



CT2710 Transport & Planning

Verkeerstroomtheorie en Verkeersmanagement

Hans van Lint & Prof Serge Hoogendoorn Transport & Planning
11-5-2012

TU Delft
Delft University of Technology

Challenge the future

Overzicht komende 6 colleges

- Maandag (6/12, Van Lint)
 - Waarom verkeersmanagement zo vreselijk belangrijk is
 - Basisbegrippen: intensiteit, snelheid, dichtheid en het fundamenteel diagram
- Woensdag(8/12, Van Lint)
 - Onstaan en oplossen van files
 - Schokgolftheorie
- Donderdag (9/12)
 - PS Symposium OS 2028 !!!

Overzicht komende 6 colleges

- Maandag (13/12, Van Lint)
 - EXPERIMENT !!!
 - Regelen van verkeer (I): toeritdoseren
- Woensdag(15/12, Van Lint)
 - Regelen van Verkeer (II): verkeerslichten, de 80 km/u zones en TomTom HD
- Donderdag (16/12, Hoogendoorn)
 - Regelen van Verkeer (III): netwerkmanagement en resume
- Maandag (3/1, Van Nes, Van Lint)
 - Tentamenvragen

1.

Waarom verkeersmanagement?

23rd of August 2010 | 13:11 GMT | Daniel Patrascu

The Longest Traffic Jam in
History: 100 KM, Nine Days



10,000-vehicle jam strikes Beijing-Tibet Highway again



Approximately 10,000 trucks were backed up for miles on a northern China highway on Friday, the latest in a series of monster jams on the road since maintenance work began on a parallel highway earlier this summer.

Trucks loaded high with coal from Inner Mongolia inched along bumper-to-bumper on the Beijing-Tibet highway as police redirected traffic and reminded drivers to stay alert. Approximately 10,000 trucks were stuck in the jam for at least 120km on Friday, turning a stretch of road into a virtual parking lot. Poor road design and insufficient traffic management were blamed for the congestion.

Waarom verkeersmanagement?

waarom niet allemaal een TomTom en klaar is kees?

- Denk eens aan de analogie met een grote fabriek ...
- **Zonder VM draait een verkeersnetwerk zichzelf in de soep**
 - Het begint als een lokaal probleem (er ontstaat file en die verergert zichzelf)
 - Maar het wordt snel een netwerkprobleem (door file terugslag en blokkades)
 - Zelf organisatie (iedereen een TomTom) helpt dan niet meer, je moet sturen en regelen

Nogmaals China ...

De Beijing casus



Kunnen we een paar oorzaken aanduiden op basis van dit filmpje?

Excessive verkeersvraag

Heterogeniteit verkeer (Bus, langzaam, snel)

Verkeersmanagement?

Ontwerp fouten

Oorzaken (1): Netwerk karakteristieken & grote vraag

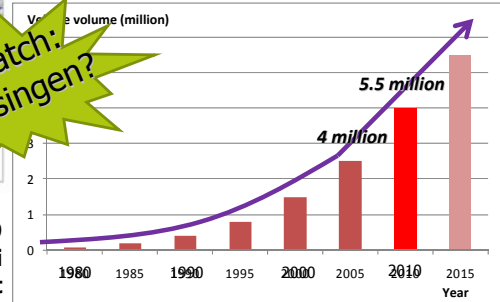
Traffic Supply



- Grid netwerk
- 5 ringwegen (Expressways)
- Snelwegen: Hoofdwegen: Secundair:
lokaal = 1: 4: 3: 9
(betere verhouding = 1: 2: 4: 8)

Mismatch:
Oplossingen?

- 4 miljoen autos 2009
- Constante 10% jaarlijkse groei verwacht



Probleem verkeerde netwerk verhouding:

- snel/hoofdwegen nemen functie onderliggend wegennet over (onevenredig gebruik / groei)
- letterlijk: bottlenecks!

