

## MASTER

Een macroscopische simulatie van stadsverkeer . Een eenvoudige flexibele besturing van verkeerslichten met behulp van een kerngeheugen

Zwart, M.J.

*Award date:*  
1966

[Link to publication](#)

### **Disclaimer**

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain

- Een macroscopische simulatie van stadsverkeer -

1e Afstudeerverslag van: M.J.Zwart.  
Hoogleraar: Prof. ir. A.Heetman.  
Wetenschappelijk ambtenaar: Ir. A.G.M.Geurts.  
Datum: januari 1966.

Inhoudsopgave.

1. Inleiding.
2. Straat.
  - a) Inleiding.
  - b) Gebruikte model.
  - c) Testen van het model.
3. Periferie
4. Kruispunt.
  - a) Inleiding.
  - b) Gebruikte model.
  - c) Voorbeeld.
5. Weefvak.
  - a) Inleiding.
  - b) Gebruikte model.
  - c) Voorbeeld.
6. Netwerk.
7. Besluit.
8. Alfabetische codelijst.
9. Literatuur.

Inleiding.

De in dit verslag beschreven simulator is in de eerste plaats bedoeld voor het oplossen van efficiëntie- en dimensioneringsproblemen op het gebied van het verkeer. We beperken ons verder tot het stadsverkeer waardoor het mogelijk is, tenminste voor meer uitgebreide netwerken, gebruik te maken van de macroscopische beschouwingwijze.

Dit houdt in dat we ons niet verdiepen in een zeer nauwkeurige beschrijving van het gedrag van alle soorten voertuigen, maar ons beperken tot enkele gemiddelde grootheden zoals capaciteit, dichtheid en snelheid, waarbij getracht zal worden het stochastische karakter van het verkeer te bewaren. Met enkele subroutines worden de voornaamste "verkeersfuncties" gesimuleerd, te weten: het transport in een straat, over een kruispunt, in een weefvak en het netwerk in en uit.

STRAAT.

Inleiding.

Eerst wordt het transport van voertuigen in een straat beschouwd. Men veronderstelt dat het verkeer voldoet aan de volgende "algemene verkeersregels"

Regel 1:

Men zal trachten een zo hoog mogelijke snelheid te handhaven. Er zijn echter enkele tegenwerkende factoren welke worden veroorzaakt door:

- a) de situatie op de weg voor het voertuig, tot uitdrukking gebracht in snelheid en wegbezetting,
- b) de eigenschappen van de weg voor het voertuig, zoals bochten, kruispunten, weefvakken en snelheidsbeperkingen en
- c) de eigenschappen van het voertuig en zijn berijder.

Regel 2:

Het verkeer draagt een stochastisch karakter waardoor configuraties van voertuigen op de weg zich slechts in enkele gevallen, en dan nog voor korte tijd, laten beschrijven als functie van de tijd. Met de grootheden gemiddelde snelheid, gemiddelde dichtheid en gemiddelde capaciteit is het transport op elk moment te beschrijven.

Regel 3:

De kans op het passeren door een voertuig van een stilstaande waarnemer op een lange rechte weg, zonder verkeersbelemmerende factoren in de buurt van die waarnemer, volgt de verdeling van Poisson.

Bovenstaande regels verdienen enige toelichting.

In regel 1 komt de voorwaartse stuwkracht tot uiting welke echter in het algemeen een zekere weerstand ondervindt. Het is begrijpelijk dat deze opgemerkte stuwkracht en weerstand voor veel onderzoekers uit de natuur- en wiskunde aanleiding was voor het verkeer analoge beschouwingen op te zetten als voor de gastheorie en de vloeistofdynamica. Juist de gastheorie lijkt heel geschikt omdat ook in het verkeer stochastische verschijnselen voorkomen. Aangezien de straatsimulatie is opgezet voor stadsverkeer, zal de maximaal mogelijke snelheid 50 km. per uur zijn. Volgens uitgebreide onderzoeken gedaan op verschillende wegen geldt er een gelijkvormig verband tussen gemiddelde capaciteit en gemiddelde snelheid, onder bepaalde nog te noemen condities. Bij deze simulatie wordt gebruik gemaakt van een dergelijke relatie, welke steeds voor kleine groepen voertuigen zal gelden.

Kruispunten, weefvakken en splitsingen kunnen als aparte subroutines beschreven worden en vormen in een verkeers netwerk de schakels tussen de straten. Ook de invloed van bochten en snelheidsbeperkingen kan ingebouwd worden.

Het is moeilijk van elk voertuig de identiteit naar klasse en type berijder vast te leggen. Daarom wordt hier gewerkt met de 'personenautoeenschap', een maat waarin men de invloed van dat voertuig op het overige verkeer uitdrukt. Volgens de "Studiegroep Stedelijke Verkeersproblemen"(1955) ziet voor enkele verkeersdeelnemers dat gewicht er als volgt uit:

personenauto	1.0	p.a.e.
vrachtauto	1.4	,,
autobus	1.8	,,
motorrijwiel	0.5	,,
rijwiel	0.1	,,

We nemen aan dat met deze maat de invloed van het voertuig en berijder op het overige verkeer volledig kan worden uitgedrukt, hetgeen een grove benadering is en bovendien gezien moet worden als een gemiddelde waarde.

Gemakshalve spreken we in het vervolg meestal over voertuig in plaats van personenautoeenheid.

Het stochastische karakter van het verkeer is door allerlei niet te voorspellen oorzaken zo overheersend dat men voor een macroscopische beschouwingwijze gedwongen wordt met gemiddelde grootheden te werken. Het echte stochastische karakter van het transport tijdens deze simulatie komt daarom alleen aan zijn periferie tot uiting: daar waar voertuigen de straat ingaan en er uit vertrekken.

In het algemeen zullen de tijdsafstanden tussen de voertuigen, gezien vanuit het standpunt van een stilstaande waarnemer, op een lange rechte weg zonder verkeersbelemmerende factoren in de nabijheid, een negatief-exponentiële verdeling volgen. In dat geval kan men bewijzen (zie artikel van prof. Cohen) dat het aantal auto's dat gedurende een vast tijdsinterval deze waarnemer passeert een Poissonverdeling volgt.

Ook in het geval van een rijbaan voor een verkeerslicht dat juist op groen is gesprongen kan men van de stilstaande voertuigen een bepaalde aankomstverdeling geven.

Bij simulatie op een digitale computer is het noodzakelijk alle voorkomende grootheden "digitaal te maken", dat wil zeggen de kleinst mogelijke eenheid vast te stellen. Aangezien een machine een rekenproces tegelijk kan verrichten en voor elk netwerkkonderdeel een subroutine tot zijn beschikking heeft, is het nodig het systeem op vaste tijdstippen, geen machinetijd maar werkelijke tijd, te beschouwen. Zo'n tijdsinterval heet iteratietijd, symbolisch:  $\Delta t$ . Kiest men  $\Delta t$  te groot, bijvoorbeeld een half uur, dan gaat belangrijke informatie verloren, de simulatie verloopt echter in machinetijd vrij snel. Een kleine waarde heeft tot gevolg dat men veel informatie krijgt en een meer continu proces ziet, echter de machinetijd neemt sterk toe. Vrij willekeurig is hier  $\Delta t=1$  seconde gekozen, volgens publikaties van andere onderzoekers ligt  $\Delta t$  tussen 1 en 5 seconden.

Onder een straat wordt in het vervolg steeds een stelsel van een of meer rijbanen verstaan welke niet gescheiden zijn en waar op gereden wordt in een richting.



Ook de lengte wordt digitaal gemaakt: een straat wordt verdeeld in cellen, in korte onderling even lange stukken straat. De cellengte is dus het kleinst te onderscheiden deel van een straat.

Gezien de tabel van soorten voertuigen uitgedrukt in p.a.e.'s is het verstandig om als kleinste voertuig eenheid 0.1 p.a.e. te nemen .

Volgens regel 1 is er een maximaal mogelijke snelheid  $V_{max}$ . Men kiest nu de cellengte  $l = V_{max} * \Delta t$ , in een iteratietijd legt een voertuig dus  $l$  of minder meters af. De voertuigen in een cel worden als homogeen verdeeld beschouwd, ze vormen een niet onderscheidbaar geheel.

De volgende relatie bestaat:

Capaciteit = dichtheid \* snelheid, of symbolisch:  $L = D * V$ .

Neem aan dat een groep van  $L$  p.a.e.'s zich homogeen verdeeld voortbeweegt met constante snelheid  $V$  in de richting van een vaste waarnemer. Stel dat deze groep zich juist in een tijdseenheid voorbij die waarnemer beweegt, de lengte van die kolonne is dan  $V$  meter. Het aantal voertuigen per meter is dan  $L/V = D$  p.a.e.'s per meter, dus  $L = D * V$ .

De volgende symbolen worden dus gebruikt:

$\Delta t$  = iteratietijd (sec).

straat = stelsel rijbanen met een rijrichting, niet gescheiden.

$l$  = cellengte (m).

$V_{max}$  = maximaal mogelijke snelheid (m/sec).

P.a.e. = personenautoeenheid, maat voor het soort voertuig en berijder.

$L$  = capaciteit (p.a.e.'s/sec).

$D$  = dichtheid (p.a.e.'s/m).

$V$  = snelheid (m/sec).

Opmerkingen:

Inplaats van personenautoeeneheid zullen we dus meestal over voertuig spreken en aangezien de gemeten grootheden alle een gemiddelde waarde zijn zullen we "gemiddelde" vaak weglaten.

Gebruikte model.

Uit vele onderzoeken betreffende het wegverkeer is komen vast te staan dat er een empirische relatie bestaat tussen L en V, die, op de schaalwaarden na, voor vele wegen identiek is. Mathematisch is die relatie (zie o.a.

Korte en Highway Capacity Manual):

$$1. \dots L = C_1 * V + C_2 * V^2$$

$C_1$  en  $C_2$  zijn constanten welke afhangen van het soort weg.

V moet kleiner zijn dan  $V_{kritisch} = 50$  km. per uur.

Dus voor stadsverkeer geldt dat  $V_{kritisch} = V_{max} = 50$  km per uur.

Een tweede belangrijke relatie is:

$$2. \dots L = D * V.$$

Uit 1. en 2. volgt:

$$3a. \dots D = C_1 + C_2 * V.$$

mits V kleiner is dan 50 km. per uur.

Deze relatie is ook wel rechtstreeks in de praktijk gemeten.

We definiëren nu twee nieuwe grootheden:  $D_0$  = gemiddelde dichtheid in gestopte toestand en  $D_1$  = gemiddelde dichtheid bij maximale snelheid. In de grafiek van D als functie van V kan men  $D_0$  en  $D_1$  dus zien als de uiterste waarden van D. Het moet echter ook mogelijk zijn een dichtheid kleiner dan  $D_1$  te bereiken, in dat geval is  $V = V_{max}$ . Zo vindt men dus:

3b..... $D = D_0 - (D_0 - D_1) * V / V_{max}$ , mits  $V$  kleiner dan 50 km. per uur.

De cellen in een straat worden genummerd oplopend tegen de stroom in.

Voor cel  $i$  geldt dus als men in plaats van met de dichtheid met de celinhoud werkt en de snelheid relateert aan  $V_{max}$ :

4..... $I_i = I_0 - (I_0 - I_1) * V_i'$  met  $I_i = l * D_i$   
en  $V_i' = V_i / V_{max}$ .

$V_i'$  = de relatieve snelheid ten opzichte van  $V_{max}$ .

Men kan bovenstaande formule ook in woorden weergeven: Beneden een bepaalde dichtheid  $D_1$  bewegen alle voertuigen zich voort op maximale snelheid, bij grotere dichtheden treedt er een wederzijdse beïnvloeding op die de snelheid doet afnemen lineair met het toenemen van de dichtheid. (Regel 1)

Voor cel  $i$  geldt dat bij constante relatieve snelheid  $V_i'$  zich in  $\Delta t$  seconden  $B_i'$  voertuigen verplaatsen uit cel  $i$  :

5..... $B_i' = I_i * V_i' = L_i * \Delta t = D_i * V_i * \Delta t = I_i * V_i' * V_{max} * \Delta t / l$ .

We denken ons het transport van cel  $i$  naar cel  $i-1$  als volgt geregeld:

Uit cel  $i$  vertrekken  $B_i'$  voertuigen mits ze alle door cel  $i-1$  kunnen worden opgenomen. Soms zal cel  $i$  minder kunnen opnemen dan  $B_i'$ , de opname capaciteit van cel  $i-1$  hangt af van de toestand van cel  $i-1$ , dus van  $I_{i-1}$  en  $V_{i-1}'$ .

Men moet echter bedenken dat de computer het transport niet in alle cellen gelijktijdig laat plaatsvinden, maar een straat cel voor cel afwerkt. Dus eerst het transport van cel  $i-1$  naar cel  $i-2$ , daarna van cel  $i$  naar cel  $i-1$ , enzovoort. Het aftasten gebeurt dus tegen de stroom in. Op het moment dat we willen weten hoeveel cel  $i-1$  kan opnemen is het werkelijk te verplaatsen aantal voertuigen  $B_{i-1}'$  reeds vertrokken uit cel  $i-1$ . Is  $B_{i-1}'$  dus bekend, dan is de opnamecapaciteit van cel  $i-1$  dus afhankelijk van  $B_{i-1}'$  en de inhoud van cel  $i-1$  na vertrek van  $B_{i-1}'$  voertuigen:  $I_{i-1}$ . Het verband tussen snelheid en inhoud is eenduidig, daarom kan men stellen:

6..... $B_i' = f(I_i, I_{i-1}, B_{i-1}')$ .

Een onderscheid wordt dus gemaakt tussen  $B_i$  en  $B'_i$  : respectievelijk het werkelijk verplaatste aantal voertuigen uit cel  $i$  en het verplaatste aantal indien cel  $i-1$  alles kan opnemen.

Het rekenproces verloopt voor wat betreft het transport in drie fasen:

1. berekening opnamecapaciteit van cel  $i-1$ ,
2. berekening van wat cel  $i$  kan leveren en
3. het kleinste aantal wordt vervoerd.

Er treedt een moeilijkheid op die de mathematiek van het model op losse schroeven zet: tijdens het transport zal de snelheid in de tijd variëren, wat in het werkelijke verkeer duidelijk waarneembaar is. Deze verandering is moeilijk te berekenen tenzij men weer terugvalt op een microscopische aanpak, zoals in de "car following laws" van Herman en anderen. Ook bij toepassing van deze formules zal men rekening moeten houden met het opdelen van het simulatieproces in de tijd in kleine stukken, die samen de werkelijkheid moeten benaderen.

Door het eenduidige verband tussen  $I_i$  en  $V'_i$  is  $B'_i = f(I_i)$ .

Uit de formules 4 en 5 volgt nu:

$$\begin{aligned} 7a. \dots \text{als } V'_i = 1 & \quad \rightarrow \quad B'_i = I_i, \\ \text{als } V'_i < 1 & \quad \rightarrow \quad B'_i = \frac{I_i \times (I_0 - I_i)}{I_0 - I_1}. \end{aligned}$$

Echter als  $I_i = I_0$  zou volgens formule 4  $V'_i = 0$  en  $B'_i = 0$  zijn.

De praktijk leert echter dat dit niet het geval is: gemiddeld vertrekken er per tijdseenheid van een groep gestopte voertuigen een vast aantal, hetgeen in de dertiger jaren reeds door de Amerikaan Greenshields werd gemeten bij verkeerslichten. Stel dat dit aantal gemiddeld per  $\Delta t$   $A$  voertuigen is.

Formule 7 voldoet dus niet want  $A \neq 0$ , hetgeen dus wil zeggen dat er minstens één geval is waarin de snelheid verandert. We nemen aan dat het eerste gedeelte van 7 wel voldoet, van het tweede gedeelte zijn slechts de uiterste

waarden bekend. We nemen nu voorlopig aan dat het verband tussen  $B'_i$  en  $I_i$

voor  $I_1 \leq I_i \leq I_0$  lineair verloopt, volgens:

$$7b. \dots B'_i = \frac{-(I_1 - A)}{I_0 - I_1} * I_i + \frac{(I_0 - A)}{I_0 - I_1} * I_1.$$

Achteraf hebben we de mogelijkheid om te controleren of deze veronderstelling juist was. Een tweede fase van het rekenproces is de bepaling van de opnamecapaciteit  $\Delta I_{i-1}$  van cel  $i-1$ .

Stel dat de opnamecapaciteit een functie is van  $I_{i-1}$  en  $B_{i-1}$ , dus:

$$\Delta I_{i-1} = f(I_{i-1}, B_{i-1}).$$

Veronderstel verder dat  $\Delta I_{i-1}$  het verschil is tussen de maximaal mogelijke

inhoud  $I_{i-1, \max}$  en de werkelijke inhoud  $I_{i-1}$ , dus:

$$8a. \dots \Delta I_{i-1} = I_{i-1, \max} - I_{i-1}.$$

Wat in cel  $i-1$  overbleef na transport van  $B_{i-1}$  voertuigen, is een functie van

$$B_{i-1}, \text{ dus: } \Delta I_{i-1} = f(B_{i-1}).$$

want  $I_{i-1} = f(B_{i-1})$ ; dus:

$$8b. \dots I_{i-1, \max} = f(B_{i-1}).$$

Is  $B_{i-1}$  gegeven, dan volgt hieruit  $I_{i-1, \max}$  en  $\Delta I_{i-1}$ , waaruit weer  $B_i$

volgt. We zoeken dus nu het verband tussen  $I_{i-1, \max}$  en  $B_{i-1}$ .

Stel dat  $B_{i-1} = I_1$ , dan is  $V'_{i-1} = 1$ , er zijn dus geen belemmerende

factoren geweest want de snelheid bleef maximaal. We nemen nu aan dat door een traagheidswerking ook in de volgende iteratie de relatieve snelheid

$V'_{i-1} = 1$  is en cel  $i-1$  zal  $I_1$  voertuigen kunnen bevatten. De inhoud is vlak na het transport van  $I_1$  voertuigen nul geworden, dus:

$$9a. \dots \text{als } B_{i-1} = I_1 \rightarrow I_{i-1, \max} = I_1.$$

Stel dat cel  $i-1$  wel voertuigen bevat, maar  $B_{i-1} = 0$ . Cel  $i-1$  is dus gestopt

en kan dus  $I_0$  voertuigen bevatten. De inhoud is  $I_{i-1}$ , er kunnen dus nog

$$I_0 - I_{i-1} = \Delta I_{i-1} \text{ voertuigen bij, dus } I_{i-1, \max} = I_0$$

$$9b. \dots \text{als } B_{i-1} = 0 \rightarrow I_{i-1, \max} = I_0 \quad (\text{mits } I_{i-1} > 0).$$

Bevat de cel namelijk geen voertuigen dan zal  $B_{i-1}$  ook nul zijn; het is dan logischer te veronderstellen dat de snelheid maximaal is, hoewel zich geen voertuigen in de cel bevinden.

Aangezien ook hier de mogelijkheid open blijft om achteraf te controleren of de gemaakte veronderstellingen juist zijn, stellen we tussen de bovenvermelde punten het verband tussen  $I_{i-1, \max}$  en  $B_{i-1}$  lineair.

9c.....dus 
$$I_{i-1, \max} = I_0 - \frac{(I_0 - I_1)}{I_1} * B_{i-1}, \text{ als } \bar{I}_{i-1} > 0$$

Het rekenproces ziet er puntsgewijs als volgt uit:

a)  $\Delta I_{i-1} = I_{i-1, \max} - I_{i-1}$ .

b) als  $\Delta \bar{I}_{i-1} > 0$  dan naar c), anders naar cel  $i:=i+1$ .  
terwijl  $B_i = 0$  en  $I_{i, \max} = I_0$

c) is cel  $i$  gestopt, d.w.z. is  $I_{i, \max} = I_0$ , dan is  $B_i' = \text{minimum}(A, \bar{I}_i)$ .

d) als  $I_{i, \max} < I_0$  dan

$$\text{als } \begin{cases} I_i \leq I_1 \rightarrow B_i' = I_1 \\ I_i > I_1 \rightarrow B_i' = -\frac{(I_1 - A)}{I_0 - I_1} * I_i + \frac{(I_0 - A)}{I_0 - I_1} * I_1. \end{cases}$$

e)  $B_i = \text{min}(\Delta I_{i-1}, B_i')$ .

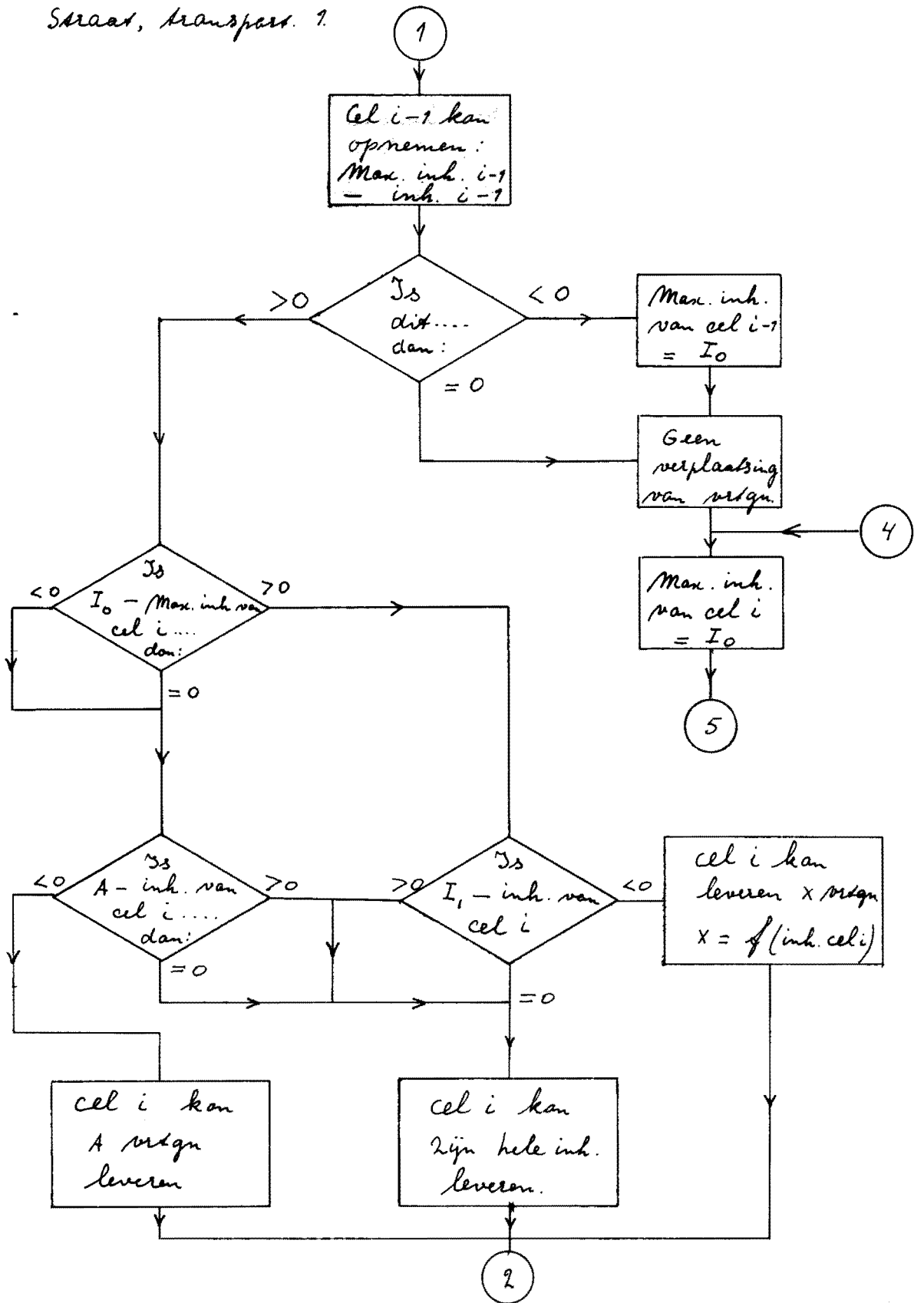
f) Verplaats  $B_i$  vstgn. en bepaal  $I_i$  en  $I_{i-1}$ .

g) als  $I_{i-1} = I_0 \rightarrow I_{i, \max} = I_0$  (cel  $i$  moet ook stoppen)

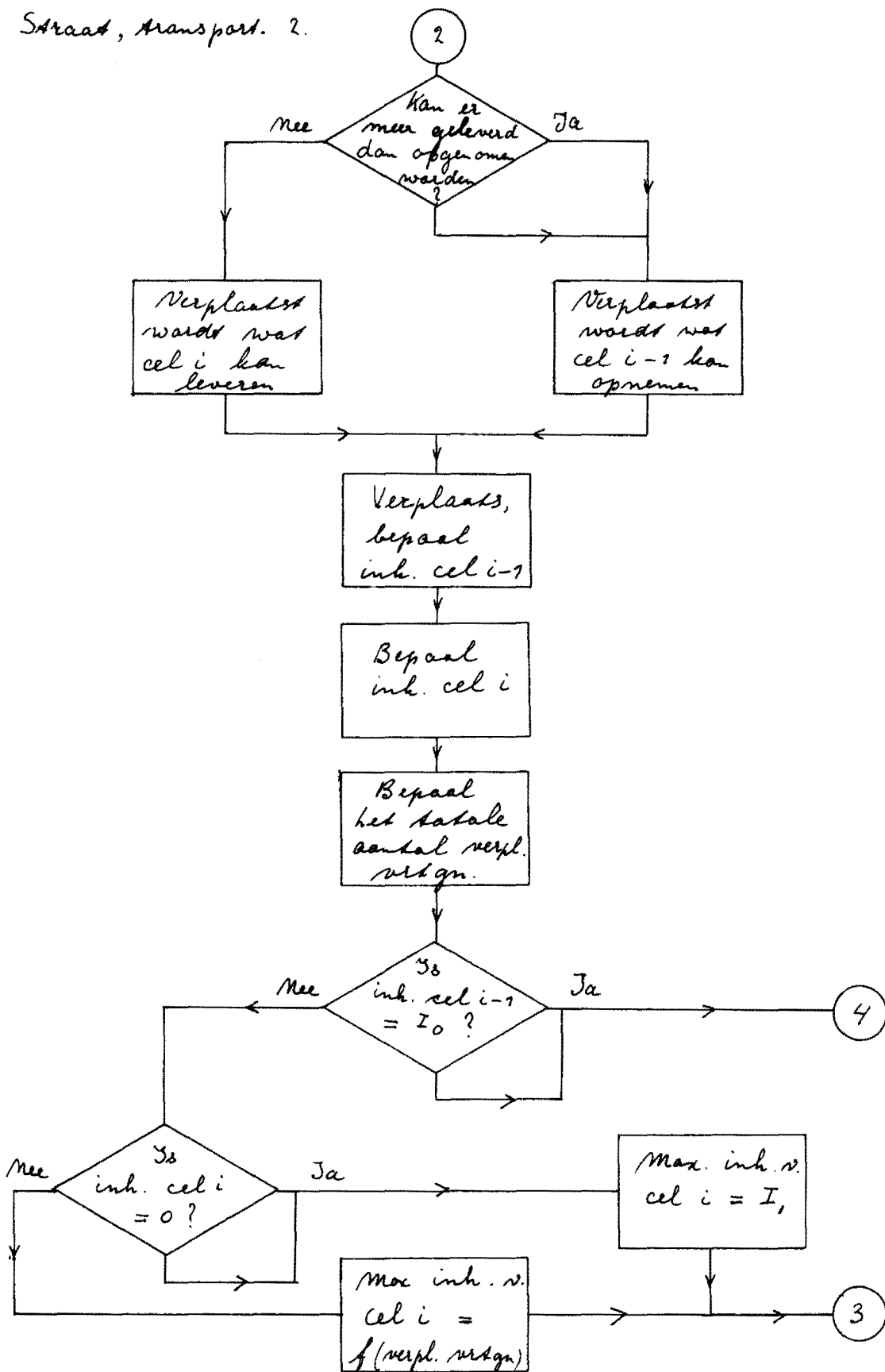
$I_{i, \max} = I_1$  als  $I_i = 0$ , in alle andere gevallen:

$$I_{i, \max} = I_0 - \frac{(I_0 - I_1)}{I_1} * B_i.$$

Straat, transport. 1.



Straat, transport. 2.





Opmerking:

Als  $\Delta I_{i-1} < 0$  wordt  $I_{i,max} = I_0$  gesteld.  $\Delta I_{i-1} < 0$  wil zeggen dat de inhoud te groot is gerekend naar de capaciteit, dus de voertuigen rijden volgens de empirische relatie 1 op te kleine onderlinge afstand, of anders gezegd: de snelheid is te hoog. Laat daarom de cel afremmen: stel  $I_{i,max} = I_0$  en de cel stopt.

Het verdient aanbeveling het aantal gevallen waarin een congestie doorgegeven wordt op te noemen:

1. als  $\Delta I_{i-1} < 0$ , dus cel  $i-1$  kan niets opnemen gezien zijn inhoud.
2. als na transport blijkt dat  $I_{i-1} = I_0$ , cel  $i-1$  stopt dus, waarna men cel  $i$  ook laat stoppen, dus  $I_i = I_0$ .
3. indien het verkeerslicht rood is en het cel 1. betreft. Dan is dus  $B_{i=1} = 0$  en  $I_{i=1,max} = I_0$ .

Men ziet dus dat het mogelijk is met behulp van celinhoud en maximaal mogelijke celinhoud het transport te simuleren. Vanwege de eenduidige relatie welke wordt verondersteld te bestaan tussen de snelheid en de dichtheid is het niet nodig de snelheid in de berekening op te nemen, terwijl de extreme waarden van de snelheid volgen uit de waarde van  $I_{i,max}$ .

Om de simulatie te kunnen uitvoeren is het noodzakelijk de volgende grootheden te kennen:

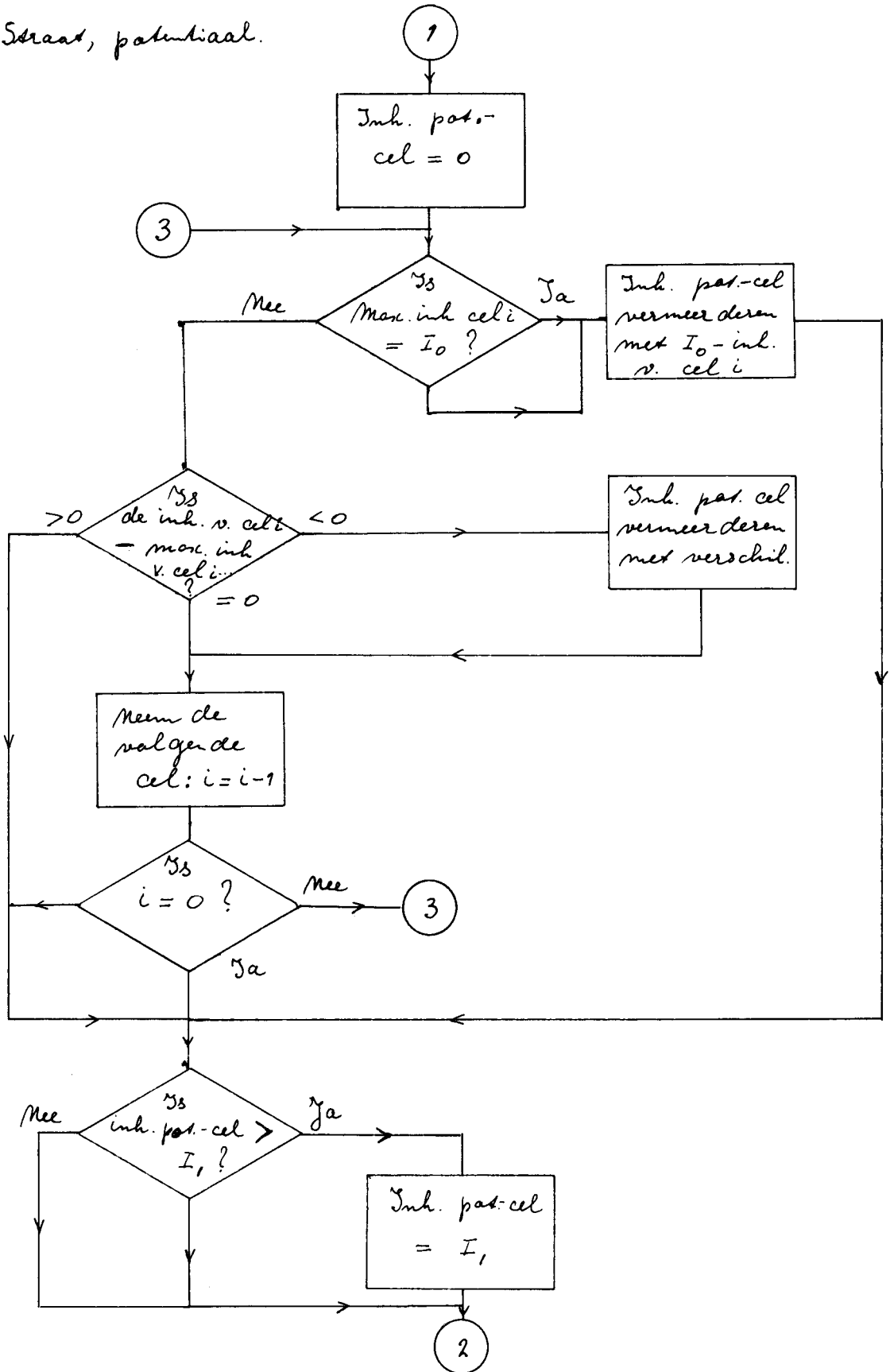
- a) de lengte van de straat,
- b) de maximale snelheid in die straat,
- c) de gekozen iteratietijd,
- d) de waarden van  $I_0$  en  $I_i$ , welke via een omrekening uit een bekende  $L = f(V)$  kromme kunnen worden berekend en
- e) de waarde van  $A$ , welke in vele handboeken kan worden gevonden in het geval van optrekken voor een verkeerslicht.

Rekenvoorbeeld.

- a) lengte van de straat is 150 meter.
- b) maximale snelheid is 50 km. per uur.
- c) iteratietijd is 1 sec., dus de cellengte is 14 m, het aantal cellen is dus 10. (afgerond)
- d) de straat heeft twee rijbanen en de ideale capaciteit bij maximale snelheid is 1,1 p.a.e. per sec. en bij 25 km. per uur is dat 0.78 p.a.e. per sec. (volgens Korte, blz.227)  
Met formule 1 berekenen we dan de waarden van de constanten  $C_1$  en  $C_2$ , via de relaties 3 en 4 vindt men dan voor  $I_0 = 2,1$  en voor  $I_1 = 1,1$ .
- e) Volgens Korte, blz.223, zal per twee rijbanen gemiddeld per sec. 1.0 p.a.e. uit stilstand worden verplaatst, dus  $A = 1.0$ .  
Tijdens de simulatie is echter een lagere waarde voor A genomen, dit met het oog op het feit dat in de straat geen sprake is van optrekken voor een verkeerslicht:  $A = 0.6$

Stel dat de straat M cellen lang is. Als tijdens de simulatie  $i=M$  wordt, moet het mogelijk zijn om voertuigen in cel M te brengen. Daarom wordt een niet fysieke cel: de buffercel ingebouwd met rangnummer  $M+1$ , die slechts dient om het aantal voertuigen dat de straat zal binnengaan voorlopig, voor de duur der berekening, te huisvesten. De inhoud van de buffercel wordt bepaald door een ander deel van het netwerk, bijvoorbeeld door een kruispunt. De inhoud van de buffercel mag echter niet groter zijn dan een bedrag dat afhangt van de toestand in de straat. Daarom wordt nog een tweede niet fysieke cel ingebouwd: de potentiaalcel. Deze geeft aan het maximum aantal voertuigen dat de straat kan binnengaan afhankelijk van de toestand van die straat. Bij de straatsimulatie behoort dus de berekening van de inhoud van

Straat, potentiaal.



de potentiaalcel, welke echter maximaal gelijk kan zijn aan  $I_1$ , dat is immers de maximum waarde van  $B_i$ . Deze berekening gebeurt in feite voor een volgende iteratietijd, uitgaande van de toestand op dit ogenblik en weerspiegelt een zekere traagheid van het systeem.

Hoe moet men nu voorspellen wat de straat in een volgende iteratie kan opnemen? Hier wordt de volgende redenering gevolgd: er kan maximaal in wat er gezien wordt als niet benutte ruimte over de hele straat, echter deze ruimte strekt zich vanaf de laatste cel niet verder uit dan tot en met een cel die gestopt is of tot en met het einde der straat. Deze ruimte welke men per cel ziet is juist  $I_{i, \max} - I_i$ .

Men begint bij cel  $i=M$  en vraagt zich af wat de totale ruimte is die men ziet, terwijl die niet groter mag zijn dan  $I_1$ . De berekening stopt bij het begin van de straat of bij een gestopte cel.

Testen van het model.

Om na te gaan of de gemaakte veronderstellingen juist zijn is het nodig het model te testen. Een straat wordt gesimuleerd en vergeleken met de werkelijke straat. Er is hier slechts uitgegaan van meetgegevens uit een handboek als Korte, waaruit  $I_0$ ,  $I_1$  en  $A$  berekend kunnen worden voor een bepaald type weg. Tijdens de simulatie wordt bij verschillende verkeersintensiteiten de gemiddelde snelheid en de gemiddelde dichtheid gemeten en vergeleken met de volgens het handboek bij die verkeersintensiteit behorende waarden. De gemiddelde relatieve snelheid is als volgt gedefinieerd:

$$\bar{V}' = \frac{\sum_{i=1}^M B_i}{\sum_{i=1}^M I_i}.$$

en de gemiddelde inhoud als:

$$\bar{I} = \frac{\sum_{i=1}^M I_i}{M}.$$

De volgende meetmethoden zijn toegepast:

a) Een ringvormige straat werd geprogrammeerd waarbij cel 1 grensde aan cel M en welke na te zijn gevuld met een bepaalde inhoud aan zich zelf werd overgelaten. Het feit echter dat het werkelijke tijdsverschil tussen het verplaatsen van  $B_{i=1}$  en  $B_{i=M}$  nul is en in de simulatie niet, geeft aanleiding tot een verstoring van het proces van verplaatsing tussen cel 1 en cel M. In het algemeen leidt deze methode tot te lage waarden voor  $V'$ .

b) Een rechte straat werd gesimuleerd. De gewenste invoer werd ingesteld met een Poissongenerator, terwijl de uitvoer onbelemmerd kon plaatsvinden. Het bleek echter dat de gemeten snelheid te hoog was, omdat vanaf het einde der straat steeds meer voertuigen zich op volle snelheid gingen voortbewegen vanwege het wegvallen van de weerstand bij de uitgang.

c) Van een rechte straat wordt zowel de invoer als de uitvoer van voertuigen geregeld op de volgende manier: de gemiddelde invoer wordt ingesteld en de uitvoer is na  $M * \Delta t$  sec. gelijk aan die momentane invoer. Men kan een straat beschouwen als zijnde gevuld met een gedeelte gestopte voertuigen en met een gedeelte dat zich voortbeweegt op maximale snelheid. De invoer komt op maximale snelheid binnen en behoort in de straat tot het gedeelte voertuigen met  $V' = 1$ . Na  $M * \Delta t$  sec. kan men deze invoer dus als uitvoer verwachten. Op deze manier ligt het hele transport aan banden, we moeten er echter rekening mee houden dat de gewenste in- en uitvoer op een bepaald ogenblik niet gerealiseerd kan worden, ook hiervoor worden buffers ingebouwd die het te veel of te weinig uitsmeren over meerdere iteraties. Deze cellen heten poolcellen en op deze manier is uiteindelijk het straatmodel beproefd.

