

maart 1980

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

BESPREKING VAN EEN NEI-STUDIE MET BETREKKING TOT
DE WATERHUISHOUDING IN OOST-GELDERLAND

drs. J. Vreke **BIBLIOTHEEK DE HAANT**
Droevendaalsesteeg 3a
Postbus 241
6700 AE Wageningen

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-
middelen, dus geen officiële publikaties.
Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen
de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek
nog niet is afgesloten.
Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut
in aanmerking

1792383

13 FEB. 1998



I N H O U D

	Blz.
1. INLEIDING	1
2. HET MODEL MET BETREKKING TOT DE HUISHOUDELIJKE VRAAG NAAR WATER	3
3. HET MODEL MET BETREKKING TOT DE INDUSTRIËLE VRAAG NAAR WATER	9
4. DE WATERBEHOEFTE IN DE LANDBOUW	12
5. DE MULTI-CRITERIA METHODE AQUAFLEX	14
BIJLAGEN	21

1. INLEIDING

Door het NEI* is een rapport uitgebracht ten behoeve van de Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland**. Hierin worden de uitkomsten beschreven van een studie, uitgevoerd door het NEI (in opdracht van de Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland), betreffende een modelmatige aanpak van de economische aspecten van het waterbeheer in Oost-Gelderland. Deze studie resulteert in een benadering in twee fasen:

1. het ontwikkelen van modellen betreffende de vraag naar water door respectievelijk de huishoudens, de industrie en de landbouw, uitmondend in prognoses voor de vraag in 1990;
2. het ontwikkelen van een multi-criteria methode ('aquaflex') die de evaluatie mogelijk moet maken van een aantal alternatieve beheersplannen voor het integraal waterbeheer in Oost-Gelderland.

Deze notitie, die niet los gezien kan worden van het NEI-rapport, geeft een overzicht van de ontwikkelde vraagmodellen en multi-criteria methode, zonder nader in te gaan op de verkregen resultaten. Er wordt slechts aandacht besteed aan de modelvorming. Vaak wordt zelfs volstaan met een verwijzing naar het NEI-rapport. In de par. 2 en 3 worden enkele kritische opmerkingen gemaakt over het model betreffende de huishoudelijke vraag naar water (par. 2) en over het industriële deelmodel (par. 3). In par. 4 wordt het model met betrekking tot het watergebruik in de landbouw zeer summier behandeld. De reden hiervoor is dat dit model meer (fysisch) technisch van aard is dan

*NEI: Nederlands Economisch Instituut

**NEI: 'Aquaflex', een modelmatige aanpak ter voorbereiding van beslissingen met betrekking tot de waterhuishouding in Gelderland
juli 1979

de andere modellen. In par. 5 wordt de multi-criteria analysemethode Aquaflex kort beschreven en wordt aangegeven hoe deze methode, onder de gemaakt veronderstellingen, feitelijk werkt. Ook hier wordt niet nader ingegaan op de resultaten.

Deze notitie is geschreven ter ondersteuning van een voorgenomen discussie, over afwegingsmethoden, in de Werkgroep Economie (van het ICW).

2. HET MODEL MET BETREKKING TOT DE HUISHOUDELIJKE VRAAG NAAR WATER

Uitgangspunt voor het vraagmodel is het verbruik van (door de waterleidingbedrijven geleverd) water per gemeente (per hoofd van de bevolking). Dit waterverbruik wordt afhankelijk gesteld van de volgende factoren*:

- de prijs van het water (p_t). De prijs is gelijk voor alle gemeenten;
- het inkomen per hoofd van de bevolking ($(y/pop)_{rt}$);
- de bemetering (d_{rt}). Dit is een dummy variabele met de waarde 0 als geen bemetering heeft plaatsgevonden en met de waarde 1 als dit wel het geval is;
- het gemiddeld aantal uren zonneshijns in de zomermaanden (K_t);
- de gemiddelde gezinsgrootte (g_{rt}). Deze variabele wordt constant in de tijd verondersteld;
- het percentage aansluitingen in het kerngebied (u_{rt}). Deze variabele wordt constant in de tijd verondersteld;
- de tijd (t), $t = 0$ komt overeen met 1970.

Er wordt een zes-tal alternatieve vergelijkingen ter verklaring van de huishoudelijke vraag naar water geschat. Hierin zijn bovenstaande verklarende variabelen in verschillende gedaanten (o.a. logaritmische, inverse) opgenomen. De uiteindelijke keuze is gevallen op vgl. (2.1), zodat het model ter bepaling van de huishoudelijke vraag naar water er als volgt uitziet:

$$\ln\left(\frac{q}{pop}\right)_{rt} = a_0 + a_1 p_t + a_2 (y/pop)_{rt}^{-1} + a_3 d_{rt} + a_4 \ln K_t + a_5 t + a_6 \ln g_{rt} + a_7 u_{rt} \quad (2.1)$$

$$q_{rt} = pop_{rt} \left(\frac{q}{pop}\right)_{rt} \quad (2.2)$$

Vergelijking (2.1) kan ook als volgt worden geschreven:

