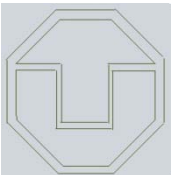


Knotenpunkte im Straßennetz

Kreuzungen, Einmündungen, Kreisverkehre



Technische Universität Dresden

Professur Straßenverkehrstechnik mit Fachbereich Theorie der Verkehrsplanung
Univ.- Prof. Dr.-Ing. Reinhold Maier

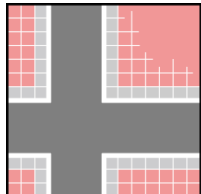
Verkehrsablauf und Sicherheit

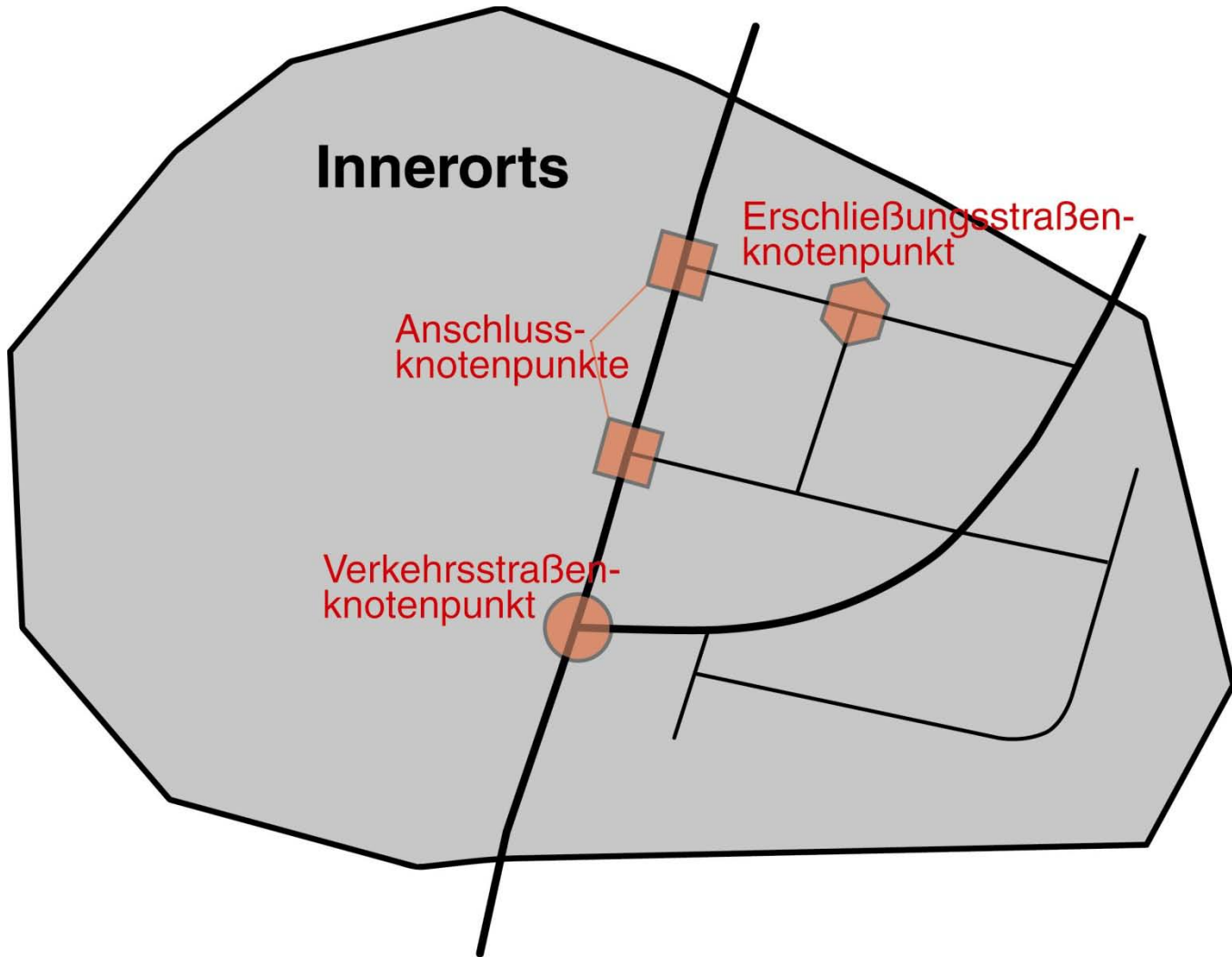
**An Knotenpunkten: Verkehrsregelung im Einklang mit der
baulichen Erscheinung der Verkehrsanlage**

**Ziel: Möglichst einfach für Verkehrsteilnehmer
sich richtig zu verhalten**

Einheit von Bau und Betrieb

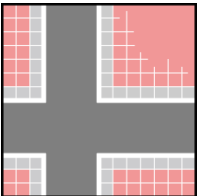
**Bei Abweichungen hiervon:
Aufwand in Verkehrstechnik /Regelung**





N_StraßEin1

Bezeichnung - Knotenpunkte

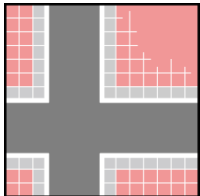


Ausgangssituation

- Plangleicher Knotenpunkt: Kreuzung oder Einmündung
- Kreisverkehrsplatz als Folge von Einmündungen
- Vorfahrtregelung mit Verkehrszeichen der StVO
- Grundregel „Rechts-vor-Links“
- Sonderfall „Abknickende Vorfahrt“

Einsatzgrenzen nach:

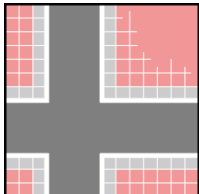
Verkehrsbelastung in Fahrbeziehungen (Knotenstrombelastung) und
Anforderungen der Verkehrssicherheit (belastungsunabhängig)



Ausgangssituation

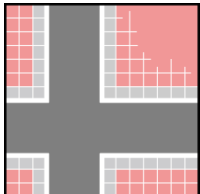
Beim Kreuzen oder Einbiegen:

- hat einer der am Kreuzungsvorgang beteiligten VT Vorrang, d.h. es kann nur gefahren werden, wenn der bevorrechtigte Strom dies zulässt: Ausreichend große (Zeit-)Lücke.
- „ausreichend“ ist eine Entscheidung von VT`n, beeinflusst durch viele unabhängig wirksame Variable (Fahrereigenschaften, Tageszeit, Wartezeit . . .), d.h. Zufallsgröße i.S. der math. Statistik mit Verteilung und Variablen, z.B. Erwartungswert und Streuung
- Diese Variablen des Verhaltens werden empirisch bestimmt: Zuerst durch Greenshields, Raff, Harders, Siegloch, Grabe, Großmann u. a.



Grundprinzip - Definition

1. Ein wartepflichtiger VT wartet bis im übergeordneten Strom eine ausreichend große Zeitlücke auftritt für den beabsichtigten Vorgang (Kreuzen, Einbiegen).
2. Es werden angenommene und abgelehnte Zeitlücken beobachtet.
3. Die (theoretisch) kleinste vom ersten VT in der wartepflichtigen Situation angenommene Zeitlücke für das Kreuzen oder Einbiegen heißt **Grenzzeitlücke**.
4. Die Größe der zusätzlichen Zeit, die es einem **weiteren** VT erlaubt sein beabsichtigtes Manöver auszuführen, heißt **Folgezeitlücke** $[t_f]$.



Grundprinzip - Definition

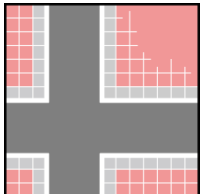
Aus Gründen der Praktikabilität werden trotz der (geringen) Ungenauigkeit zur Bestimmung von **Grenzzeitlücke** [t_{gr}] und **Folgezeitlücke** [t_f] die Bruttoabstände im Fahrzeugstrom verwendet:

$$ZL = AB / v \quad \text{mit}$$

ZL – Zeitlücke [sec]

AB – Bruttoabstand [m]

v – Geschwindigkeit [m/sec]



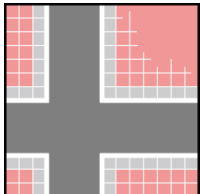
Abflussgesetz nach *Harders* und *Siegloch*

Treppenform der Abflussfunktion nach Harders:

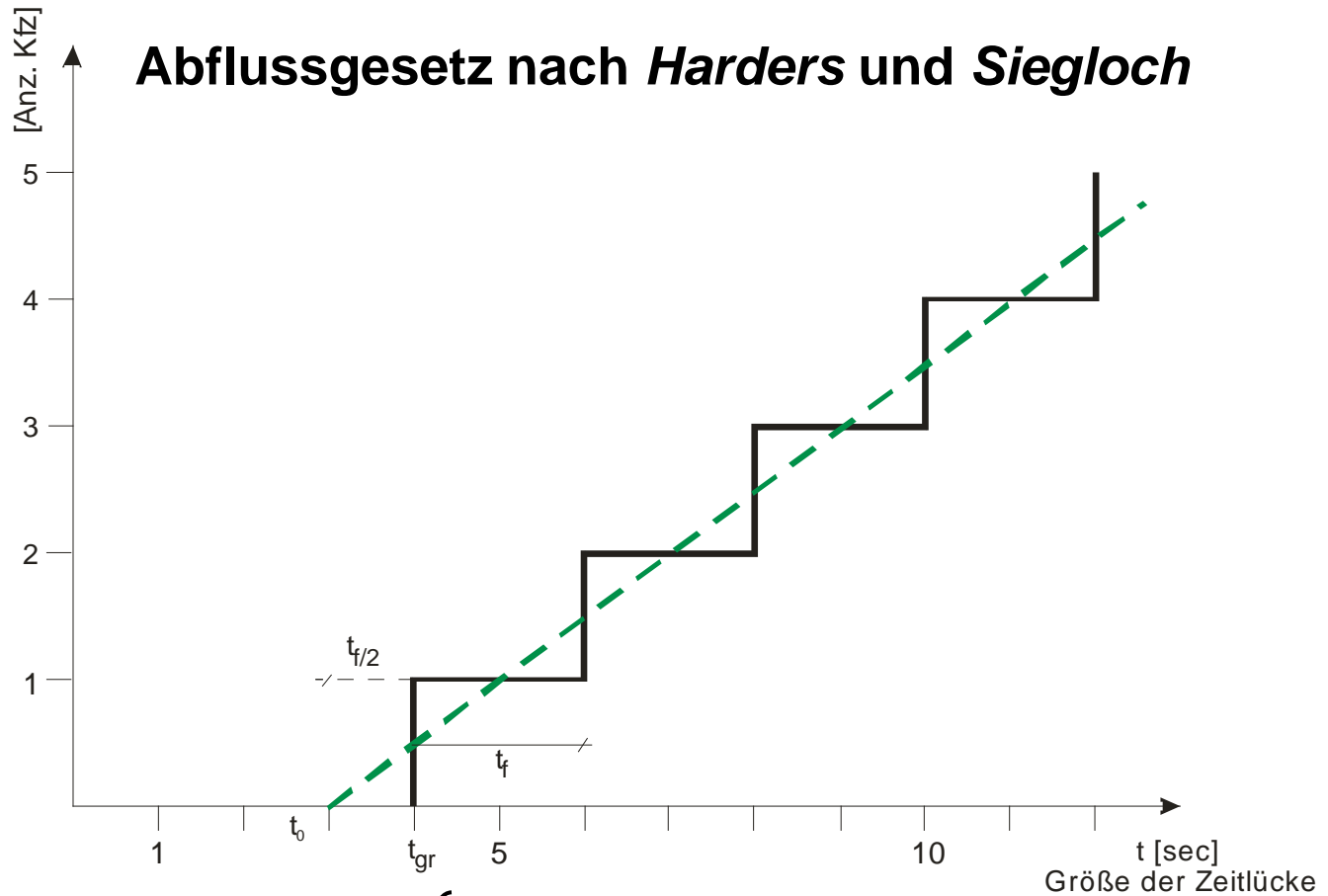
Bei Zeitlücken kleiner als Grenzzeitlücke im Hauptstrom:
kein Abfluss im Nebenstrom

