Maaionderhoud waterlopen

Handleiding voor het programma MWW (versie 2.1)

E.P. Querner

Technisch Document 23

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1995

REFERAAT

Querner, E.P., 1995. *Maaionderhoud waterlopen; handleiding voor het programma MWW (versie 2.1).* Wageningen, DLO-Staring Centrum. Technisch Document 23. 44 blz., 2 tab., 1 fig., 3 ref.

Maaionderhoud is nodig als waterplanten en oevervegetatie de doorstroming zodanig belemmeren, dat waterpeilen en grondwaterstanden te hoog worden. Het programma MWW (Maaionderhoud Waterlopen door Waterschappen) berekent de tijdstippen van maaionderhoud voor een waterloop afhankelijk van de kans op een zekere afvoer en een bepaalde vegetatie-ontwikkeling in de zomer. Ook kan voor gegeven tijdstippen van maaionderhoud de afvoercapaciteit worden bepaald. De invoer voor het programma MWW bestaat uit gegevens van de waterloop, het achterliggende stroomgebied, de afvoeren in de zomer, en de vegetatie-ontwikkeling (obstructie) in de waterloop. De afvoeren kunnen uitgesplitst zijn naar de grondwatertrappen die in het stroomgebied voorkomen.

Trefwoorden: afvoer, bestand, computerprogramma, grafische uitvoer, grondwatertrap, hoogwaterniveau, obstructie, stromingsweerstand, vegetatie, waterdiepte

ISSN 0928-0944

Project 74021 [TD23.HM/05.1995]

Inhoud

Samenvatting

Dit Technisch Document is de gebruikershandleiding die hoort bij het programma MWW (**M**aaionderhoud **W**aterlopen door **W**aterschappen). Het programma berekent de tijdstippen van maaionderhoud voor een waterloop in afhankelijkheid van de kans op een zekere afvoer en een bepaalde vegetatieontwikkeling in de zomer. Ook is het mogelijk om voor gegeven tijdstippen van maaionderhoud de afvoercapaciteit te bepalen. Op die manier is het mogelijk om het huidige maaionderhoud te evalueren. Het programma biedt ook de mogelijkheid om niet het gehele profiel te maaien. Opties zijn: alleen de bodem maaien of de bodem met één zijkant.

Maaionderhoud is nodig als de waterplanten en oevervegetatie de doorstroming zodanig belemmert, dat waterpeilen en grondwaterstanden te hoog worden en overlast veroorzaken. Voor het maaionderhoud is van belang enerzijds de kans op een zekere afvoer en anderzijds de afvoercapaciteit van de waterloop. Deze gegevens zijn de niet-interactieve invoer. De overige gegevens worden interaktief ingevoerd. Er bestaat evenwel de mogelijkheid om ook deze gegevens uit een bestand te lezen.

Het programma MWW heeft gegevens nodig van een waterloop en het achterliggende stroomgebied. Daarnaast zijn er gegevens nodig van de afvoeren in de zomerperiode en de vegetatieontwikkeling (obstructie) in de waterloop.

Gedurende het groeiseizoen berekent MWW de verwachte afvoer en het toelaatbare debiet. De verwachte afvoer is berekend door de specifieke afvoer per Gt te vermenigvuldigen met het opperviak van die Gt binnen het stroomgebied van de betreffende waterloop. Het toelaatbare debiet wordt met de formule van Manning berekend.

1 Inleiding

Dit Technisch Document is de gebruikershandleiding die hoort bij het programma MWW (Maaionderhoud Waterlopen door Waterschappen). Het programma berekent de tijdstippen van maaionderhoud in afhankelijkheid van de kans op een zekere afvoer en een bepaalde vegetatieontwikkeling in de zomer.

Maaionderhoud is nodig als de waterplanten en oevervegetatie de doorstroming zodanig belemmert, dat waterpeilen en grondwaterstanden te hoog worden en overlast veroorzaken. Voor het maaionderhoud is van belang enerzijds de kans op een zekere afvoer en anderzijds de afvoercapaciteit van de waterloop. Om het maaionderhoud te bepalen is een model ontwikkeld dat voor het gehele groeiseizoen de noodzaak om maaionderhoud uit te voeren berekent. De methode om de tijdstippen en dus ook de frequentie van maaionderhoud te bepalen, wordt aan de hand van een voorbeeld nader toegelicht.
In het model wordt geen rekening gehouden met de beperkingen die eventueel het onderhoudsmaterieel met zich mee brengt. Bijvoorbeeld het tijdstip van onderhoud wordt bepaald door de hoeveelheid vegetatie die in één keer verwerkt kan worden.

In hoofdstuk 2 staat een korte beschrijving van het programma MWW. In hoofdstuk 3 zijn zaken opgenomen die betrekking hebben op het gebruik van het programma. Zo staat in paragraaf 3.1 een overzicht van alle bestanden die nodig zijn voor het programma of aangemaakt worden. In de paragrafen 3.2 en 3.3 zijn deze bestanden nader beschreven. In paragraaf 3.4 is de interactieve invoer van het programma beschreven.

In hoofdstuk 4 is de procedure gegeven om het programma op een PC te installeren.

In aanhangsel 1 is de theorie gegeven om het tijdstip van maaionderhoud te bepalen. In aanhangsel 2 zijn de aspecten stromingsweerstand en vegetatie-ontwikkeling toegelicht en hoe hiermee de capaciteit van een waterloop wordt berekend.

2 Programma beschrijving

2.1 Doel van het programma MWW

Het programma MWW berekent de tijdstippen van maaionderhoud voor een waterloop. Om dit te kunnen berekenen is het nodig dat er gegevens worden ingevoerd van de waterloop en het achterliggende stroomgebied. Daarnaast zijn er gegevens nodig van de afvoeren in de zomerperiode en de vegetatie-ontwikkeling (obstructie) in de waterloop. De afvoeren kunnen uitgesplitst zijn naar de grondwatertrappen die in het stroomgebied voorkomen.

Ook is het mogelijk om voor gegeven tijdstippen van maaionderhoud in de zomerperiode, de afvoercapaciteit van een waterloop te bepalen. Op die manier is het mogelijk om het huidige maaionderhoud te evalueren.

2.2 Berekening tijdstip van onderhoud

Gedurende het groeiseizoen berekent MWW de verwachte afvoer en het toelaatbare debiet. De verwachte afvoer is berekend door de specifieke afvoer per Gt te vermenigvuldigen met het oppervlak van die Gt binnen het stroomgebied van de betreffende waterloop. Het toelaatbare debiet wordt met de formule van Manning berekend. Hierbij worden de afmetingen gebruikt, het verhang en de obstructie door waterplanten. In bijlage 2 wordt de berekeningswijze in detail besproken. Het programma geeft aan dat er onderhoud nodig is, als het toelaatbare debiet kleiner wordt dan de verwachte afvoer. Dit is weergegeven als de factor Q_v/Q_t (zie als voorbeeld de resultaten in paragraaf 3.3.1). Indien deze factor $\geq 0{,}95$ is, dan geeft het programma aan dat er onderhoud nodig is.

2.3 Gegevens waterloop

Het programma heeft van de waterloop de afmetingen nodig, zoals: bodembreedte, helling van taluds, maximale waterdiepte, maximaal verhang en de stromingsweerstand. Met deze gegevens berekent het programma de maximale capaciteit van de waterloop. Als er in de waterloop waterplanten groeien, neemt ten gevolge van de obstructie de maximale afvoercapaciteit af. Uitgangspunt bij deze berekeningen is de opgegeven waterdiepte die maximaal toelaatbaar is. Dit gegeven volgt meestal uit een toelaatbaar ontwateringsniveau voor het aanliggende bodemgebruik, zoals bijv. 0,5-0,6 m minus maaiveld (zie fig. 5 in bijlage 2).

De gemiddelde waterdiepte in de zomer bepaalt de snelheid waarmee de waterplanten groeien. Op basis van deze diepte neemt het programma één van de drie beschikbare obstructie-klassen uit tabel 1 (Querner, 1993). Voor waterdiepten groter dan 1,2 m zijn nog geen gegevens beschikbaar.

Tabel 1 Obstructie gedurende het groeiseizoen voor drie klassen van de waterdiepte (Querner, 1993).

Waterdiepte-klasse	Waterdiepte (m)
1	<= 0,40
2	> 0,40 en <= 0,70
3	> 0,70 en <= 1,20

De gegevens over de obstructie per klasse zijn nog onderverdeeld in de minimale, de gemiddelde of de maximale obstructie (zie fig. 6 in bijlage 2).

Van het achterliggende stroomgebied van de waterloop moet opgegeven worden hoeveel oppervlak er van elke grondwatertrap aanwezig is. Het programma komt alleen met deze vraag (zie voorbeeld van gebruik MWW in par. 3.4) voor de Gt's waarvan er een bestand aanwezig is met afvoergegevens (in het voorbeeld Gt III, IV en VII).

2.4 Mogelijkheden van onderhoud

Het programma biedt de mogelijkheid om niet het gehele profiel te maaien. Opties zijn: alleen de bodem maaien of bodem met één zijkant. In tabel 2 zijn de aannames aangegeven t.a.v. de relatieve obstructie na het maaien. Als het gehele profiel wordt geschoond, neemt het model aan, dat de obstructie in de waterloop afneemt tot 10% (tabel 2). Als een deel van het profiel wordt geschoond, vermindert de relatieve obstructie met een bepaald percentage. De gegevens uit tabel 2 kunnen door de gebruiker worden aangepast (par. 3.2.4).

Tabel 2 Aangenomen relatieve obstructie na een maaibeurt voor de drie mogelijkheden van onderhoud in het programma MWW (Querner, 1993).

Nummer	Omschrijving maaibeurt	Obstructie na een maaibeurt (%)	Reductie in de obstructie (%)
1	Gehele profiel	10	-
2	Alleen de bodem	-	45
3	Bodem en één talud	-	65

3 Gebruik van het programma MWW

3.1 Inleiding

Om met het programma te kunnen rekenen zijn er gegevens nodig van de waterloop (dimensies, verhang en stromingsweerstand), de obstructie (ontwikkeling waterplanten en oevervegetatie) en afvoeren (stroomgebied en specifieke afvoer). Gegevens over de vegetatieontwikkeling en specifieke afvoer zijn de niet-interactieve invoer (par. 3.2.1 en 3.2.2). De overige gegevens worden interaktief ingevoerd, zoals voor het voorbeeld is gedaan in par. 3.4. Er bestaat evenwel de mogelijkheid om ook deze gegevens uit een bestand te lezen (par. 3.2.3).

Het programma MWW heeft een aantal invoerbestanden altijd nodig en een aantal is facultatief. Hieronder is een omschrijving gegeven van alle in- en uitvoerbestanden van het programma en is vermeld in welke paragraaf een gedetailleerde beschrijving van zo'n bestand is gegeven.

Invoer (verplicht):		
MWW.VEG	Vegetatieontwikkeling	par. 3.2.1
naam.03*	Afvoeren (per grondwatertrap)	par. 3.2.2
Invoer (niet verplicht):		
MWW.DAT	Alle invoergegevens	par. 3.2.3
MWW.OPT	'Opties'	par. 3.2.4
Uitvoer:		
MWW.INP	Alle interactief ingevoerde gegevens	par. 3.2.4
naam.RES**	Resultaten van berekening voor waterloop	par. 3.3.1
naam.BMP**	Bitmap bestand van grafiek voor WINDOWS	par. 3.3.2

* Naam van bestand met de gegevens over de afvoeren per grondwatertrap
** Opgegeven naam van de waterloop (eerste 6 tekens) waarvoor de berekening wordt uitgevoerd.

3.2 Niet-interactieve invoer

3.2.1 Vegetatieontwikkeling

Het programma heeft gegevens nodig over de obstructie door waterplanten en oevervegetatie. Deze gegevens zijn te verkrijgen uit veldmetingen. Een methode hiervoor is beschreven in kader B van bijlage 2.

Het programma berekent met een zekere stromingsweerstand en de relatieve obstructie de maximale afvoercapaciteit van een waterloop die nog toelaatbaar is. De relatieve obstructie moet in het bestand MWW.VEG staan. Een voorbeeld van zo'n bestand is hieronder weergegeven. Dit bestand bevat gegevens over de totale relatieve obstructie en de verandering in relatieve obstructie per week. Tot de eerste maaibeurt neemt het programma de totale relatieve obstructie uit het bestand, maar na deze beurt berekent het programma de totale relatieve obstructie op basis van de verandering in relatieve obstructie. In dat geval mag de obstructie niet groter worden dan de totale relatieve obstructie zonder maaionderhoud.

Het programma slaat bij het inlezen van de obstructie alle regels over die met een 'C' of 'c' beginnen. Er mogen net zoveel gegevens (records) in dit bestand worden opgenomen als wenselijk is.

Voor de opgegeven dagnummers geldt de vermelde obstructie. Voor de tussenliggende perioden wordt lineair geïnterpoleerd.

