

Preventieve evacuatie van dijkringgebieden

K.M. van Zuilekom

M.F.A.M. van Maarseveen

Vakgroep Verkeer, Vervoer en Ruimte

Universiteit Twente

k.m.vanzuilekom@utwente.nl

Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 2004,

25 en 26 november 2004, Zeist

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
2	Preventieve evacuatie.....	2
3	De bevoegdheden tijdens een (dreigende) ramp.	4
4	Het besluitvormingsproces	4
5	Modellering van een preventieve evacuatie	5
6	Formulering van het model	8
7	Impementatie	11

Samenvatting

Dit artikel beschouwt de problematiek van evacuatie in het algemeen en die van de preventieve evacuatie van dijkkringgebieden in het bijzonder. In detail wordt in gegaan op een methodiek voor de ritdistributie die bestemmingen én routes van de evacués zodanig afstemt dat de mogelijkheden van het netwerk goed worden benut en het daarvoor noodzakelijke verkeersmanagement realiseerbaar is.

Summary

This paper discusses the problem of evacuation in general and the preventive evacuation of a polder in particular. A dedicated trip distribution method is specified which makes an efficient and manageable evacuation possible.

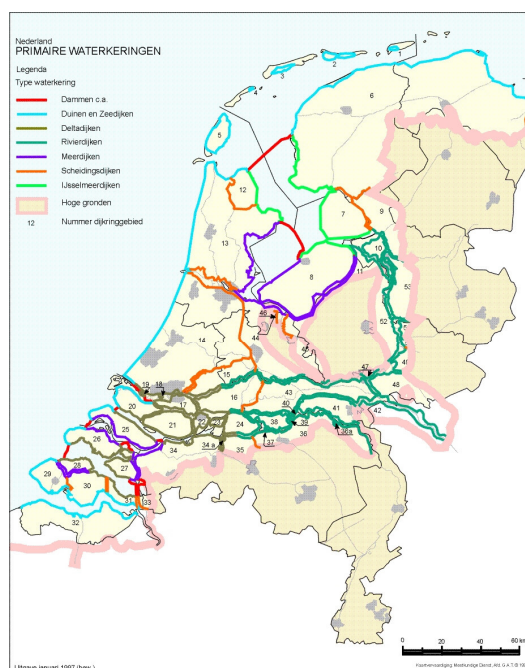
Preventieve evacuatie van dijkkringgebieden.

1 Inleiding

Water speelt een belangrijke rol voor Nederland. Nederland ligt voor een groot deel onder de zeespiegel en daarbij worden delen van het stroomgebied van rivieren benut voor economische activiteiten. Het is een situatie die niet nalatende zorg vereist. De omgeving waarin dit plaats vindt is door een veelheid van factoren aan verandering onderhevig. Zo is er sprake van directe veranderingen door menselijke activiteiten. Denk aan bodemdaling als gevolg van het inklinken van grond door bemaling, zout- en gaswinning. Ook is er sprake van klimaatverandering die maakt dat heftige neerslag frequenter voorkomt. Dit samenspel van factoren maakt dat het er niet eenvoudiger op wordt om Nederland droog te houden, ondanks waterkerende maatregelen.

In dit kader ontpoort het kabinet activiteiten om de problematiek in kaart te brengen en hier beleid op te formuleren. In de nota “Anders omgaan met water”, die handelt over het waterbeleid in de 21^{ste} eeuw, wordt aangegeven dat voor elk dijkkringgebied in Nederland de kansen en gevolgen van overstromingen in beeld zullen worden gebracht. Derhalve heeft de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat (DWW-RWS) het project *Veiligheid Nederland in Kaart* (VNK) geïnitieerd.

Het derde spoor van dit project¹ richt zich op het bepalen van de gevolgen van een



¹ Het project Veiligheid Nederland in Kaart kent vier sporen: (1) bepaling van de overstromingskansen van alle dijkkringgebieden; (2) beoordelen van kunstwerken; (3) bepalen van de gevolgen van een overstroming en (4) omgaan met onzekerheden.

overstroming. Daarbij wordt gekeken naar de schade en slachtoffers van een overstroming, alsmede naar de bijdrage die preventieve evacuatie kan leveren aan het reduceren van die gevolgen. Centraal staat de vraag hoeveel tijd nodig is voor de preventieve evacuatie. In het geval van een evacuatie zullen mensen en vee geëvacueerd worden.

De Afdeling Verkeer, Vervoer en Ruimte van de Universiteit Twente heeft in opdracht van DWW-RWS² een methode ontwikkeld om het verloop van een preventieve evacuatie in te kunnen schatten. Deze methode is geïmplementeerd in de Evacuatie Calculator.

Randvoorwaarde bij de ontwikkeling was dat de methode ook geschikt zou moeten zijn voor de concrete uitwerking van een rampenbestrijdingsplan.