Programma 1.

Eerst is de juistheid van de bij het ontwerpen van het model gebruikte veronderstellingen onderzocht.

Toegepast werden achtereenvolgens :

a) formules 7b en 9 c.

b) formule 9c en voor  $B'$  de volgende kwadratische betrekking:

$$B_i' = C_3 * I_i^2 + C_4 * I_i + C_5$$

- met
- a)  $B_i' = A$  als  $I_i = I_0$ .
  - b)  $B_i' = I_1$  als  $I_i = I_1$ .
  - c)  $\frac{dB_i'}{dI_i} = 1$  als  $I_i = I_1$ .

men vindt dan

10.....

$$B_i' = \frac{(A - I_0)}{(I_0 - I_1)^2} * I_i^2 + \left\{ 1 - \frac{2 * I_1 * (A - I_0)}{(I_0 - I_1)^2} \right\} I_i + \frac{I_1^2 (A - I_0)}{(I_0 - I_1)^2}$$

c) formule 7b en voor  $I_{i,max}$  de volgende kwadratische betrekking:

$$I_{i,max} = C_6 * B_i^2 + C_7 * B_i + C_8$$

- met
- a)  $I_{i,max} = I_1$  als  $B_i = I_1$ .
  - b)  $I_{i,max} = I_0$  als  $B_i = 0$ .
  - c)  $\frac{dI_{i,max}}{dB_i} = 0$  als  $B_i = 0$ .

men vindt dan

11.....

$$I_{i,max} = I_0 - \frac{(I_0 - I_1) * B_i^2}{I_1^2}$$

d) formules 10 en 11.

Vergelijkt men de grafieken van a) en b)\* dan vindt men weinig verschil, wel is er een afwijking van de theoretisch te verwachten kromme. De krommes van c) en d) zijn ook vrijwel gelijk op een grotere spreiding na in geval d). Vergelijkt men a) en b) met c) en d) dan is het duidelijk dat bij c) en d) de afwijking van de theoretische kromme het kleinst zijn. Omdat bovendien de spreiding in het geval c) het geringst is lijkt het verstandig in het vervolg met de volgende formules te werken:

$$B_c' = \frac{-(I_1 - A)}{I_0 - I_1} * I_c + \frac{(I_0 - A)}{I_0 - I_1} * I_1'$$

$$I_{i\max} = I_0 - \frac{(I_0 - I_1)}{I_1^2} * B_c'^2$$

De spreiding is in dat geval juist niet voldoende om de afwijking van de ideale kromme te zien als een toevallig verschijnsel. We hebben dus nog een systematische fout van ongeveer 10%. Ook is met behulp van de onder c) gevonden resultaten de grafiek van de capaciteit als functie van de snelheid uitgezet. Men ziet ook hier een afwijking van de verwachte kromme van maximaal 10%.

Programma 2.

Gesteld is reeds dat de invloed van bochten en andere capaciteits-verminderende factoren ingebouwd moet worden. Dit is gedaan door de invoering van een snelheidsconstante welke per cel aangeeft waarmee men de uiteindelijk gevonden  $B_c$  moet vermenigvuldigen om het werkelijk verplaatste aantal voertuigen te vinden. In het geval van ideale omstandigheden is deze constante.

\* Zie blz. 40 e.v.

gelijk aan 1.0, in alle andere gevallen gelijk aan het percentage waarmee men de ideale maximum snelheid moet vermenigvuldigen om de werkelijke te vinden. In de grafieken ziet men de celinhoud en de capaciteit uitgezet als functie van de relatieve snelheid. Ook hier ziet men een systematische afwijking welke steeds de gemeten kromme lager doet uitkomen dan de gewenste.

### Programma 3.

In dit geval is onderzocht of ook voor andere waarden van  $I_0$ ,  $I_1$  en  $A$  het model voldoet, wat er op neerkomt dat we een andere weg onderzoeken. Het blijkt dat de systematische afwijking blijft, verder is er geen groot verschil met het voorgaande. De gekozen waarden zijn:  $I_0 = 1.1$ ,  $I_1 = 0.6$  en  $A = 0.3$ , wat de waarden zijn welke behoren bij een straat met een rijbaan. (zie Korte)

### Programma 4.

Hier zijn andere waarden voor de iteratietijd gekozen, respectievelijk 2 en 3 sec. Men moet ook nu andere waarden voor de constanten gebruiken, de resultaten geven geen noemenswaardig verschil te zien met de voorgaande simulaties. Het voordeel is echter dat men minder machinetijd nodig heeft. Dit heeft twee oorzaken: in de eerste plaats neemt het aantal iteraties af en ten tweede neemt het aantal cellen af, wat de machinetijd dus ongeveer kwadratisch doet afnemen bij toenemende lengte van de iteratietijd.



Conclusies:

- 1) Met een systematische fout van minder dan 10% is het met bovenstaand model mogelijk het verkeer in een straat te simuleren.
- 2) Bochten, snelheidsbeperkingen, en dergelijke kunnen per cel worden aangegeven door het gebruik van de snelheidsconstante.
- 3) Het model geldt voor meerdere straatbreedtes.
- 4) Vergroting van  $\Delta t$  heeft geen nadelige invloed op de uitkomsten, een voordeel is juist dat men minder machinetijd nodig heeft.

Opmerkingen:

- 1) Het lijkt gerechtvaardigd om als kleinste voertuigeenheid 0.1 p.a.e. te kiezen. Echter op kruispunten betekent dat een verandering van de gemiddelde lengte en de gemiddelde frequentie van de "gaps" (de tijdruimtes tussen de voertuigen). Hierdoor zou men het karakter van het verkeer op een kruising veranderen.
- 2) Bij een langere iteratietijd behoort een grotere cellengte. Om echter de onnauwkeurigheid in de beschrijving van het netwerk niet te groot te maken kan men  $\Delta t$  niet te groot nemen. Voorlopig is daarom  $\Delta t = 1$  sec. gehouden.
- 3) Indien een straat verandert van breedte op een bepaalde plaats, moet men een splitsing aan brengen op die plaats in twee verschillende straten, waarbij de ene levert aan de andere.
- 4) Pas na zekere tijd zal het inschakelverschijnsel zijn verdwenen en een stabiel proces zal ontstaan. Daarom worden de karakteristieke waarden pas na enige tijd berekend.

```
C VERKEERSSIMULATIE,RELATIE TUSSEN L,D,V EN CNC.
C
C
C INVOER CONSTANTEN.
C
DIMENSION IH(32),MIH(31),CNC(30),CUPO(35),IVV(150)
1 FORMAT (13,13,13,13,14,14,13)
2 FORMAT (F5.1,13,13,F4.1)
56 FORMAT (13,12,F5.2,F5.2,F5.2,F5.2)
53 FORMAT (5H STOP)
ACCEPT TAPE 1,IS,IB,IAS,MNC,MITY,NITY,MN
C
C BEPALING BEGINVOORWAARDEN EN CONSTANTEN.
C
AIS=IS
AIB=IB
AIA=IAS
CC1=(AIA-AIB)/(AIS-AIB)
CC2=AIB*(AIS-AIA)/(AIS-AIB)
CC3=(AIS-AIB)/AIB
CC4=(AIA-AIS)/((AIS-AIB)**2)
CC5=-2.0*CC4*AIB+1.0
CC6=(AIB**2)*CC4
CC7=(AIS-AIB)/(AIB**2)
ANC=MNC
DO 48 N=1,MN
ACCEPT TAPE 2,GIT,IHB,MIHB,CNC(1)
D=EXP(GIT)
CUPO(1)=1./D
DO 903 I=2,35
IMIN=I-1
F=IMIN
CUPO(I)=CUPO(IMIN)*GIT/F
IF(CUPO(I)-.5E-06)907,907,903
903 CONTINUE
907 MAX=I-1
DO 904 I=2,MAX
IMIN=I-1
904 CUPO(I)=CUPO(IMIN)+CUPO(I)
DO 901 I=1,MAX
901 CUPO(I)=CUPO(I)+.5E-06
CUPO(MAX)=1.0
DO 48 L=1,4
DO 4 NC=1,MNC
IH(NC)=IHB
MIH(NC)=MIHB
4 CNC(NC)=CNC(1)
IH(MNC+1)=0
IH(MNC+2)=IB
IH#1=0
IHPU=0
SKWI=.0
SKWS=.0
STE1=.0
STES=.0
```

C  
C INVOER EN UITVOER VAN VOERTUIGEN.  
C

DO 57 ITY=1,MITY  
X=RAND(0.0)  
DO 31 I=1,MAX  
IF(X-CUPO(I))32,31,31  
31 CONTINUE  
32 ~~M=MNC~~+1  
IMI=IH(M+1)-IH(M)  
IF(IMI)66,66,67  
66 IAV=0  
IHPI=IHPI+I-1  
GO TO 69  
67 IF(IHPI+I-IMI-1)65,65,61  
65 IAV=IHPI+I-1  
IHPI=0  
GO TO 69  
61 IAV=IMI  
IHPI=IHPI+I-IMI-1  
69 IH(M)=IH(M)+IAV  
K=ITY+MNC  
IVV(K)=IAV  
IF(ITY-MNC)80,80,81  
80 IUV=GIT  
GO TO 82  
81 IUV=IVV(ITY)  
82 IF(IH(1)-IHPU-IUV)83,84,84  
83 IHPU=IHPU+IUV-IH(1)  
IUV=IH(1)  
IH(1)=0  
MIH(1)=IB  
GO TO 87  
84 IH(1)=IH(1)-IHPU-IUV  
IUV=IUV+IHPU  
IHPU=0  
85 NC=0  
IV=IUV  
GO TO 25  
87 MIH(MNC+1)=IB

C  
C STRAAT, TRANSPORT.  
C

ISV=0  
DO 26 NC=1,MNC  
IMI=MIH(NC)-IH(NC)  
IF(IMI)10,22,12  
10 MIH(NC)=IS  
22 IV=0  
11 MIH(NC+1)=IS  
GO TO 26  
12 IF(IS-MIH(NC+1))13,13,16  
13 IF(IAS-IH(NC+1))14,15,15  
14 IMU=IAS  
GO TO 18

```
15 IMU=IH(NC+1)
GO TO 18
16 IF(IB-IH(NC+1))17,17,15
17 AIH=IH(NC+1)
GO TO (63,64,63,64),L
63 IMU=AIH*CC1+CC2+.5
GO TO 18
64 IMU=CC4*(AIH**2)+CC5*AIH+CC6+.5
18 IF(IMU-IMI)19,19,20
19 AIMU=IMU
IV=AIMU*CNC(NC)+.5
GO TO 21
20 AIMI=IMI
IV=AIMI*CNC(NC)+.5
21 IH(NC)=IH(NC)+IV
ISV=ISV+IV
IH(NC+1)=IH(NC+1)-IV
IF(IS-IH(NC))11,11,23
23 IF(IH(NC+1))24,24,25
24 MIH(NC+1)=IB
GO TO 26
25 AIV=IV
GO TO (8,8,7,7),L
8 MIH(NC+1)=AIS-AIV*CC3+.5
GO TO 86
7 MIH(NC+1)=AIS-(AIV**2)*CC7+.5
86 IF(NC)87,87,26
26 CONTINUE
```

```
C
C STRAAT,BEREKENING POTENTIALAAL.
C
```

```
IH(MNC+2)=0
DO 44 KP=1,MNC
NC=MNC-KP+1
IF(IS-MIH(NC))38,38,39
38 IH(MNC+2)=IH(MNC+2)+IS-IH(NC)
GO TO 40
39 IF(MIH(NC)-IH(NC))40,44,43
43 IH(MNC+2)=IH(MNC+2)+MIH(NC)-IH(NC)
44 CONTINUE
40 IF(IB-IH(MNC+2))41,45,45
41 IH(MNC+2)=IB
```

```
C
C BEREKENING KARAKTERISTIEKE WAARDEN EN HUN UITVOER.
C
```

```
45 IF(ITY-NITY)57,57,42
42 IVN=0
DO 36 NC=1,MNC
36 IVN=IVN+IH(NC)
AIVN=IVN
GINH=AIVN/(10.*ANC)
AISV=ISV
GRSN=AISV/AIVN
SKWI=SKWI+GINH**2
STEI=STEI+GINH
```

```
SKWS=SKWS+GRSN**2
STES=STES+GRSN
57 CONTINUE
TE=MITY-NITY
GEMI=STE1/TE
SPRI=SQRT((SKWI-(STE1**2)/TE)/(TE-1.0))
GEMS=STES/TE
48 SPRS=SQRT((SKWS-(STES**2)/TE)/(TE-1.0))
PUNCH TAPE 56,N,L,GEMI,SPRI,GEMS,SPRS
PRINT 53
END
```

21	11	06	10	080	020	10
11.	00	11	11	1.0		
10.	00	12	12	1.0		
10.	00	13	13	1.0		
09.	00	14	14	1.0		
08.	00	15	15	1.0		
07.	00	16	16	1.0		
06.	00	17	17	1.0		
05.	00	18	18	1.0		
04.	00	19	19	1.0		
03.	00	20	20	1.0		



```
C VERKEERSSIMULATIE,RELATIE TUSSEN L,D,V EN CNC.
C
C
C INVOER CONSTANTEN.
C
DIMENSION IH(32),MIH(31),CNC(30),CUPO(35),IVV(150)
1 FORMAT (13,13,13,13,14,14,13,12)
2 FORMAT (F5.1,13,13,F4.1)
56 FORMAT (13,F5.2,F5.2,F5.2,F5.2)
53 ACCEPT TAPE 1,IS,IB,IAS,MNC,MITY,NITY,MN,LM
C
C BEPALING BEGINVOORWAARDEN EN CONSTANTEN.
C
AIS=IS
AIB=IB
AIA=IAS
CC1=(AIA-AIB)/(AIS-AIB)
CC2=AIB*(AIS-AIA)/(AIS-AIB)
CC3=(AIS-AIB)/(AIB**2)
ANC=MNC
DO 48 N=1,MN
ACCEPT TAPE 2,GIT,IHB,MIHB,CNC(1)
A=GIT
B=EXP(GIT)
J=GIT
CUPO(1)=1./B
DO 903 I=2,50
IMIN=I-1
CUPO(I)=A/B+CUPO(IMIN)
IF (J-1) 904,905,905
904 IF (CUPO(I)-CUPO(IMIN)-.5E-02) 906,906,905
905 C=1
A=A*GIT/C
903 CONTINUE
906 MAX=I-1
CUPO(MAX)=1.
DO 4 NC=1,MNC
IH(NC)=IHB
MIH(NC)=MIHB
4 CNC(NC)=CNC(1)
IH(MNC+1)=0
IH(MNC+2)=IB
IHPI=0
IHPU=0
SKWI=.0
SKWS=.0
STEI=.0
STES=.0
C
C INVOER EN UITVOER VAN VOERTUIGEN.
C
DO 57 ITY=1,MITY
DO 3 L=1,LM
3 X=RAND(0.0)
DO 31 I=1,MAX
```



```
IF(X-CUPO(1))32,31,31
31 CONTINUE
32 M=MNC+1
   IMI=IH(M+1)-IH(M)
   IF(IMI)66,66,67
66 IAV=0
   IHPI=IHPI+I-1
   GO TO 69
67 IF(IHPI+I-IMI-1)65,65,61
65 IAV=IHPI+I-1
   IHPI=0
   GO TO 69
61 IAV=IMI
   IHPI=IHPI+I-IMI-1
69 IH(M)=IH(M)+IAV
   K=ITY+MNC
   IVV(K)=IAV
   IF(ITY-MNC)80,80,81
80 IUV=GIT
   GO TO 82
81 IUV=IVV(ITY)
82 IF(IH(1)-IHPU-IUV)83,84,84
83 IHPU=IHPU+IUV-IH(1)
   IUV=IH(1)
   IH(1)=0
   MIH(1)=IB
   GO TO 87
84 IH(1)=IH(1)-IHPU-IUV
   IUV=IUV+IHPU
   IHPU=0
85 NC=0
   IV=IUV
   GO TO 25
87 MIH(MNC+1)=IB
C
C STRAAT, TRANSPORT.
C
   ISV=0
   DO 26 NC=1, MNC
   IMI=MIH(NC)-IH(NC)
   IF(IMI)10,22,12
10 MIH(NC)=IS
22 IV=0
11 MIH(NC+1)=IS
   GO TO 26
12 IF(IS-MIH(NC+1))13,13,16
13 IF(IAS-IH(NC+1))14,15,15
14 IMU=IAS
   GO TO 18
15 IMU=IH(NC+1)
   GO TO 18
16 IF(IB-IH(NC+1))17,17,15
17 AIH=IH(NC+1)
   IMU=AIH*CC1+CC2+.5
18 IF(IMU-IMI)19,19,20
```

```
19  AIMU=IMU
    IV=AIMU*CNC(NC)+.5
    GO TO 21
20  AIMI=IMI
    IV=AIMI*CNC(NC)+.5
21  IH(NC)=IH(NC)+IV
    ISV=ISV+IV
    IH(NC+1)=IH(NC+1)-IV
    IF (IS-IH(NC)) 11,11,23
23  IF (IH(NC+1)) 24,24,25
24  MIH(NC+1)=IB
    GO TO 26
25  AIV=IV
    MIH(NC+1)=AIS-(AIV**2)*CC3+.5
    IF(NC) 87,87,26
26  CONTINUE
C
C  STRAAT,BEREKENING POTENTIAL.
C
    IH(MNC+2)=0
    DO 44 KP=1,MNC
    NC=MNC-KP+1
    IF (IS-MIH(NC)) 38,38,39
38  IH(MNC+2)=IH(MNC+2)+IS-IH(NC)
    GO TO 40
39  IF (MIH(NC)-IH(NC)) 40,44,43
43  IH(MNC+2)=IH(MNC+2)+MIH(NC)-IH(NC)
44  CONTINUE
40  IF (IB-IH(MNC+2)) 41,45,45
41  IH(MNC+2)=IB
C
C  BEREKENING KARAKTERISTIEKE WAARDEN EN HUN UITVOER.
C
45  IF (ITY-NITY) 57,57,42
42  IVN=0
    DO 36 NC=1,MNC
36  IVN=IVN+IH(NC)
    AIVN=IVN
    GINH=AIVN/(10.*ANC)
    AISV=ISV
    GRSN=AISV/AIVN
    SKWI=SKWI+GINH**2
    STEI=STEI+GINH
    SKWS=SKWS+GRSN**2
    STES=STES+GRSN
57  CONTINUE
    TE=MITY-NITY
    GEMI=STEI/TE
    SPRI=SQRT((SKWI-(STEI**2)/TE)/(TE-1.0))
    GEMS=STES/TE
    SPRS=SQRT((SKWS-(STES**2)/TE)/(TE-1.0))
48  PUNCH TAPE 56,N,GEMI,SPRI,GEMS,SPRS
    PAUSE
    GO TO 53
    END
```



1	1.08	.00	.83	.00
2	1.06	.00	.66	.00
3	1.03	.00	.38	.00
4	1.14	.00	.78	.00
5	1.11	.00	.63	.00
6	1.12	.00	.35	.00
7	1.27	.00	.62	.00
8	1.25	.00	.48	.00
9	1.21	.00	.33	.00
10	1.42	.00	.49	.00
11	1.40	.00	.35	.00
12	1.29	.00	.31	.00
13	1.42	.00	.49	.00
14	1.40	.00	.35	.00
15	1.39	.00	.28	.00
16	1.46	.00	.47	.00
17	1.48	.00	.33	.00
18	1.39	.00	.28	.00
19	1.64	.01	.36	.00
20	1.54	.00	.32	.00
21	1.44	.00	.13	.00
22	1.77	.01	.29	.01
23	1.66	.02	.25	.01
24	1.63	.00	.12	.00
25	1.89	.04	.18	.04
26	1.83	.06	.15	.04
27	1.78	.00	.11	.00
28	1.98	.02	.09	.01
29	1.96	.02	.08	.02
30	1.88	.00	.05	.01

11 06 03 10 080 020 05  
06.0 06 06 1.0  
05.6 07 07 1.0  
04.8 08 08 1.0  
03.6 09 09 1.0  
02.0 10 10 1.0

1	.52	.04	1.00	.00
2	.71	.00	.70	.00
3	.83	.01	.47	.01
4	.92	.02	.35	.03
5	1.01	.03	.22	.06

42	22	12	05	040	010	10	2
22.0	22	22	1.0				
21.6	24	24	1.0				
20.8	26	26	1.0				
19.6	28	28	1.0				
18.0	30	30	1.0				
16.0	32	32	1.0				
13.6	34	34	1.0				
10.8	36	36	1.0				
07.6	38	38	1.0				
04.0	40	40	1.0				

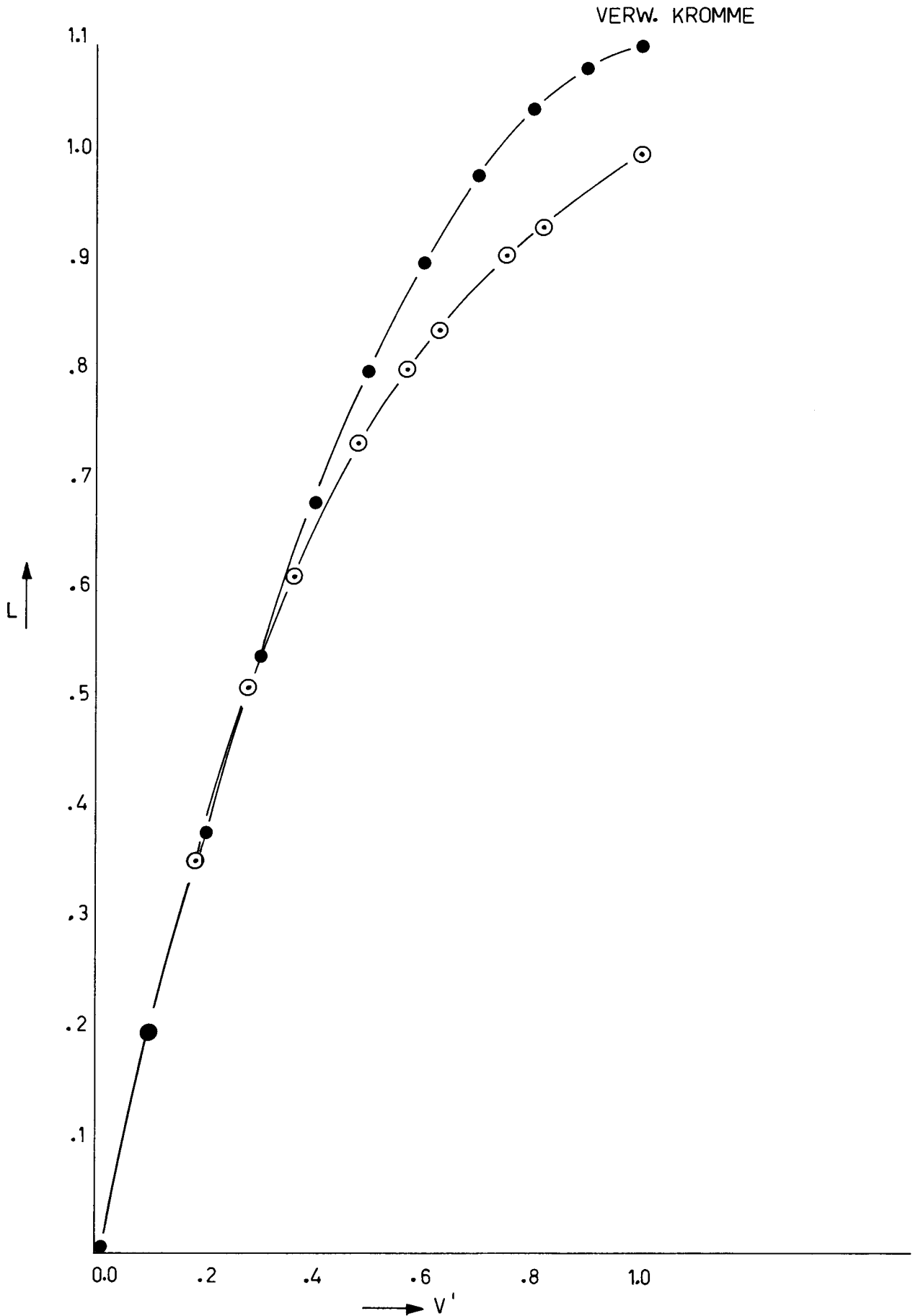
1	1.87	.18	1.00	.00
2	1.09	.06	.85	.04
3	2.30	.09	.74	.04
4	2.54	.10	.64	.05
5	2.74	.10	.56	.04
6	3.01	.15	.46	.05
7	3.31	.07	.36	.02
8	3.58	.11	.28	.03
9	3.82	.06	.19	.01
10	4.01	.08	.10	.03



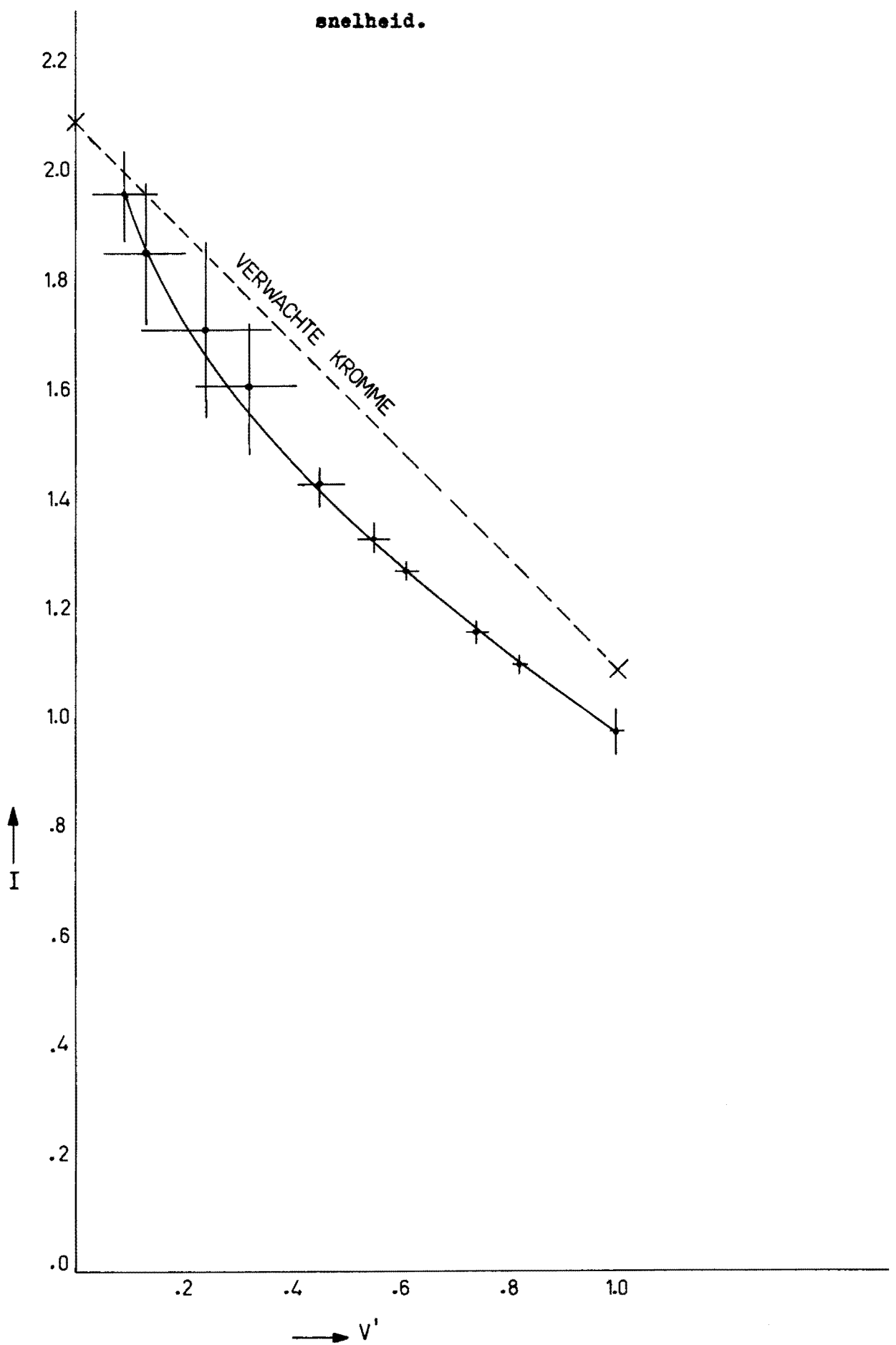
63	33	18	03	027	007	10	3
33.0	33	33	1.0				
32.4	36	36	1.0				
31.2	39	39	1.0				
29.4	42	42	1.0				
27.0	45	45	1.0				
24.0	48	48	1.0				
20.4	51	51	1.0				
16.2	54	54	1.0				
11.4	57	57	1.0				
06.0	60	60	1.0				

1	2.64	.51	1.00	.00
2	2.90	.17	.86	.03
3	3.21	.16	.75	.08
4	3.56	.29	.63	.08
5	3.93	.31	.54	.07
6	4.40	.35	.45	.07
7	4.84	.25	.36	.05
8	5.21	.19	.27	.03
9	5.64	.05	.18	.01
10	5.93	.12	.08	.01

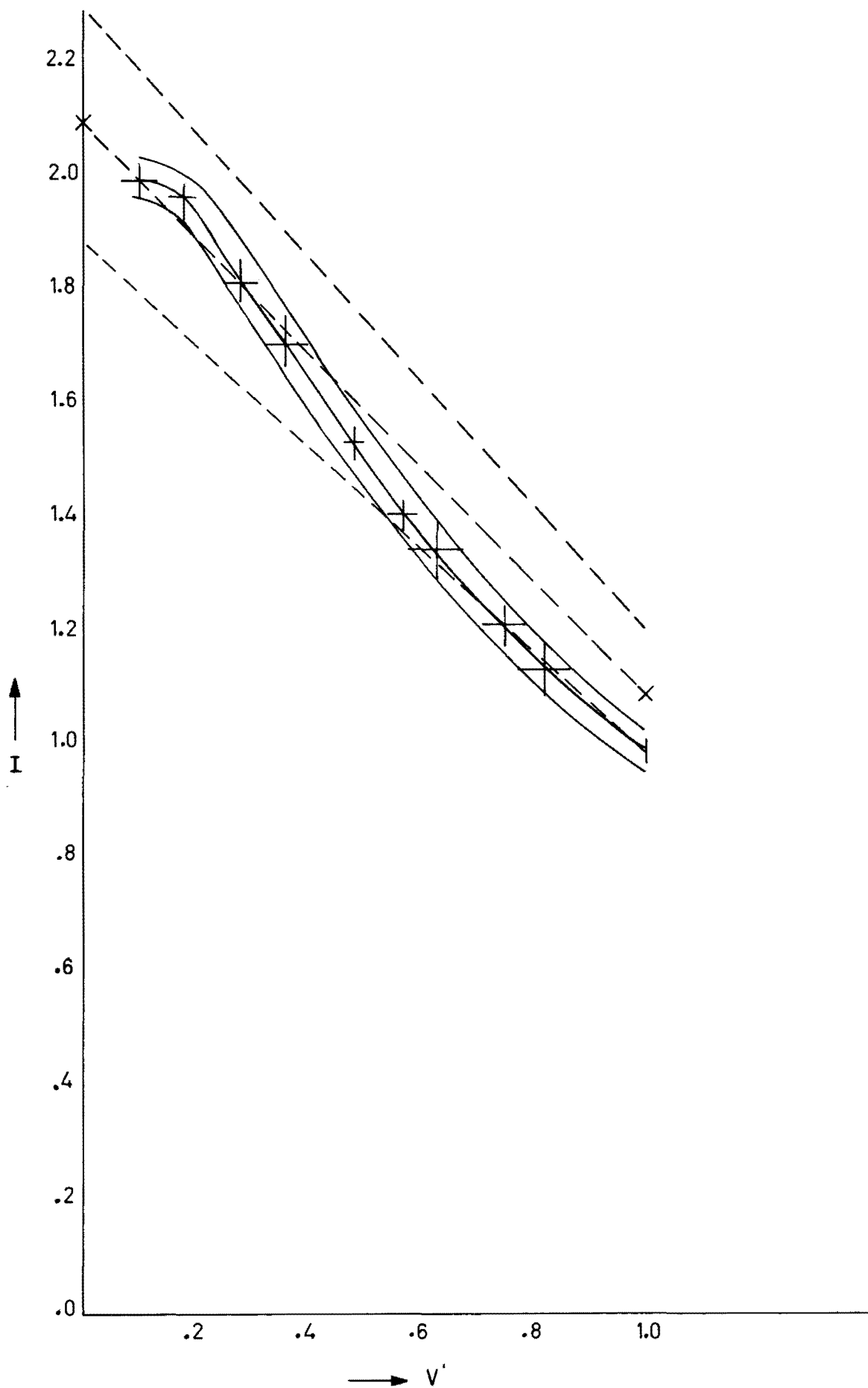
Programma 1. De capaciteit als functie van de relatieve snelheid.



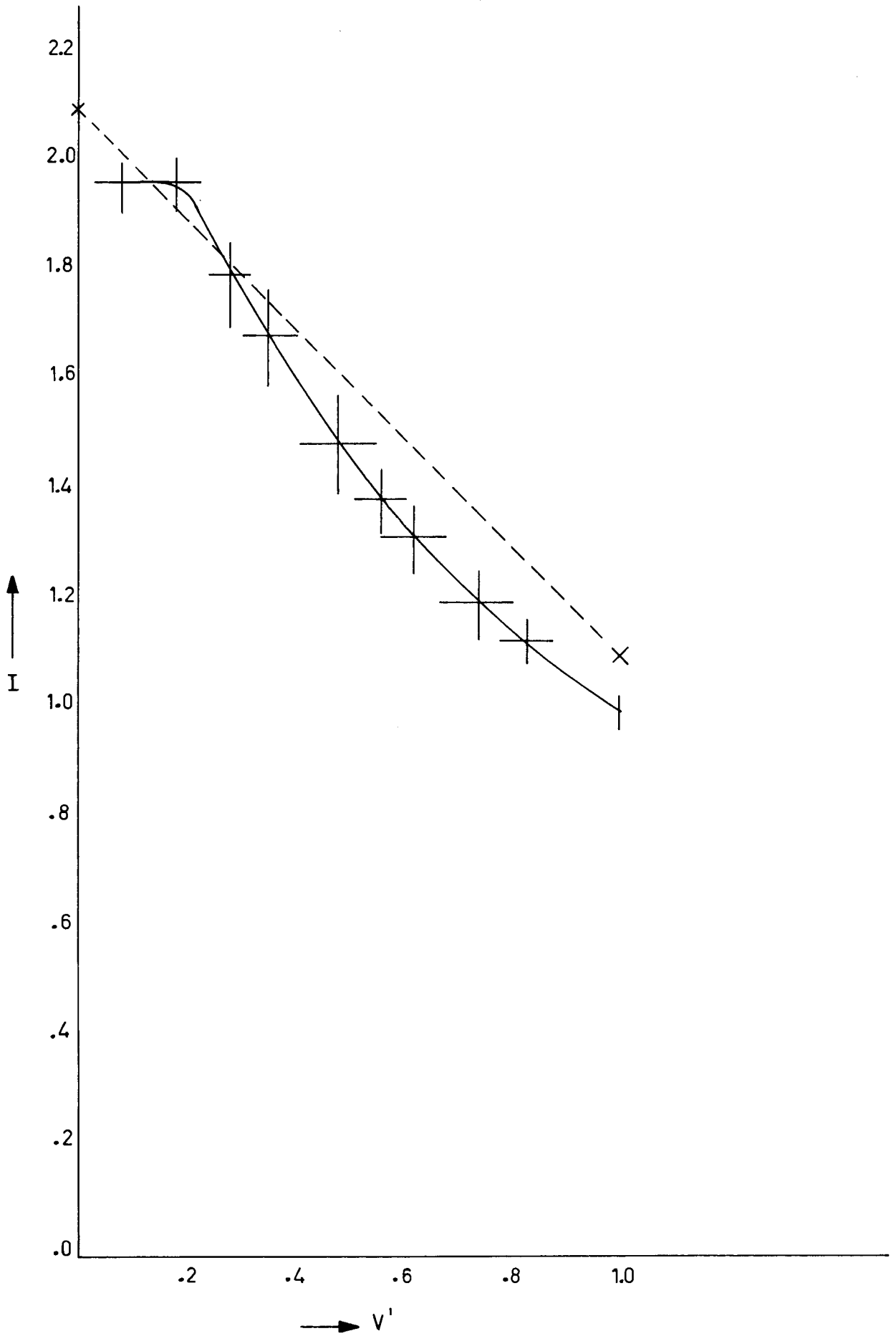
Programma 1, a en b. Het verband tussen celinhoud en relatieve snelheid.



