie très longues
Niveau F	débits excédentaires de la durée d'une heure (flux d'entrée supérieur à la capacité) temps d'attente très longs aucune indication	totalement insuffisant	pas de résorption de colonnes en partie très longues

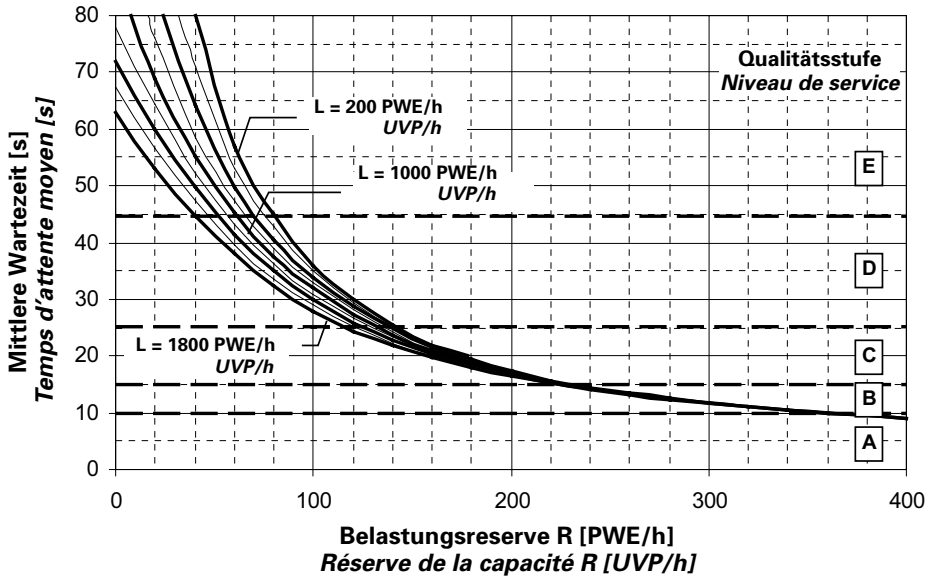


Abb. 7
Mittlere Wartezeiten in Abhängigkeit von der Belastungsreserve und der Leistungsfähigkeit nach [13]

Fig. 7
Temps d'attente moyens en fontion de la réserve et de la capacité selon [13]

12. Dimensionierungsempfehlung

Als Dimensionierungsgrundlage wird die Verkehrsqualitätsstufe D empfohlen. Dementsprechend muss in allen Einfahrten eine Belastungsreserve R ≥ 100 PWE/h eingehalten werden.

Die Länge des Rückstaus muss an jeder Einfahrt anhand der mittleren Wartezeit einzeln ermittelt werden. Dieses Kriterium wird für die Dimensionierung massgebend, wenn mit der 95%-Rückstaulänge benachbarte Knoten blockiert werden sollten oder lange Rückstaus aus Sicherheitsgründen unerwünscht sind. In Spezialfällen wie z. B. bei Kreiseln im Bereich von Autobahnanschlüssen ist die 99%-Rückstaulänge zu ermitteln [10].

Die 95%- bzw. 99%-Staulängen werden mit den Nomogrammen nach [7] in Abbildung 8 bzw. in Abbildung 9 in Abhängigkeit von der Leistungsfähigkeit der Einfahrt ($L_{E\,i}$) sowie vom Auslastungsgrad der Einfahrt ($X = Q_{E\,i} / L_{E\,i}$) bestimmt. Die eigentliche Rückstaulänge ergibt sich mit 6 m pro Personenwagen-Einheit.

12. Recommandation pour le dimensionnement

Le niveau de service D est recommandé comme base pour le dimensionnement. En conséquence, on respectera pour toutes les entrées une réserve R ≥ 100 UVP/h.

A l'aide du temps d'attente moyen, on déterminera la longueur de la file pour chaque entrée séparément. Ce critère est déterminant pour le dimensionnement, si les carrefours voisins devaient être bloqués par la longueur de la file d'attente (à 95%) ou si, pour des raisons de sécurité, de longues file d'attente sont indésirables. Dans des cas spéciaux tels que p. ex. les carrefours giratoires dans la zone de jonctions d'autoroutes, on déterminera la longueur de la file d'attente (à 99%) [10].

Les longueurs de la file d'attente (à 95% ou 99%) sont déterminés selon [7], au moyen des nomogrammes des figures 8 et 9, en fonction de la capacité de l'entrée ($L_{E\,i}$) ainsi que du degré d'utilisation de l'entrée ($X = Q_{E\,i} / L_{E\,i}$). Les longueurs effectives des files sont de 6 m par unité voitures.