*index r is de gemeente index; index t geeft de tijd

$$\left(\frac{q}{\text{pop}}\right)_{rt} = \alpha_0 \underbrace{\{K_t^{a_4} e^{a_1 p_t + a_5 t}\}}_I \cdot \underbrace{\{g_{rt}^{a_6} e^{a_7 u_{rt}}\}}_{II} \cdot e^{a_2 (y/\text{pop})_{rt}^{-1}} e^{a_3 d_{rt}} \quad (2.3)$$

Hierbij geldt:

I is constant over de gemeenten en variabel in de tijd

II is variabel over de gemeenten en constant in de tijd

III bestaat uit inconsistente variabelen (wordt nog behandeld)

Tabel 2.1. geeft de geschatte coëfficiënten voor vgl. (2.1) alsmede de geschatte coëfficiënten voor de alternatieve specificaties. Vergelijking (2.1) komt overeen met model 6. Er blijkt dat slechts 3 van de 8 coëfficiënten significant van nul verschillen*. Dit betekent dat deze variabelen geen significante bijdrage leveren aan de verklaring van het huishoudelijk waterverbruik. Weglaten van enkele niet significante (verklarende) variabelen en herschatten van de gecorrigeerde vergelijking lijkt hier de meest voor de hand liggende werkwijze. Dit gebeurt echter niet.

De schatting is uitgevoerd met behulp van zowel cross-section- als tijdreeksgegevens:

- de cross-sectiongegevens betreffen het hoofdelijk waterverbruik per gemeente in 1970;
- de tijdreeksgegevens betreffen het hoofdelijk waterverbruik in de regio Oost-Gelderland voor de jaren 1965, 1966,, 1976.

Uit de specificatie van de gegevens blijkt dat bepaalde variabelen niet consistent zijn. Dit betreft:

1. het waterverbruik per hoofd van de bevolking. Deze variabele wordt voor de beide reeksen gegevens op verschillende wijze berekend waardoor in feite twee verschillende variabelen ontstaan. Dit blijkt ook uit het NEI-rapport als wij het berekend huishoudelijk

*dit is te vinden met behulp van de vuistregel dat een geschatte coëfficiënt van nul verschil als de absolute waarde van de coëfficiënt groter is dan twee keer de standaarddeviatie

- waterverbruik voor de gehele regio (tabel 2.1)* vergelijken met dat per gemeente (tabel 2.2)* voor het jaar 1970. Het gemiddeld verbruik voor de regio is groter dan het gemiddeld verbruik in alle afzonderlijke gemeenten, iets dat niet mogelijk is;
2. het inkomen per hoofd van de bevolking. Bij de cross-sectiongegevens wordt het inkomen één jaar vertraagd opgenomen, in de tijdreeks wordt het niet vertraagd opgenomen. Het betreft hier dus twee verschillende verklarende variabelen die ook als zodanig in de vergelijking opgenomen moeten worden (wat niet is gebeurd);
 3. de bemeteringsdummy. Met uitzondering van Lochem, dat eerst in 1972 bemeterd werd, is de gehele regio Oost-Gelderland gedurende de gehele periode bemeterd. In het rapport wordt de bemeteringsdummy (tijdreeksgegevens) nul gesteld voor de jaren 1965, , 1971 en één voor de jaren 1972, , 1976. Dit is volgens mij een grove overschatting van het effect van de bemetering in Lochem op het waterverbruik in de gehele regio (de gemeente Laren-Lochem telt minder dan 4% van het totaal aantal inwoners in de regio). Dit maakt de betekenis van deze (dummy) variabele bedenkelijk, te meer daar de geschatte coëfficiënt significant van nul verschilt. Mijns inziens moet deze variabele worden weggelaten omdat bij juiste toepassing (d.w.z. voor de tijdreeks moet gelden $d_{rt} = 1$ voor alle t) alleen voor de gemeente Laren-Lochem (in 1970) de dummy de waarde nul heeft en in alle andere gevallen de waarde één.

Door de inconsistentie in de bovengenoemde variabelen had mijns inziens geen gecombineerde cross-section tijdreeks-schatting mogen plaatsvinden (wat is de betekenis van de geschatte coëfficiënten?). Gelet op de inconsistente variabelen, de schattingsresultaten en de structuur van het model (vgl. 2.3) alsmede op de beschikbare gegevens ligt het mijns inziens meer voor de hand uit te gaan van een verdeelmodel. Hierbij kan het verloop in de tijd voor de regio als geheel geschat worden met behulp van de tijdreeksgegevens. De cross-sectiongegevens kunnen dan gebruikt worden om de verdeling over de gemeenten te schatten. Voordelen van deze aanpak zijn:

*tabellen in het NEI-rapport

Tabel 2.1. Schattingsresultaten van enkele specificaties van de huishoudelijke vraag naar water
Geschatte coëfficiënten*

