



CTB1420 Transport & Planning

Verkeerstroomtheorie en Verkeersmanagement

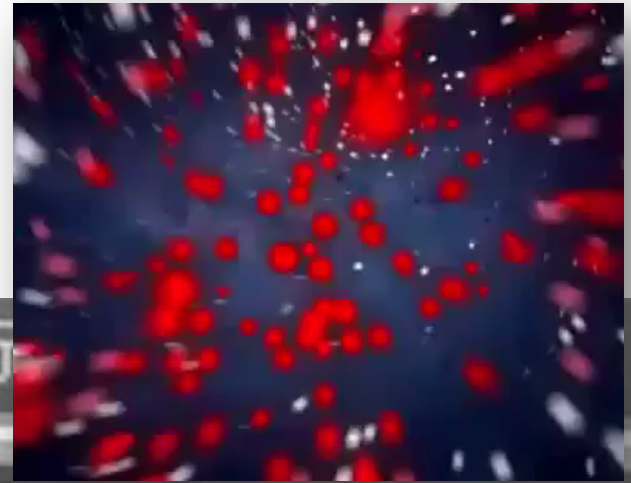
Prof Hans van Lint & Prof Serge Hoogendoorn Transport & Planning
29-08-18

1.

Waarom verkeersmanagement?

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

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



9 Day Traffic Jam in China



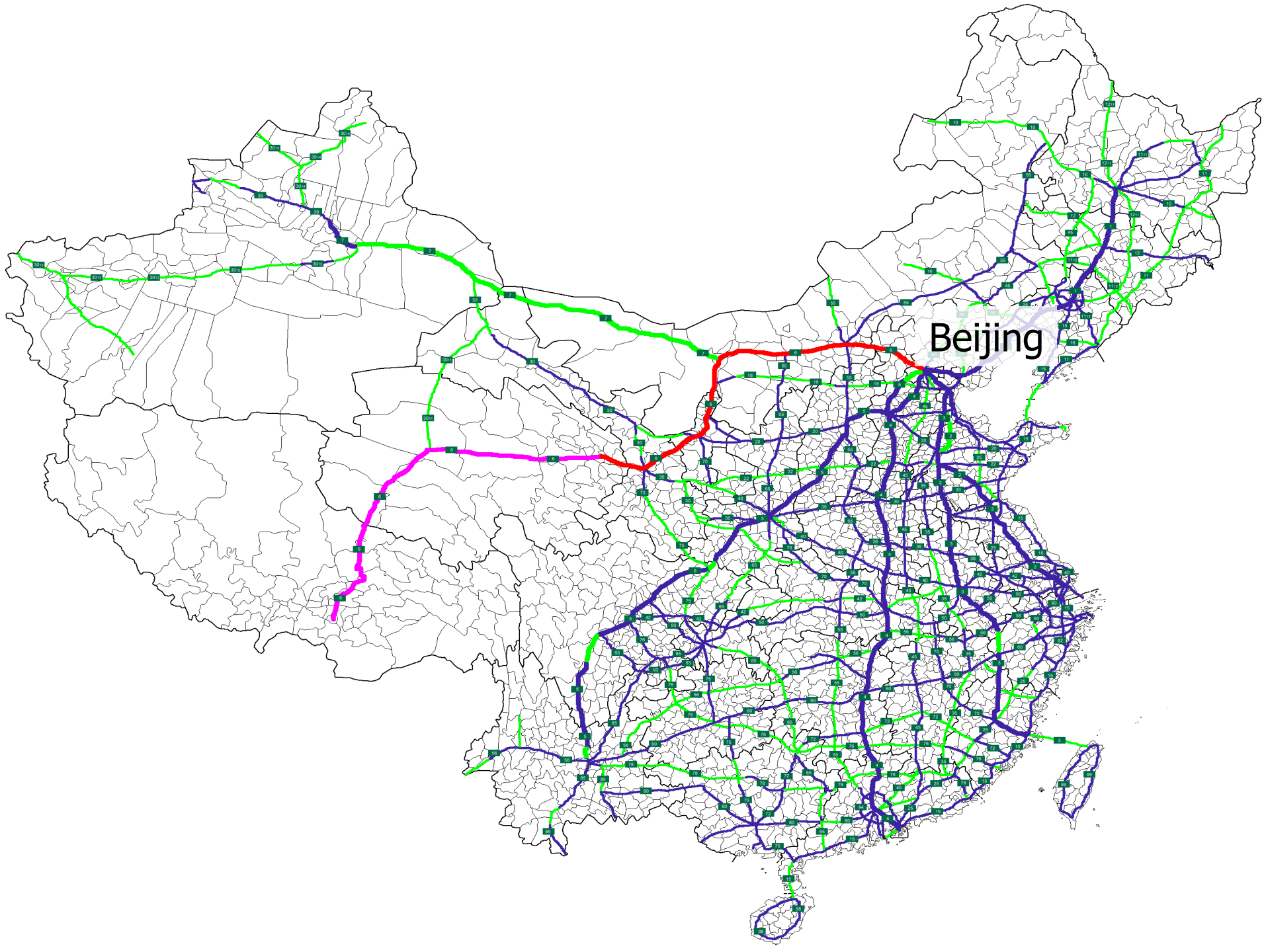
10,000-vehicle jam strikes Beijing-Tibet Highway again

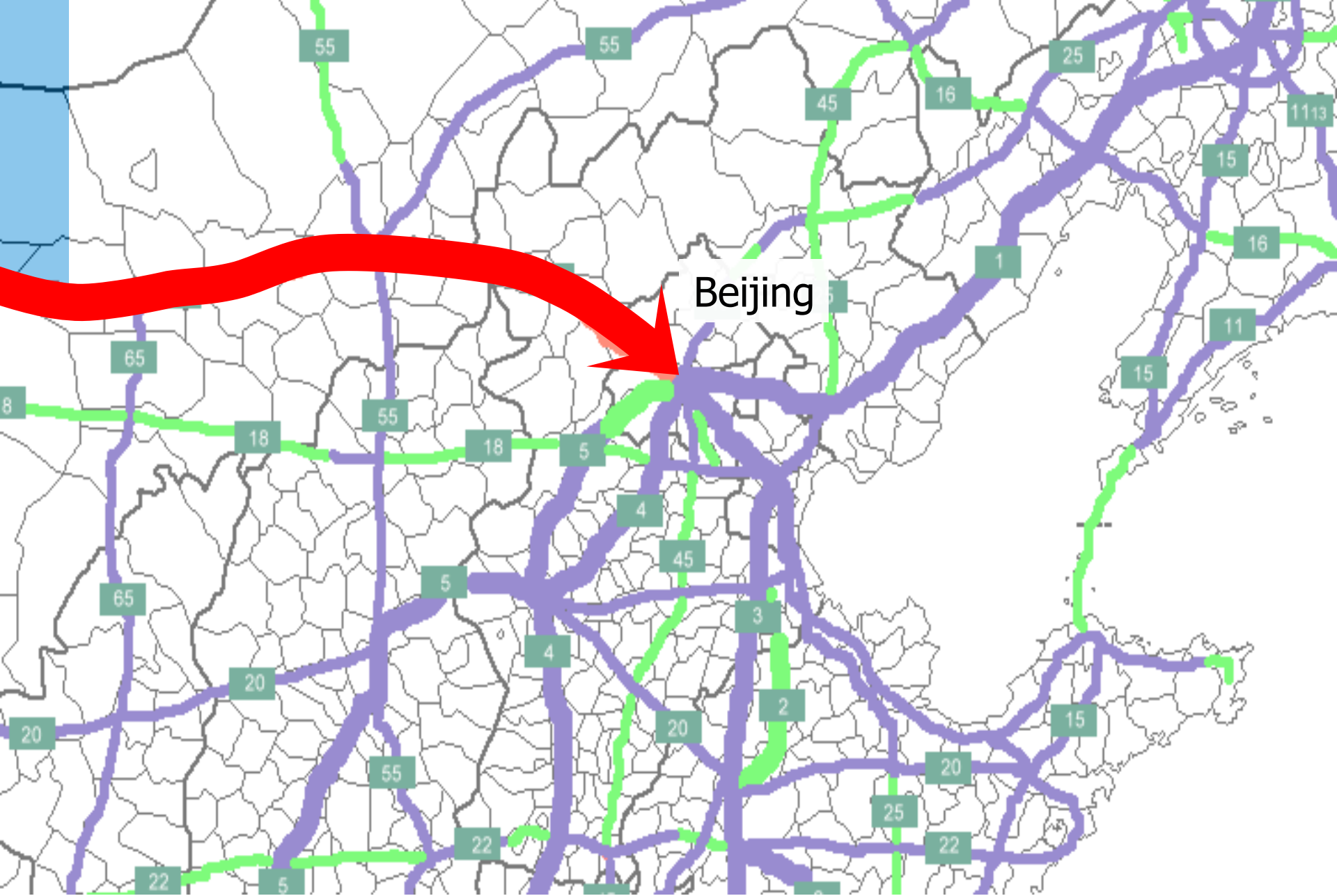


Poor road design and insufficient traffic management

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

The 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.





Beijing

Beijing: netwerk ontwerp / karakteristieken & verkeersvraag

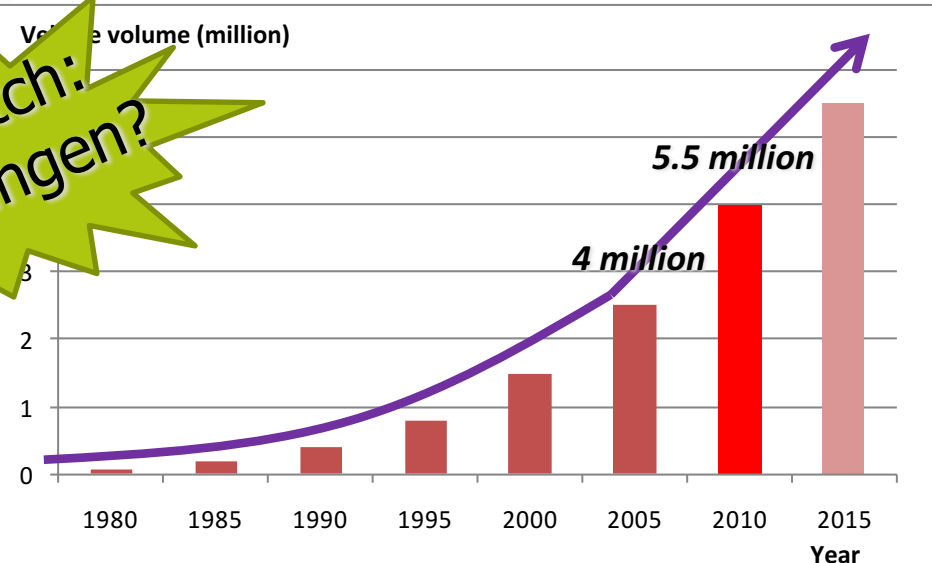
Het verkeerssysteem in Beijing



- Grid netwerk
- 5 ringwegen (4 visible on this map)
- Snelwegen: Hoofdwegen: Secundair: lokaal = 1: 4: 3: 9

Mismatch:
Oplossingen?