Inhoud van bestand MWW.VEG:

```
c          Relatieve obstructie per diepte klasse
c
c       Bestandsnaam                        : mww.veg
c       Datum aanmaak                       : feb 94
c       Datum laatste wijziging             : 23-03-95
c
c       Gegevens: SC-DLO Report 67 (Querner, 1993)
c
c       Klasse   gem. waterdiepte in zomer
c          1  : < 0.40 m
c          2  : 0.4-0.7 m
c          3  : 0.7-1.2 m
c          4  : > 1.2 m  ****  nog geen gegevens   *********
c         Per klasse een curve voor min, gem. en max (zie Report 67)
c
c       Records:  *OBS  - totale relatieve obstructie (geen maaionderhoud)
c                 *RATE - toename in obstructie (/week)
c       Opm:      de *OBS records worden tot eerste maaibeurt gebruikt,
c                 daarna de *RATE records
c       Format: A5,I5,4F10.0
c
c                 Klasse
c     dag nr      1          2          3          4
*OBS    71        0.04       0.03       0.03       0.0     ! min      voorjaar
                  0.11       0.04       0.04       0.0     ! average
                  0.18       0.05       0.05       0.0     ! max
*RATE   71        0.07       0.05      0.035       0.0     ! min      voorjaar
                  0.09       0.07      0.055       0.0     ! average
                  0.10       0.09       0.07       0.0     ! max
*OBS    91        0.04       0.03       0.03       0.0     ! min       1 april
                  0.11       0.04       0.04       0.0     ! average
                  0.18       0.05       0.05       0.0     ! max
*RATE   91        0.07       0.05      0.035       0.0     ! min       1 april
                  0.09       0.07      0.055       0.0     ! average
                  0.10       0.09       0.07       0.0     ! max
*OBS   121        0.11       0.12       0.09       0.0     ! min       1 mei
                  0.23       0.15       0.12       0.0     ! average
                  0.40       0.20       0.17       0.0     ! max
*RATE  121        0.07      0.055      0.035       0.0     ! min       1 mei
                  0.09       0.07      0.055       0.0     ! average
                  0.10      0.085       0.07       0.0     ! max
*OBS   136        0.17       0.20       0.16       0.0     ! min       15 mei
                  0.32       0.25       0.21       0.0     ! average
                  0.56       0.32       0.27       0.0     ! max
*RATE  136        0.06      0.055       0.03       0.0     ! min       15 mei
                  0.08       0.07       0.05       0.0     ! average
                  0.10      0.085       0.07       0.0     ! max

........

*OBS   274        0.42       0.32       0.15       0.0     ! min       1 okt
                  0.62       0.48       0.23       0.0     ! average
                  0.78       0.61       0.30       0.0     ! max
*RATE  274        -.02       0.01      -0.02       0.0     ! min       1 okt
                  0.01       0.03     -0.010       0.0     ! average
                  0.01      0.015      -0.01       0.0     ! max
*OBS   320        0.35       0.28       0.12       0.0     ! min
                  0.58       0.42       0.20       0.0     ! average
                  0.70       0.55       0.27       0.0     ! max
*RATE  320        -.02      -0.02      -0.02       0.0     ! min
                  -.02      -0.02      -0.02       0.0     ! average
                  -.02      -0.02      -0.02       0.0     ! max
```

3.2.2 Specifieke afvoer

Het programma biedt de mogelijkheid om afvoergegevens per grondwatertrap te gebruiken. De bestanden met afvoeren moeten als extensie het nummer van de grondwatertrap hebben. Een voorbeeld van zo'n bestand voor Gt III is hieronder weergegeven. In dit bestand staan de afvoeren die optreden met een verwachte frequentie van één keer per jaar, per 5 jaar en per 10 jaar. De naam van de bestanden met afvoeren is deel van de interactieve invoergegevens.

Inhoud van bestand AFVOER.03:

```
c            Gegevens voor programma MWW
c
c       Bestandsnaam                        : afvoer.03
c       Datum aanmaak                       : feb 94
c       Datum laatste wijziging             : 23-03-95
c
c       Grondwatertrap III  -  SC-DLO Report 67 (Querner, 1993)
c
c       Specifieke afvoer per maand in mm/d  ( 1 mm/d = 0,116 l/sec/ha)
c
c       Opm: De kolom jaar wordt nog niet gebruikt
c
c       Format: I5,5X,3F10.2
c
c  Dag  Jr   1x/jaar   /5 jaar  /10 jaar
c
   15 9999      7.38      7.99      8.16
   45 9999      5.38      7.83      8.37
   74 9999      4.82      6.86      8.23
  105 9999      3.71      5.97      7.54
  135 9999      3.12      6.28      7.65
  166 9999      2.18      4.08      5.19
  196 9999      2.59      5.36      7.28
  227 9999      3.04      5.71      7.79
  258 9999      4.32      8.06      9.02
  288 9999      5.22      8.12      9.24
  319 9999      6.48      8.32      8.75
  350 9999      7.96      9.84     10.43
```

Het programma slaat bij het inlezen van de afvoeren alle regels over die met een 'C' of 'c' beginnen. Er mogen net zoveel gegevens (records) in dit bestand worden opgenomen als wenselijk is. Voor de opgegeven dagnummers geldt de vermelde specifieke afvoer. Voor de tussenliggende perioden wordt lineair geïnterpoleerd.

3.2.3 Interaktieve invoergegevens in bestand MWW.DAT

Als een aantal berekeningen moeten worden uitgevoerd, gebruik dan de mogelijkheid om alle gegevens vanuit een databestand door het programma te laten lezen. Dit bestand moet MWW.DAT heten en het programma vraagt allereerst na het opstarten of het de gegevens uit dit bestand mag lezen. Hieronder staat de inhoud van het bestand MWW.DAT weergegeven voor het

voorbeeld uit deze handleiding. Het bestand is ASCI en kan door elke tekstverwerker worden aangemaakt.

Als de gegevens interactief zijn ingevoerd, worden alle invoergegevens in het bestand MWW.INP opgeslagen. Het bestand MWW.INP kan dan in een volgende berekening gebruikt worden als invoerbestand. Kopieer hiervoor het bestand MWW.INP naar het bestand MWW.DAT.

Inhoud van bestand MWW.DAT:

```
7                          ! Tijdstap                          Bestand : MWW.DAT
AFVOER                     ! bestandsnaam met afvoere          Datum   : feb 94
Lok2      Poelsbeek        ! naam waterloop                    Update  : 22-08-94
1.4                        ! bodembreedte
2.0                        ! taludhelling
0.70                       ! maximum waterdiepte
0.25                       ! gemiddelde waterdiepte in zomer
0.00085                    ! gradient
32.                        ! kM-waarde
2                          ! herhalingsperiode afvoer (2 = 5 jaar)
378.                       ! opp. stroomgebied met Gt III (ha)
280.                       ! opp. stroomgebied met Gt IV  (ha)
148.                       ! opp. stroomgebied met Gt VII (ha)
2                          ! obstructie curve: min., gem. of max. (2 = gem)
1                          ! gehele profiel maaien (tabel 2)
1                          ! bereken (=1) of opgeven (=2) tijdstip onderhoud
j                          ! nog een waterloop ?
Lok4      Poelsbeek        ! naam waterloop
2.2                        ! bodembreedte
2.0                        ! taludhelling
1.0                        ! maximum waterdiepte
0.65                       ! gemiddelde waterdiepte in zomer
0.00035                    ! gradient
32.                        ! kM-waarde
2                          ! herhalingsperiode afvoer (2 = 5 jaar)
756.                       ! opp. stroomgebied met Gt III (ha)
587.                       ! opp. stroomgebied met Gt IV  (ha)
201.                       ! opp. stroomgebied met Gt VII (ha)
3                          ! van obstructie curve min., gem. of max. (3 = max)
2                          ! alleen bodem van profiel maaien (tabel 2)
2                          ! bereken (=1) of opgeven (=2) tijdstip onderhoud
131                        ! tijdstip van onderhoud (dag nr.)
175                        ! tijdstip van onderhoud (dag nr.)
0                          ! tijdstip van onderhoud (einde invoer tijdstippen)
n                          ! andere situatie doorrekenen ? (nee)
```

3.2.4 Bestand met opties (MWW.OPT)

In het programma zijn voor een beperkt aantal gegevens standaardwaarden ingevoerd. Met het bestand MWW.OPT kunt U deze waarden veranderen. In dit bestand staan gegevens over:

- Taal;
- Einde van periode waarin tijdstip van maaionderhoud wordt berekend;
- Grafiek met de afvoer en obstructie op het scherm;
- Opslaan van grafiek ('bitmap');
- Obstructie na maaibeurt.

Inhoud van bestand MWW.OPT (gelijk aan standaard waarden in programma):

```
c     Bestand bevat gegevens die door gebruiker verandert kan worden
c
c        Bestandsnaam                        : mww.opt
c        Datum aanmaak                       : feb 94
c        Datum laatste wijziging             : 05-01-95
c
c-----------------------------------------------------------------------
c                                                              test range
c                                                               min - max
c          Taal:     1 = Nederlands (default)
c                    2 = Engels
c          Parameter:                                ILANG          1     2
    1
c--------------
c          Dagnummers voor periode berekeningen
c          1e - begin berekening                     IDMIN         30   250
c          2e - einde berekening                     IDMAX        150   360
c          3e - stoppen met 'zomer' maaionderh.      IDMAAI       150   300
   90  280  245
c--------------
c          Grafiek van resultaten op scherm:
c                    0 = niet en 1 = wel
c          Parameter:                                IPLSCR         0     1
    1
c--------------
c          Bewaar grafiek als 'bitmap' voor Windows
c            n.b.: grafische weergave grafiek moet aan staan (IPLSCR=1)
c                  IPBIT=0 - geen bitmap save (grafiek op scherm in kleur)
c                       =1 - wel een bitmap save (lijnen grafiek zwart,
c                              i.v.m. bitmap save)
c                       =2 - wel een bitmap save (lijnen grafiek in kleur)
c
c          Parameter:                                IPBIT          0     2
    1
c--------------
c          Snelheid waarmee het scherm doorloopt, als invoer uit bestand
c           MWW.DAT gelezen wordt
c           suggestie: voor 386 = 1-2 , 486 = 5-7 en VAX = 7-9
c          Parameter:                                ISCRM          1     9
    7
c--------------
c          Obstructie na maaibeurt
c            Optie
c              1 - gehele profiel                    RGK_1        0.01  0.30
c              2 - alleen de bodem                   RGK_2        0.20  0.60
c              3 - bodem en een talud                RGK_3        0.30  0.90
 0.10 0.45 0.65
c--------------
c
```

De gegevens die in het bestand staan, worden gecontroleerd op een minimale en maximale waarde, zoals in het bestand is aangegeven. Als de waarde buiten de range is, dan geeft het programma een foutmelding en stopt.

3.3 Beschrijving van de uitvoer

3.3.1 Uitvoer in ASCI bestand

Als het programma voor een waterloop het onderhoud uitrekent, worden een beperkt aantal gegevens op het scherm weergegeven: de berekende afvoeren en de relatieve obstructie. Alle resultaten worden in een bestand opgeslagen

Inhoud van bestand LOK2.RES:

DLO-Staring Centrum
Postbus 125
6700 AC Wageningen

Programma MWW
(Versie: 2.1)

Maaionderhoud waterlopen

Waterloop : Lok2 Poelsbeek

Gegevens over afvoer, vegetatieontwikkeling en tijdstippen van het maaionderhoud

Dag	Afvoer Verwachte	Afvoer Toelaatbare	Factor Qv/Qt (-)	Vegetatie-ontwikkeling (-)	
90	0.40	0.97	0.41	0.11	
97	0.39	0.95	0.41	0.13	
104	0.37	0.93	0.40	0.16	
111	0.37	0.91	0.41	0.19	
118	0.37	0.89	0.42	0.22	
125	0.38	0.80	0.47	0.25	
132	0.38	0.76	0.50	0.30	
139	0.37	0.71	0.52	0.34	
146	0.34	0.65	0.52	0.38	
153	0.31	0.60	0.52	0.42	
160	0.28	0.56	0.50	0.45	
167	0.26	0.52	0.50	0.49	
174	0.27	0.49	0.56	0.52	
181	0.28	0.45	0.63	0.55	
188	0.29	0.43	0.68	0.56	
195	0.31	0.42	0.73	0.58	
202	0.31	0.40	0.78	0.59	
209	0.32	0.39	0.82	0.60	
216	0.33	0.38	0.87	0.61	
223	0.33	0.37	0.90	0.62	
230	0.35	0.36	0.98	0.63	Maaionderh.
237	0.39	0.95	0.41	0.13	
244	0.43	0.93	0.47	0.16	
251	0.47	0.91	0.52	0.19	
258	0.51	0.90	0.57	0.21	
265	0.51	0.83	0.61	0.23	
272	0.50	0.82	0.61	0.24	
279	0.50	0.81	0.61	0.24	

met de naam van de waterloop (eerste 6 tekens maximaal en de extensie van dit bestand is .RES). Voor de berekening van de eerste waterloop in het voorbeeld (par. 3.4) is hieronder het bestand weergegeven. De naam van dit bestand bestaat uit de eerste zes tekens van de opgegeven naam van de waterloop. Voor de toepassing uit deze handleiding zijn het de bestanden LOK2.RES en LOK4.RES. Hieronder is de inhoud van het bestand LOK2.RES weergegeven. Het programma berekent alle gegevens vanaf dag nr. 90 met een gekozen tijdstap van 7 dagen.

3.3.2 Grafische uitvoer

Van elke berekening worden de afvoeren en obstructies in een grafiek weergegeven op het scherm (EGA, VGA en SVGA kleurenscherm). De berekening voor lokatie 2 is weergegeven in figuur 1. De afvoeren gedurende de zomerperiode staan in het bovenste deel van figuur 1. Weergegeven is de afvoer die verwacht kan worden en het toelaatbare debiet (capaciteit waterloop). De obstructie staat weergegeven in het onderste deel van figuur 1. Deze figuur kan door het programma opgeslagen worden als 'bitmap'. Zo'n bitmap bestand is weer in te lezen in een tekenpakket (bijv. Paintbrush van Windows) en verder te verwerken.