Bei Zeitlücken größer als Grenzzeitlücke:
mindestens ein Fahrzeug im Nebenstrom

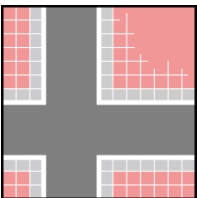
Anzahl der Fahrzeuge im Nebenstrom abhängig von Anzahl der Folgezeitlücken (zusätzlich zur Grenzzeitlücke) im Hauptstrom



Abflussgesetz nach *Harders* und *Siegloch*



$$g(t) \begin{cases} \frac{t - t_0}{t_f} & \text{für } t > t_0 \\ 0 & \text{für } t \leq t_0 \end{cases} \quad t_0 = t_{gr} - \frac{t_f}{2}$$



Abflußgesetz nach *Harders* und *Siegloch*

Treppenform der Abflussfunktion nach Harders

Linearer Ausgleich **nach Siegloch**

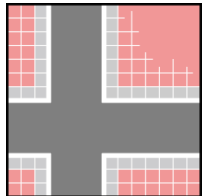
mit t_0 – Zeitlücke, die von keinem VT mehr angenommen wird:

$$t_0 = t_{gr} - t_f/2$$

Ermittlung empirisch als Regression:

- Anzahl Fahrzeuge, die eine Zeitlücke annehmen, als Funktion der
- Größe dieser Zeitlücke

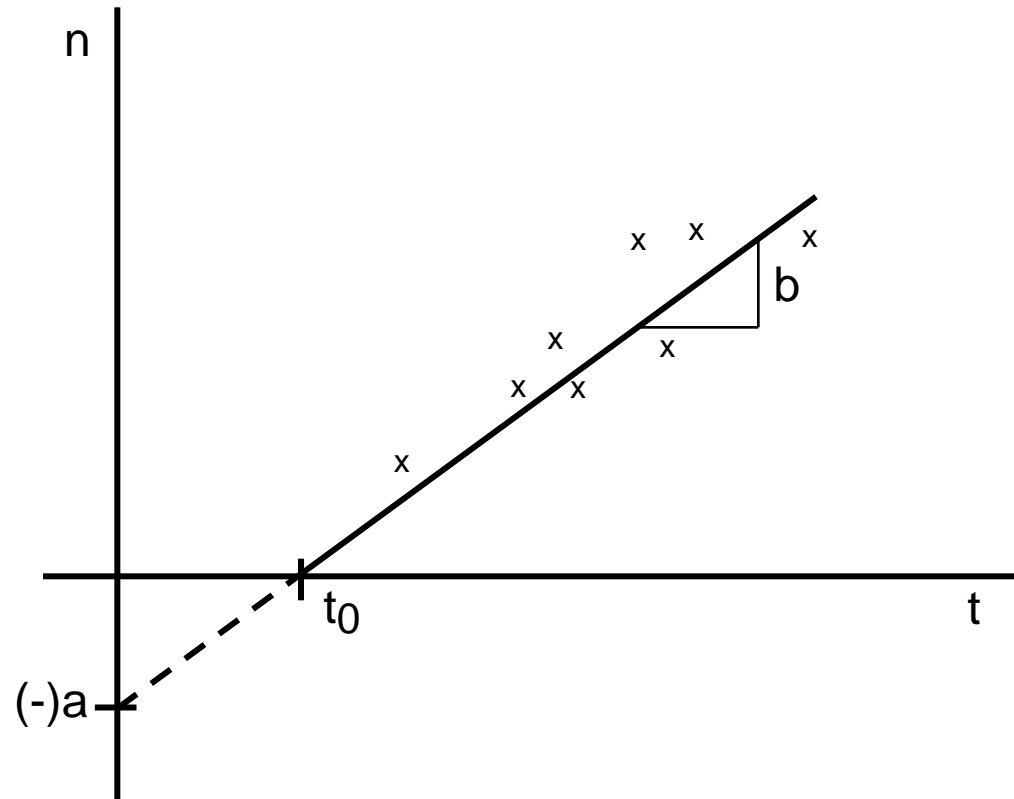
Voraussetzung: Rückstau in der wartepflichtigen Fahrbeziehung



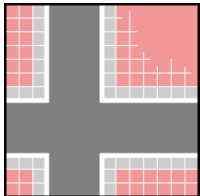
Ermittlung aus linearer Regression:

$$n = a + b \cdot t$$

a, b Parameter

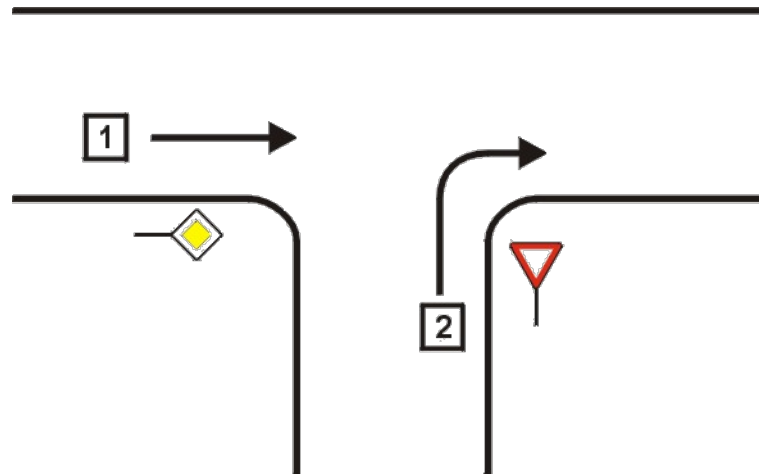


$$t_f = \frac{1}{b}; \quad t_0 = \frac{-a}{b}$$



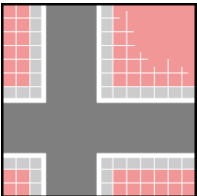
Kapazität eines Nebenstroms

- 1 Fahrstreifen, 1 wartepflichtige Fahrbeziehung
- 1 Fahrstreifen mit bevorrechtigter Fahrbeziehung



$$q_H \left[\frac{\text{Kfz}}{\text{h}} \right]; \quad \lambda_H = \frac{q_H}{3600} \left[\frac{\text{Kfz}}{\text{sec}} \right]$$

f (t) – Verteilung der Zeitlücken im Hauptstrom



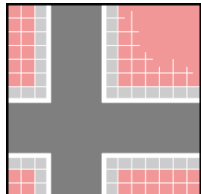
Im übergeordneten Hauptstrom vorhandene Zeitlücken:

$f(t)$ – zufallverteilte Fahrzeugankunft (Poisson):

$$p(x = 0) = e^{-m} = e^{-\lambda \cdot t} \hat{=} p(\text{ZL} > t) \quad m - \text{Erwartungswert } \frac{Fz}{t}$$

$$p(\text{ZL} \leq t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t}$$

$$f(t) = p'(\text{ZL} \leq t) = \lambda_H \cdot e^{-\lambda_H \cdot t}$$

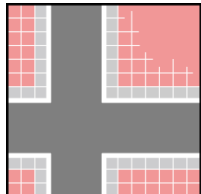


Durchlassfähigkeit – Leistungsfähigkeit L

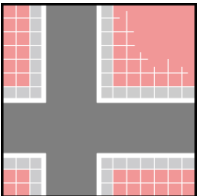
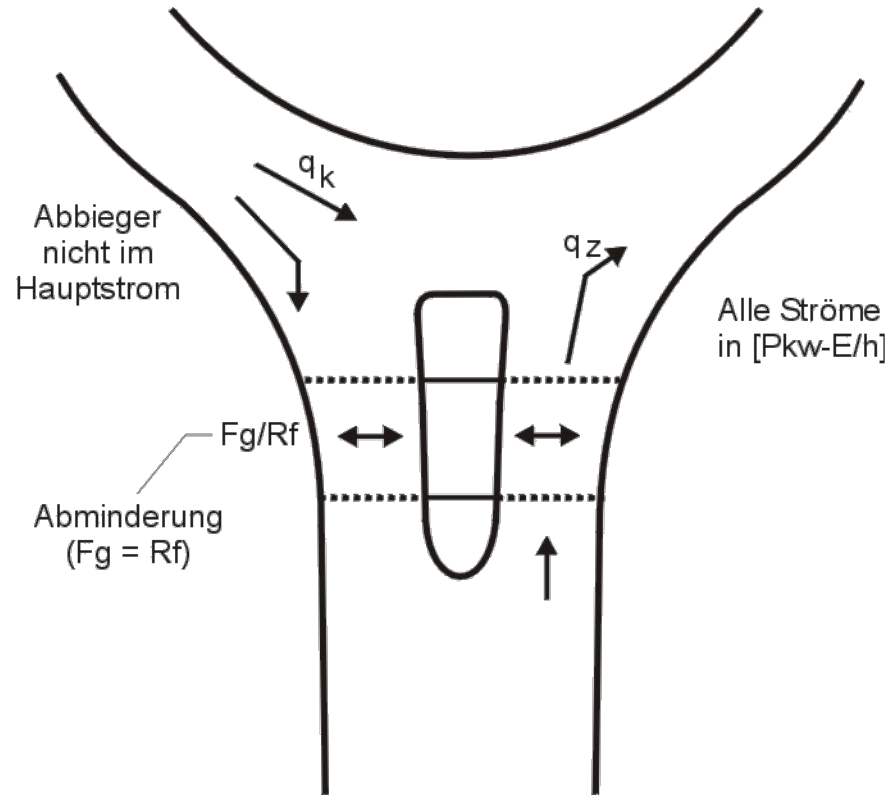
$$G_i = \frac{3600}{t_f} \cdot e^{\frac{-q_p}{3600} \left(t_g - \frac{t_f}{2} \right)}$$