Dit artikel beschouwt de problematiek van evacuatie in het algemeen en die van de preventieve evacuatie van dijkkringgebieden³ in het bijzonder. In detail wordt in gegaan op een methodiek voor de ritdistributie die bestemmingen en routes van de evacués zodanig afstemt dat de mogelijkheden van het netwerk goed worden benut en het daarvoor noodzakelijke verkeersmanagement realiseerbaar is.

2 Preventieve evacuatie

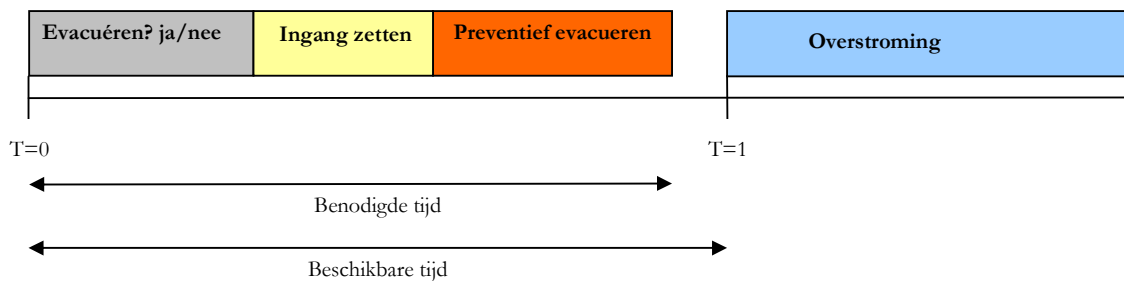
Er is een toenemende belangstelling voor het modelleren van evacuaties. De studies in deze richting komen voort uit risicoanalyse rondom kerncentrales [Sheffi, 1982] en orkanen [Hobeika, 1985; Urbina, 2001]. Er zijn veel aanleidingen die een evacuatie noodzakelijk kunnen maken. Dit kan een natuurlijk, fenomeen zijn: extreme weersomstandigheden (orkanen, heftige neerslag, stormen, bosbranden als gevolg van droogte), springvloed, geologische verschijnselen (aardbevingen, vulkanisme, tsunami), maar kan ook door menselijke activiteit veroorzaakt zijn zoals industriële ongevallen, bezwijken van een waterkering, ongevallen met transport van gevaarlijke stoffen en aanslagen. Uitbreiding van menselijke activiteiten naar kwetsbare gebieden vergroot de gevolgen van extreme omstandigheden. Er zijn grote verschillen in de mate van voorspelbaarheid van: locatie,

² Het voorzitterschap van het projectteam was in handen van ir. Marcel van der Doef (DWW). In het projectteam hadden verder zitting ir. Stephanie Holterman (DWW), ir. Marco Schreuder (AVV), prof. dr. ir. Martin van Maarseveen (UT), ir. Mark Zuidgeest (UT) en ing. Kasper van Zuilekom (UT).

tijdstip, schaal en verloop van het proces. Een en ander maakt dat er grote verschillen zullen zijn in termen van urgentie van handelen en mate van voorbereiding.

In het algemeen kondigt de eventuele overstromingen van een dijkkringgebied zich enkele dagen van te voren aan. Of de dijkkring zal overstromen en het precieze tijdstip zijn dan weliswaar niet met zekerheid bekend, maar er is voldoende aanleiding om voorbereidingen op een eventualiteit te treffen. De voorbereidingen hebben dan betrekking op het reduceren van het risico en de schade. Een van de mogelijkheden voor het reduceren van risico en schade is het preventief evacueren van het dijkkringgebied. Het is van belang dat de evacuatie ordelijk en in korte tijd afgewikkeld wordt om daarmee slachtoffers te vermijden. Een correcte schatting van de evacuatielijktijd is behulpzaam bij het bepalen van het moment van evacuatie.

Het gehele proces van evacuatie kan met onderstaande tijdsbalk geschematiseerd worden.



Figuur 1 Het evacuatieproces uitgezet in de tijd

Gezien vanuit de evacu e komt het proces neer op: (1) organiseren van het vertrek; (2) het vertrek; (3) de verplaatsing naar een uitgang⁴; (4) bereiken van de gekozen uitgang en (5) verder vervolgen van de verplaatsing naar de uiteindelijke bestemming.



Figuur 2 Tijdsaspecten van preventief evacueren

³ Een dijkkringgebied is dat gebied dat door een stelsel van waterkeringen, of hoge gronden, beveiligd moet zijn voor overstromingen, in het bijzonder bij hoge stormvloed, bij hoogwater van een van de grote rivieren, bij hoogwater van het IJsselmeer of Markermeer of een combinatie daarvan.

⁴ In het algemeen hebben de dijkkringen meerder uitgangen die beschikbaar zijn voor het verlaten van het gebied.