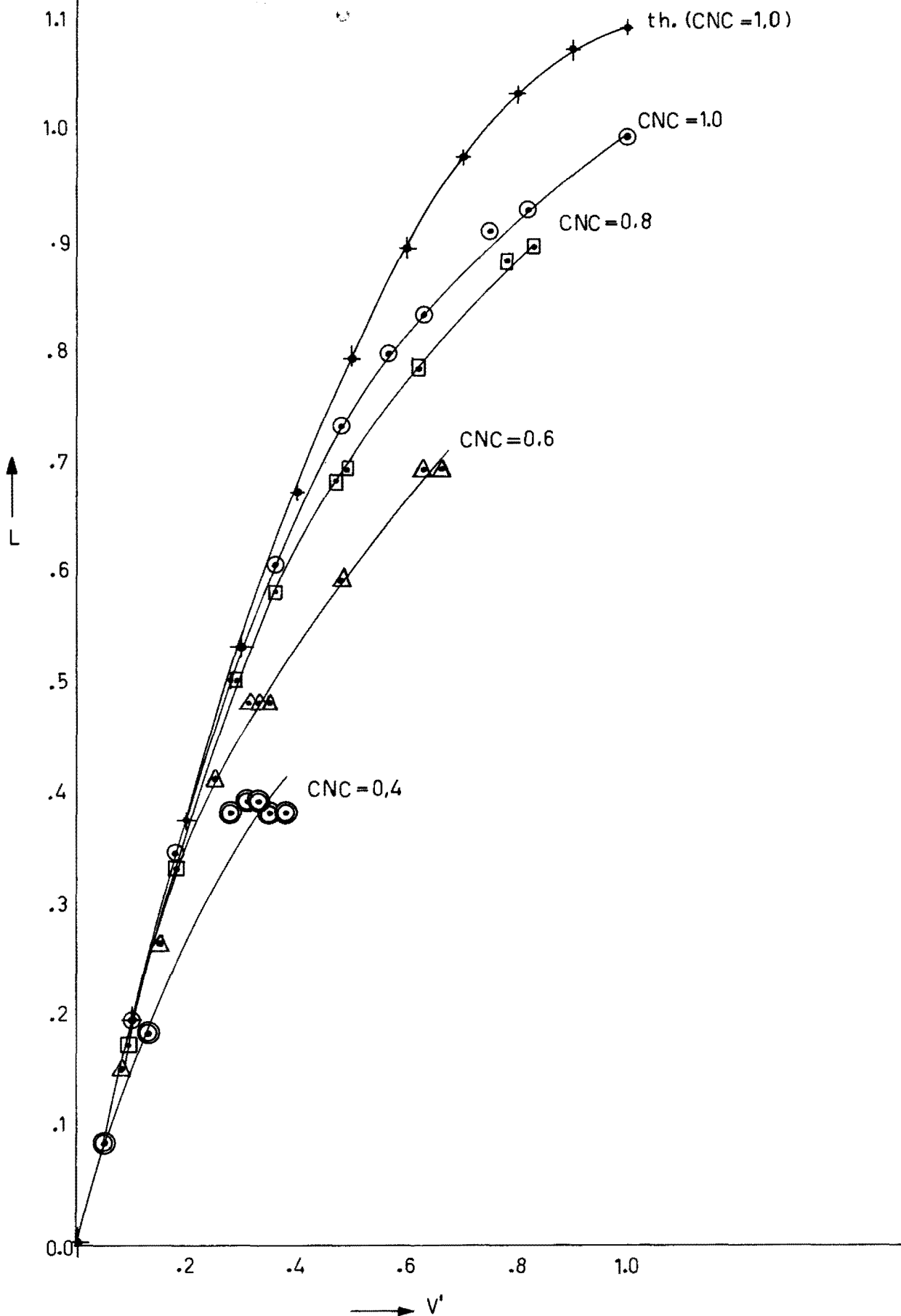
Programma 1, c. Het verband tussen celinhoud en relatieve snelheid.



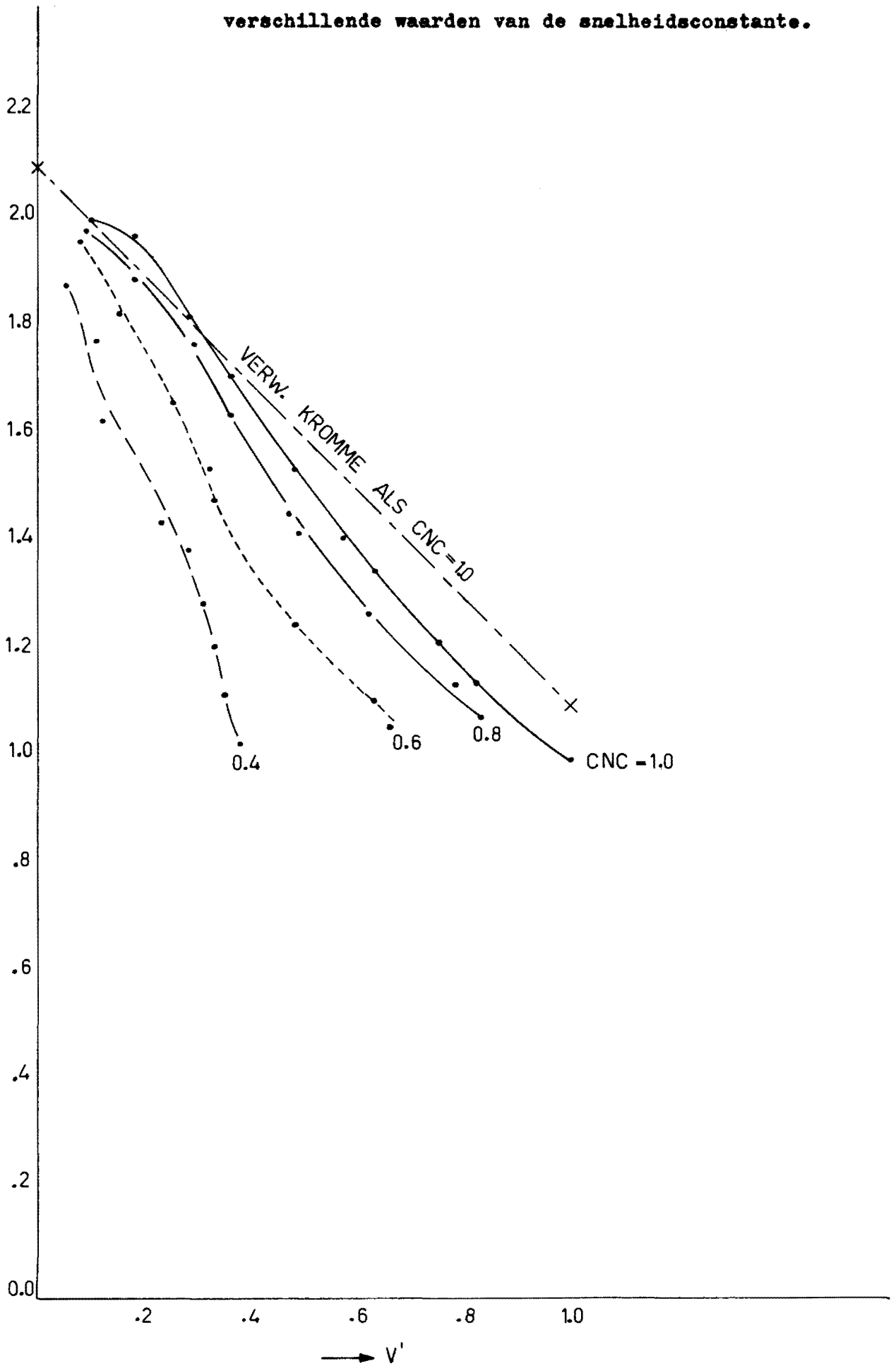
Programma 4, d. Het verband tussen celinhoud en relatieve snelheid.



Programma 2. De capaciteit als functie van de relatieve snelheid bij verschillende waarden van de snelheidsconstante.

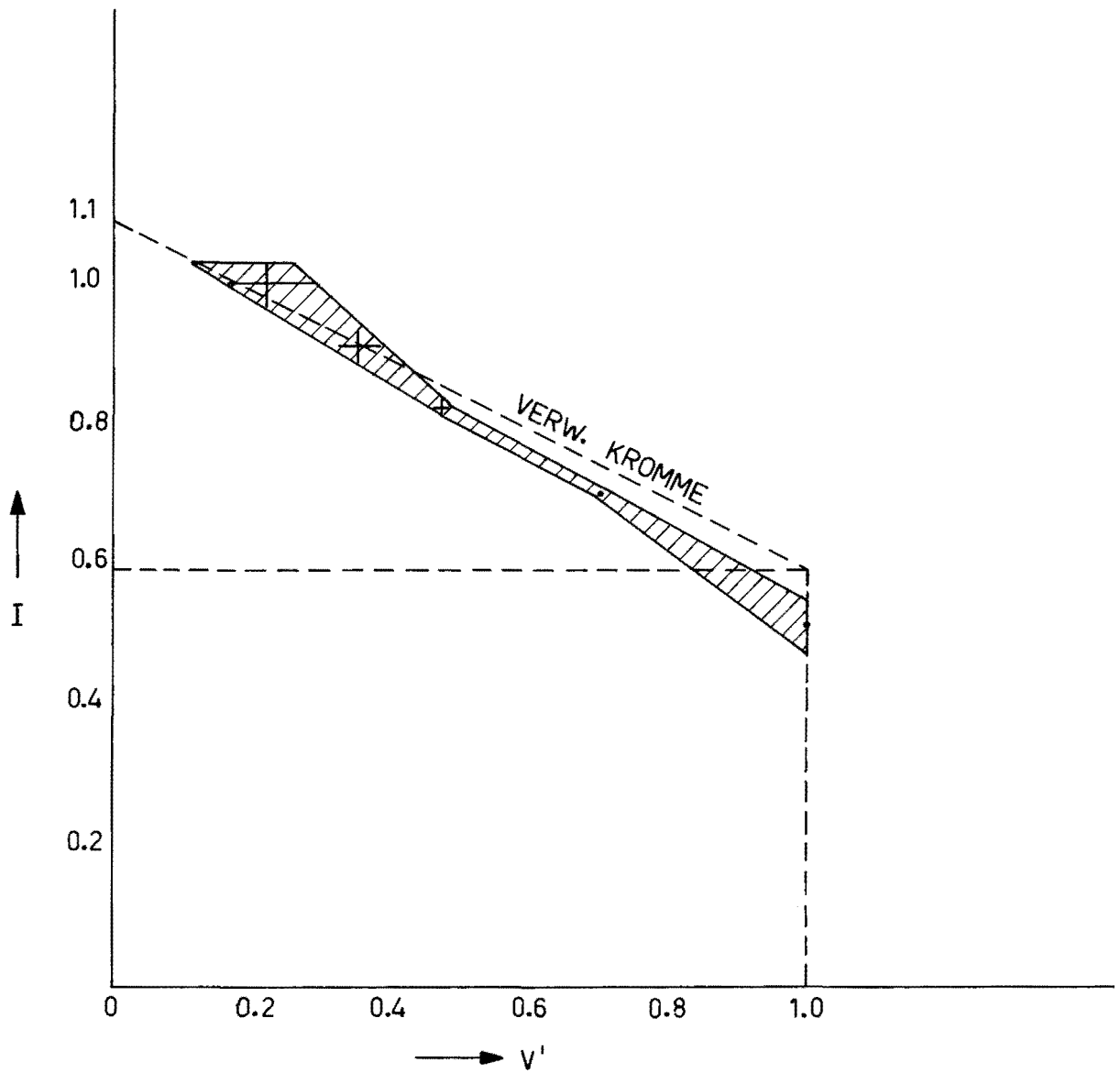


Programma 2, a. De celinhoud als functie van de relatieve snelheid bij verschillende waarden van de snelheidsconstante.

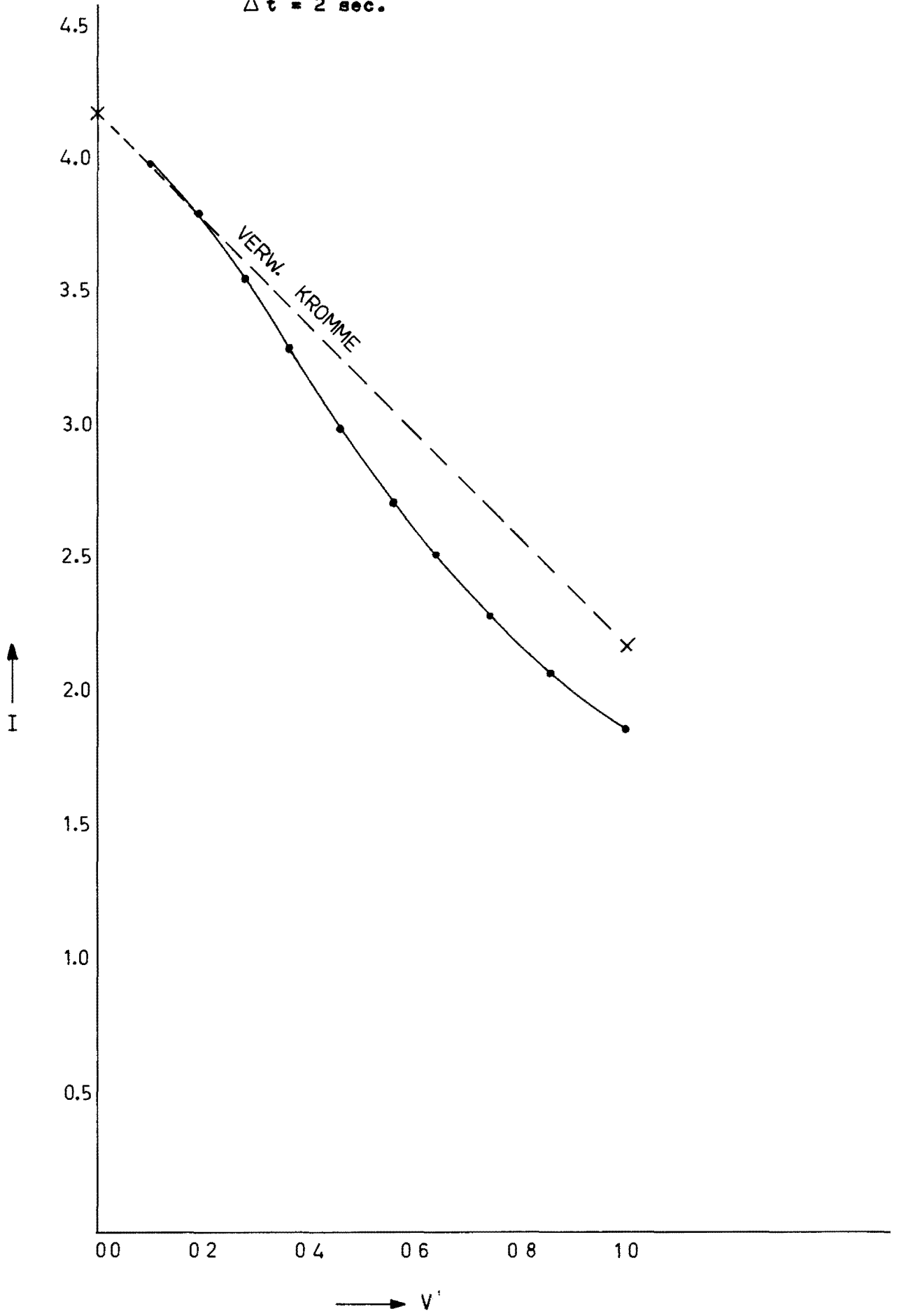




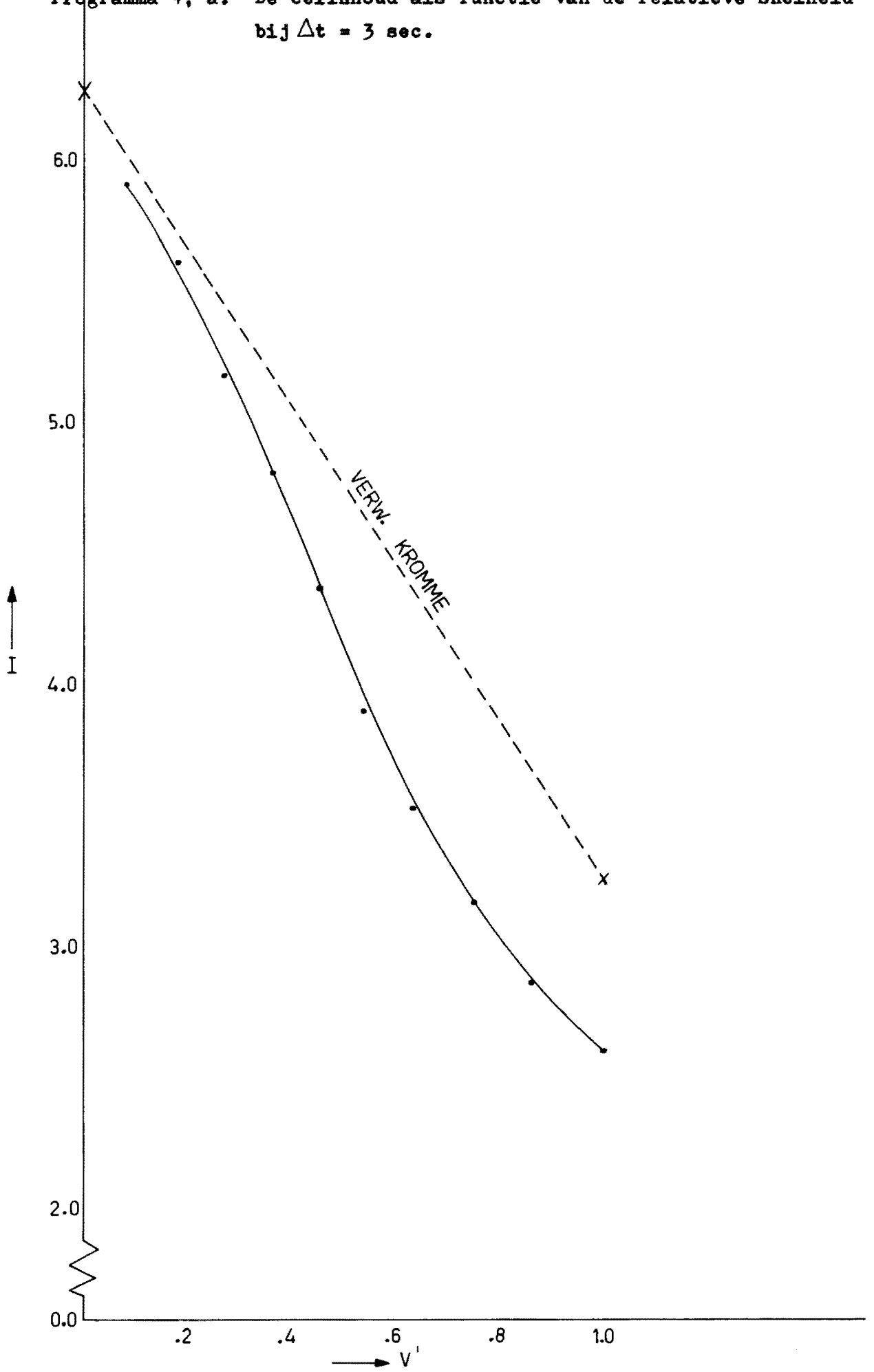
Programma 3. De celinhoud als functie van de relatieve snelheid.



Programma 4. De celinhoud als functie van de relatieve snelheid bij  $\Delta t = 2 \text{ sec.}$



Programma 4, a. De celinhoud als functie van de relatieve snelheid  
bij  $\Delta t = 3$  sec.



PERIFERIE.

Hieronder verstaat men dat gedeelte van het netwerk dat zorgt voor toevoer naar en afvoer van voertuigen uit het netwerk.

Aangenomen wordt dat alle invoer van voertuigen Poissonverdeeld is. De termen van de benodigde verdeling zijn steeds in het programma uitgerekend om het aantal invoergegevens te beperken. Voor een Poissonverdeling geldt de betrekking:

$$P(\lambda, i) = \frac{e^{-\lambda} * \lambda^i}{i!} \quad \text{met } i = 0, 1, 2, \dots$$
$$\text{dus } P(\lambda, i-1) = \frac{e^{-\lambda} * \lambda^{i-1}}{(i-1)!} \quad \text{en}$$
$$P(\lambda, i) = \frac{\lambda}{i} * P(\lambda, i-1).$$

Indien men de eerste term kent,  $P(\lambda, 0) = e^{-\lambda}$ , kan men alle andere termen vinden door steeds te vermenigvuldigen met  $\frac{\lambda}{i}$ . Bij de berekening van de termen is een bepaalde nauwkeurigheid  $\delta$  gewenst, dat wil zeggen als  $P(\lambda, i) \leq \delta$  stopt de berekening.

In het geval van programma 1 van de straitsimulatie is de bovenstaande methode toegepast. Echter voor grote  $\lambda$  zullen een of meer van de eerste termen reeds kleiner dan  $\delta$  zijn. Om in dat geval toch door te kunnen rekenen wordt de detectie  $P(\lambda, i) \leq \delta$  pas uitgevoerd indien de top van de verdeling is gepasseerd. Voor de andere programma's is daarom een andere methode gevolgd, die in verband met de zeer kleine beginwaarden nauwkeuriger is.

$$P_{cum.}(\lambda, i) = \sum_{i=0}^i P(\lambda, i) = \text{cumulative Poisson-}$$

*verdeling.*

$$P_{cum.}(\lambda, i) = P_{cum.}(\lambda, i-1) + P(\lambda, i) =$$
$$P_{cum.}(\lambda, i-1) + e^{-\lambda} * \frac{\lambda^{i-1}}{(i-1)!} * \frac{\lambda}{i}.$$



Opnamecapaciteit =  $11 - 5 = 6$ , er willen er  $8 = 5 + 3$  in dus:

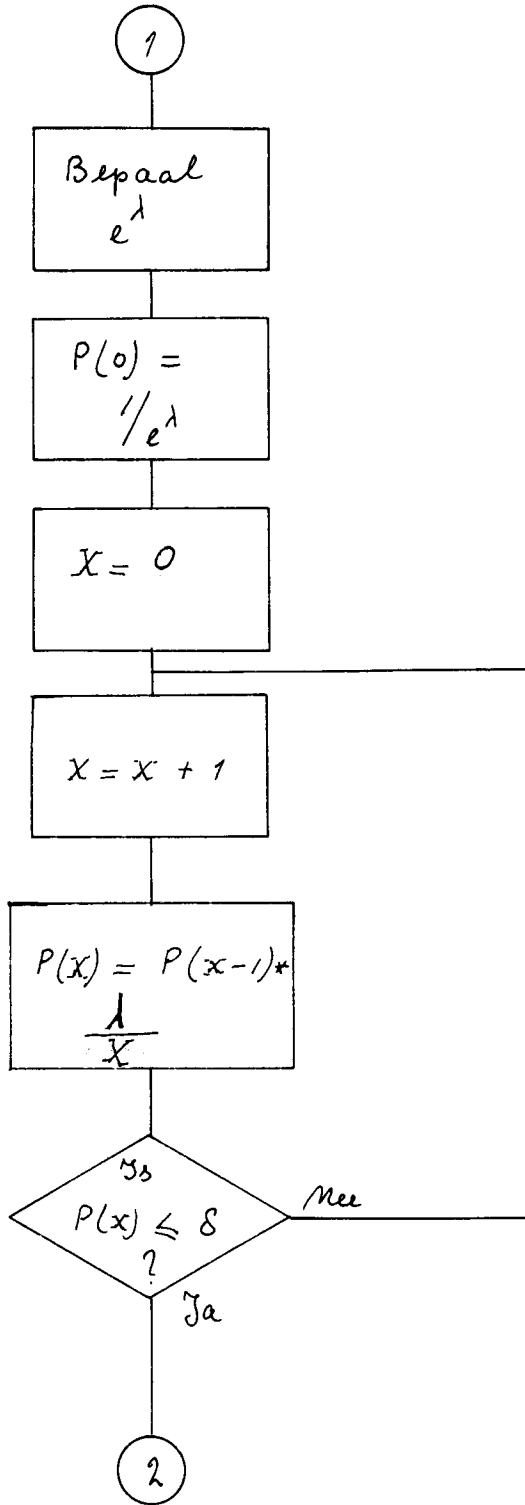
Inhoud poolcel = 2

Invoer = 6

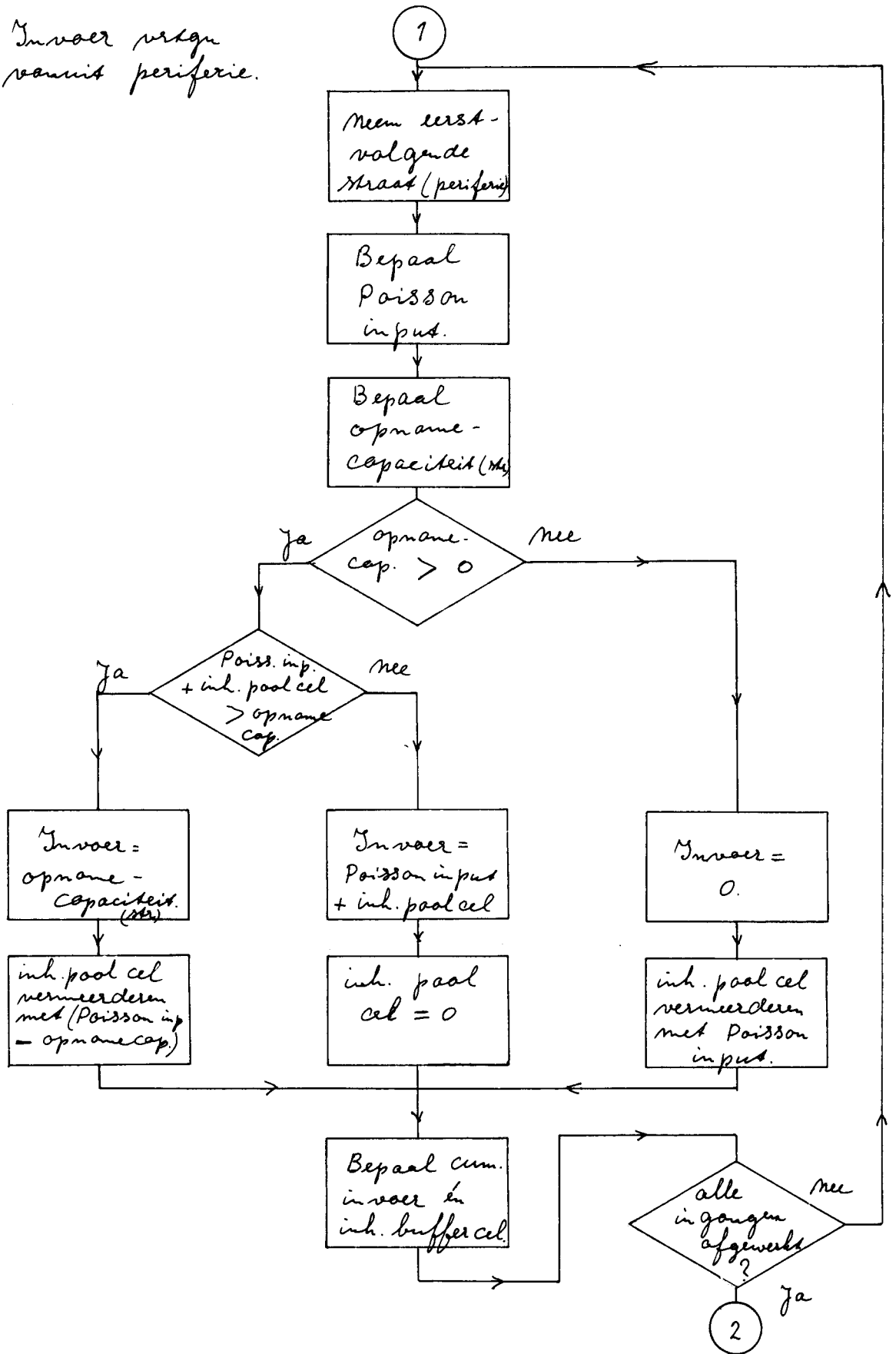
Inhoud buffercel = 11

Behalve bij de testprogramma's van de straatlogica zijn overal vrije uitgangen verondersteld. Het is dan echter wel noodzakelijk de periferie zover mogelijk verwijderd van het te simuleren netwerk te leggen.

Bepaling van een  
Poissonverdeling  
met gemiddelde  $\lambda$   
en nauwkeurigheid  
bepaald door  $\delta$ .

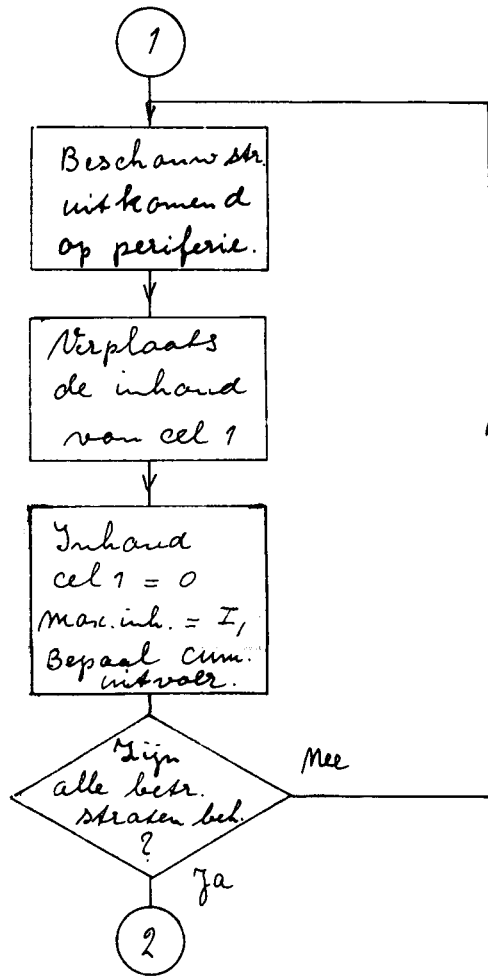


Invoer volgt vanuit periferie.





uitvoer vertgen  
naar periferie.



```
C   BEREKENING CUMULATIEVE POISSONVERDELING.
C
  DIMENSION CUPO(50)
907  FORMAT (F5.2)
902  FORMAT (F5.1)
900  ACCEPT TAPE 902,GIT
     A=GIT
     B=EXP(GIT)
     J=GIT
     CUPO(1)=1./B
     DO 903 I=2,50
       IMIN=I-1
       CUPO(I)=A/B+CUPO(IMIN)
       IF (J-I) 904,905,905
904  IF (CUPO(I)-CUPO(IMIN)-.5E-02) 906,906,905
905  C=I
     A=A*GIT/C
903  CONTINUE
906  MAX=I-1
     CUPO(MAX)=1.
     DO 901 I=1,MAX
       CUPO(I)=CUPO(I)+.5E-02
901  PUNCH TAPE 907, CUPO(I)
     PAUSE
     GO TO 900
     END
```

22.0  
33.0

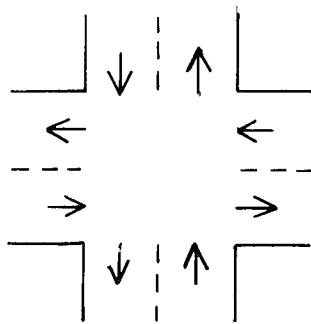
.00	.91	.00	.28
.00	.94	.00	.34
.00	.96	.00	.41
.00	.97	.00	.48
.00	.98	.00	.55
.00	1.00	.00	.61
.00		.00	.68
.00		.00	.73
.00		.00	.79
.00		.00	.83
.00		.00	.87
.01		.00	.90
.02		.00	.93
.03		.00	.95
.05		.00	.96
.08		.00	.97
.12		.00	.98
.17		.00	1.00
.23		.01	
.31		.01	
.39		.02	
.47		.03	
.56		.04	
.64		.06	
.71		.09	
.78		.13	
.83		.17	
.88		.22	

KRUISPUNT.

Inleiding.

We beschouwen slechts een kruispunt beveiligd met verkeerslichten.

Op een kruispunt kruisen straten elkaar, een kruispuntsubroutine koppelt dus meerdere straten. We spreken van in- en uitstraten, naargelang de voertuigen zich naar het kruispunt toe of er vanaf bewegen.

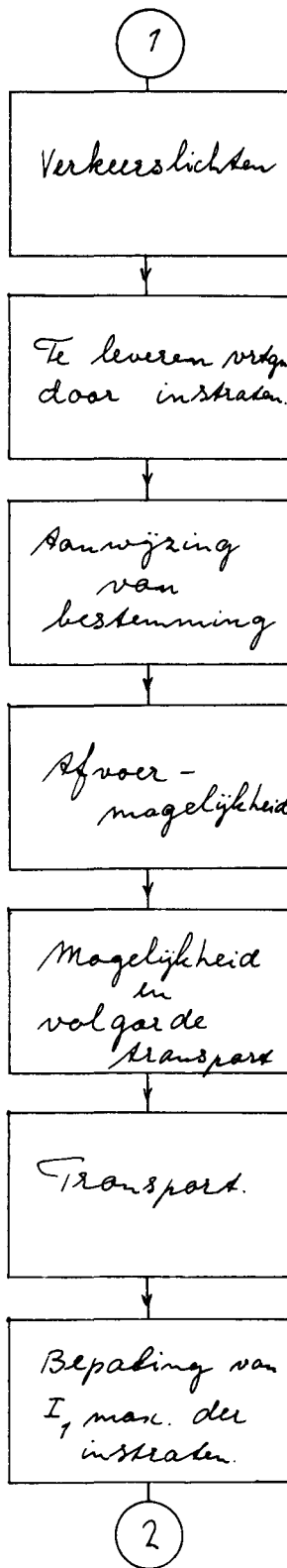


De besturing van de stromen van instraten naar uitstraten gebeurt met een verkeerslichtensubroutine. Uit het oogpunt van een macroscopische beschouwingwijze is het niet doenlijk om met een gesimuleerd kruisingsoppervlak te werken. Op dit oppervlak is het verkeer zeer gecompliceerd en moeilijk in een wetenschappelijk model te vatten.

Elk fazesysteem is in principe mogelijk, hier wordt een twee-fazensysteem toegepast. Het kruispuntprogramma moet bestemmingen kunnen aanwijzen en congesties kunnen doorgeven naar de instraten.

In de volgende tekening is schematisch een onderverdeling gegeven van het hele programma.

Overzicht van  
"Kruispunt"-programma.



Gebruikte model.

Verkeerslichten.

Een teller is ingebouwd welke na elke iteratie met 1 wordt verhoogd. Een fazeteller loopt synchroon met deze klok, wordt echter aan het begin van iedere cyclus op nul gezet. Uitgedrukt in standen van deze fazeteller zijn de schakeltijdstippen van de lichten. De kleur der lichten wordt gecodeerd met een getal: GROEN=2

GEEL =1

ROOD =0.

In principe is de regeling star, voor een flexibele regeling is een apart stuk logica vereist. Indien het licht juist op groen is gesprongen wordt het aantal wachtende voertuigen bepaald. Hoe het verkeer wordt afgewikkeld wordt in een volgend onderdeel besproken.

Aantal te leveren voertuigen door de instraten.

Bij de bepaling van de begin-voorwaarden behoort de instelling van bijvoorbeeld de maximale capaciteit en de keuze van in- en uitstraat combinatie.

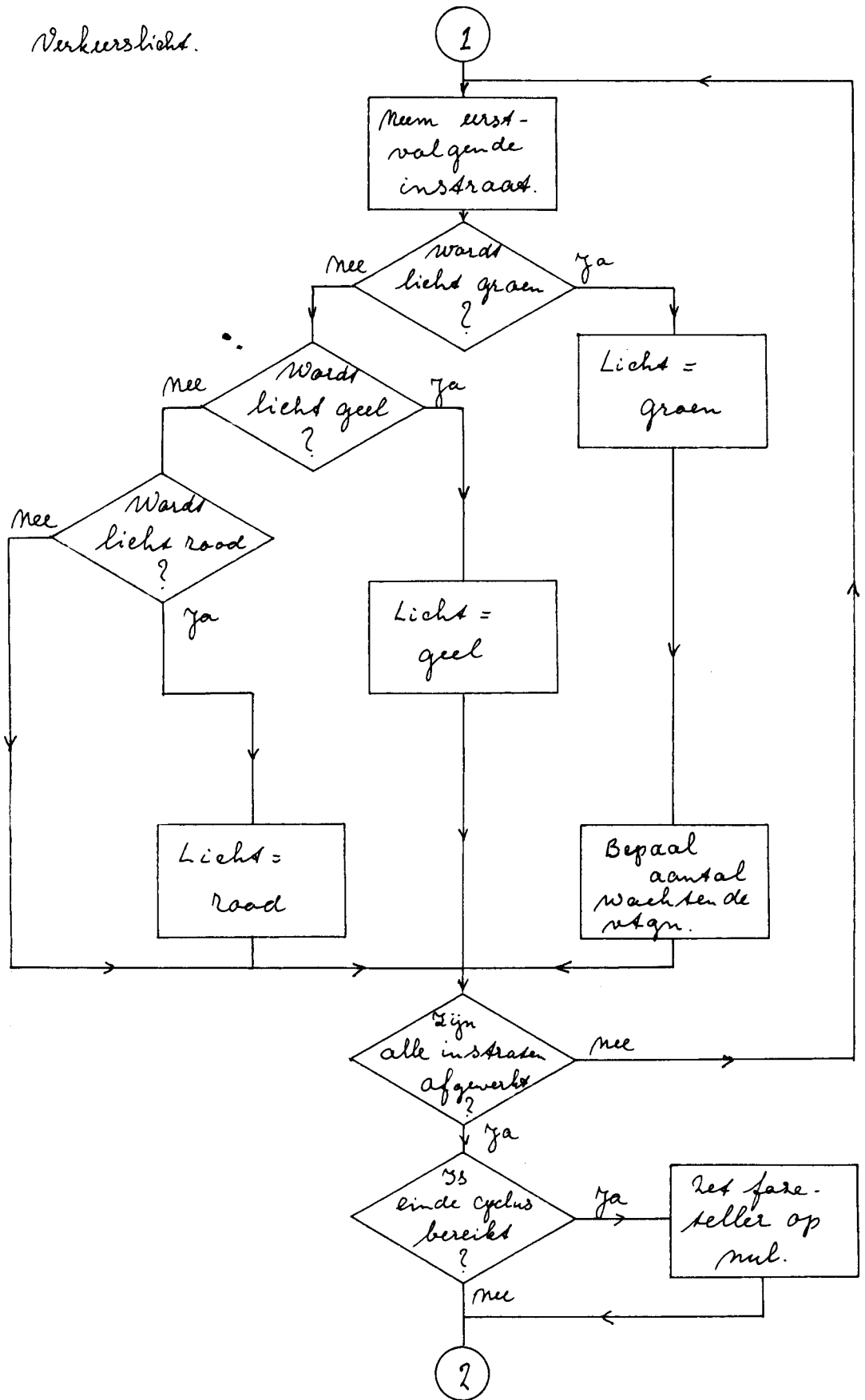
Is het licht groen dan wordt analoog aan de straatlogica bepaald hoeveel voertuigen uit de eerst cellen van de instraten kunnen vertrekken.

Indien de eerste cel gestopt was hebben we te maken met een optrekverschijnsel wat hier voor de nauwkeurigheid als functie van de tijd wordt beschreven. Het verkeersverloop in de geelfaze wordt hierna besproken.

Aanwijzen van een bestemming.