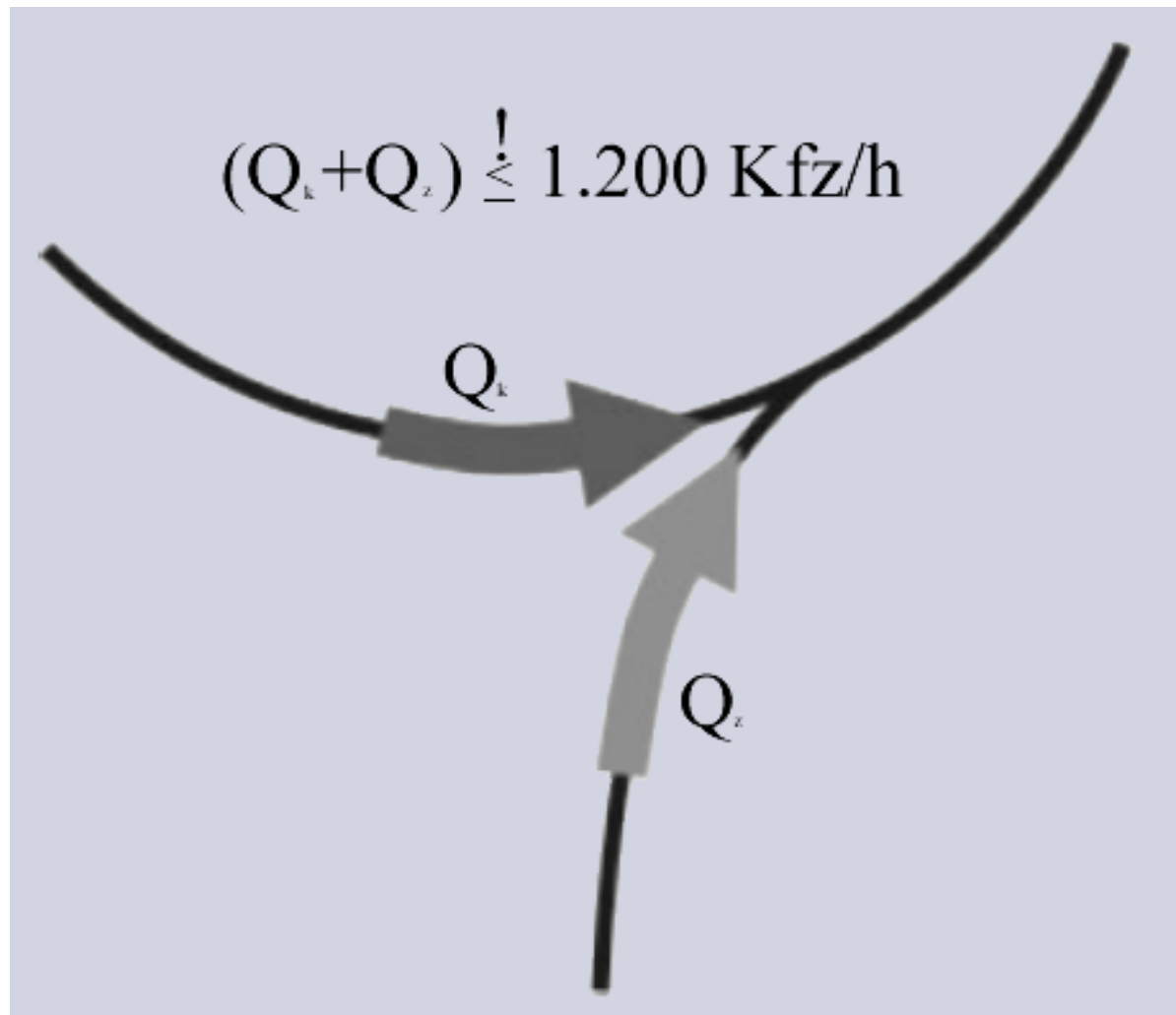
mit	G_i	=	Grundkapazität des Verkehrsstroms i
	[Pkw-E/h]		
q_p	=	maßgebende Hauptstrombelastung (nach Tabelle 7-3 oder 7-4)	[Fz/h]
t_g	=	mittlere Grenzzeitlücke (aus Tabelle 7-5)	[s]
t_f	=	mittlere Folgezeitlücke (aus Tabelle 7-6)	[s]

Quelle:
HBS-2001



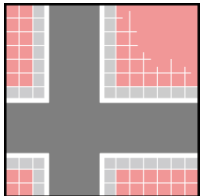
Ermittlung der Verkehrsqualität





Überschlägige Bemessung eines Kreisverkehrs

Quelle:
Merkblatt für
die Anlage von
Kreisverkehren
Entwurf 03/06



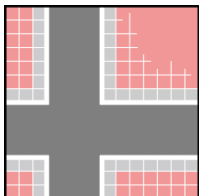
7.6 KAPAZITÄT AN KREISVERKEHRSPLÄTZEN

Die Grundkapazität einer **Kreisverkehrszufahrt** ist die maximal mögliche Verkehrsstärke der zufahrenden Fahrzeuge, die unter Ausnutzung der in dem Hauptstrom auf der Kreisfahrbahn auftretenden Zeitlücken erreichbar ist. Der Wert der Grundkapazität $G (= q_{z,max,i})$ einer Zufahrt i ergibt sich in Abhängigkeit von

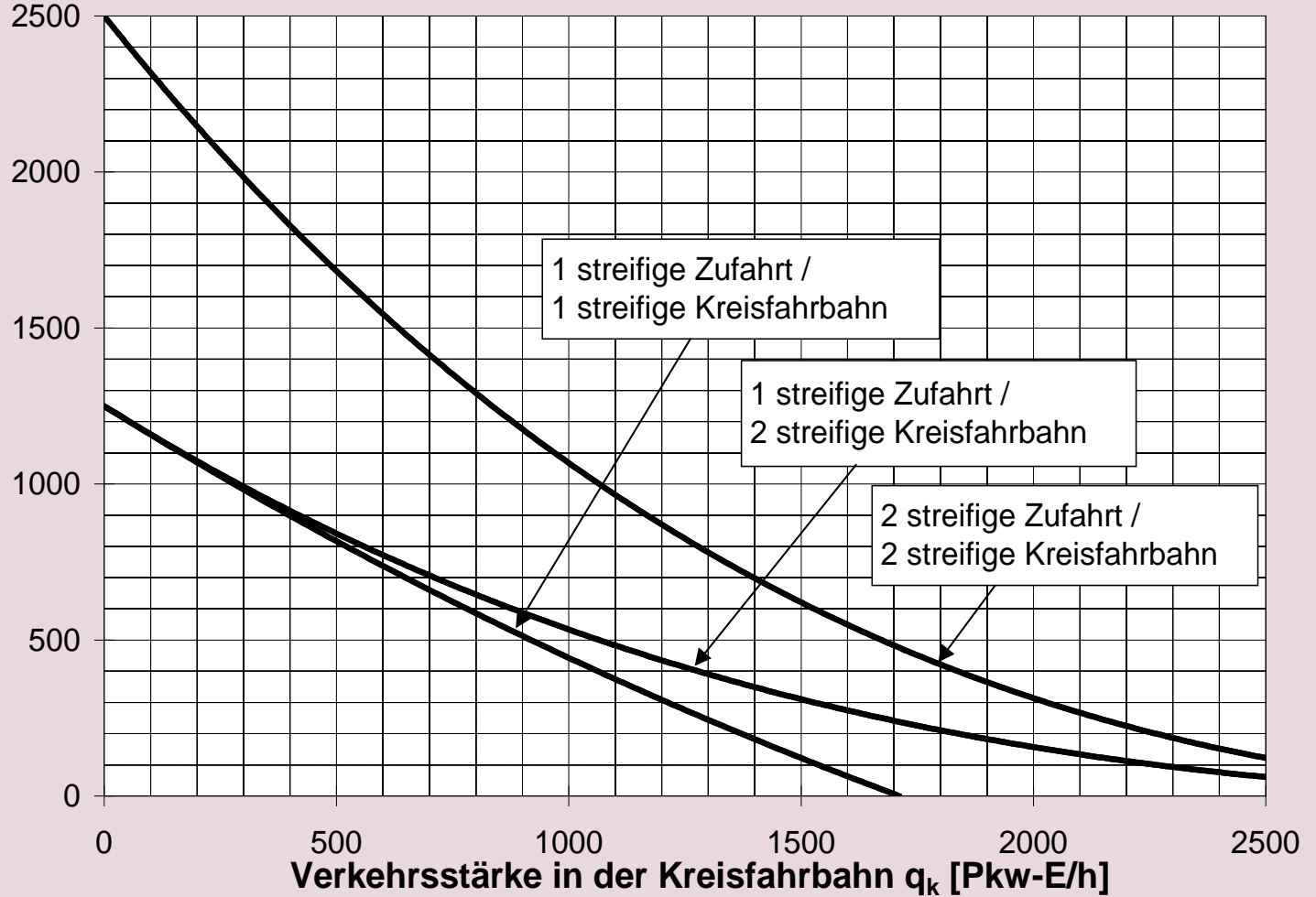
- der Anzahl der Fahrstreifen auf der Kreisfahrbahn,
- der Anzahl der Fahrstreifen in der Zufahrt und
- der Verkehrsstärke der Fahrzeuge in der Kreisfahrbahn $q_{k,i}$ unmittelbar vor der Zufahrt nach Bild 7-17 in Pkw-E/h (vgl. Bild 7-2).

Die Kapazität der (einstreifigen) **Ausfahrt** wird mit 1200 Pkw-E/h angesetzt.

Quelle:
HBS 2001

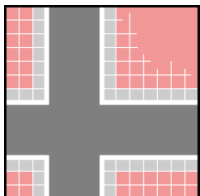


Grundkapazität G [Pkw-E/h]



Quelle:
HBS 2001

Bild 7-17: Kapazität von Kreisverkehrszufahrten



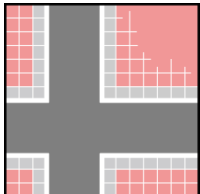
Fußgänger vermindern die Kapazität Fußgänger, die die Zu- und Ausfahrten der Kreisverkehrsplätze überqueren, können die Kapazität der Anlage beeinträchtigen. Dies gilt insbesondere dann, wenn sie auf Fußgängerüberwegen (Zeichen 293 StVO) geführt werden.