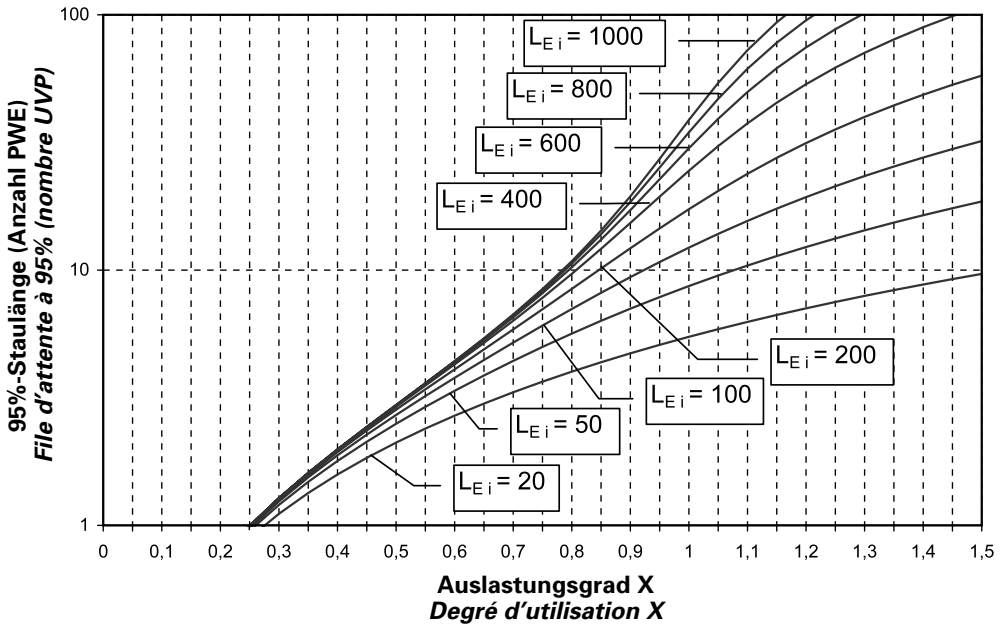


Abb. 8
Nomogramm zur Berechnung der 95%-Staulänge in Anzahl PWE nach [7] (Leistungsfähigkeit $L_{E\,i}$ [PWE/h], Auslastungsgrad $X = Q_{E\,i} / L_{E\,i}$ [–])

Fig. 8
Nomogramme pour calculer la longueur de la file d'attente (à 95%) en UVP selon [7] (capacité $L_{E\,i}$ [UVP/h], degré d'utilisation $X = Q_{E\,i} / L_{E\,i}$ [–])

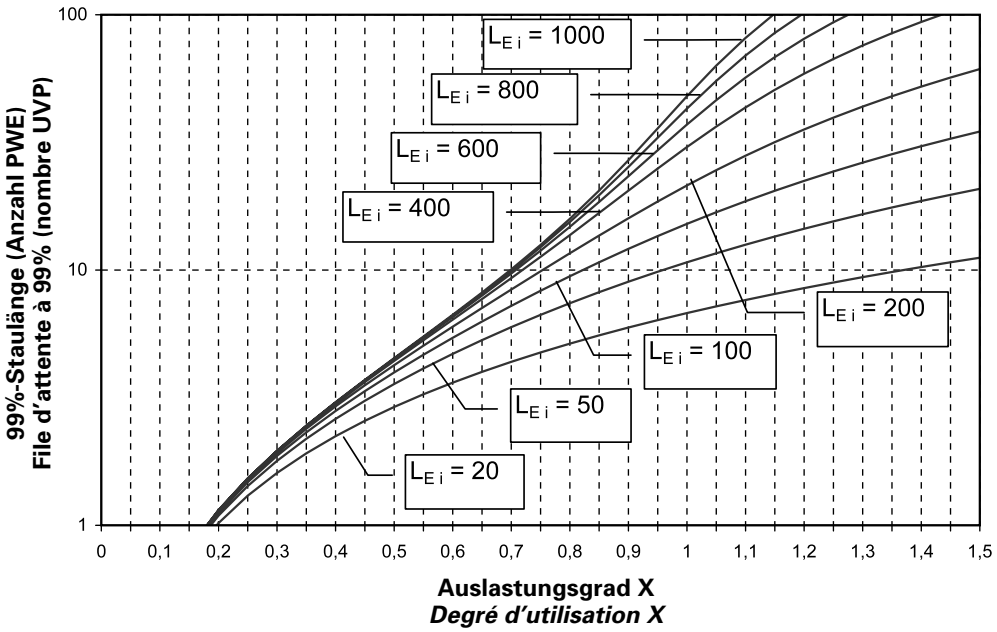


Abb. 9
Nomogramm zur Berechnung der 99%-Staulänge in Anzahl PWE nach [7] (Leistungsfähigkeit $L_{E\,i}$ [PWE/h], Auslastungsgrad X = $Q_{E\,i}$ / $L_{E\,i}$ [–])

Fig. 9
Nomogramme pour calculer la longueur de la file d'attente (à 99%) en UVP selon [7] (capacité $L_{E\,i}$ [UVP/h], degré d'utilisation X = $Q_{E\,i}$ / $L_{E\,i}$ [–])

D. Belastbarkeit

13. Umweltbedingte Belastbarkeit

Bei geringen bis mittleren Verkehrsstärken führen Knoten mit Kreisverkehren in der Regel zu verstetigten Fahrweisen mit reduzierten Lärm- und Luftschadstoffemissionen [12]. Die städtebauliche Verträglichkeit ist im Anwendungsfall einzeln zu prüfen.

14. Sicherheitsbedingte Belastbarkeit

Mit den Empfehlungen zur Dimensionierung (Ziffer. 12) sowie mit anzustrebenden Ausbaustandards [4] werden bereits sicherheitsbezogene Aspekte berücksichtigt. Die Anzahl Unfälle nimmt bei mehr als einem Fahrstreifen in der Einfahrt tendenziell zu [11]. Eine generelle Abhängigkeit von den Verkehrsstärken kann nicht angegeben werden.