- 5.5 miljoen autos 2015
- Constante 10% jaarlijkse groei verwacht (lijkt uit te komen)



De (verwachte) verkeersvraag Beijing

Beijing: verkeersafwikkeling

Uitzicht op de 3e ringweg



Kunnen we wat lokale oorzaken van de verkeersproblemen vinden op basis van dit filmpje?

Lokaal ontwerp

Problemen

- Snelwegen
 - Mini op/afritten: Terugslag files
 - 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
 - Mini op-/afritten: Terugslag files
 - 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
- Beter ontwerpen en coördineren van verkeersregelingen
- Netwerk herontwerp (1:2:4:8)
- Verkeersmanagement (toeritdosereren)
- Vraag management (Informatie, openbaar vervoer)!

Kennis van verkeerstromen / gedrag is fundamenteel

Om zowel netwerk- als lokale oplossingen te kunnen ontwerpen en (vooraf) te beoordelen!

- We moeten snappen waarom en hoe files ontstaan
- Die kennis vertalen we in **rekenregels en (simulatie) modellen** ...
- En gebruiken we
 - Bij **de planning** van infrastructuur / netwerken
 - Bij **het ontwerp** van infrastructuur / netwerken
 - Om het verkeer te kunnen **managen en regelen**, zeker als er iets bijzonders aan de hand is (wegwerkzaamheden, evenementen, rampen, etc)

Waarom verkeersmanagement?

Laat het verkeer zichzelf maar regelen ...!

- Iedereen een automatische piloot en klaar is kees ...?



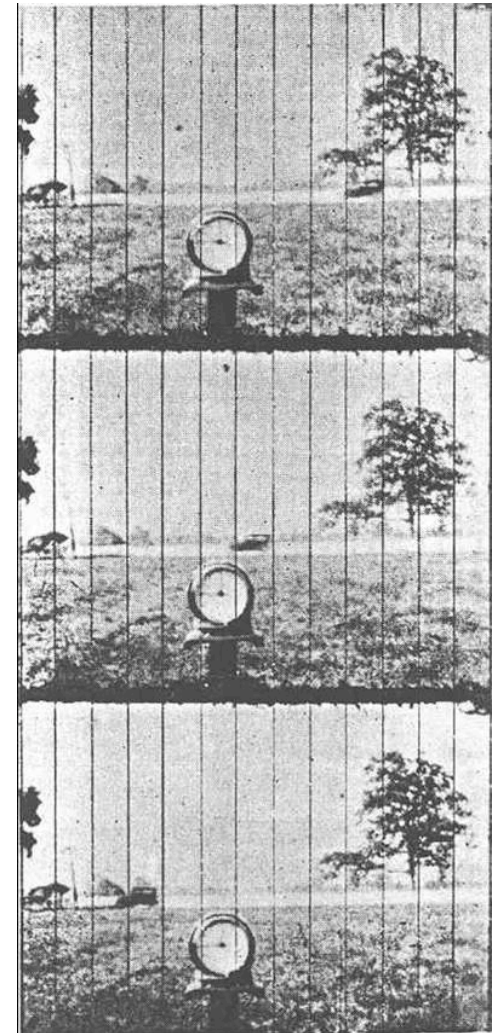
2.

*Basisbegrippen uit de
Verkeerstroomtheorie*

Meten is weten

Pionier (jaren 30 vorige eeuw):

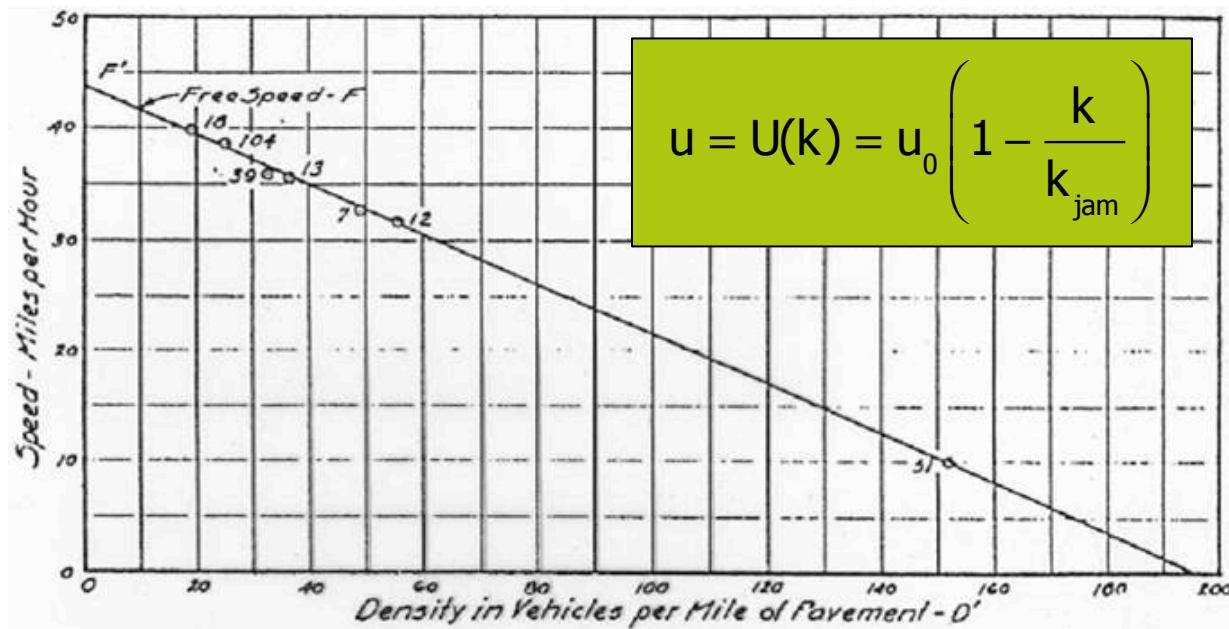
Bruce Greenshields



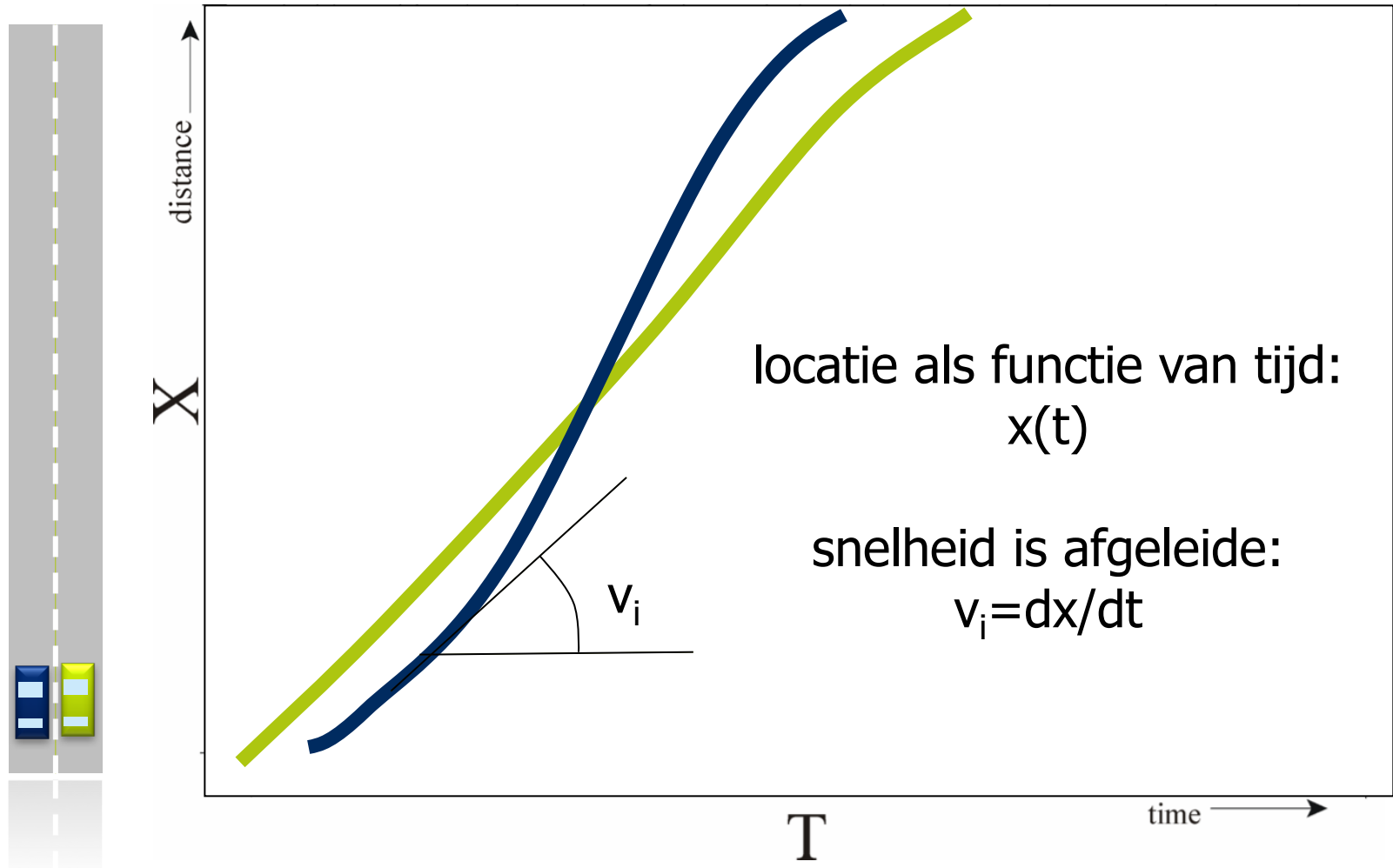
Het eerste verkeersmodel ...

