

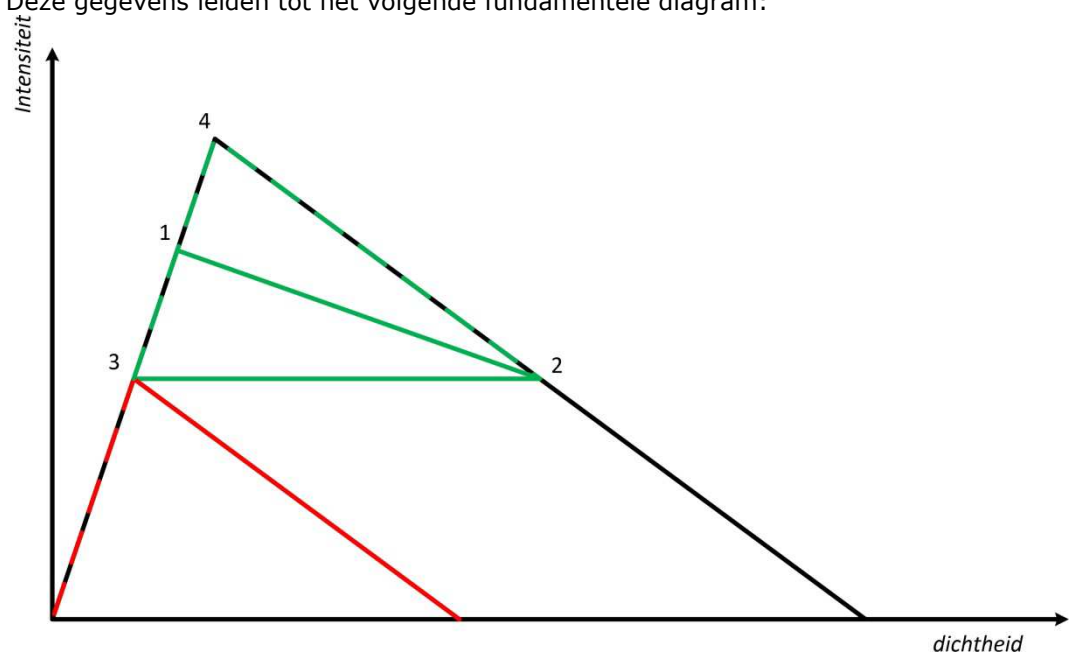
1 CONGESTIE EN SCHOKGOLVEN

1.1 Ongeluk op de snelweg

- a) Twee rijstroken, dus $k_{cap} = 2 \cdot 20 = 40$ vtg/km. Intensiteit: 3200 vtg/uur. Capaciteit: $2 \cdot 2100 = 4200$ vtg/uur. Dus de dichtheid is:

$$k_{AI} = \frac{3200}{4200} \times 40 = 30,5 \text{ vtg/km}$$

- b) $U = q/k$ dus snelheid = $3200/30,48 = 105$ km/uur
 Bij capaciteit: snelheid = $4200/40 = 105$ km/uur. Deze twee snelheden zijn gelijk, omdat hier het fundamenteel diagram lineair is aangenomen. De hoek van de lijn in het fundamenteel diagram is voor beide situaties dus gelijk, dus is de snelheid even hoog.
- c) Het fundamenteel diagram van de snelweg bestaat uit een lijn uit de oorsprong naar de maximale capaciteit, en vanaf dat punt een lijn naar het punt waar de dichtheid hoog is en de intensiteit nul. Deze lijnen zijn aangegeven met de zwarte lijn in de schets. Het fundamenteel diagram van de snelweg bij de bottleneck bestaat uit de rode lijn, lopend vanaf de oorsprong naar het punt halverwege de capaciteit van de snelweg, en van daar naar het punt op de dichtheid-as, halverwege de oorsprong en het punt waar de zwarte lijn de dichtheid-as raakt. De schokgolven lopen tussen de punten 1, 2, 3 en 4. Punt 1 is het gebied waarin er geen file is, punt 2 is de file achter de wegversmalling en punt 3 is het punt van de bottleneck zelf (diagram bottleneck en diagram snelweg). Punt 4 is het gebied waarin de file weer op snelheid komt nadat de wegversmalling is verdwenen. Deze gegevens leiden tot het volgende fundamentele diagram:



De punten betekenen:

- 1 Geen file, vrije snelheid-condities.
 - 2 Congestie voor de bottleneck. File-condities.
 - 3 Gebied in de bottleneck en net na de bottleneck. Vrije snelheid-condities. (maximale intensiteit wordt hier benut)
 - 4 Oplossen van file door verdwijnen bottleneck. Capaciteits-condities.
- d) Er kan nog maar gebruik gemaakt worden van één rijstrook, het ongeluk blokkeert de andere. Dit betekent dat er nog maar een capaciteit van 2100 vtg/uur is. De intensiteit kan maximaal deze waarde bereiken, dus de intensiteit is 2100 vtg/uur.
- e) De intensiteit is hoger dan de capaciteit van de wegversmalling. Dit betekent dat er file is. De dichtheid in die file is:

$$k_{A1, file} = 40 + \frac{4200 - 2100}{4200} \times (200 - 40) = 120 \text{ vtg/km}$$

De dichtheid en intensiteit van punt 4 in bovenstaande grafiek zijn bekend. (de capaciteit en de dichtheid bij de capaciteit staan namelijk gegeven in de vraag.) De stroomingsdichtheid is ook gegeven. De lijn vanaf punt 4 naar het punt met maximale dichtheid en intensiteit nul kan dus worden getrokken. Het punt in de file is punt 2 en ligt gewoon op deze rechte lijn, waarover genoeg informatie bekend is om de dichtheid en intensiteit in punt 2 te kunnen berekenen.

f)

$$\omega_{12} = \frac{3200 - 2100}{30,5 - 120} = -12,2 \text{ km/u}$$

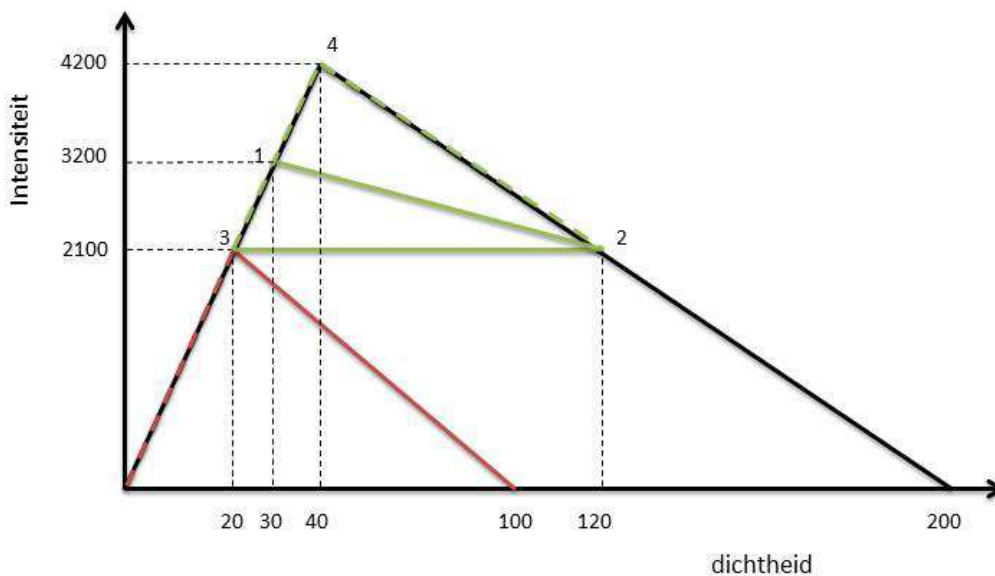
g) De waarden van punten 1 tot 4 en de punten waar de q-k diagrammen de dichtheids-as raken zijn als volgt:

- 1 (3200, 30,5)
- 2 (2100, 120)
- 3 (2100, 20)
- 4 (4200, 40)

Snijpunt q-k diagram snelweg en k-as (0, 200)

Snijpunt q-k diagram bottleneck en k-as (0, 100)

Deze gegevens leiden tot het volgende fundamentele diagram:



h) De snelheid van de schokgolf en faseveranderingen is als volgt (deze zijn ook af te lezen uit het fundamentele diagram):

Tussen 1 en 2: -12.2 km/uur (zie vraag d)

Tussen 1 en 3: 105 km/uur (vrije snelheid-condities, zie vraag b)