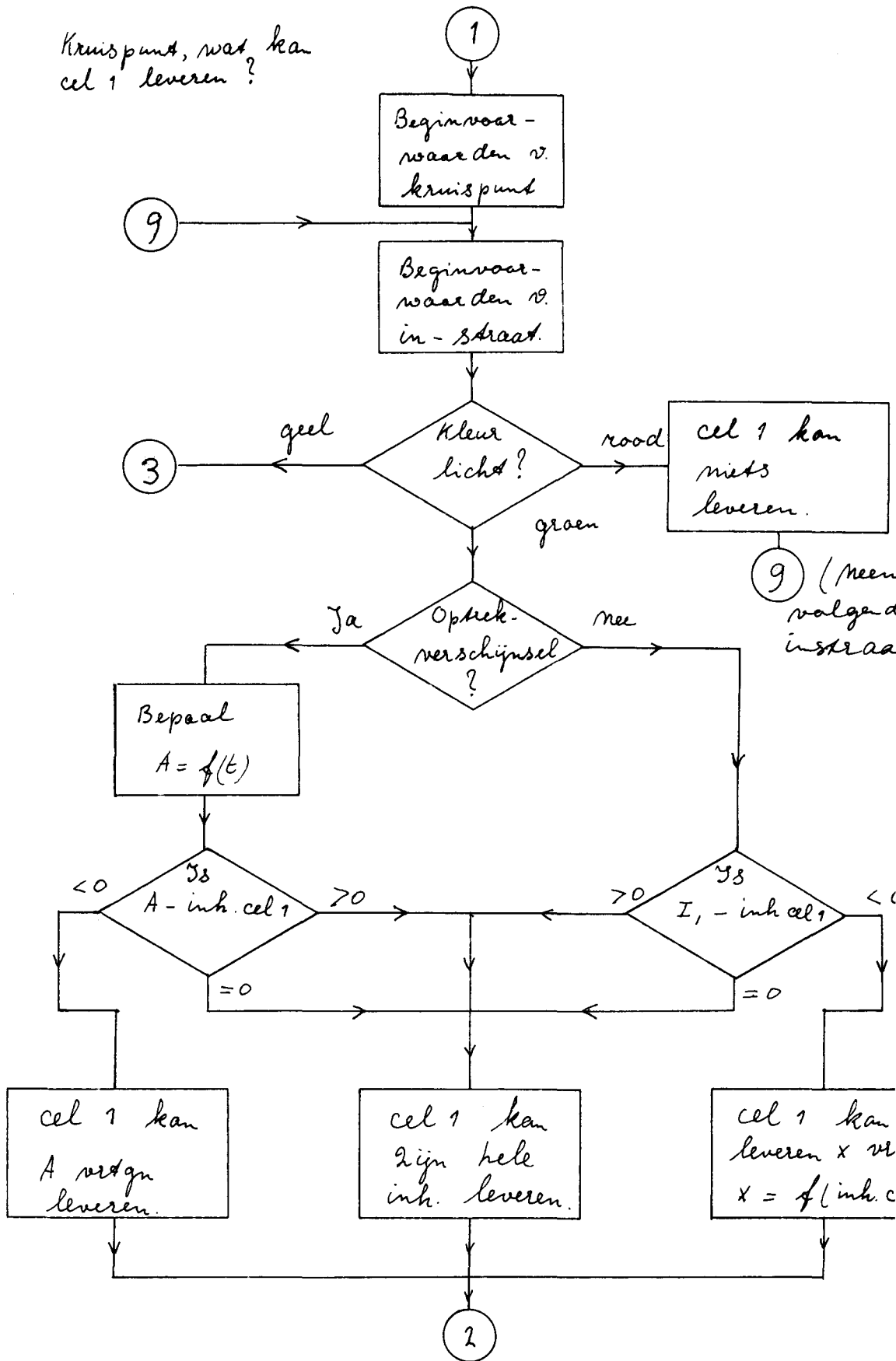
Van het hiervoor genoemde aantal voertuigen moet nog worden bepaald de

Verkeerslicht.

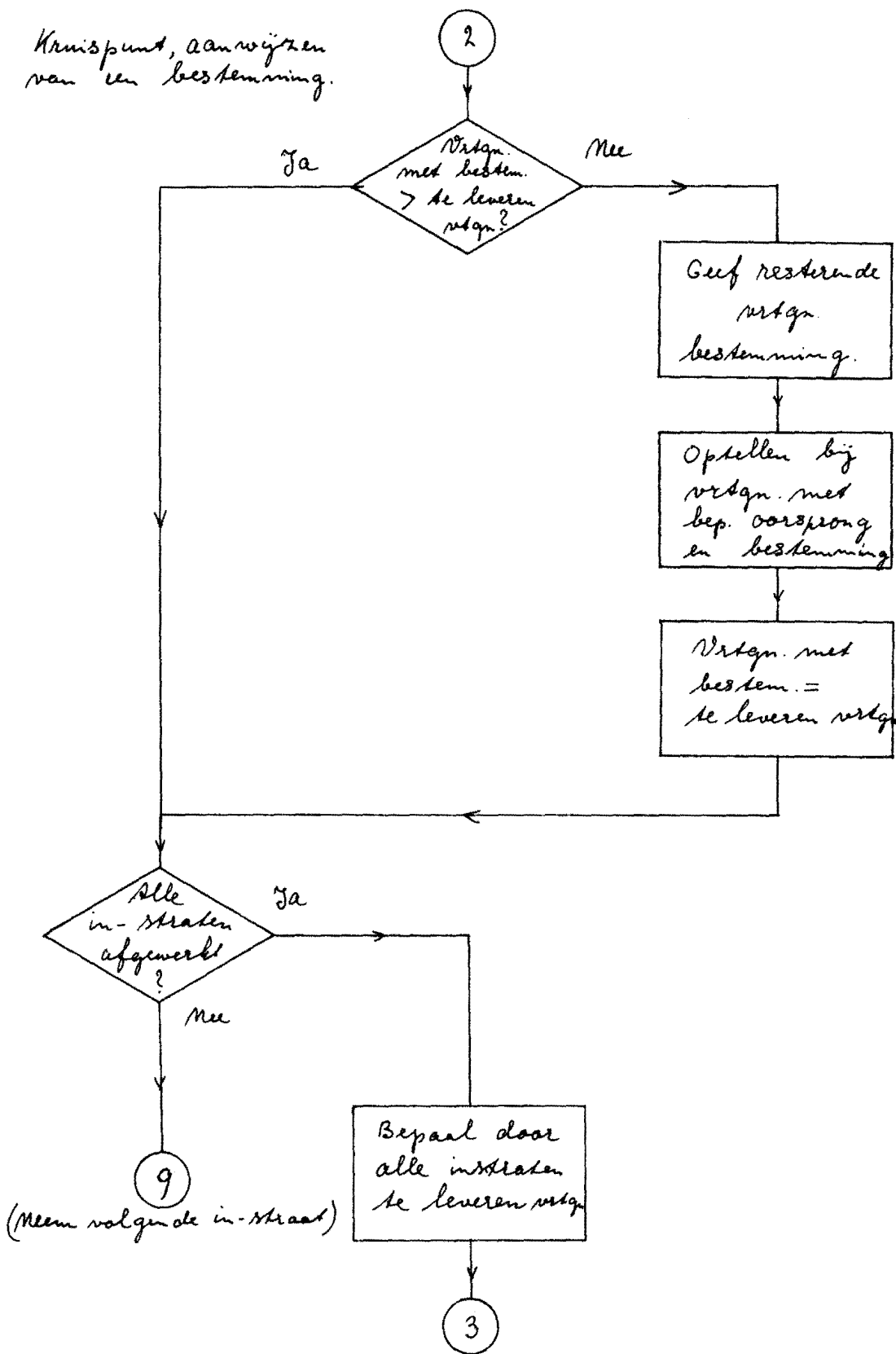




Kruispunt, wat kan cel 1 leveren?

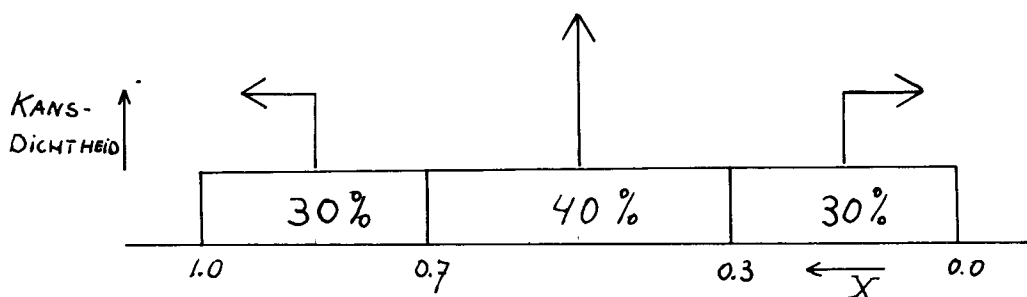


Kruispunt, aanwijzen van een bestemming.



richtingen waarin ze zich zullen voortbewegen. In tegenstelling met het werkelijke verkeer wordt de richting pas toegekend vlak voor het passeren van de kruising. Voertuigen die reeds eerder een richting kregen aangewezen maar sindsdien niet werden verplaatst worden niet opnieuw van een richting voorzien. Het toewijzen van de bestemming gebeurt met een randomgenerator en een bekende verdeling naar oorsprong en bestemming. Het aantal door alle instraten te leveren voertuigen is een detectiegrootheid, om straks vast te stellen of nog vervoer mogelijk is.

Gegeven is bijvoorbeeld dat van het verkeer uit een bepaalde instraat 30% linksaf, 30% rechtsaf slaat en 40% rechtdoor gaat, wat cumulatief met de volgende drie getallen kan worden weergegeven voor achtereenvolgens rechtsaf, rechtdoor en linksaf: 0.30, 0.70 en 1.00. Een randomgetal  $X$  wordt gegenereerd met  $0.00000000 \leq X < 1.00000000$ , dit gebeurt voor wat betreft de I.B.M. 1620 met een vaste subroutine, en bepaald wordt tussen welke bovengenoemde waarden  $X$  valt. Stel  $X = 0.756\dots$ , het voertuig zal dus linksaf slaan.



Om te voorkomen dat het karakter van het verkeer verandert door de keuze van 0.1 p.a.e. als kleinste voertuigeenheid, wordt bij het aanwijzen van een bestemming de hele groep van de te leveren voertuigen uit dezelfde instraat voorzien van één bestemming. Bij het transport wordt echter per in-uitstraatcombinatie slechts 0.1 p.a.e. tegelijk verplaatst.

In de geelfaze worden geen bestemmingen meer aangewezen, het verkeer dat al een bestemming had maar nog niet kon worden verplaatst kan slechts worden

vervoerd over het kruispunt.

Afvoermogelijkheid.

Tot nu toe is bekend wat de instraten kunnen leveren voor elke bestemming. Men moet echter ook de afvoermogelijkheid onderzoeken, afhankelijk van de toestand in de uitstraten. Voor de mogelijkheid van afvoer stellen we hier de eis dat vóór het transport plaatsvindt de inhoud van de potentiaalcel groter is dan de inhoud van de buffercel. Dit wordt aangegeven met de blokkeerfactor: deze is 1 indien er wel en is 0 indien er geen afvoer mogelijk is. De som van de blokkeerfactoren is een detectiegrootheid.

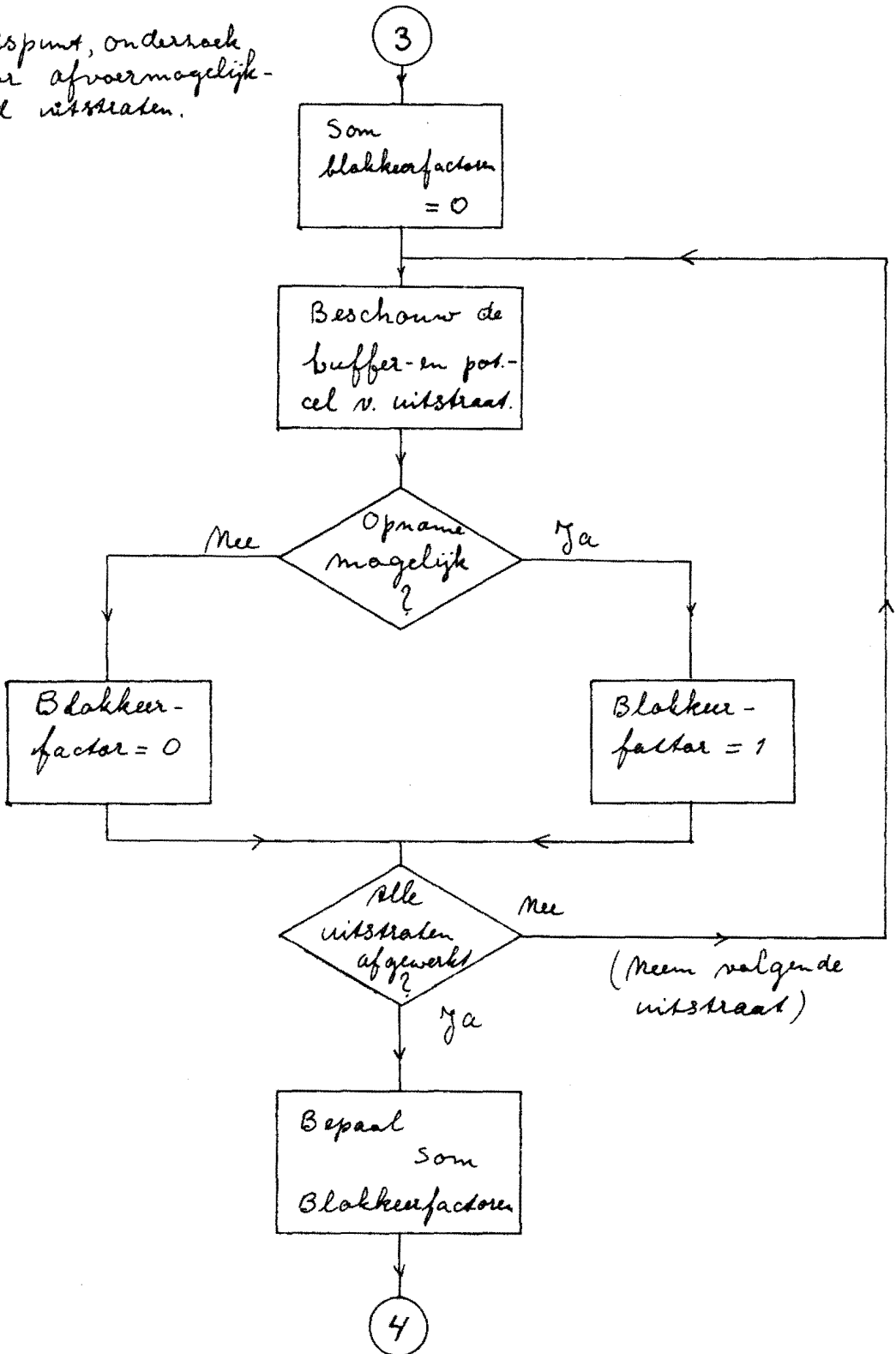
Volgorde en voorwaarden voor transport.

Hier worden de detectiegrootheden gebruikt en wordt tevens de juiste keuze van de in- en uitstraatcombinatie gedaan. De juiste keuze waarborgt een eerlijke afwikkeling van de verkeersstromen zonder aan één of meerdere een voorrang toe te kennen. Daarom wordt van een vorige iteratie steeds de laatst gebruikte combinatie bewaard, de eerstvolgende vindt men dan door tegen de klok indraaiend de eerstvolgende uitstraat te nemen bij dezelfde instraat, tenzij bij die instraat alle uitstraatcombinaties al zijn afgewerkt. In dat geval neemt men de volgende instraat met zijn eerstvolgende uitstraat.

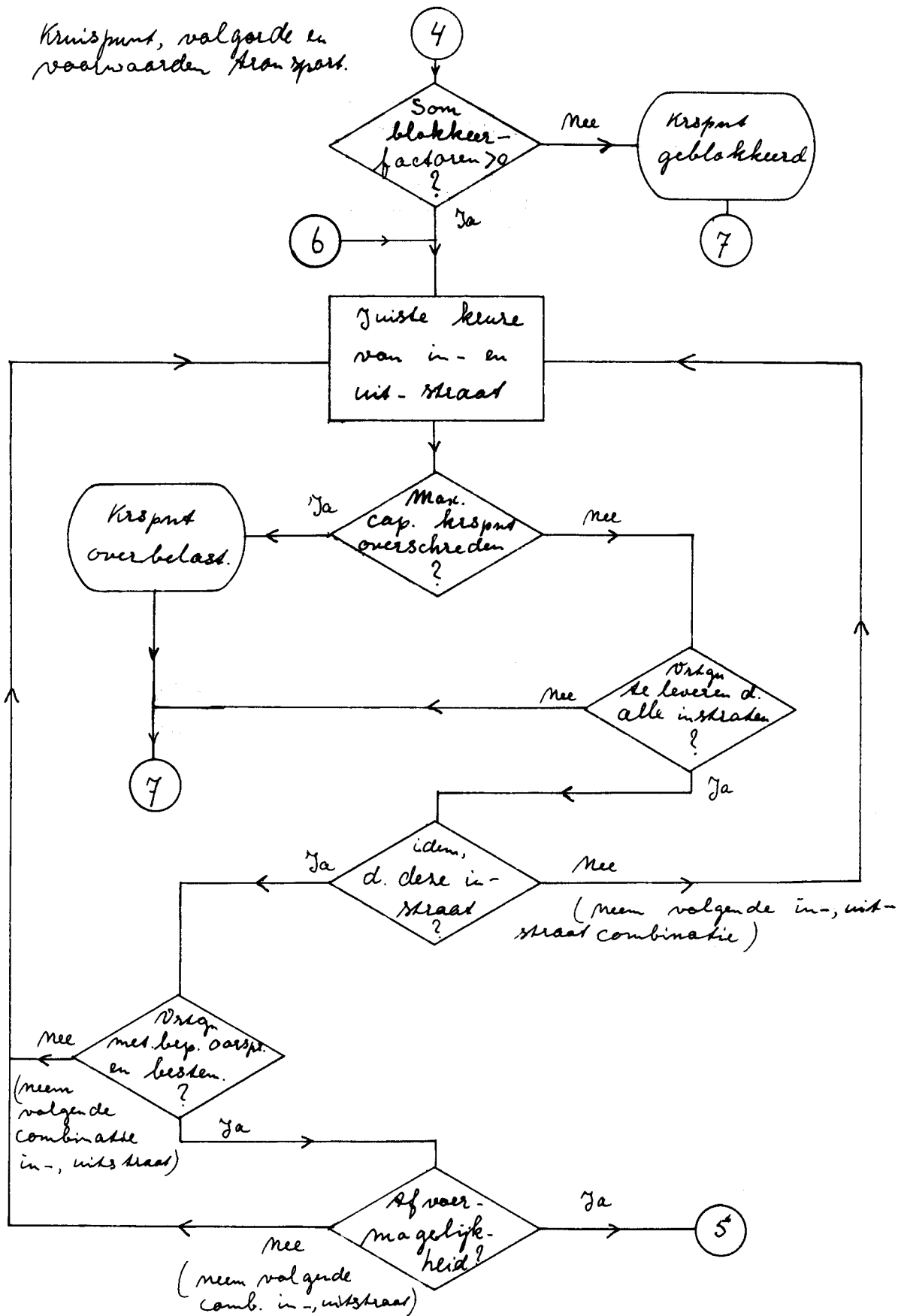
Voorbeeld: In de vorige iteratie is als laatste combinatie gebruikt:  $NI=2$ ,  $NU=4$ , terwijl het aantal uitstraten 4 en het aantal instraten 3 bedraagt. De eerstvolgende combinatie is dus:  $NI=3$ ,  $NU=1$ .

De keuze van de volgorde van de detecties hangt af van de frequentie waarmee ze een negatief resultaat opleveren, de omvang die ze hebben en de mate van programmeerbaarheid. In het geval van blokkering kan een directe uitvoer

Kruispunt, onderzoek naar afvoermogelijkheid uitstraten.



Kruispunt, volgde en  
voelwaarden transport.



gegeven worden die aan de gebruiker kenbaar maakt wat de aard der congestie is.

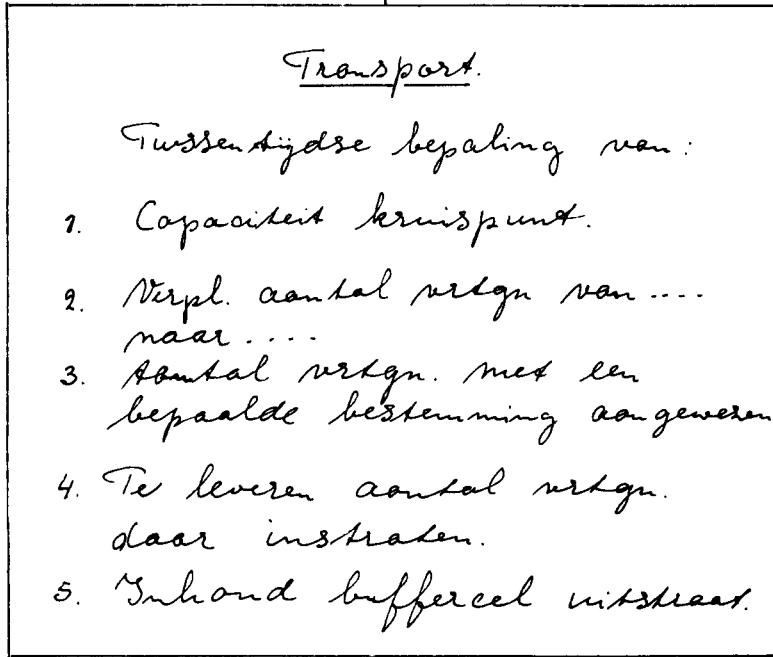
#### Transport.

Indien voldaan is aan de voorgaande voorwaarden, kan transport plaatsvinden. Men moet echter behalve celinhouden ook diverse rekengrootheden veranderen, omdat nagegaan moet worden of nog meer transport mogelijk is en na afloop van de iteratie bepaalde gegevens uitgevoerd moeten worden. Bij de tussentijdse bepaling van de capaciteit welke nog ter beschikking staat, telt, afhankelijk van zijn oorsprong en zijn bestemming, het transport van het ene voertuig zwaarder dan van het ander. Dit is gedaan met het oog op de gemiddelde tijd die een voertuig, afhankelijk van zijn oorsprong en bestemming, nodig heeft om het kruisingsoppervlak te passeren. Een voertuig dat linksaf wil slaan zal bij een tweefazensysteem langer op het kruispunt verblijven dan een rechtdoorgaand voertuig. We brengen dit in rekening door een capaciteitsconstante in te voeren, welke aangeeft waarmee men het verplaatste aantal voertuigen moet vermenigvuldigen om het juiste gewicht van dat transport met het oog op de capaciteit van het kruispunt per iteratie te vinden. Deze constante wordt geschat uit de tijden die elke richting nodig heeft om het voertuig over het kruispunt te vervoeren en de capaciteit van het kruispunt gerekend in bijvoorbeeld rechtdoorgaande voertuigen.

Bijvoorbeeld: Een kruispunt kan per iteratie maximaal 2.2 p.a.e!'s verwerken van rechtdoorgaand verkeer. Linksafbuigend verkeer heeft gemiddeld 1.5 maal en rechts afbuigend 1.1 maal zoveel tijd nodig dan rechtdoorgaand verkeer, waardoor de capaciteitsconstanten worden: 1.5, 1.0 en 1.1 respectievelijk. Het invoeren van de capaciteitsconstante hangt dus samen met het verwaarlozen van het oppervlak van de kruising.

Kruispunt, transport.

5



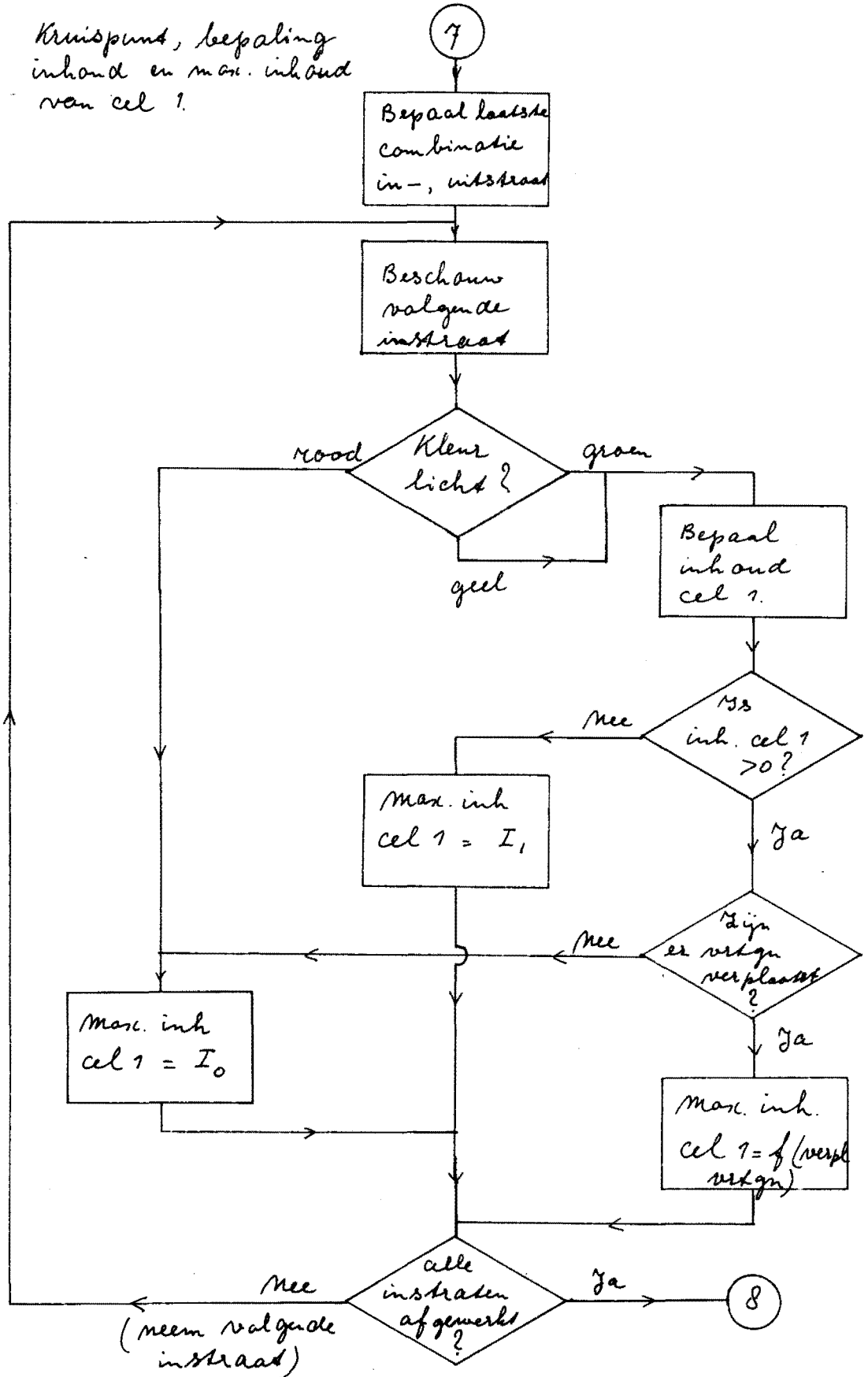
6



Bepaling van de inhoud en maximum inhoud van de eerste cellen.

Tot slot moeten analoog aan de straatlogica deze twee grootheden worden bepaald. De vastlegging van de laatst gebruikte in-uitstraatcombinatie vindt hier plaats. Indien een verkeerslicht op rood springt wordt nu pas van de eerste cel de maximum inhoud op  $I_0$  gezet.

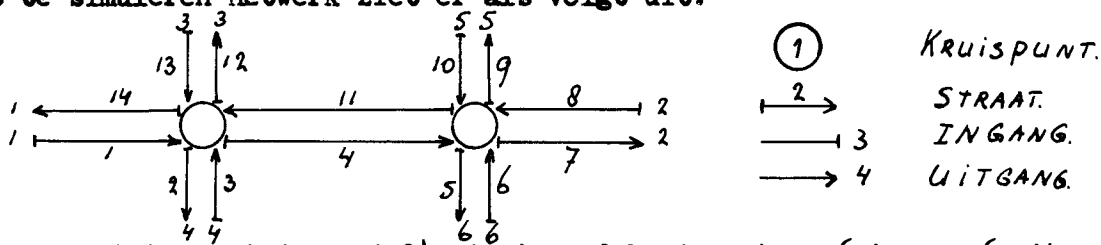
Kruispunt, bepaling  
inhoud en max. inhoud  
van cel 1.



Voorbeeld.

Aangezien de I.B.M. 1620 niet uitermate geschikt is voor het uitgebreid testen van meer gecompliceerde modellen, dit met het oog op machinetijd en geheugenruimte, is het testen beperkt gebleven tot korte tijden. Toch was hier wel uit te concluderen dat het programma voldeed aan de gestelde eisen. Het was dus niet mogelijk om gecompliceerde netwerken te simuleren.

Het te simuleren netwerk ziet er als volgt uit:

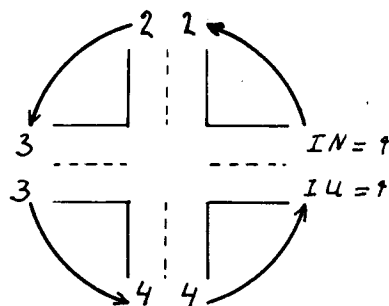


Het netwerk bestaat dus uit 14 straten, 2 kruispunten, 6 in- en 6 uitgangen.

De nummering is willekeurig behalve die van de volgorde van in- en uitstraten.

Dit staat in verband met de volgorde van transport op het kruispunt. Steeds is de volgorde van nummering tegen de klok in terwijl de in- en uitstraat die evenwijdig lopen en één weg vormen hetzelfde nummer krijgen.

Dus:



De straten hebben alle twee rijbanen, dus  $I = 2.1$ ,  $I = 1.1$ ,  $A = 0.6$  als  $\Delta t = 1$  sec. In onderstaande tabel is aangegeven hoeveel p.a.e.'s het verkeerslicht kunnen passeren indien dit juist op groen is gesprongen:

Na 1 sec.	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.0	0.0	1.0	1.0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7 p.a.e.'s.

Dit optrekverschijnsel duurt dus 10 seconden en geldt voor alle instraten.

In de volgende tabel zijn van de straten de lengte en de gemiddelde maximum snelheid gegeven, terwijl de voor het hele systeem geldende

maximum snelheid 50 km. per uur is.

Straatno.	Lengte.	Max. snelh.	Aantal cellen.	Snelheidsconstante.
1	75 m.	50 km./u.	5	1.0
2	65 m.	40 km./u.	5	0.8
3	65 m.	40 km./u.	5	0.8
4	285 m.	50 km./u	20	1.0
5	75 m.	40 km./u.	5	0.8
6	75 m.	40 km./u.	5	0.8
7	70 m.	50 km./u.	5	1.0
8	70 m.	50 km./u.	5	1.0
9	65 m.	40 km./u.	5	0.8
10	65 m.	40 km./u.	5	0.8
11	285 m.	50 km./u.	20	1.0
12	70 m.	40 km./u.	5	0.8
13	70 m.	40 km./u.	5	0.8
14	75 m.	50 km./u.	5	1.0

In de laatste twee kolommen zijn het aantal cellen en de snelheidsconstante ingevuld, welke zijn te bepalen uit de voorgaande kolommen.

De maximale kruispuntcapaciteit per iteratie is voor beide kruispunten 2.00 p.a.e.'s aan rechtdoorgaand verkeer. De gemiddelde tijden nodig voor het passeren van het kruispunt zijn voor rechtsafslaand, rechtdoorgaand, linksafslaand en kerend verkeer achtereenvolgens: in verhoudingsgetallen:

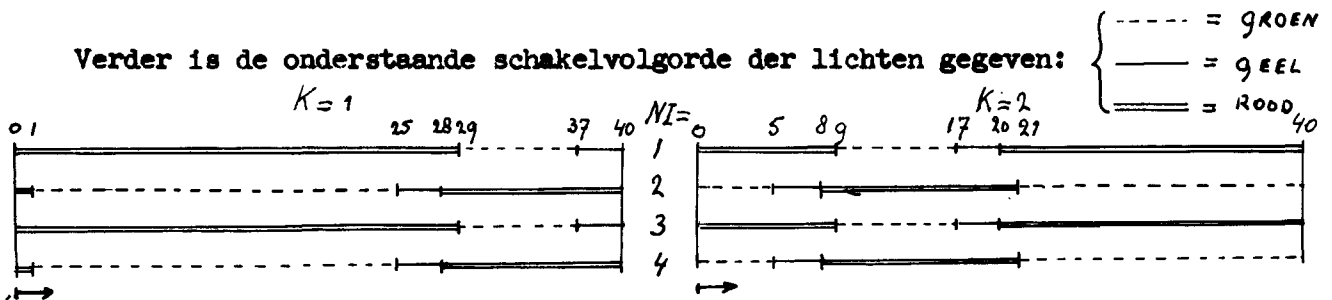
13, 11, 20 en 22. Kies daarom voor de maximale kruispuntcapaciteit 2.20 p.a.e., de capaciteitsconstanten zijn dan achtereenvolgens: 1,3 , 1,1 , 2,0 en 2,2. De verdelingen (cumulatief) van het transport naar oorsprong en bestemming zijn met de bijbehorende waarden van de capaciteitsconstanten in onderstaande tabel aangegeven.

Deze tabel geldt zowel voor K=1 als K=2.

	Naar NU = 1	2	3	4
Van NI = 1	0.00	0.30	0.70	1.00
	0.22	0.13	0.11	0.20
2	0.10	0.10	0.20	1.00
	0.20	0.22	0.13	0.11
3	0.40	0.70	0.70	1.00
	0.11	0.20	0.22	0.13
4	0.10	0.90	1.00	1.00
	0.13	0.11	0.20	0.22

= cumulatieve verdeling.  
= capaciteitsconstante.

Verder is de onderstaande schakelvolgorde der lichten gegeven:



Het programma wordt gestart op het meest links aangegeven tijdstip.

De gemiddelde Poissoninvoer per ingang is:

IN = 1	2	3	4	5	6
GIT = 0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1 p.a.e! s.