Bij een preventieve evacuatie is er nog geen daadwerkelijke overstroming. Verwacht mag worden dat mensen zoals gebruikelijk functioneren m.a.w. gedragsveronderstellingen uit ‘normale’ verkeersstudies zijn ook dan van toepassing. Pas wanneer er sprake is van overstromen gaat het gedrag over in vluchten. In het project Veiligheid Nederland in Kaart wordt uitgegaan van preventieve evacuatie waarbij het doel is dat het gehele gebied ontruimd is voordat de overstroming plaatsvindt. Doel is de preventieve evacuatie ordelijk en snel te laten verlopen waarbij het van belang is om op voorhand een correcte schatting van de evacuatie tijd beschikbaar is. De vraag is hoe een en ander operationeel gemaakt kan worden.

3 De bevoegdheden tijdens een (dreigende) ramp.

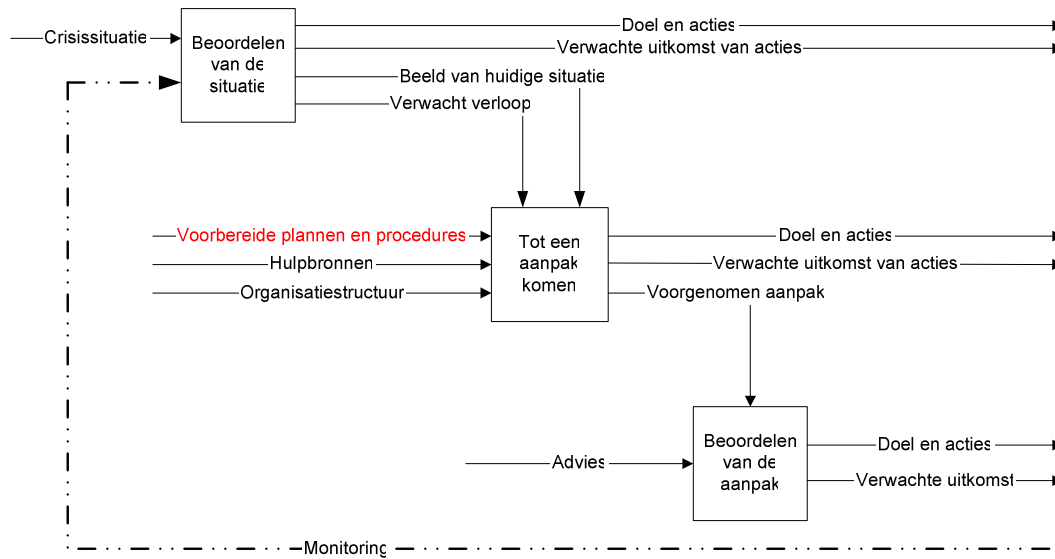
In de situatie van een (dreigende) ramp zijn er mogelijkheden om bevelen te geven en beperkingen op te leggen. Afhankelijk van de aard en schaal van de (dreigende) ramp ligt deze bevoegdheid bij het waterschap (artikel 90, lid 1 van de Waterschapswet), burgemeester (artikel 175, lid 1 van de Gemeentewet) of coördinerend burgemeester in het geval van een gemeentegrens overschrijdend probleem, commissaris van de Koningin (artikel 12 van de Rampenwet) of coördinerend commissaris van de Koningin in het geval van een provincie overschrijdend probleem (artikel 13 van de Rampenwet). Tenslotte kan de Minister de coördinatie op zich nemen (artikel 23 van de Rampenwet). De mogelijkheden van het bevoegd gezag zijn ruim: ‘Daarbij kan van andere dan bij grondwet gestelde voorschriften worden afgeweken’ (artikel 12, lid 1 van de Gemeentewet).

Met betrekking tot de organisatie van een preventieve evacuatie betekent dit niet alleen dat de evacuatie opgelegd mag worden, maar ook dat alle mogelijkheden die beschikbaar zijn om het proces snel en efficiënt te laten verlopen ingezet kunnen worden. Een en ander betekent dat er zoal richting gegeven kan worden aan: het moment van vertrek; de keuze van het vervoermiddel; de uitgang van het dijkkringgebied en de route naar de uitgang.

4 Het besluitvormingsproces

Een rampenbestrijdingsplan zoals een evacuatieplan is een integraal onderdeel bij de gehele besluitvormingsprocedure rondom een dreigende overstroming. Overheden als gemeente, provincie, rijk, maar ook functionele instanties als de waterschappen, de Dienst Water en

Milieu van de provincie en het Ministerie van Verkeer en Waterstaat en de bijbehorende regionale directies zijn betrokken. Het evacuatieplan is één van de voorbereide plannen die basis vormen voor de uiteindelijke aanpak. Zie hiervoor onderstaande figuur, ontleend aan [Martens, 2002, als genoemd in Boetes, 2003]