Oorzaken (2): Interfaces & lokale ontwerpfouten

Problemen

- Snelwegen
 - Interfaces met hoofdwegen: hoge belasting, korte op-/afritten: **spillback**
 - Bushaltes op de gekste plekken
 - Afstand tussen opritten zeer klein
- Hoofdwegen
 - zeer breed (6 stroken), zeer lange cyclustijden
 - Heterogeiteit verkeer
- Onbalans distributie verkeer over de ruimte & tijd



Oplossingen: beter (lokaal + netwerk)ontwerp + verkeersmanagement

Problemen

- Snelwegen
 - Interfaces met hoofdwegen: hoge belasting, korte op-/afritten: **spillback**
 - Bushaltes op de gekste plekken
 - Afstand tussen opritten zeer klein
- Hoofdwegen
 - zeer breed (6 stroken), zeer lange cyclustijden
 - Heterogeiteit verkeer
- Onbalans distributie verkeer over de ruimte & tijd

Oplossingen

- Herontwerp van de meeste aansluitingen!
 - Voldoende ruimte "weven"
 - Minder op-/afritten
 - Routeren + toeritdosereren
- Herontwerp kruispunten hoofdwegen
- Coördineren verkeersregelingen + routeren + toeritdoserings
- Vraagmanagement!
Remember OS2008 ???

En Nederland?

Krap aan ...

- 8 van de 10 uit de laatste 6 jaar; nr 1: bijna 42%
wegennet = parkeerplaats
- Overeenkomsten:
 - Extreme omstandigheden van invloed op de netwerk prestatie (capaciteit)
 - Extreme vraag
 - Van kwaad to erger: keten van achtereenvolgende gebeurtenissen (leidend tot totaal systeemfalen)

En Nederland?

Het beleid

- Huidige beleid
 - Versnelde capaciteit uitbreiding
 - Beter benutten
 - Maximum snelheid 130 km/u
 - Lichte verhogen investeringen OV
- Maar ook ...
 - Geen prijsbeleid (of ...?)
 - Nauwelijks beleid technologie ontwikkeling en R&D

Current Dutch policy ...

Verkeersmanagement is belangrijk

Wat moeten we weten / kunnen?

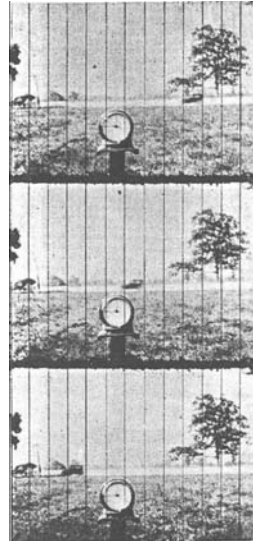
- We moeten snappen waarom en hoe files ontstaan
- Die kennis
 - Moeten we operationaliseren in **theorieën en modellen** ...
 - Moeten we toepassen om te kunnen voorspellen en/of achterhalen waar en wanneer problemen ontstaan
 - Bij **bij de planning en het ontwerp** van infra-netwerken
 - En bij het gebruik daarvan, zeker als er iets bijzonders aan de hand is (wegwerkzaamheden, evenementen, rampen, etc)
 - Moeten we gebruiken om duurzame oplossingen te ontwikkelen voor het **managen en regelen** van verkeersnetwerken

2.

*Wat weten we eigenlijk van
verkeerstromen en hoe komen
we aan die kennis?*

The Godfather of traffic flow theory

Bruce Greenshields



Het eerste verkeersmodel

het fundamentele diagram

- Relatie tussen de *dichtheid* en de *gemiddelde snelheid*: $u = U(k)$
- Onderliggende gedragsaanname: $\text{dichtheid} = 1/\text{gem.volgafstand}$

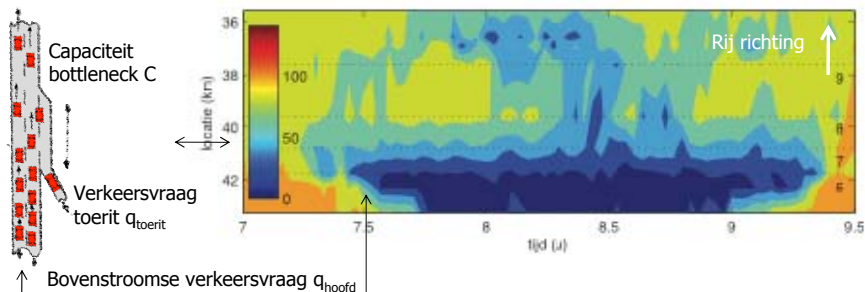


Relation

Verkeerskunde is vooral een empirische wetenschap

Congestie bij een flessehals (vb toerit)