het fundamentele diagram

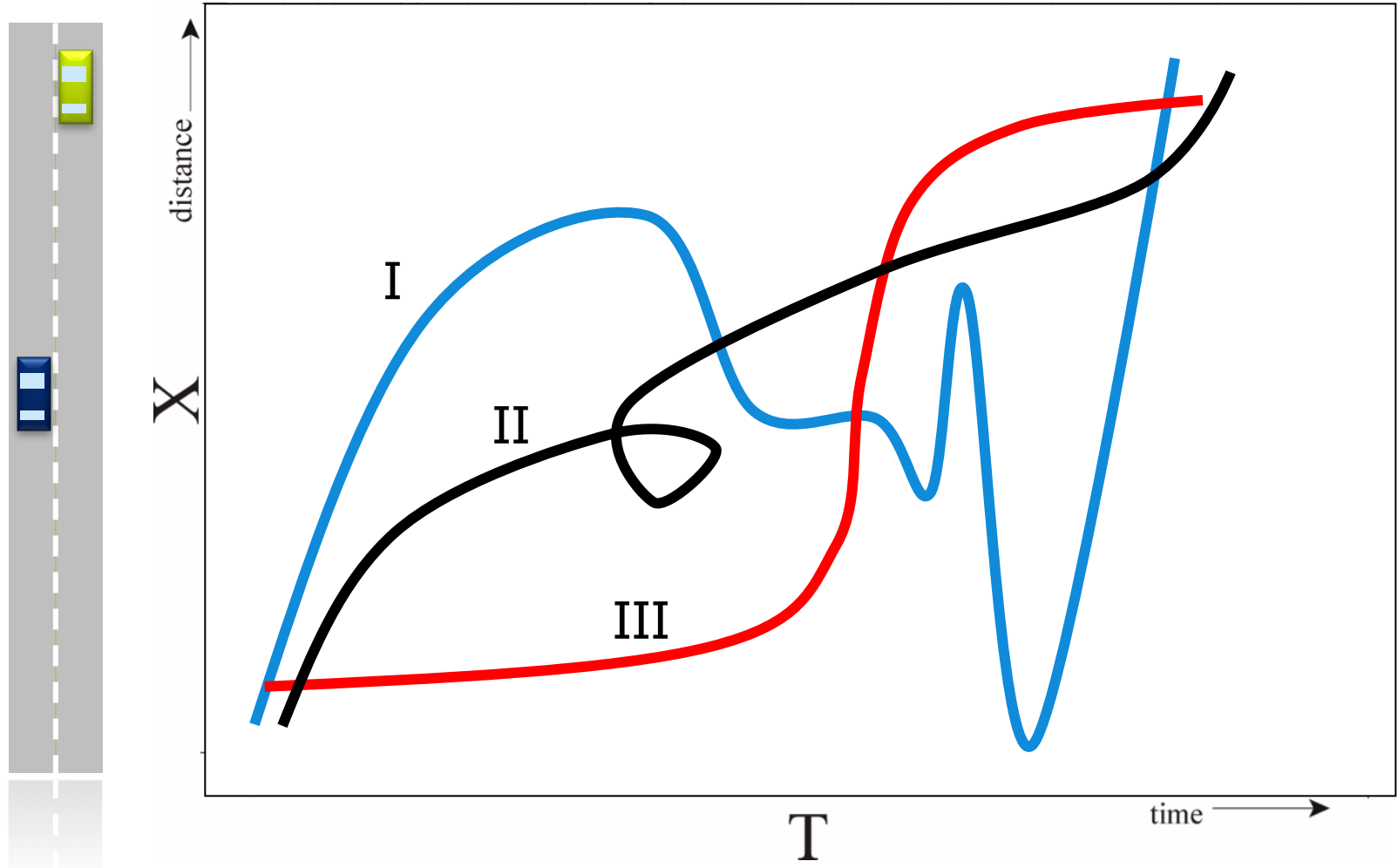
- Relatie tussen de *dichtheid* en de *gemiddelde snelheid*
- Vertelt ons iets over hoe hard mensen nog kunnen/durven rijden bij een bepaalde hoeveelheid verkeer op de weg



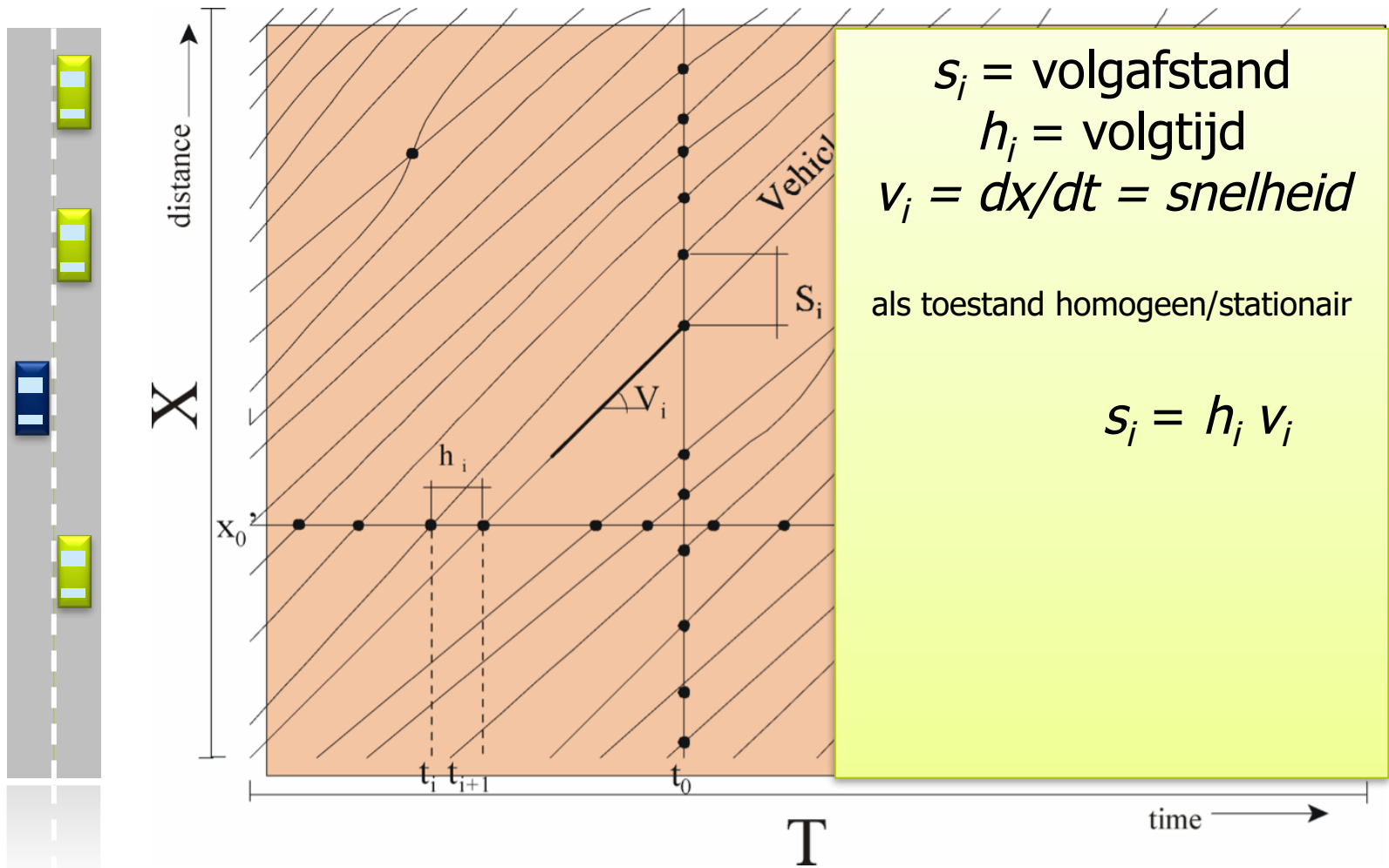
Voertuig trajectorieën



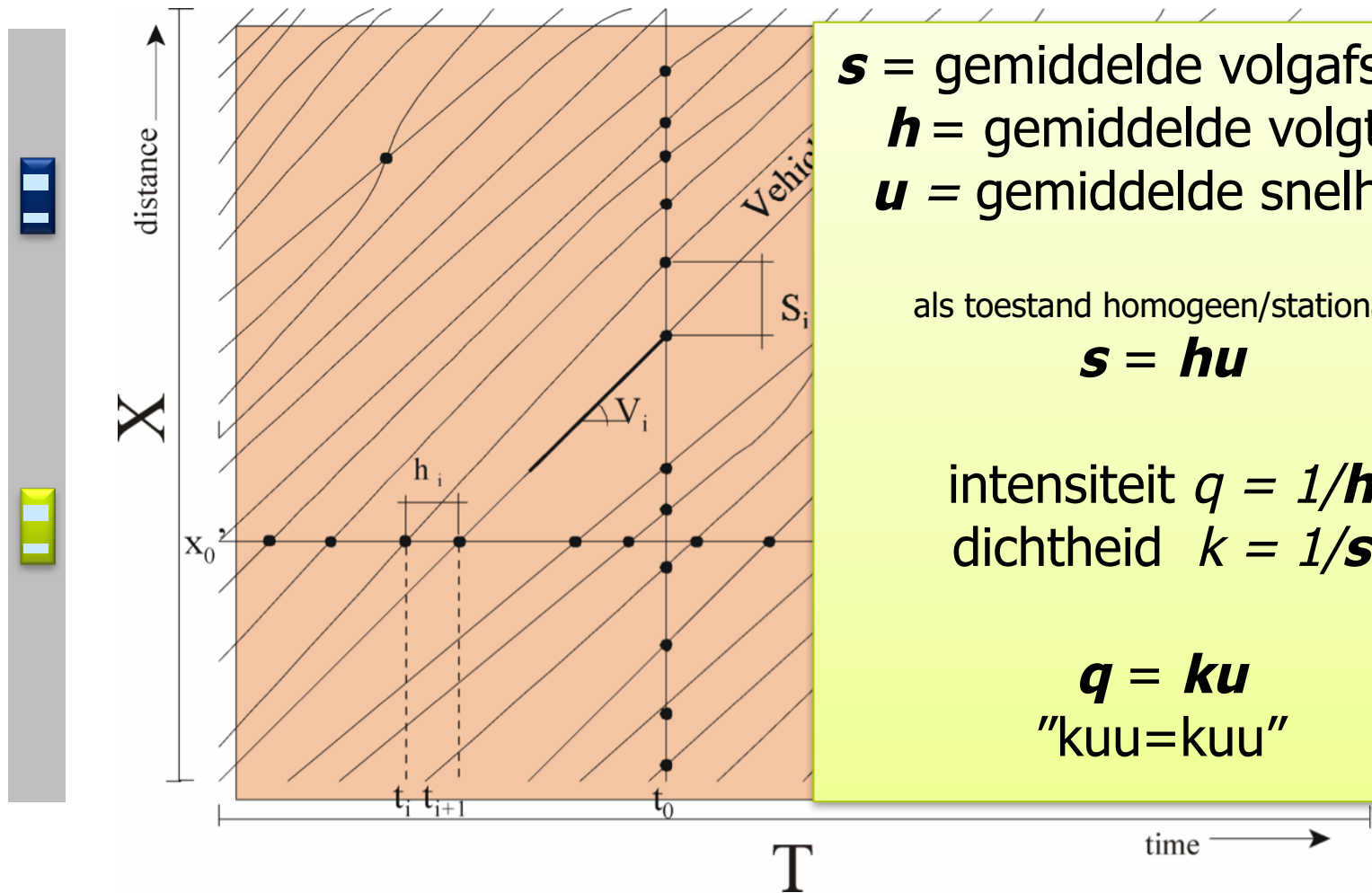
Voertuig trajectorieën – welke hoort niet in het rijtje?