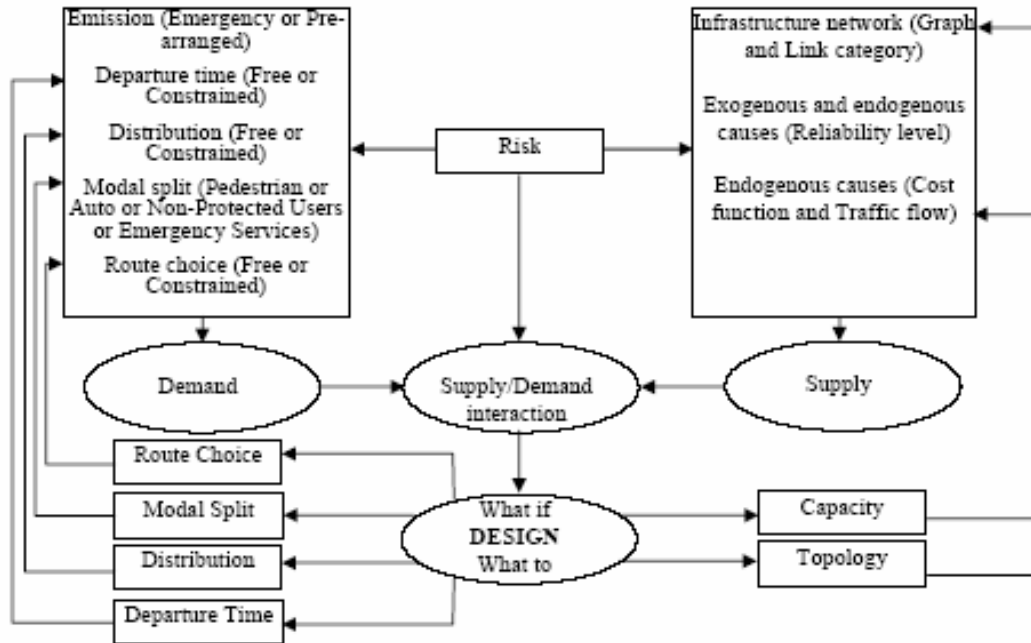


Figuur 3 Het evacuatie besluitvormingsproces [Martens, 2002]

Ten tijde van een crisissituatie (zoals een dreigende overstrooming) zal een crisisteam drie processtappen doorlopen, te weten het beoordelen van een situatie, tot een aanpak komen het beoordelen van de aanpak. Afhankelijk van de beschikbare tijd worden deze stappen al dan niet bewust doorlopen. De kwaliteit van de uiteindelijke evacuatiestrategie is mede afhankelijk van weldoordachte voorbereide plannen en procedures, de beschikbare hulpbronnen en de afspraken over de organisatiestructuur [Boetes, 2003].

5 Modelling van een preventieve evacuatie.

Bij een preventieve evacuatie is er sprake van een afstemming van de vervoersvraag en het vervoersaanbod zoals dat in het algemeen plaats vindt. Echter nu in specifieke omstandigheden. De afstemming van vraag en aanbod kan gemodelleerd worden vanuit een 'What if' of een 'How to' benadering [Russo, 2004].



Figuur 4 Globale procedure voor het ontwerp van een evacuatieplan [Russo, 2004]

In een 'What if' benadering wordt een situatie (of scenario) doorgerekend en de resultaten geanalyseerd. Stapsgewijs wordt de situatie aangepast tot er geen verbeteringen meer te realiseren lijken. Het uiteindelijke resultaat wordt vertaald naar een evacuatieplan. Het resultaat is afhankelijk van de interpretatie en ingrepen van de toepasser. De kwaliteit van de oplossing is bij gebrek aan een objectiveerbare doelstelling onduidelijk. Een duidelijk pluspunt is de mogelijkheid om zeer veel detaillering in het model op te nemen.

In een 'How to' benadering wordt het resultaat bepaald gegeven een doelfunctie, randvoorwaarden en modelveronderstellingen. Afhankelijk van de complexiteit van het model en mogelijkheden van de oplossingsmethode is er sprake van optimale oplossing of een benadering waarbij optimaliteit niet te garanderen is (vanwege de mogelijkheid van een lokaal optimum). Een nadeel kan zijn dat doelfunctie en oplossingsmethode beperkingen opleggen t.a.v. de complexiteit van het model. Ook kan de focus op de doelfunctie maken dat er onbalans ontstaat met andere (slecht kwantificeerbare) doelen.

Cova en Johnson [Cova 2003] beschrijven een procedure waarbij kruising van routes wordt uitgesloten en het aantal weefbewegingen op kruisingen wordt geminimaliseerd, waarbij dit ten koste mag gaan van de afgelegde afstand naar het veilige gebied. Zij kiezen voor deze

benadering vanuit het besef dat in veel (stedelijke) situaties de kruisingen bepalend zijn voor de reistijd en daarbij ook nog een bron van verstoringen zijn. Eliminatie van kruisende stromen en reductie van het aantal weefbewegingen is dan voor de hand liggend. In de procedure van Cova en Johnson zijn de distributie (de keuze van de uitgang) en routekeuze de beïnvloedbare grootheden voor het bereiken van de doelfunctie.