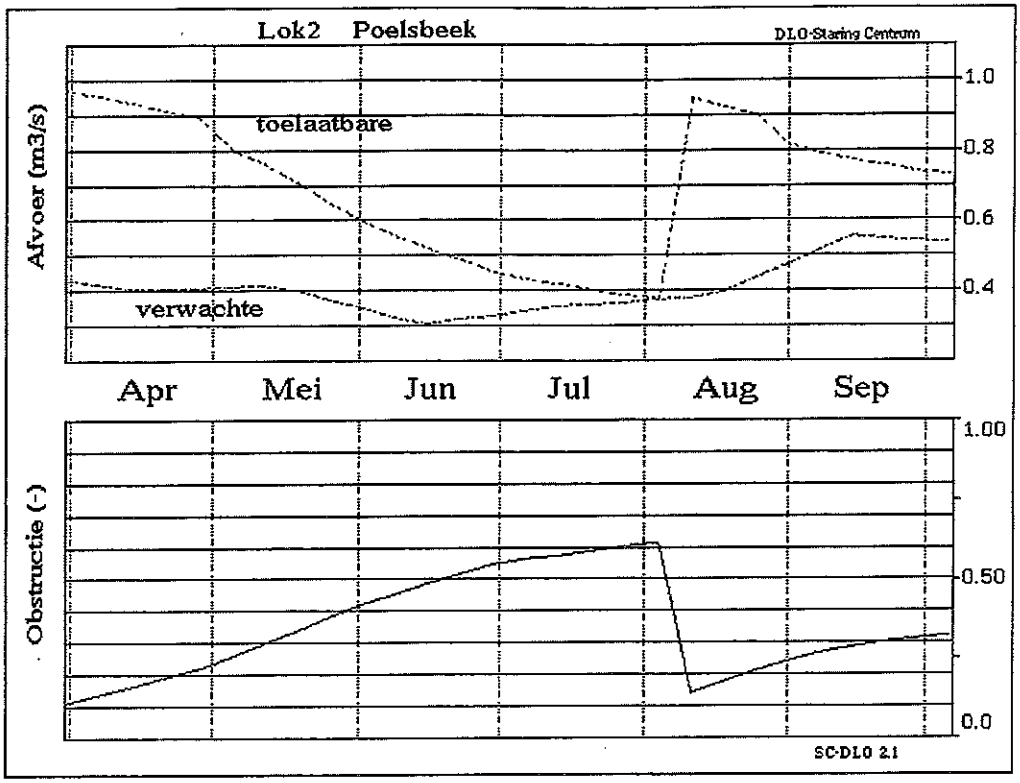


Fig. 1 Berekende afvoeren en obstructies voor lokatie 2 (weergave van het grafische scherm). In de loop van augustus geeft het programma aan dat er onderhoud nodig is

3.4 Voorbeeld van gebruik MWW

Voor twee waterlopen in het stroomgebied van de Poelsbeek (fig. 2 van bijlage 1) zijn de berekeningen uitgevoerd. Voor lokatie 2 is het benodigde maaionderhoud berekend. Voor lokatie 4 zijn twee tijdstippen van maaionderhoud opgegeven. De hydraulische gegevens voor deze lokaties staan in tabel 2 van bijlage 1, met daarbij de oppervlakten van de af-

wateringsgebieden uitgesplitst naar drie grondwatertrappen (III, IV en VII). De oppervlakten met Gt's V en VI zijn toegerekend aan Gt IV.

Hieronder is de tekst afgebeeld met de vragen die het programma stelt en de antwoorden die als voorbeeld zijn ingevoerd. Als door de gebruiker de gegevens interactief worden ingevoerd, slaat het programma deze gegevens op in het bestand MWW.INP. Dit bestand kan weer als een invoerbestand van het programma worden gebruikt. Het programma biedt namelijk de mogelijkheid om de gegevens direct te lezen uit een bestand. De naam van dit bestand is MWW.DAT.

In het voorbeeld zijn alle gegevens interactief ingevoerd, maar in paragraaf 3.2.3 vindt u een voorbeeld van het invoerbestand MWW.DAT.

Schermweergave bij runnen van programma:

```
c:\MWW\MWW

                                                    DLO-Staring Centrum
                                                    Postbus 125
                                                    6700 AC Wageningen

                Programma MWW
                (Versie: 2.1)

  Programma berekent tijdstippen van maaionderhoud
    Ontwikkeld door SC-DLO te Wageningen

 Invoergegevens in bestand MWW.DAT ( j/n )          :  n
 Tijdstap voor berekening, bijv 3-7 dagen           :  7
 Naam van bestanden met afvoergegevens per Gt
 De extensie van bestand is het Gt nummer
 Geef naam zonder extensie (zoals AFVOER)           :  AFVOER

 Geef naam van de waterloop                         :  Lok2  Poelsbeek

   ***  Invoergegevens van waterloop  ***

 Bodembreedte  (m)                                  :  1.4
 Helling van taluds (1:...)                         :  2.0
 Maximale waterdiepte (bij hoogwaterniveau)  (m)    :  0.70
 Gem. waterdiepte in zomer (voor groeicurve veg.)   :  0.25
 Maximaal verhang  (-)                              :  0.00085
 kM voor open water gedeelte (range 30-35)          :  32.
 Welke herhalingstijd nemen voor de afvoer
 kode : 1=1x/jaar, 2=1x/5 jaar, 3= 1x/10 jaar       :  2

  ***  Invoergegevens stroomgebied  ***

 Oppervlakte voor Gt III   in hectare               :  378.
 Oppervlakte voor Gt IV    in hectare               :  280.
 Oppervlakte voor Gt VII   in hectare               :  148.

  ***  Invoergegevens vegetatie en onderhoud  ***

 Geef voor groeicurve 1 (waterdiepte < 0.4 m)
 de kode voor min (=1), gem (=2), max (=3)          :  2
 Mogelijkheden van maaionderhoud:
    1 = gehele profiel
    2 = alleen de bodem
    3 = bodem en een talud    - geef 1, 2 of 3      :  1
```

Vervolg Schermweergave bij runnen van programma: c:\MWW\MWW

```
Tijdstippen van onderhoud
   1 = bereken tijdstippen van onderhoud
   2 = geef tijdstippen van onderhoud op
                                   geef 1 of 2        :  1

Waterloop :  Lok2     Poelsbeek

Gegevens over afvoer, vegetatieontwikkeling en tijdstippen van het
maaionderhoud
```

Dag	Afvoer Verwachte	Afvoer Toelaatbare	Factor Qv/Qt (-)	Vegetatie-ontwikkeling (-)	
90	0.40	0.97	0.41	0.11	
118	0.37	0.89	0.42	0.22	
153	0.31	0.60	0.52	0.42	
181	0.28	0.45	0.63	0.55	
216	0.33	0.38	0.87	0.61	
230	0.35	0.36	0.98	0.63	Maaionderh.
244	0.43	0.93	0.47	0.16	
272	0.50	0.82	0.61	0.24	

```
Aantal keren maaionderhoud is :  1

Overzicht van resultaten zie bestand :  LOK2.RES

Nog een andere situatie doorrekenen ? (j/n)          :  j

Geef naam van de waterloop                           :  Lok4   Poelsbeek

  ***  Invoergegevens van waterloop  ***

Bodembreedte  (m)                                    :  2.2
Helling van taluds (1:...)                           :  2.0
Maximale waterdiepte (bij hoogwaterniveau)  (m)      :  1.0
Gem. waterdiepte in zomer (voor groeicurve veg.)     :  0.65
Maximaal verhang  (-)                                :  0.00035
kM voor open water gedeelte (range 30-35)            :  32.
Welke herhalingstijd nemen voor de afvoer
kode : 1=1x/jaar, 2=1x/5 jaar, 3= 1x/10 jaar         :  2

 ***  Invoergegevens stroomgebied  ***

Oppervlakte voor Gt III   in hectare                 :  756.
Oppervlakte voor Gt IV    in hectare                 :  587.
Oppervlakte voor Gt VII   in hectare                 :  201.

 ***  Invoergegevens vegetatie en onderhoud  ***

Geef voor groeicurve 2 (waterdiepte 0.4-0.7 m)
de kode voor min (=1), gem (=2), max (=3)            :  3
Mogelijkheden van maaionderhoud:
   1 = gehele profiel
   2 = alleen de bodem
   3 = bodem en een talud     - geef 1, 2 of 3       :  2

Tijdstippen van onderhoud
   1 = bereken tijdstippen van onderhoud
   2 = geef tijdstippen van onderhoud op
                                   geef 1 of 2        :  2
```

Vervolg Schermweergave bij runnen van programma: c:\MWW\MWW

```
Geef tijdstip van onderhoud (dag nr.)
  ( 0 betekent geen invoergeg. meer )          :  175
Geef tijdstip van onderhoud (dag nr.)
  ( 0 betekent geen invoergeg. meer )          :  131
Geef tijdstip van onderhoud (dag nr.)
  ( 0 betekent geen invoergeg. meer )          :  0

Waterloop :  Lok4     Poelsbeek

Gegevens over afvoer, vegetatieontwikkeling en tijdstippen van het
maaionderhoud
```

Dag	Afvoer Verwachte	Afvoer Toelaatbare	Factor Qv/Qt (-)	Vegetatie-ontwikkeling (-)
90	0.81	1.79	0.45	0.05
118	0.76	1.62	0.47	0.19
132	0.77	1.36	0.56	0.29
				Opgegeven maaionderh.
153	0.62	1.12	0.56	0.39
174	0.54	0.72	0.75	0.58
				Opgegeven maaionderh.
181	0.57	1.17	0.48	0.37
216	0.65	0.71	0.92	0.59
244	0.87	0.50	1.76	0.71
272	1.01	0.37	1.55	0.62

```
Aantal keren maaionderhoud is :  2

Overzicht van resultaten zie bestand :  LOK4.RES

Nog een andere situatie doorrekenen ? (j/n)                :  n

Einde programma MWW
```

4 Installatie

Voer de volgende handelingen uit om het programma van de diskette naar de harde schijf van uw PC te kopiëren:

Creëer subdirectory:	**mkdir mww**
Kopiëren:	**copy a:*.* c:\mww*.*/v**

In totaal worden 13 bestanden gekopieerd. In paragraaf 3.1 staan de in- en uitvoerbestanden beschreven. Daarnaast zijn er nog 7 bestanden, te weten:

readme.nl	algemene informatie over het programma MWW
change.nl	bestand om wijzigingsvoorstellen door te geven
order.nl	bestand om software bij DLO-Staring Centrum te bestellen
mww.exe	het computerprogramma MWW
dosxmsf.exe	programma nodig voor mww.exe om toegevoegd geheugen te kunnen gebruiken
univesa.exe	programma om voor een super vga scherm de grafische weergave mogelijk te maken (draai dit programma - voor het opstarten van mww - als u over een SVGA scherm beschikt; het programma loopt anders vast bij het overschakelen naar het grafische scherm)
tmsrb.fon	bestand nodig om grafische text op scherm uit te voeren

Het programma MWW draait onder het DOS besturingssysteem, met een EGA, VGA of SVGA scherm.

Literatuur

Querner, E.P., 1993. *Aquatic weed control within an integrated water management framework.* Dissertatie, Landbouwuniversiteit Wageningen. DLO-Staring Centrum. Report 67. 203 p.

Querner, E.P., 1995a. *Vaststellen maaionderhoud in waterlopen; hydrologische benadering.* Het Waterschap 80(4):170-175.

Querner, E.P., 1995b. *De stromingsweerstand en de berekening van de afvoer in begroeide waterlopen.* Het Waterschap (in voorbereiding).

Aanhangsels

Aanhangsel 1

Hydrologische benadering

Vaststellen maaionderhoud in waterlopen

*door dr. E.P. Querner**

Jaarlijks schonen de waterschappen in Nederland de waterlopen een aantal keren. Dit 'klein' onderhoud is nodig om de watertransportfunctie van de waterlopen gedurende het groeiseizoen te waarborgen. Het heeft zodoende invloed op de waterstanden in de waterlopen en op de grondwaterstanden. Daarnaast zijn er ook ecologische gevolgen.
Het benodigde maaionderhoud in waterlopen kan vanuit hydrologisch oogpunt worden berekend, dan wel geëvalueerd. De belangrijkste aspecten die hierbij een rol spelen zijn: de verwachte afvoer, de dimensies van de waterloop, de drooglegging, de stromingsweerstand en de groei van water- en oevervegetatie. Voor de praktijk kan bij het berekenen van de afvoer alleen het open gedeelte van het dwarsprofiel worden gebruikt. De afvoer door het begroeide deel is zo gering, vergeleken met het open-waterdeel, dat het te verwaarlozen is. In een proefgebied in Twente is de vegetatieontwikkeling gemeten.
Voor het berekenen van het tijdstip en de frequentie van onderhoud zijn de verwachte afvoeren berekend met behulp van een eendimensionaal grondwatermodel van de onverzadigde zone. Als de verwachte afvoer groter is dan het toelaatbare debiet, is onderhoud nodig. Het onderhoud is berekend voor twee waterlopen door gebruik te maken van de berekende afvoeren voor drie grondwatertrappen (Gt III, IV en VII).
De methode uit dit verhaal biedt de waterschappen de mogelijkheid om het maaibeheer te verantwoorden of, in sommige gevallen, te verminderen. Als er waterhuishoudkundige maatregelen in een gebied worden doorgevoerd, is het mogelijk om het effect van deze veranderingen voor het maaibeheer vast te stellen.

Onderhoud van waterlopen is noodzakelijk om geschikte hydrologische omstandigheden te creëren voor het omliggende grondgebruik. Om een minimale transportcapaciteit van de waterlopen te garanderen wordt gedurende het groeiseizoen enkele malen onderhoud uitgevoerd. De frequentie van onderhoud, veelal tussen de 2 en 4 keer per jaar (Loorij, 1989), is gebaseerd op praktijkervaring van de waterschappen.
Uitgangspunt voor het uitvoeren van onderhoud is dat de waterlopen te allen tijde moeten voldoen aan de gestelde eisen voor wateraan- en afvoer (Siefers, 1985; De Jager, 1986). Het maaionderhoud werd meestal uitgevoerd volgens een strakke tijdplanning, die in de loop der jaren enigszins is aangepast op basis van ervaringen in de praktijk. De frequentie van maaionderhoud was zodanig, dat de schade voor de landbouw tot een minimum werd beperkt.
Tegenwoordig wordt steeds meer rekening gehouden met ecologische aspecten (Zonderwijk 1986; Van Strien, 1991; Ter Stege en Pot, 1991). Ook spelen andere belangen een rol, zoals: natuur, landschap, recreatie en visserij. Veelal zijn de belangen tegenstrijdig als het gaat om het tijdstip en de frequentie van het maaionderhoud. Een afweging van mogelijke alternatieven is dan noodzakelijk om een evenwicht (compromis) te vinden tussen de verschillende belangen. Een methode om het benodigde maaionderhoud te bepalen is daarbij een noodzakelijk hulpmiddel. De complexiteit van de hydrologische processen met daarbij grote onzekerheden over de optredende stromingsweerstand en de groei van waterplanten, maakte het in het verleden ondoenlijk om de frequentie van het maaionderhoud te bepalen op basis van karakteristieken van een gebied.