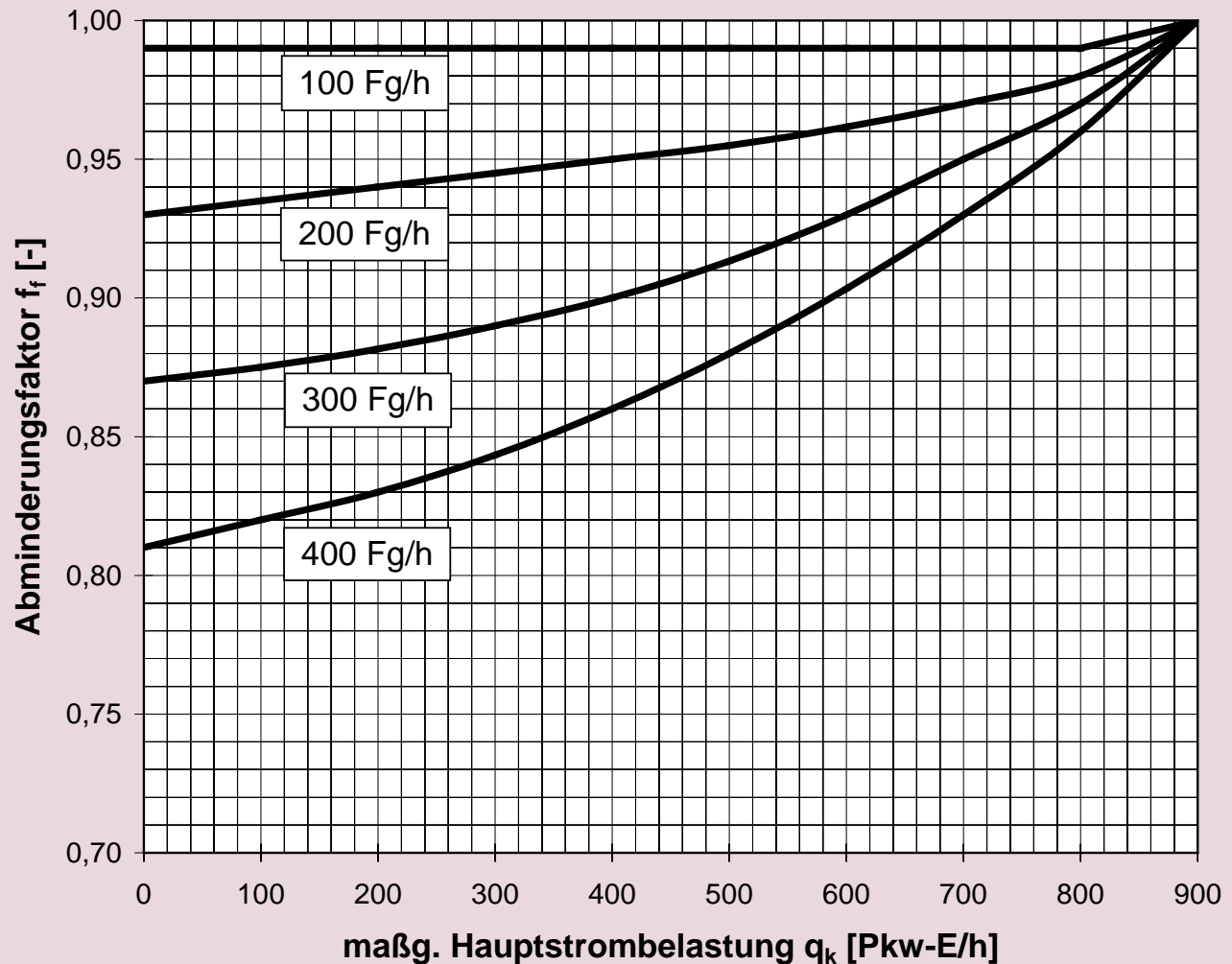
Die Abminderungen, die sich auf Grund dieser Störungen für die Kapazität des einfahrenden Kfz-Verkehrs ergeben, können mit Hilfe der Abminderungsfaktoren f_f aus Bild 7-18 ermittelt werden. Sie gelten jeweils für einstreifige Zufahrten an Kreisverkehrsplätzen mit einstreifigen Kreisfahrbahnen (Bild 7-18a) und für mehrstreifige Zufahrten an Kreisverkehrsplätzen mit mehrstreifigen Kreisfahrbahnen (Bild 7-18b). Mit diesen f_f -Werten ist der Wert der Kapazität G nach Bild 7-17 zu multiplizieren.

$$C = G \cdot f_f \quad (7-20)$$

mit	C	=	Kapazität der Kreisverkehrszufahrt mit Berücksichtigung der sich durch Fußgänger ergebenden Kapazitätsabminderungen	[Pkw-E/h]
	G	=	Grundkapazität der Kreisverkehrszufahrt	[Pkw-E/h]
	f_f	=	Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung des Einflusses durch Fußgänger. Sofern keine Fußgänger die Zufahrt überqueren, ist $f_f = 1$.	[-]

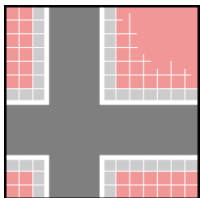
Quelle:
HBS 2001

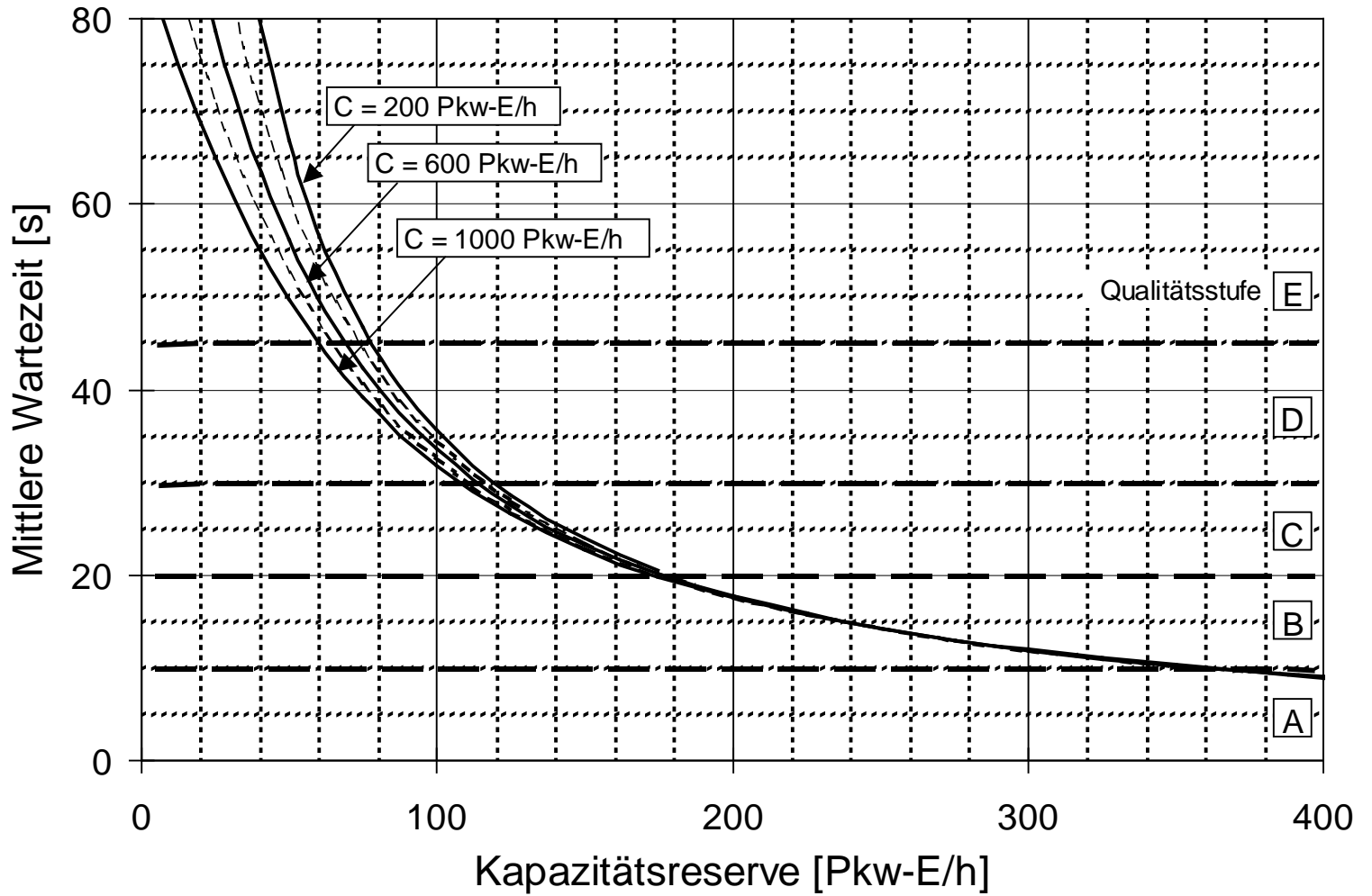




Quelle:
HBS 2001

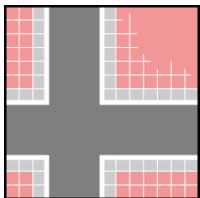
Bild 7-18a: Abminderungsfaktoren f_f zur Berücksichtigung des Einflusses querender Fußgänger an einstreifigen Zufahrten von Kreisverkehrsplätzen mit einstreifiger Kreisfahrbahn





Quelle:
HBS 2001

Bild 7-19: Mittlere Wartezeit in Abhängigkeit von der Kapazitätsreserve R und der Kapazität C



Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufs

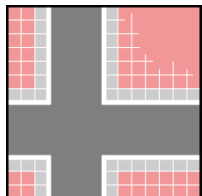
Für die Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage wird überprüft, ob bei der nach Abschnitt 7.2.1 ermittelten Bemessungsverkehrsstärke q_i eine nach Abschnitt 7.3 (Tabelle 7-1) vorgegebene mittlere Wartezeit w , die die gewünschte Qualität des

Tabelle 7-1: Grenzwerte der mittleren Wartezeit für die Qualitätsstufen

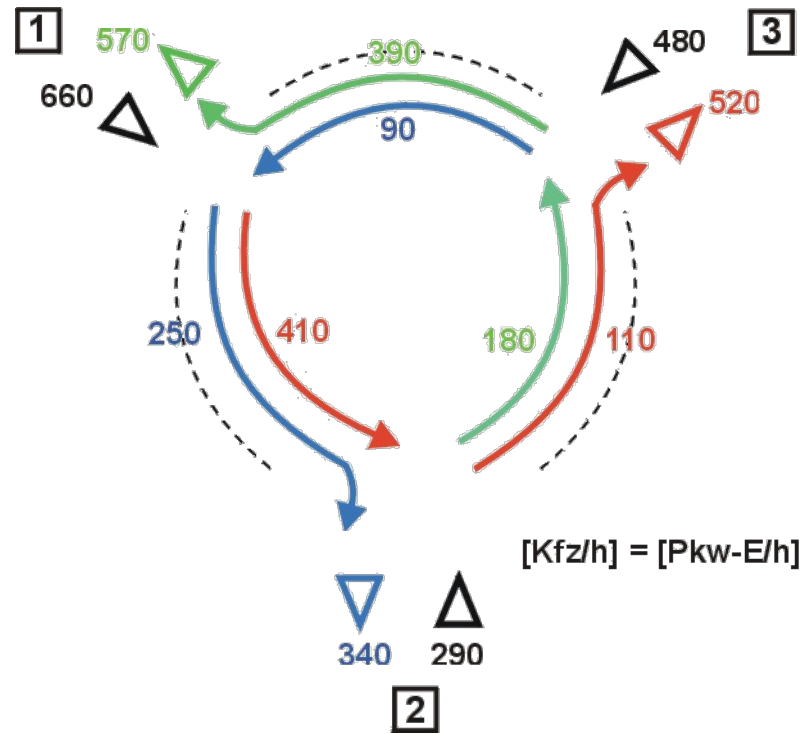
QSV	Mittlere Wartezeit w [s]
A	≤ 10
B	≤ 20
C	≤ 30
D	≤ 45
E	> 45
F	--- 1)

¹⁾ Die Stufe F ist erreicht, wenn der Sättigungsgrad größer als 1 ist (vgl. Gleichung (7-3)).