Sheffi [Sheffi, 1985] beschrijft het probleem van de simultane ritdistributie en toedeling in het algemeen. Evacuatie is op te vatten als een zo'n probleem. Doel is dan die distributie en toedeling te vinden waarbij het systeemoptimum bereikt wordt. Elke wijziging in de eindoplossing, distributie en/of toedeling, zal ten koste gaan van het systeemoptimum. Sheffi bewijst dat het probleem opgelost kan worden met bestaande methodieken door een bescheiden aanpassing van het netwerk. Hierbij wordt het aantal bestemmingen gereduceerd door één overkoepelende uitgang (attractiepunt). Chiu [Chiu, 2004] gebruikt deze pragmatische oplossing gebruik makende van DYNASMART-P. Impliciet veronderstelt deze oplossing een uiterst gebalanceerde afwikkeling van het verkeer. Vereist wordt een perfecte beheersing over de keuze van de bestemmingen en routes voor alle betrokkenen. De oplossing moet dan ook opgevat worden als een best-case. Een best-case oplossing geeft de oplossingsrichting aan voor (sub)optimale oplossingen met meer realistische randvoorwaarden.

In het kader van het project Veiligheid Nederland in Kaart is het vooral van belang een haalbare evacuatietijd te bepalen en verder een efficiënt en realiseerbaar voorstel te doen t.a.v. het verkeersmanagement gedurende de evacuatie. Efficiëntie van de methodiek in termen van datahandling en rekentijd is gezien het aantal dijkringgebieden dat uitgewerkt zal worden (circa 26) van belang. Vanuit dit perspectief heeft een 'How to' benadering die goed aansluit bij de mogelijkheden die het crisisteam heeft in het beïnvloeden van de verkeersstromen de voorkeur. De oplossing hiervoor is gevonden door een procedure te ontwikkelen die betrekking heeft op de ritdistributie.

6 Formulering van het model

De mogelijkheden die er zijn voor het beïnvloeden van het gedrag zijn belangrijke randvoorwaarden voor een evacuatieplan en daarmee ook voor de modelontwikkeling.

Beïnvloedbaar zijn:

- Het tijdstip van vertrek. Doormiddel van voorlichting en rechtstreekse opdrachten kan het moment van vertrek gestuurd worden.
- De ritdistributie. Het is mogelijk om op te dragen welke uitgang gebruikt moet worden.
- De vervoerswijzekeuze is beïnvloedbaar. Uitgangspunt is dat wie de beschikking heeft over eigenvervoer dat ook zal gebruiken. Voor de overige zal er vervoer geregeld moeten worden door de overheid.
- De route is beïnvloedbaar door voorlichting en aanwijzingen bij kruisingen mits de complexiteit niet te groot is.

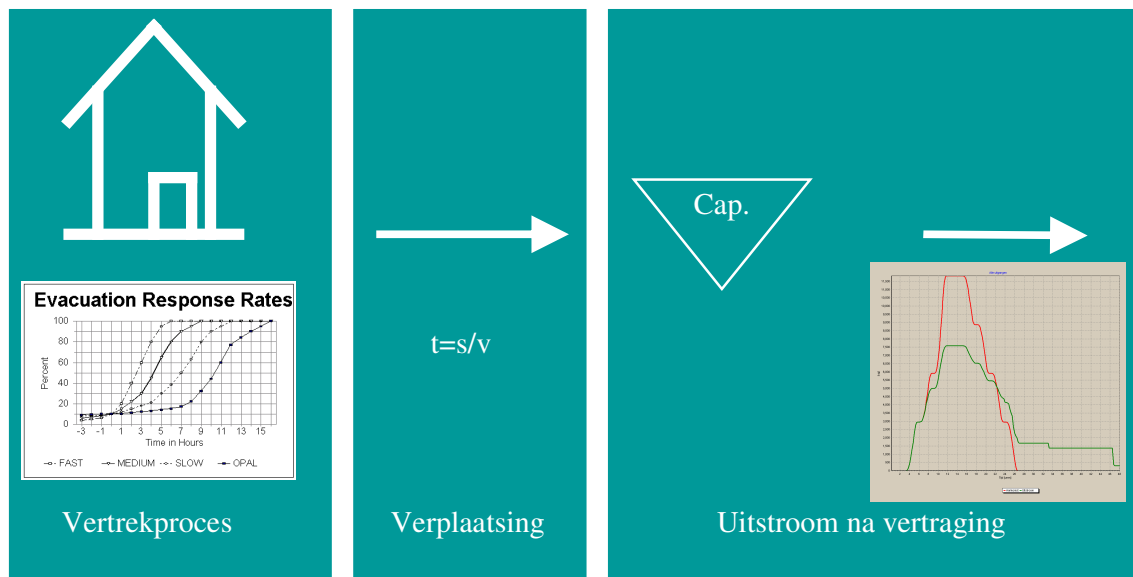
Niet te beïnvloeden is het aantal evacués.

Het doel van de evacuatie kan geformuleerd worden als: het zodanig afstemmen van de bestemming en routes van de evacués dat de mogelijkheden van het netwerk goed worden benut en het daarvoor noodzakelijke verkeersmanagement realiseerbaar is.