Maaionderhoud is nodig als de waterplanten en oevervegetatie de doorstroming zodanig belemmeren dat waterpeilen en grondwaterstanden te hoog worden en te veel schade veroorzaken. Voor beslissingen over het maaionderhoud van een waterloop is informatie nodig over de kans op een zekere afvoer en de afvoercapaciteit van de waterloop. Om het maaionderhoud te onderbouwen is een model ontwikkeld waarmee voor het gehele groeiseizoen de noodzaak van maaionderhoud kan worden bepaald. De methode om de tijdstippen en dus ook de frequentie van maaionderhoud te bepalen, wordt aan de hand van een voorbeeld nader toegelicht.

In dit artikel wordt een methode uitgewerkt om op basis van zowel hydrologische als hydraulische omstandigheden de tijdstippen van onderhoud te berekenen. Daarbij wordt rekening gehouden met de groei van waterplanten. Geen rekening is gehouden met de beperkingen die eventueel het onderhoudsmaterieel met zich meebrengt. In de praktijk staat het tijdstip van onderhoud soms vast, doordat niet meer vegetatie in één keer verwerkt kan worden.
De stromingsweerstand en de obstructie ten gevolge van waterplanten worden beschreven in Querner (1994).

Processen en factoren

De frequentie van onderhoud hangt af van een groot aantal factoren. De belangrijkste zijn:

* *De auteur is werkzaam bij DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied.*

a) hydrologie (afvoer);
b) groei van waterplanten (obstructie en stromingsweerstand);
c) afmeting waterloop (maximaal debiet);
d) aanliggend grondgebruik (hoogste grondwater- en oppervlaktewaterstanden).

Er bestaat een duidelijk verband tussen een aantal hierboven genoemde factoren, zoals de groei van waterplanten en het aanliggend grondgebruik i.v.m. de bemesting van het land en het uitspoelen hierdoor van voedingsstoffen naar de waterlopen.
De twee belangrijkste factoren die het maaionderhoud bepalen zijn de hydrologische omstandigheden en de groei van waterplanten. De hydrologische omstandigheden worden gekenmerkt door het afvoerverloop over het groeiseizoen. De groei van waterplanten geeft in een waterloop een zekere mate van obstructie ofwel een verkleining van het doorstroomprofiel (zie Querner, 1994). Dit heeft tot gevolg dat de afvoercapaciteit van een waterloop vermindert.

Specifieke afvoer
De afvoer in een waterloop is primair afhankelijk van de hoeveelheid neerslag. Hoeveel neerslag er heel snel in de waterloop komt hangt af van de oppervlakkige afstroming, de bergingscapaciteit van de grond en de drainage. De optredende afvoer, ofwel de kans op een zekere afvoer, zal over het groeiseizoen niet gelijk zijn. Immers in het voorjaar zijn de grondwaterstanden nog hoog en is er een geringe bergingscapaciteit aanwezig. In de zomer zijn de grondwaterstanden veel lager en zal er van de gevallen neerslag een kleinere hoeveelheid direct tot afvoer komen. De specifieke afvoer q_p voor de zomerperiode kan uit langjarige veldmetingen, indien beschikbaar, worden afgeleid. Een andere mogelijkheid is om deze afvoer te berekenen met een hydrologisch model. Met een eendimensionaal grondwatermodel kunnen afvoeren berekend worden. Door een lange periode, van ten minste 10 jaar, door te rekenen is het mogelijk om met de berekende afvoeren voor de zomerperiode, de specifieke afvoer te herleiden die een herhalingstijd heeft van bijv. 1, 5 en 10 jaar. Bij zo'n modelmatige aanpak zijn gegevens nodig, zoals de kwel/wegzijging, de drainagekarakteristieken, de bodemsoort en het grondgebruik. Onder de drainagekarakteristieken worden verstaan de dichtheid en het niveau van de ontwateringsmiddelen. De kwel/wegzijging en de drainagekarakteristieken zijn in het algemeen gecorreleerd met de grondwatertrap. Het verband tussen deze factoren en de grondwatertrap is redelijk bekend (Haaijer, 1984; Werkgroep Waterbeheer Noord-Brabant, 1990; Querner, 1993b). Het grondgebruik en de bodemsoort zijn locatiegebonden en dienen als randvoorwaarden te worden meegenomen in de berekeningen.

Siefers (1985) geeft een eerste eenvoudige methode die de frequentie van het maaionderhoud voor het groeiseizoen berekent. Bij die methode is het hydrologisch systeem sterk vereenvoudigd. Kanters (1990) beschrijft een procedure voor het bepalen van het tijdstip van groot onderhoud. Hierbij is de verkleining van het dwarsprofiel (verondieping) uit veldmetingen berekend. Voor een gewenste afvoercapaciteit is een minimum natte oppervlakte nodig. Er moet wel een maximaal toelaatbaar verhang bekend zijn of worden aangenomen.

Berekeningsmethode

Onderhoud is nodig als de maximale afvoercapaciteit van een waterloop onvoldoende is om de verwachte afvoer te verwerken. Ofwel maaionderhoud is nodig als:

$$Q_m^t < Q_p^t \qquad (1)$$

waarin:
Q_m = maximale afvoercapaciteit waterloop ($m^3 \cdot s^{-1}$)
Q_p = verwachte afvoer ($m^3 \cdot s^{-1}$)

De berekening van deze beide grootheden wordt hierna besproken.
De maximale afvoercapaciteit van een waterloop kan met de formule van Manning worden berekend. Voor het onbegroeide gedeelte van het dwarsprofiel is de maximale afvoercapaciteit (Querner, 1994: vergelijking 3 en 4):

$$Q_m^t = A\, W_o^t\, k_m^o\, R_o^{2/3}\, S_m^{1/2} \qquad (2)$$

waarin:
Q_m = maximale afvoercapaciteit waterloop ($m^3 \cdot s^{-1}$)
A = oppervlakte van het dwarsprofiel voor het hoogwaterniveau (m^2)
W_o = relatieve obstructie (-)
k_m^o = stromingsweerstand voor het open-watergedeelte ($m^{1/3} \cdot s^{-1}$)
R_o = hydraulische straal voor het open-watergedeelte (m)
S_m = maximaal verhang bij hoogwaterniveau (-)

De maximale capaciteit zal gedurende de zomerperiode veranderen door de groei van waterplanten en oevervegetatie. Het oppervlak A is in deze berekening het hoogste waterpeil dat nog acceptabel is voor het aanliggende bodemgebruik en niet te veel schade veroorzaakt. In verge-

lijking (2) is aangenomen dat het hoogwaterniveau en het maximale verhang constant blijven, maar ook is het mogelijk om deze twee parameters over het groeiseizoen te variëren.

De verwachte afvoer voor een waterloop kan worden berekend volgens:

$$Q_p^t = 10\, q_p^t\, F_c\, A_c + Q_l \qquad (3)$$

waarin:

Q_p = verwachte afvoer met herhalingstijd p ($m^3 \cdot s^{-1}$)

q_p = specifieke afvoer voor een herhalingstijd p (factor 10 is nodig voor de conversie van de gebruikte dimensies van de grootheden) ($l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$)

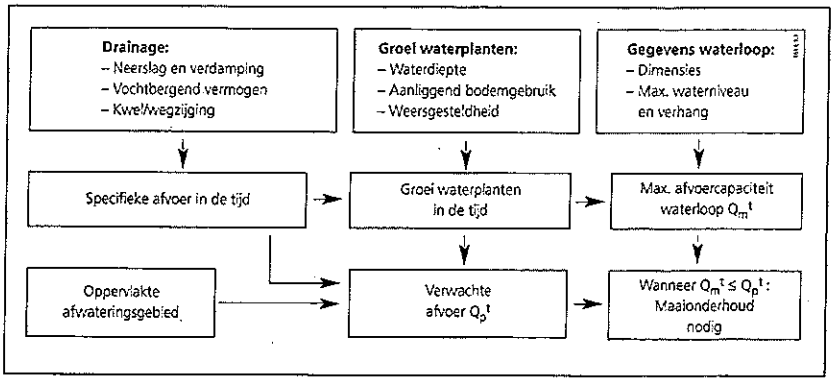
F_c = reductiefactor voor grote stroomgebieden (-)

A_c = oppervlakte van afwateringsgebied (m^2)

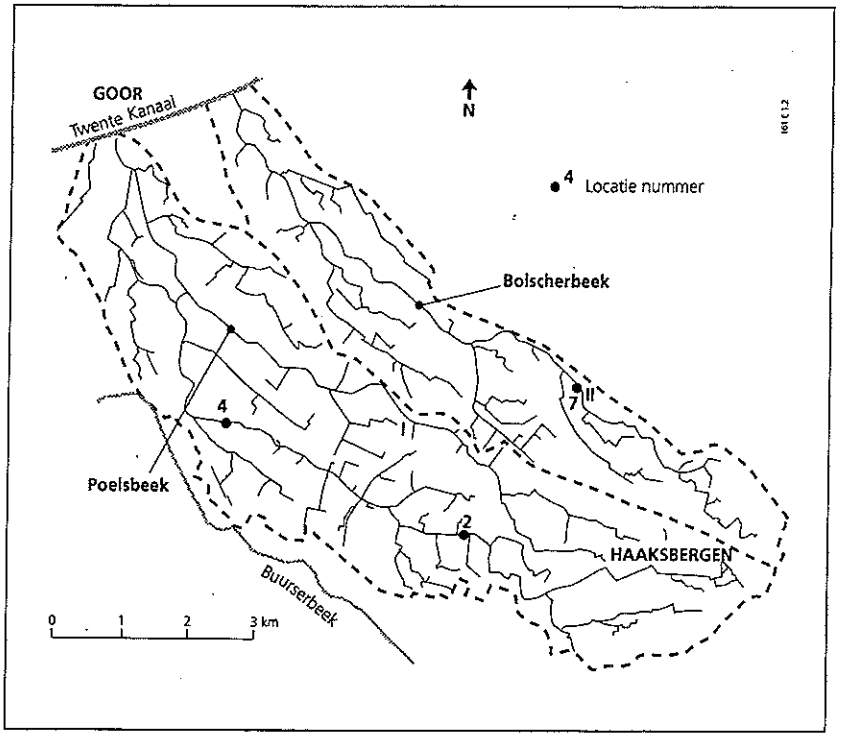
Q_l = incidentele of continue lozingen, zoals rioolwater van zuiveringsinstallaties of overstorten uit rioleringsstelsels ($m^3 \cdot s^{-1}$)

Bij grotere afwateringsgebieden is het waarschijnlijk dat de neerslag niet gelijkmatig over het gehele gebied verdeeld is. Met behulp van een reductiefactor F_c wordt in de praktijk de specifieke afvoer voor grotere gebieden soms aangepast (vergelijking 3).

Onderhoud is nodig als de verwachte afvoer (vergelijking 3) groter is dan de maximale afvoercapaciteit (vergelijking 2). Deze afweging is nodig gedurende het gehele groeiseizoen. De berekeningsprocedure is weergegeven in figuur 1. De hydrologische aspecten worden hierna verder uitgewerkt.



Figuur 1. Methode om het benodigde maaionderhoud gedurende het groeiseizoen te berekenen

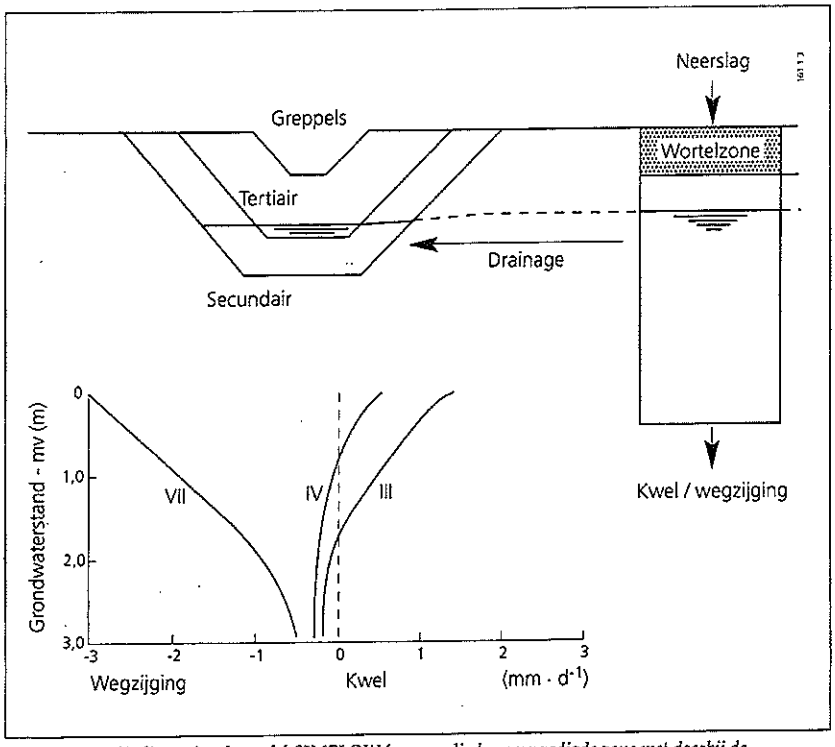


Figuur 2. Het stroomgebied van de Poelsbeek met aangegeven de locaties van twee waterlopen waarvoor de tijdstippen van maaionderhoud zijn bepaald

De Poelsbeek als voorbeeld

Voor twee waterlopen in het stroomgebied van de Poelsbeek is het gewenste maaionderhoud bepaald (fig. 2). In dit stroomgebied is de vegetatieontwikkeling over twee groeiseizoenen gemeten (zie Querner, 1994).
De Poelsbeek ontspringt nabij Haaksbergen (Ov.) en stroomt in noordwestelijke richting om uiteindelijk af te wateren op het Twentekanaal nabij Goor. Het stroomgebied van de Poelsbeek is 4300 ha groot. De meest voorkomende bodemeenheden zijn veldpodzolgronden, beekeerdgronden en enkeerdgronden. Het gebied is licht hellend (van 30 m +NAP in het zuidoosten tot 12 m +NAP in het noordwesten). Het bodemgebruik is voornamelijk grasland, maïs, bos en stedelijk gebied.