Met behulp van de bovenstaande gegevens is het mogelijk de simulatie uit te voeren. Daartoe laat men het programma 60 iteraties draaien. Op de volgende bladzijden is zowel het programma, de benodigde invoerband als de uitvoergegevens opgenomen. Om een overzicht te geven is slechts de uitvoer na de 60ste iteratie opgenomen, waaruit men kan zien dat de invoer van voertuigen overeenkomt met de verwachte waarden. De controle van de andere gegevens is gecompliceerder maar is voor deze korte simulatie van 60 seconden werkelijke tijd niet erg zinvol. Langer draaien was voor de I.B.M. 1620 bezwaarlijk vanwege de benodigde machinetijd. Voor dit programma was ongeveer 3 uur machinetijd nodig, dus ongeveer 200 maal de te simuleren tijd. De fundamentele werking van het programma is getest door steeds kleine gedeelten te draaien en te testen.

```
C VERKEERSSIMULATIE,MODEL A.
C
C INVOER.
C
DIMENSION AVMP(2),MNI(2),MNU(2),IFAT(2),IVGE(2,4),IECY(2),
IVRO(2,4)
DIMENSION LI(2,4),A1AV(4,4),A2AV(4,4),AWAV(2,4),KVAV(4)
DIMENSION KMOV(4),IVGR(2,4),KVB(2,4),CP1(4,4),CP2(4,4),
GIT(6)
DIMENSION K1BB(4,4),K2BB(4,4),KBU(4),BL1F(4,4),BL2F(4,4),
NVGI(6)
DIMENSION NIS(2,4),NUS(2,4),IA(12),MNC(14),IH(14,22),IHP(6)
DIMENSION MIH(14,21),CNC(14,20),GES(14),AVIS(14),LWNI(2),
LWN(2)
DIMENSION ABV(6),AVV(6),MAT(6),NIN(6),NUI(6),CUPO(6,31)
11 FORMAT (13,13,13,13,13,14)
12 FORMAT (F5.2,F5.2)
14 FORMAT (F4.1)
276 FORMAT (7H VAN K=,12,7H KSBU=0)
278 FORMAT (7H VAN K=,12,8H AVNP=.0)
959 FORMAT (/14)
963 FORMAT (F5.1,F5.1,F5.1,F5.1,F5.1,F5.1)
953 FORMAT (F5.1,F5.2)
15 FORMAT (F6.1)
965 ACCEPT TAPE 11,IS,IB,IAS,IEOK,MAK,MITY
DO 20 ITVG=1,IEOK
20 ACCEPT TAPE 11,IA(ITVG)
ACCEPT TAPE 11,MNS,MAIN,MAUT,MVGI
DO 21 K=1,MAK
ACCEPT TAPE 12,AVMP(K)
21 ACCEPT TAPE 11,MNI(K),MNU(K),IFAT(K),IECY(K)
DO 10 K=1,MAK
MNIS=MNI(K)
M Nus=MNU(K)
DO 22 NI=1,MNIS
22 ACCEPT TAPE 11,NIS(K,NI),LI(K,NI),IVGR(K,NI),IVGE(K,NI),
IVRO(K,NI)
DO 10 NU=1,MNUS
10 ACCEPT TAPE 11,NUS(K,NU)
DO 24 K=1,MAK
MNIS=MNI(K)
M Nus=MNU(K)
DO 24 NI=1,MNIS
DO 24 NU=1,MNUS
GO TO(26,25),K
26 ACCEPT TAPE 12,CP1(NI,NU),BL1F(NI,NU)
GO TO 24
25 ACCEPT TAPE 12,CP2(NI,NU),BL2F(NI,NU)
24 CONTINUE
DO 31 NS=1,MNS
ACCEPT TAPE 11,MNC(NS)
M=MNC(NS)
DO 31 NC=1,M
31 ACCEPT TAPE 14,CNC(NS,NC)
DO 915 IVGI=1,MVGI
```

```
915 ACCEPT TAPE 953,GIT(IVGI)
DO 33 IN=1,MAIN
33 ACCEPT TAPE 11,NIN(IN),NVGI(IN)
DO 40 IU=1,MAUT
40 ACCEPT TAPE 11,NUI(IU)
C
C BEPALING BEGINVOORWAARDEN EN CONSTANTEN.
C
DO 56 K=1,MAK
LWNI(K)=1
LWN(K)=0
MNIS=MNI(K)
MNUS=MNU(K)
DO 56 NI=1,MNIS
KVB(K,NI)=0
AWAV(K,NI)=.0
DO 56 NU=1,MNUS
K1BB(NI,NU)=0
K2BB(NI,NU)=0
A1AV(NI,NU)=.0
56 A2AV(NI,NU)=.0
AIS=IS
AIB=IB
AIA=IAS
CCI=(AIA-AIB)/(AIS-AIB)
CC2=AIB*(AIS-AIA)/(AIS-AIB)
CC3=(AIS-AIB)/(AIB**2)
DO 58 IN=1,MAIN
58 IHPO(IN)=0
ABV(IN)=.0
DO 59 IU=1,MAUT
59 AVV(IU)=.0
DO 29 NS=1,MNS
M=MNC(NS)+1
DO 30 NC=1,M
30 IH(NS,NC)=0
29 MIH(NS,NC)=IB
IH(NS,M+1)=IB
DO 914 IVGI=1,MVGI
D=EXP(GIT(IVGI))
CUPO(IVGI,1)=1./D
DO 910 I=2,31
IMIN=I-1
F=IMIN
CUPO(IVGI,I)=CUPO(IVGI,IMIN)*GIT(IVGI)/F
IF(CUPO(IVGI,I)-.5E-06)911,911,910
910 CONTINUE
911 MAT(IVGI)=I-1
MAX=MAT(IVGI)
DO 912 I=2,MAX
IMIN=I-1
912 CUPO(IVGI,I)=CUPO(IVGI,I)+CUPO(IVGI,IMIN)
DO 913 I=1,MAX
913 CUPO(IVGI,I)=CUPO(IVGI,I)+.5E-06
914 CUPO(IVGI,MAX)=1.0
```

```
C
C   KRUI SPUNT, VERKEERSLICHTEN.
C
DO 958 ITY=1,MITY
PUNCH TAPE 959,ITY
DO 286 K=1,MAK
MNIS=MNI(K)
MNUS=MNU(K)
IFAT(K)=IFAT(K)+1
DO 53 NI=1,MNIS
IF (IFAT(K)-IVGR(K,NI))50,52,50
52 LI(K,NI)=2
NS=NIS(K,NI)
M=MNC(NS)
DO 297 NC=1,M
IF (IS-MIH(NS,NC)) 298,298,264
298 AIH=IH(NS,NC)
297 AWAV(K,NI)=AWAV(K,NI)+AIH/10.
264 PUNCH TAPE 963,AWAV(K,NI)
AWAV(K,NI)=.0
GO TO 53
50 IF (IFAT(K)-IVGE(K,NI))54,55,54
55 LI(K,NI)=1
GO TO 53
54 IF (IFAT(K)-IVRO(K,NI))53,57,53
57 LI(K,NI)=0
53 CONTINUE
IF (IFAT(K)-IECY(K))207,202,202
202 IFAT(K)=0
C
C   KRUI SPUNT,BEREKENING KMOV(NI).
C
207 AVNP=AVMP(K)
KSMV=0
DO 240 NI=1,MNIS
NS=NIS(K,NI)
KVAV(NI)=0
IF (LI(K,NI)-1)208,205,209
208 KMOV(NI)=0
GO TO 240
209 IF (IFAT(K)-IVGR(K,NI)-IEOK) 210,212,212
210 ITVG=IFAT(K)-IVGR(K,NI)+1
KMOV(NI)=IA(ITVG)
IF (KMOV(NI)-IH(NS,1))214,214,211
211 KMOV(NI)=IH(NS,1)
GO TO 214
212 IF (IB-IH(NS,1))213,211,211
213 AIH=IH(NS,1)
KMOV(NI)=AIH*CC1+CC2+.5
C
C   KRUI SPUNT,BEREKENING KXBB(NI,NU),KVB(K,NI),KSMV.
C
214 IF (KVB(K,NI)-KMOV(NI))216,221,221
216 X=RAND(0.0)
DO 220 NU=1,MNUS
```



```
217 GO TO (217,218),K
    SP=CP1(NI,NU)
    GO TO 219
218 SP=CP2(NI,NU)
219 IF(X-SP)228,220,220
220 CONTINUE
228 GO TO (229,230),K
229 K1BB(NI,NU)=K1BB(NI,NU)+KMVV(NI)-KVB(K,NI)
    GO TO 215
230 K2BB(NI,NU)=K2BB(NI,NU)+KMVV(NI)-KVB(K,NI)
215 KVB(K,NI)=KMVV(NI)
221 KSMV=KSMV+KMVV(NI)
240 CONTINUE
C
C   KRUI SPUNT,BEREKENING KBU(NU),KSBU.
C
205 KSBU=0
    DO 243 NU=1,MNUS
        NS=NUS(K,NU)
        M=MNC(NS)+1
        IF(IH(NS,M)-IH(NS,M+1)) 242,241,241
241 KBU(NU)=0
        GO TO 243
242 KBU(NU)=1
        KSBU=KSBU+1
243 CONTINUE
C
C   KRUI SPUNT,VOORWAARDEN EN VOLGORDE TRANSPORT.
C
244 IF(KSBU) 275,275,244
    NI=LWNI(K)
    N=LWN(K)+1
    IF(MNUS-N)62,61,61
62  N=1
    NI=NI+1
    IF(MNIS-NI)63,61,61
63  NI=1
    GO TO 61
64  DO 274 NI=1,MNIS
    DO 273 N=1,MNUS
61  NU=N+NI
    IF(MNUS-NU+1) 245,245,246
245  NU=NU-MNUS
246  IF(AVNP)277,277,247
247  IF(KSMV)279,279,248
248  IF(KMVV(NI))274,274,249
249  GO TO (250,251),K
250  IF(K1BB(NI,NU))273,273,260
251  IF(K2BB(NI,NU))273,273,260
260  IF(KBU(NU))273,273,261
261  GO TO(262,263),K
C
C   KRUI SPUNT, TRANSPORT.
C
262  AVNP=AVNP-BLIF(NI,NU)
```

```
A1AV(NI,NU)=A1AV(NI,NU)+.1
K1BB(NI,NU)=K1BB(NI,NU)-1
GO TO 272
263 AVNP=AVNP-BL2F(NI,NU)
A2AV(NI,NU)=A2AV(NI,NU)+.1
K2BB(NI,NU)=K2BB(NI,NU)-1
272 KVB(K,NI)=KVB(K,NI)-1
KMOV(NI)=KMOV(NI)-1
KSMV=KSMV-1
KVAV(NI)=KVAV(NI)+1
NS=NUS(K,NU)
M=MNC(NS)+1
IH(NS,M)=IH(NS,M)+1
273 CONTINUE
274 CONTINUE
GO TO 64
C
C KRUISPUNT, CONGESTIE EN OVERBELASTING.
C
275 PUNCH TAPE 276, K
GO TO 60
277 PUNCH TAPE 278, K
C
C KRUISPUNT, BEREKENING MIH(NS,1), IH(NS,1).
C
279 LWN(K)=NI
LWN(K)=N
60 DO 286 NI=1, MNIS
NS=NIS(K,NI)
IF(LI(K,NI)-1)280,281,281
280 MIH(NS,1)=IS
GO TO 286
281 IH(NS,1)=IH(NS,1)-KVAV(NI)
IF(IH(NS,1))282,282,283
282 MIH(NS,1)=IB
GO TO 286
283 IF(KVAV(NI))280,280,239
239 AVAV=KVAV(NI)
MIH(NS,1)=AIS-(AVAV**2)*CC3+.5
286 CONTINUE
C
C INVOER VOERTUIGEN.
C
DO 907 IN=1, MAIN
NS=NIN(IN)
M=MNC(NS)+1
IVGI=NVGI(IN)
MAX=MAT(IVGI)
X=RAND(0.0)
DO 901 I=1, MAX
IF(X-CUPO(IVGI,I))902,901,901
901 CONTINUE
902 IMI=IH(NS,M+1)-IH(NS,M)
IVMI=IMI-I+1
IF(IVMI)66,66,67
```

```
66   IAV=IMI
      IHPO(IN)=IHPO(IN)-IVMI
      GO TO 65
67   IF(IHPO(IN)-IVMI)69,66,66
69   IAV=IHPO(IN)+I-1
      IHPO(IN)=0
65   A=IAV
      ABV(IN)=ABV(IN)+A/10.
      IH(NS,M)=IH(NS,M)+IAV
907  CONTINUE
C
C   UITVOER VOERTUIGEN.
C
      DO 908 IU=1,MAUT
      NS=NUI(IU)
      B=IH(NS,1)
      AVV(IU)=AVV(IU)+B/10.
      IH(NS,1)=0
908  MIH(NS,1)=IB
C
C   STRAAT,BEREKENING IMI.
C
      DO 129 NS=1,MNS
      M=MNC(NS)
      ISV=0
      DO 116 NC=1,M
      IMI=MIH(NS,NC)-IH(NS,NC)
C
C   STRAAT,BEREKENING IMU.
C
      IF(IMI)101,102,103
101  MIH(NS,NC)=IS
102  IV=0
100  MIH(NS,NC+1)=IS
      GO TO 116
103  IF(IS-MIH(NS,NC+1))104,104,107
104  IF(IAS-IH(NS,NC+1))105,106,106
105  IMU=IAS
      GO TO 109
106  IMU=IH(NS,NC+1)
      GO TO 109
107  IF(IV-IH(NS,NC+1))108,106,106
108  AIH=IH(NS,NC+1)
      IMU=AIH*CC1+CC2+.5
C
C   STRAAT,BEREKENING IV.
C
109  IF(IMU-IMI)110,110,111
110  AIMU=IMU
      IV=AIMU*CNC(NS,NC)+.5
      GO TO 112
111  AIMI=IMI
      IV=AIMI*CNC(NS,NC)+.5
C
C   STRAAT,TRANSPORT.
```

```
C
112  IH(NS,NC)=IH(NS,NC)+IV
     ISV=ISV+IV
     IH(NS,NC+1)=IH(NS,NC+1)-IV
C
C   STRAAT,BEREKENING MIH(NS,NC+1)
C
     IF(IS-IH(NS,NC))100,100,113
113  IF(IH(NS,NC+1))114,114,115
114  MIH(NS,NC+1)=IB
     GO TO 116
115  AIV=IV
     MIH(NS,NC+1)=AIS-(AIV**2)*CC3+.5
116  CONTINUE
C
C   STRAAT,BEREKENING POTENTIAAL.
C
     IH(NS,M+2)=0
     DO 124 KP=1,M
     NC=M-KP+1
     IF(IS-MIH(NS,NC))118,118,119
118  IH(NS,M+2)=IH(NS,M+2)+IS-IH(NS,NC)
     GO TO 120
119  IF(MIH(NS,NC)-IH(NS,NC))120,124,123
123  IH(NS,M+2)=IH(NS,M+2)+MIH(NS,NC)-IH(NS,NC)
124  CONTINUE
120  IF(IB-IH(NS,M+2))121,122,122
121  IH(NS,M+2)=IB
C
C   STRAAT,BEREKENING GES(NS),AVIS(NS).
C
122  IVN=0
     DO 125 NC=1,M
125  IVN=IVN+IH(NS,NC)
     IF(IVN)126,126,127
126  GES(NS)=.0
     AVIS(NS)=.0
     GO TO 129
127  AISV=ISV
     AIVN=IVN
     GES(NS)=AISV/AIVN
     AVIS(NS)=AIVN/10.
129  CONTINUE
958  CONTINUE
C
C   UITVOER RESULTATEN.
C
     PUNCH TAPE 963,ABV(1),ABV(2),ABV(3),ABV(4),ABV(5),ABV(6)
     PUNCH TAPE 963,AVV(1),AVV(2),AVV(3),AVV(4),AVV(5),AVV(6)
     DO 72 NS=1,MNS
72  PUNCH TAPE 953,AVIS(NS),GES(NS)
     DO 200 K=1,MAK
     MNIS=MNI(K)
     MNUS=MNU(K)
     DO 200 NI=1,MNIS
```

```
DO 200 NU=1,MNUS
GO TO(287,288),K
287 PUNCH TAPE 15,A1AV(NI,NU)
GO TO 200
288 PUNCH TAPE 15,A2AV(NI,NU)
200 CONTINUE
DO 41 NS=1,MNS
M=MNC(NS)+1
DO 42 NC=1,M
42 PUNCH TAPE 11,IH(NS,NC),MIH(NS,NC)
41 PUNCH TAPE 11,IH(NS,M+1)
DO 9 IN=1,MAIN
9 PUNCH TAPE 11,IHPO(IN)
PAUSE
GO TO 965
END
```

21 11 06 10 02 060  
00  
00  
10  
10  
07  
07  
07  
07  
07  
07  
14 06 06 02  
2.20  
04 04 00 40  
2.20  
04 04 20 40  
13 00 29 37 40  
01 00 01 25 28  
03 00 29 37 40  
11 00 01 25 28  
12  
14  
02  
04  
10 00 29 37 40  
04 02 01 25 28  
06 00 29 37 40  
08 02 01 25 28  
09  
11  
05  
07  
0.00 0.22  
0.30 0.13  
0.70 0.11  
1.00 0.20  
0.10 0.20  
0.10 0.22  
0.20 0.13  
1.00 0.11  
0.40 0.11  
0.70 0.20  
0.70 0.22  
1.00 0.13  
0.10 0.13  
0.90 0.11  
1.00 0.20  
1.00 0.22  
0.00 0.22  
0.30 0.13  
0.70 0.11  
1.00 0.20  
0.10 0.20  
0.10 0.22

0.20 0.13  
1.00 0.11  
0.40 0.11  
0.70 0.20  
0.70 0.22  
1.00 0.13  
0.10 0.13  
0.90 0.11  
1.00 0.20  
1.00 0.22

05

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

05

0.8

0.8

0.8

0.8

0.8

05

0.8

0.8

0.8

0.8

0.8

20

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

1.0

05

0.8

0.8

0.8

0.8

0.8





0.8  
0.88  
0.8  
05  
0.8  
0.88  
0.8  
0.8  
0.8  
0.8  
05  
1.0  
1.0  
1.0  
1.0  
1.0  
03.0  
01.0  
01 01  
08 01  
13 02  
03 02  
10 02  
06 02  
14  
07  
12  
02  
09  
05

60

19.7	17.1	6.2	5.6	6.5	5.5
4.9	8.4	1.8	5.9	2.6	3.4
1.3	1.00				
.3	.66				
2.7	.14				
10.8	.88				
.5	.80				
1.0	.80				
.3	1.00				
5.1	.27				
.2	1.00				
1.3	.53				
1.5	1.00				
.8	.75				
2.9	.17				
1.1	1.00				
.0					
.0					
2.1					
1.2					
1.4					
.0					
1.6					
15.4					
1.2					
1.7					
.0					
.0					
.0					
4.3					
2.5					
.0					
.0					
.0					
2.9					
2.3					
.4					
.0					
.0					
4.8					
1.0					
1.9					
.0					
1.6					
1.4					
0.8					
.4					
.0					
3	11				
3	11				
1	11				
2	11				

4 11  
0 11  
11  
2 11  
1 21  
0 11  
0 11  
0 11  
0 11  
11  
21 21  
2 21  
2 11  
1 11  
1 11  
0 11  
11  
12 21  
0 11  
6 11  
10 11  
7 11  
7 11  
7 11  
0 11  
7 11  
7 11  
7 11  
7 11  
9 11  
7 11  
1 11  
7 11  
3 11  
3 11  
4 11  
0 11  
4 11  
0 11  
11  
2 11  
3 21  
0 11  
0 11  
0 11  
0 11  
11  
2 21  
2 11  
2 11  
2 11  
2 11  
0 11  
11  
3 11



0 11  
11  
21 21  
5 21  
2 11  
0 11  
1 11  
0 11  
11  
2 11  
3 11  
1 11  
3 11  
2 11  
0 11  
11  
0  
0  
0  
0  
0  
0

Mogelijke uitbreidingen en verbeteringen van het kruispuntprogramma.

### 1. Voorsorteren.

Bij voorsorteren moet men eerder dan tot nu toe gedaan werd een richting toekennen aan de voertuigen en per richting of combinaties van richtingen een aparte straat toekennen. Men kan de plaats waar het voorsorteren begint beschouwen als een kruising waar de lichten altijd op groen staan. De kruis-puntsbroutine kan hier zonder meer voor gebruikt worden.

### 2. Intensiteitsafhankelijke regeling.

Indien het verband bekend is tussen de momentane intensiteiten en de meest-efficiënte instelling der verkeerslichten, kan men met een eenvoudige sub-routine een flexibele regeling simuleren.

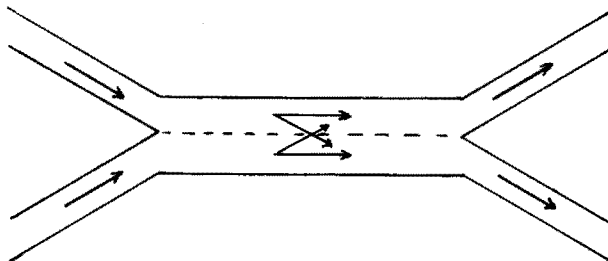
### 3. Kruisingsoppervlak.

Aangezien het moeilijk is aan te geven hoe het verkeer zich gedraagt op het kruisingsoppervlak, is in de simulatie dit oppervlak verwaarloosd en getracht op een andere wijze zo "echt" mogelijk het verkeer te simuleren. Toch is het nuttig deze simulatie te verbeteren en een werkelijk oppervlak in de vorm van cellen te simuleren.

## WEEFVAK.

### Inleiding.

Een weefvak bestaat uit twee straten die elkaar over een zekere lengte raken en waartussen verkeer mogelijk is.



In het werkelijke verkeer zijn enkele regels te onderscheiden:

1. Niet wevend verkeer heeft een zekere voorrang boven wevend verkeer.
2. Wevend verkeer beweegt zich diagonaalsgewijs over de hartlijn van het weefvak.
3. Indien bij het oprijden van het weefvak niet onmiddellijk geweven kan worden, wordt getracht een volgend ogenblik eventueel op een volgende plaats te weven.
4. Behalve de bovengenoemde eigenschappen bezit het verkeer in een weefvak dezelfde eigenschappen als het verkeer in een straat.

Men kan uit het bovenstaande concluderen dat er drie soorten transport plaatsvinden:

1. Niet wevend verkeer,
2. Wevend verkeer en
3. Nog niet wevend verkeer.

Met behulp van de straatlogica worden deze drie soorten achtereenvolgens afgewerkt.

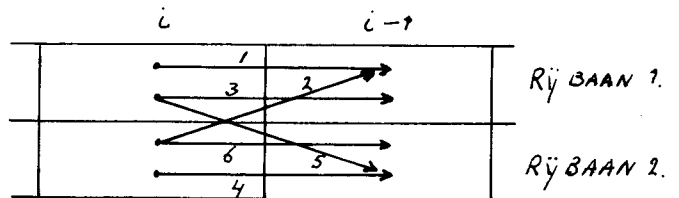
Gebruikte model.

In onderstaande tekening is schematisch aangegeven welke bewegingen plaatsvinden.

1 en 4 : niet wevend,

2 en 5 : wevend en

3 en 6 : nog niet wevend.



Willen we zoveel mogelijk gebruik maken van de straatlogica dan moet men per cel met twee inhouden en drie capaciteiten werken; niet wevend en wevend respectievelijk niet wevend, wevend en nog niet wevend verkeer.

Eerst wordt gelijk aan de straatlogica het niet wevende verkeer verplaatst.

Daarna het wel wevende als er plaats is in de volgende cel van de andere weghelpt en daarna wordt getracht het verkeer dat niet kon weven te verplaatsen naar de volgende cel van dezelfde weghelpt. Per soort verkeer geldt weer de bekende straatlogica.

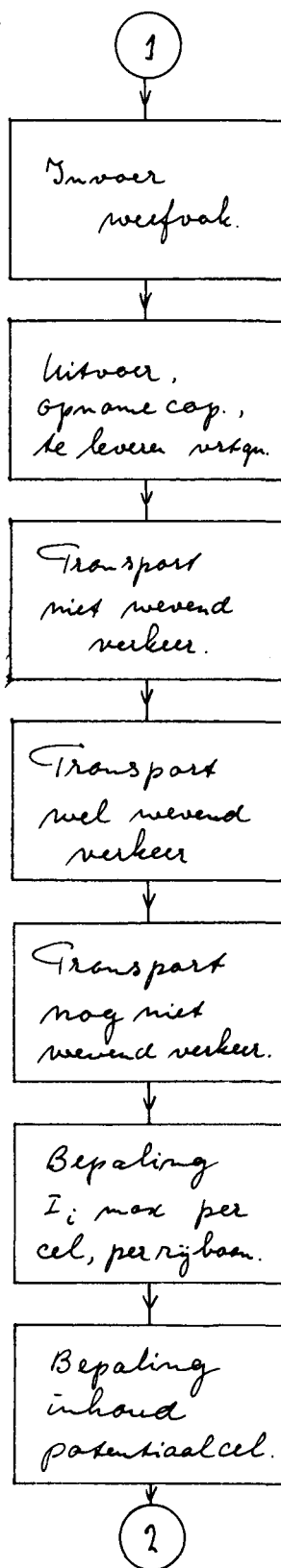
Het weefvak beschikt over twee potentiaalcellen met elk één inhoud en twee buffercellen met elk twee inhouden: één voor wevend en één voor niet wevend verkeer. Het programma is weer gesplitst in onderdelen :

Invoer weefvak.

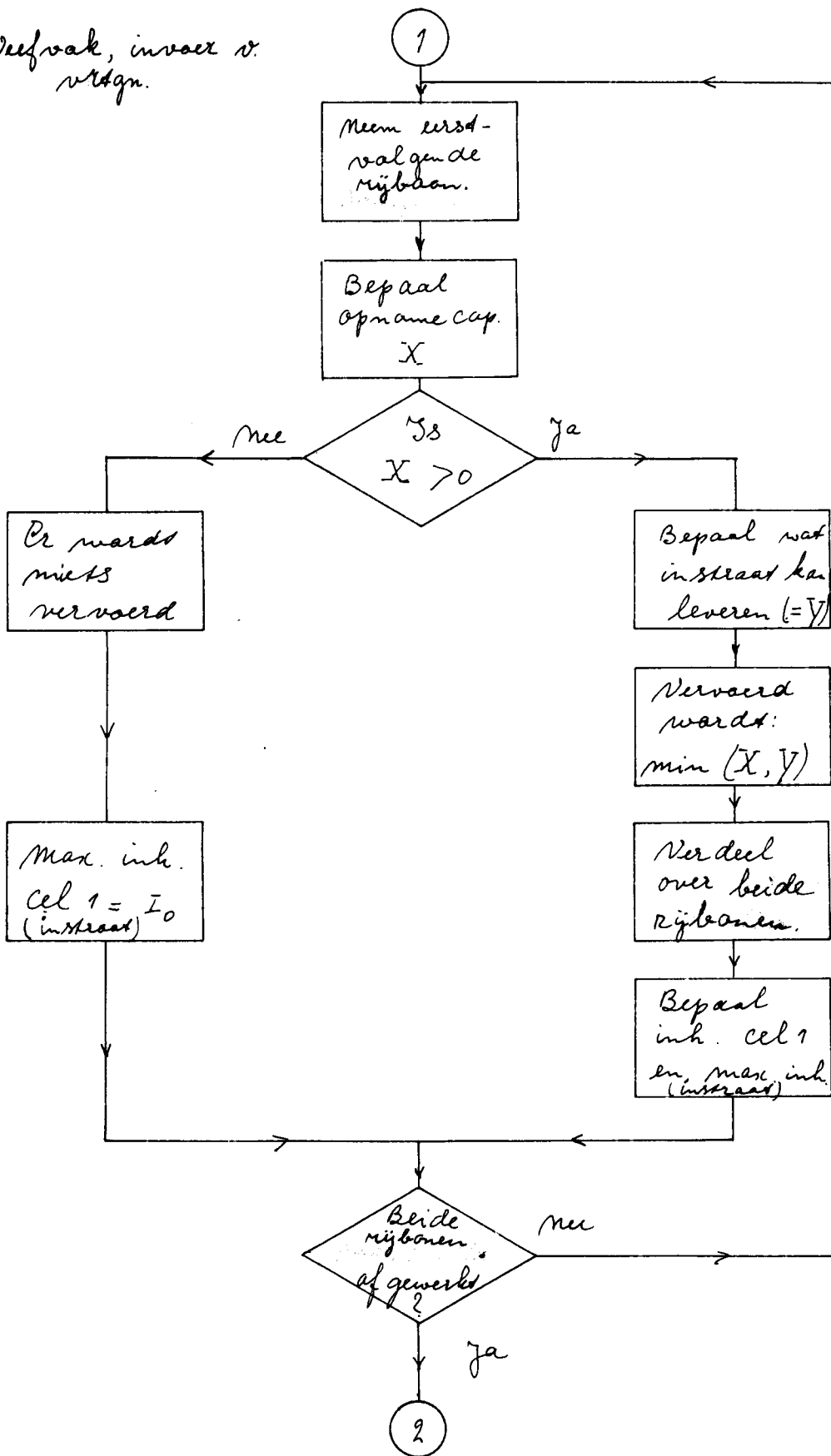
De opnamecapaciteit is gelijk aan de inhoud van de potentiaalcel - inhoud van de buffercel. De inhoud van de buffercel bestaat dus uit een wevend en een niet wevend gedeelte. Wat cel 1 van de instraat kan leveren is te berekenen met de straatlogica . Het verdelen van het verkeer in een wevend en een niet wevend gedeelte vindt hier plaats: met behulp van een bekende verdeling en een randomgenerator.



Overzicht "weefvak"-  
programma.



Weefvak, invoer v.  
vtdgn.



Bepaling opnamecapaciteit en te leveren voertuigen.

De som van de verplaatste voertuigen wordt gebruikt voor de bepaling van de gemiddelde relatieve snelheid.

Transport niet wevend verkeer.

Het totaal aantal te verplaatsen voertuigen wordt gesplitst in een gedeelte niet en een gedeelte wel wevend verkeer in dezelfde verhouding waarin zich de inhouden van de cel verhouden waaruit vertrokken wordt. Na het transport van deze voertuigen wordt de opname capaciteit van de ontvangende cel verminderd met het verplaatste aantal.

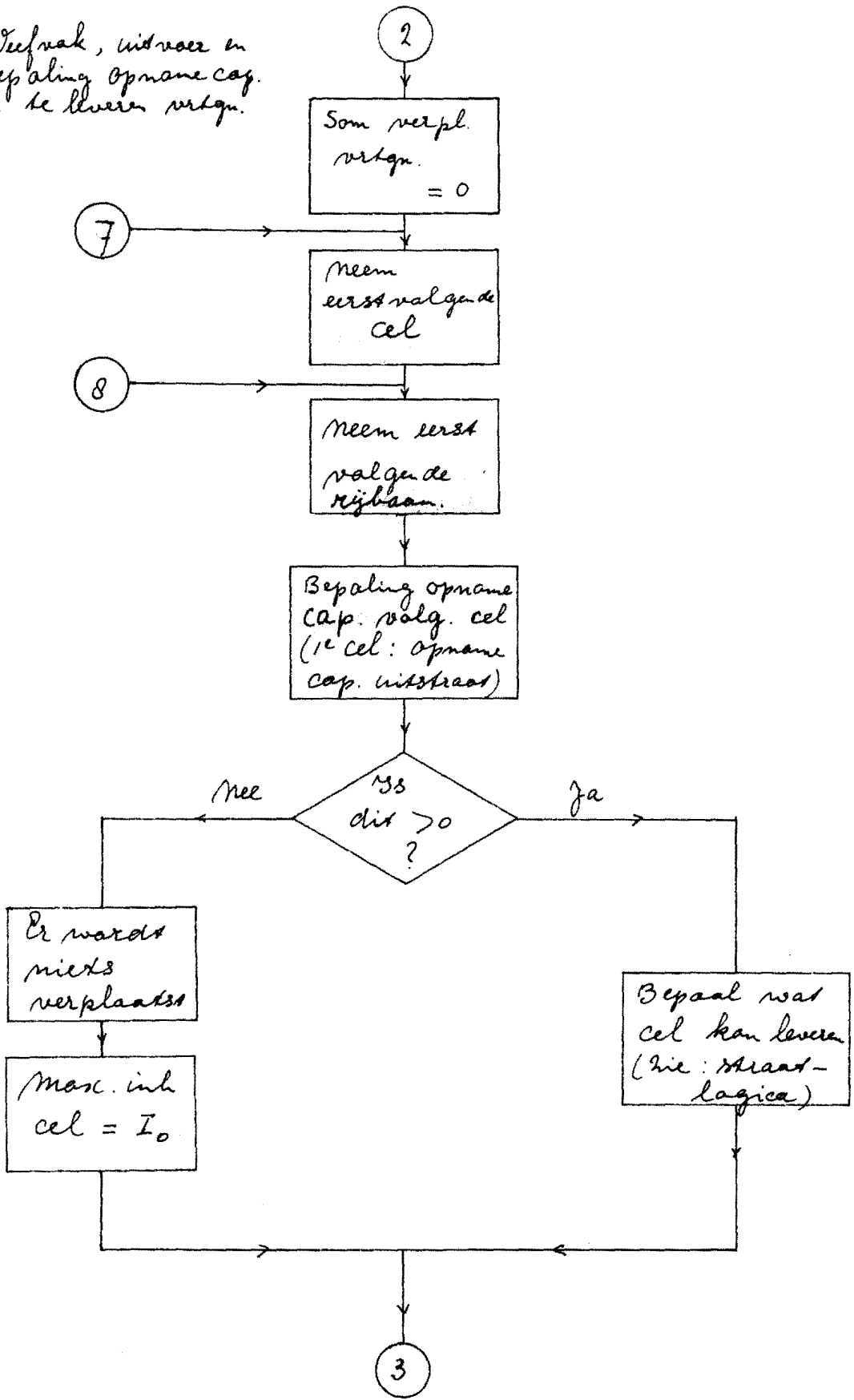
Transport wel wevend verkeer.

Om te voorkomen dat een weghelft wordt bevoordeeld, is de keuze van de eerstvolgende weghelft of rijbaan belangrijk. Met behulp van de randomgenerator wordt deze keuze eerlijk gedaan: men "schiet" op een alternatieve verdeling met kans = 0.5. Wil er gewezen worden, dan moet de ontvangende cel kunnen opnemen en de vertrekkende cel kunnen afstaan. De opnamecapaciteit van de ontvangende cel is echter sinds het transport van het niet wevende verkeer afgenomen.

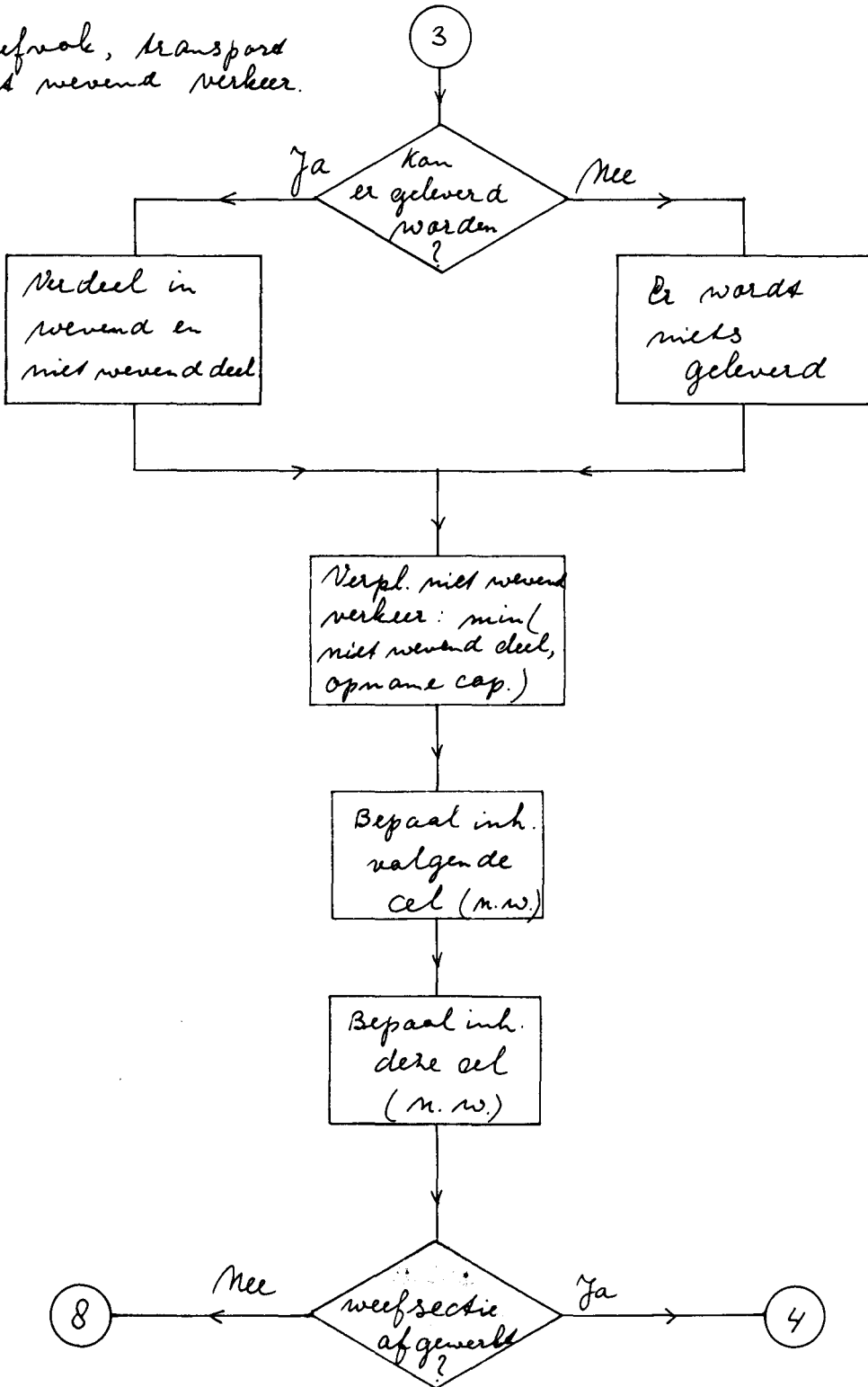
Transport nog niet wevend verkeer.

Indien er te weven voertuigen zijn welke niet opgenomen kunnen worden in de volgende cel van de andere rijbaan, dan kan men trachten deze voertuigen te verplaatsen naar de volgende cel in dezelfde rijbaan.

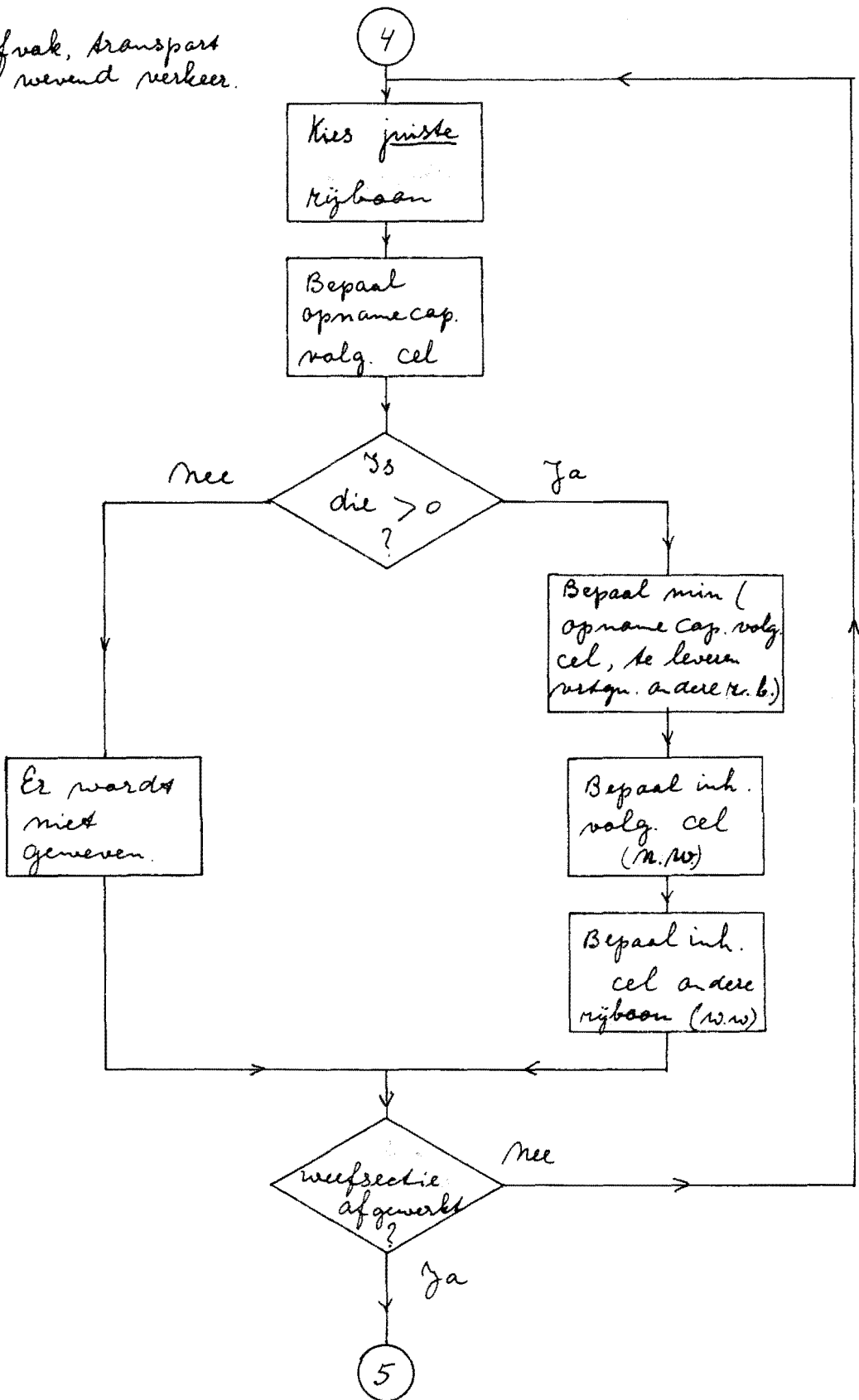
Wanneer, uitvoer en  
bepaling opname cap.  
en te leveren vertgn.

