

# De stromingsweerstand en de berekening van de afvoer in begroeide waterlopen

door dr. E.P. Querner \*

*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  $k_M$  afgeleid van ongeveer  $32 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ . 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 bovengruut groeien of op de waterspiegel blijven drijven. Al deze factoren bepalen mede de stromingsweerstand van een waterloop.

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

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:

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

Het debiet in de waterloop is dan:

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

waarin:

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

$k_M$  = stromingsweerstand ( $\text{m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ )

$R_s$  = hydraulische straal (natte oppervlakte  $A$  gedeeld door natte omtrek  $P$ ) (m)

$S$  = het verhang (-)

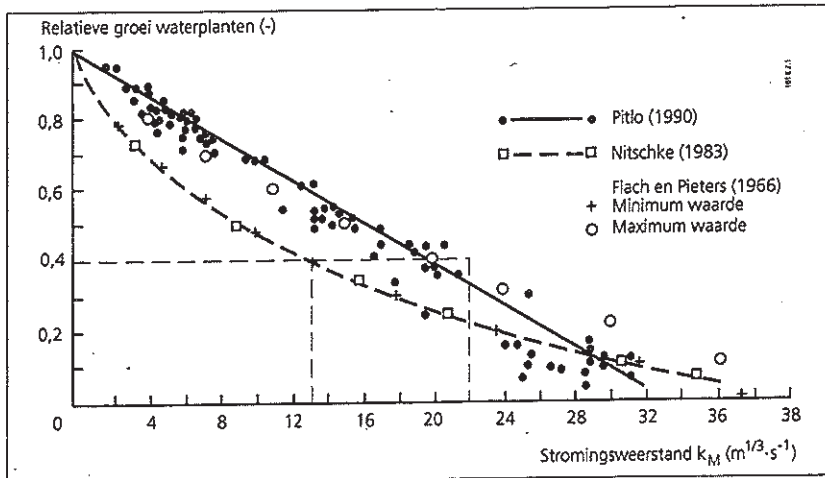
$Q$  = debiet ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )

$A$  = natte oppervlakte ( $\text{m}^2$ )

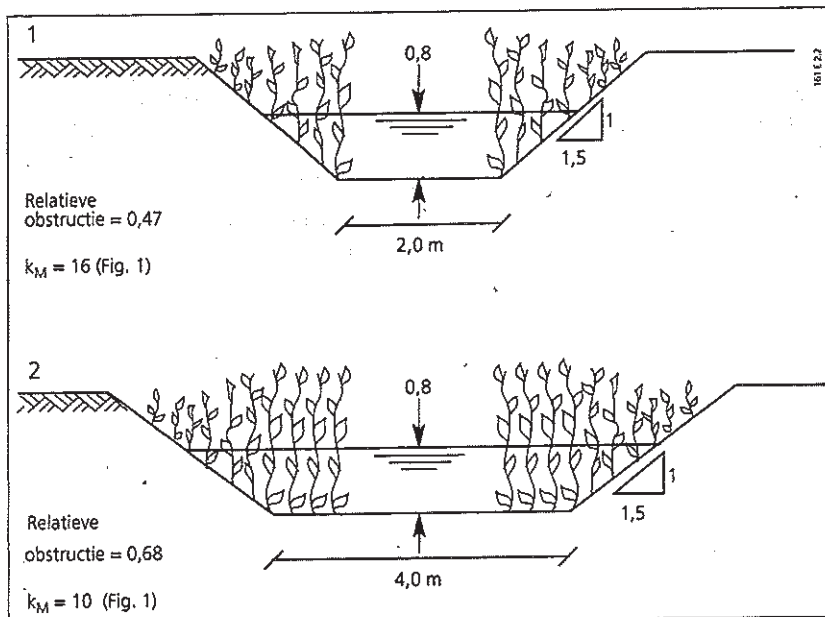
In het in Het Waterschap 1995, nr. 4 opgenomen artikel 'Vaststellen maaionderhoud in waterlopen', van dr. E.P. Querner (DLO-Staring Centrum), wordt verwezen naar Querner (1994). Bedoeld wordt hier het onderhavige artikel 'De stromingsweerstand en de berekening van de afvoer in begroeide waterlopen' (red.)