Berekening verwachte afvoer
Het berekenen van de afvoer in de tijd en de verwachte kans van optreden van een bepaalde afvoer is uitgevoerd met behulp van een ééndimensionaal grondwatermodel. In figuur 3 is de schematisering van dit model weergegeven, met daarin de onverzadigde zone en de ontwateringssystemen als belangrijkste componenten. Het model veronderstelt een opdeling van de bodem in wortelzone en ondergrond, rekent pseudo-stationair en met een tijdstap van 1 dag (Querner, 1993a). De gegevens voor de berekening zijn samengevat in tabel 1. Een oppervlakkige afstroming van 2% van de neerslag is in deze berekeningen aangenomen. Het



Figuur 3. Het ééndimensionale model SIMFLOW (onverzadigde en verzadigde zone met daarbij de ontwateringssystemen) waarmee afvoeren zijn berekend over de periode 1951 t/m 1990 (Querner, 1993b)

grondgebruik is gras (66%), maïs (22%) en loofhout (12%). Met het model zijn voor de periode 1951 t/m 1990 de dagelijkse afvoeren uitgerekend voor Gt's III, IV en VII. De dagelijkse afvoeren zijn per maand van het jaar gegroepeerd om hiermee de verwachte kans op een zekere afvoer te bepalen. In figuur 4 is de specifieke afvoer weergegeven voor een herhalingstijd van 1 en 5 jaar.
Opmerkelijk is de extreme variatie in afvoer gedurende de zomer voor Gt III en IV, maar bij Gt VII is de afvoer zeer gering en vrij constant. In juni is voor Gt III de specifieke afvoer vier keer zo laag als in december (fig. 4A). Deze lagere specifieke afvoer in de zomerperiode biedt de mogelijkheid om een hoeveelheid planten in en langs de sloot te laten staan. Immers de waterlopen zijn gedimensioneerd op de afvoer in de winter.

Berekening afvoercapaciteit waterloop
Waterlopen worden gedimensioneerd voor een debiet dat één keer per jaar gedurende één tot twee dagen optreedt (Werkgroep Afvoerberekeningen, 1979). Bij deze afvoer mag de hoogwaterlijn niet worden overschreden. Voor het onderhoud zal deze frequentie van één keer per jaar in veel gevallen te hoog zijn en te veel schade veroorzaken. Het economische belang van het aanliggend bodemgebruik zal bepalend zijn voor het vaststellen van de hoogwaterlijn. Een overschrijdingskans van 5 jaar is in dit voorbeeld gebruikt. Dit houdt in dat 1 keer per 5 jaar de afvoer meer kan zijn dan toelaatbaar wordt geacht. De hoogwaterlijn wordt dan overschreden en door hoge waterstanden en/of hoge grondwaterstanden treedt er eventueel schade op.

Vaststellen benodigde maaionderhoud
Aan de hand van het schema uit figuur 1 is het nu mogelijk om de tijdstippen van onderhoud te berekenen. Hiervoor zijn naast de informatie over de stromingsweerstand, de vegetatieontwikkeling (zie Querner, 1994) en het afvoerverloop, ook hydraulische gegevens van een waterloop nodig. Hierbij gaat het om de afmetingen en het verhang van de waterloop waarvoor het onderhoud moet worden berekend.

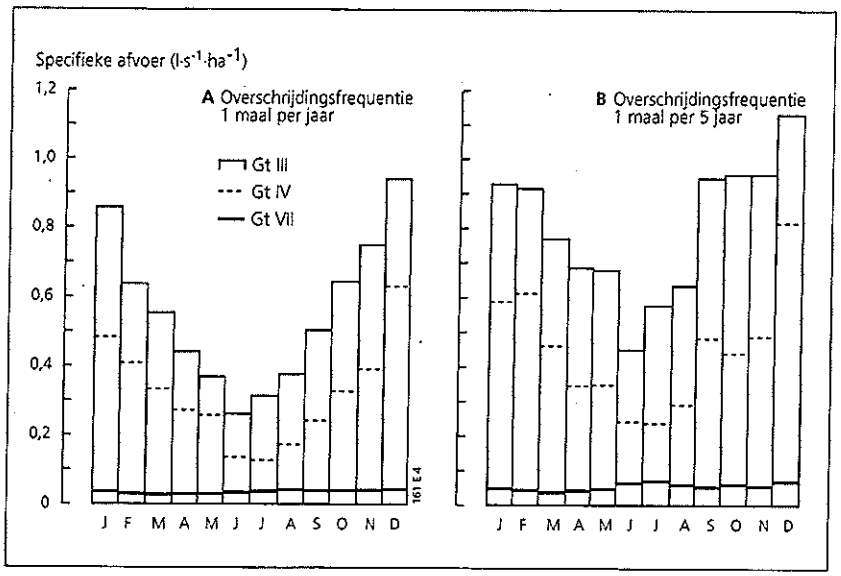
Voor twee waterlopen in het stroomgebied van de Poelsbeek (zie fig. 2) zijn de tijdstippen van het maaionderhoud berekend. Hydraulische gegevens voor deze locaties staan in tabel 2, met daarbij de oppervlakten van de afwateringsgebieden uitgesplitst naar drie grondwatertrappen (III, IV en VII) en het verharde oppervlak van de stad Haaksbergen. De oppervlakten met Gt's V en VI zijn bij die van Gt IV gevoegd. Voor de rioolverstorten van Haaksbergen is een piekafvoer van 10 $mm \cdot d^{-1}$ (1,15 $l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$) aangenomen, die gelijktijdig optreedt met de piekafvoer van het grondwater.

In tabel 3 zijn de berekende tijdstippen van maaionderhoud aangegeven. Voor locatie 2 en 4 geven de kruisjes de perioden aan dat er geschoond moet worden. Bovendien is er voor de winter ook een schoningsbeurt nodig. De getallen 0,49 en 0,76 voor locatie 2 op de maandovergangen geven weer de verhouding - wat *moet* er, tot wat *kan* er door de waterloop (Q_p/Q_m). Eind juli was voor locatie 2 deze verhouding groter dan 1,0 en moet er dus geschoond worden (tabel 3). Voor locatie 4 is de gewenste schoning al eind juni. Dit komt doordat voor deze waterloop een veel flauwer verhang maximaal toelaatbaar is (zie tabel 2).

Deze resultaten geven aan dat er echt niet zo veel onderhoud nodig is. Het benodigde maaionderhoud hangt in grote mate af van de ontwerpnorm waarop de waterloop is gedimensioneerd. Is er sprake van een zekere overdimensionering, dan zal het aantal maaibeurten veel

Tabel 1. Gegevens van landbouwkundige gebieden gebruikt voor het eendimensionale onverzadigde-zonemodel SIMFLOW (Werkgroep Waterbeheer Noord-Brabant, 1990)

Gt	Grond-soort	Diepte waterlopen (m)		Waterspiegel (m-mv)		Drainageweerstand (d)	
		Sec.	Tert.	Winter	Zomer	Sec.	Tert.
III	Beekeerd	1,2	0,6	1,0	0,9	500	100
IV	Veldpodzol	1,4	0,8	1,2	1,0	750	200
VII	Enkeerd	-	1,2	-	-	-	3000



Figuur 4. Berekende specifieke afvoer over het jaar met behulp van het model SIMFLOW en door gebruik te maken van 40 jaar weersgegevens (Querner, 1993a)
A Overschrijdingsfrequentie 1 jaar
B Overschrijdingsfrequentie 5 jaar

minder zijn, dan in situaties waarbij er geen sprake is van overdimensionering.

Conclusies en aanbevelingen

Er is nu een model beschikbaar dat de waterschappen kunnen gebruiken om het benodigde maaionderhoud te berekenen, danwel het huidige onderhoud te verantwoorden. Door berekeningen uit te voeren met dit model, kan bekeken worden welke factoren een grote invloed hebben op het onderhoud van een bepaalde waterloop. Een modelmatige aanpak biedt de mogelijkheid om te kijken of het tijdstip van onderhoud verschoven kan worden om met andere belangen rekening te houden, zoals ecologische aspecten of het onderhoudsmaterieel. Ook de wens om oevers een natuurvriendelijk aanzien te geven door het gehele profiel niet te maaien, kan met dit model worden geëvalueerd. Bij overdimensionering neemt ook de noodzaak om te maaien af. Het afwegen welke overdimensionering het beste rendement oplevert, voor het maaionderhoud, kan met deze aanpak worden geanalyseerd.
Momenteel wordt het maaionderhoud nog vaak gebaseerd op praktijkervaringen en wordt nog te weinig gebruik gemaakt van lokale hydraulische en hydrologische omstandigheden om het gevoerde maaibeheer te onderbouwen.

Voor het toepassen van het model is het nodig om te beschikken over afvoergegevens gedurende de zomerperiode. Als deze gegevens niet beschikbaar zijn uit veldmetingen, dan is het mogelijk om deze gegevens met een grondwatermodel te berekenen. Afvoeren worden in grote mate bepaald door de hydrologische situatie zoals ondiepe of diepe grondwaterstanden en kwel of wegzijging. De classificatie in grondwatertrappen (De Vries en Van Wallenburg, 1990) geeft in grote mate al een indeling waarvoor afvoerregimes bepaald kunnen worden. Hoe groot de variatie is in de afvoer binnen het traject van één grondwatertrap, zal moeten worden vastgesteld.

Het verdient aanbeveling om voor de karakteristieke bodemsoorten in Nederland en voor alle grondwatertrappen afvoerregimes te berekenen. Op deze manier komt er ook meer inzicht in eventuele variaties in afvoerregimes onder verschillende hydrologische en bodemkundige omstandigheden.

Het maaionderhoud hangt in grote mate af van de groeisnelheid van waterplanten en oevervegetatie. Er kan een groot verschil in groeisnelheid tussen waterplanten onderling zijn, maar ook treden er verschillen op door hydrologische omstandigheden, zoals de invloed van kwel of wegzijging. Om al deze variaties en invloeden te weten is het noodzakelijk om de vegetatieontwikkeling op een groot aantal locaties in Nederland en gedurende een aantal jaren te meten.

Met welke herhalingstijd voor de afvoer in de zomerperiode gerekend moet worden is nog niet goed onderbouwd. In deze toepassing is uitgegaan van een herhalingstijd van 5 jaar. Het is nodig landelijke richtlijnen op te stellen voor de be-

Tabel 2. Gegevens voor de waterlopen op locatie 2 en 4 in het stroomgebied van de Poelsbeek (voor locaties zie fig. 2)

Parameter	Locaties	
	2	4
Bodembreedte (m)	1,4	2,2
Natte oppervlakte voor hoog waterniveau (m^2)	2,0	4,4
Maximumverhang ($m.km^{-1}$)	0,85	0,35
Ontwerpnorm afvoer ($l.s^{-1}.ha^{-1}$)	1,2	1,2
Vegetatieontwikkeling curve*	I_g	III_m
Oppervlakte stroomgebied:		
. Gt III (ha)	44	47
. GT IV (ha)	32	36
. Gt VII (ha)	17	13
. Verhard oppervlak (bebouwing)	7	4

* I_g = gemiddelde obstructie van de gemeten range voor waterdiepte < 0,40 m (fig. 6 - Querner, 1994)
III_m = maximumobstructie van de gemeten range voor waterdiepten tussen 0,71-1,20 m

Tabel 3. Tijdstippen voor benodigd onderhoud van twee waterlopen in het stroomgebied van de Poelsbeek. Als de factor Q_p/Q_m (zie vergl. 1) groter dan 1 wordt, is onderhoud nodig. Stroomgebied is verondersteld te bestaan uit gebieden met Gt III, IV en VII en daarnaast stedelijk gebied. Voor afvoeren zomer zie figuur 4b (xxx = tijdstip maaionderhoud in zomerperiode; ======== = maaionderhoud voor de winter)

Locatie	Tijdstippen van maaionderhoud					
	Mei	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.
2				xxx	========	
		0,49	0,76	>1,0	0,65	
4			xxx		========	
		0,53	>1,0	0,52	0,85	

langrijkste bodemgebruiksvormen. Hierbij is het economische risico een belangrijke maatstaf.

Het onderzoek dat DLO-Staring Centrum heeft gedaan, heeft een methode opgeleverd, om het benodigde maaionderhoud te berekenen. Voor het toepassen van deze methode door de waterschappen in Nederland ontbreken er nog gegevens en moeten normen gedefinieerd worden.

Een coördinerende en stimulerende rol lijkt mij hier weggelegd voor de Unie van Waterschappen.

Literatuur

Jager, A.W. de, 1986. Ontwikkelingen in beheer en onderhoud. Symposium beheer en onderhoud. Waterschapsbelangen 71: 4-6.
Kanters, D., 1990. Naar een rationeel onderhoud van hoofdwatergangen. Waterschapsbelangen 15: 520-523.
Loorij, T.P.J., 1989. Onderhoudskosten van watergangen in 1985. Waterschapsbelangen 74(22): 127-132.
Querner, E.P., 1993a. Aquatic weed control within an integrated water management framework. Landbouwuniversiteit Wageningen. Proefschrift. Ook verschenen als Report 67. Wageningen, DLO-Staring Centrum (SC-DLO). 203 pp.
Querner, E.P., 1993b. Variatie in kwel/wegzijging en invloed van de tijdstap op afvoeren en grondwaterstanden berekend met model MOGROW. Comm. Hydrol. Res. TNO, The Hague. Rapporten en Nota's 31: 27-38
Siefers, H.J., 1985. Frequentie van onderhoud van waterlopen en peilbeheersing. Waterschapsbelangen 21: 510-517.
Vries, F. de en C. van Wallenburg, 1990. Met de nieuwe grondwatertrappenindeling meer zicht op het grondwater. Landinrichting. 30(1): 31-36.
Werkgroep Waterbeheer Noord-Brabant, 1990. Planning van de oppervlaktewaterhuishouding in midden en oostelijk Noord-Brabant. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 99. 118 pp.
Zonderwijk, P., 1986. Biologische waarden van waterlopen. Symposium beheer en onderhoud. Waterschapsbelangen 71: 7-11.