Kruisende stromen zijn een bron van verliestijden en verstoringen en moeten daarom voorkomen worden. Divergentie van verkeersstromen introduceren een keuze probleem voor de gebruiker (en het verkeersmanagement ter plekke). Divergentie van verkeersstromen wordt om deze reden uitgesloten, wetende dat in de concrete realisatie van een evacuatieplan het alsnog toegestaan kan worden in specifieke situaties. Ofwel vooralsnog wordt uit gegaan uit van zuiver convergente verkeersstromen. Dit biedt de mogelijkheid om éénrichtingsverkeer toe te staan en daarmee capaciteitswinst te boeken (z.g. reverse laning of contraflow [Urbina, 2001]).

Uitgaande van de convergente verkeersstromen kunnen vertragingen op de kruisingen verwaarloosd worden. De intensiteiten zullen bij de uitgang het hoogst zijn (vanwege de convergentie) het is daarmee waarschijnlijk dat de uitgang de bottleneck zal vormen. Aan de uitgang wordt de capaciteit toe gekend die representatief is voor de capaciteit van de route naar die uitgang.

Hiermee ontstaat het volgende conceptueel model:



Figuur 5 Conceptueel model van de evacuatie

De vraag is nu of het mogelijk is de ritdistributie zo vast te stellen dat de verkeersstromen zuiver convergent zijn en de mogelijkheden van de uitgangen goed worden gebruikt. Vooral nog wordt het totaal van de verplaatsingen die het gebied moeten verlaten beschouwd. Zodra de ritdistributie is bepaald voor het totaal van de verplaatsingen is het mogelijk om aan de hand van het vertrekproces de ritdistributie naar tijd te bepalen en daarmee ook de aankomsten bij de uitgangen.

Gegeven is verkeersproductie, P_i [PAE], door de evacués uit de zones, i .

Bepalend voor de uitstroomtijd is de laatste evacué die het gebied verlaat. De doelfunctie is dan ook: $\min(\max(\text{uitstroomtijd}))$

Onder de voorwaarde dat:

- Alle evacués het gebied verlaten.
- De uitstroom naar de uitgangen efficiënt is.

De uitstroomtijd van een uitgang, U_j [uur], wordt bepaald door de aankomsten bij de uitgang, A_j [PAE/uur], en de capaciteit van de uitgang, C_j [PAE/uur]:

$$U_j = \frac{A_j}{C_j}$$

waarbij:

$$\sum_i P_i = \sum_j A_j$$

Aan de doelfunctie wordt voldaan wanneer de uitstroomtijd voor alle uitgangen identiek is en minimaal. Dat is het geval wanneer de aankomsten bij de uitgang, A_j , evenredig zijn met de capaciteiten van de uitgangen ofwel:

$$A_j = T \frac{C_j}{\sum_j C_j}$$

waarbij:

$$T = \sum_i P_i$$

Elke matrix die voldoet aan de verkeersproductie, P_i , en zojuist bepaalde verkeersattractie, A_j , beantwoord weliswaar aan de doelfunctie maar niet noodzakelijkerwijs aan de voorwaarde dat de uitstroom naar de uitgangen efficiënt is. Wat rest is het klassieke transportprobleem waarbij de voertuigkosten (de som van het product van het aantal verplaatsingen, t_{ij} , en de verplaatsingskosten, z_{ij}) worden geminimaliseerd:

$$\min \left(\sum_i \sum_j z_{ij} t_{ij} \right)$$

waarbij:

$$\sum_j t_{ij} = P_i$$

$$\sum_i t_{ij} = A_j$$

$$t_{ij} \geq 0$$

Wanneer de resulterende HB-matrix volgens het Alles-Of-Niets principe wordt toegedeeld voldoen de verkeersstromen aan de voorwaarde van zuiver convergentie. Door gebruik te maken van veronderstellingen t.a.v. het vertrek van evacués in de tijd is het mogelijk de HB-matrix per tijdsperiode te bepalen.

Gegeven de afstand van een herkomstzone naar de uitgang en de gemiddelde snelheid is het mogelijk het aankomsttijd bij de uitgang te bepalen. Vertraagd door de al aanwezige

voertuigen en de capaciteitsbegrenzing van de uitgang zal het dijkkringgebied worden verlaten. Op deze wijze is een snelle indruk te geven van de uitstroom van het dijkkringgebied in de tijd zonder dat toedelen noodzakelijk is.

De procedure levert als resultaten de HB-matrix en de uitstroom in de tijd. Dit resultaat is in enkele seconden beschikbaar. Een run voor een dijkkringgebied met 104 zones en 30 uitgangen binnen een model voor geheel Nederland (3983 zones op basis van de viercijferige postcodes) vergt ca. 5 seconden (Intel Pentium 4, Mobile CPU 1.7GHz).

Toedelen van de HB-matrix (AON voor de gehele tijdsperiode, Macroscopisch Dynamisch of Microscopische Dynamisch) verdiept het inzicht in de afwikkeling in het dijkkringgebied.