15. Unterhaltsbedingte Belastbarkeit

Die zum Unterhalt und Erhalt des Bauwerks notwendigen Baustellen haben teilweise Kapazitätseinschränkungen zur Folge. Wird die Anzahl Fahrstreifen in der Einfahrt oder auf der Kreiselfahrbahn infolge einer Baustelle oder Unterhaltsarbeiten reduziert, so verringert sich die Leistungsfähigkeit (Ziffer 10) bzw. die Verkehrsqualität (Ziffer 11) für die jeweilige Fahrstreifenanordnung.

D. Charges compatibles

13. Charges compatibles avec l'environnement

En règle générale, pour des débits de circulation faibles à moyens, les carrefours giratoires génèrent un écoulement plus stable avec des nuisances sonores et une pollution de l'air réduites [12]. La compatibilité avec l'environnement urbain doit être examinée pour chaque application.

14. Charges compatibles avec la sécurité

Avec les recommandations pour le dimensionnement (chiffre 12) et les standards d'aménagement à observer selon la norme [4], on prend déjà en compte les aspects de la sécurité. Le nombre d'accidents a tendance à augmenter si l'entrée comporte plus d'une voie de circulation [11]. On ne peut pas indiquer une relation générale avec les débits de circulation.

15. Charges compatibles avec l'entretien

Les chantiers nécessaires à l'entretien des ouvrages ont pour conséquence une diminution partielle de la capacité. Si un chantier ou des travaux d'entretien entraînent une réduction du nombre des voies de circulation dans l'entrée ou dans l'anneau, il s'ensuivra, selon la disposition momentanée des voies de circulation, une diminution de la capacité (chiffre 10) et du niveau de service (chiffre 11).

E. Anwendungsbeispiele

16. Überschlägige Bemessung eines Kreisels (nachfrageorientiertes Verfahren)

Im Zuge eines neuen Autobahnanschlusses wird der neugebaute Autobahnzubringer (Knotenast 2) an einen bestehenden Knoten angeschlossen. Dieser Knoten liegt an einer städtischen Ausfallachse. Als Alternative zu einem lichtsignalgesteuerten Knoten wird eine Lösung mit einem Kreisel untersucht. Wegen der umliegenden Bebauung sind an den Kreiselarmen 1, 3 und 4 Fussgängerquerungen erwünscht.

Schritt 1

In einem ersten Entwurf werden alle Einfahrten einstreifig ausgeführt. Die Ausfahrten bleiben aus Rücksicht auf die Verkehrssicherheit der Fussgängerstreifen in den Kreiselarmen 1, 3 und 4 sowie aus städtebaulichen Gründen alle einstreifig, ebenso die Kreiselfahrbahn.

Schritt 2

Die massgebenden Knotenströme für den Individualverkehr werden den Berechnungsresultaten eines Verkehrsmodells für die massgebende Spitzenstunden des Strassennetzes entnommen. Der vorliegende Knoten weist zur Abendspitzenstunde die grösste Summe aller Knotenströme im Individualverkehr auf.
Die Knotenströme sind gemäss Ziffer 8 bereits in Personenwagen-Einheiten (PWE) umgerechnet. Die Längsneigung des Kreiselarmes 2 wird in der folgenden pauschalen Betrachtung gemäss Ziff. 8 vernachlässigt. Die Knotenströme der Fussgänger sind aufgrund früherer Zählungen der Grössenordnung nach bekannt.

Die Knotenströme werden wie folgt dargestellt:

E. Exemples d'application

16. Dimensionnement sommaire d'un carrefour giratoire (procédure d'après la demande)

Dans le cadre d'un nouveau raccordement d'autoroute, le nouvel accès (branche 2) est raccordé à un carrefour existant. Ce carrefour est situé sur un axe de dégagement urbain. Une solution de carrefour giratoire est examinée en tant qu'alternative à un carrefour à feux. A cause des bâtiments environnants, des passages piéton sont désirés sur les branches 1, 3 et 4 du giratoire.

Etape 1

Dans un premier projet, toutes les entrées sont prévues à une voie. Pour tenir compte de la sécurité des passages piéton dans les branches 1, 3 et 4 ainsi que pour des raisons urbanistiques, toutes les sorties de même que l'anneau sont à une voie.

Etape 2

Les courants directionnels déterminants pour le transport individuel sont tirés des calculs d'un modèle de trafic pour les heures de pointe déterminantes du réseau routier. Le carrefour étudié présente aux heures de pointe du soir la somme la plus élevée de tous les courants directionnels du transport individuel.
Selon le chiffre 8, ces courants directionnels sont déjà convertis en unités voitures (UVP). Dans les considérations globales suivantes selon chiffre 8, la déclivité de la branche 2 est négligée. Sur la base de comptages antérieurs, l'ordre de grandeur des courants directionnels des piétons est connu.