Voor het berekenen van de stromingsweerstand wordt het debiet, het bijbehorende 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.

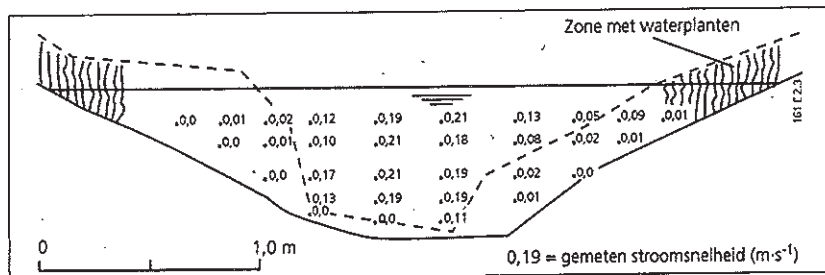
Pitlo (1990) presenteerde stromingsweerstand waarvoor een verband was gelegd met de hoeveelheid begroeiing in een waterloop. Deze resultaten en reeds eerder gepubliceerde stromingsweerstand zijn in figuur 1 weergegeven. Pitlo veronderstelde een lineair verband tussen de stromingsweerstand en de relatieve 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 ( $\text{m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ ), 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-



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 begroeiide taluds. Het open-watergedeelte is gelijk, zodat de afvoercapaciteit ook gelijk zou moeten zijn. Uit Fig. 1 volgt voor beide situaties een stromingsweerstand  $k_M$  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 begroeiende 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 begroeiende deel. In het open deel is de snelheid ongeveer  $0,20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  en tussen de waterplanten slechts  $0,02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . 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 begroeiende deel gaat. Het verwaarlozen van de afvoer door het begroeiende deel heeft dan ook geen grote invloed op de totale afvoer. Voor de praktijk is het daarom verantwoord om vergelijking (2) te vervangen door:

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

waarin:

$A_0$  = natte oppervlakte van het onbegroeiende deel ( $\text{m}^2$ )  
 $k_M^0$  = stromingsweerstand voor het onbegroeiende deel ( $\text{m}^{1/3}\cdot\text{s}^{-1}$ )  
 $R_0$  = hydraulische straal voor het onbegroeiende deel (m)

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

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

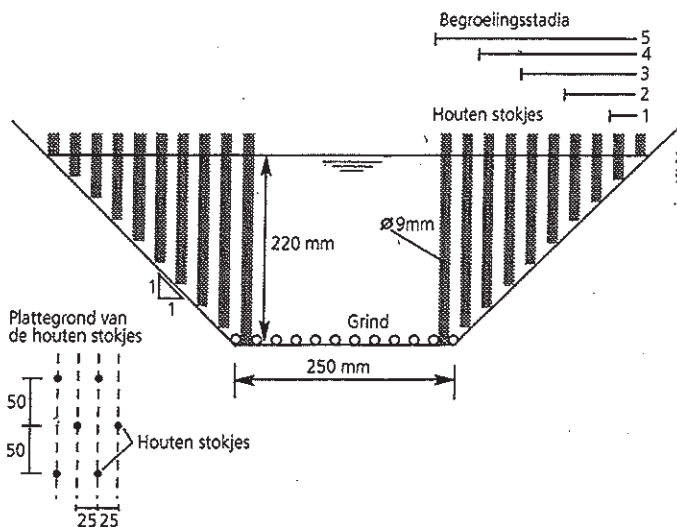
Metingen van de relatieve obstructie  $W_0$  worden in de volgende paragraaf behandeld. De stromingsweerstand voor het onbegroeiende gedeelte  $k_M^0$  is afgeleid uit metingen in een modelgoot. De stromingsweerstand berekend op deze manier varieerde slechts van 30 tot  $34 \text{ m}^{1/3}\cdot\text{s}^{-1}$ . 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  $32 \text{ m}^{1/3}\cdot\text{s}^{-1}$ . Het verwaarlozen van de afvoer door het begroeiende 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 zo doende 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 stromingsweerstand, 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  $12 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ . De variatie in stromingsweerstand van het onbegroeide deel  $k$  (tabel 1) was zeer gering ( $31\text{-}34 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