Niet gepubliceerde bronnen

Haayer, B.M., 1984. Bepaling van de invloed van grondwateronttrekkingen en infiltratie op grondwaterstijghoogten en kwel/wegzijging in het Peelgebied. Wageningen, ICW. Nota 1518. 13 pp.
Stege, E.A. ter en R. Pot, 1991. Slootschoning geschouwd: mogelijkheden voor ecologisch beheer van watergangen. Arnhem, Provincie Gelderland. 32 pp.
Strien, A.J. van, 1991. Maintenance of plant species diversity on dairy farms. Rijksuniversiteit Leiden, Thesis. 136 pp.
Werkgroep Afvoerberekeningen, 1979. Richtlijnen voor het berekenen van afwateringsstelsels in landelijke gebieden. Assen. 104 pp.

Aanhangsel 2

De stromingsweerstand en de berekening van de afvoer in begroeide waterlopen

*door dr. E.P. Querner **

In het in Het Waterschap 1995, nr. 4 opgenomen artikel 'Vaststellen maaionderhoud in waterlopen', van dr. E.P. Querner (DLO-Staring Centrum), wordt verwezen naar Querner (1994). Bedoeld wordt hier het onderhavige artikel 'De stromingsweerstand en de berekening van de afvoer in begroeide waterlopen' (red.)

Het maaionderhoud in waterlopen is een belangrijke taak van de waterschappen in Nederland. De transportcapaciteit ofwel het waterdoorvoerend vermogen bepaalt het tijdstip van onderhoud. Het vermogen om water af te voeren hangt in grote mate af van de stromingsweerstand en de obstructies die er in een waterloop zijn als gevolg van de aanwezigheid van waterplanten en oevervegetatie. Met behulp van stromingsformules zoals van Manning of Chézy wordt het debiet in een waterloop berekend.
In dit artikel wordt beschreven hoe met behulp van de stromingsweerstand en de mate van begroeiing van water- en oevervegetatie het debiet in een waterloop berekend kan worden. Bij de aanpak wordt het dwarsprofiel van een waterloop opgedeeld in een onbegroeid en een begroeid gedeelte. Voor het onbegroeide deel is met behulp van metingen in het veld en in een modelgoot een stromingsweerstand k_m^o afgeleid van ongeveer 32 $m^{1/3}.s^{-1}$. De stroming door het begroeide deel blijkt in de meeste gevallen te verwaarlozen. Het oppervlak dat door waterplanten wordt ingenomen is gemeten in twee stroomgebieden in Twente.

De afvoercapaciteit van een waterloop hangt onder meer af van de weerstand die het water ondervindt van waterplanten en oevervegetatie. De stromingsweerstand is een maat voor het doorvoerend vermogen. Vanaf 1960 zijn er in Nederland veel metingen uitgevoerd in waterlopen, om daaruit de stromingsweerstand af te leiden (Flach en Pieters, 1966; Bon, 1967; Pitlo, 1990). Tot op heden heeft dit niet geleid tot een algemeen toepasbare aanpak voor begroeide waterlopen.

Gedurende het groeiseizoen neemt de begroeiing in de waterlopen enorm toe. Die vermindert het waterdoorvoerend vermogen sterk. Naast deze invloed is ook de stroomsnelheid van belang, i.v.m. het ombuigen van planten bij een hogere stroomsnelheid. De begroeiing in een waterloop bestaat uit waterplanten en oevervegetatie. Waterplanten kunnen onder het oppervlak blijven, er bovenuit groeien of op de waterspiegel blijven drijven. Al deze factoren bepalen mede de stromingsweerstand van een waterloop.

In dit artikel wordt voor het berekenen van het debiet in een waterloop een methode aangegeven. Hierbij gaat het vooral om de relatie tussen de stromingsweerstand en de vegetatieontwikkeling. Deze aanpak is ook toegepast in het model voor het berekenen van het maaionderhoud (zie Querner, 1995).

Stromingsweerstand en afvoer

In het algemeen wordt de stromingsweerstand voor een waterloop met begroeiing berekend met behulp van de formule van Manning. Deze formule luidt:

$$v = k_M R^{2/3} S^{1/2} \qquad (1)$$

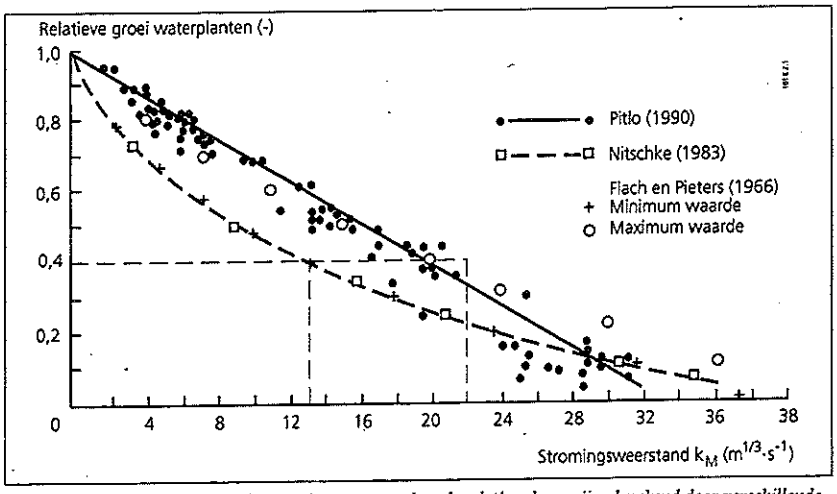
Het debiet in de waterloop is dan:

$$Q = A\, k_M R^{2/3} S^{1/2} \qquad (2)$$

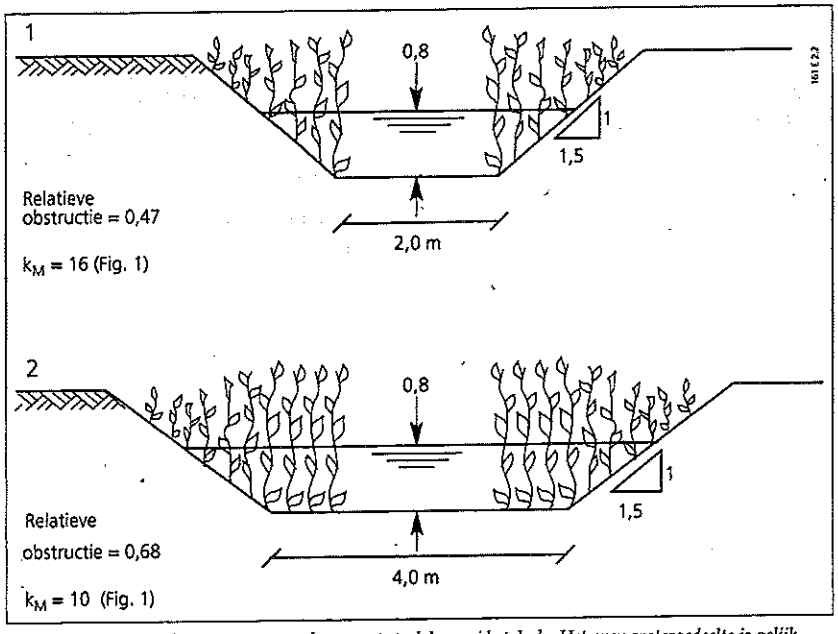
waarin:
v = stroomsnelheid ($m.s^{-1}$)
k_M = stromingsweerstand ($m^{1/3}.s^{-1}$)
R_s = hydraulische straal (natte oppervlakte A gedeeld door natte omtrek P) (m)
S = het verhang (-)
Q = debiet ($m^3.s^{-1}$)
A = natte oppervlakte (m^2)

Voor het berekenen van de stromingsweerstand wordt het debiet, het bijbehorend verhang en het natte profiel in het veld opgemeten om hiermee de hydraulische straal te herleiden. Met behulp van vergelijking (2) is dan de stromingsweerstand te berekenen. Flach en Pieters (1966) en Pitlo (1990) hebben in het verleden veel veldmetingen uitgevoerd. De op deze manier verkregen stromingsweerstand k_M bestond voor een deel uit de weerstand ten gevolge van de ruwheid van de waterplanten en voor een ander deel uit de mate van obstructie van deze planten.
Pitlo (1990) presenteerde stromingsweerstanden waarbij een verband was gelegd met de hoeveelheid begroeiing in een waterloop. Deze resultaten en reeds eerder gepubliceerde stromingsweerstanden zijn in figuur 1 weergegeven. Pitlo veronderstelde een lineair verband tussen de stromingsweerstand en de relatieve obstructie (fig. 1). De relatieve obstructie is het deel van het natte oppervlak dat door waterplanten wordt ingenomen. Toch is er een grote variatie in stromingsweerstand, zoals blijkt uit de resultaten. Bij een obstructie van 40% (fig. 1) kan de stromingsweerstand k_M variëren van 13 tot 22 ($m^{1/3}.s^{-1}$), wat een verschil geeft van ongeveer 40% in de afvoercapaciteit volgens vergelijking (2). Deze variatie in stromingsweerstand kan gedeeltelijk verklaard worden met behulp van twee verschillende dwarsprofielen (fig. 2). Voor de twee situaties weergegeven in figuur 2 is het gedeelte open water gelijk. Beide waterlopen moeten daardoor ongeveer dezelfde afvoercapaciteit hebben. Dwarsprofiel 1 heeft 47% obstructie en een k_M van 16, dwarsprofiel 2 heeft echter 68% obstructie en een k_M van 10. Er is dus een groot verschil in stromingsweerstand en zodoende ook in capaciteit. In de praktijk werd altijd een hydraulische straal ge-

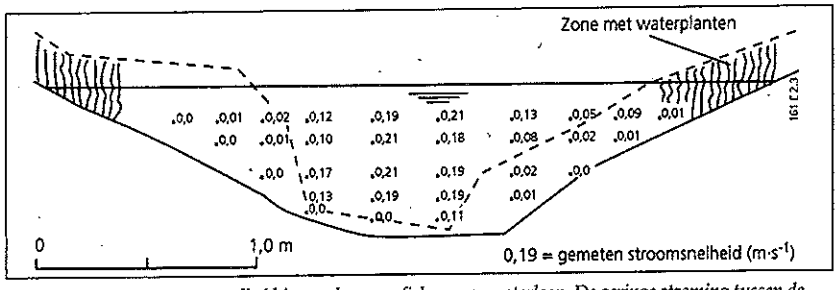
* *De auteur is werkzaam bij DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied.*



Figuur 1 Het verband tussen de stromingsweerstand en de relatieve begroeiing berekend door verschillende auteurs (Querner, 1993)



Figuur 2 Dwarsprofiel van twee waterlopen met sterk begroeide taluds. Het open-watergedeelte is gelijk, zodat de afvoercapaciteit ook gelijk zou moeten zijn. Uit Fig. 1 volgt voor beide situaties een stromingsweerstand kM zoals aangegeven.



Figuur 3 Gemeten stroomsnelheid in een dwarsprofiel van een waterloop. De geringe stroming tussen de waterplanten kan verwaarloosd worden (Querner, 1993).

nomen die geldt voor het gehele (schone) profiel. De hydraulische straal is echter een factor om de vorm van het dwarsprofiel tot uiting te laten komen in de afvoercapaciteit (Chow, 1959). Het begroeide gedeelte heeft in het algemeen een geringe invloed op de afvoer. De vorm van het totale profiel is dan ook van ondergeschikt belang, maar wel de vorm van het gedeelte waardoor het meeste water stroomt. Metingen uitgevoerd in een waterloop in Salland geven een stroomsnelheidsverdeling over het dwarsprofiel, zoals in figuur 3 is weergegeven. Er is een groot verschil in stroomsnelheid tussen het gedeelte met open water en het begroeide deel. In het open deel is de snelheid ongeveer 0,20 $m \cdot s^{-1}$ en tussen de waterplanten slechts 0,02 $m \cdot s^{-1}$. In de situatie uit figuur 3 wordt ongeveer 50% van het natte profiel ingenomen door planten, terwijl er slechts 6% van het debiet door dit begroeide deel gaat. Het verwaarlozen van de afvoer door het begroeide deel heeft dan ook geen grote invloed op de totale afvoer. Voor de praktijk is het daarom verantwoord om vergelijking (2) te vervangen door:

$$Q = A_0 k_M^0 R_0^{2/3} S^{1/2} \qquad (3)$$

waarin:
A_0 = natte oppervlakte van het onbegroeide deel (m^2)
k_M^0 = stromingsweerstand voor het onbegroeide deel ($m^{1/3}.s^{-1}$)
R_0 = hydraulische straal voor het onbegroeide deel (m)

De oppervlakte open water A_0 wordt berekend m.b.v. de relatieve obstructie W_0 als:

$$A_0 = A \cdot W_0 \qquad (4)$$

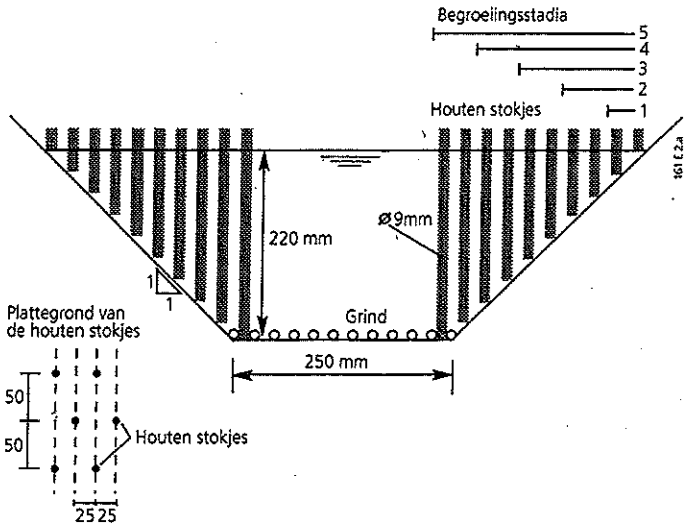
Metingen van de relatieve obstructie W_0 worden in de volgende paragraaf behandeld. De stromingsweerstand voor het onbegroeide gedeelte k_m^0 is afgeleid uit metingen in een modelgoot. De stromingsweerstand berekend op deze manier varieerde slechts van 30 tot 34 $m^{1/3}.s^{-1}$. Een beschrijving van deze metingen is opgenomen in Kader 1. Uit veldmetingen in twee waterlopen in Salland wordt nagenoeg eenzelfde weerstand herleid (Querner, 1993; Pitlo en Griffioen, 1991). Een voor de praktijk veilige waarde lijkt mij 32 $m^{1/3}.s^{-1}$.
Het verwaarlozen van de afvoer door het begroeide deel heeft in de meeste gevallen een zeer geringe invloed op de totale

Kader 1

De weerstandsmetingen zijn uitgevoerd in een modelgoot van 12 m lang (Breunissen en Querner, 1994). De waterplanten zijn vervangen door stokjes met een diameter van 9 mm. De stokjes zijn beplakt met houtkrullen om zodoende een grotere ruwheid te krijgen. In figuur A is het dwarsprofiel van de meetgoot weergegeven met de vijf begroeiingsstadia. De ruwheid van de bodem werd vergroot door een laagje grind. De stromingsweerstanden, uitgerekend met behulp van vergelijkingen (2) en (3), zijn weergegeven in tabel 1. De obstructie van de begroeiingsstadia 3 tot 5 varieerde van 20 tot 55% (tabel 1). De stromingsweerstand k_M nam hierbij af van 32 naar 12 $m^{1/3}.s^{-1}$. De variatie in stromingsweerstand van het onbegroeide deel k (tabel 1) was zeer gering (31-34 $m^{1/3}.s^{-1}$).