Les courants directionnels sont représentés comme suit:

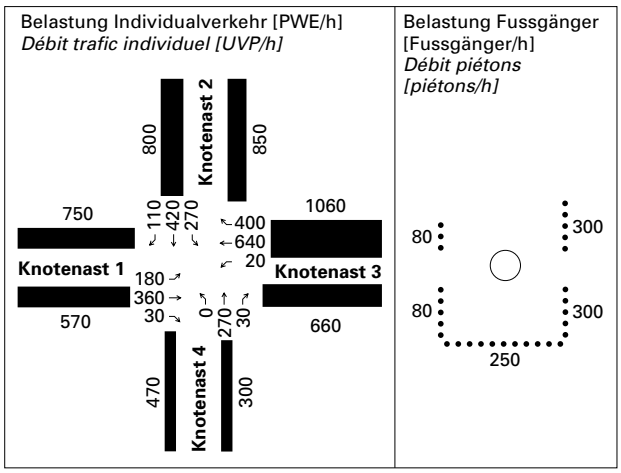


Abb. 10
Darstellung der massgebenden Knotenströme

Fig. 10
Représentation des courants directionnels déterminants

Die Umlegung der Knotenströme ergibt folgende massgebenden Verkehrsstärken für den tatsächlichen Zustand:

Tab. 4
Massgebende Verkehrsstärken pro Kreiselarm

Le regroupement des courants directionnels donne les débits de circulation déterminants suivants pour l'état réel:

Tab. 4
Débits de circulation déterminants par branche du carrefour giratoire

Kreiselarm *Branche*	Einfahrt / *Entrée* $Q_{E\,i}$ [PWE/h] / *[UVP/h]*	Ausfahrt / *Sortie* $Q_{A\,i}$ [PWE/h] / *[UVP/h]*	Kreiselfahrbahn / *Anneau* $Q_{K\,i}$ [PWE/h] / *[UVP/h]*	Fussgänger / *Piétons* $F_{G\,i}$ [Fg/h] / *[piét/h]*
1	570	750	710	80
2	800	850	660	keine / *aucun*
3	1060	660	450	300
4	300	470	810	250

Schritt 3

Mit den massgebenden Verkehrsstärken aus Tabelle 4 wird zuerst überprüft, wie gut der Verkehr aus dem Kreisel abfliessen kann. Die Leistungsfähigkeiten der Ausfahrten $L_{A\,i}$ werden gemäss Abbildung 5 ermittelt.

Tab. 5
Überprüfung der Leistungsfähigkeit der Ausfahrten $L_{A\,i}$

Etape 3

Avec les débits de circulation déterminants du tableau 4, on contrôle d'abord l'écoulement de la circulation hors du giratoire. Les capacités des sorties $L_{A\,i}$ sont déterminées selon la figure 5.

Tab. 5
Contrôle de la capacité des sorties $L_{A\,i}$

Kreiselarm *Branche*	Fussgänger / *Piétons* $F_{G\,i}$ [Fg/h] / *[piét/h]*	Leistungsfähigkeit *Capacité* $L_{A\,i}$ [PWE/h] / *[UVP/h]*	Ausfahrt / *Sortie* $Q_{A\,i}$ [PWE/h] / *[UVP/h]*	Auslastungsgrad *Degré d'utilisation* ($X = Q_{A\,i} / L_{A\,i}$)
1	80	1250	750	0,60
2	0	1300	850	0,65
3	300	1050	660	0,63
4	250	1100	470	0,43

Die Überprüfung der Leistungsfähigkeiten zeigt, dass die vorgesehenen einstreifigen Ausfahrten in der Lage sind, die entsprechenden Verkehrsstärken ohne grössere Behinderungen zu verarbeiten (Auslastungsgrade $\leq 0{,}65$). Die ausfahrenden Fahrzeuge dürften somit nur einen geringen Einfluss auf die Leistungsfähigkeiten der Einfahrten ausüben.

Le contrôle des capacités montre que les sorties prévues à une voie sont en mesure d'écouler les débits correspondants sans grand problème (degré d'utilisation $\leq 0{,}65$). Par conséquent, les véhicules sortant ne devraient exercer qu'une faible influence sur la capacité des entrées.

Schritt 4

Die Leistungsfähigkeiten der einstreifigen Einfahrten werden gemäss Ziffer 10 bestimmt. Sie müssen mit dem Korrekturfaktor f_F gemäss Abbildung 3 für einstreifige Einfahrten multipliziert werden, um den Einfluss der querenden Fussgänger zu berücksichtigen.

Tab. 6
Ermittlung der Leistungsfähigkeiten $L_{E\,i}$ für einstreifige Zufahrten mit Berücksichtigung der Fussgängereinflüsse

Etape 4

Les capacités des entrées à une voie sont déterminées conformément au chiffre 10. Elles doivent être multipliées par le facteur de correction f_F pour les entrées à une voie selon figure 3, afin de prendre en considération l'influence des piétons qui les traversent.

Tab. 6
Détermination des capacités $L_{E\,i}$ des entrées à une voie en tenant compte de l'influence des piétons

Kreiselarm *Branche*	Kreiselfahrbahn *Anneau* $Q_{K\,i}$ [PWE/h] / *[UVP/h]*	Leistungsfähigkeit ohne $F_{G\,i}$ *Capacité sans* $F_{G\,i}$*:* $L_{E\,i}$ [PWE/h] / *[UVP/h]*	Korrekturfaktor *Facteur de correction* f_F (Abb. / *Fig.* 3)	Leistungsfähigkeit mit $F_{G\,i}$ *Capacité avec* $F_{G\,i}$*:* $L_{E\,i}$ [PWE/h] / *[UVP/h]*
1	710	810	0,99	800
2	660	870	1,00	870
3[1)]	450	1100	0,91	1000
4	810	720	0,97	700

[1)] Da die Verkehrsstärke in der Einfahrt über 1000 PWE/h beträgt, gilt für diese Einfahrt die Kurve 1/1-spez aus Abbildung 6.