- Restcapaciteit ($C - q_{\text{toerit}}$) is lager dan de verkeersvraag (q_{hoofd}): er ontstaat een wachtrij bovenstrooms van de toerit ...
- Die wachtrij groeit zolang de vraag > intensiteit in wachtrij



Verkeerskunde is vooral een empirische wetenschap en gaat niet alleen over autoverkeer!

- Voorbeeld: voetgangers in de file voor een bottleneck



Veel fenomenen blijken wel universeel

Start-stop golven in voetgangersstromen

- Voorbeeld op de Jamarat brug (Mekka) laat heel goed zien dat ook in voetgangersstromen instabiliteiten optreden



Veel fenomenen blijken wel universeel

Zelf organisatie van verkeerstromen

- Bijv spontane "rijstrookvorming" in bi-directionele stromen
- In autoverkeer: synchronisatie rijstrook snelheden



Volgende uur

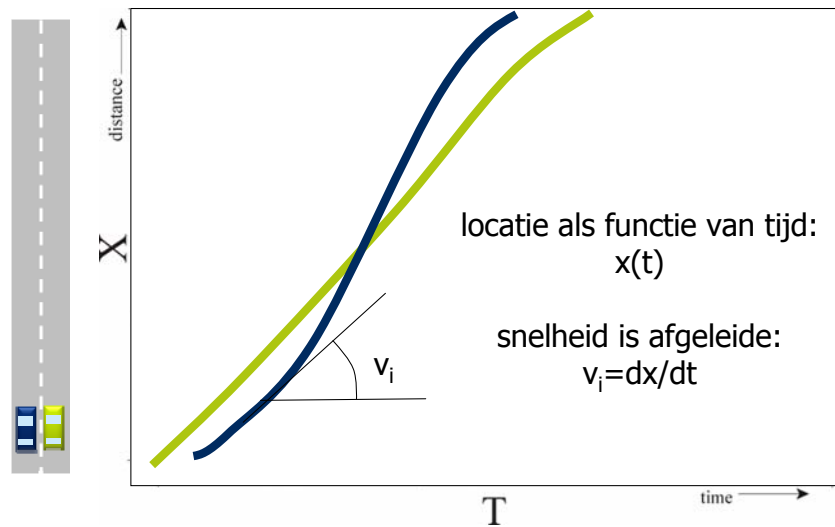
Basisgrootheden en het fundamenteel diagram



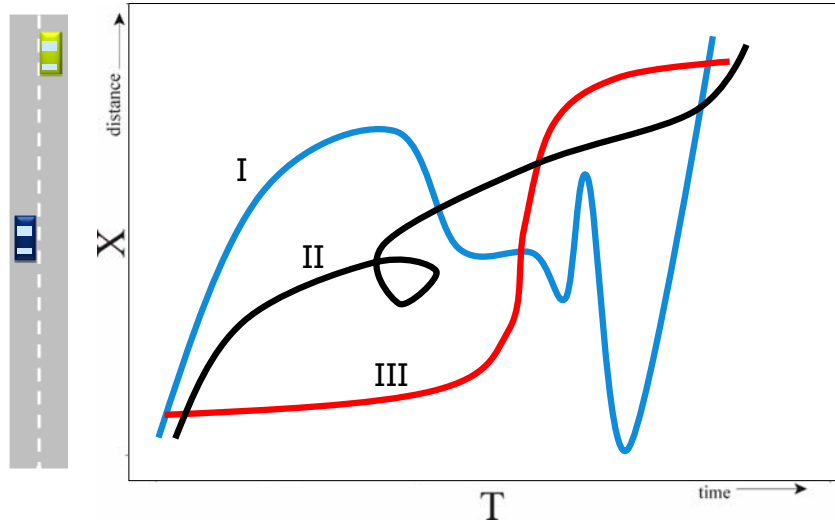
3.