Variabelen	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
Constante	lineair 0,0438 (0,0106)	lineair -2,8623 (0,4110)	lineair 0,0481 (0,0096)	lineair -2,7171 (0,3729)	lineair 0,0138 (0,0167)	lineair -3,5561 (0,6504)
Urbane constante dummy	lineair -0,0048 (0,0043)	lineair -0,1596 (0,1653)	lineair 0,0051 (0,0044)	lineair 0,1842 (0,1709)	-	-
Rurale constante dummy	lineair -0,0013 (0,0031)	lineair -0,0456 (0,1222)	lineair 0,0009 (0,0033)	lineair 0,0332 (0,1281)	-	-
Prijs	lineair -0,0591 (0,0174)	lineair -2,1812 (0,6781)	lineair -0,0571 (0,0172)	lineair -2,1105 (0,6648)	lineair -0,0572 (0,0162)	lineair -2,1276 (0,6335)
Inkomen	lineair 0,0606 (0,0455)	lineair 2,1049 (1,7670)	invers -0,000158 (0,000103)	invers -0,00576 (0,00398)	invers -0,000195 (0,000096)	invers -0,00713 (0,00375)
Urbane inkomen dummy	lineair 0,1123 (0,0975)	lineair 3,7594 (3,7890)	invers -0,000217 (0,000190)	invers -0,00780 (0,00736)	-	-
Rurale inkomen dummy	lineair 0,0267 (0,0703)	lineair 0,9098 (2,7327)	invers -0,000050 (0,000144)	invers -0,00180 (0,00559)	-	-
Bemetering	lineair -0,0027 (0,0011)	lineair -0,1579 (0,0416)	lineair -0,0023 (0,0011)	lineair -0,1456 (0,0415)	lineair -0,0023 (0,0010)	lineair -0,1455 (0,0394)
Gemiddeld aantal uren zonneschijn in de zomermaanden	lineair 0,000037 (0,000016)	lineair 0,00078 (0,00064)	lineair 0,000040 (0,000016)	lineair 0,000907 (0,000637)	logaritmisch 0,0076 (0,0028)	logaritmisch 0,1802 (0,1082)
Tijd dummy	lineair 0,000418 (0,000507)	lineair 0,00674 (0,01971)	lineair 0,000400 (0,000497)	lineair 0,00545 (0,01923)	lineair 0,00046 (0,00046)	lineair 0,00682 (0,01789)
Gezinsgrootte	lineair 0,0011 (0,0007)	lineair 0,0386 (0,0273)	lineair 0,0012 (0,0007)	lineair 0,0467 (0,0276)	logaritmisch 0,0046 (0,0026)	logaritmisch 0,1712 (0,1026)
Percentage aansluitingen in kerngebied	-	-	-	-	lineair 0,0016 (0,0018)	lineair 0,0558 (0,0719)
Hoofdelijk waterverbruik (te verklaren)	lineair	logaritmisch	lineair	logaritmisch	lineair	logaritmisch
Correlatiecoëfficiënt (R^2)	0,9723	0,9474	0,9732	0,9494	0,9734	0,9489

* (): de standaardafwijking. Ook wordt aangegeven hoe de variabele in de vergelijking is opgenomen (lineair, logaritmisch of invers)

- de variabelen die constant zijn over de gemeenten (K_t, p_t, t) respectievelijk de tijd (g_{rt}, u_{rt}) kunnen worden weggelaten in de vergelijking die de verdeling over de gemeenten respectievelijk het verloop in de tijd bepaalt. Hierdoor wordt het aantal verklarende variabelen per vergelijking kleiner;
- de inconsistentie in de inkomensvariabele vervalt omdat twee verschillende vergelijkingen worden geschat;
- de variabelen waarvan de betekenis voor de regio als geheel twijfelachtig is (g_{rt}, u_{rt} en d_{rt}) kunnen in de betreffende vergelijking worden weggelaten. Dit komt de betekenis van de coëfficiënten ten goede.

Nadelen zijn dat maar voor één jaar cross-sectiongegevens beschikbaar zijn en dat in dat jaar het totaal waterverbruik over de gemeenten ongelijk is aan dat voor de gehele regio. Voor dit laatste moet een oplossing worden gevonden. Een voorbeeld van een verdeelmodel voor het huishoudelijk waterverbruik wordt gegeven door vergelijkingen (2.4 t/m 2.7), waar niet wordt ingegaan op de vorm van de relaties. Dit voorbeeld is niet verder uitgewerkt.

$$\left(\frac{q}{\text{pop}}\right)_t = f(K_t, t, p_t, \left(\frac{y}{\text{pop}}\right)_t) \quad (2.4)$$

$$q_t = \text{pop}_t \cdot \left(\frac{q}{\text{pop}}\right)_t \quad (2.5)$$

$$\left(\frac{q}{\text{pop}}\right)_{rt} = g\left(\left(\frac{q}{\text{pop}}\right)_t, u_{rt}, g_{rt}, \left(\frac{y}{\text{pop}}\right)_{rt-1}\right) \quad (2.6)$$

Met als voorwaarde:

$$q_t = \sum_r q_{rt} \left(\frac{q}{\text{pop}}\right)_{rt} \quad (2.7)$$

Nu rest nog de prognose voor 1990, hierbij worden de volgende veronderstellingen gemaakt:

- een bevolkingsgroei van 1% per jaar. Dit is de groeivoet gedurende de studieperiode;
- een constante gezinsgrootte en een constant percentage aansluitingen in het kerngebied (de waarde gevonden in 1970);

- een gemiddeld aantal uren zonneshijn overeenkomend met een 10% jaar;
- een gemiddelde jaarlijkse groeivoet van het reële inkomen van 5,3% (of als alternatief van 4,2%);
- een constant reëel prijsniveau (waarde 1976, voor sommige prognoses opgehoogd met 20%).