Voertuig trajectorieën



Voertuig trajectorieën



s = gemiddelde volgafstand
 h = gemiddelde volgtijd
 u = gemiddelde snelheid

als toestand homogeen/stationair

$$s = hu$$

intensiteit $q = 1/h$

dichtheid $k = 1/s$

$$q = ku$$

" $kuu = ku$ "

Belangrijke formule (“ $KUU = KUU$ ”)

- Deze formule moet je kunnen dromen:

$$q = ku$$

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

- En dan geldt dus ook

$$u = q/k \text{ (en } k=q/u)$$

Hoe meten we gemiddelde snelheid ?

$$q = ku, \text{ dus } u = q/k$$

- Deze formule moet je kunnen dromen:

$$q = ku$$

$$\text{Intensiteit [vtg/u]} = \text{dichtheid [vtg/km]} * \text{snelheid [km/u]}$$

- Dichtheid k is lastig meten (heel duur in elk geval)



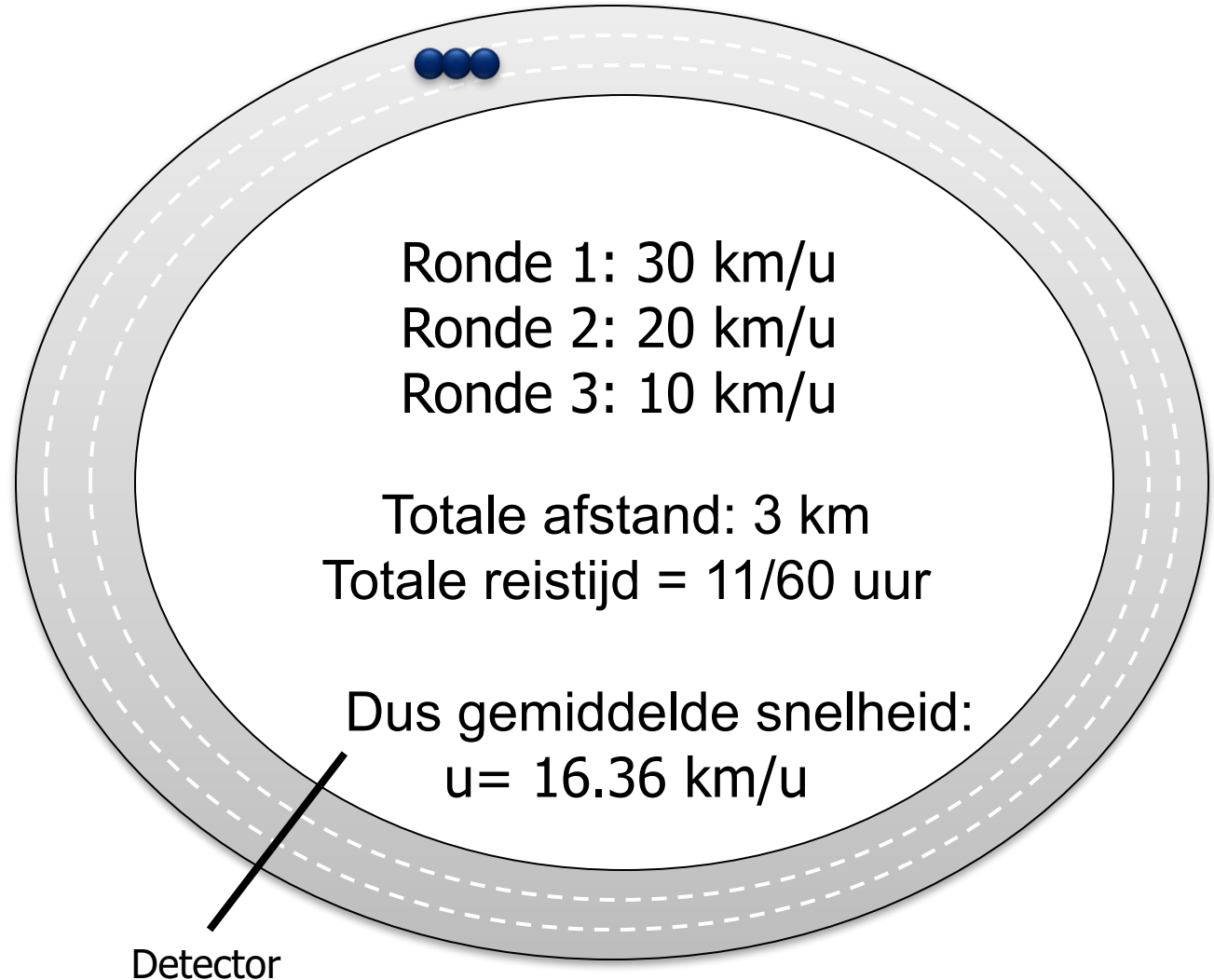
- Kunnen we de gemiddelde snelheid ook meten (ipv $u = q/k$) ... ?

Wat is de gemiddelde snelheid?

Nu op basis van
detectorgegevens:

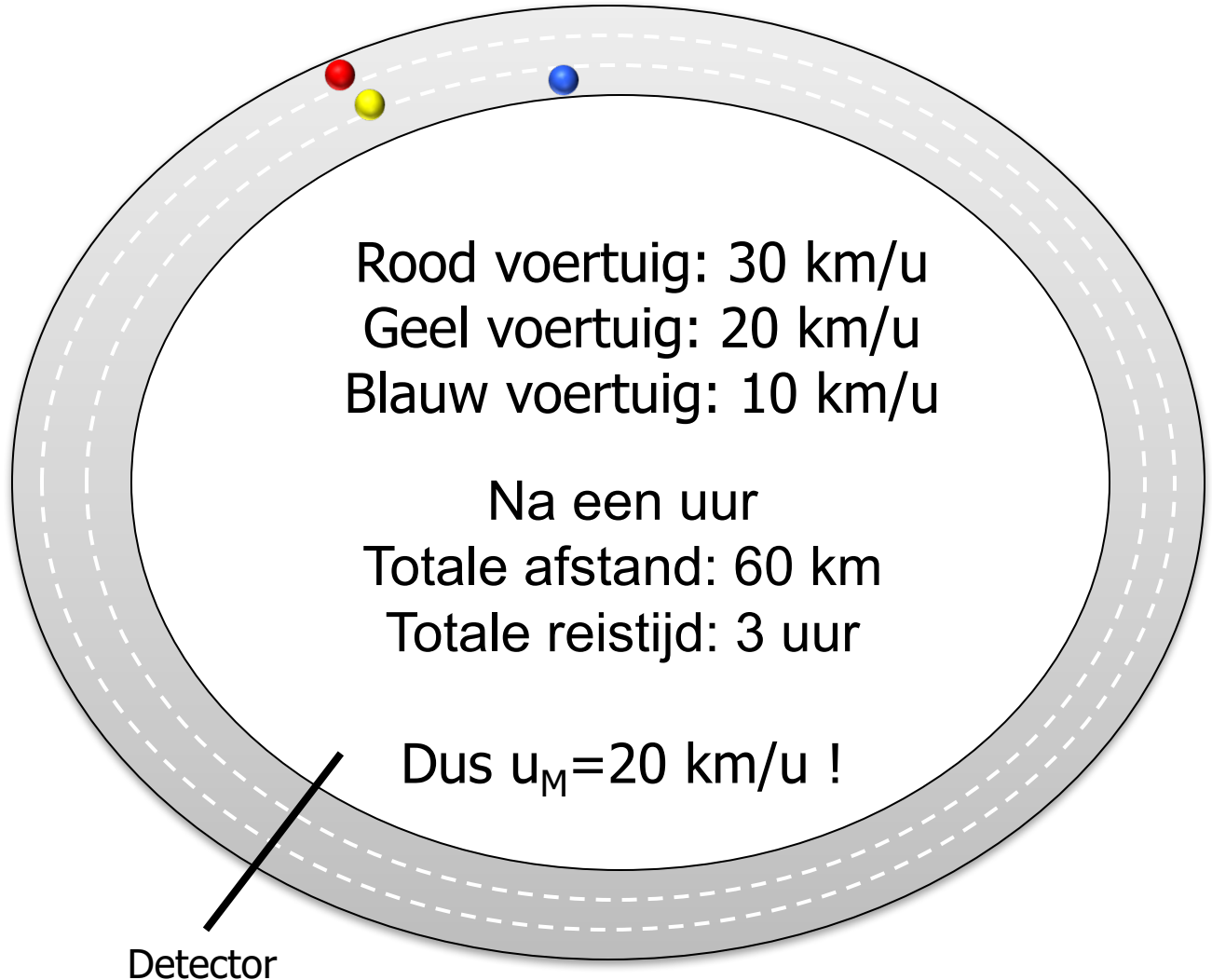
$u_L = 20 \text{ km/u}$! (22%
hoger dan space mean)

$TT = 3/20 \text{ uur}$! (19%
minder dan echte reistijd)



Lengte circuit: 1 km

Wat is de gemiddelde snelheid?