[1)] Le débit dans l'entrée étant supérieur à 1000 UVP/h, c'est la courbe 1/1-spez de la figure 6 qui est applicable ici.

Die Merkmale der Verkehrsqualität an den Einfahrten wie Auslastungsgrad, Belastungsreserve, Rückstau und Mittlere Wartezeit werden gemäss Ziffern 10 und 11 bestimmt. Beim Rückstau wird der 95%-Rückstau aus Abbildung 8 berücksichtigt. Die mittlere Wartezeit wird aus Abbildung 7, die Verkehrsqualitätsstufe aus Tabelle 3 ermittelt.

Tab. 7
Qualitätsmerkmale (Auslastungsgrad, Belastungsreserve, Rückstaulänge, mittlere Wartezeit) und Verkehrsqualitätsstufen der Kreiseleinfahrten

Les caractéristiques du niveau de service aux entrées, telles que degré d'utilisation, réserve de débit, file d'attente et temps d'attente moyen, sont déterminés conformément aux chiffres 10 et 11. En cas de file, on considérera le 95% selon la figure 8. Le temps d'attente moyen est déterminée d'après la figure 7 et le niveau de service à l'aide du tableau 3.

Tab. 7
Caractéristiques qualitatives (degré d'utilisation, réserve de débit, longueur de bouchon, temps d'attente moyen) et niveaux de service des entrées du carrefour giratoire

Kreiselarm *Branche*	Auslastungsgrad *Degré d'utilisation* ($x = Q_{E\,i} / L_{E\,i}$)	Belastungsreserve *Réserve de débit* R [PWE/h] / *[UVP/h]*	95%-Rückstaulänge *95% longueur de la file* [PWE] / *[UVP/h]* · 6 m	Mittlere Wartezeit *Temps d'attente moyen* w [s]	Verkehrsqualitätsstufe *Niveaux de service*
1	0,71	230	42 m	15 s	B
2	0,92	70	120 m	42 s	D
3	1,06	–60	360 m	> 80 s	F
4	0,43	400	12 m	< 10 s	A

Schritt 5

Der Vergleich der Verkehrsstärken mit den Leistungsfähigkeiten an den Einfahrten zeigt, dass der Kreiselarm 3 überlastet ist (Verkehrsqualitätsstufe F). Die Wartezeit der Einfahrt des Kreiselarmes 2 liegt an der Grenze zur mangelhaften Verkehrsqualität (Grenze Stufe D/E). Um eine ausreichende Verkehrsqualität der Stufe D sicherzustellen, muss in den Einfahrten eine Belastungsreserve von ca. 100 PWE/h vorhanden sein. Die unter diesen Umständen zulässige maximale Verkehrsstärke der Stufe D in den Einfahrten beträgt:

Kreiselarm 2: 770 PWE/h anstelle der vorhandenen 800 PWE/h
Kreiselarm 3: 900 PWE/h anstelle der vorhandenen 1060 PWE/h

Etape 5

La comparaison des débits de circulation et des capacités aux entrées montre que la branche 3 est surchargée (niveau de service F). Le temps d'attente à l'entrée de la branche 2 est à la limite d'un niveau de service insuffisant (limite des niveaux D/E). Pour garantir le niveau de service suffisant D, une réserve de débit d'env. 100 UVP/h doit être disponible dans les entrées. Dans ces conditions, le débit de circulation maximal admissible du niveau de service D aux entrées est:

Branche 2: 770 UVP/h au lieu des 800 UVP/h disponibles
Branche 3: 900 UVP/h au lieu des 1060 UVP/h disponibles

Schritt 6

Sicherheits- und unterhaltsbedingte Belastbarkeiten werden nicht vorgegeben. Die umweltbedingte Belastbarkeit wird anhand der Lärmschutzverordnung für jeden Knotenast festgelegt. Die Knotenäste 1, 3 und 4 liegen in der Empfindlichkeitsstufe III. Deren Belastbarkeit wird aufgrund der Art der Bebauung auf rund 14 000 PWE/Tag (DTV) festgelegt. Für einen Spitzenstundenanteil von ca. 10% am DTV ergibt dies eine Belastbarkeit von rund 1400 PWE/h zur Spitzenstunde. Beim neugebauten Autobahnzubringer (Knotenast 2) gelten verschärfte Planungswerte. Die Belastbarkeit liegt bei rund 11 000 PWE/Tag (DTV) resp. 1100 PWE/h für die Spitzenstunde.