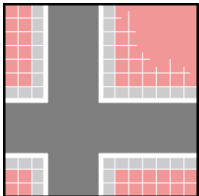
Quelle:
HBS 2001

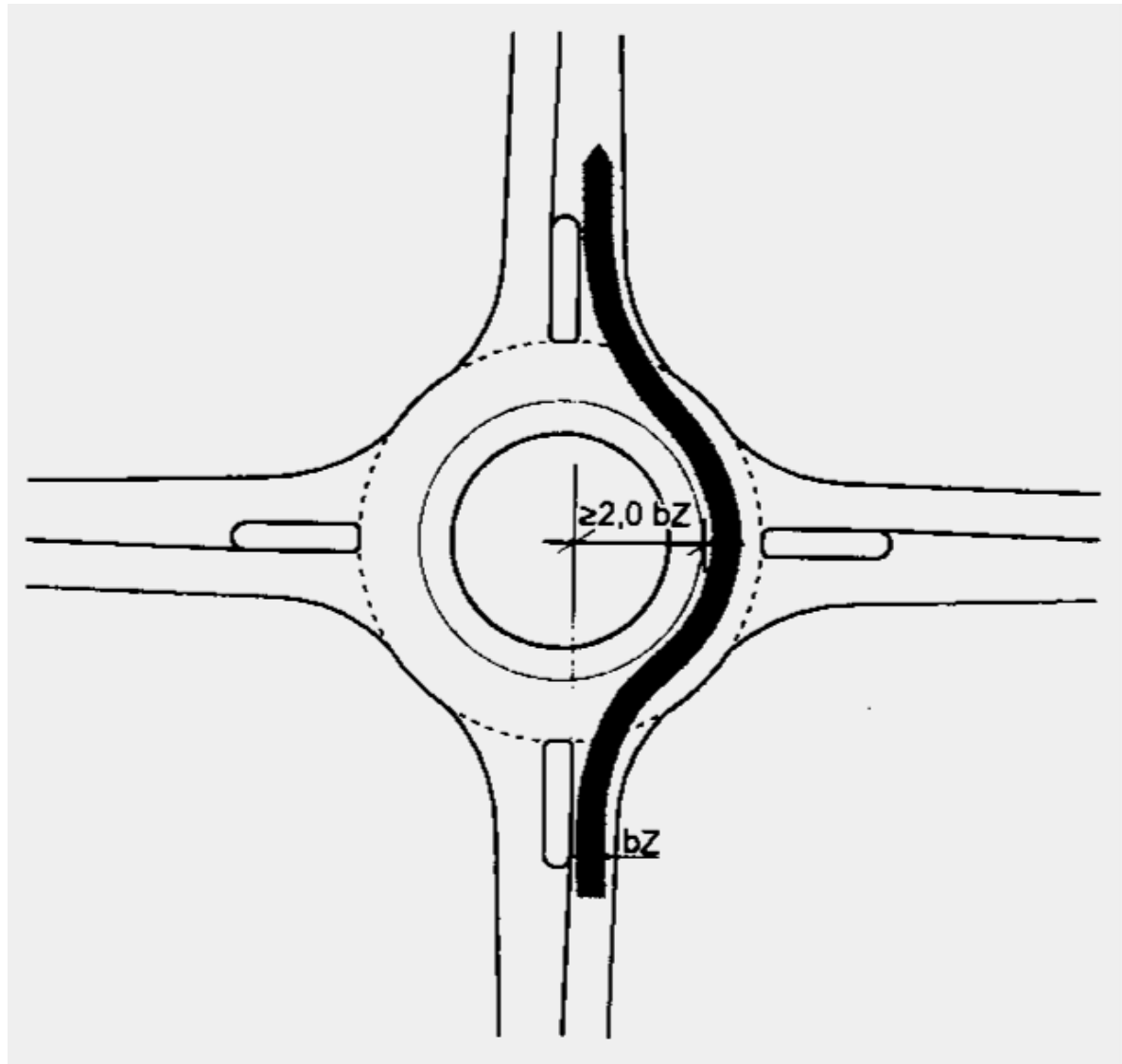


Strombelastungsplan Kreisverkehrsplatz

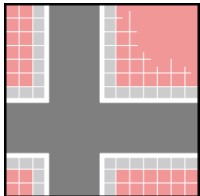


Zufahrt	$q_{z,i}$ [Pkw-E/h]	$q_{k,i}$ [Pkw-E/h]	C_i [Pkw-E/h]	g_i [-]	R_i [Pkw-E/h]	\bar{w} [s]	QSV
1	660	90	1160	0,57	500	7,2	A
2	290	410	887	0,33	597	6,0	A
3	480	180	1081	0,44	601	6,0	A



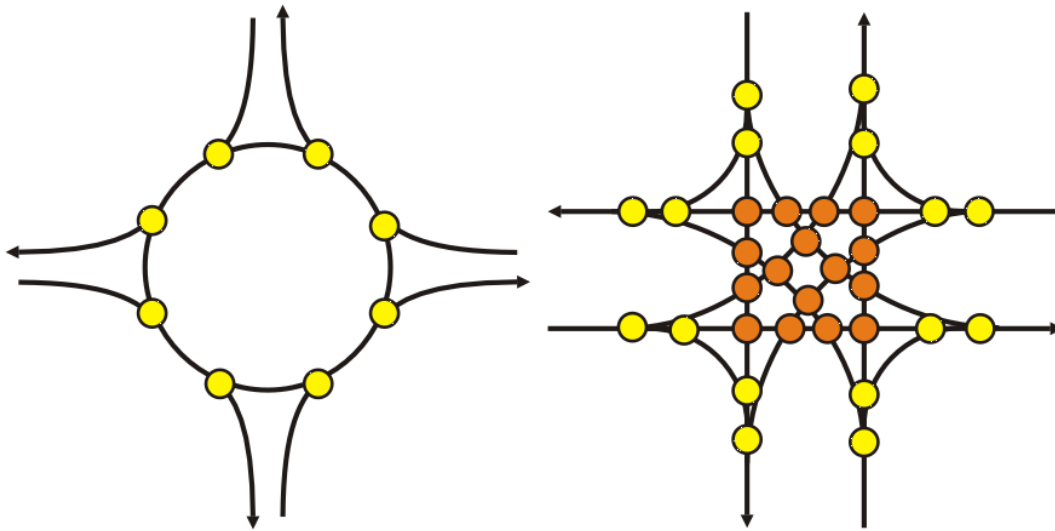


Anzustrebende Ablenkung durch Kreisinsel mit Innenring

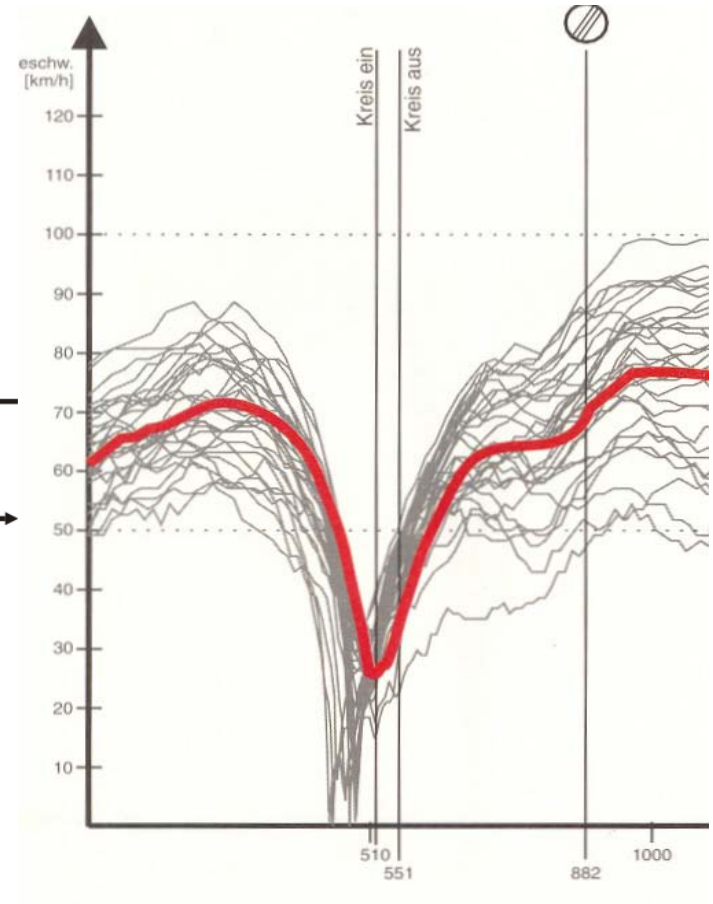


Verkehrssicherheit

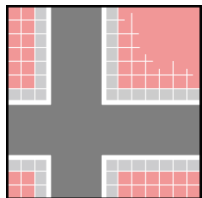
Konfliktpunkte



Geschwindigkeiten



Merkblatt
KVP 05 Entwurf



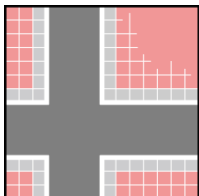
Kreisverkehrsplätze

Einsatzkriterien innerhalb bebauter Gebiete:

Kleine Kreisverkehrsplätze sind geeignet

- zur Erhöhung der Verkehrssicherheit an Knotenpunkten, an denen Unfälle vor allem auf nicht angepaßte Geschwindigkeiten, ggf. in Verbindung mit schlechter Erkennbarkeit oder unzureichenden Sichtverhältnissen zurückzuführen sind. . . .
- zur Reduzierung der Geschwindigkeiten des Kraftfahrzeugverkehrs an Knotenpunkten, . . . Auch an Ortseinfahrten haben sich Kreisverkehrsplätze deshalb als Mittel zur Dämpfung nicht angepaßter Geschwindigkeiten bewährt;
- zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit von vorfahrtgeregelten und vielfach auch von Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage. . . . , sollte geprüft werden, ob mit einem Kreisverkehrsplatz der Verkehrsablauf verbessert werden kann;
- zur Verknüpfung von mehr als vier Knotenpunktarmen;

Merkblatt
KVP 98

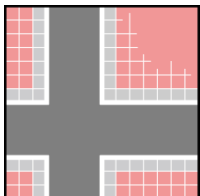


Kreisverkehrsplätze

Einsatzkriterien innerhalb bebauter Gebiete:

Kleine Kreisverkehrsplätze können verkehrliche Nachteile haben und ihr Einsatz bedarf einer besonderen Überprüfung, wenn

- bei hohen Anforderungen an die Sicherung des Fußgänger- und Radverkehrs – beispielsweise zur Schulwegsicherung – die signaltechnische Sicherung von Überquerungsstellen erwogen wird,
- bei sehr ungleicher Verkehrsbedeutung der Straßen die gleichberechtigte Verknüpfung der Knotenpunktarme nicht plausibel ist,
- bei Linienbusverkehr . . . der Fahrkomfort nicht hinreichend sicherzustellen ist oder
- der Knotenpunkt im Zuge einer Route mit Großraum- und Schwertransporten oder militärischen Schwerfahrzeugen liegt.



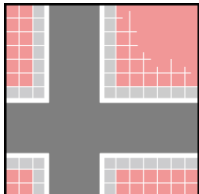
Kreisverkehrsplätze

Kleine Kreisverkehrsplätze sollen nicht zur Anwendung kommen, wenn

- bei hohen Verkehrsstärken lange Wartezeiten entstehen
- schienengebundene Nahverkehrsfahrzeuge *ohne Lichtsignalanlagen* über den Knotenpunkt geführt werden sollen,
- bei Flächenmangel eine sachgerechte Gestaltung des Kreisverkehrsplatzes nicht gewährleistet ist und
- bei unruhiger Topographie . . .

Städtebauliche Kriterien . . .

Merkblatt
KVP 98



Kreisverkehrsplätze

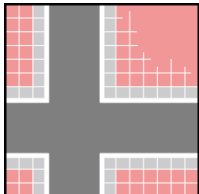
Einsatzkriterien außerhalb bebauter Gebiete

(analog innerorts, dazu aber:)

Als Einzelknotenpunkt oder als Knotenpunktfolge, wenn die erzielbare Reisegeschwindigkeit mit den Qualitätsanforderungen der Verbindungsfunktions-Stufe nach den RAS-N in Einklang zu bringen ist.