Deze veronderstellingen worden verder niet onderbouwd. Dit betekent dat de prognoses voor 1990 worden verkregen met behulp van een model waarbij de betekenis van de geschatte coëfficiënten niet duidelijk is en waarbij de waarden van de verklarende variabelen min of meer arbitrair bepaald zijn. De prognoses worden verkregen met vergelijking (2.1), ook te schrijven als*:

$$\left(\frac{\hat{q}}{\text{pop}}\right)_{r,1976+\tau} = \left(\frac{\hat{q}}{\text{pop}}\right)_{r,1970} \cdot \left\{ \left(\frac{K(10)}{K_{1970}}\right)^{\hat{a}_4} e^{\hat{a}_1(p_{1976}-p_{1970})+\hat{a}_5(\tau+6)} \right\} \cdot \left(\frac{1,01}{1+g}\right)^{\tau+6} \quad (2.8)$$

waarbij $K(10)$ = het gemiddeld aantal uren zonneshijn in een 10% jaar

g = de gemiddelde jaarlijkse groeivoet van het reële inkomen

* \hat{x} wil zeggen de geschatte waarde van x

3. HET MODEL MET BETREKKING TOT DE INDUSTRIËLE VRAAG NAAR WATER

Doel van het industriële deelmodel is het in modelvorm gieten van de industriële vraag naar water volgens de eigen watertechnologische productieprocessen van een aantal onderscheiden bedrijfstakken en wel op dusdanige wijze dat de industriële waterbehoeften ook gespecificeerd kunnen worden vastgesteld. Hiertoe wordt het industriële waterverbruik gesplitst in verbruik voor koeling en overig verbruik. Met betrekking tot de winning van water worden de volgende categorieën onderscheiden:

- eigen winning van grondwater door de industrie
- levering door waterleidingbedrijven (groot- en kleinverbruik)
- eigen winning van oppervlaktewater door de industrie

Indien voor koeling gebruik wordt gemaakt van oppervlaktewater (eigen winning) dat na gebruik weer op het oppervlaktewater wordt geloosd spreekt men van gebruik en wordt de hoeveelheid niet gerekend tot de vraag naar water. Ook het overig verbruik van oppervlaktewater (eigen winning) door bedrijven wordt verwaarloosd. Dit omdat het hier om een relatief kleine hoeveelheid gaat.

Het model voor de industriële vraag naar water wordt beschreven door de vergelijkingen (3.1 t/m 3.8)*, dit betreft dus alleen grondwater (eigen winning) en leidingwater.

$$\frac{P_E Q_E + P_L Q_L}{PQ} = a_0 + a_1 P_{AF} + a_2 \Delta \text{PROD} + a_3 \cdot \frac{1}{t} \quad (3.1)$$

$$\frac{P_E Q_E}{PQ} = b_0 + b_1 P_E + b_2 P_L + b_3 \Delta \text{PROD} \quad (3.2)$$

$$\frac{P_L Q_L}{PQ} = c_0 + c_1 P_E + c_2 P_L + c_3 \Delta \text{PROD} \quad (3.3)$$

$$\frac{P_{LK} Q_{LK}}{PQ} = c_0^1 + c_1^1 P_{LK} + c_2^1 P_{LG} + c_3^1 \frac{P_L Q_L}{PQ} + c_4^1 \cdot \frac{1}{t} \quad (3.4)$$

*Voor de schattingsresultaten wordt verwezen naar het NEI-rapport

$$\frac{P_{LG} Q_{LG}}{PQ} = c_0^2 + c_1^2 P_{LK} + c_2^2 P_{LG} + c_3^2 \frac{P_L Q_L}{PQ} + c_4^2 \cdot \frac{1}{t} \quad (3.5)$$

$$Q_K = d_0^1 + d_1^1 \Delta PROD + d_2^1 \cdot \frac{1}{t} + d_3^1 (Q_K + Q_A) \quad (3.6)$$

$$Q_A = d_0^2 + d_1^2 \Delta PROD + d_2^2 \cdot \frac{1}{t} + d_3^2 (Q_K + Q_A) \quad (3.7)$$

$$\frac{Q_{AF}}{PQ} = f_0 + f_1 P_{AF} \quad (3.8)$$

- waarbij: P_G = bruto toegevoegde waarde tegen factorkosten
 Q_E = eigen grondwaterverbruik
 Q_L = totaal industrieel leidingwaterverbruik
 Q_{LK} = industrieel leidingwaterverbruik volgens kleinverbruik tarief
 Q_{LG} = industrieel leidingwaterverbruik volgens grootverbruik tarief
 Q_K = totaal koelwaterverbruik
 Q_A = totaal 'overig' verbruik
 Q_{AF} = totaal afvalwater
 P_E = prijs eigen winning grondwater
 P_L = gemiddelde prijs per m³ leidingwater
 P_{LK} = prijs leidingwater volgens kleinverbruik tarief
 P_{LG} = prijs leidingwater volgens grootverbruik tarief
 P_{AF} = heffing op lozing afvalwater (eerst in 1973 ingebracht)
 $\Delta PROD$ = de conjuncturele produktieverandering
 t = de tijd

Het model is geschat voor de volgende bedrijfstakken: voedings- en genotmiddelen, textielindustrie, leder en rubber, papierindustrie, chemische industrie, bouwmaterialenindustrie, metaalindustrie en overige industrie. De schatting is uitgevoerd voor de hele regio omdat bij schatting per gemeente het toeval een te grote rol speelt (een gevolg van de kleine aantallen per gemeente).