Basisbegrippen en het fundamenteel diagram

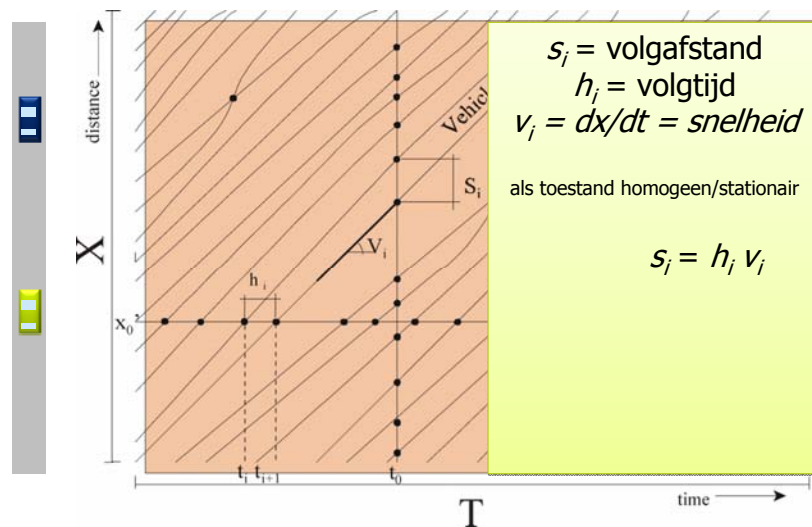
Voertuig trajectorieën



Voertuig trajectorieën – welke hoort niet in het rijtje?



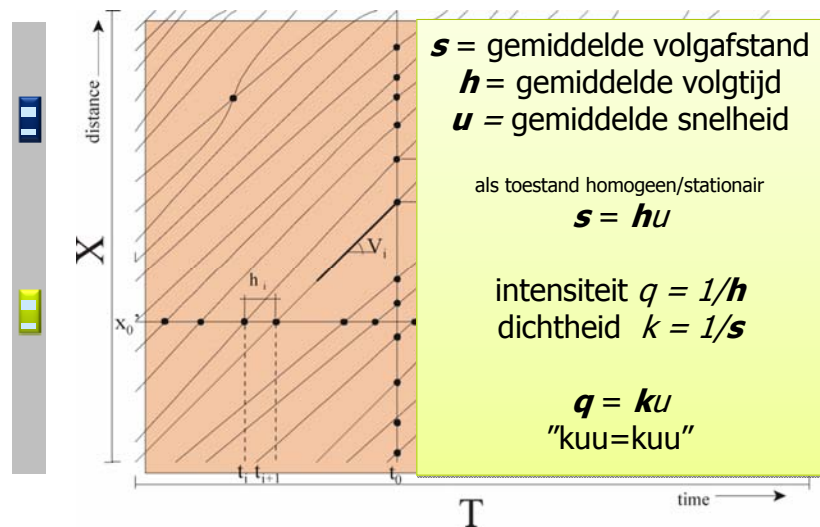
Voertuig trajectorieën



Voorbeeld geven – **ordegrootte**

-> hoe groot zijn s en h op een beetje snelweg bij 100 km/u (2-5 secs, 40-100 m)

Voertuig trajectorieën



Voorbeeld geven – ordegrrootte

-> hoe groot zijn s en h op een beetje snelweg bij 100 km/u (2-5 secs, 40-100 m)

Maar welke snelheid ??