Bij detector na 1 vol
uur:

$u_L = 23$ km/u ! (15%
meer dan space mean speed)

$TT = 2.6$ min/km!
(14% minder dan echte
gemiddelde reistijd/km)

Lengte circuit: 1 km

Algemene regel

Lokaal middelen leidt tot structurele andere antwoorden dan ruimtelijk middelen

Achtergrond: neem een bepaalde grootte z (snelheid, kleur, brandstofverbruik, etc) en veronderstel dat we de stroom kunnen opdelen in groepjes voertuigen i met dezelfde waarde van die grootte.

- Lokaal gemiddelde van z is dan

$$z_L = \frac{\sum q_i z_i}{\sum q_i}$$

- Ruimtelijk gemiddelde van z is

$$z_M = \frac{\sum k_i z_i}{\sum k_i}$$

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

De ruimtelijk gemiddelde snelheid !!!

Of: de harmonisch gemiddelde snelheid

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

$$u_L = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M u_j$$

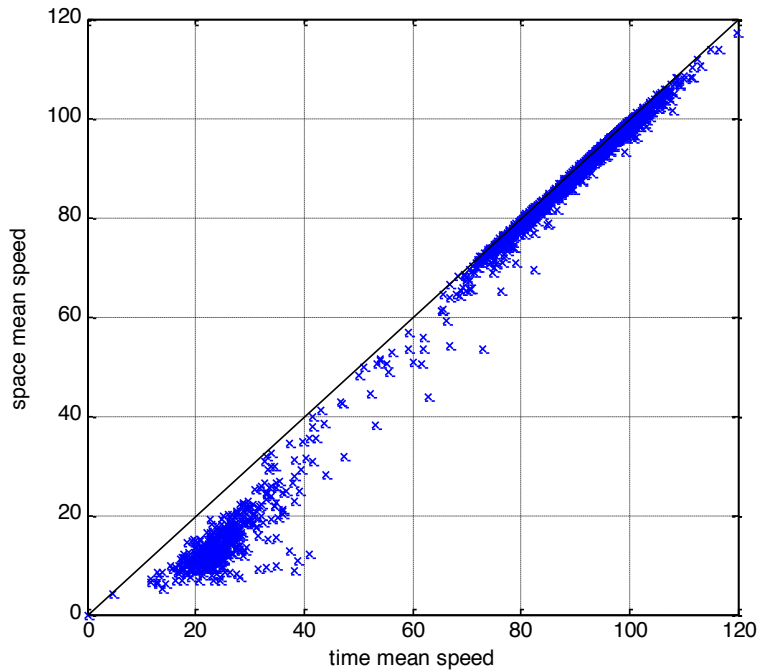
$$u_M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i$$

$$u_H = \frac{1}{\frac{1}{M} \sum \frac{1}{u_j}} \approx u_M$$

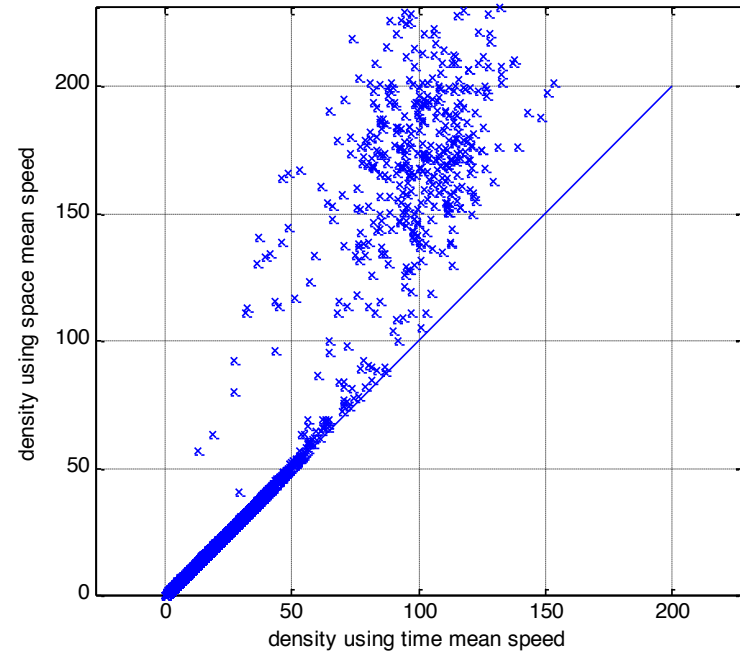
Maakt het nou echt iets uit?

nogal!

snelheid 5-25% fout



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



3.

Het fundamenteel diagram

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”



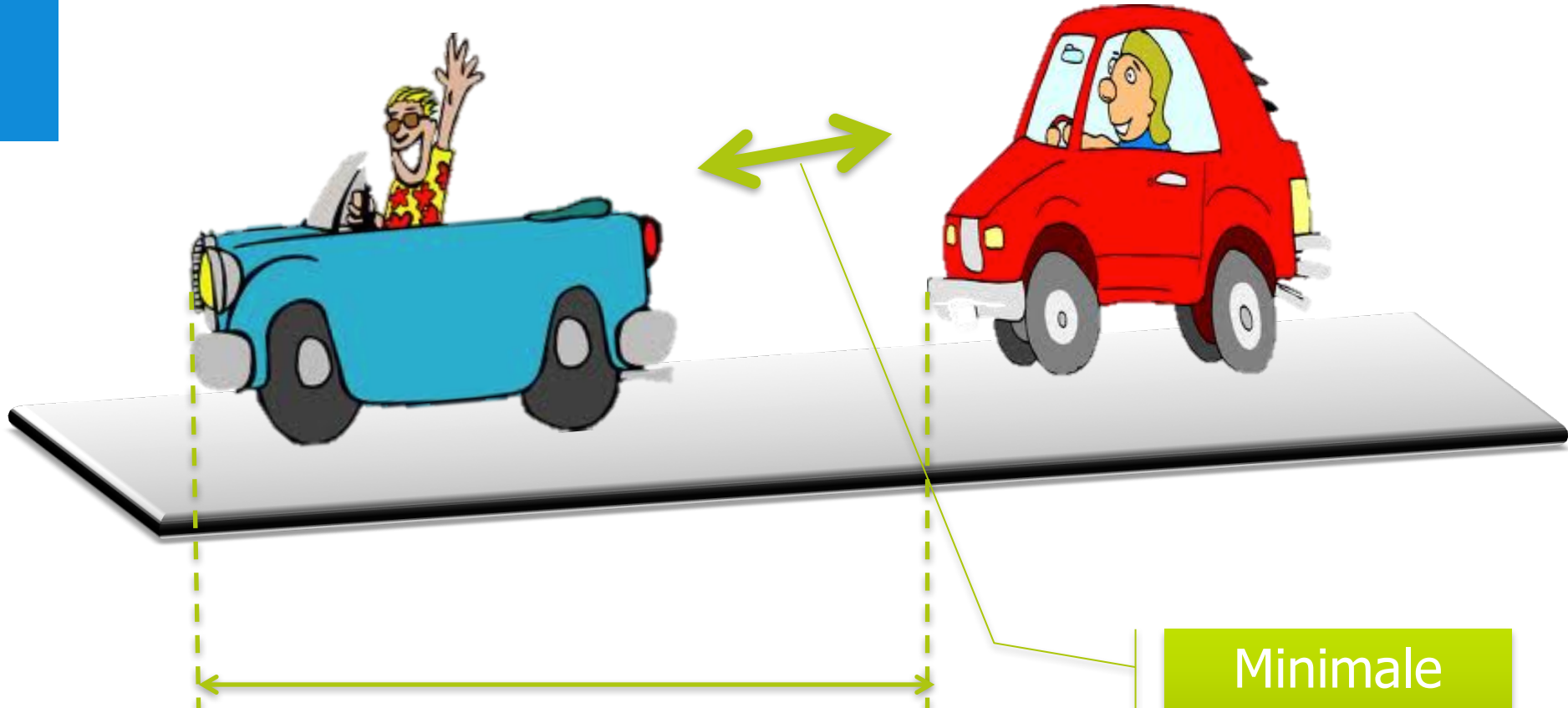
Druk maar nog geen file

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!
- kritische dichtheid en snelheid: k_c en u_c
- Bij behorende intensiteit is de **capaciteit** $q_c = k_c u_c$



Verkeer is mensenwerk



Volgafstand \approx volgtijd \times snelheid

Intensiteit = $1/\text{gemiddelde volgtijd}$

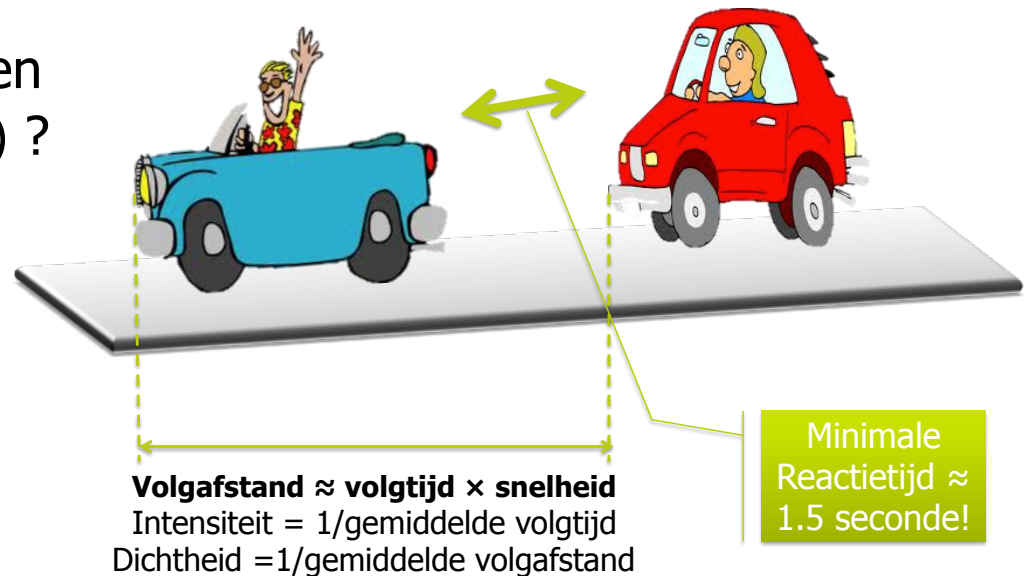
Dichtheid = $1/\text{gemiddelde volgafstand}$

Minimale
Reactietijd \approx
1.5 seconde!