Een bezwaar tegen het gehanteerde model is dat in de gevallen waarin zowel de som van twee variabelen als de variabelen zelf als

te verklaren variabelen in het model voorkomen, de verklarende variabelen verschillen terwijl geen voorwaarde is ingebouwd dat de te verklaren som gelijk is aan de som van de te verklaren variabelen (zie b.v. de verg. (3.1), (3.2) en (3.3)). Het lijkt mij beter in deze gevallen over te gaan op een verdeelmodel waardoor in ieder geval de interne consistentie van het model gewaarborgd wordt.

De prognoses voor het industrieel waterverbruik in 1990 worden verkregen door het model, dat geschat is voor de gehele regio, per gemeente toe te passen. Deze aanpak is statistisch gezien onjuist omdat:

- de schatting voor de regio is uitgevoerd ten einde de grote fluctuaties die per gemeente optreden, te nivelleren;
- toepassing van een model voor het maken van prognoses, behoort te geschieden voor hetzelfde gebied als waarvoor de coëfficiënten zijn geschat. Dit omdat dan de niet in de schatting opgenomen factoren dezelfde werking (worden geacht te) hebben.

De verklarende variabelen bij deze prognoses zijn voor een groot deel beleidsinstrumenten (waterleiding tarieven, heffing op afvalwaterlozing etc.). Dit geldt niet voor de productiecijfers per gemeente en per bedrijfstak. Deze zijn gebaseerd op prognoses voor het arbeidsvolume per gemeente en per bedrijfstak (bron NEI: De werkgelegenheid per provincie en per NEI-gebied in 1980, 1990 en 2000) waarbij impliciet is verondersteld dat de relatieve gemiddelde jaarlijkse groeipercentages in de waargenomen periode (1967-1976) ook voor de periode 1980-1990 gelden. Dit geldt zowel voor de jaarlijkse veranderingen in de productie-omvang als voor de jaarlijkse veranderingen in de werkgelegenheid.

4. DE WATERBEHOEFTE IN DE LANDBOUW

Omdat het model betreffende de waterbehoefte in de landbouw meer een technisch dan een economisch model is wordt volstaan met een korte samenvatting*.

Onderscheid wordt gemaakt tussen:

- waterverbruik in de veehouderij
- waterverbruik door de gewassen

Waterverbruik in de veehouderij

Onderscheid wordt gemaakt tussen grondwater uit eigen winning en water geleverd door de waterleidingbedrijven. De splitsing wordt arbitrair bepaald op 75% eigen winning en 25% levering door de waterleidingbedrijven. De prognose met betrekking tot de behoefte aan water, per gemeente, in 1990 wordt berekend met behulp van:

- prognoses aangaande de aantallen dieren per diersoort en per gemeente (geleverd door de Landinrichtings Dienst);
- de jaarlijkse waterverbruikgegevens per diersoort (bron: HELDER, J.G.M., 1974, Het waterverbruik in de landbouw in Oost-Gelderland).

Waterverbruik door de gewassen

Hier wordt alleen gekeken naar grasland**. Dit omdat watertoevoer slechts aantrekkelijk is voor grasland, aardappelen en tuinbouw en omdat gras veruit het belangrijkste gewas is in Oost-Gelderland. Uitgangspunten zijn onder andere:

- de optimale produktie-omstandigheden met betrekking tot de waterhuishouding in de landbouw worden bepaald door de wet van de toen afnemende meeropbrengsten;
- optimale produktie kan alleen worden bereikt als naast wateraanvoer- ook waterafvoermaatregelen worden genomen.

*Voor een uitgebreide behandeling en voor de resultaten wordt verwezen naar het NEI-rapport

**Dit betekent dat bij de multi-criteria analyse geen rekening wordt gehouden met de waterbehoefte van andere gewassen, een positief of negatief effect van maatregelen op andere gewassen etc.

Voor de waterbehoefte van grasland wordt, per gemeente, berekend:

- het verwachte vochttekort, uitgaande van een gemiddeld bodemtype per gemeente (gegeven het klimaat);
- de opbrengstdepressie per mm vochttekort (prognose 1990);
- de verwachte bruto opbrengstverhoging per mm effectief beregenen (prognose 1990).

Voor de wateroverlast wordt, per gemeente, berekend de opbrengstdaling als percentage van de potentiële opbrengst.

5. DE MULTI-CRITERIA METHODE AQUAFLEX

De methode is ontwikkeld om richtlijnen te geven ten einde een verantwoorde keuze te maken uit alternatieve plannen aan de hand van een aantal (beleids)criteria. Tevens wordt inzicht verkregen in beslismechanisme en interne structuur van de geformuleerde plannen. Hierdoor kan de methode ook een rol spelen bij herziening en/of verbetering van de oorspronkelijk geformuleerde plannen en criteria.