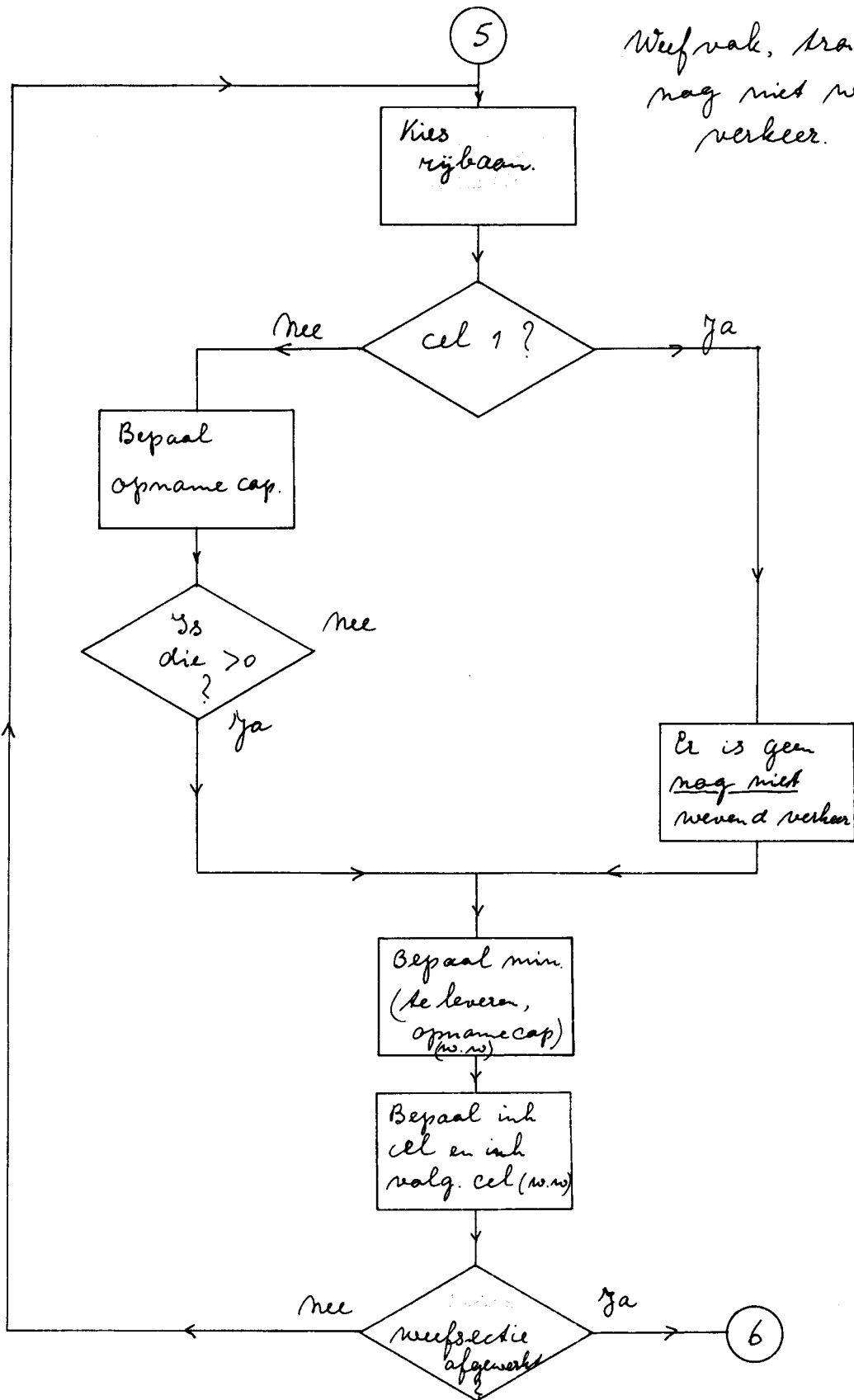


Meestal, transport  
niet wevend verkeer.



Wegvak, transport  
wel verend verkeer.





Wanneer, transport mag niet meevand verkeer.

Er is geen mag met meevand verkeer.

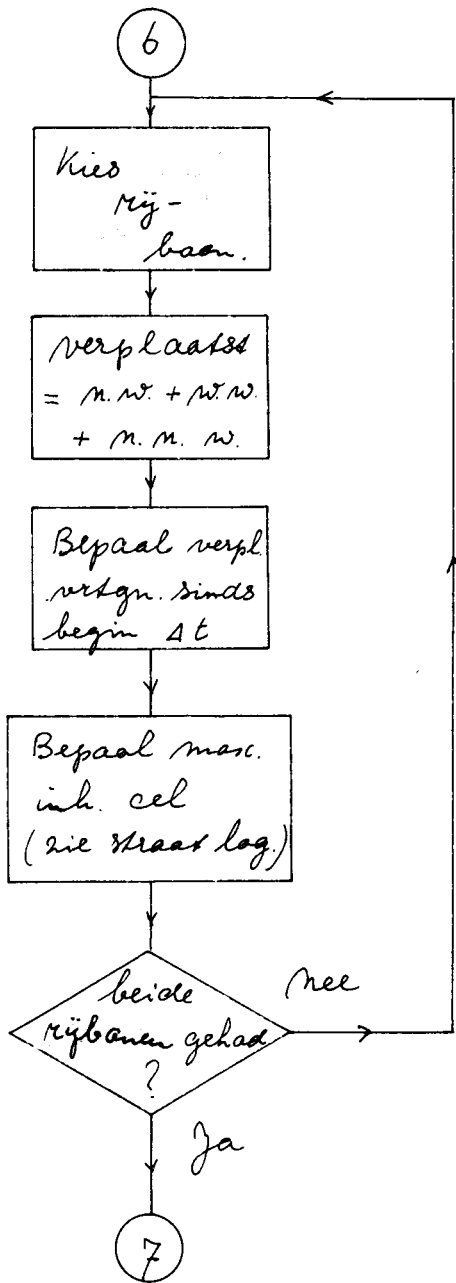
Bepaling maximum inhoud.

Dit programma-onderdeel verloopt overeenkomstig de berekening van de maximum inhoud van het straatprogramma. Voor het verplaatste aantal voertuigen moet men drie getallen optellen.

De berekening van de potentiaal, de gemiddelde relatieve snelheid en de gemiddelde celinhoud verloopt als in de voorgaande programma's.



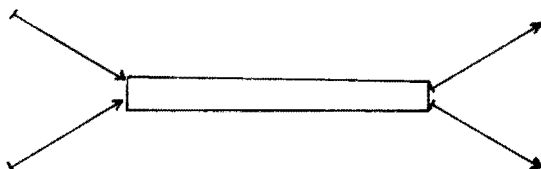
Weefvlak, bepaling  
max. inh. cel.



Voorbeeld.

Ook hier zullen we in plaats van een uitgebreide test een voorbeeld geven, dit vanwege de reeds genoemde beperkingen van de machine.

Het te simuleren weefvak ziet er als volgt uit:



Lengte weefvak = 65 m.

Breedte elke weghelft = 2 rijbanen.

Lengte in- en uitstraten = 30 m.

Breedte in- en uitstraten = 2 rijbanen.

Maximum snelheid = 50 km./u.

$\Delta t = 1$  seconde.

Dus het weefvak is 5 cellen lang, alle straten 2. Men wenst 60 sec. te simuleren met als gemiddelden voor de invoer van voertuigen vanuit de periferie: 1.10 en 0.01 p.a.e!'s per seconde. Van beide rijbanen weeft 50 %. De gevonden in- en uitvoer zijn wat te laag wat waarschijnlijk ligt aan de randongenerator.

Een tweede simulatie is uitgevoerd met iets andere gegevens: de gemiddelde invoeren zijn 0.80 p.a.e!'s per ingang per seconde. en van de ene rijbaan weeft 75% niet en de andere 25%. De uitgevoerde gegevens tonen duidelijk het nut van de poolcel aan: in de 60ste iteratie treedt een congestie op waardoor de gegenereerde invoer van voertuigen niet opgenomen kan worden. Het ontstaan van de congestie wordt veroorzaakt door een te groot aantal voertuigen dat gebruik wil maken van dezelfde rijbaan.

Men kan uit het bovenstaande de conclusie trekken dat het programma werkt

volgens de gestelde regels, maar het is niet te zeggen of de werkelijkheid hier wordt nagebootst. Daarvoor is een uitgebreid onderzoek van het echte verkeer nodig. Een eventueel dan ontworpen model zal uitgebreid getest moeten worden om zijn volledige betrouwbaarheid te bewijzen.

Voor elk van de bovenstaande programma's was ongeveer 90 minuten machinetijd nodig, dus 90 maal meer dan de te simuleren tijd.

C VERKEERSSIMULATIE, MODEL B.

C  
C INVOER.

C  
DIMENSION IH(4,12),MIH(4,11),CNC(4,10),MNC(4),GES(4),AVIS(4)  
DIMENSION NIW(2),NUW(2),PNW(2),IHNW(2,11),IHW(2,11),MIHW(2,11)  
DIMENSION IVNW(2),IVW(2),IMUN(2),IMUW(2),IVNO(2),IMIS(2),  
CNCW(10)  
DIMENSION ABV(2),AVV(2),IHW(2),MAT(2),CUPO(2,50),NIN(2),NUI(2)  
DIMENSION GIT(2),NVGI(2),IHPO(2)  
680 FORMAT (13,13,13,13,13,14,12)  
681 FORMAT (13,13,F5.2)  
672 FORMAT (/14/)  
676 FORMAT (F5.1,F5.2)  
677 FORMAT (F5.1,F5.1)  
1 ACCEPT TAPE 680,MINP  
DO 44 INPS=1,MINP  
ACCEPT TAPE 680,IS,IB,IAS,MNS,NWC,MITY,MVGI  
DO 683 KW=1,2  
683 ACCEPT TAPE 681,NIW(KW),NUW(KW),PNW(KW)  
DO 682 NS=1,MNS  
682 ACCEPT TAPE 680,MNC(NS)  
DO 134 IN=1,2  
134 ACCEPT TAPE 680,NIN(IN),NVGI(IN)  
DO 695 IVGI=1,MVGI  
695 ACCEPT TAPE 676,GIT(IVGI)  
DO 135 IU=1,2  
135 ACCEPT TAPE 680,NUI(IU)

C  
C BEPALING BEGINVOORWAARDEN EN CONSTANTEN.

C  
AIS=IS  
AIB=IB  
AIA=IAS  
CC1=(AIA-AIB)/(AIS-AIB)  
CC2=AIB\*(AIS-AIA)/(AIS-AIB)  
CC3=(AIS-AIB)/(AIB\*\*2)  
DO 686 NS=1,MNS  
M=MNC(NS)+1  
DO 684 NC=1,M  
684 IH(NS,NC)=0  
MIH(NS,NC)=IB  
M=M+1  
IH(NS,M)=IB  
M=M-2  
DO 686 NC=1,M  
686 CNC(NS,NC)=1.0  
DO 687 NC=1,NWC  
687 CNCW(NC)=1.0  
DO 688 KW=1,2  
IHW(KW)=IB  
M=NWC+1  
DO 688 NC=1,M  
IHNW(KW,NC)=0  
IHW(KW,NC)=0

```
688 MIHW(KW,NC)=IB
DO 58 IN=1,2
IHPO(IN)=0
58 ABV(IN)=.0
DO 59 IU=1,2
59 AVV(IU)=.0
DO 914 IVGI=1,MVGI
A=GIT(IVGI)
B=EXP(A)
J=A
CUPO(IVGI,1)=1./B
DO 903 I=2,50
IMIN=I-1
CUPO(IVGI,I)=A/B+CUPO(IVGI,IMIN)
IF(J-1)904,905,905
904 IF(CUPO(IVGI,I)-CUPO(IVGI,IMIN)-.5E-02)906,906,905
905 C=I
A=A*GIT(IVGI)/C
903 CONTINUE
906 MAT(IVGI)=IMIN
914 CUPO(IVGI,IMIN)=1.
C
C WEEFVAK, INVOER VOERTUIGEN.
C
DO 679 ITY=1,MITY
ISW=0
NC=0
X=RAND(0.0)
IF(X-.5)600,603,603
600 KWV=0
GO TO 605
603 KWV=1
605 DO 667 KW=1,2
IMI=IHWP(KW)-IHNW(KW,NWC+1)-IHW(KW,NWC+1)
NS=NIW(KW)
IF(IMI)117,117,103
117 MIH(NS,1)=IS
GO TO 667
663 IF(IMU-IMI)664,664,665
664 IV=IMU
GO TO 666
665 IV=IMI
666 X=RAND(0.0)
IF(X-PNW(KW))670,669,669
670 IHNW(KW,NWC+1)=IHNW(KW,NWC+1)+IV
GO TO 668
669 IHW(KW,NWC+1)=IHW(KW,NWC+1)+IV
668 IH(NS,1)=IH(NS,1)-IV
GO TO 113
667 CONTINUE
C
C WEEFVAK,BEREKENING IMIS(KW).
C
GO TO 649
```

```
DO 650 NC=1,NWC
649 DO 616 KW=1,2
    IF (NC)604,604,639
604 NS=NUW(KW)
    M=MNC(NS)+1
    IMIS(KW)=IH(NS,M+1)-IH(NS,M)
    GO TO 640
639 IMIS(KW)=MIHW(KW,NC)-IHW(KW,NC)-IHNW(KW,NC)
C
C WEEFVAK, BEREKENING IMU.
C
640 IF(IMIS(KW))601,602,606
601 IF(NC)602,602,651
651 MIHW(KW,NC)=IS
602 IVNW(KW)=0
    GO TO 616
606 IHW=IHNW(KW,NC+1)+IHW(KW,NC+1)
    IF(IHW)700,700,662
700 IMUW(KW)=0
    GO TO 602
662 IF(IS-MIHW(KW,NC+1))607,607,610
607 IF(IAS-IHW)608,609,609
608 IMU=IAS
    GO TO 612
609 IMU=IHW
    GO TO 612
610 IF(IB-IHW)611,609,609
611 AIH=IHW
    IMU=AIH*CC1+CC2+.5
C
C WEEFVAK BEREKENING IMUN(KW),IMUW(KW).
C
612 AIMU=IMU
    AHW=IHW
    AHNW=IHNW(KW,NC+1)
    IMUN(KW)=(AIMU*AHNW)/(AHW)+.5
    IMUW(KW)=IMU-IMUN(KW)
C
C WEEFVAK, TRANSPORT NIET WEVEND VERKEER.
C
640 IF(IMUN(KW)-IMIS(KW))613,613,614
613 IV=IMUN(KW)
    GO TO 615
614 IV=IMIS(KW)
615 IF(NC)641,641,642
641 IVNW(KW)=IV
    IH(NS,M)=IH(NS,M)+IVNW(KW)
    GO TO 643
642 AIV=IV
    IVNW(KW)=AIV*CNCW(NC)+.5
    IHNW(KW,NC)=IHNW(KW,NC)+IVNW(KW)
    ISVW=ISVW+IVNW(KW)
643 IHNW(KW,NC+1)=IHNW(KW,NC+1)-IVNW(KW)
616 CONTINUE
```

```
C
C   WEEFAK, TRANSPORT WEL WEVEND VERKEER.
C
138  IF(KWV)138,138,617
      KW=2
      KA=1
      GO TO 618
617  KW=1
      KA=2
618  IMIS(KW)=IMIS(KW)-IVNW(KW)
      IF(IMIS(KW))620,620,621
620  IVW(KA)=0
      GO TO 625
621  IF(IMUW(KA)-IMIS(KW))622,622,623
622  IMU=IMUW(KA)
      GO TO 644
623  IMU=IMIS(KW)
644  IF(NC)646,646,647
646  IVW(KA)=IMU
      NS=NUW(KW)
      M=MNC(NS)+1
      IH(NS,M)=IH(NS,M)+IVW(KA)
      GO TO 624
647  AIMU=IMU
      IVW(KA)=AIMU*CNCW(NC)+.5
      IHNW(KW,NC)=IHNW(KW,NC)+IVW(KA)
      ISVW=ISVW+IVW(KA)
624  IHWW(KA,NC+1)=IHWW(KA,NC+1)-IVW(KA)
625  IF(KW-KWV-1)701,702,701
701  IF(KWV)617,617,138
C
C   WEEFVAK, TRANSPORT NOG NIET WEVEND VERKEER.
C
702  KA=3
      DO 637 KW=1,2
      KA=KA-1
      IF(NC)132,132,648
132  IVNO(KW)=0
      GO TO 637
648  IMIS(KW)=IMIS(KW)-IVW(KA)
      IF(IMIS(KW))132,132,630
630  IMUW(KW)=IMUW(KW)-IVW(KW)
      IF(IMUW(KW))132,132,631
631  IF(IMUW(KW)-IMIS(KW))632,632,633
632  IMU=IMUW(KW)
      GO TO 629
633  IMU=IMIS(KW)
629  AIMU=IMU
      IVNO(KW)=AIMU*CNCW(NC)+.5
      IHWW(KW,NC)=IHWW(KW,NC)+IVNO(KW)
      ISVW=ISVW+IVNO(KW)
      IHWW(KW,NC+1)=IHWW(KW,NC+1)-IVNO(KW)
637  CONTINUE
C
```

C WEEFVAK, BEREKENING MIHW(KW,NC+1).

C  
DO 650 KW=1,2  
IHW=IHW(KW,NC+1)+IHNW(KW,NC+1)  
IF(IHW)653,653,636  
653 MIHW(KW,NC+1)=IB  
GO TO 650  
636 AIVW=IVNW(KW)+IVWW(KW)+IVNO(KW)  
MIHW(KW,NC+1)=AIS-(AIVW\*\*2)\*CC3+.5  
650 CONTINUE

C  
C WEEFVAK, BEREKENING POTENTIAAL.

C  
DO 660 KW=1,2  
IHWP(KW)=0  
DO 657 KP=1,NWC  
NC=NWC-KP+1  
IHWP(KW)=IHNW(KW,NC)+IHW(KW,NC)  
IF(IS-MIHW(KW,NC))654,654,655  
654 IHWP(KW)=IHWP(KW)+IS-IHW  
GO TO 658  
655 IF(MIHW(KW,NC)-IHW)658,657,656  
656 IHWP(KW)=IHWP(KW)+MIHW(KW,NC)-IHW  
657 CONTINUE  
658 IF(IB-IHWP(KW))659,660,660  
659 IHWP(KW)=IB  
660 CONTINUE

C  
C WEEFVAK, BEREKENING GESW,AVIW.

C  
IVN=0  
DO 690 KW=1,2  
DO 690 NC=1,NWC  
690 IVN=IVN+IHNW(KW,NC)+IHW(KW,NC)  
IF(IVN)692,692,693  
692 GESW=.0  
AVIW=.0  
GO TO 694  
693 AIVN=IVN  
AISV=ISVW  
GESW=AISV/AIVN  
AVIW=AIVN/10.

C  
C INVOER VOERTUIGEN.

C  
694 DO 907 IN=1,2  
NS=NIN(IN)  
M=MNC(NS)+1  
IVGI=NVGI(IN)  
MAX=MAT(IVGI)  
X=RAND(0.0)  
DO 901 I=1,MAX  
IF(X-CUPO(IVGI,I))902,901,901  
901 CONTINUE



```
902 IMI=IH(NS,M+1)-IH(NS,M)
    IF(IMI)66,66,67
66 IAV=0
    IHPO(IN)=IHPO(IN)+I-1
    GO TO 69
67 IF(IHPO(IN)+I-IMI-1)65,65,61
65 IAV=IHPO(IN)+I-1
    IHPO(IN)=0
    GO TO 69
61 IAV=IMI
    IHPO(IN)=IHPO(IN)+I-IMI-1
69 IH(NS,M)=IH(NS,M)+IAV
    A=IAV
    ABV(IN)=ABV(IN)+A/10.
907 CONTINUE
C
C   UITVOER VOERTUIGEN.
C
    NC=0
    KW=-1
    DO 671 IU=1,2
    NS=NUI(IU)
    GO TO 107
645 B=IMU
    IV=IMU
    AVV(IU)=AVV(IU)+B/10.
    IH(NS,1)=IH(NS,1)-IMU
    GO TO 113
671 CONTINUE
C
C   STRAAT, BEREKENING IMI.
C
    DO 128 NS=1,MNS
    KW=0
    M=MNC(NS)
    ISV=0
    DO 116 NC=1,M
    IMI=MIH(NS,NC)-IH(NS,NC)
C
C   STRAAT, BEREKENING IMU.
C
    IF(IMI)101,102,103
101 MIH(NS,NC)=IS
102 IV=0
100 MIH(NS,NC+1)=IS
    GO TO 116
103 IF(IS-MIH(NS,NC+1))104,104,107
104 IF(IAS-IH(NS,NC+1))105,106,106
105 IMU=IAS
    GO TO 109
106 IMU=IH(NS,NC+1)
    GO TO 109
107 IF(IB-IH(NS,NC+1))108,106,106
108 AIH=IH(NS,NC+1)
```

```
      IMU=AIH*CC1+CC2+.5
C
C   STRAAT, BEREKENING IV.
C
109  IF(KW)645,130,663
130  IF(IMU-IMI)110,110,111
110  AIMU=IMU
      IV=AIMU*CNC(NS,NC)+.5
      GO TO 112
111  AIMI=IMI
      IV=AIMI*CNC(NS,NC)+.5
C
C   STRAAT, TRANSPORT.
C
112  IH(NS,NC)=IH(NS,NC)+IV
      ISV=ISV+IV
      IH(NS,NC+1)=IH(NS,NC+1)-IV
C
C   STRAAT,BEREKENING MIH(NS,NC+1).
C
      IF(IS-IH(NS,NC))100,100,113
113  IF(IH(NS,NC+1))114,114,115
114  MIH(NS,NC+1)=IB
      GO TO 131
115  AIV=IV
      MIH(NS,NC+1)=AIS-(AIV**2)*CC3+.5
131  IF(KW)671,116,667
116  CONTINUE
C
C   STRAAT, BEREKENING POTENTIAAL.
C
      IH(NS,M+2)=0
      DO 124 KP=1,M
      NC=M-KP+1
118  IF(IS-MIH(NS,NC))118,118,119
      IH(NS,M+2)=IH(NS,M+2)+IS-IH(NS,NC)
      GO TO 120
119  IF(MIH(NS,NC)-IH(NS,NC))120,124,123
123  IH(NS,M+2)=IH(NS,M+2)+MIH(NS,NC)-IH(NS,NC)
124  CONTINUE
120  IF(IB-IH(NS,M+2))121,122,122
121  IH(NS,M+2)=IB
C
C   STRAAT, BEREKENING GES(NS),AVIS(NS).
C
122  IVN=0
      DO 125 NC=1,M
125  IVN=IVN+IH(NS,NC)
      IF(IVN)126,126,127
126  GES(NS)=.0
      AVIS(NS)=.0
      GO TO 128
127  AISV=ISV
      AIVN=IVN
```

```
GES(NS)=AISV/AIVN
AVIS(NS)=AIVN/10.
128 CONTINUE
C
C   UITVOER RESULTATEN.
C
PUNCH TAPE 672,ITY
PUNCH TAPE 676,AVIW,GESW
DO 673 NS=1,MNS
673 PUNCH TAPE 676,AVIS(NS),GES(NS)
PUNCH TAPE 677,ABV(1),ABV(2)
679 PUNCH TAPE 677,AVV(1),AVV(2)
C
C   EINDE PROGRAMMA.
C
DO 41 NS=1,MNS
M=MNC(NS)+1
DO 42 NC=1,M
42 PUNCH TAPE 680,IH(NS,NC),MIH(NS,NC)
41 PUNCH TAPE 680,IH(NS,M+1)
DO 9 IN=1,2
9 PUNCH TAPE 680,IHPO(IN)
DO 44 KW=1,2
M=NWC+1
DO 43 NC=1,M
43 PUNCH TAPE 680,IHNC(KW,NC),IHC(KW,NC),MIHC(KW,NC)
44 PUNCH TAPE 680,IHWP(KW)
PAUSE
GO TO 1
END
```

02  
21 11 06 04 05 060 2  
01 04 0.50  
02 03 0.50  
02  
02  
02  
02  
01 01  
02 02  
11.0  
00.1  
04  
03  
21 11 06 04 05 060 2  
01 04 0.75  
02 03 0.25  
02  
02  
02  
02  
01 01  
02 02  
08.0  
08.0  
04  
03

60

3.8 1.00  
1.6 1.00  
.0 .00  
.6 1.00  
.6 1.00  
43.8 .4  
19.4 18.2  
6 11  
10 11  
0 11  
6  
0 11  
0 11  
0 11  
11  
6 11  
0 11  
0 11  
11  
0 11  
6 11  
0 11  
11  
5  
0  
10 0 11  
6 0 11  
6 0 11  
10 0 11  
0 0 11  
0 0 11  
11  
0 0 11  
0 0 11  
0 0 11  
0 0 11  
6 0 11  
0 0 11  
11

60

18.0	.23
4.2	.00
1.4	.85
.2	1.00
1.5	1.00
26.2	44.1
36.4	8.6
21	21
21	21
0	21
0	
10	16
4	11
0	11
11	
1	11
1	11
0	11
11	
8	11
7	11
0	11
7	
40	
37	
17	0 17
16	0 16
17	0 17
17	0 17
16	0 16
0	0 11
0	
3	18 21
13	8 21
14	7 21
13	8 21
7	6 21
0	0 11
8	

NETWERK.

Het is niet meer nodig om te beschrijven hoe men een netwerk moet samenstellen, in feite is dat reeds gebeurt bij de beschrijving van het kruispunt en weefvak-programma. De koppeling van de verschillende elementen van een netwerk gebeurt met tabellen, zoals bijvoorbeeld in het kruispuntprogramma:  
 $NS = NIS(K, NI)$ .

De volgorde waarin de diverse subroutines gebruikt worden is, na de invoer van alle benodigde gegevens, het instellen van de beginvoorwaarden en het berekenen van de constanten:

1. Klok- instelling van de tijd-, verkeerslichten,
2. Kruispunt,
3. Weefvak,
4. Periferie en
5. Straat.

Daarna vindt de uitvoer van de gewenste gegevens plaats.

De grote en samenstelling van het netwerk is beperkt door de voor dit programma te kleine geheugen en te lange machinetijd. In de I.B.M. 1620 zijn 60.000 geheugenplaatsen ter beschikking waarvan de diverse subroutines de volgende aantallen plaatsen innemen:

Straat : 1.500 geheugenplaatsen.

Kruispunt : 15.000 " .

Weefvak : 15.000 " .

Het totaal aantal benodigde plaatsen laat zich moeilijk schatten omdat ook nog ruimte wordt gereserveerd voor de "Dimensions" en de vertaler. Men kan ook eerst het programma in machinetaal vertalen en daarna invoeren waardoor geen ruimte nodig is voor de vertaler.

Voor de gebruikte machine was het objectprogram van het netwerk met 2 kruis-

punten, 14 straten, 6 in- en 6 uitgangen juist nog te verwerken wat betreft de benodigde geheugenruimte, waarvoor dus ongeveer 200 maal de werkelijke tijd nodig was bij een iteratietijd van 1 sec. Betere resultaten kunnen verwacht worden bij het gebruik van de I.B.M. 360.



Besluit.

Tot slot zij opgemerkt dat dit verslag het karakter heeft van de beschrijving van een vooronderzoek, de toepasbaarheid van deze simulator wordt zeer zeker vergroot door de reeds genoemde uitbreidingen en verbeteringen aan te brengen, waarbij hoge eisen gesteld worden aan de te gebruiken computer.

Gaarne dank ik prof. Heetman voor deze leerzame opdracht ter afronding van mijn studie aan deze Technische Hogeschool. Ir. Geurts dank ik voor de vele hulp die ik tijdens mijn afstuderen van hem ondervond en verder ben ik diegenen zeer erkentelijk die ten allen tijde bereid waren mij met raad en daad ter zijde te staan.

M.J.Zwart.

ALFABETHISCHE CODELIJST.

A	Rekengrootheid.
ABV(IN)	Aantal binnengekomen voertuigen sinds begin simulatie.
AHNW	Fl.p. voor IHNW(KW,NC).
AIA	Fl.p. voor IAS.
AIB	Fl.p. voor IB.
AIH	Fl.p. voor IH(NC) of IH.
AIMI	Fl.p. voor IMI.
AIMU	Fl.p. voor IMU.
AIS	Fl.p. voor IS.
AISV	Fl.p. voor ISV.
AIV	Fl.p. voor IV.
AIVN	Fl.p. voor IVN.
ANC	Fl.p. voor MNC.
AVIS(NS)	Gem. aantal vrtgn. in de straat.
AVMP(K)	Max. krspt. capaciteit per iteratie.
AVNP	Aantal vrtgn. dat in deze iteratie nog vervoerd kan worden.
AVV(IU)	Aantal vertrokken vrtgn. sinds begin simulatie.
AWAV(K,NI)	Aantal wachtende vrtgn. voor verkeerslicht.
ALAV(NI,NU) A2AV(NI,NU)	Aantal verplaatste vrtgn. van instraat naar uitstraat.
B	Rekengrootheid.
BL1F(NI,NU) BL2F(NI,NU)	Capaciteitsconstanten.
CC1 CC2 CC3 CC4 CC5 CC6 CC7	Constanten.

CNC(NC)	Snelheidsconstante.
CNC(NS,NC)	
CNCW(NC)	
CP1(NI,NU)	Term v.d. cumulatieve verdeling naar oorsprong en bestemming.
CP2(NI,NU)	
CUPO(I)	Term v.d. cumulatieve Poissonverdeling.
CUPO(IVGI,I)	
D	Rekengrootheid.
F	Rekengrootheid.
GEMS	Gem. rel. snelheid.
GES(NS)	
GINH	Gem. celinhoud.
GIT	Gem. invoer per iteratie.
GIT(IN)	
GRSN	Gem. rel. snelheid per iteratie.
I	Rangnummer termen der cum. Poissonverdeling.
IA(ITVG)	Aantal vrtgn. dat per iteratie vertrekt uit een gestopte cel voor een verkeerslicht.
IAV	Momentane invoer.
IAS	Aantal vrtgn. dat per iteratie uit een gestopte cel kan vertrekken.
IB	Gem. celinhoud bij max. snelheid.
IECY(K)	Max. waarde van IFAT(K).
IEOK	Einde optrekarakteristiek in iteraties.
IFAT(K)	Stand fazeteller.
IH(NC)	Celinhoud.
IH(NS,NC)	
IHB	Celinhoud in de begintoestand.
IHNW(KW,NC)	Celinhoud aan niet-wevende vrtgn.
IHPI	Inhoud poolcel ingang.
IHPO	
IHFU	Inhoud poolcel uitgang.
IHW	Celinhoud.
IHWP(KW)	Inhoud potentiaalcel.
IHW(KW,NC)	Celinhoud aan wel-wevende vrtgn.

IMI	Opnamecapaciteit cel.
IMIN	Rekengrootheid.
IMIS(KW)	Opnamecapaciteit cel.
IMU	Aantal vrtgn. dat cel kan verlaten.
IMUN(KW)	Aantal niet-wevende vrtgn. dat cel kan verlaten.
IMUW(KW)	Aantal wel-wevende vrtgn. dat cel kan verlaten.
IN	Rangnummer ingang.
INPS	Rangnummer set invoergegevens.
IS	Gem. celinhoud in gestopte toestand.
ISV	Som verplaatste vrtgn. sinds begin der simulatie.
ISVW	
ITVG	Aantal iteraties verlopen sinds laatste keer groen worden licht.
ITY	Aantal iteraties verlopen sinds starten programma.
IU	Rangnummer uitgang.
IUV	Momentane uitvoer.
IV	Verplaatste aantal vrtgn. per iteratie tussen twee cellen.
IVGE(K,NI)	Waarde van IFAT(K) waarbij licht geel wordt.
IVGI	Rangnummer van de verschillende waarden van GIT.
IVGR(K,NI)	Waarde van IFAT(K) waarbij licht groen wordt.
IVMI	Rekengrootheid.
IVN	Aantal verplaatste vrtgn. sinds starten programma.
IVNO(KW)	Verplaatste aantal nog-niet-wevende vrtgn.
IVNW(KW)	Verplaatste aantal niet-wevende vrtgn.
IVRO(K,NI)	Waarde van IFAT(K) waarbij licht rood wordt.
IVV(K)	Buffer voor opslag invoer gegevens benodigd bij uitvoer na zekere tijd.
IVWW(KW)	Verplaatste aantal wel-wevende vrtgn.
K	Rangnummer kruispunt.
KA	Rekengrootheid.

KBU(NU)	Blokkeerfactor.
KMVV(NI)	Aantal te leveren vrtgn door instraten.
KP	Rekengrootheid.
KSEU	Som der blokkeerfactoren.
KSMV	Som van de aantallen te leveren vrtgn. door instraten.
KVAV(NI)	Aantal verplaatste vrtgn.
KVB(K,NI)	Aantal vrtgn. met een bestemming aangewezen.
KW	Nummer rijbaan weefvak.
KWV	Volgende waarde van KW.
KLBB(NI,NU) K2BB(NI,NU)	Aantal vrtgn. met een bepaalde bestemming aangewezen.
L	Rangnummer gekozen logica.
LI(K,NI)	Kleur verkeerslicht.
LM	Lengte iteratietijd in seconden.
LWN(K)	Laatste waarde van N.
LWNI(K)	Laatste waarde van NI.
M	Rekengrootheid.
MAIN	Aantal ingangen.
MAK	Aantal kruispunten.
MAT(IN)	Aantal termen van de Poissonverdeling.
MAUT	Aantal uitgangen.
MAX	Aantal termen van de Poissonverdeling.
MIH(NC) MIH(NS,NC) MIHB	Maximale celinhoud. Maximale celinhoud in de begintoestand.
MIHW(KW,NC)	Maximale celinhoud.
MINP	Aantal malen dat het programma wordt doorgestart met nieuwe invoergegevens.
MITY	Aantal iteraties dat programma moet draaien.

MN	Aantal malen dat een nieuwe set invoergegevens moet worden gelezen.
MNC	Aantal cellen inde straat.
MNC(NS)	
MNI(K)	Aantal instraten.
MNIS	
MNS	Aantal straten.
MNU(K)	Aantal uitstraten.
MNUS	
MVGI	Aantal verschillende waarden van GIT.
N	Rekengrootheid.
	Nummer set invoergegevens.
NC	Celnummer.
NI	Instraatnummer.
NIN(IN)	Straatnummer van de ingang.
NIS(K,NI)	Straatnummer van de instraat.
NITY	Aantal iteraties waarna de karakteristieke waarden worden berekend.
NIW(KW)	Straatnummer van de instraat.
NS	Straatnummer.
NU	Uitstraatnummer.
NUI(IU)	Straatnummer van de uitgang.
NUS(K,NI)	Straatnummer van de uitstraat.
NUW(KW)	
NVGI(IN)	Rangnummer van de verschillende waarden van GIT.
NWC	Aantal cellen in een weefvak.
PNW(KW)	Gedeelte vrtgn. dat niet weeft.
RAND(0.0)	Subroutine voor het berekenen van een randomgetal.
SKWI	Som der kwadraten der celinhouden.
SKWS	Som der kwadraten der rel. snelheden.
SP	Rekengrootheid.
SPRI	Spreading in de celinhoud.

SPRS Spreiding in de rel. snelheid.  
STEI Som der celinhouden.  
STES Som der rel. snelheden.  
  
TE Rekengrootheid.  
X Randomgetal:  $0.00000000 \leq X < 1.00000000$ .

LITERATUUR.

- 1      Grundlagen der Strassenverkehrsplanung in Stadt und Land.  
Bauverlag G.M.B.H. Wiesbaden- Berlin.  
J.W. Korte.
- 2      Highway Capacity Manual.  
U.S. Department of Commerce.  
Bureau of Public Roads, Washington.
- 3      Theory of Traffic Flow.  
Proc. of the Symp. on the Theory of Traffic Flow, Elsevier Publ. Cy.  
R. Herman.
- 4      Proceedings of the Second International Symposium on the Theory of  
Road Traffic Flow. London 1963.  
J. Almond.
- 5      Enige beschouwingen over stochastische processen in het wegverkeer.  
De Ingenieur. Verkeer en Verkeerstechniek. 4. (30-11-1962).  
J.W. Cohen.
- 6      Computer Simulation of City Traffic.  
Communications of the A.C.M. 224-226.  
(schrijver en jaargang onbekend)
- 7      Simulation of Freeway Traffic by an Electronic Computer.  
Traffic and Operations. (1956) 543-547.  
D.L. Gerlough.
- 8      The Use of a Digital Computer to Model a Signalized Intersection.  
Traffic and Operations. (1956) 548-557.  
H.H. Goode en anderen.
- 9      Application of Digital Simulation Techniques to Highway Design  
Problems.  
Midwest Research Institute, Kansas City, Missouri.  
A. Glickstein e.a.
- 10     Digital Simulation of Urban Traffic.  
I.B.M. Systems Journal. Vol. 3, no. 1 (1964) 41-50.  
A.M. Blum.
- 11     Mathematic Model for Traffic Control.  
I.B.M. Japan, Ltd. (july 30, 1963)  
H. Kanno.
- 12     Vehicle Traffic Simulation and Control.  
I.B.M. Corporation. (march 2, 1964)  
A.M. Blum.
- 13     An approach to Street Traffic Simulation.  
I.B.M. Nordiska Laboratorier, Sweden. (august 2, 1963)  
C. Ohlin e.a.



- 14 Simulation of Traffic Conditions at an Uncontrolled T-junction.  
Traffic Engineering and Control. (oct. 5, 1963) 354-358.  
J.M. Aitken.
- 15 Study of Traffic by Simulation.  
Traffic and Operations. (1955) 522-530.  
J.H. Mathewson, e.a.
- 16 The Application of High Speed Computer to the Definition of the  
Vehicular Traffic Problem.  
Operations Research Journal. 5. (1957) 775-793.  
H.H. Goode.
- 17 Traffic Simulator with a Digital Computer.  
Proc. of Western Joint Comp. Conf. (1956) 92-94.  
S.Y. Wong.
- 18 Simulation of a Traffic Network.  
Communications of the A.C.M. Vol. 6, no. 8. (august 1963) 480-486.  
J.H. Katz.
- 19 Application of Computer Simulation Techniques to Interchange  
Design Problems.  
Paper of the Highway Research Board. (jan. 1960) 139-162.  
A. Glickstein, e.a.
- 20 Application of Digital Design Techniques to Freeway On-Ramp  
Traffic Operations.  
Traffic and Operations. (1960) 506-523.  
P.A. Perchonok, e.a.
- 21 An Investigation of Computer Controlled Traffic Signals by  
Simulation.  
Proc. Inst. of Civil Engrs. 25. (june 1963) 183-192.  
R.L. Grimdale, e.a.
- 22 Approaches to Operational Problems in Street and Highway  
Traffic. A Review.  
Operations Research J. 4. (1956) 32-41.  
D.L. Gerlough, e.a.
- 23 Simulation des Strassenverkehrs.  
I.B.M. Deutschland. (okt. 1964)  
U. Grosz, e.a.
- 24 Theory of Road Traffic.  
Electr. and Comm. of Japan. (1963) 10, 68-89.  
H. Inose, e.a.
- 25 Programmbeschreibung des Verkehrssimulators.  
I.B.M. Deutschland. (okt. 1964)  
U. Grosz, e.a.