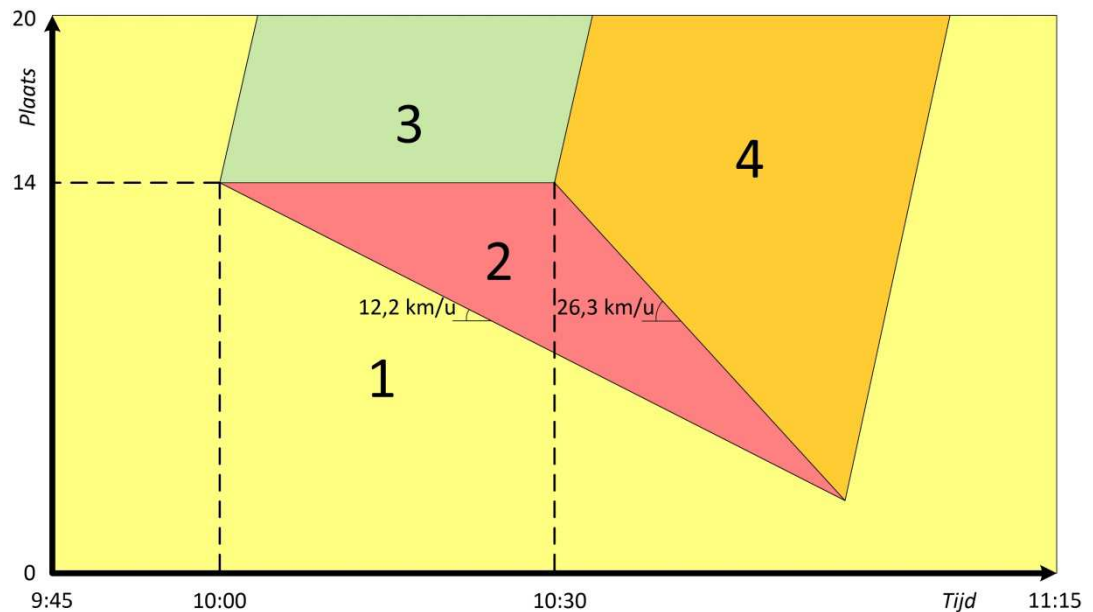
Tussen 1 en 4: 105 km/uur (vrije snelheid-condities, zie vraag b)

Tussen 2 en 3: 0 km/uur (Kop van de file is bij de bottleneck)

Tussen 2 en 4: $\omega_{24} = \frac{4200 - 2100}{40 - 120} = -26,3 \text{ km/u}$

Tussen 3 en 4: 105 km/uur (vrije snelheid-condities, zie vraag b)

Dit leidt tot een plaats-tijd diagram dat er als volgt uit ziet:



- i) Fileterugslag betekent dat een file die op een bepaalde plek afritten en opritten blokkeert stroomopwaarts van die plek liggen. Mensen die dan een route nemen die niet langs de reden van de file leidt hebben er wel last van.
- j) Om uit te rekenen waar en wanneer de file oplost moet het snijpunt gevonden worden van de faseveranderingen 1-2 en 2-4. Daarvoor stellen we twee vergelijkingen $s_1(t)$ en $s_2(t)$ op. Hierin geven we de tijd weer in uren en de plaats in km. We stellen (10:00, 0) als nulpunt. Dit levert twee vergelijkingen op:
 $s_1(t) = 14 - 12,2t$
 $s_2(t) = (14 + 0,5 \cdot 26,3) - 26,3t$
 Deze twee vergelijkingen aan elkaar gelijk stellen levert $t = 0,9326$. Dit is $0,9326 \cdot 60 = 56$ minuten, dus $t(\text{eind file}) = 10:56$.
 Alternatieve berekening is de lengte van de file op het moment dat de file begint op te lossen (dus op $t = 0,5$ uur) gedeeld door het verschil tussen de schokgolfsnelheden tussen 1 en 2 respectievelijk 2 en 4.
 s is dan $14 - 12,2 \cdot 0,9326 = 2,6$ kilometer vanaf het begin van de snelweg.