$q = ku$, dus $u = q/k$

- Deze formule moet je kunnen dromen:

$$q = ku$$

Intensiteit [vtg/u] = dichtheid [vtg/km] * snelheid [km/u]

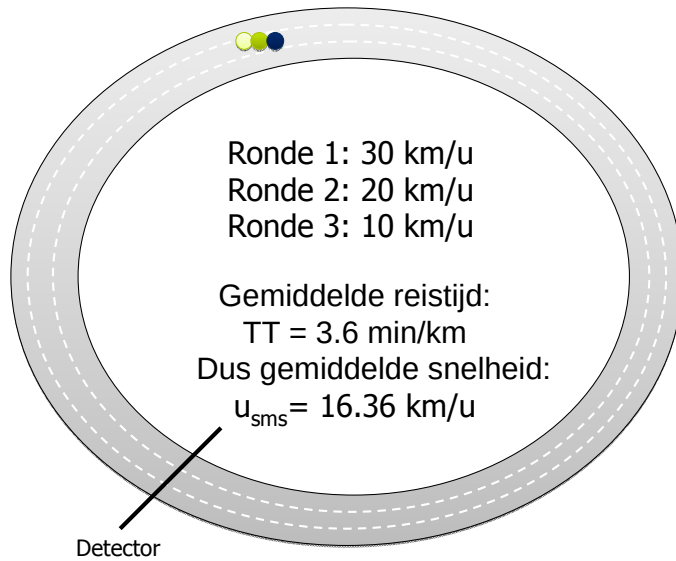
- Dichtheid k is lastig meten, dus willen we de gemiddelde snelheid
snelheid liever anders bepalen dan via $u = q/k$...

Maar welke snelheid ??

Nu op basis van
detectorgegevens:

$u_{tms} = 20 \text{ km/u}$! (18%
hoger dan space mean)

$TT = 3 \text{ min/km}$! (17%
minder dan echte gemiddelde
reistijd)



a) If we observe each vehicle only once:

Average travel time / km:

$$(1/30 + 1/20 + 1/10)/3 = 11/(60 \cdot 3) = 11/180 \text{ u/km} = 3.6 \text{ min/km}$$

Average speed

$$180/11 = 16.36 \text{ km/u}$$

at detector: $u = 20 \text{ km/u}$ (+18%); $TT = 3 \text{ min}$ (-17%)