An einbahnigen Straßen der Kategorie A I nach RAS-N kommt der Einsatz eines Kreisverkehrsplatzes nur dann in Betracht, wenn dadurch die Einrichtung einer Lichtsignalanlage vermieden werden kann

Merkblatt
KVP 98

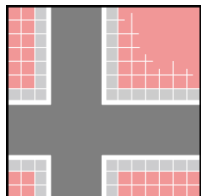


Kreisverkehrsplätze

Entwurfsgrundsätze

. . . . Maßgebend für eine geschwindigkeitsdämpfende und somit sichere Gestaltung sind folgende **Grundprinzipien**:

- Außendurchmesser von 26 m bis 45 m
- einstreifige Kreisfahrbahn und einstreifige Knotenpunktzu- und -ausfahrten,
- möglichst senkrechtes Heranführen der Knotenpunktzufahrten an die Kreisfahrbahn,
- deutliche Umlenkung geradeausfahrender Fahrzeuge durch die Kreisinsel,
- gute Erkennbarkeit des Knotenpunktes als Kreisverkehrsplatz,
- Verhinderung der Durchsicht durch eine raumwirksam gestaltete Kreisinsel.



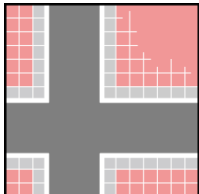
Kreisverkehrsplätze

Entwurfsgrundsätze

. . . . Ziel des Entwurfs muss es sein, durch eine konsequent geschwindigkeitsdämpfende Ausbildung den Kraftfahrzeugverkehr sowie den Fußgänger- und Radverkehr sicher abzuwickeln. Maßgebend für eine geschwindigkeitsdämpfende und somit sichere Gestaltung sind folgende Grundprinzipien:

-

Die vier Standardanforderungen an einen sicheren Knotenpunkt sind zu beachten, und das Prinzip der „**Einheit von Bau und Betrieb**“ muss verwirklicht werden.



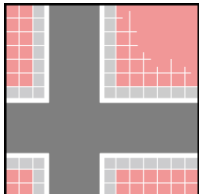
Erweiterungsschritte beim Kreisverkehr:

- Bypass
- breitere Kreisfahrbahn
- zweistreifige Zufahrt
- Kombinationen

Gründe für Mini - Kreisverkehr:

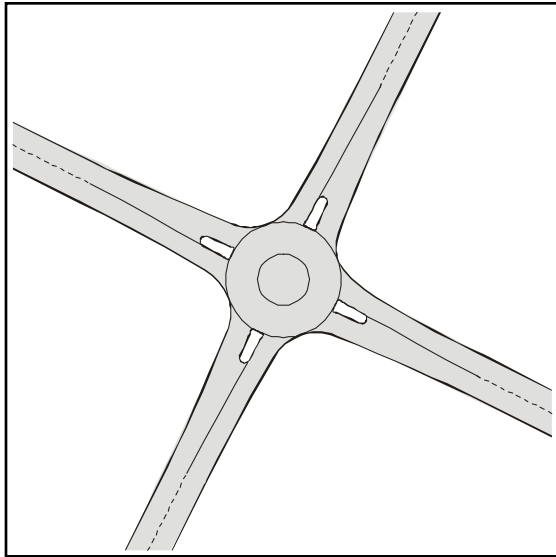
- Fläche
- Kosten
- Verkehrsaufkommen

Quelle:
Merkblatt KVP

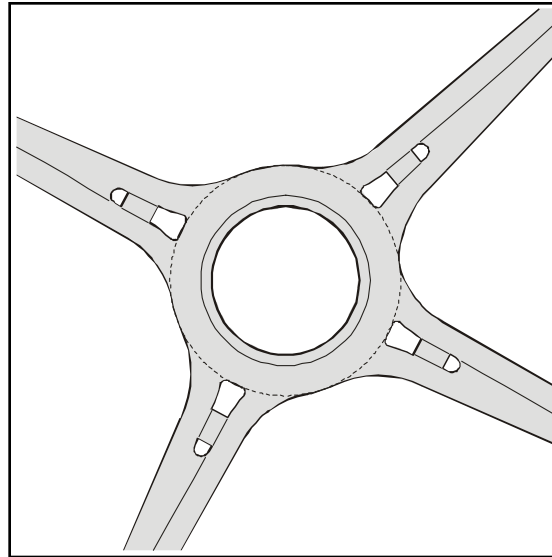


Gruppeneinteilung bei Kreisverkehren

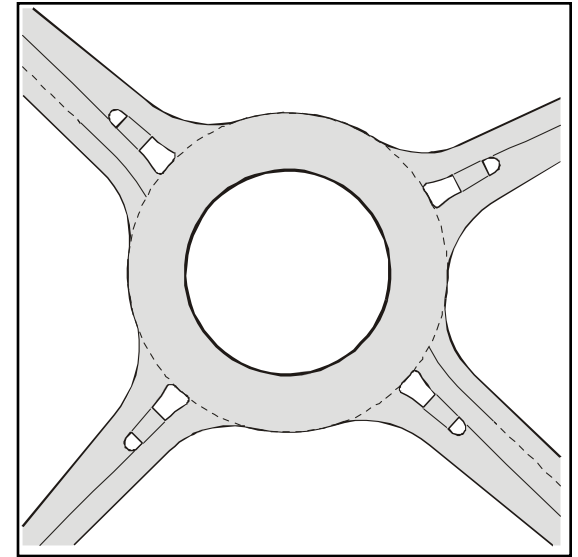
Minikreisverkehre



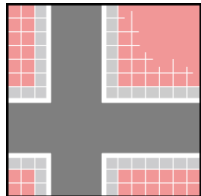
Kleine Kreisverkehre



**Kleine Kreisverkehre
mit zweistreifig
befahrbaren Elementen**

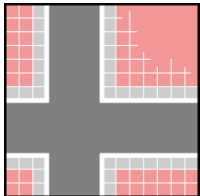


Merkblatt
KVP 05 Entwurf



Bei der Entscheidung beachten:

**KVP bedienen alle Zufahrten und alle Ströme gleich und
Überlastete KVP können nicht flexibel verändert werden.**



Sicherheit von Knotenpunkten

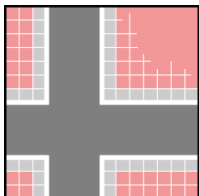
Knotenpunkte müssen aus allen Knotenpunktzufahrten rechtzeitig **erkennbar** sein, Für wartepflichtige Fahrzeugführer ist diese Forderung besonders wichtig, weil zusätzlich die bevorrechtigten Verkehrsteilnehmer zu beachten sind.

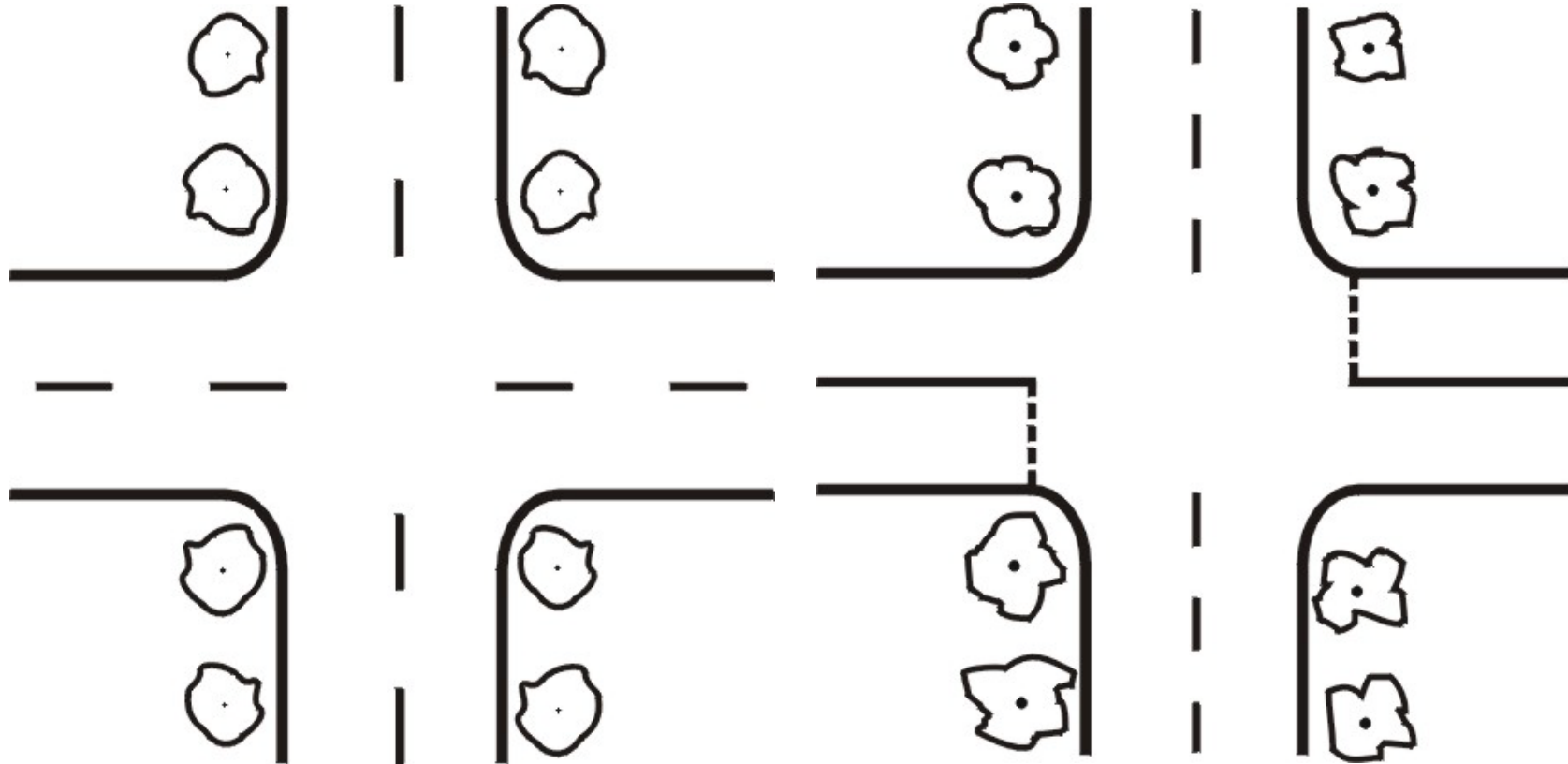
Knotenpunkte müssen so **übersichtlich** sein, daß zumindest alle Wartepflichtigen bei der Annäherung an einen Gefahrenpunkt die bevorrechtigten Verkehrsteilnehmer rechtzeitig sehen können.

Knotenpunkte sind **begreifbar**, wenn für alle Verkehrsteilnehmer deutlich ist,

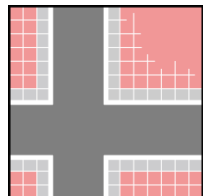
- wo man sich einordnen sollte,
- an welchen Stellen abzubiegen ist,
- wo Konflikte mit anderen Verkehrsteilnehmern auftreten können und wer bevorrechtigt ist.