- 26 Towards a Unified Theory of Road Traffic.  
Operations Research Journal. (nov. 1958) 813-826.  
F.A. Haight.
- 27 A Simulation Programme for Linked Traffic Signals.  
Paper Sec. Int. Symp. o. the Theory of Traffic Flow. (June 1963)  
J.G.F. Francis.
- 28 Dynamics of Single-Lane Vehicular Traffic Flow.  
M.I.T. Center for Operations Research Report no. 2. (1959)  
W. Helly.
- 29 Simulation of Traffic Flow.  
Nat. Res. Couns.- Highway Res. Board. Spec. rep. no. 79. (1964)  
D.L. Gerlough.

- Een eenvoudige flexibele besturing van verkeerslichten met behulp van een kerngeheugen. -

2e Afstudeerverslag van: M.J.Zwart.  
Hoogleraar: Prof. ir. A.Heetman.  
Wetenschappelijk ambtenaar: Ir. A.G.M.Geurts.  
Datum: januari 1966.

Typ- en tekenwerk: Mej. J.M.Lathouwers.

Inhoudsopgave.

1. Inleiding:                   a) Eisen.  
                                  b) Principe.
  
2. Geheugen:                   a) Matrix.  
                                  b) Drijvers.  
                                  c) Selectie-circuit.  
                                  d) Leesdetectors.  
                                  e) Sample-circuit.  
                                  f) Uitlees-circuit.
  
3. Logische schakelingen:   a) Telschakeling.  
                                  b) Programmekeuze.  
                                  c) Besturing der lichten.  
                                  d) Besturing van de hele schakeling.
  
4. Verkeerslichten-circuit: a) Volgorde tabel en schakeling.  
                                  b) Geelknipperen.
  
5. Invoer van informatie.
  
6. Conclusie.
  
7. Voorbeeld van programmering.

## 1. Inleiding.

### 1.1. Eisen.

Bij de besturing van verkeerslichten wordt in het algemeen een min of meer vaste informatie cyclisch uitgelezen. Deze informatie wordt bijvoorbeeld vastgelegd door een ronddraaiende schakelwals die op vaste tijden de gewenste lichten in- en uitschakelt. Trommelgeheugens worden hier ook wel voor toegepast waarbij al een zekere flexibiliteit mogelijk is.

Een systeem wat praktisch niet wordt toegepast maar wat minstens evenveel mogelijkheden biedt als de voorgaande, is die met een kerngeheugen.

We zullen trachten een verkeerslichteninstallatie te ontwerpen met behulp van een kerngeheugen die voldoet aan de volgende eisen:

1. Op bepaalde tijdstippen moet een bepaalde combinatie van lichten vertoond worden.
2. Zowel de tijdstippen waarop als de combinaties die geschakeld worden moeten eenvoudig te wijzigen zijn.
3. De mogelijkheid moet aanwezig zijn de lichten geel te laten knipperen, handbediening moet ingebouwd kunnen worden.
4. Alle functies moeten op afstand zowel te besturen als te veranderen zijn.
5. Het ontwerp moet betrouwbaar, eenvoudig en op economisch verantwoorde wijze te construeren zijn.

### 1.2. Principe.

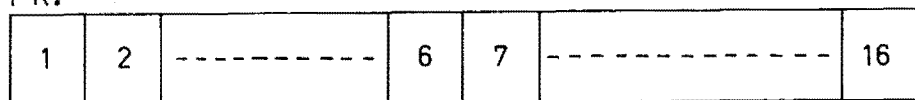
Het ligt voor de hand een woord-georganiseerd geheugen toe te passen waarbij een gedeelte van het woord voor de schakelfuncties en een ander gedeelte voor de tijdstippen waarop geschakeld moet worden wordt gebruikt. Tevens kunnen één of meer bits gebruikt worden voor de keuze van verschillende programma's.

Per combinatie van drie lichten: rood, geel en groen, is om te schakelen een informatieinhoud van één bit nodig indien we geel zien als een instabiele toestand tussen groen en rood. Zodoende kan één bit een combinatie van drie lichten sturen.

Indien als klokfrequentie van het hele systeem 1 Hz. wordt genomen en men maximaal een tijdsinterval van 32 seconden wil overbruggen heeft men dus 5 bits nodig om de schakeltijdstippen vast te leggen.

De enige programmakeuze die in dit ontwerp mogelijk is, is het verlengen van een groentijd. Dit is reeds mogelijk bij het gebruik van 1 bit. Indien men dat wenst kan zelfs op deze manier een ander fase-systeem gekozen worden. We zullen gebruik maken van een 16 x 16 matrix, de indeling van een woord is hieronder geschetst. Men kan dus 10 licht-combinaties schakelen.

PR.



teller

10 lichten

## 2. Het geheugen.

### 2.1. Matrix.

Een 32 x 32 kernmatrix met 6 C 1 kernen wordt gedeeltelijk gebruikt, met een 16 x 16 matrix is men al in staat om van 10 verschillende lichtcombinaties op 16 verschillende tijdstippen per cyclus de standen der lichten vast te leggen. De 6 C1 kernen vereisen een drijverstroom van  $\pm$  600 ma, een pulsbreedte van 2 us een stijgtijd van 0,2 us. In fig.2 is weergegeven hoe het lees- en schrijf-circuit van een 4 x 4 geheugen er uit ziet.

Met behulp van één X lees- en één X schrijf- en 16 Y schrijfdrijvers is men in staat destructief te lezen en de informatie in te schrijven.

### 2.2. Drijvers.

Alle drijvers zijn vrijwel veel gelijk wat betreft hun schakeling, de X leesdrijver heeft enkele andere componenten vanwege het feit dat deze inplaats van de halve stroom 275 mA, ongeveer 650 mA moet leveren. In fig.3 is de hele schakeling van de drijver afgebeeld, een uitvoerige beschrijving wordt gegeven in het afstudeerverslag van de heer N.Bos.

### 2.3. Selectie-circuit.

Via het selectie-circuit voor de X draden wordt het juiste woord geselecteerd. Fig.4 laat zien hoe met behulp van een binaire teller een 1 uit 16 selectie tot stand komt.

De drievoudige poorten worden op twee ingangen geselecteerd door deze teller, de derde ingang ontvangt een puls die doorgegeven wordt naar het circuit in fig.5. De beide X draden worden voor de duur van de puls geselecteerd, intussen kunnen de drijvers gestart worden. Deze pulsduur is ongeveer 15 us, dit om, zoals in fig.13 is aangegeven, het lees- schrijf-circuit te kunnen sturen. De eerste trap van de schakeling van fig.5 moet ongeveer 35 mA aan basisstromen kunnen opnemen bij een stroomversterking van de transistor 2 N428 van 30.

#### 2.4. Leesdetector.

Voor het lezen wordt gebruik gemaakt van een biwip in micro-circuit uitvoering, zie fig.5. Deze circuits werken op een voedingsspanning van -5,2 Volt en logische spanningen "1" = - 0,75 en "0" = - 1,55 Volt. Het komt ons echter beter uit alle spanningen 12 Volt omlaag te brengen, dit met het oog op de noodzakelijke aanpassing aan het overige deel der schakeling.

Indien we van de biwip de voeding inschakelen en de ingangen zijn beide op vrijwel hetzelfde spanningsniveau, zeg -12,8 Volt, dan zal de schakeling steeds in één bepaalde toestand komen. We stellen nu dat die toestand in fig.5 de nultoestand is (dit hangt af van de wijze van aansluiten).

Indien we een "0" lezen, zien we op het ogenblik van het starten der leesdrijver vrijwel geen spanning op de leesdraad. Lezen we een "1" dan is die spanning in onbelaste toestand ongeveer 80 à 100 mV.

Door nu via een trafo met middenaftakking zoals getekend deze spanning op de ingangen te zetten van de biwip, juist op het tijdstip van inschakelen van zijn voeding, is men instaat om in geval van een "1" de biwip in de "1" toestand te brengen. Immers in geval van een "0" hebben beide ingangen dezelfde potentiaal, in geval van een "1" kan men bij een gunstige wikkelverhouding een verschilspanning van 0,15 à 0,20 V krijgen wat voldoende is om de Biwip te doen omslaan.

Het aantal primaire windingen is zo gekozen dat de draad-inductief zo weinig mogelijk wordt belast. Met de potmeter naar de middenaftakking van de secundaire winding is men in staat om de gelijkspanningsinstelling te regelen.

Via een differentiaalversterker worden de logische spanningen van het micro-circuit vertaald in die van de conventionele schakelingen, zie fig.6.

#### 2.5. Sample-circuit.

Met behulp van de schakeling van fig.7 worden alle micro-circuits gelijktijdig uit en op het tijdstip van de leespulss weer ingeschakeld. Het uitschakelen moet, vanwege het feit dat de besturing der lichten rechtstreeks geschiedt met de uitgangen van de leesdetectors, kort zijn, bijvoorbeeld 5 us. Normaal is de ingangsspanning -11 Volt,



waardoor beide transistoren geleiden. Wordt de ingangsspanning -3 Volt, dan spert de laatste transistor en de micro-circuits worden niet gevoed. Het inschakelen dient te gebeuren met een korte stijgtijd om een nauwkeurige sampling te krijgen. Met behulp van een parallelschakeling van een pnp- en een npn-emittervolger en een capaciteit aan de ingang is men in staat een stijgtijd van 0,2  $\mu$ s te bereiken.

De collector-emitterspanning van de laatste transistor wordt op ongeveer 0,8 Volt gebracht, zodoende staat op het micro-circuit de juiste voedingsspanning.

#### 2.6. Uitleescircuit.

In de fig.8 en 9 ziet men dat het uitlezen met behulp van een regeneratieve versterker en pulsenpoorten plaats vindt. De uitgangen van deze poorten starten dus de Y-schrijfdrijvers.

### 3. Logische schakelingen.

#### 3.1. Telschakeling.

In fig.8 is de telschakeling getekend die dient voor het bepalen van de schakeltijdstoppen. In een binaire code van 5 bits staat in het geheugen na hoeveel klokpulsen van 1 Hz. het volgende woord moet worden gelezen. Bij het uitlezen van het geheugen wordt dit codewoord in een binaire teller geschreven.

Bij elke volgende klokpuls wordt er van deze stand één afgetrokken tot de nulstand is bereikt. Pas dan laat de zesvoudige puls- en poort een puls door welke het lees- schrijfcircuit start en het volgende woord kiest.

Om bij het uitlezen van het geheugen in de teller het doorgeven van informatie tussen de biwips van de teller te voorkomen, zijn ze geïsoleerd door middel van poorten.

Een klokpuls zet dus eerst een "1" niveau op deze poorten en na de "open" tijd komt een puls op de triggeringang van de eerste biwip.

#### 3.2. Programmakeuze.

Eenvoudigheidshalve is hier slechts één bit voor gereserveerd. Men is hiermede instaat na elk gelezen woord inplaats van het volgende woord weer het eerste woord te lezen. Zodoende is een zekere flexibiliteit aanwezig. Indien moet worden teruggesprongen naar het eerste woord, wordt een "1" gelezen. De biwip komt in de "1" stand en zoals fig.11 laat zien wordt dan door de puls van de 6 voudig puls en poort van de telschakeling tevens de binaire teller van de selector gereset.

Vlak voor dat het uitlezen van het geheugen plaatsvindt wordt deze biwip gereset.

#### 3.3. Besturing der lichten.

De uitgangen van de daarvoor bestemde leesdetectors sturen rechtstreeks, via een emittervolger, de relaisdrijver die nodig is voor het schakelen, met behulp van relais, der lichten. Het onderbreken der voeding van de micro-circuits is kort genoeg om deze relais niet te doen veranderen van stand.

### 3.4. Besturing van de hele schakeling.

De klokpuls bedraagt 1 Hz. wat voor verkeersdoeleinden nauwkeurig genoeg is.

De klok stuurt rechtstreeks de telschakeling.

Het lees- schrijf-circuit wordt pas gestart indien de teller in de nulstand staat, terwijl eerst nog het volgende woord wordt gekozen door de stand van de teller van het selectie-circuit met 1 te verlagen.

In fig.10 ziet men de besturing van de telschakeling. Op de puls-ingang mag pas 5 us na het niveau op de regelingang een puls komen in verband met de open tijd van de puls-en-poorten. Het niveau op de pulspoorten duurt 20 us. dit met het oog op de propagatie van de puls door de binaire teller.

Daarna komt pas een puls op de zesvoudige en poort. De uitgang van deze poort stuurt de ingang van de selectieteller en verzorgt eventueel het resetten van deze teller, zie fig.11. Tevens wordt het lees- schrijf-circuit gestart. Het resetten van de biwip van de programmakeuze geschiedt gelijktijdig met het starten van dit circuit. De lees- schrijfcyclus is weergegeven in fig.12.

De selectiepuls is nodig voor de 16 x 3 voudige en-poorten welke de X draden selecteren.

Na 5 us start de X leesdrijver en tevens schakelt het sample-circuit de micro-circuits in. Dit inschakeltijdstip is variabel om op de juiste puls te kunnen sampelen.

5 us daarna worden de leesdetectors uitgelezen met behulp van een regeneratieve versterker en wordt de X schrijfdrijver gestart. Om de X en Y schrijfpuls te laten samenvallen is de tijdvertraging naar de regeneratieve versterker variabel.

#### 4. Verkeerslichten-circuit.

##### 4.1. Volgorde tabel en schakeling.

De uitgang van de desbetreffende leesdetector stuurt via een emittervolger een relaisdrijver, welke op zijn beurt het Ro relais schakelt.

In fig.13 is een volgorde tabel opgenomen waarmede we de schakeling van fig.14 zullen ontwerpen.

Zoals reeds is opgemerkt zullen we geel opvatten als een instabiele toestand tussen groen en rood. We wensen bijvoorbeeld een geeltijd van 3 seconden.

In toestand 1 wordt een "1" gelezen, de relaisdrijver spert en het Ro-relais is stroomloos. We wensen nu dat het groene licht brandt. Wordt een "0" gelezen, dan betekent dit ga over op rood via 3 seconden geel. Dus van toestand 1 naar 3 via de instabiele toestand 2. Voor 3 lichten hebben we 2 relais nodig, het RO-relais stuurt het GE relais via een verbreekcontact. Als  $RO = 0$  is, is  $GE = 1$ .

Bij het overgaan van toestand 1 naar 2 laten we RO opkomen, waarna na 3 seconden GE afvalt doormiddel van een traagafvallend relais. Toestand 3 is weer stabiel, het rode licht brandt zie fig.15. Willen we het aantal schakelmomenten beperken, dan is het verstandig om van twee strijdige rijrichtingen op hetzelfde ogenblik over te gaan van groen op geel en tevens het commando "wordt groen" te geven voor de andere richting. Tijdens de geeltijd van de ene en nog een zekere rood (de alles rood-) tijd moet dit groen nog wegblijven, indien men een alles roodtijd van 3 seconden wenst moet dus na 6 seconden overgegaan worden op groen. Na 3 komt dus een instabiele toestand 4 deze blijft 6 seconden bestaan waarna toestand 1 terugkeert. Uit de figuren 14 en 15 blijkt duidelijk hoe een en ander is gerealiseerd.

##### 4.2. Geelknipperen.

Het X contact dient voor het geelknipperen. Op elk willekeurig moment moet dit ingeschakeld kunnen worden waarop ogenblikkelijk gereageerd moet worden door alle lichten. Daartoe moeten de relais en hun vertraagde werking worden uitgeschakeld, en tevens moeten de groene en rode lichten worden gedoofd. GE wordt onmiddellijk stroomloos, en alle gele lichten worden aan dezelfde draad geschakeld.

In fig.16 is te zien dat relais Y deze draad periodiek in- en uitschakeld, met behulp van de klok en een monowip wordt de juiste licht-donkerverhouding geregeld. De lampen in het model hebben 10 Volt nodig, dus moeten voor 4 x 0,2W lampen een weerstand van ongeveer 170 ohm worden voorgeschakeld.

Voor X kan men zowel een schakelaar als een relais nemen.

De juiste waarde van de geel- en allesrood tijd kan worden ingesteld met behulp van een variabele weerstand over het relais en de elektrolyt. Het RO relais kan maximaal 12 seconden en het GE relais 6 seconden worden vertraagd.

De RC tijd is bepaald door 3 weerstanden en een condensator, indien we de zelfinductie van het relais mogen verwaarlozen:

$$= C \left( 680 + \frac{R_v \times R_{\text{relais}}}{R_v + R_{\text{relais}}} \right)$$

Indien men weet bij welke stroom het relais afvalt, dan is bij de waarde van R de afvaltijd te voorspellen. De spreiding in de eigenschappen van het relais maakt deze voorspelling niet erg zinvol.

5. Invoer van informatie.

De invoer geschiedt in het model met de hand. Voor de selector zijn 4 2polige schakelaars nodig, voor de leesdetectors 16 2polige schakelaars. In fig.17 zijn de schakelingen getekend. De diodes dienen voor het ontkoppelen van de elementen indien de -12 Volt niet is ingeschakeld. De spanning over de diode zorgt ervoor dat bij de selector een "0" spanning en bij de leesdetectors een "1" spanning wordt gezien. De schakelaar naar de -12 Volt schakelt tevens via een monowip het lees- schrijfcircuit in. De monowip moet lang genoeg in de "1" stand zijn om het prellen van de schakelaar niet door te laten.

Om starten van de hele schakeling mogelijk te maken op een bepaalde plaats, is er nog een schakelaar welke de selector in de nulstand kan zetten.

Tevens is een schakelaar X aanwezig om hetzij geel knipperen, normaal bedrijf, of buiten bedrijf te schakelen.

6. Conclusie.

Op tamelijk eenvoudige wijze is voldaan aan de in de inleiding genoemde eisen, zonder dat getracht is de schakeling in alle opzichten optimaal te doen zijn.

Na een technische vervolmaking moet het mogelijk zijn volgens dit principe zeer complexe verkeerslichteninstallaties op eenvoudige wijze te bedienen.

7. Voorbeeld.

Als voorbeeld is gekozen het in bijlage 4 op bladzijde 17 van het "Voorstel van een indeling van het Willemsplein en het Vughterplein te 's Hertogenbosch" geschetste fase-diagram.

In onderstaande tabel zijn alle lichten geprogrammeerd, voor de teller zijn 5 bits gereserveerd, voor de lichten 15 en voor de programma-keuze 1.

Tijd:	6	33	36	39	42	54	57	69	72	75	81	84	87	96	105	sec.
Licht:																
A	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
B2	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
D	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
E	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
G	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
H	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
L	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
M	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
N	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
P	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Q	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
T1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
T2	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
T4	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
T8	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1
T16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

Men ziet dat met behulp van een 15 x 21 matrix het reeds mogelijk is om dit fase-diagram te realiseren, terwijl men door de programmabits op de tijdstippen 87, 96 en 105 te wijzigen de mogelijkheid heeft om de groentijd voor de hoofdrichting met respectievelijk 0, 9 en 18 seconden te verlengen.



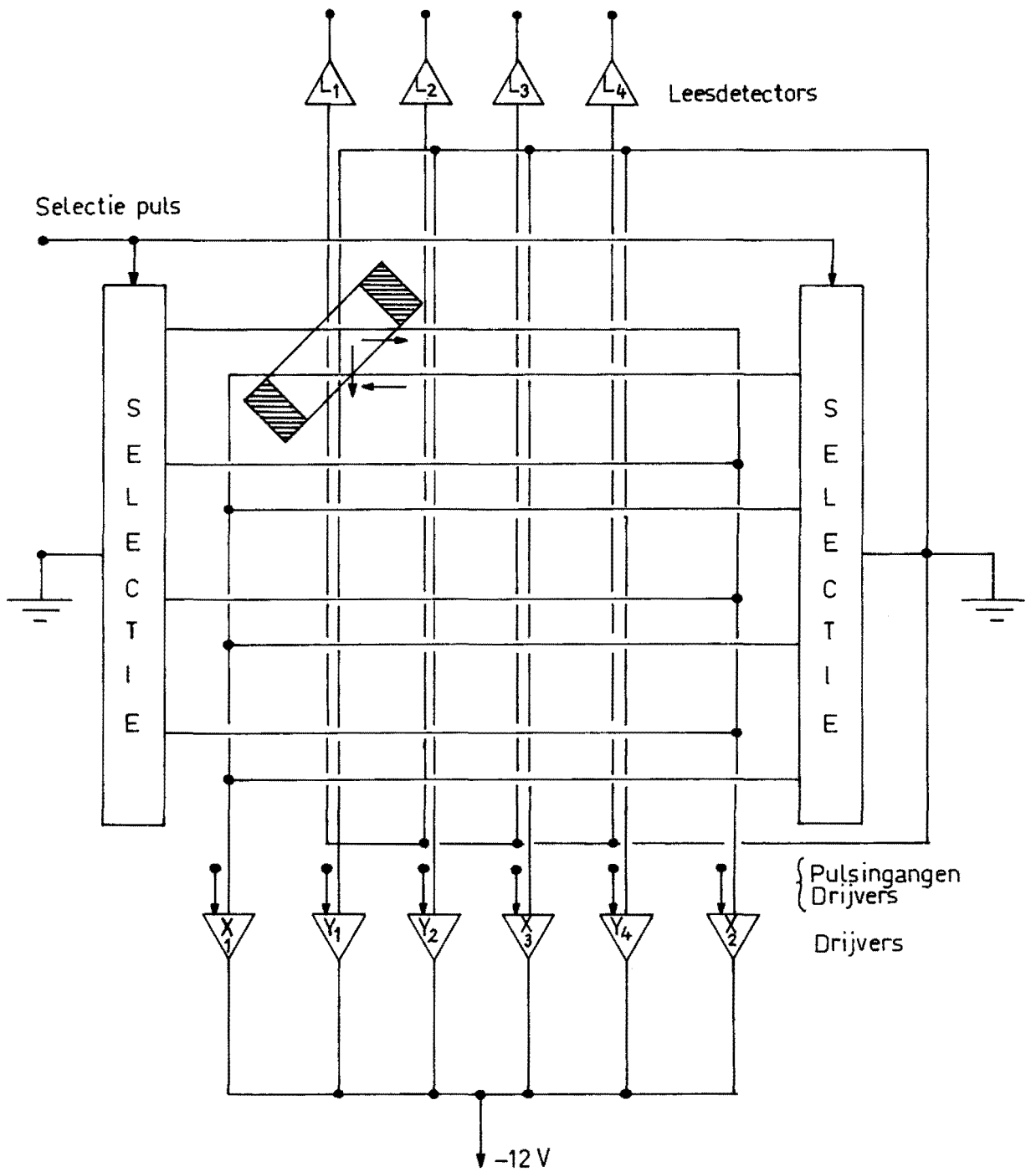


Fig.1 Het lees- schrijf-circuit van een 4 x 4 kerngeheugen.

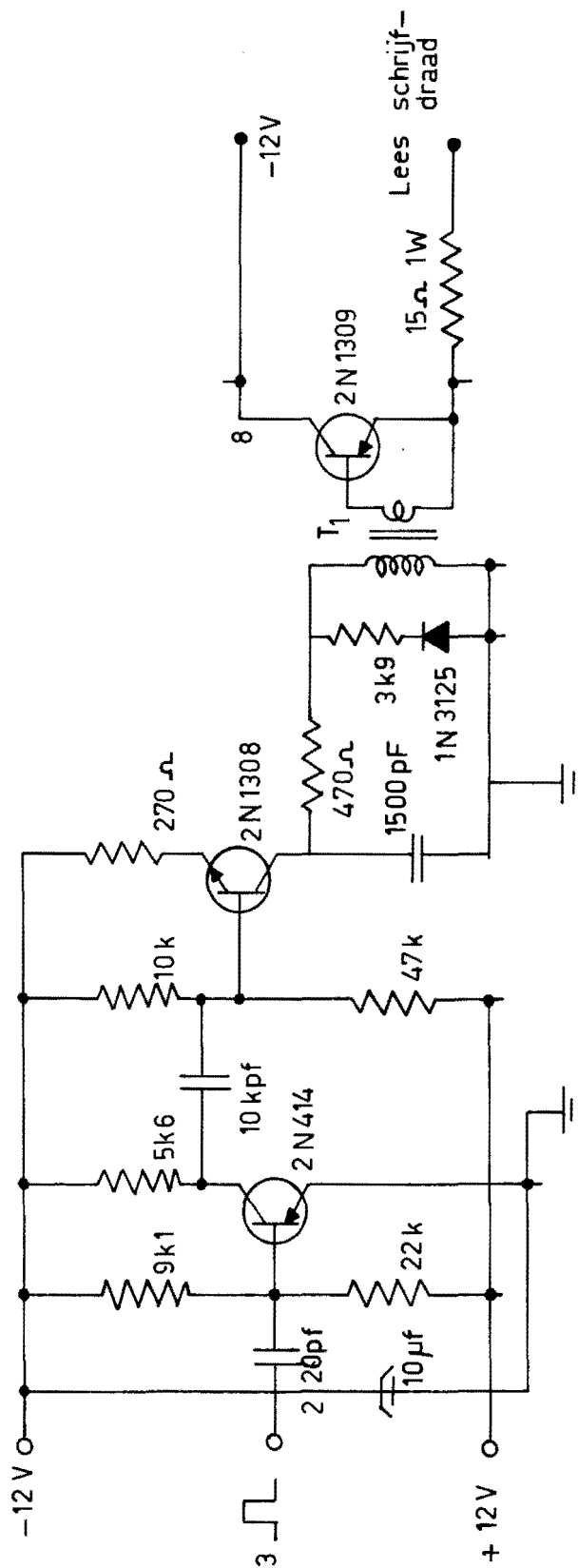


Fig.2 Schema van een drijversschakeling voor  $I = 650 \text{ mA}$ .

In de schakeling voor  $I = 375 \text{ mA}$  wordt de weerstand van  $12 \text{ ohm } 1 \text{ W}$  vervangen door een van  $39 \text{ ohm } 1 \text{ W}$ .

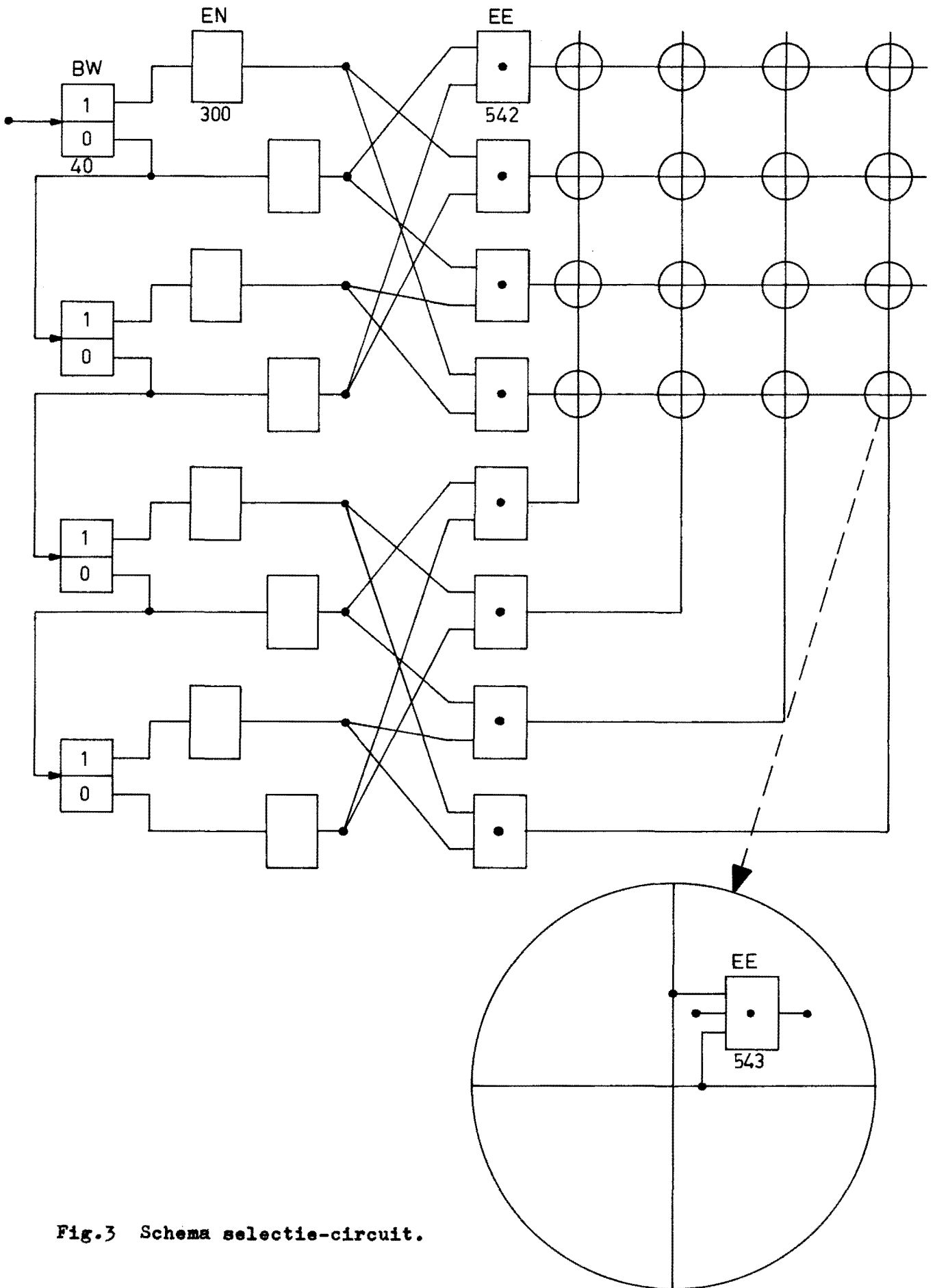


Fig.3 Schema selectie-circuit.

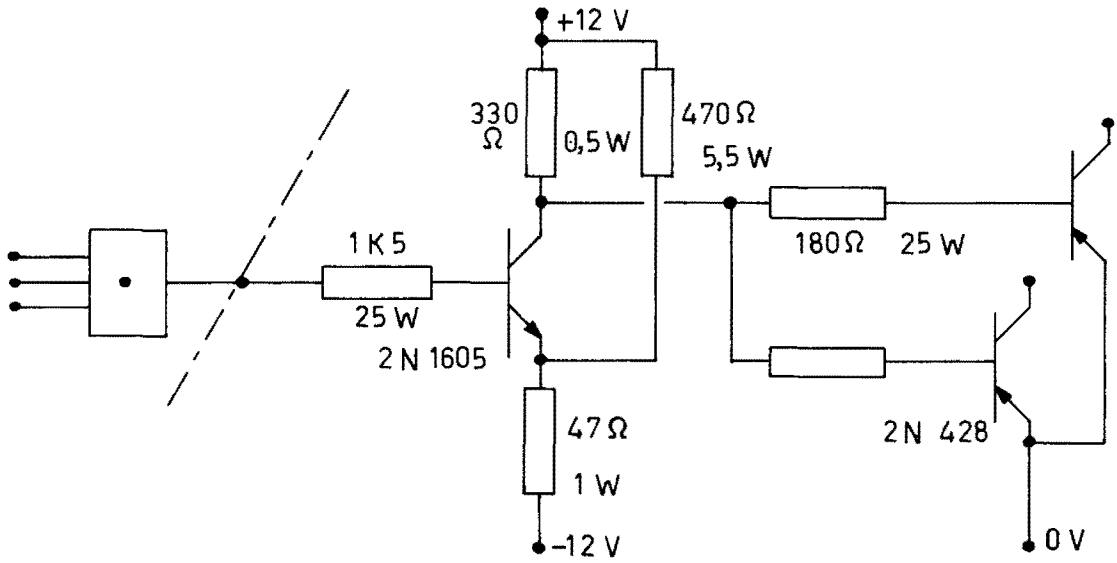


Fig.4 De koppeling van het selectie-circuit aan de lees- en schrijfdraden.

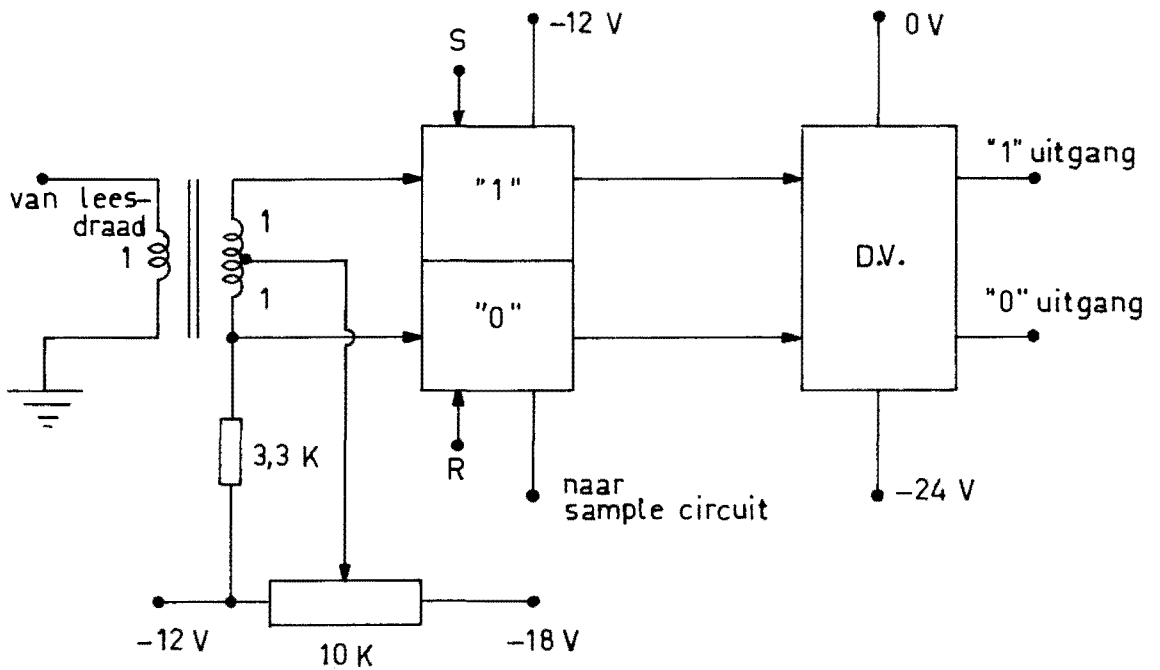


Fig.5 Principe schema van de als leesdetector gebruikte triflop.

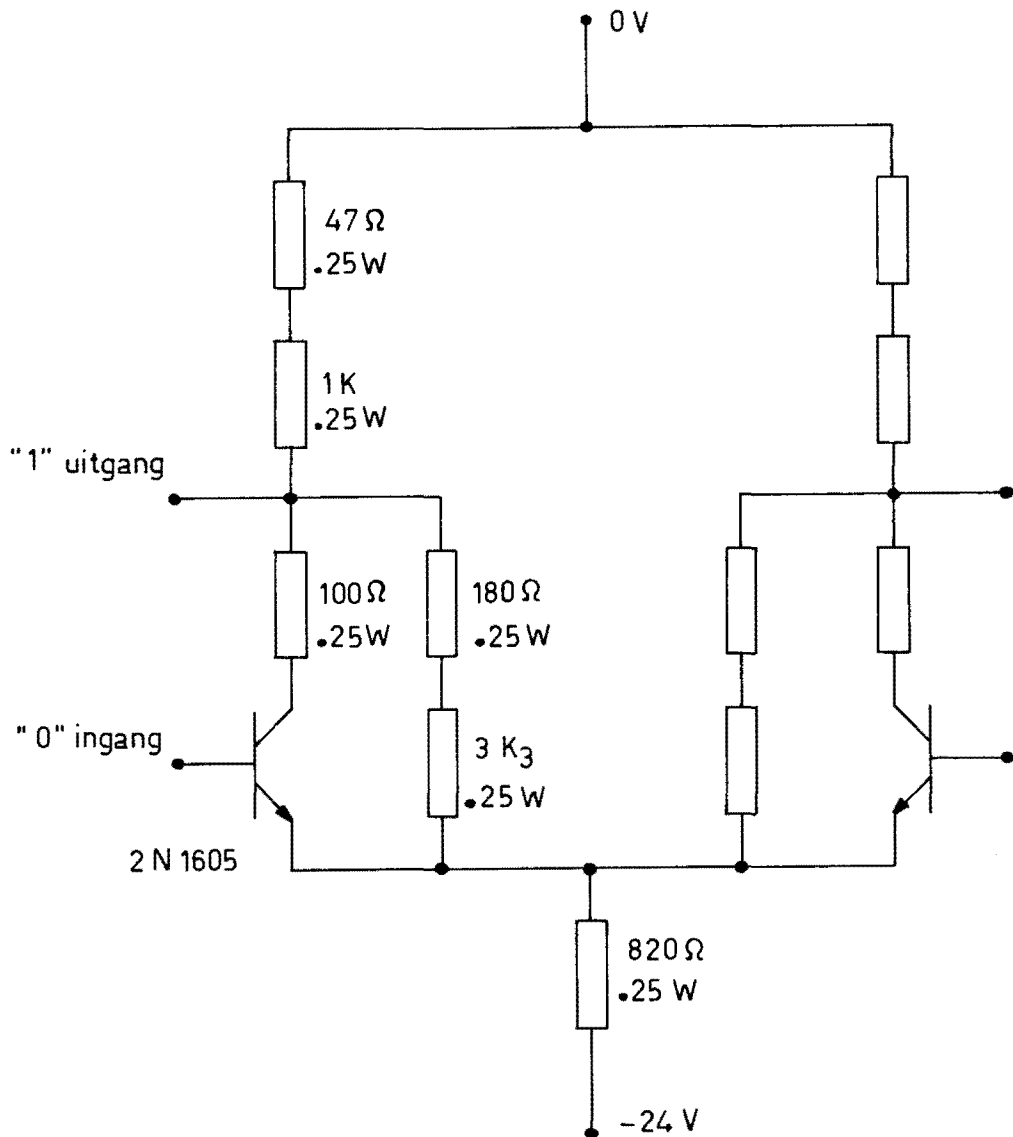


Fig.6 Differentiaalversterker voor conversie van spanningsniveaus microcircuit naar conventionele schakelingen.

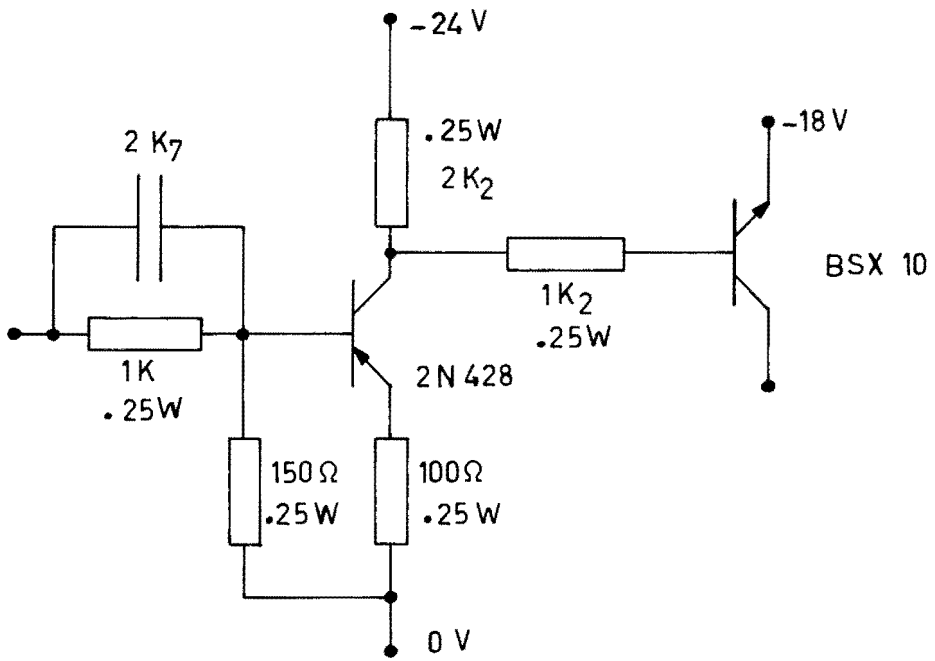


Fig.7 Principeschema sample-circuit.