b) If we observe for one hour

Average travel time / km

$$(30/30 + 20/20 + 10/10)/(30+20+10) = 3/60 \text{ u/km} = 3 \text{ min/km}$$

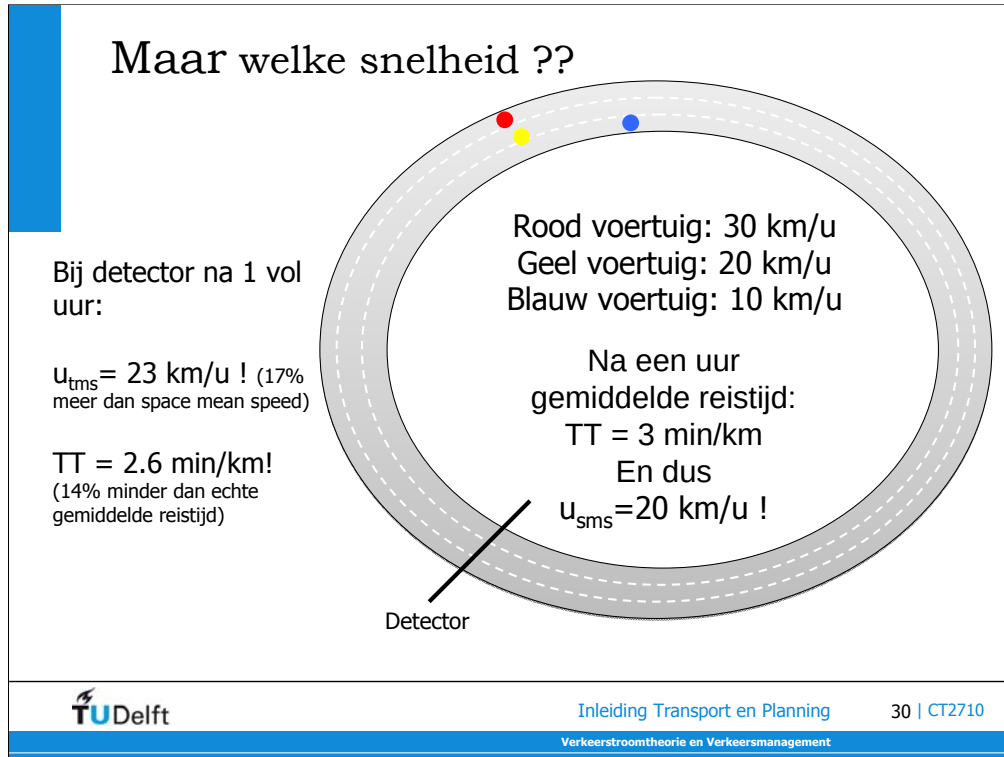
Average speed

$$60/3 = 20 \text{ km/u}$$

at detector: $u = (30 \cdot 30 + 20 \cdot 20 + 10 \cdot 10)/(30+20+10) = 23.3 \text{ km/u}$ (+17%)

$$TT = 2.6 \text{ min} \text{ (-14\%)}$$

Maar welke snelheid ??



a) If we observe each vehicle only once:

Average travel time / km:

$$(1/30 + 1/20 + 1/10)/3 = 11/(60 \cdot 3) = 11/180 \text{ u/km} = 3.6 \text{ min/km}$$

Average speed

$$180/11 = 16.36 \text{ km/u}$$

at detector: $u = 20 \text{ km/u (+18%)}$; $TT = 3 \text{ min (-17%)}$

b) If we observe for one hour

Average travel time / km

$$(30/30 + 20/20 + 10/10)/(30+20+10) = 3/60 \text{ u/km} = 3 \text{ min/km}$$

Average speed

$$60/3 = 20 \text{ km/u}$$

at detector: $u = (30 \cdot 30 + 20 \cdot 20 + 10 \cdot 10)/(30+20+10) = 23.3 \text{ km/u (+17%)}$

$$TT = 2.6 \text{ min (-14%)}$$

Wat gebruiken we in $q = ku$???

De ruimtelijk gemiddelde snelheid !!!

- Fout: lokaal rekenkundig gemiddelde
- Goed: ruimtelijk rekenkundig gemiddelde (helicopter nodig)
- Goed (mits homogene/stationaire verkeerstroom): lokaal harmonisch gemiddelde

Som op het bord: 10 vrachtwagens rijden gemiddeld 80 km,

Algemene regel

Lokaal middelen leidt tot structurele andere antwoorden dan ruimtelijk middelen

Achtergrond: neem een bepaalde grootte z

- Lokaal gemiddelde van z
- Ruimtelijk gemiddelde van z

Som op het bord: we tellen langs de kant van de weg 10% vrachtwagens die rijden gemiddeld 80 km/u, de rest van de auto's gemiddeld 120 km/u (gebruik $q = ku!!!$)

$z = 1, 0$ (wel/geen vrachtwagen)

de locale gemiddelde snelheid

$$z_L = .1q \cdot 80 + .9q \cdot 120 / q = 116$$

ruimtelijk gemiddelde snelheid

$$z_M = .1q/80 \cdot 80 + .9q/120 \cdot 120 / .1q/80 + .9q/120 = 1 / .1/80 + .9/120 = 114,3$$

lokaal percentage vracht

$$z_L = .1q \cdot 1 + .9q \cdot 0 / q = .1 = 10\%$$

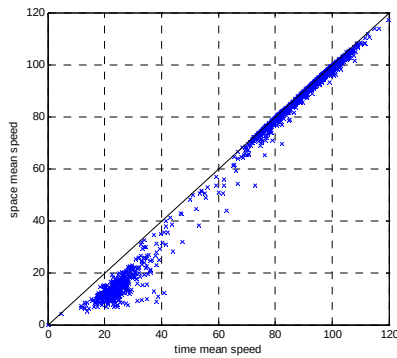
ruimtelijk percentage vracht (!)

$$z_M = .1q/80 \cdot 1 + .9q/120 \cdot 0 / .1q/80 + .9q/120 = .1/80 / .1/80 + .9/120 = 0,143 = 14.3\%$$

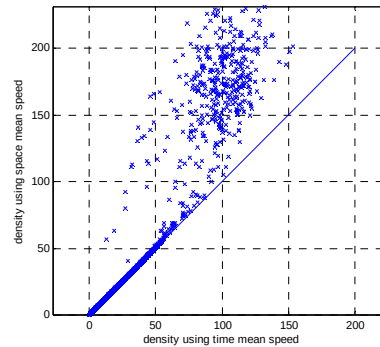
Maakt het nou echt iets uit?

nogal!

snelheid 5-25% fout



dichtheid (q/u) 25-100% fout !!