7 Impementatie

In de Evacuatie Calculator zijn vier ritdistributie methoden geïmplementeerd waarvan de hier beschreven methode er een van is:

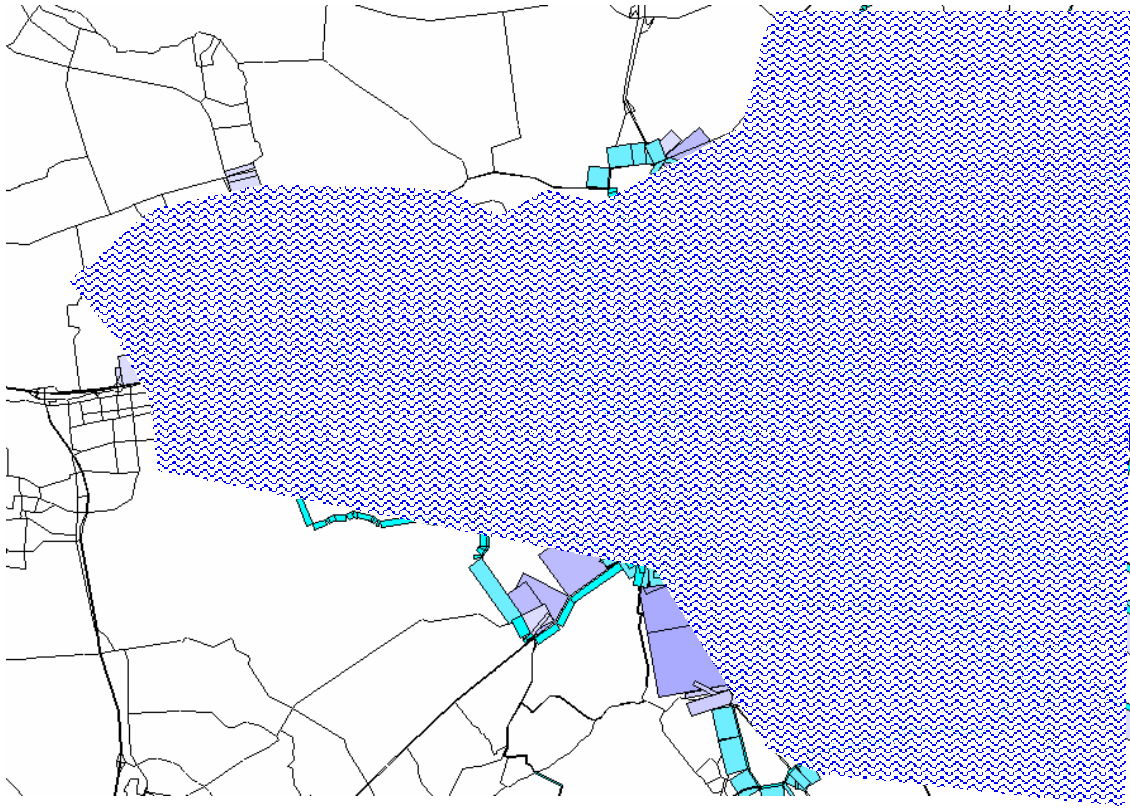
- Referentie – De evacués verdelen zich over de uitgangen naar rato van door de gebruiker ingestelde verhoudingen (b.v. de gangbare verkeersbelasting van de uitgangen).
- Nabij – De evacués gaan naar die ingang die voor hen het meest nabij is (ongeacht de capaciteit van de uitgang).
- Verkeersmanagement – De evacués verdelen zich conform de hier beschreven ritdistributie rekeninghoudend met de capaciteiten van de uitgangen en minimalisatie van de voertuigkilometers.
- Uitstroomgebieden – De gebruiker bepaalt de herkomst gebieden die naar naar een specifieke verzameling van uitgangen moeten gaan. Binnen deze set van herkomsten en bestemmingen wordt de methode Verkeersmanagement toegepast.

De methode Referentie symboliseert die situatie waarin geen verkeersmanagement wordt uitgeoefend en de evacué vrij is in het bepalen van zijn of haar bestemming. De methode Nabij is in het bijzonder geschikt voor die situaties waar er een overschot van capaciteit is en de afstanden tot de uitgangen relatief lang zijn. Dit resultaat kan in deze specifieke situatie beter zijn dan die van de methode Verkeersmanagement. De toedeling van de methode