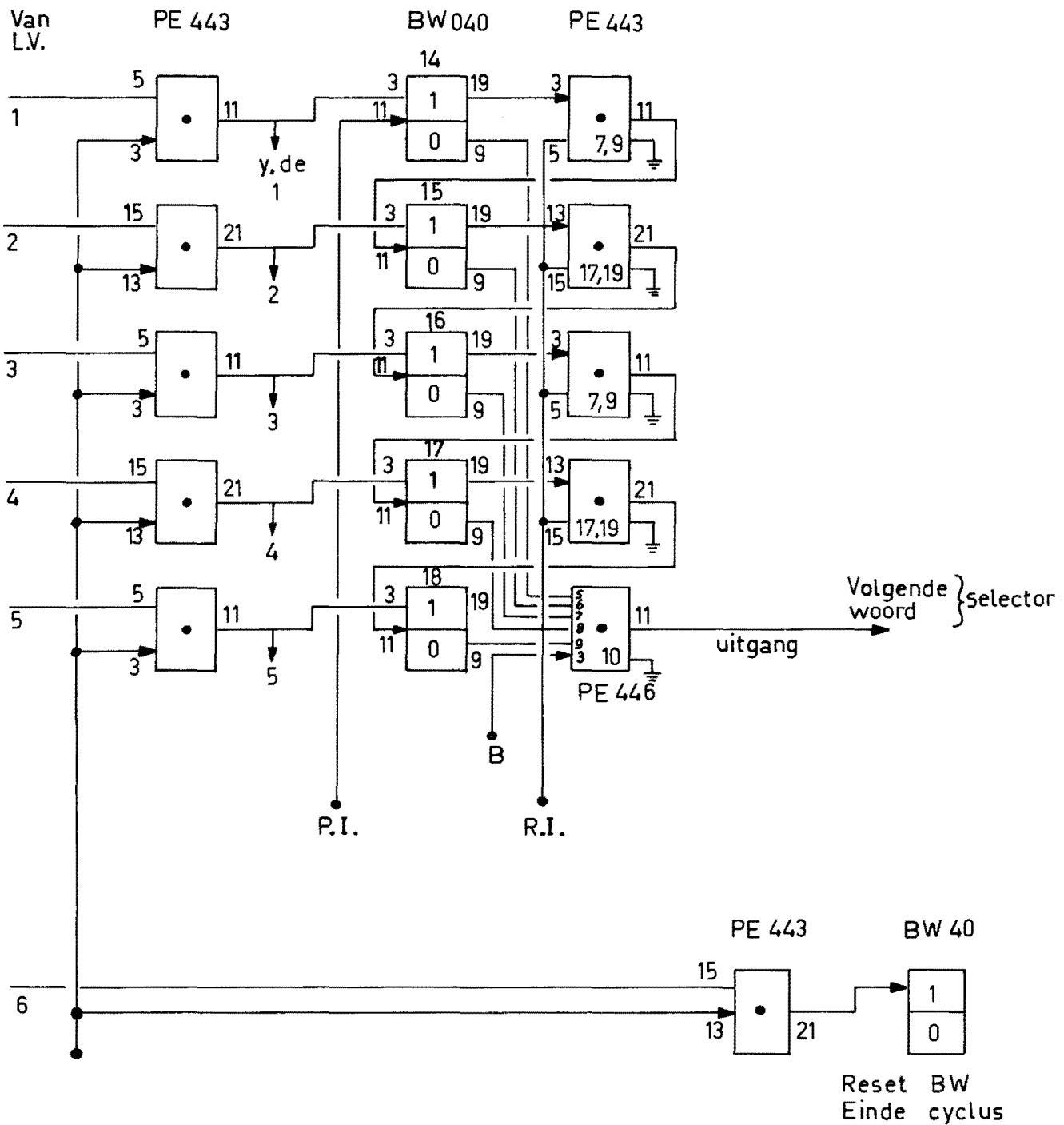


Fig.8 Telschakeling en programmakeuze.

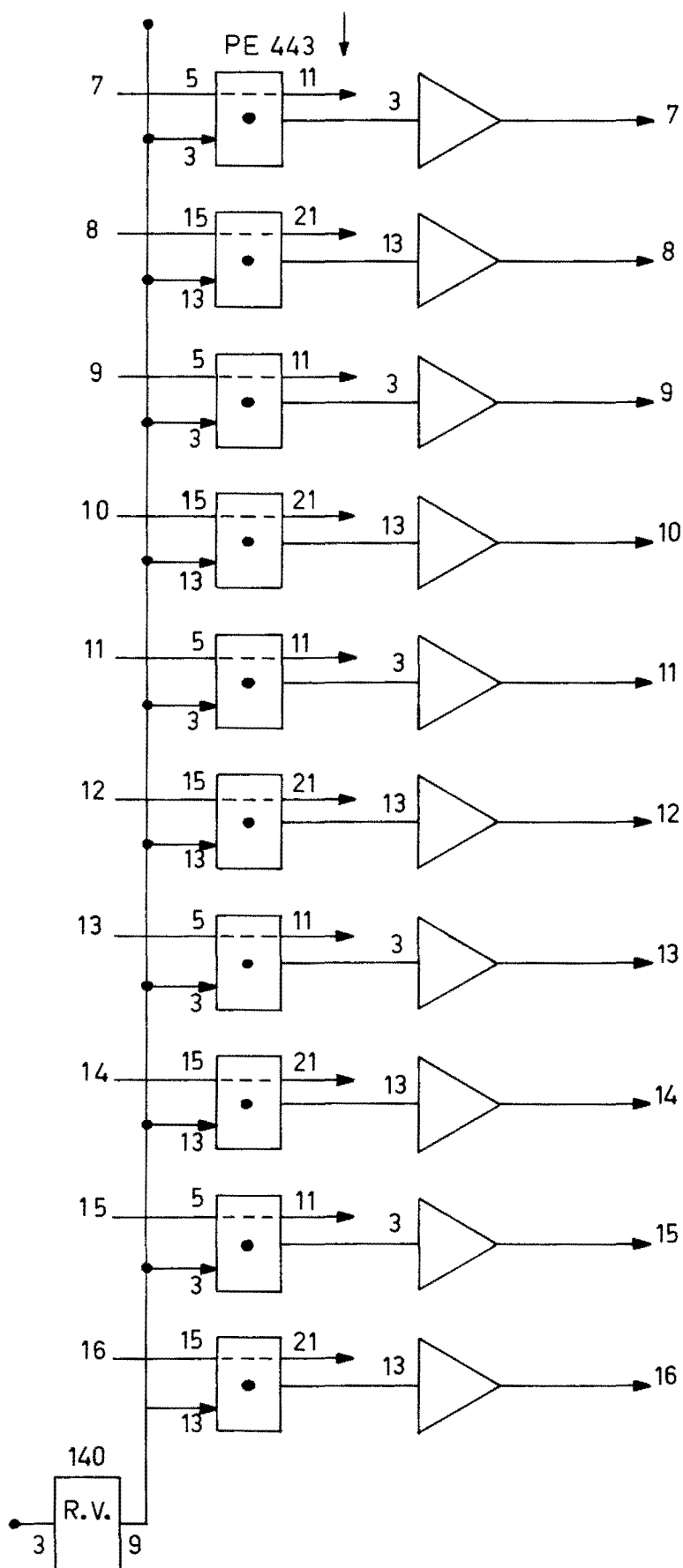


Fig.9 Uitlees-circuit voor lichten.



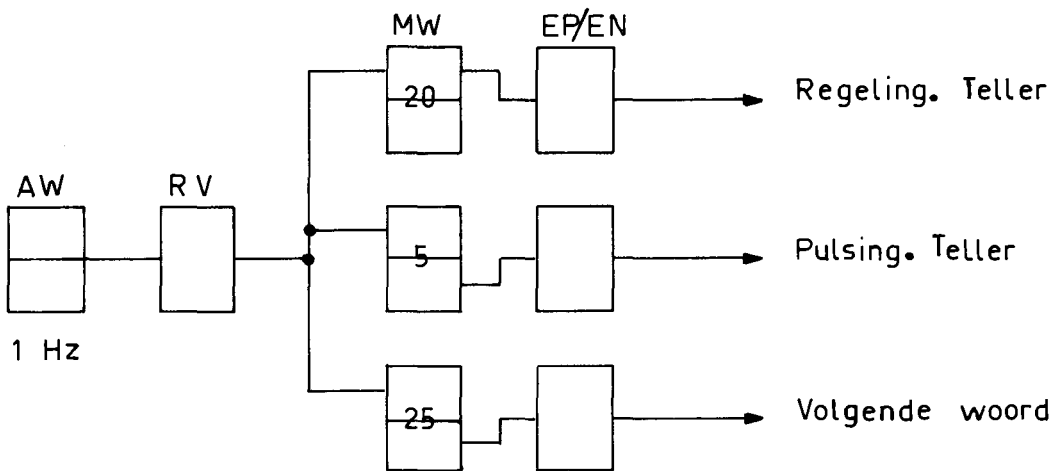
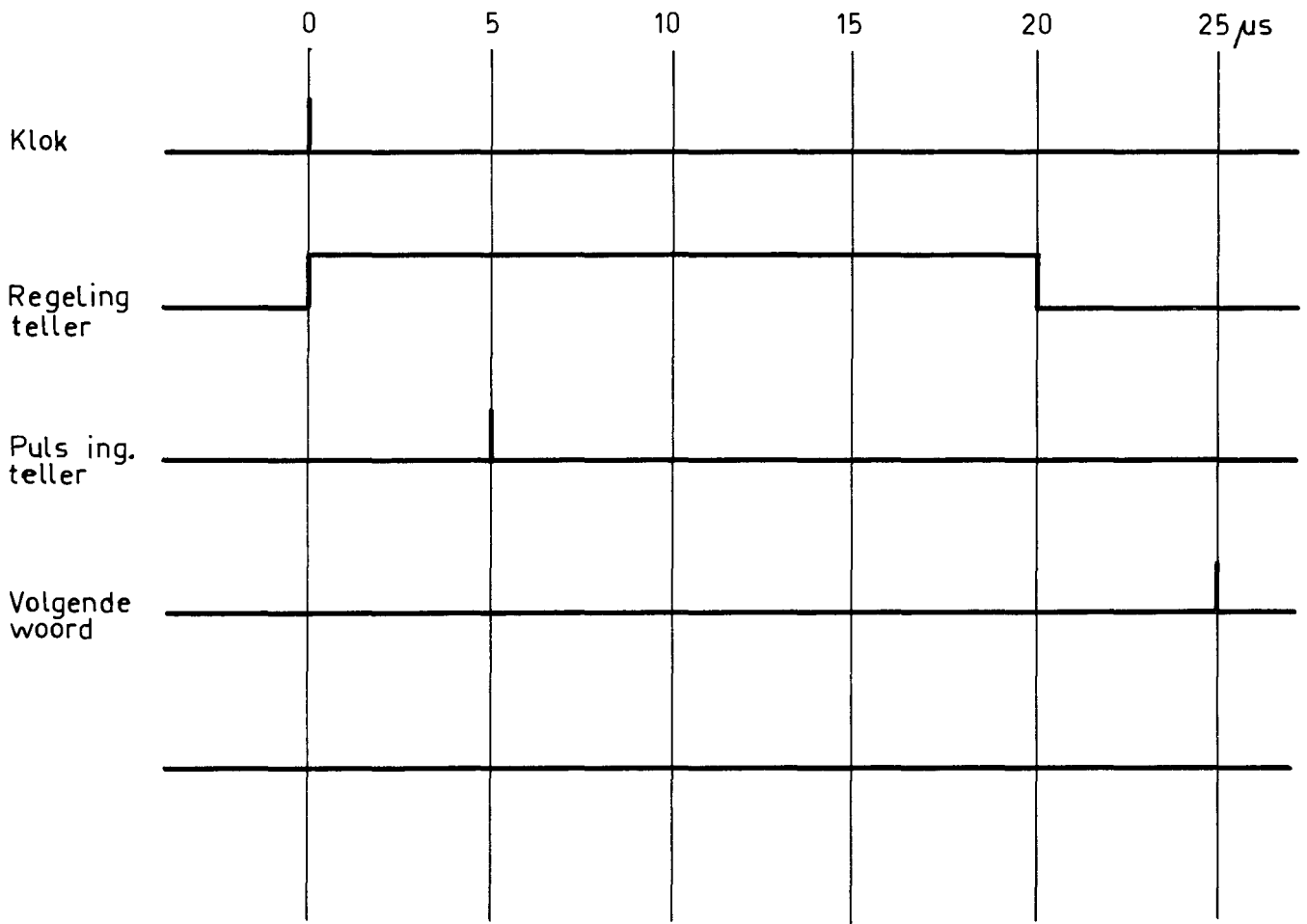


Fig.10 Besturing.

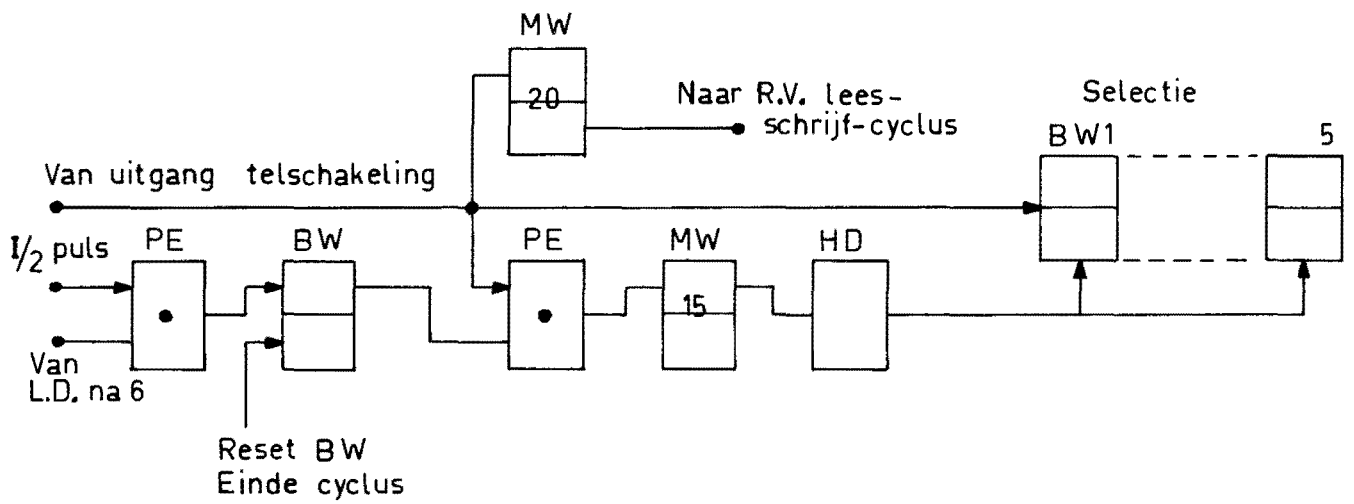


Fig.11 Koppel-circuit tussen besturing en lees- schrijf-circuit.

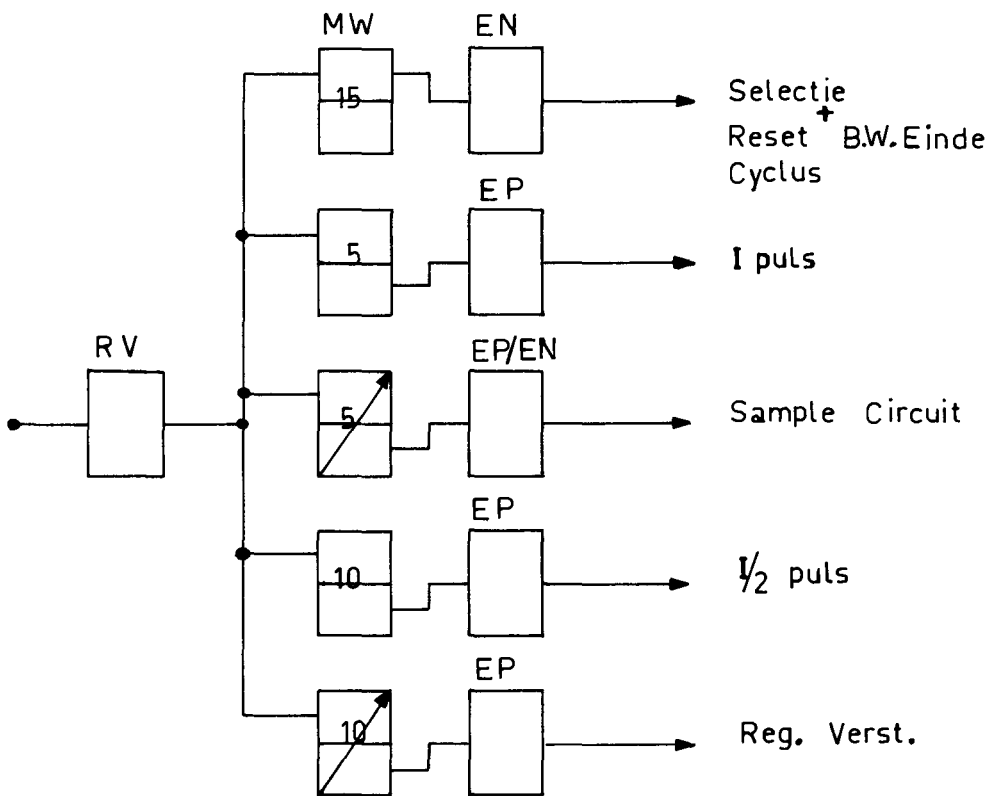
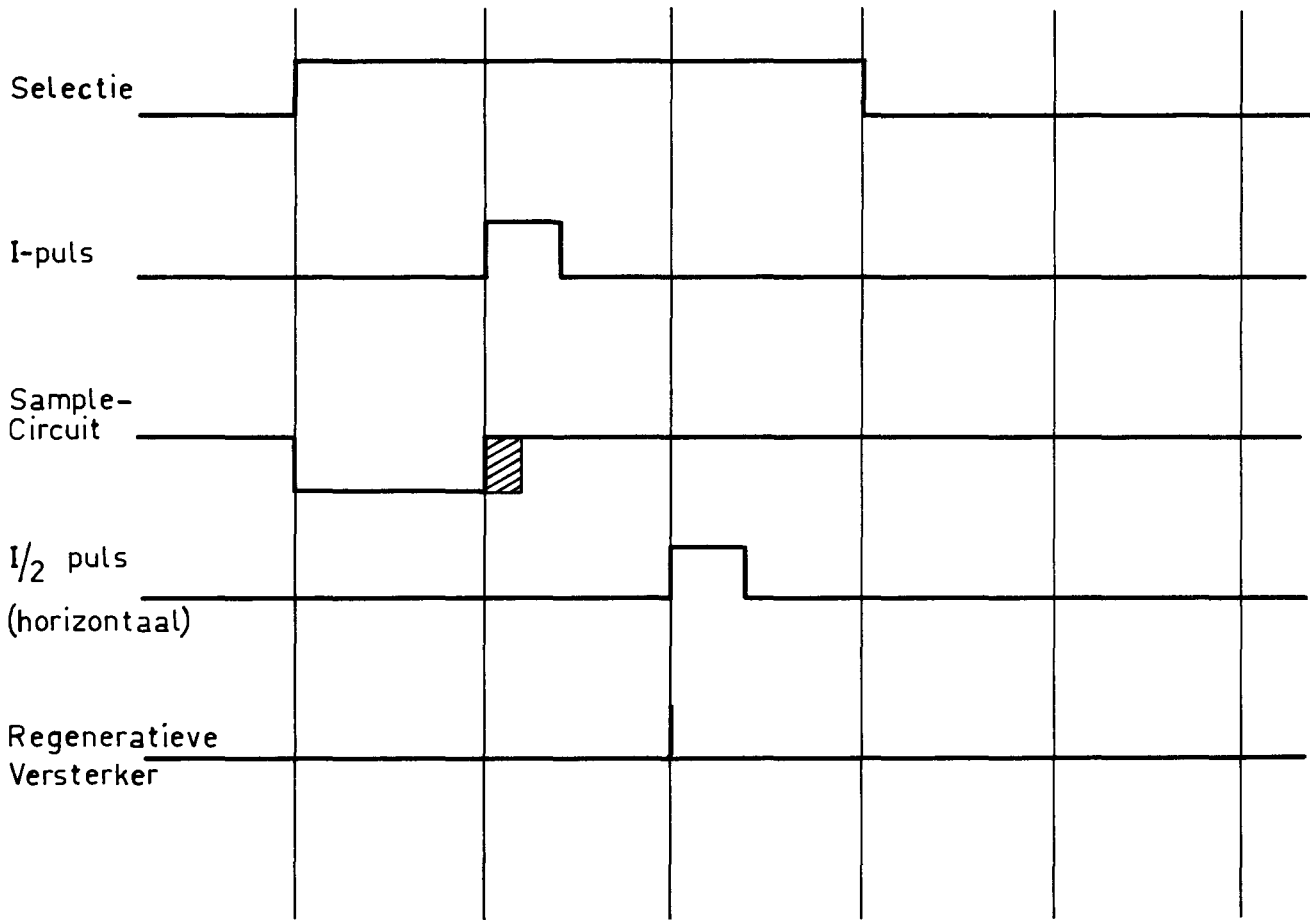


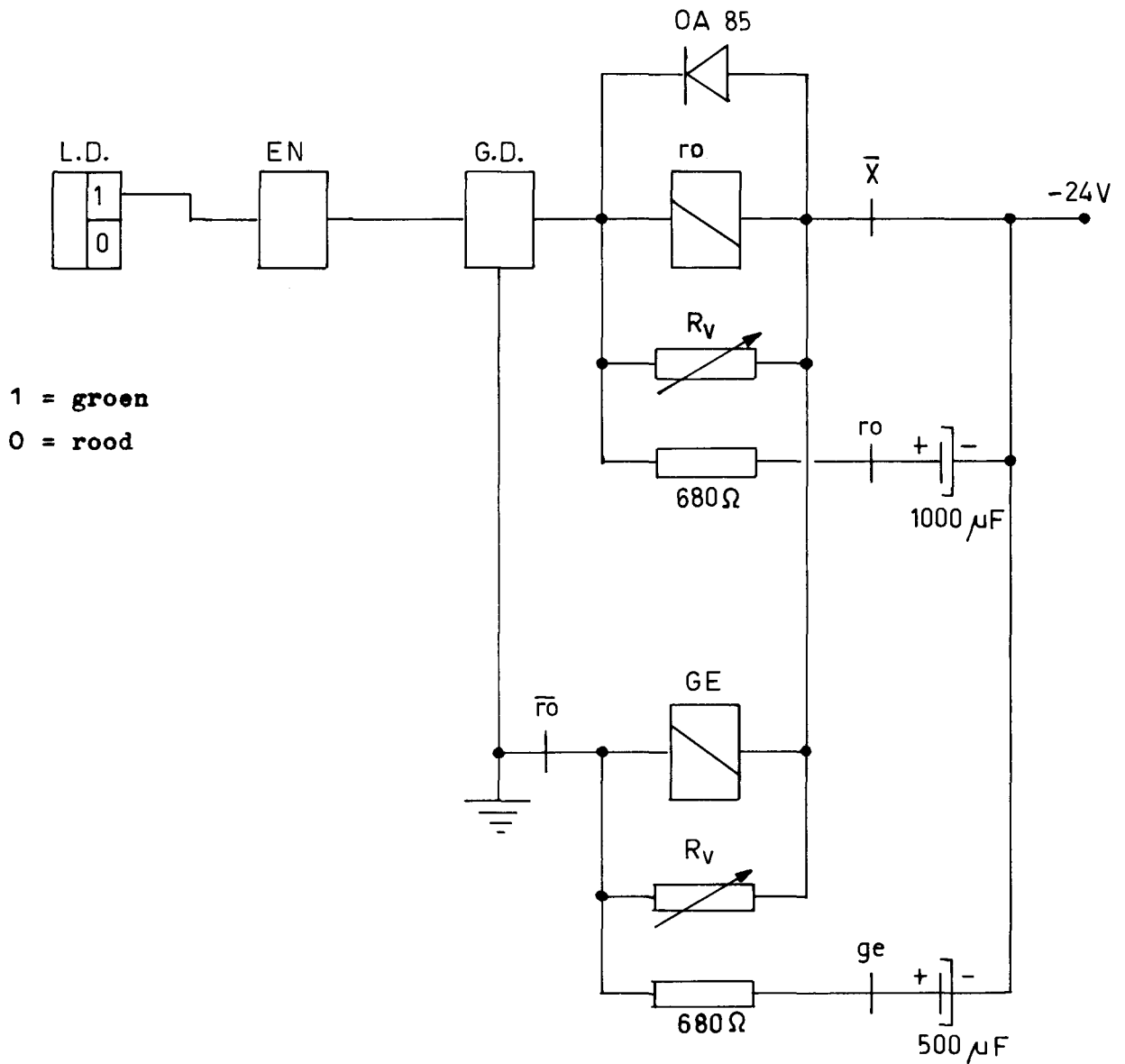
Fig.12 Lees- schrijf-circuit.

	BIT	X	L.D.	G.D.	RO	GE	KLEUR	TOESTAND	TIJD
1	1	0	1	0	0	1	GROEN	ST.	
2	0	0	0	1	1	1	GEEL	INST.	$\pm$ 3sec.
3	0	0	0	1	1	0	ROOD	ST.	
4	1	0	1	0	1	0	ROOD	INST.	$\pm$ 6sec.
1	1	0	1	0	0	1	GROEN	ST.	

	RO	GE	X	RO	GE	KLEUR 1)
1	0	1	1	0	0	GROEN
2	1	1	1	0	0	"
3	1	0	1	0	0	"
4a	1	0	1	0	0	"
4b	0	0	1	0	0	"
1	0	1	1	0	0	"

1) Indien geen X verbreek contact aanwezig in voeding lampen.

Fig.13 Schakelvolgorde lichten.



1 = groen  
0 = rood

$R_R = \infty \quad t_R \approx 12 \text{ sec.}$

$R_R = 1K \quad t_R \approx 4 \text{ sec.}$

$R_G = \infty \quad t_G \approx 6 \text{ sec.}$

$R_G = 1K \quad t_G \approx 2 \text{ sec.}$

$R_R, R_G$ : potmeters 10K.

Fig.14 Schema verkeerslichten I.

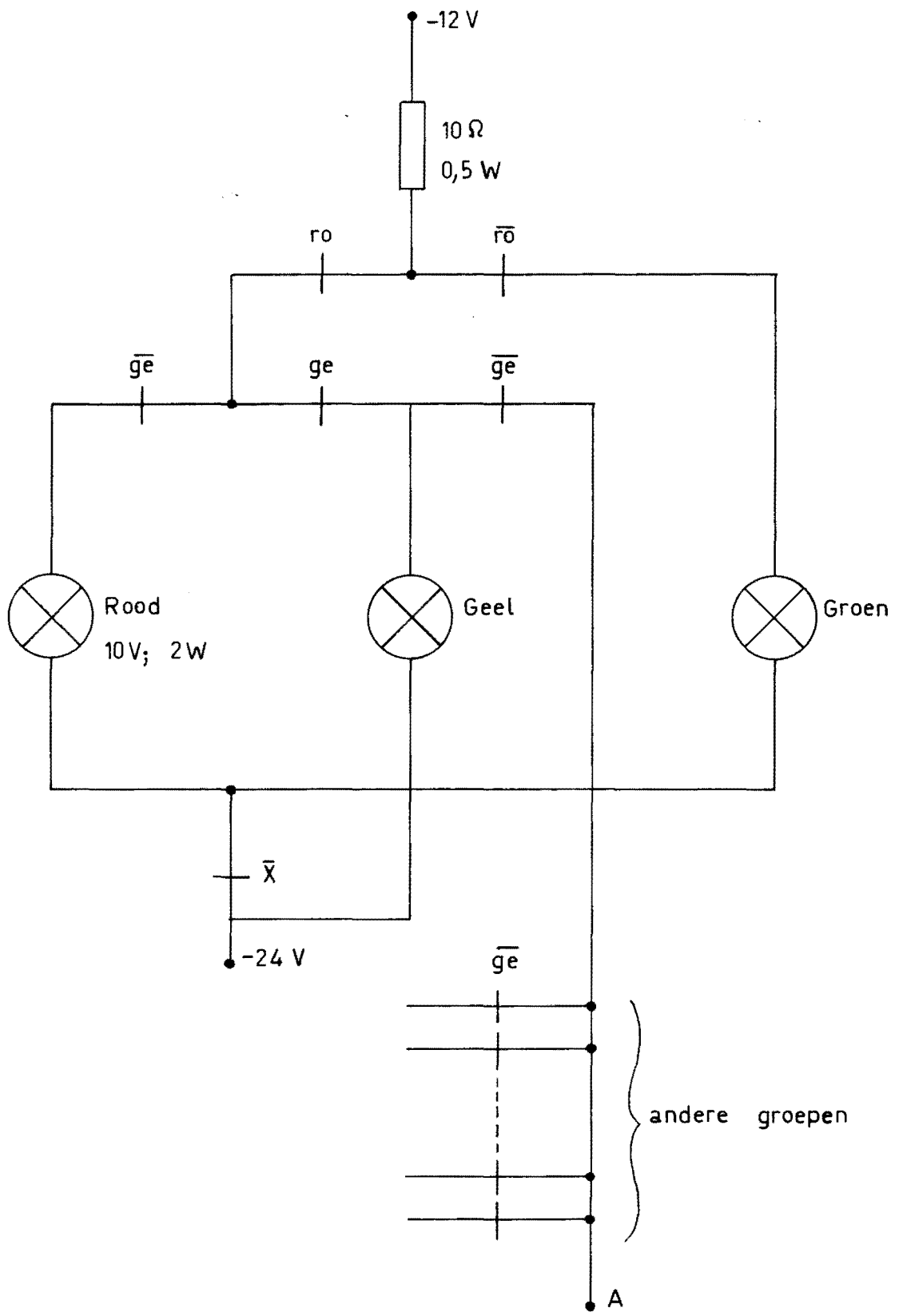
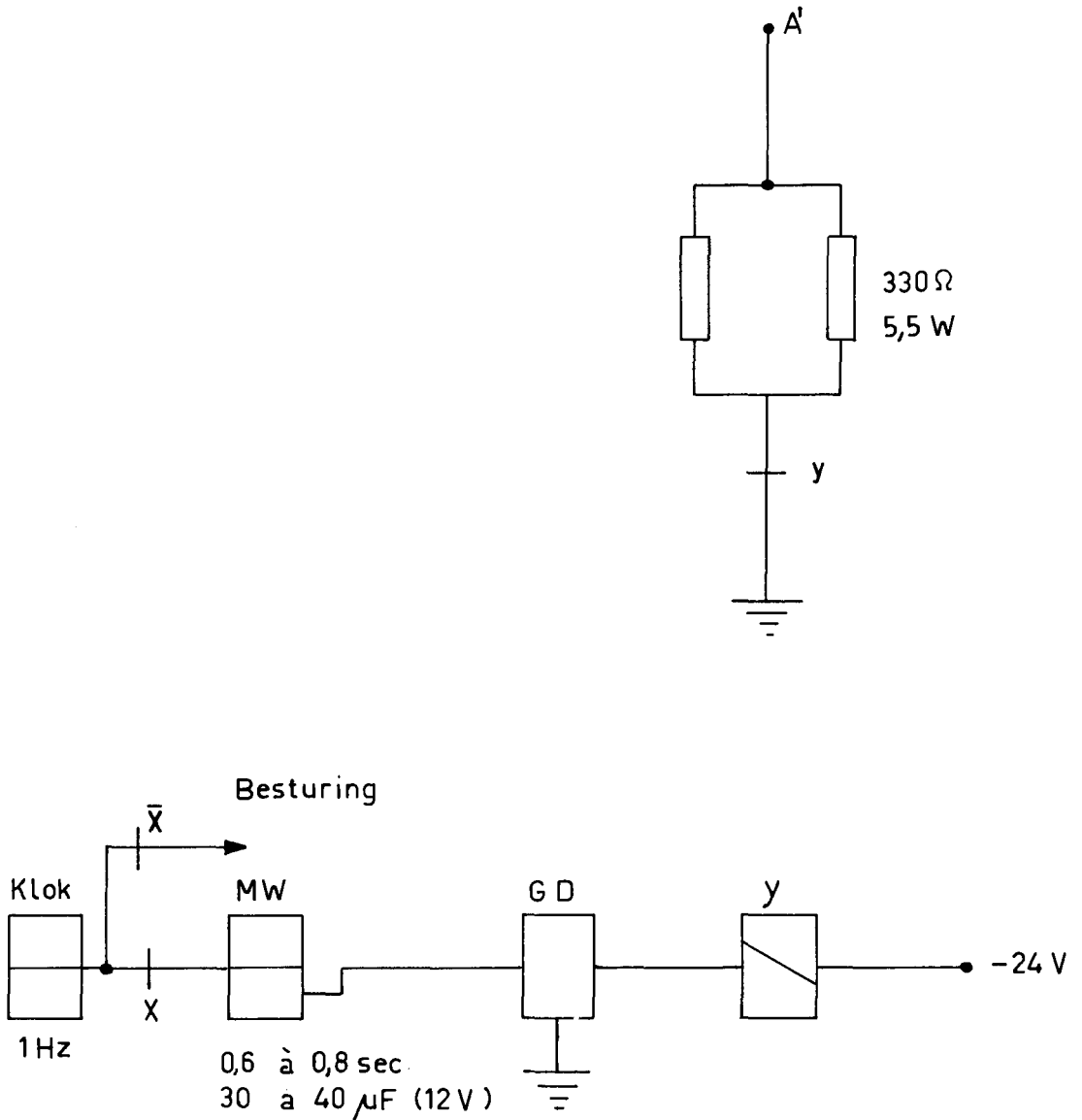


Fig.15 Schema verkeerslichten II.



- X = 2 polige schakelaar.
- X = 1 : geel knipperen.
- X = 0 : normaal bedrijf.

Fig.16 Geel knipper-circuit.

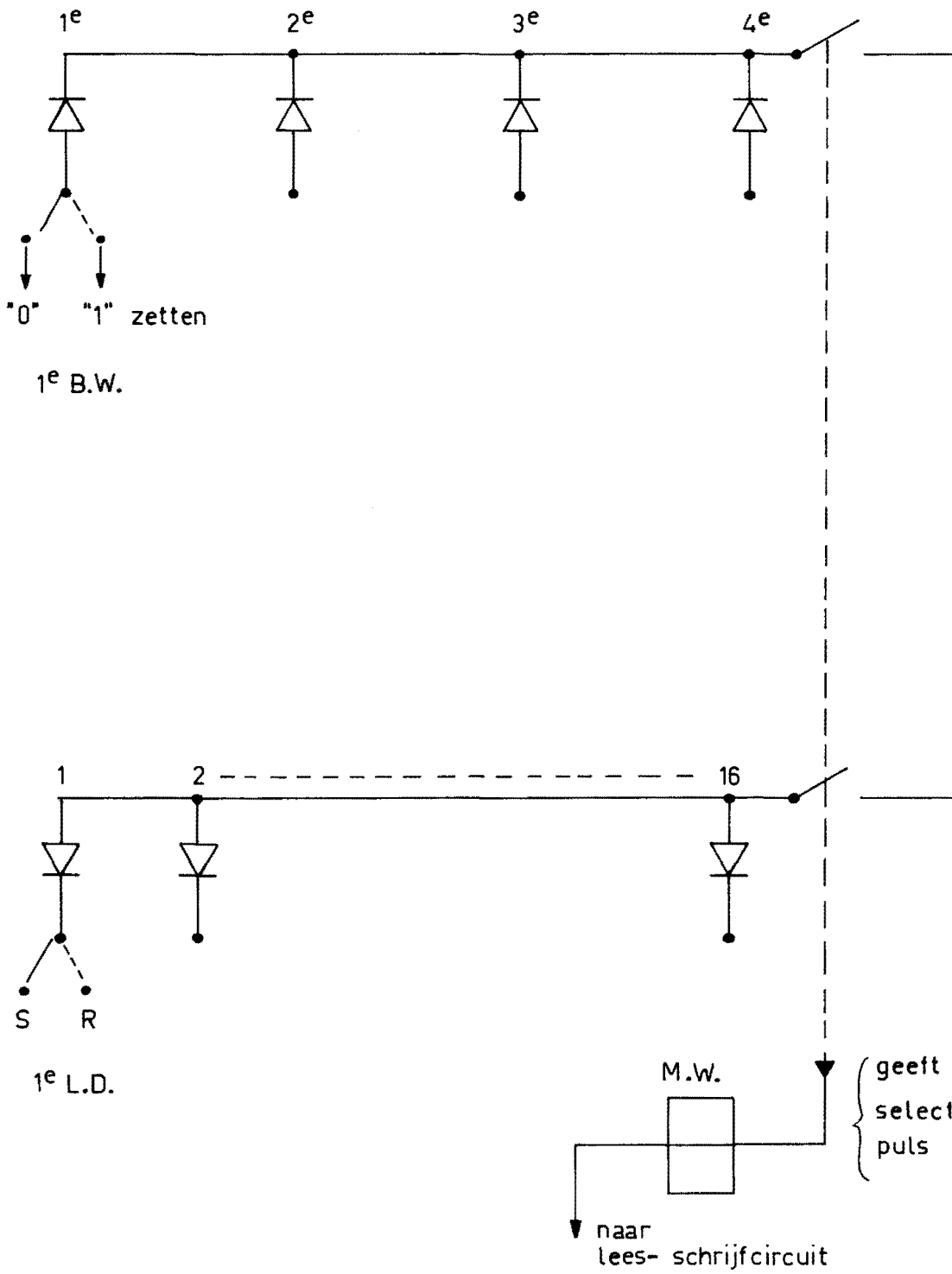


Fig.17 Inlees-circuit voor handbediening.