Alleen op de weg: vrije snelheid (u_0)

- Welke factoren spelen een rol?
 - Karakteristieken bestuurder
 - Karakteristieken voertuig
 - Karakteristieken infrastructuur / omgeving
 - Verkeersregels



Druk maar nog geen file

Volgers en leiders (inhalers voorzover mogelijk)

- Volggedrag hangt af van?
 - wenssnelheid
 - huidige snelheid
 - verschil in snelheid voorganger
 - afstand tot voorganger
 - reactietijd
 - verkeersregels
- inhalen?
 - volggedrag – parameters
 - snelheid naastgelegen rijstroken
 - beschikbare “gaten”



Druk maar nog geen file

Volgers en leiders (inhalers voorzover mogelijk)

- We weten: $q = ku$
- hoe groter k en/of $u \rightarrow$ hoe groter q ???
- Nee bij bepaalde k en u kan q niet meer groter worden!
- Deze noemen we kritische dichtheid en snelheid: k_c en $u_c \rightarrow q_c = k_c u_c$

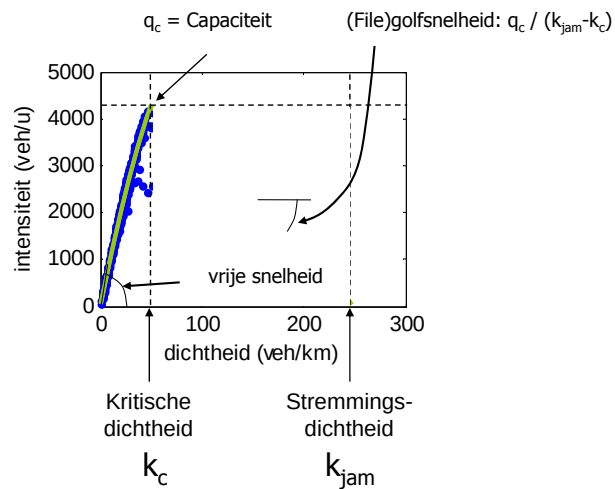


q kan niet meer groter worden omdat daarmee dan de volgtijd onverantwoordelijk klein wordt: dus volgafstand kan alleen kleiner door op de rem te stappen!

sleutel is: hoeveel volgtijd durft men minimaal aan te houden – heeft te maken met reactietijd en risicoperceptie: minimaal bij 90 km/u

Hoe groot zijn k_c en u_c op Nederlandse snelwegen (ca 25 vtg/km) en 85 km/u

Fundamenteel diagram: $q=Q(k)$

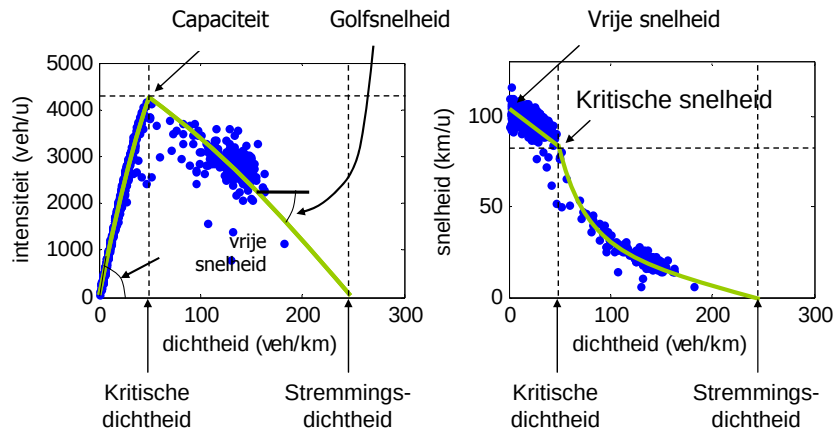


data: A9
snelweg, 1994

begin bij vrije afwikkeling: individuele gedrag bepaald maar interacties worden steeds belangrijker
dan andere uiterste: jam toestand
en er tussenin? Collectieve gedrag bepaald
alle punten op FD stellen dus Evenwichts TOESTANDEN voor