Etape 6

Les charges compatibles avec la sécurité et avec l'entretien ne sont pas prescrites. Les charges compatibles avec l'environnement sont déterminées pour chaque branche de carrefour sur la base de l'ordonnance sur la protection contre le bruit. Les branches 1, 3 et 4 sont dans la zone de sensibilité III. Leur charges compatibles sont fixées sur la base du genre des constructions à 14 000 UVP/jour en chiffres ronds (TJM). Pour une pointe horaire d'env. 10% du TJM, il en résulte une charge compatible d'env. 1400 UVP/h pour l'heure de pointe. Des valeurs de planification plus strictes sont appliquées au nouvel accès autoroutier. La charge compatible se situe à 11 000 UVP/h (TJM) en chiffres ronds et à 1100 UVP/h pour l'heure de pointe.

Schritt 7

Pro Knotenast wird die tatsächliche Verkehrsstärke aus Tabelle 4 der Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität sowie Belastbarkeit aus Schritt 6 gegenübergestellt.

Etape 7

Par branche de carrefour, le débit réel selon tableau 4 est comparé à la capacité, au niveau de service ainsi qu'à la charge compatible selon étape 6.

Tab. 8
Gegenüberstellung der Verkehrsstärken mit den Leistungsfähigkeiten, den Verkehrsqualitätsstufen sowie den Belastbarkeiten pro Kreiselarm mit möglichen Massnahmen zur Einhaltung der Belastbarkeiten

Kreiselarm	Verkehrsstärken (Tabelle 4)	Leistungsfähigkeiten (Verkehrsqualitäten)		Belastbarkeiten	Mögliche Massnahmen zur Berücksichtigung der Belastbarkeit
1: Einfahrt	570 PWE/h	800 PWE/h (B)			
Ausfahrt	750 PWE/h	1250 PWE/h			
Σ	1320 PWE/h		↔	1400 PWE/h	Keine Massnahmen
2: Einfahrt	800 PWE/h	870 PWE/h (D)			
Ausfahrt	850 PWE/h	1300 PWE/h			
Σ	1650 PWE/h		↔	1100 PWE/h	Lärmschutzmassnahmen im Zusammenhang mit Neubau Strasse
3: Einfahrt	* 1060 PWE/h	1000 PWE/h (F)			
Ausfahrt	660 PWE/h	1050 PWE/h			
Σ	* 1720 PWE/h		↔	1400 PWE/h	Lärmtechnische Sanierung (z. B. Schallschutzfenster)
4: Einfahrt	300 PWE/h	700 PWE/h (A)			
Ausfahrt	470 PWE/h	1100 PWE/h			
Σ	770 PWE/h		↔	1400 PWE/h	Keine Massnahmen

* Da die Leistungsfähigkeit der Einfahrt überschritten wird, beträgt die effektiv in den Kreisel einfahrende Verkehrsstärke 1000 PWE/h. Die Summe der Verkehrsstärke im Kreiselarm 3 beträgt somit nur 1660 PWE/h (anstelle von 1720 PWE/h).

Tab. 8
Comparaison, par branche de carrefour, des débits de circulation avec les capacités, les niveaux de service ainsi que les charges compatibles et les mesures possibles pour le respect des charges compatibles

Branche	Débits (tableau 4)	Capacités (niveaux de service)		Charges compatibles	Mesures envisageables pour tenir compte des charges compatibles
1: Entrée	570 UVP/h	800 UVP/h (B)			
Sortie	750 UVP/h	1250 UVP/h			
Σ	1320 UVP/h		↔	1400 UVP/h	Aucune mesure
2: Entrée	800 UVP/h	870 UVP/h (D)			
Sortie	850 UVP/h	1300 UVP/h			
Σ	1650 UVP/h		↔	1100 UVP/h	Mesures de protection contre le bruit, avec la construction de la nouvelle route
3: Entrée	* 1060 UVP/h	1000 UVP/h (F)			
Sortie	660 UVP/h	1050 UVP/h			
Σ	* 1720 UVP/h		↔	1400 UVP/h	Assainissement sonore (p. ex. fenêtres antibruit)
4: Entrée	300 UVP/h	700 UVP/h (A)			
Sortie	470 UVP/h	1100 UVP/h			
Σ	770 UVP/h		↔	1400 UVP/h	Aucune mesure

* Etant donné que la capacité de l'entrée est dépassée, le débit de circulation effectif entrant dans le giratoire se monte à 1000 UVP/h. La somme des débits de circulation de la branche de giratoire 3 n'est, par conséquent, que de 1660 UVP/h (au lieu de 1720 UVP/h).

Die Belastbarkeiten der Kreiselarme 1 und 4 werden eingehalten. In den Kreiselarmen 2 und 3 werden die Belastbarkeiten mit den gegebenen Verkehrsstärken weit überschritten, so dass an diesen Kreiselarmen Massnahmen zu treffen sind. Im vorliegenden nachfrageorientierten Verfahren werden die Belastbarkeiten aus dem Kriterium Lärm durch verkehrsunabhängige Massnahmen wie Schallschutzfenster (Knotenast 3) sowie Lärmschutzwände/-wälle (Knotenast 2) erhöht, bis diese mit den vorhandenen Verkehrsstärken eingehalten werden können.

Les charges compatibles des branches 1 et 4 du giratoire sont respectées. Avec les débits de circulation donnés, les charges compatibles des branches 2 et 3 sont largement dépassées, de sorte que sur ces branches, des mesures doivent être prises. Dans la présente procédure d'après la demande, les charges compatibles selon le critère bruit ont été augmentées par des mesures indépendantes de la circulation, telles que fenêtres antibruit (branche 3) ou écrans antibruit (branche 2), jusqu'à ce qu'elles puissent être respectées par les débits de circulation existant.