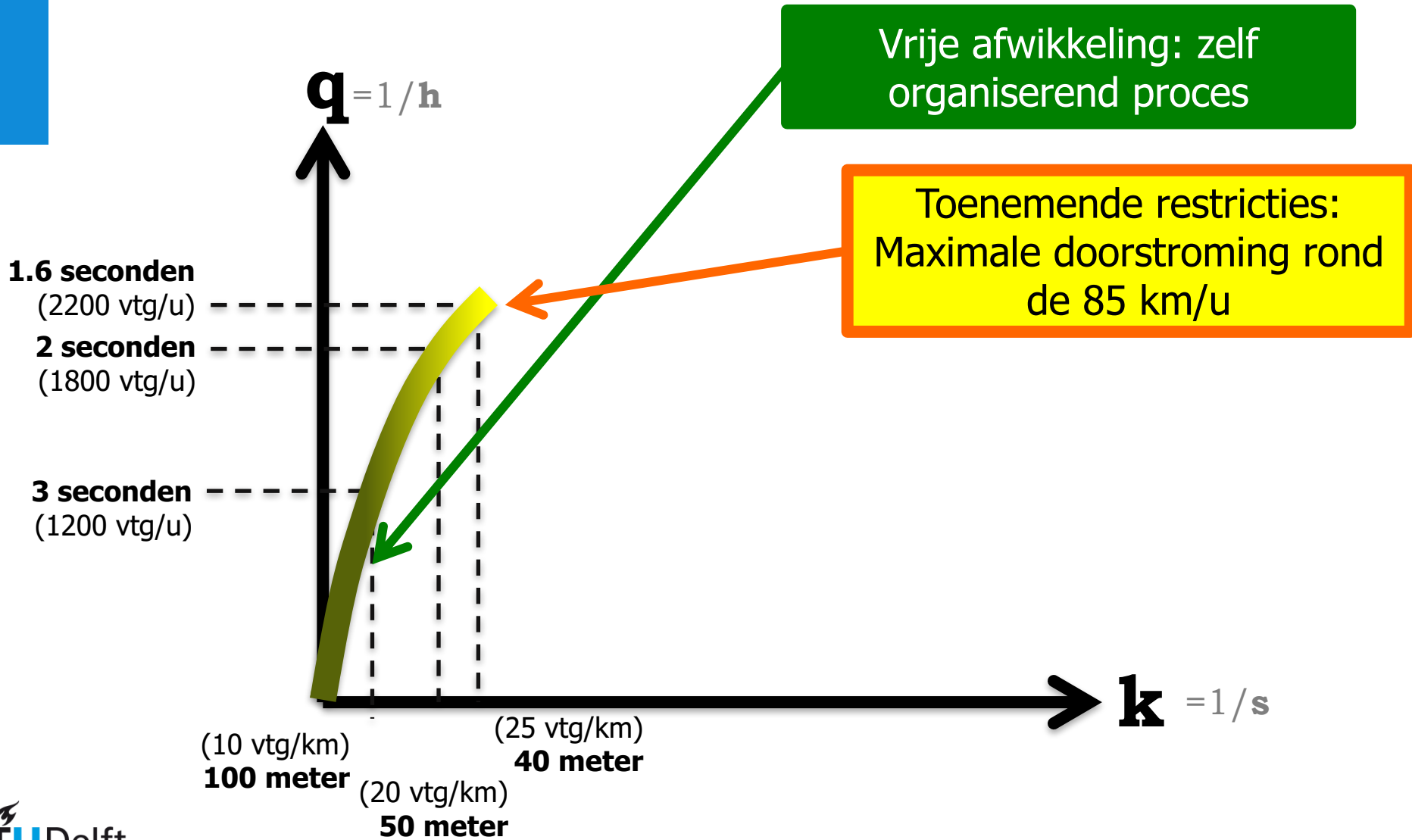
Verkeer is mensenwerk

Effect van begrensde reactietijd op verkeersafwikkeling

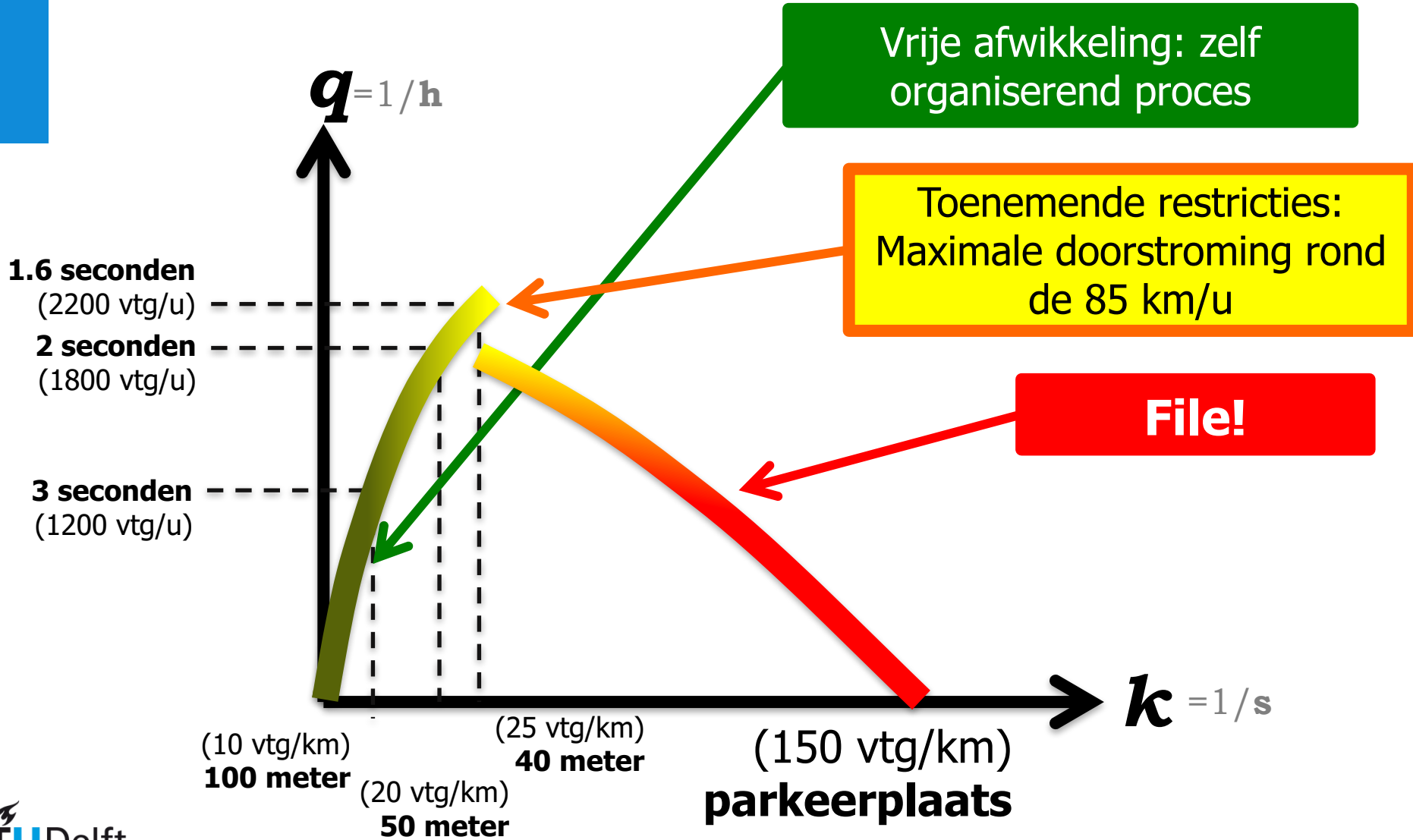
- Casus: een snelweg met een ontwerpsnelheid van 120 km/u
- Wat kunnen we zeggen over de relatie tussen
 - q (in vtg/u/rijstrook) en
 - k (in vtg/km/rijstrook) ?



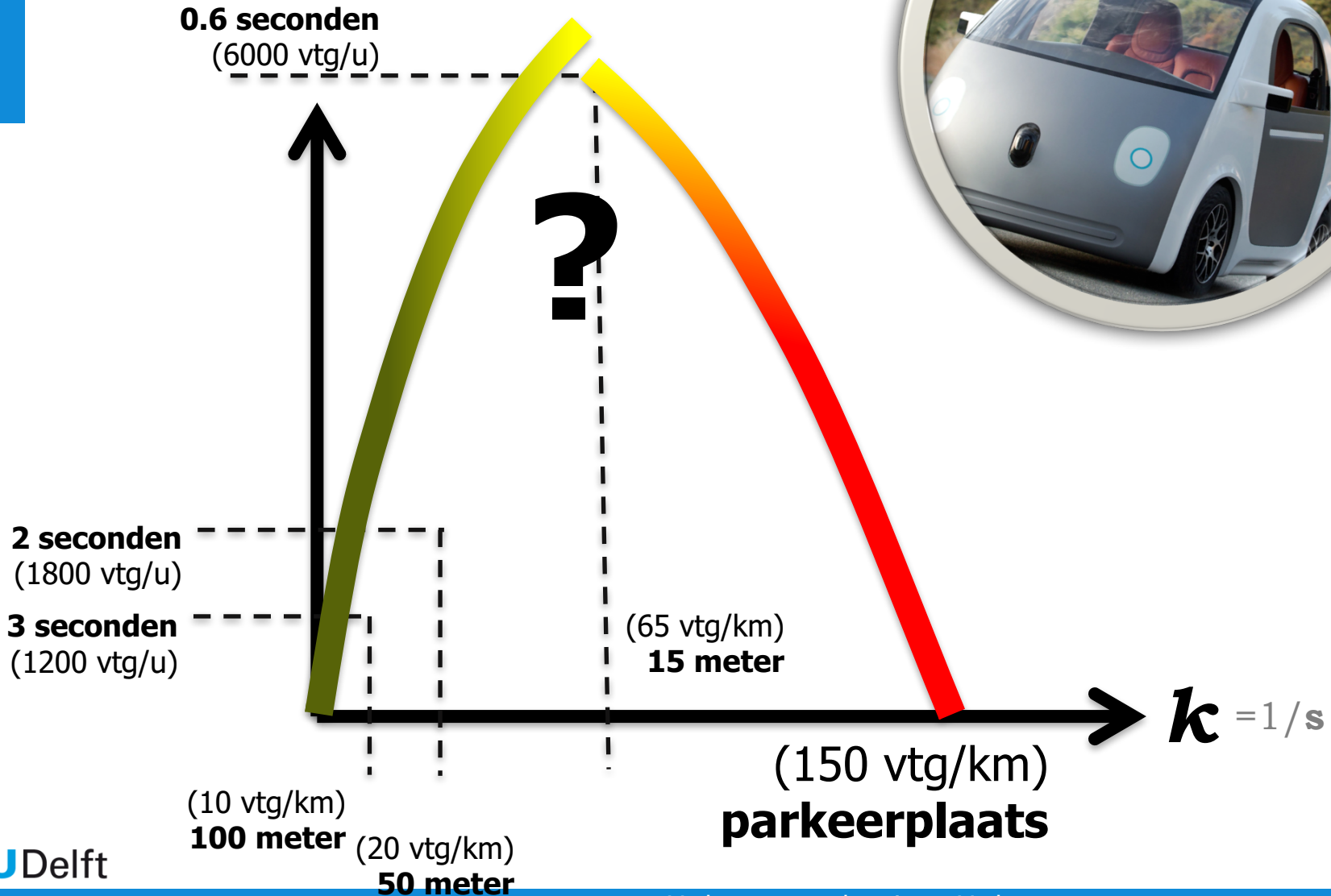
Verkeer is mensenwerk



Verkeer is mensenwerk (II)