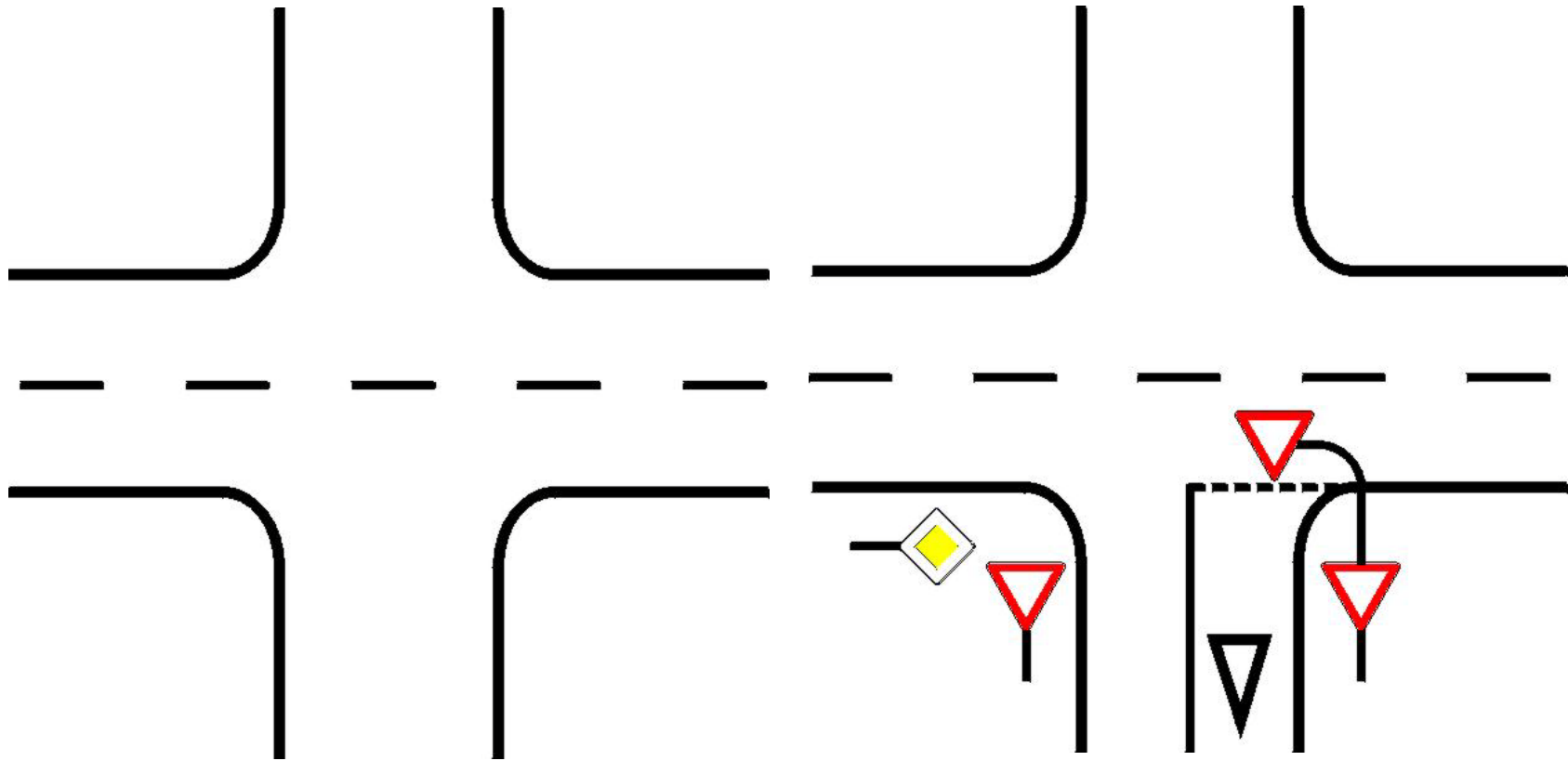
Quelle: RAS-K-1



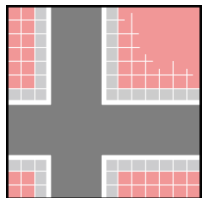


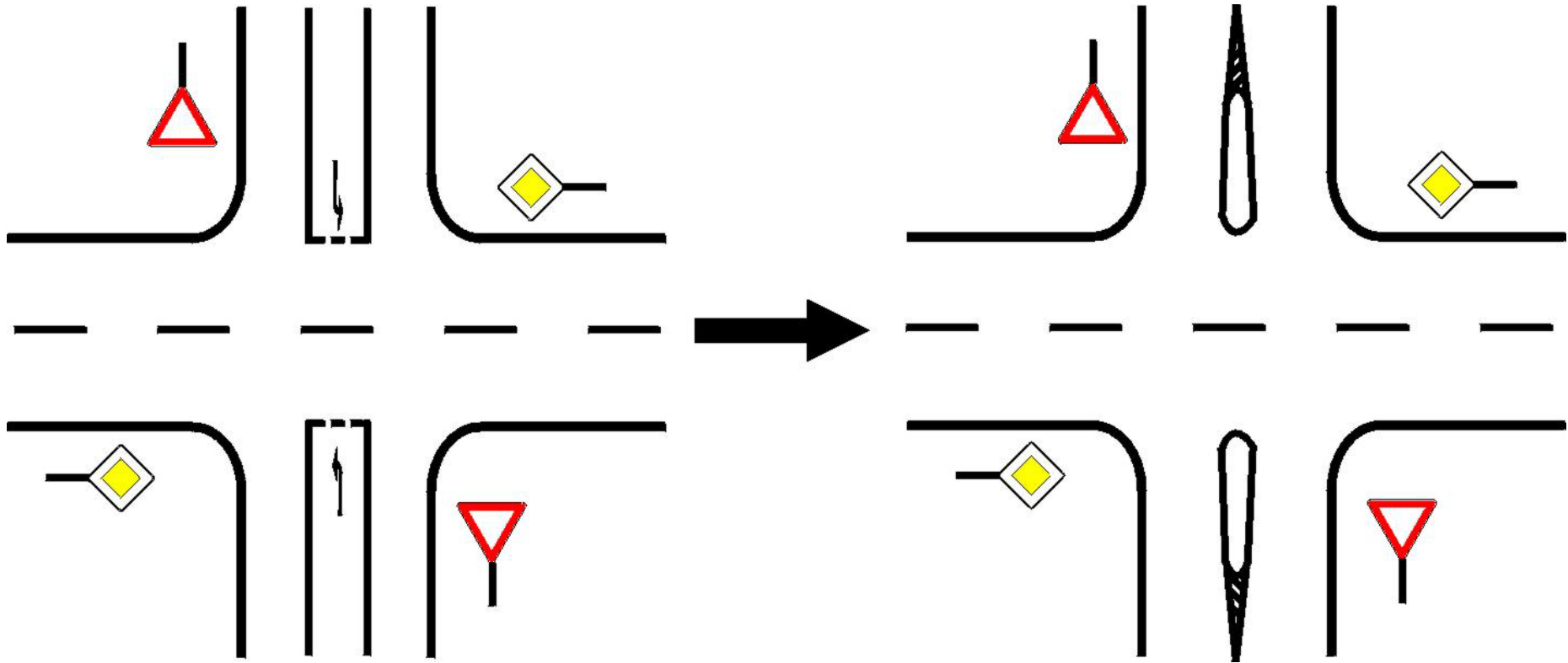
Pfundt 1964



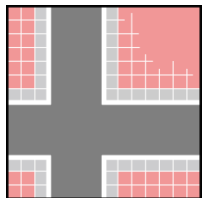


Pfundt 1964



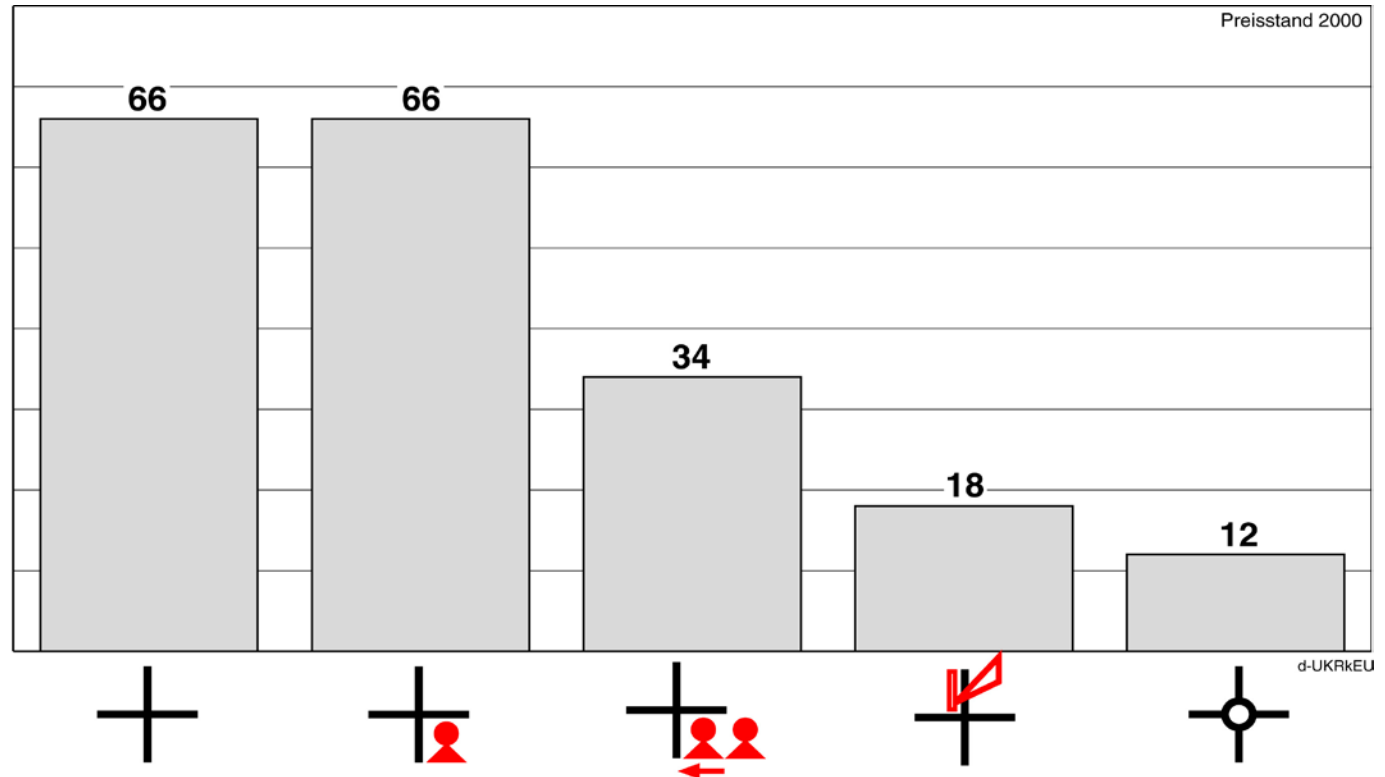


Pfundt 1964



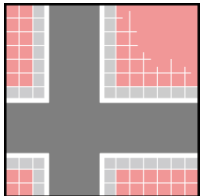
Verkehrsablauf und Sicherheit

Unfallkostenraten UKR (P, S) in €1000 Kfz-Ü

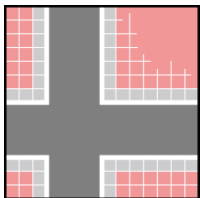
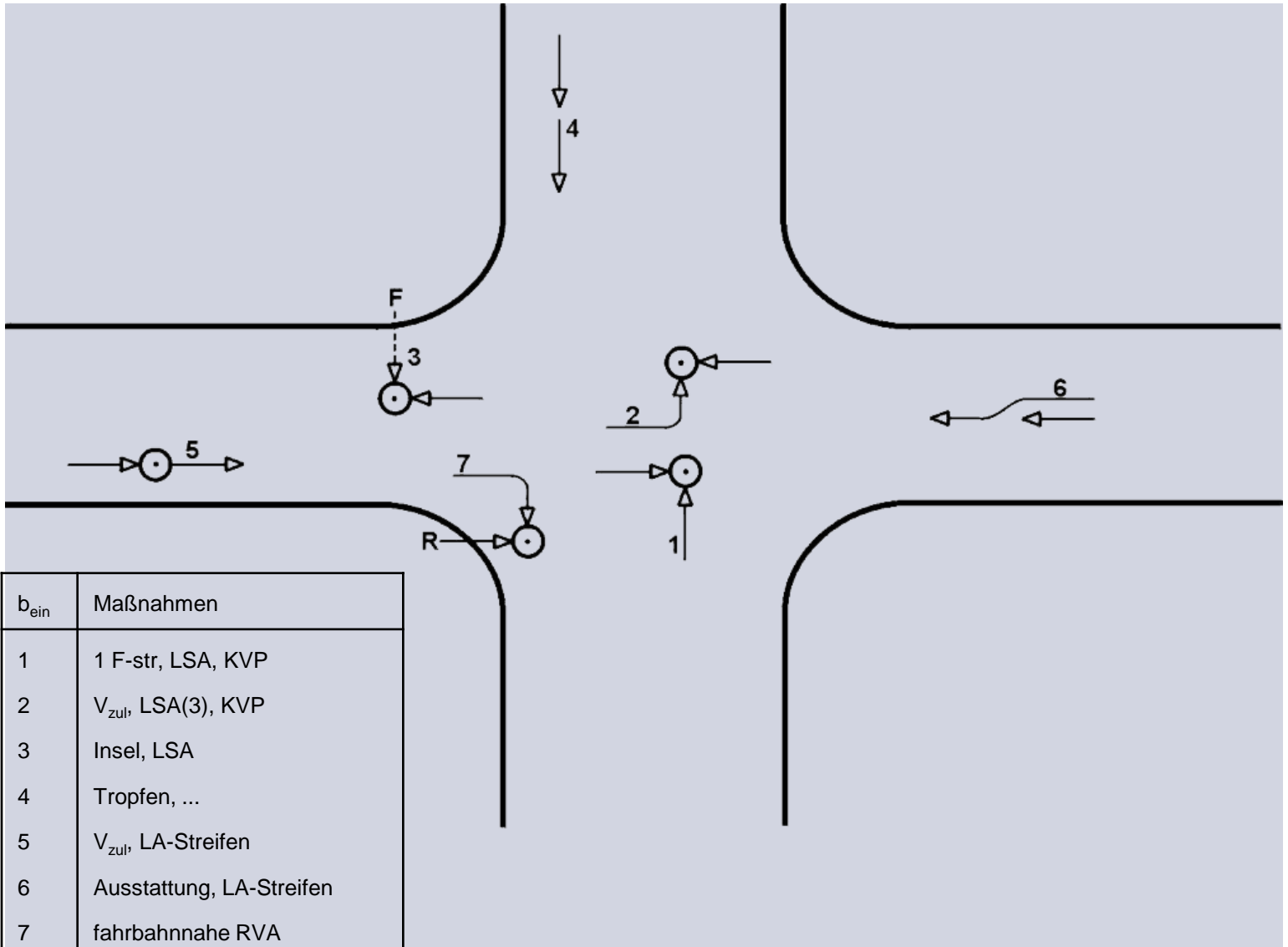


Entwurfsgrundsätze

- Erkennbar
- Begreifbar
- Sicht
- Befahrbar

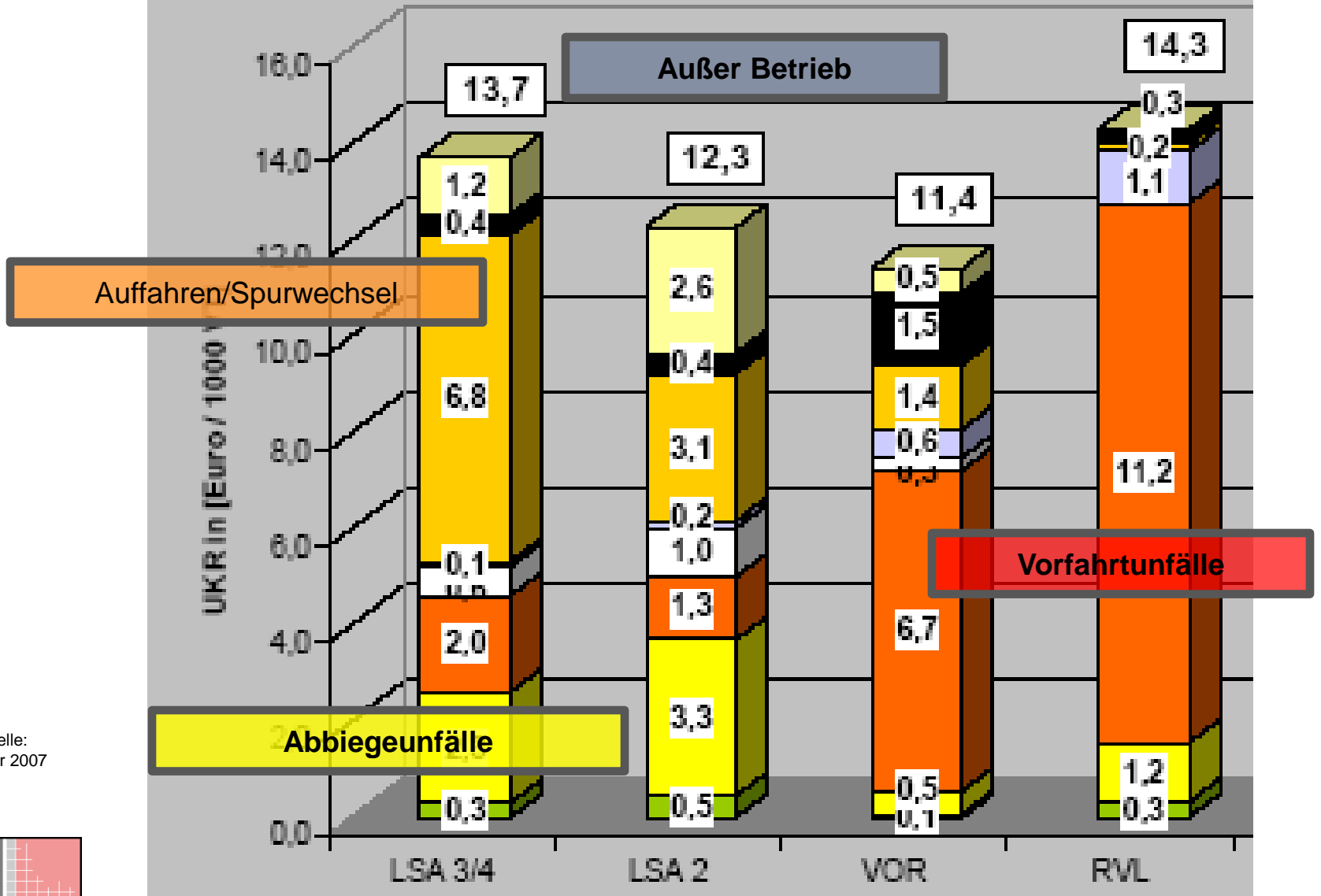


Gefahren am Knotenpunkt



Sicherheitsgrad von Knotenpunkttypen innerorts

(Dresden 2004-06)

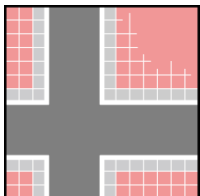


Quelle:
Körner 2007

Sicherheit von Knotenpunkten

- Die geringste Unfallgefahr geht von Einmündungen mit LSA aus
- Bei Kreuzungen mit mehr als 3 Zufahrten ist der kleine KVP am sichersten
- Kreuzungen mit LSA sind nur sicherer als ohne LSA bei Sicherung der Linksabbieger
- Große KVP mit mehr als einem Fahrstreifen sind nur mit LSA sicher
- Kreuzungen mit LSA haben eine andere Unfallcharakteristik als ohne LSA

Quelle: Voß 94;
Eckstein, Meewes
2002



LSA

Funktionsweise einer LSA:

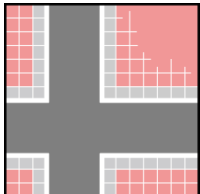
Zeitlich begrenztes Sperren und versetztes Freigeben von Verkehrsströmen durch Schalten von Signalbildern

Dadurch teilweise – für bedingt verträgliche Ströme – oder vollständige – für nicht verträgliche Ströme – Entflechtung der Konflikte „Kreuzen“ und „Einfädeln“

Betrachtung aller Verkehrsarten und aller (potenziellen) Konfliktflächen

Ziel der Einrichtung einer LSA:

Beeinflussung der Sicherheit und / oder der Qualität im Verkehrsablauf Einzelner oder aller Verkehrsarten oder Bewegungsbeziehungen



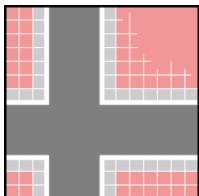
Qualität des Verkehrsablaufs