8. Schritt

Schritt 7 zeigt, dass die Einfahrt des Kreiselarmes 3 überlastet ist (Verkehrsqualitätsstufe F). Gemäss Ziffer 12 wird für alle Fahrstreifen die Verkehrsqualitätsstufe D als Dimensionierungsgrundlage empfohlen, so dass der Entwurf des Kreisels nicht den Anforderungen entspricht. Die Anzahl Fahrstreifen in den einzelnen Kreiselarmen und in der Kreiselfahrbahn muss im nachfrageorientierten Verfahren, wo notwendig, in einem Iterationsschritt neu festgelegt werden.

Etape 8

L'étape 7 montre que l'entrée de la branche 3 du giratoire est surchargée (niveau de service F). Selon le chiffre 12, le niveau de service D est recommandé comme base de dimensionnement pour toutes les voies de circulation, de sorte que le projet du carrefour giratoire ne correspond pas aux exigences. Dans la procédure selon la demande, le nombre des voies de circulation de chacune des branches et de l'anneau doit, là où c'est nécessaire, être redéfini par itération.

Iteration

Beim Entwurf des Kreisels werden folgende Änderungen vorgenommen:

Während beim Kreiselarm 2 die knapp mangelhafte Verkehrsqualität zur massgebenden Spitzenstunde bei einstreifiger Einfahrt noch toleriert werden kann, muss die Einfahrt des Kreiselarmes 3 zweistreifig ausgeführt werden.

Angesichts der Tatsache, dass nur eine Einfahrt überlastet ist, wird auf eine zweite Kreiselfahrbahn verzichtet. Mit der zweistreifigen Einfahrt des Kreiselarmes 3 ergibt sich somit die Schweizer Spezialform (2/1). Die Leistungsfähigkeit dieser zweistreifigen Einfahrt steigt nach Ziff. 10 um ca. 40%. Sie weist nun eine relativ schwache Auslastung der Verkehrsqualitätsstufe B auf.

Die Resultate der Berechnungen gemäss den Schritten 3 (Iteration) bis 6 (Iteration) lassen sich im Schritt 7 wiederum zusammenfassen:

Itération

On modifiera le projet du carrefour giratoire comme suit:

Alors que sur l'entrée à une voie de la branche 2 on peut encore tolérer un niveau de service tout juste insuffisant durant l'heure de pointe déterminante, l'entrée de la branche 3 doit en revanche être prévue à deux voies.

Compte tenu du fait qu'une seule entrée est surchargée, on renonce à une deuxième voie sur l'anneau. Avec l'entrée à deux voies de la branche 3, on obtient ainsi la forme spéciale suisse (2/1). La capacité de cette entrée à double voie augmente d'environ 40% selon le chiffre 10. Le degré d'utilisation relativement faible de cette entrée correspond au niveau de service B.

Les résultats des calculs selon les étapes 3 (itération) à 6 (itération) peuvent de nouveau être regroupés dans le cadre de l'étape 7:

Tab. 9
Gegenüberstellung der Verkehrsstärken mit den Leistungsfähigkeiten und den Verkehrsqualitätsstufen aus der Iterationsrechnung sowie der Belastbarkeiten pro Knotenast mit Angabe möglichen Massnahmen

Kreiselarm	Verkehrsstärken	Leistungsfähigkeiten (Verkehrsqualitäten)		Belast-barkeiten	Mögliche Massnahmen zur Berücksichtigung der Belastbarkeit
1: Einfahrt	570 PWE/h	800 PWE/h (B)			
Ausfahrt	750 PWE/h	1250 PWE/h			
Σ	1320 PWE/h		↔	1400 PWE/h	Keine Massnahmen
2: Einfahrt	800 PWE/h	870 PWE/h (D)			
Ausfahrt	850 PWE/h	1300 PWE/h			Lärmschutzmassnahmen im Zusammenhang mit Neubau Strasse
Σ	1650 PWE/h		↔	1100 PWE/h	
3: Einfahrt	1060 PWE/h	1400 PWE/h (B)			
Ausfahrt	660 PWE/h	1050 PWE/h			Lärmtechnische Sanierung (z. B. Schallschutzfenster)
Σ	1720 PWE/h		↔	1400 PWE/h	
4: Einfahrt	300 PWE/h	700 PWE/h (A)			
Ausfahrt	470 PWE/h	1100 PWE/h			
Σ	770 PWE/h		↔	1400 PWE/h	Keine Massnahmen

Tab. 9
Comparaison, par branche de carrefour, des débits de circulation avec les capacités et les niveaux de service résultant du calcul itératif ainsi que les charges compatibles avec indication des mesures à prendre possibles