Bij het toepassen van de methode kunnen de volgende stappen worden onderscheiden:

1. formuleren van de alternatieve projecten
2. formuleren van beleidscriteria
3. waarderen van elk project ten opzichte van elk criterium. Deze waardering mag zowel ordinaal als kardinaal van aard zijn
4. uitvoeren van de multi-criteria analyse. Hierbij is het nodig dat het relatieve belang van elk van de criteria bekend is

De multi-criteria methode komt, kort samengevat, neer op het volgende: Veronderstel dat een aantal projecten (O_j ; $j = 1, \dots, m$) volgens een aantal criteria (c_k ; $k = 1, \dots, n$) geëvalueerd moeten worden terwijl de relatieve belangrijkheid van de criteria bekend is (de wegingsfactoren w_k ; $k = 1, \dots, n$).

Dat wil zeggen dat bekend moeten zijn:

$$A = \begin{array}{c|ccc} & O_1 & \dots & O_m \\ \hline c_1 & & & \\ \vdots & & & \\ c_n & & & \end{array} \quad A_{kj}$$

met A_{kj} ($k = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, m$) de waardering van alternatief j met betrekking tot criterium k^*

$$w = \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_m \end{bmatrix}$$

met w_k ($k = 1, \dots, n$) de wegingsfactor behorend bij criterium k

* A_{kj} mag zowel ordinaal als kardinaal zijn

Voor elk criterium afzonderlijk wordt de score bepaald voor alle mogelijke rangschikkingen van de projecten ($m!$ rangschikkingen). Dit gebeurt door (per criterium en per rangschikking) de objecten paarsgewijs te vergelijken en de waarde +1 toe te kennen als het scoreverloop* in overeenstemming is met de rangschikking en de waarde -1 als dit niet het geval is. Dit leidt tot een score-matrix van de volgende vorm:

c_1	0_1	0_2	0_3
0_1	0	+1	-1
0_2	-1	0	-1
0_3	+1	+1	0

In dit voorbeeld hebben wij te maken met 3 alternatieven en bekijken wij voor criterium c_1 de rangschikking $0_1, 0_2, 0_3$. Hierbij geldt $A_{13} > A_{11} > A_{12}$

De score, per criterium, voor een rangschikking is de som van de elementen boven de diagonaal in de score-matrix (in bovenstaand voorbeeld is de score -1). De totaal score, per rangschikking, is de gewogen som van de scores per criterium (met wegingsfactoren w_k). De optimale rangschikking, gegeven de wegingsfactoren, is die rangschikking waarvoor de totaal score het hoogst is.

Indien voor bepaalde criteria kwantitatieve informatie beschikbaar is dan bestaat de mogelijkheid in de score-matrix de werkelijke verschillen op te nemen in plaats van de waarde +1 respectievelijk -1. Daarnaast bestaat de mogelijkheid ordinale informatie om te werken tot 'pseudo-numerieke' informatie die dan verder als 'gelijkwaardig aan kwantitatieve informatie' kan worden behandeld. Deze omrekening geschiedt met behulp van vergelijking (5.1):

$$x_r = \frac{\sqrt{r} - \sqrt{r-1}}{\sqrt{n}} \quad (5.1)$$

- waarbij: x_r = pseudo-numerieke score (genormeerd op één)
 r = rangorde getal van de reeks n (oplopende reeks)
 n = totaal aantal scores (= aantal objecten)

*scoreverloop wil zeggen waardering ten opzichte van het betreffende criterium

Hierbij moet worden bedacht dat (5.1) min of meer arbitrair bepaald is*. Een andere keuze voor (5.1) geeft andere waarden voor x_r wat kan leiden tot een andere optimale rangschikking.

Voor evaluatieproblemen van grotere omvang is een rekenprocedure opgezet die snel de optimale rangorde oplevert. Deze procedure is de volgende:

1. Bereken voor ieder criterium de score-matrix X (X_k is score-matrix voor c_k)

$$X_k = \begin{array}{c|ccc} c_k & 0_1 & \dots & 0_m \\ \hline 0_1 & & & \\ \vdots & & X_{ijk} & \\ \vdots & & & \\ 0_m & & & \end{array}$$

waarbij:

$$X_{ijk} = \begin{array}{ll} +1 & 0_i \text{ belangrijker } 0_j \\ 0 & 0_i 0_j \text{ even belangrijk} \\ -1 & 0_j \text{ belangrijker } 0_i \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} +1 \\ 0 \\ -1 \end{array}} \right\} \begin{array}{l} \text{ordinale} \\ \text{informatie} \end{array}$$

of: $X_{ijk} = A_{ki} - A_{kj}$ kwantitatieve en pseudo-numerieke informatie

Er geldt altijd: $X_{ijk} = -X_{jik}$

2. Normeer de score-matrix X_k door elk element van de matrix te delen door de som van de positieve elementen in de matrix. Dit geeft XN_k

$$XN_k = \begin{array}{c|ccc} c_k & 0_1 & \dots & 0_m \\ \hline 0_1 & & & \\ \vdots & & XN_{ijk} & \\ \vdots & & & \\ \vdots & & & \\ 0_m & & & \end{array}$$

waarbij: $XN_{ijk} = \frac{X_{ijk}}{N_k}$

met $N_k = \frac{1}{2} \sum_i \sum_j |x_{ijk}| = \sum_i \sum_{j>i} |x_{ijk}|$

Er geldt altijd: $XN_{ijk} = -XN_{jik}$

3. Vermenigvuldig de score-matrices met de bij de criteria behorende gewichten en sommeer over de criteria. Dit geeft de totaal score-matrix y