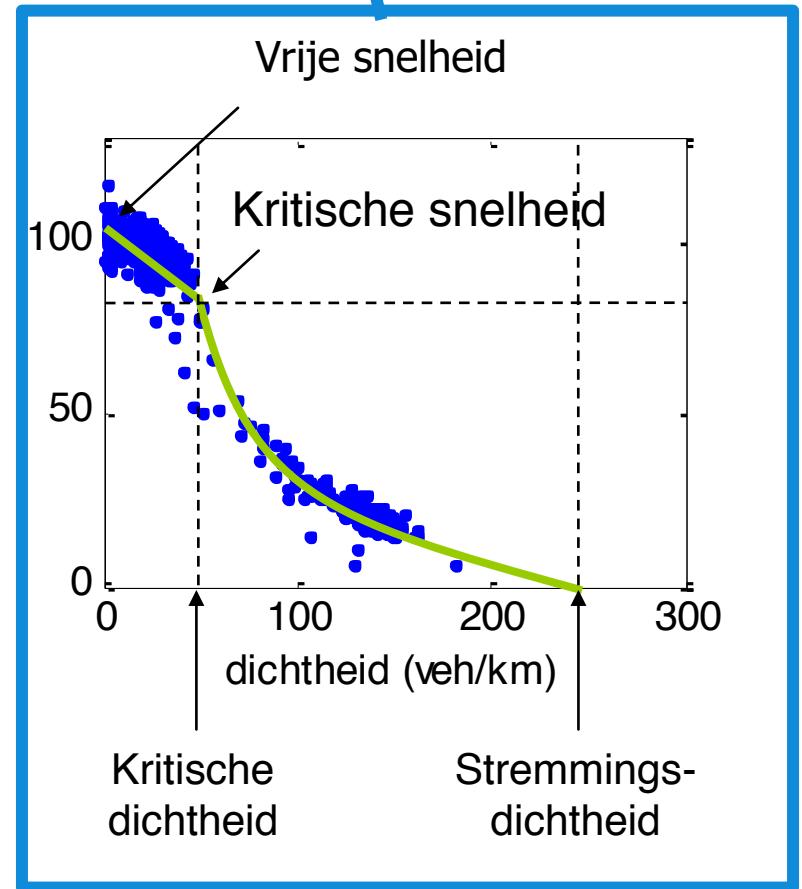
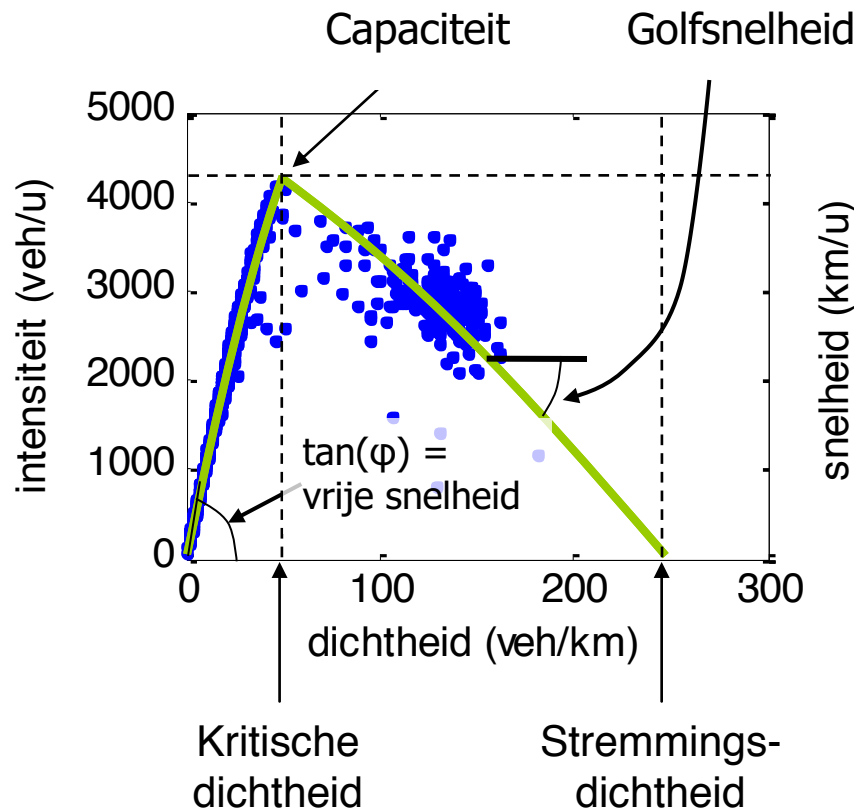


Verkeer is mensenwerk



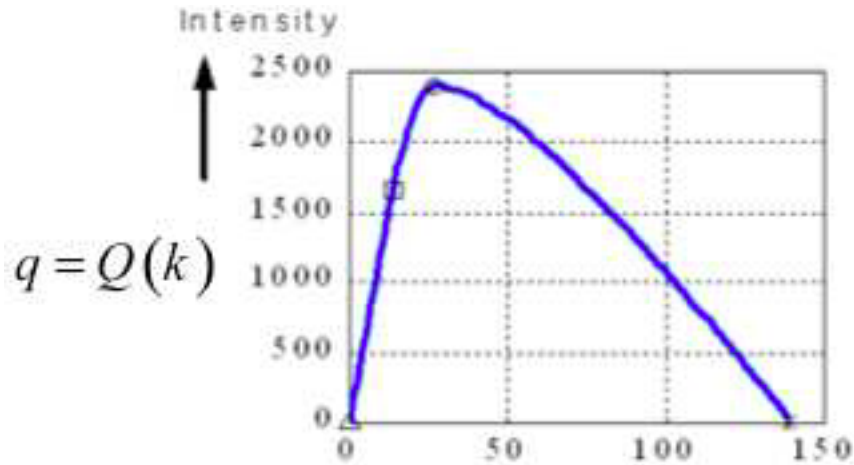
Fundamenteel diagram: $q=Q(k)$

omdat $q = ku \rightarrow Q(k) = kU(k)$ met $u = U(k)$;

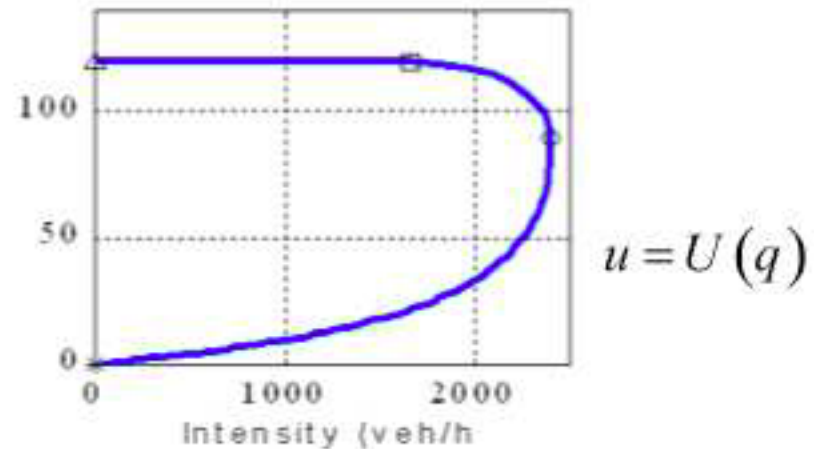
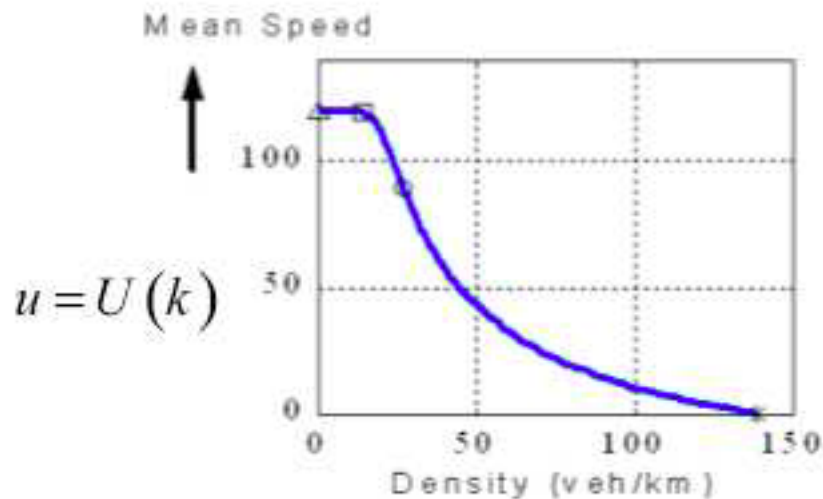