Branche	Débits de circulation	Capacités (niveaux de service)		Charges compatibles	Mesures envisageables pour tenir compte des charges compatibles
1: Entrée	570 UVP/h	800 UVP/h (B)			
Sortie	750 UVP/h	1250 UVP/h			
Σ	1320 UVP/h		↔	1400 UVP/h	Aucune mesure
2: Entrée	800 UVP/h	870 UVP/h (D)			
Sortie	850 UVP/h	1300 UVP/h			Mesures de protection contre le bruit avec la construction de la nouvelle route
Σ	1650 UVP/h		↔	1100 UVP/h	
3: Entrée	1060 UVP/h	1400 UVP/h (B)			
Sortie	660 UVP/h	1050 UVP/h			Assainissement sonore (p. ex. fenêtres antibruit)
Σ	1720 UVP/h		↔	1400 UVP/h	
4: Entrée	300 UVP/h	700 UVP/h (A)			
Sortie	470 UVP/h	1100 UVP/h			
Σ	770 UVP/h		↔	1400 UVP/h	Aucune mesure

Mit der zweistreifigen Einfahrt im Kreiselarm 3 wird die Verkehrsqualitätsstufe D knapp in allen Fahrstreifen erreicht. Da die Verkehrsstärken gegenüber dem 1. Berechnungsgang unverändert bleiben, ergeben sich bei den notwendigen Massnahmen zur Erhöhung der Belastbarkeiten keine Änderungen.

Im vorliegenden Beispiel wäre es angebracht, das Verfahren zusätzlich für die Morgenspitze durchzurechnen, da bei städtischen Ausfallstrassen häufig andere Verteilungen der Verkehrsstärken in den Ein- und Ausfahrten auftreten.

Avec l'entrée à deux voies de la branche 3, le niveau de service D est tout juste atteint pour toutes les voies de circulation. Etant donné que, par rapport au premier calcul, les débits de circulation restent inchangés, il en résulte que les mesures nécessaires pour augmenter les charges compatibles ne subissent aucune modification.
Dans l'exemple présenté, il serait indiqué de refaire en plus la procédure avec l'heure de pointe du matin, car souvent sur les radiales urbaines, d'autres répartitions des débits apparaissent dans les entrées et les sorties.

F. Literaturverzeichnis

[1] SN 640 016 Massgebender Verkehr
[2] SN 640 017 Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Grundlagennorm
[3] SN 640 251 Knoten, Knotenelemente
[4] SN 640 263 Knoten mit Kreisverkehr
[5] SN 640 847 Signale, Anordnung an Kreisverkehrsplätzen
[6] Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufes auf Strassen «Deutsches HCM», Entwurf eines Handbuches, Teil A, Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr Universität Bochum, 1993
[7] Neue Forschungsergebnisse zur Kapazität von Kreisverkehrsplätzen; W. Brilon / L. Bondzio / N. Wu; Strassenverkehrstechnik 6/97
[8] VSS-Forschungsauftrag 3/89, Empirische Ermittlung der Leistungsfähigkeit von innerörtlichen Kreisverkehrsplätzen, Bericht Nr. 204, Emch + Berger Aarau / Zürich, November 1990
[9] Guide Suisse des Giratoires, Forschungsbericht Nr. 220 des ASB sowie des Fonds für Verkehrssicherheit; ITEP EPFL/Transitec/Urbaplan vom Februar 1991 sowie Zusammenfassung in Strasse und Verkehr Nr. 3 vom März 1991
[10] Grundlagen zur Beurteilung von Kreiseln bei Autobahnanschlüssen, Rundschreiben des Bundesamtes für Strassenbau vom 3. April 1995
[11] Sicherheit von Kreiselanlagen, Erfahrungen und vorläufige Empfehlungen; C. Huber / F. Bühlmann, Dezember 1994
[12] Kreisel oder Lichtsignalanlage; F. Kobi; SVK-INFO-Bulletin 1/97
[13] Kimber R. M., Hollis M.: Traffic Queues and Delays at Road Junctions; Transport and Road Research Laboratory (TRRL); Report Nr. LR 909, Crowthorne 1979

F. Bibliographie

[1] SN 640 016 Trafic déterminant
[2] SN 640 017 Capacité, niveau de service, charges compatibles; norme de base
[3] SN 640 251 Carrefours, éléments de carrefours
[4] SN 640 263 Carrefours giratoires
[5] SN 640 847 Signaux, disposition aux carrefours giratoires
[6] Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufes auf Strassen «Deutsches HCM», Entwurf eines Handbuches, Teil A, Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr Universität Bochum, 1993
[7] Neue Forschungsergebnisse zur Kapazität von Kreisverkehrsplätzen; W. Brilon / L. Bondzio / N. Wu; Strassenverkehrstechnik 6/97
[8] Mandat de recherche VSS 3/89, détermination empirique de la capacité des giratoires urbains, rapport No 204, Emch + Berger Aarau / Zurich, novembre 1990
[9] Guide Suisse des Giratoires, rapport de recherche No 220 de l'OFR et du Fonds pour la sécurité routière; ITEP EPFL/Transitec/Urbaplan de février 1991 ainsi que résumé dans Route et Trafic No 3 de mars 1991
[10] Bases pour l'analyse des carrefours giratoires, circulaire de l'Office fédéral des routes du 3 avril 1995
[11] Sicherheit von Kreiselanlagen, Erfahrungen und vorläufige Empfehlungen; C. Huber / F. Bühlmann, décembre 1994
[12] Kreisel oder Lichtsignalanlage; F. Kobi; SVK-INFO-Bulletin 1/97
[13] Kimber R. M., Hollis M.: Traffic Queues and Delays at Road Junctions; Transport and Road Research Laboratory (TRRL); Report Nr. LR 909, Crowthorne 1979