Wenn an **Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage** Verkehrsströme nicht mehr ohne **erhebliche Zeitverluste** bewältigt werden können, kann eine Lichtsignalanlage in Verbindung mit einer entsprechenden baulichen Gestaltung des Knotenpunkts eine **Verbesserung des Verkehrsablaufs** bewirken. Die Einrichtung einer Lichtsignalanlage kann auch im Zusammenhang mit Überlegungen erforderlich werden, die im Interesse einer zweckmäßigen Verkehrsführung im Straßennetz über die Betrachtung des Verkehrsablaufs am einzelnen Knotenpunkt hinausgehen.

Der Verkehrsablauf ist am einzelnen Knotenpunkt als verbesserungsbedürftig anzusehen, wenn

- sich in mindestens einer wartepflichtigen Zufahrt oder durch Linksabbieger in der Hauptrichtung **während bestimmter Zeiten** regelmäßig ein großer **Stau** bildet; . . .
- einzelne wartepflichtige **Kraftfahrzeuge regelmäßig unzumutbar lange** (z. B. länger als zwei bis drei Minuten) **warten** müssen,
- einzelne **Fußgänger und Radfahrer** regelmäßig über eine bestimmte **Geduldsschwelle** (z. B. länger als 60 s) hinaus warten müssen.

Quelle:
RiLSA-92



6.3 QUALITÄT DES VERKEHRSABLAUFS

6.3.1 Qualitätskriterien

Da in Knotenpunktzufahrten und vor Fußgängerfurten Sperrungen und Freigaben in ständiger Folge wechseln, ergeben sich an Lichtsignalanlagen zwangsläufig Behinderungen (Wartevorgänge) für die einzelnen Verkehrsteilnehmer. **Als wichtiges Kriterium zur Bewertung des Verkehrsablaufs ist deshalb die Dauer eines Wartevorgangs (Wartezeit) anzusehen.** Je nach Eintreffenszeit und Zeitpunkt der Abfertigung an der LSA ist die Dauer der Wartezeit für die einzelnen Verkehrsteilnehmer unterschiedlich lang, d.h. die Wartezeit ist eine Zufallsgröße. Dabei wird jedoch aus praktischen Gründen meist nur mit dem Mittelwert der Wartezeit gearbeitet.

Neben der Wartezeit können weitere Kenngrößen für die Qualitätsbewertung herangezogen werden, z.B. Anzahl der Fahrzeuge im Stau, Anzahl der Haltevorgänge oder der Durchfahrten, Sättigungsgrad, Anteil überlasteter Umläufe.

Quelle:
HBS 2001