Fundamenteel diagram

Drie verschijningsvormen: bevatten alledrie dezelfde informatie



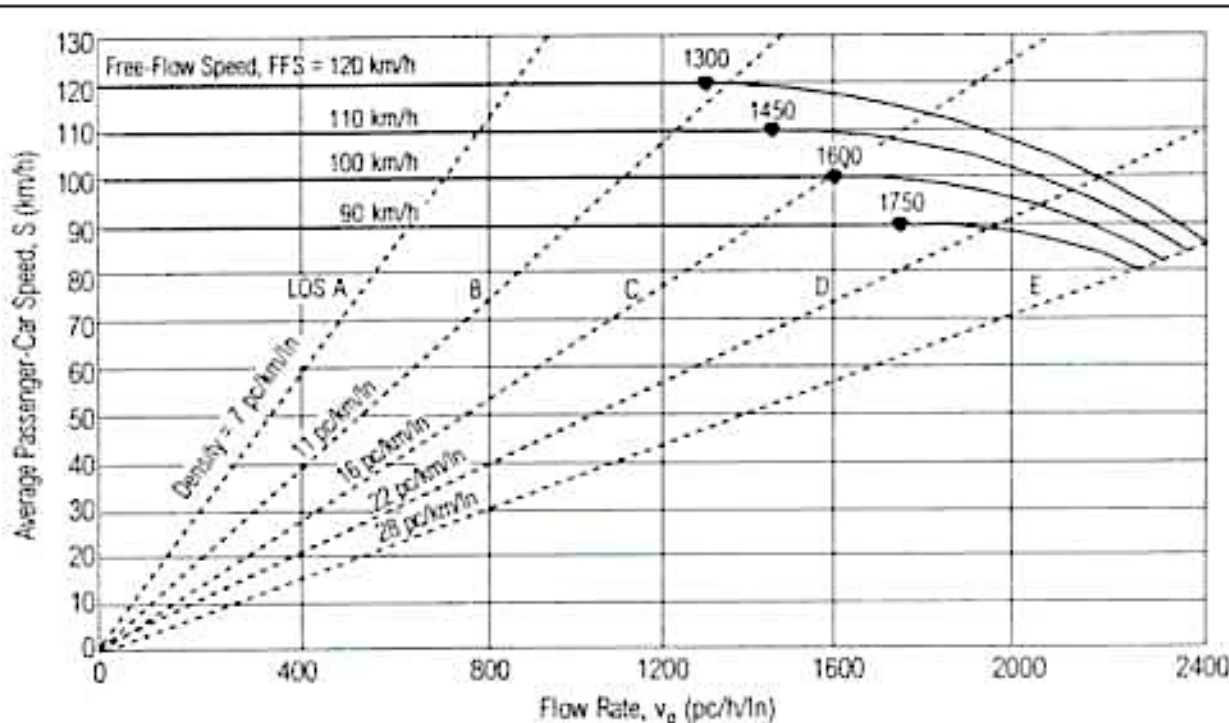
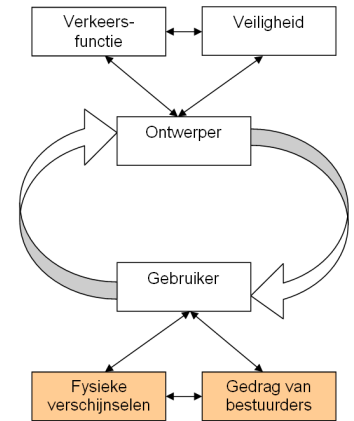
- \triangle Vrije snelheid $q=k=0; u=u_0$
- (\square Maximale q, k voor $u=u_0$)
- \circ Capaciteit $u=u_c; q=q_c; k=k_c$
- * Stremmingsdichtheid $u=q=0; k=k_{jam}$



Fundamenteel diagram

Toepassing bij ontwerp

- Bij het **ontwerpen** van wegen, wil je een bepaalde kwaliteit (LOS: Level of Service) garanderen
- LOS zijn gebieden in de vrije tak van het **U(q)** diagram (A:rustig ... C:medium ... E:druk)



Q: Hoeveel rijstroken hebben we nodig om gemiddeld 5000 personen auto's (pc) per uur met LOS C over een snelweg met ontwerpsnelheid 100 km/u te laten rijden?

Resume

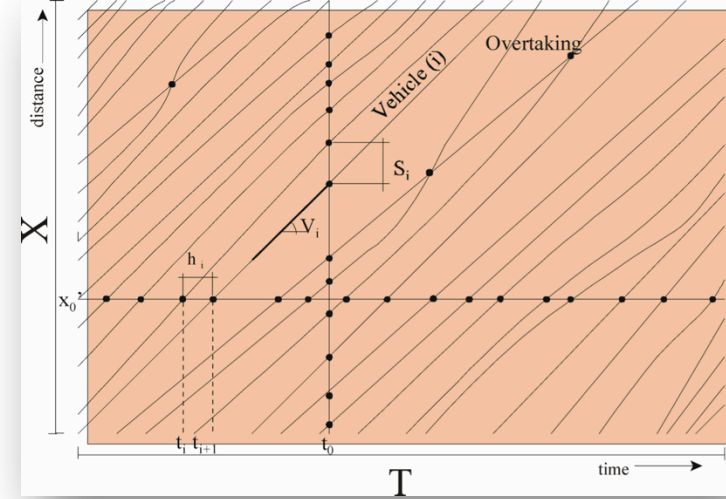
De variabelen

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

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

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

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



$$\mathbf{q} = \mathbf{k} \mathbf{u}$$

maar alleen als

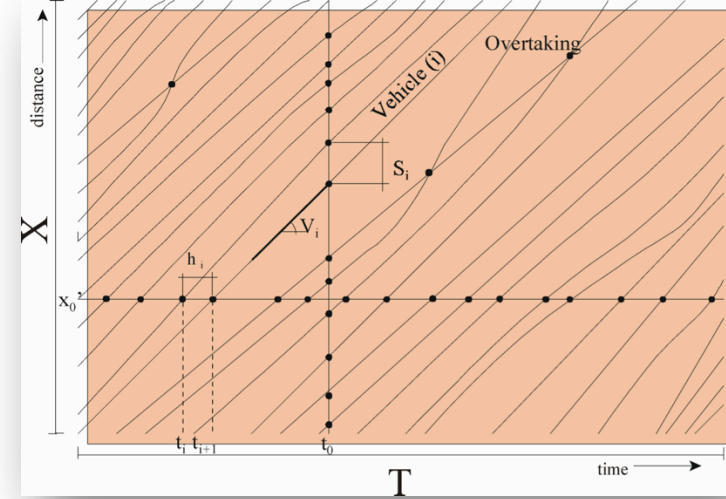
$$\mathbf{u} = \mathbf{u}_M$$

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

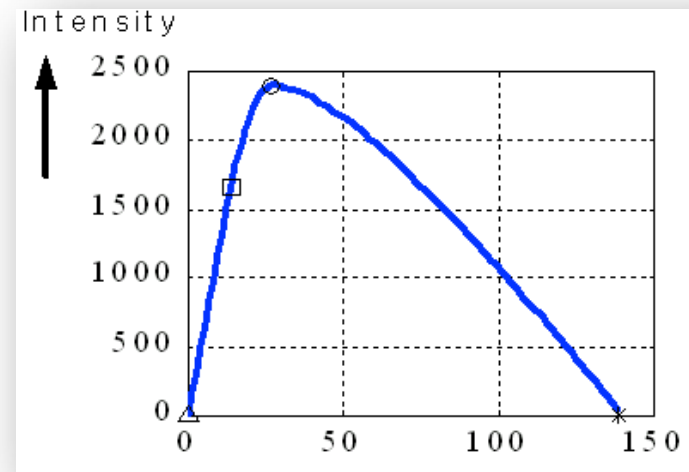
Resume

Het fundamenteel diagram (I)

- Lege weg: voertuigen rijden met vrije (wens) snelheid van gemiddeld $\mathbf{u}_0 = \langle \mathbf{v}_0 \rangle$
- Toenemende dichtheid (kortere volgafstanden): meer **volgers** (snelheid begrenst door interacties)
- Er is een minimale volgtijd (= max intensiteit) die bestuurders durven aanhouden bij een combi van kritische dichtheid \mathbf{k}_c (volgafstand) en snelheid \mathbf{u}_c
: **Capaciteit** $\mathbf{q}_c = \mathbf{k}_c \mathbf{u}_c$



$$q = ku$$

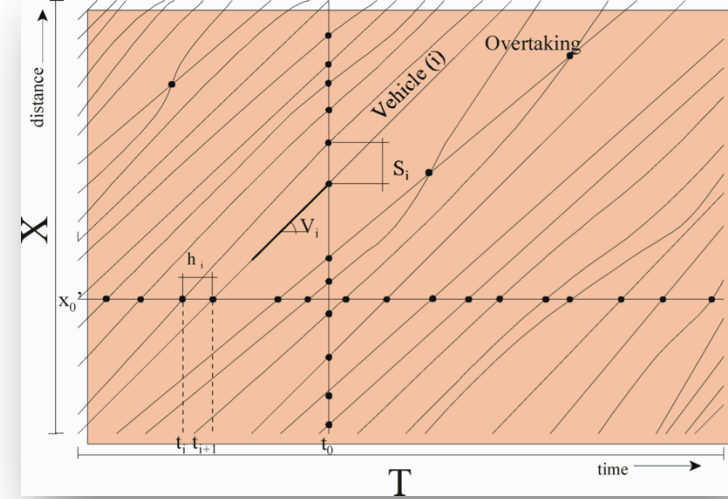


Resume

Het fundamenteel diagram (II)

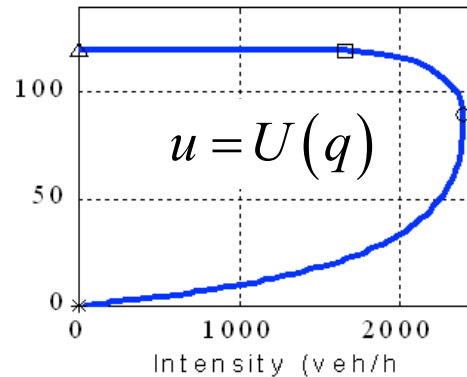
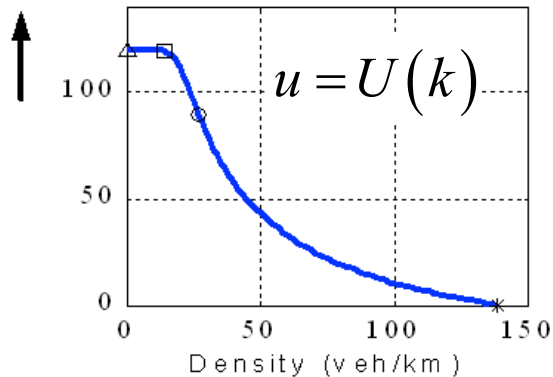
Er blijkt: capaciteit is gemiddeld het grootst bij $u_c \approx 90$ km/u

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



$$q = ku$$

Mean Speed



Intensity