* (5.1) is bepaald met behulp van het Abelson-Tukey criterium. De keuze van het criterium is arbitrair

factoren) wordt gevonden door de kolomtotalen $K_j = \sum_k w_k AG_{kj}$

onderling te vergelijken en in volgorde van grootte te plaatsen*.

In bijlage 1 wordt bewezen dat beide benaderingen tot dezelfde optimale rangschikking leiden. De tweede benadering is minder omslachtig (veel minder rekenwerk) en laat duidelijker zien hoe de optimale rangschikking tot stand komt. Deze benadering mag echter alleen gebruikt worden als met kwantitatieve en pseudo-numerieke informatie gewerkt wordt.

De multi-criteria analyse in het NEI-rapport heeft betrekking op zes alternatieve plannen en zes beleidscriteria.

De alternatieve plannen zijn**:

1. het referentieplan (P_1), hierin wordt getracht de verschillende belangen op een evenwichtige manier tot uiting te laten komen
2. het natuurvriendelijk plan (P_2), waarin de nadruk wordt gelegd op het natuurbehoud
3. het landbouwvriendelijk plan (P_3)
4. het grondwaterbezuinigingsplan (P_4)
5. het minimumplan (P_5), dit plan stelt een minimale verandering voor ten opzichte van de huidige situatie
6. het maximumplan (P_6), dit gaat gepaard met maatregelen die maximale veranderingen mogelijk maken

Als beleidscriteria worden onderscheiden:

1. de landbouw, dit betreft de netto baten van ontwatering en van beregening (L)
2. de natuur (N)
3. de watervoorziening voor huishoudens en industrie (vraag naar water in $1000 \text{ m}^3/\text{jaar}$) (V)
4. de milieuhygiëne, hier wordt aandacht besteed aan waterkwaliteit en aan de lokatie van de zuiveringsinstallaties (M)

*indien twee of meer kolomtotalen gelijk zijn mogen de bijbehorende alternatieven in de optimale rangschikkingen onderling worden verwisseld

**zie bijlage 2 voor een schematisch overzicht

5. de kosten en baten, dit betreft de netto baten van landbouw, watervoorziening en milieuhygiëne in afwijkingen ten opzichte van het referentieplan (K)
6. het grondwater, dit betreft de hoeveelheid grondwater die nodig is in afwijkingen ten opzichte van de benodigde hoeveelheid bij het referentieplan (G)

Dit leidt tot de in de tabellen 5.1 en 5.2 gegeven waarderingen respectievelijk kerngewichten waarmee de evaluatie wordt uitgevoerd. De waarden voor L, V, K en G zijn berekend met behulp van de eerder besproken modellen met betrekking tot de vraag naar water door de huishoudens, de industrie en de landbouw*. In het NEI-rapport worden 5 deelruimtes onderzocht, waarvan één gedetailleerd om als voorbeeld te dienen. Voor deze deelruimte geldt:

$$w_L \geq w_N \geq w_K \geq w_V \geq w_M \geq w_G.$$

Tabel 5.1. Eerste waardering van de alternatieve plannen

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆
Landbouw	5 881	1 688	3 767	- 3 027	2 421	1 514
Natuur	+++	++++	++	++	+++	+
Watervoorziening	52 720	34 685	52 720	39 767	44 493	46 498
Miliehygiëne	+	++	+	+	+	++
Kosten en baten	0 -11 748	- 2 114	-22 328		15 -25 083	
Grondwater	0 12 552		0 18 396		13 670	0

*Opmerking: bij het minimumplan (maximumplan) wordt met betrekking tot de prognose voor het huishoudelijk waterverbruik uitgegaan van een minimale (maximale) prognose. De suggestie dat het hier afzonderlijke prognoses betreft is onjuist. Het betreft hier de ondergrens (bovengrens) van het 95% betrouwbaarheidsinterval van de in de andere plannen gebruikte prognose

Tabel 5.2. De matrix van kerngewichten (in percentages)

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆
Landbouw	29	16	22	0	18	15
Natuur	15	37	12	12	15	9
Watervoorziening	19	13	19	15	17	17
Milieuhygiëne	11	28	11	11	11	28
Kosten en baten	28	15	26	3	28	0
Grondwater	0	28	0	41	31	0

Voor de verdere uitwerking en voor de resultaten wordt verwezen naar het NEI-rapport.