Tabel 1 Stromingsweerstand k_M (Berekend voor gehele natte profiel met vergl. 2) en k_m^o (berekend voor onbegroeide deel met vergl. 3) afgeleid uit metingen in een meetgoot voor de begroeiingsstadia 3 t/m 5 uit figuur A (Querner, 1993)

Begroeiings-stadia	Obstructie (%)	Stromingsweerstand ($m^{1/3}.s^{-1}$)	
		k_M (vergl. 2)	k_m^o (vergl. 3)
3	20	32	34
4	36	20	31
5	55	12	33



Figuur A Staafjesmodel om de waterplanten na te bootsen in een meetgoot. Twee rijen stokjes is één begroeiingsstadium (Breunissen en Querner, 1994)

Kader 2

Voor het dichtgegroeide deel van de waterloop is de stroomsnelheid te berekenen met de methode beschreven door Petryk en Bosmajian (1975) of Querner (1993). Uitgangspunt is een remming van de stroming ten gevolge van de planten. Het verhang van de waterspiegel oefent een kracht uit evenwijdig aan de bodem, die resulteert in de stroming van het water. Door deze stroming ondervindt het water een weerstand doordat er waterplanten (obstructie) zijn, en ook een weerstand door de ruwheid van de bodem (fig. B). Bij een stationaire stroming zijn alle krachten in evenwicht. Met behulp van algemene hydraulische theorieën (Chow, 1959) is het verband tussen de stroomsnelheid en het verhang te herleiden tot een algemene vorm (Querner, 1993):

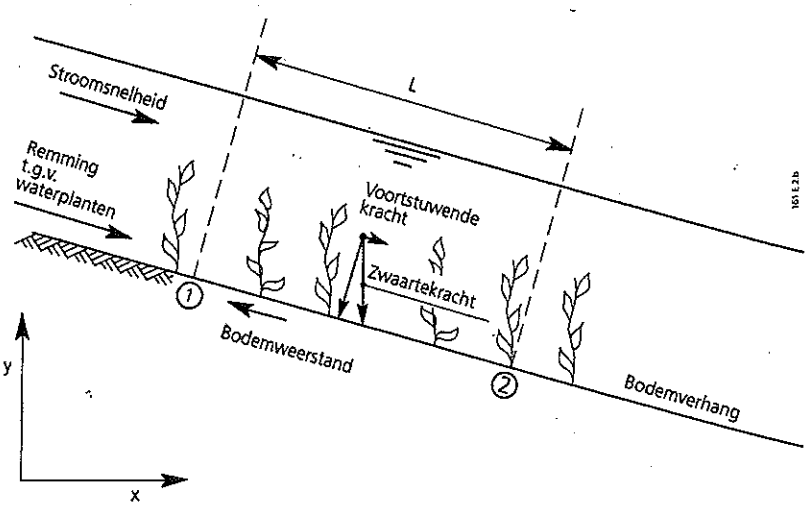
$v = f\{A_p \cdot C_d\} \cdot S^{1/2}$ (5)

v = stroomsnelheid ($m \cdot s^{-1}$)

A_p = oppervlakte van de obstructie door waterplanten (m^2)

C_d = vormfactor waterplanten (-)

S = verhang (-)



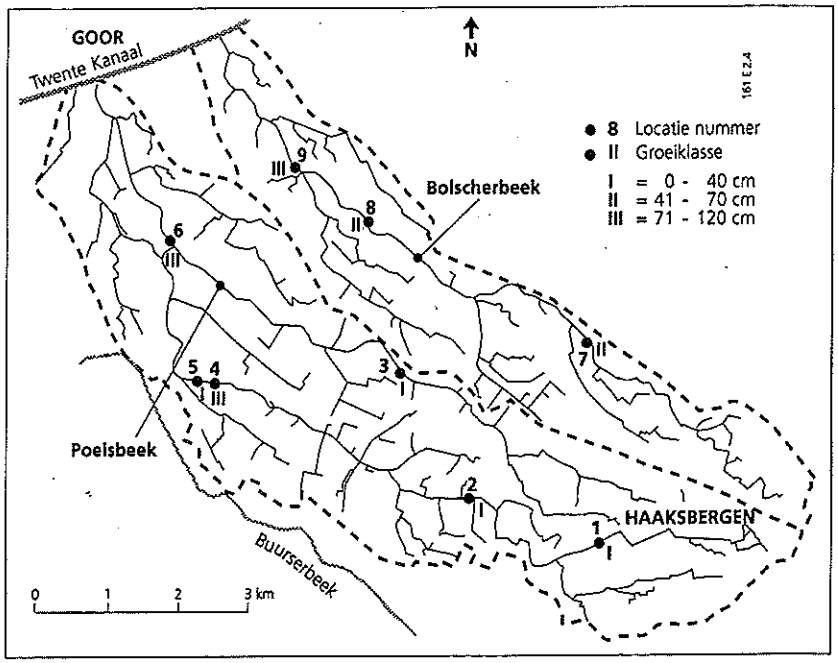
Figuur B Langsprofiel door het begroeide deel van een waterloop en de krachten die dan door de stroming en de obstructie worden veroorzaakt

afvoer. Voor een geheel dichtgegroeide waterloop zal de hiervoor beschreven benadering niet opgaan. In zo'n geval zal er altijd wel ergens in het midden van de waterloop een gedeelte zijn dat minder dichtbegroeid is. Daar concentreert de stroming zich en dat deel kan worden beschouwd als het open-waterdeel. Er kan ook een situatie ontstaan waarbij de waterplanten worden omgebogen of weggedrukt door de stroming van het water. Mocht het nodig zijn om met de stroming, die tussen de waterplanten gaat, rekening te houden, dan is een aanpak nodig zoals beschreven is in Kader 2. Deze benadering gaat uit van het principe dat de stroomsnelheid een zekere kracht uitoefent op de waterplanten, waardoor de waterstroming wordt geremd.

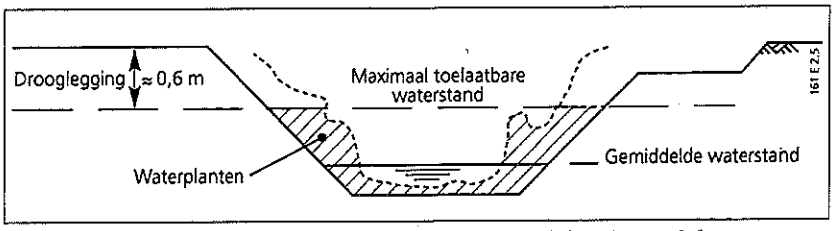
Vegetatieontwikkeling en obstructie

De groei van waterplanten hangt in belangrijke mate af van de hoeveelheid licht, de beschikbare voedingsstoffen, de watertemperatuur en de stroomsnelheid (Dawson, 1988). In het voorjaar neemt vooral onder invloed van licht de begroeiing met waterplanten sterk toe. De snelheid waarmee de waterloop dichtgroeit, bepaalt in grote mate het tijdstip van onderhoud.

De stroomsnelheid mag ook niet te groot zijn (ongeveer 0,05 $m \cdot s^{-1}$). Er moet sprake zijn van een situatie dat het water tussen de planten doorstroomt. Bij grotere snelheden is het mogelijk dat de waterplanten een andere vorm aannemen of ombuigen waardoor de obstructie kleiner wordt.
Pitlo en Griffioen (1991) geven aan dat voor het begroeide deel de stroomsnelheid v evenredig is met het verhang S en niet met $S^{1/2}$, zoals vergelijking 5 aangeeft. Dit verband was herleid uit een aantal metingen in waterlopen in Salland. Op basis van deze metingen lijkt mij zo'n fundamenteel verschil haast onmogelijk. De vraag is of de meetgegevens goed geïnterpreteerd zijn.



Figuur 4 Overzicht van de stroomgebieden Poelsbeek en Bolscherbeek met daarnaast de locaties van de negen meetpunten waar vegetatieontwikkeling in de waterlopen is gemeten.

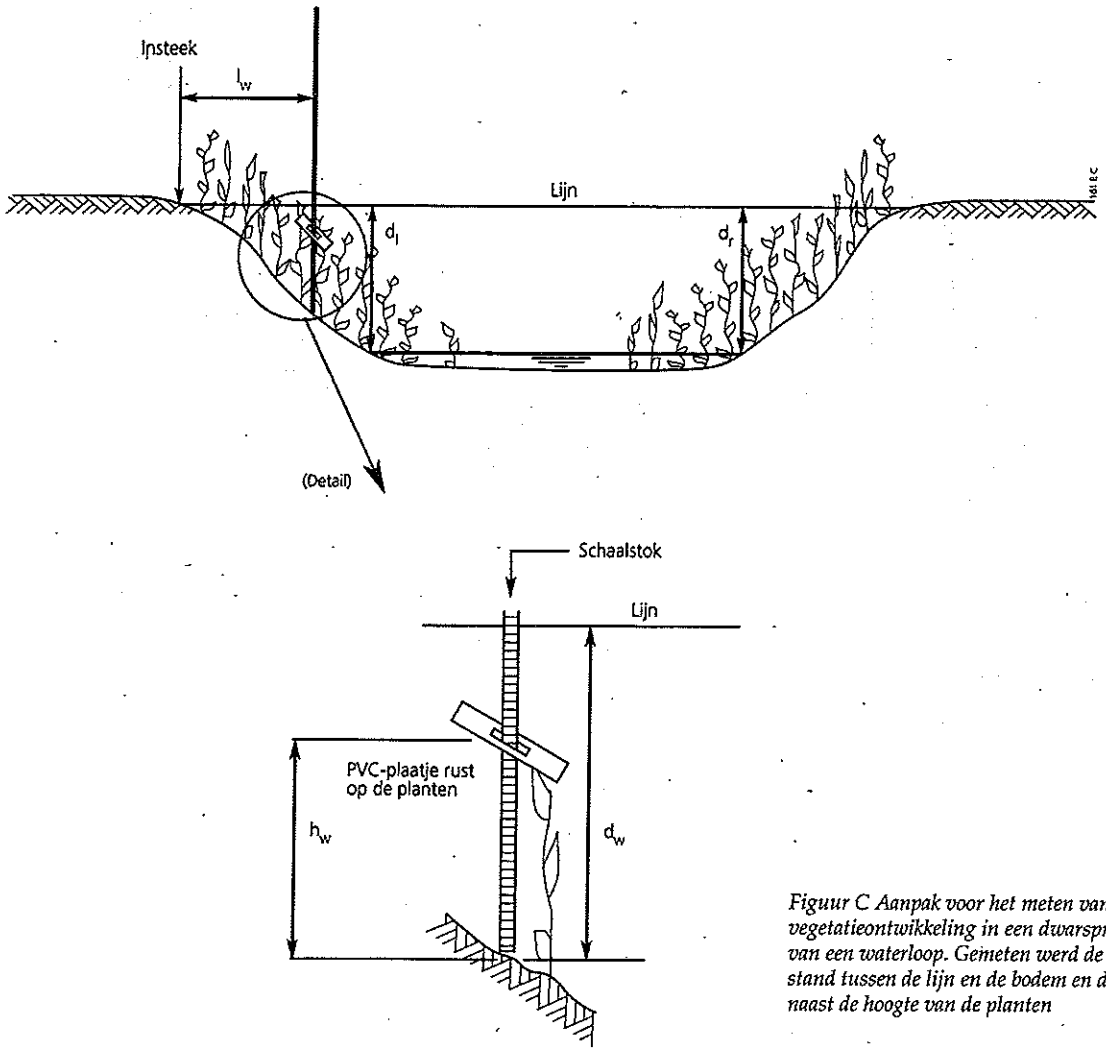


Figuur 5 Duidelijk blijkt dat de relatieve begroeiing alleen van belang is voor de hoogste waterstand die in het groeiseizoen mag optreden (drooglegging niveau).