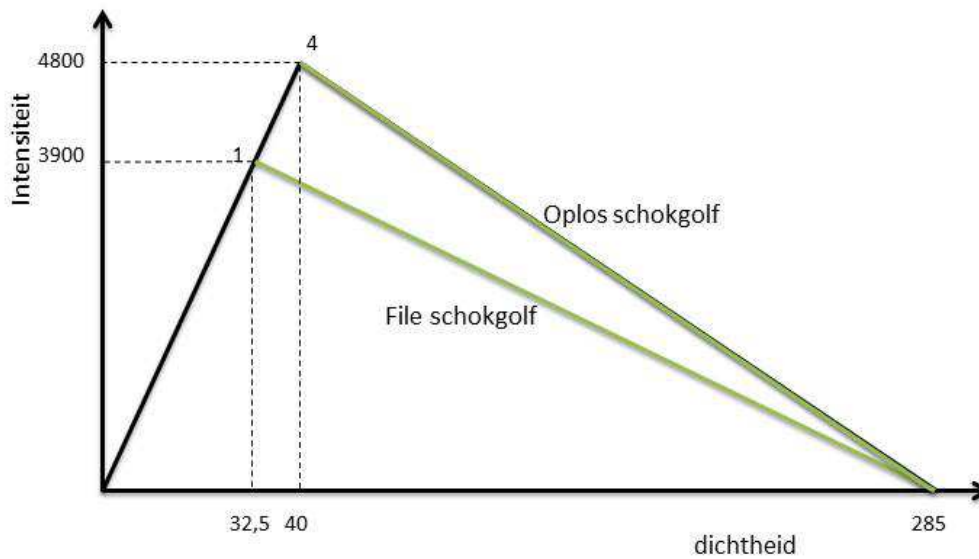
1.2 Loslopende kippes

- a) De capaciteit is gelijk aan de kritische dichtheid maal de snelheid maal het aantal stroken.

$$C = 120 \frac{\text{km}}{\text{h}} * 20 \frac{\text{vtg}}{\text{km s}} * 2 = 4800 \frac{\text{vtg}}{\text{h}}$$

- b) 7 meter per voertuig. Dus per kilometer per strook kunnen er 142,8 voertuigen staan. Dit geeft voor beide stroken 285 vtg/km. De dichtheid van het verkeer op de weg met intensiteit 3900 moet nog worden berekend.

$$k_1 = \frac{3900}{4800} * 40 = 32,5$$



- c) De capaciteit van de bottleneck is nul en de stremmingdichtheid is 285. Dit houdt in dat de stremmingdichtheid moet worden gebruikt voor de dichtheid in de bottleneck.

$$\omega = \frac{0-3900}{285-32,5} = -15,4 \frac{km}{h}$$

- d) Omdat de voertuigen in een wachtrij staan, zal zodra de weg weer open gaat het verkeer met de maximale capaciteit wegrijden.

$$\omega = \frac{4800 - 0}{40 - 285} = -19,6 \frac{km}{h}$$

- e) De tijd die de file nodig heeft om het knooppunt te bereiken is: $30 \text{ km} / 15,4 \text{ km/h} = 1,94 \text{ h}$. De tijd die nodig is om de oplosschokgolf het knooppunt te laten bereiken is: $30 \text{ km} / 19,6 \text{ km/h} = 1,53 \text{ h}$. Dit houdt in dat binnen 0,41 uur de kippen moeten zijn gevangen en de weg weer vrijgegeven moet zijn.

1. Afrit van de snelweg

- a) De snelheid bij volledige benutting van de capaciteit is:

$$v = \frac{C}{k} = \frac{2100 \frac{vtg}{h}}{21 \frac{vtg}{km}} = 100 \frac{km}{h}$$

- b) De capaciteit van de bottleneck is in deze vraag niet zo eenvoudig als voorheen en vereist wat denkwerk. Er komen 6000 voertuigen over drie stroken aangereden. Drie stroken hebben samen een capaciteit van 6300 vtg/h, niks aan de hand. Vervolgens slaan er 1000 voertuigen af en gaan er 5000 voertuigen rechtdoor over een tweestrooksweg. Deze heeft echter een capaciteit van 4200 vtg/h. Dit is te laag dus. In totaal kunnen er dus per uur 4200 voertuigen doorrijden en 1000 afslaan zonder problemen. De capaciteit van de bottleneck is dus 5200 vtg/h. Dit is 800 vtg/h minder dan de intensiteit.

- c) De dichtheid in de file kan worden bepaald met het fundamenteel diagram, daarna kan daarmee de schokgolf snelheid worden berekend. Het fundamenteel diagram moet worden gemaakt voor het deel van de weg met 3 rijstroken, want daar staat immers de file.

$$k_f = k_c + \frac{k_s - k_c}{C} * (C - C_{bottleneck}) = 63 + \frac{300 - 63}{6300} * 1100 = 104$$

$$\omega = \frac{6000 - 5200}{60 - 104} = -18,2 \text{ km/h}$$