Fundamenteel diagram: $u=U(k)$

omdat $q = ku \rightarrow q = kU(k) \rightarrow Q(k) = kU(k)$



Resume

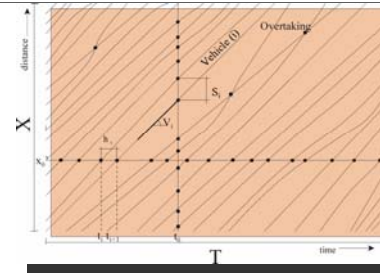
De variabelen

Lokaal (dus op een locatie $x=x_0$)

- Volgtijd h = aantal seconden tussen twee passerende voertuigen
- Intensiteit $q = 1/\langle h \rangle|_{x=x_0}$
- Tijdgemiddelde snelheid $u_L = \langle v \rangle|_{x=x_0}$

Instantantaan (dus op een tijdstip $t=t_0$)

- Volgafstand s = aantal meter tussen twee voertuigen
- Dichtheid $k = 1/\langle s \rangle|_{t=t_0}$
- Ruimtelijk gemiddelde snelheid $u_M = \langle v \rangle|_{t=t_0}$



$$q = ku$$

maar alleen als

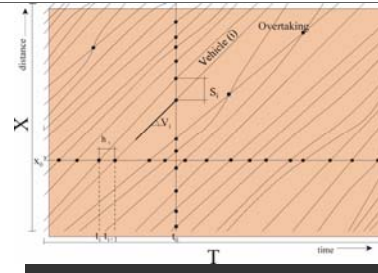
$$u = u_M$$

Benadering: harmonisch
gemiddelde snelheid (exact
als homogene / stationaire
toestand)

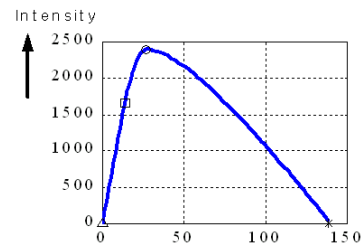
Resume

Het fundamenteel diagram (I)

- Lege weg: voertuigen rijden met vrije (wens) snelheid van gemiddeld u_0
= $\langle v_0 \rangle$
- Toenemende dichtheid (kortere volgfstanden): meer **volgers** (snelheid begrenst door interacties)
- Er is een minimale volgtijd (= max intensiteit) die bestuurders durven aanhouden bij een combi van kritische dichtheid k_c (volgfstand) en snelheid u_c
: **Capaciteit** $q_c = k_c u_c$



$$q = ku$$

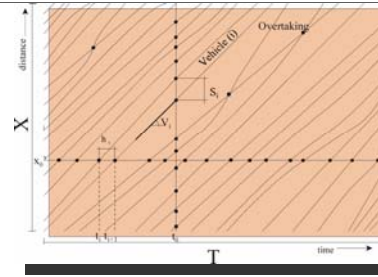
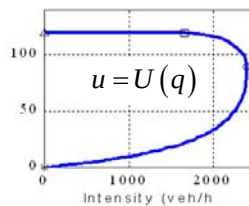
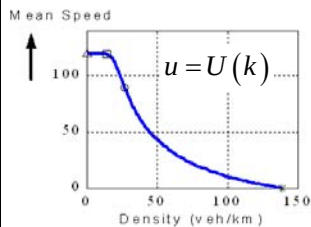


Resume

Het fundamenteel diagram (II)

**Er blijkt: capaciteit is gemiddeld
het grootst bij $u_c \approx 90$ km/u**

- Minimale volgtijd ≈ 1.6 seconde
Dat is 2250 voertuigen/uur/rijstrook
- Minimale volgafstand ≈ 40 meter
Dat is 25 voertuigen per km/rijstrook



$$q = ku$$