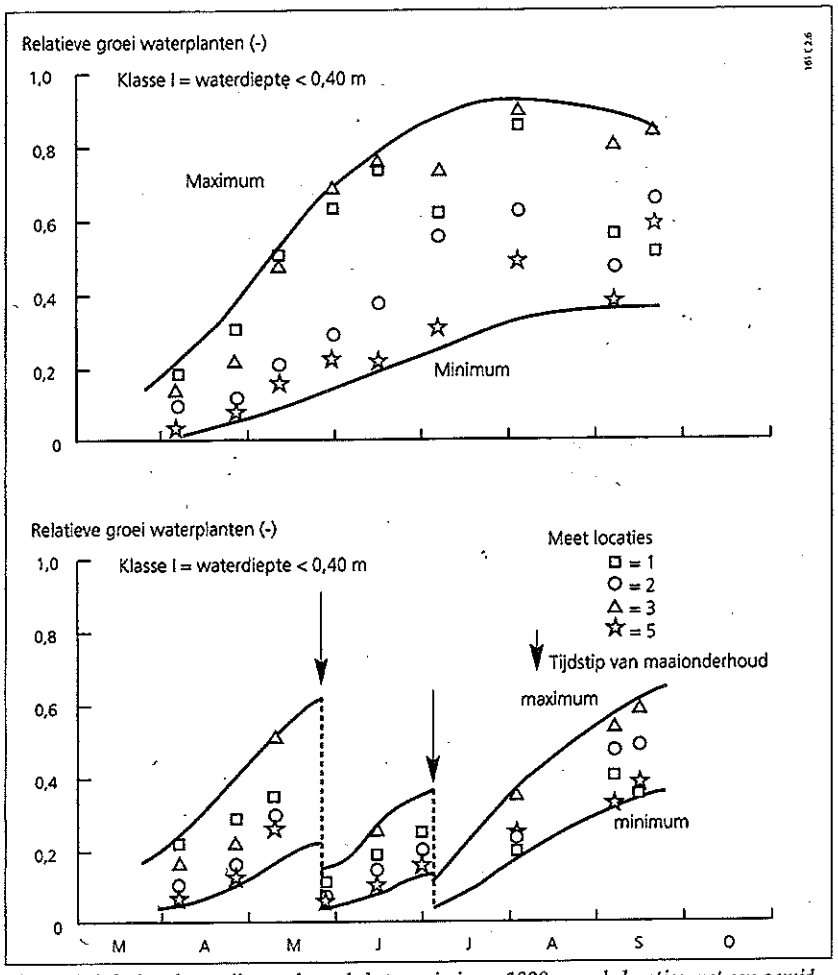
Metingen van de vegetatieontwikkeling over het gehele groeiseizoen zijn uitgevoerd in Twente. In overleg met het Waterschap Regge en Dinkel is in het stroomgebied van de Poelsbeek en Bolscherbeek gedurende de zomer van 1990 en 1991 gemeten. Deze twee beken ontspringen nabij Haaksbergen en wateren af op het Twentekanaal bij Goor. Op negen locaties (fig. 4) is de begroeiing zowel gemeten in een traject zonder enig onderhoud als in een traject met twee keer onderhoud. In Kader 3 is beschreven hoe het veldwerk en de berekening van de obstructie is uitgevoerd. Door het beperkte aantal locaties met metingen is gekozen voor een eenvoudige indeling van de locaties naar waterdiepte om de resultaten te presenteren. Afhankelijk van de gemiddelde waterdiepte gedurende de zomer werden de volgende drie klassen onderscheiden: waterdiepte van 0-40 cm, 41-70 cm en 71-120 cm. Naarmate de waterdiepte toeneemt, daalt de beschikbaarheid van licht voor de waterplanten. (Querner, 1993).

Voor het bepalen van het tijdstip van maaionderhoud is niet de obstructie behorende bij een gemiddelde of overheersende waterstand in de zomer van belang. Het gaat om de obstructie bij een hoge waterstand die nog toelaatbaar is voor het aanliggend bodemgebruik (fig. 5). Voor het stroomgebied van de Poelsbeek en Bolscherbeek is een drooglegging snorm van 0,6 m beneden maaiveld aangenomen (Werkgroep Cultuurtechnisch Vademecum, 1988). Dat niveau is dan bepalend voor de vereiste capaciteit van een waterloop (fig. 5). Bij de bepaling van de obstructie gaat het om

Kader 3
Voor het meten van de vegetatieontwikkeling werden in samenspraak met het Waterschap Regge en Dinkel, negen locaties uitgekozen in het stroomgebied van de Poelsbeek en Bolscherbeek (fig. 4). De vegetatieontwikkeling in de waterlopen is herleid tot een relatieve obstructie. Dit was mede noodzakelijk voor het model om het maaionderhoud te berekenen (Querner, 1995). Voor het berekenen van de relatieve obstructie was het nodig om in een dwarsprofiel het oppervlakte aan waterplanten op te meten en daarnaast het oppervlak van het gehele dwarsprofiel (fig. 5).
Over de waterloop werd een touw gespannen waarop met kleuren een schaalverdeling was aangebracht (fig. C). De afstand van deze lijn tot de bodem werd opgemeten (fig. C: afstand d_w) en daarnaast de hoogte van de vegetatie (h_w). De uiteinden van de planten werd niet meegenomen als obstructie. Deze uiteinden hebben weinig invloed op de stromingsweerstand. Ze worden immers gemakkelijk omgebogen door het stromende water. Om deze uiteinden van de vegetatie niet mee te nemen werd een plaat pvc (± 0,13 x 0,45 m met een gewicht van 0,15 kg) op de vegetatie gelegd. Hierdoor werden de losse uiteinden omgebogen (fig. C). Zodoende werd op een consistente manier de hoogte van de vegetatie gemeten. Bovendien werd bij iedere meting de afstand tot de linker- of rechterinsteek gemeten (l_w). Per dwarsprofiel betrof het 15 tot 25 metingen en deze gegevens werden ter plekke in een veldcomputer opgeslagen. Bovendien werd aan de linker- en rechterwaterkant de afstand tussen de lijn en de waterspiegel gemeten (fig. C: d_l en d_r). Hiermee kon het niethorizontaal lopen van de lijn over de waterloop worden gecorrigeerd. Een computerprogramma berekende voor een aantal niveaus in de sloot de oppervlakte van het schone profiel en de oppervlakte van de planten. De hiermee berekende relatieve obstructie, voor een drooglegging niveau van 0,60 m beneden het maaiveld, is weergegeven in figuur 6.



Figuur C Aanpak voor het meten van de vegetatieontwikkeling in een dwarsprofiel van een waterloop. Gemeten werd de afstand tussen de lijn en de bodem en daarnaast de hoogte van de planten



Figuur 6 Relatieve begroeiing gedurende het groeiseizoen 1990 voor de locaties met een gemiddelde waterdiepte tot 0,40 m. De metingen zijn uitgevoerd op de locaties zoals weergegeven in fig. 4
a Geen maaionderhoud gedurende gehele groeiseizoen
b Twee keer maaionderhoud uitgevoerd door het waterschap

waterplanten, oevervegetatie en terrestrische vegetatie.

In figuur 6 is voor het groeiseizoen 1990 de relatieve obstructie weergegeven voor de locaties met een gemiddelde waterdiepte van 0,0 tot 0,40 m. In figuur 6a is dat gedaan voor vier locaties waar de gehele zomer niet is gemaaid. De variatie in obstructie tussen de locaties is groot. De grootste obstructie kwam voor op locatie 3 (fig. 6a). Deze waterloop ligt tussen twee maïspercelen waarop de twee jaren daarvoor veel drijfmest was uitgereden. De vegetatie bestond dan ook hoofdzakelijk uit brandnetels. De grasachtige soorten die op een vergelijkbare locatie met een normaal maaibeheer nog volop aanwezig waren werden geheel verdrongen. De minste obstructie trad op in een waterloop die westelijk van een bosperceel loopt (fig. 6a; locatie 5). De verminderde lichtinval zal de groei van de waterplanten mede hebben beïnvloed.
De gemiddelde obstructie van de vier locaties bedroeg in juli/augustus ongeveer 60% (fig. 6a). Hierna neemt de obstructie enigszins af door het ombuigen van de begroeiing door het eigen gewicht. In figuur 6b is de obstructie weergegeven voor de locaties met twee keer onderhoud. De gemiddelde obstructie van de vier locaties varieerde tussen de 20 en 50%. Vooral aan het eind van het groeiseizoen werd de obstructie nog tamelijk hoog, gemiddeld bijna 50% in september (fig. 6b). Deze obstructie is maar iets minder dan die voor dezelfde periode - ongeveer 65% - als geen maaionderhoud werd uitgevoerd (fig. 6a).

Het effect van een grotere stroomsnelheid op de obstructie hangt af van de soorten waterplanten. Planten die altijd onder het wateroppervlak blijven zullen in het algemeen bij grotere stroomsnelheden gemakkelijk ombuigen. Voor die planten kan de obstructie tot de helft afnemen (Querner, 1993). Voor oevervegetatie is het effect geringer, enerzijds door de lagere stroomsnelheden en anderzijds omdat deze planten veel sterker zijn en minder snel ombuigen.

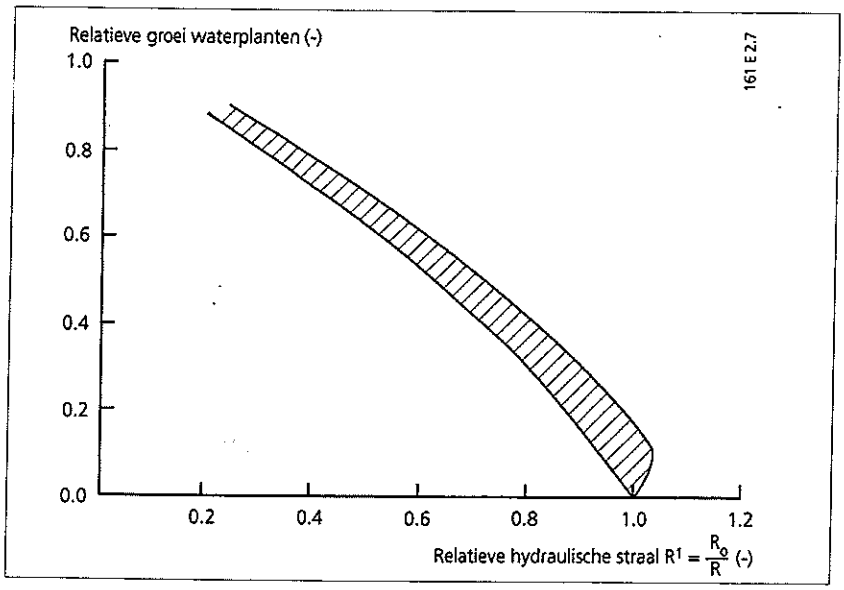
Voor het toepassen van vergelijking (3) is het nodig de hydraulische straal R_0 voor het open-watergedeelte te kennen. Van alle obstructiemetingen in Twente is een verband gevonden tussen de relatieve obstructie en de relatieve hydraulische straal (fig. 7). Aan de hand van de obstructie en de hydraulische straal R voor het gehele dwarsprofiel volgt uit figuur 7 een hydraulische straal R_0 die geldt voor het open-watergedeelte.

Conclusies en aanbevelingen

De opdeling van het dwarsprofiel van een waterloop in een begroeid en een onbegroeid deel is een praktische aanpak. Voor het onbegroeide gedeelte is de formule van Manning toe te passen en daarbij hoort een constante stromingsweerstand k_m^o van 32 $m^{1/3} \cdot s^{-1}$. Voor het begroeide gedeelte kan de stroming die tussen de planten doorgaat, verwaarloosd worden. Mocht het nodig zijn om met deze stroming rekening te houden, dan is een aanpak nodig, zoals in Kader 2 is beschreven.

Door het beperkt aantal metingen is voor het berekenen van de vegetatieontwikkeling gekozen voor een eenvoudige indeling naar waterdiepte. Andere factoren die van belang zijn voor de groei, zoals weersomstandigheden, waterkwaliteit, watertemperatuur, bemesting van aanliggende gronden, kunnen in een later stadium meegenomen worden.

Dit onderdeel over de stromingsweerstand en vegetatieontwikkeling is ook onderdeel van de methode om het benodigde maaionderhoud gedurende het groeiseizoen te berekenen (zie Querner,



1995). Voor deze methode is het nodig dat er meer veldmetingen beschikbaar komen van vegetatieontwikkeling over het groeiseizoen.

Literatuur

Bon, J., 1967. Bepaling van de k_M voor het ontwerpen van leidingen. Waterschapsbelangen 52(21). 12 pp.
Chow, V.T., 1959. Open channel hydraulics. Mc Graw-Hill, New York. 680 pp.
Dawson, F.H., 1988. Water flow and vegetation of running waters. In: J.J. Symoens (Ed). Vegetation of inland waters. Kluwer, Dordrecht: 283-309.
Flach, A.J. en J. Pieters, 1966. Verandering in de wandruwheidsfactor van open waterlopen tijdens het groeiseizoen. Waterschapsbelangen 51(18): 257-261, 273-277.
Nitschke, E. 1983. The influence of overgrowing with herbs on hydraulic parameters of agricultural outfalls and ditches. Proc. 20th Congress Int. Assoc. of Hydraul. Res. Moscow: 327-329.
Petryk, S. en G. Bosmajian, 1975. Analysis of flow through vegetation. Proceedings ASCE, J. Hydraul. Div. 101(HY7): 871-884.
Pitlo, R.H., 1990. Oversizing and reduced maintenance in relation to aquatic plant growth and flow resistance. Proceedings EWRS, 8th Symp. on Aquatic Weeds, Upsala: 167-172.
Pitlo, R.H. en C.J.H. Griffioen, 1991. Stromingsmodel voor begroeide waterlopen. Waterschapsbelangen 10: 345-348.
Querner, E.P., 1993. Aquatic weed control within an integrated water management framework. Landbouwuniversiteit Wageningen. Proefschrift. Ook verschenen als Report 67, DLO-Staring Centrum (SC-DLO). 203 pp.
Querner, E.P., 1995. Hydrologische benadering voor vaststellen van maaionderhoud in waterlopen. Het Waterschap 80(4): 170-175.
Werkgroep Cultuurtechnisch Vademecum, 1988. Cultuurtechnisch Vademecum. Cultuurtechnische Vereniging. Utrecht: 550-551.

Niet gepubliceerde bronnen

Breunissen, H. en E.P. Querner, 1994. Meten van verhang en stroomsnelheidsverdeling in een meetgoot bij verschillende begroeiingsstadia. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Interne mededeling 313.