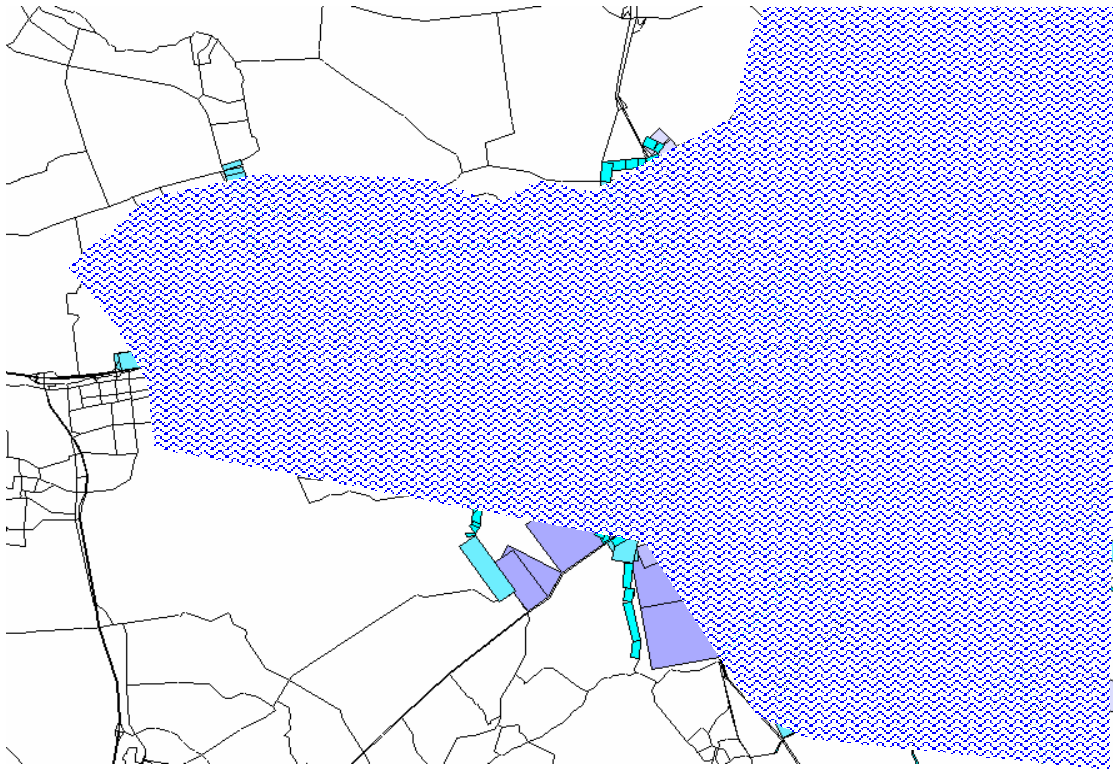
Verkeersmanagement laat zien dat er min of meer geïsoleerde gebieden ontstaan die naar één of meer uitgangen uitstromen. Voor de handliggend is om dit in een evacuatieplan te formaliseren. Om deze reden is de methode Uitstroomgebieden geïntroduceerd. De gebruiker is dan in staat om het evacuatieprobleem op te delen in een aantal geïsoleerde deelproblemen. De complexiteit van de organisatie kan daarmee aanzienlijk gereduceerd worden.

Gebruik wordt gemaakt van een netwerk voor geheel Nederland dat in opdracht van Rijkswaterstaat-AVV is samengesteld uit de diverse regionale modellen van de Rijkswaterstaat (4057 zones, 100280 knooppunten en 119409 links). Alle dijkringgebieden worden binnen dit ene netwerk gespecificeerd.

Voor het genereren van weerstandmatrices en het toedelen wordt gebruik gemaakt van OmniTrans (www.omnitrans-international.com).



Figuur 6 Toedelingsresultaat van een deel van een dijkring. Methode Referentie.



Figuur 7 Toedelingsresultaat van een deel van een dijkkring. Methode Verkeersmanagement.

Referenties

Boetes, E., Brouwers, N., Martens, S., Miedema, B., Vemde, R. van, Evacuatie bij hoogwater: informatie voor een verantwoord besluit tot evacuatie, scriptie vierde jaargang MCDM (Master of Crisis and Disaster Management), Netherlands Institute for Fire and Disaster Management (NIBRA) & The Netherlands School of Government (NSOB), 2002

Chiu, Y.C., Traffic Scheduling Simulation and Assignment for Area-Wide Evacuation., 7th Annual IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2004).; Washington D.C., 2004

Cova, J.T., Johnson, J.P., A network flow model for lane-based evacuation routing., Transportation Research Part A, Volume 37, page 579-604, Elsevier Science Ltd., 2003

Dynasmart-p: <http://www.dynasmart.umd.edu/>

Hobeika, A.G., Jamei, B., MASSVAC: A model for calculating evacuation times under natural disaster., Emergency Planning, Simulation Series 15/23, 1985

Levitan, M., Urbina, E. Wohlson, B., National Review of Hurricane Evacuation, Plans and Policies, www.hurricane.lsu.edu, Louisiana State University, Baton Rouge, 2001

Martens, S., Wat maakt een operationeel leider competent; Orientatie op de competenties van operationeel leiders, scriptie vierde jaargang MCDM (Master of Crisis and Disaster Management), Netherlands Institute for Fire and Disaster Management (NIBRA) & The Netherlands School of Government (NSOB), 2002

Russo, F., Vitetta, A., Models for evacuation analysis of an urban transportation system in emergency conditions., 10th World Conference on Transport Research (WCTR 2004), Istanbul, 2004

Sheffi, Y., Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods., Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1985

Sheffi, Y., Mahmassani, H., Powell, W.B., A Transportation Network Evacuation Model., Transportation Research, Part A, Volume 16A, No. 3, page 209-218, Pergamon Press, 1982