Bewijs gelijke optimale rangschikking Qualiflex en alternatieve analyse

Bewezen moet worden dat voor de optimale rangschikking*, $O_{r_1^*}, \dots, O_{r_m^*}$, berekend met behulp van Qualiflex** geldt: $K_{r_1^*} > K_{r_2^*} > \dots > K_{r_m^*}$, waarbij $K_{r_i^*}$ de gewogen kolomsom is van alternatief $O_{r_i^*}$ dat in de optimale rangschikking op de i^{de} plaats komt. Voorwaarde hierbij is dat wordt gewerkt met kwantitatieve en pseudo-numerieke informatie.

Bewijs:

$$\text{Er geldt: } X_{ijk} = A_{ki} - A_{kj} \text{ (definitie)}$$

dit leidt tot

$$XN_{ijk} = \frac{X_{ijk}}{N_k} = \frac{A_{ki} - A_{kj}}{N_k} = AG_{ki} - AG_{kj}$$

en

$$Y_{ij} = \sum_k w_k XN_{ijk} = \sum_k w_k AG_{ki} - \sum_k w_k AG_{kj} = K_i - K_j$$

De optimale rangschikking (Qualiflex) is die rangschikking waarvoor de som (ρ) van de elementen boven de diagonaal in de matrix Y maximaal is.

Voor de rangschikking O_{r_1}, \dots, O_{r_m} betekent dit:

$$\begin{aligned} \rho &= \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j>i} Y_{r_i r_j} = \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j>i} (K_{r_i} - K_{r_j}) = \sum_{i=1}^{m-1} \left\{ (m-i) K_{r_i} - \sum_{j>i} K_{r_j} \right\} = \\ &= m \sum_{i=1}^{m-1} K_{r_i} - \sum_{i=1}^{m-1} i K_{r_i} - \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j>i} K_{r_j} = m \sum_{i=1}^m K_{r_i} - \sum_{i=1}^m i K_{r_i} - \\ &\quad - \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j>i} K_{r_j} \end{aligned}$$

*gegeven de wegingsfactoren!

**Qualiflex is het afwegingsgedeelte, Aquaflex omvat de gehele procedure

Bijlage 1 vervolg

$$\text{Er geldt: } \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j>i} K_{r_j} = \sum_{i=1}^m (i-1) K_{r_i} = \sum_{i=1}^m i K_{r_i} - \sum_{i=1}^m K_{r_i}$$

$$\text{Stel: } \sum_{i=1}^m K_{r_i} = \text{KTOT (onafhankelijk rangorde)}$$

Dit geeft:

$$\rho = (m+1) \text{KTOT} - 2 \sum_{i=1}^m i K_{r_i}$$

Dat wil zeggen dat ρ maximaal is als $\sum_{i=1}^m i K_{r_i}$ minimaal is. Er is eenvoudig in te zien dat voor dit minimum moet gelden:

$K_{r_1}^* > K_{r_2}^* > \dots > K_{r_m}^*$, waarbij $O_{r_1}^*, \dots, O_{r_m}^*$ de optimale rangschikking is.

De onderscheiden alternatieve plannen

	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6
	Referentieplan	Natuurvriendelijk plan + prijs-politiek	Landbouwvriendelijk plan	Grondwater-bezuinigingsplan	Minimumplan m.b.t. watervoorziening	Maximumplan m.b.t. watervoorziening + prijspolitiek
A. LANDBOUW						
A 1 Ontwatering	gebied met urgentie groot en matig en zie B	als P 1 zie B	als P 1, Winterswijk wordt wel ontwaterd	als P 3	als P 1	als P 1 zie B
A 2 Berekening	tot max. 50% van grasland (ook in droog jaar!)	tot max. 25% van grasland	als P 1	tot max 15% van grasland (situatie 1976)	als P 4	als P 1
A 3 Herkomst beregingwater	grondwater, en verder "rendabel" oppervlaktewater, zie C 4	als P 1	grondwater gaat vóór C 4	als P 1	grondwater zie C 4	als P 1
B. NATUUR						
B. WATERVOORZIEHING huishoudelijk, industrie etc.	geen nieuwe werken in "natuurgemeenten" verder geen restricties	als P 1, maar in alle andere "rode" gebieden worden compensaties toegepast	als P 1, wel ontwateringswerken in Winterswijk (incl. compensatie)	als P 3	als P 1	geen beperking m.b.t. nieuwe werken, wel compensatieprijs voor alle "rode" gebieden
C 1 Hoeveelheid	gem. prognose	als P 1	als P 1	als P 1	min. prognose	max. prognose
C 2 Reële prijzen	ongevijzigd	prijsverhoging en andere tariefopbouw	als P 1	grondwaterheffing particuliere winning	als P 1	als P 2
C 3 Locatie nieuwe FS	tienjareplan en zie B	min. landbouwschade zie B	als P 2	als P 2 (d.w.z. hergroepering bestaande FS)	als P 1	als P 2
C 4 Herkomst water	grondwater, gaat vóór A 3 (eventueel opp.- water)	als P 1	grondwater komt ná A 3, verder opp.- water	als P 1	grondwater gaat vóór A 3	als P 1
D. MILIEUHYGIENE						
D 1 Keeliteit	plan ZOG	defosfatering Winterswijk	als P 1	als P 1	als P 1	als P 2
D 2 Locatie lozing H21	plan ZOG	plan ZOG	als P 1	als P 1	als P 1	hergebruik effluent voor beregning