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)

Begroeiingsstadia	Obstructie (%)	Stromingsweerstand ( $\text{m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ )	
		$k_M$ (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):

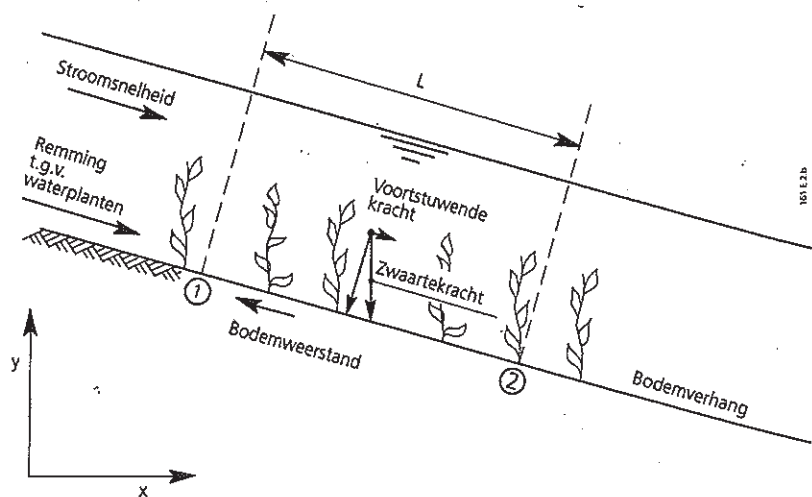
$$v = f\{A_p \cdot C_d\} \cdot S^{1/2} \quad (5)$$

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

$A_p$  = oppervlakte van de obstructie door waterplanten ( $\text{m}^2$ )

$C_d$  = vormfactor waterplanten (-)

$S$  = verhang (-)



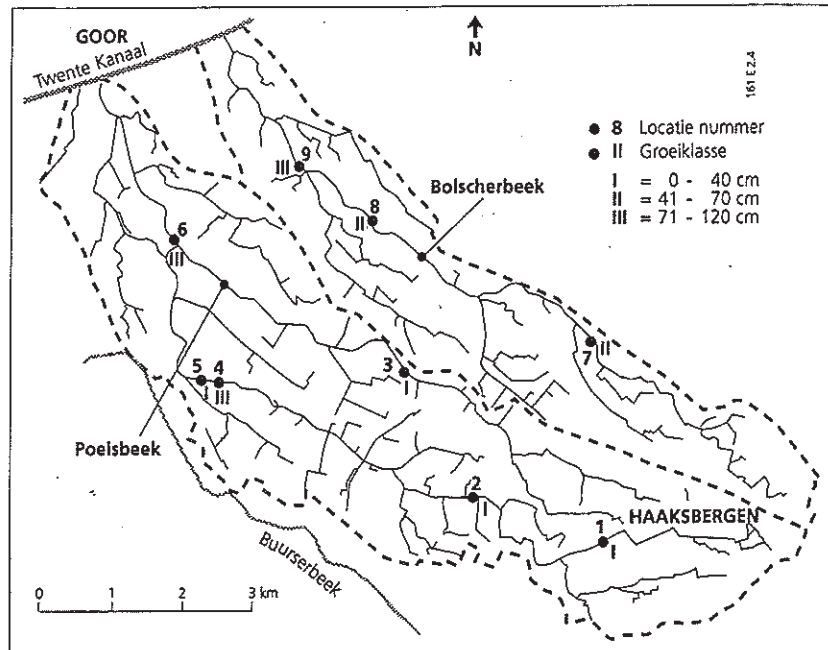
Figuur B Langsprofiel door het begroeide deel van een waterloop en de krachten die dan door de stroming en de obstructie worden veroorzaakt

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.

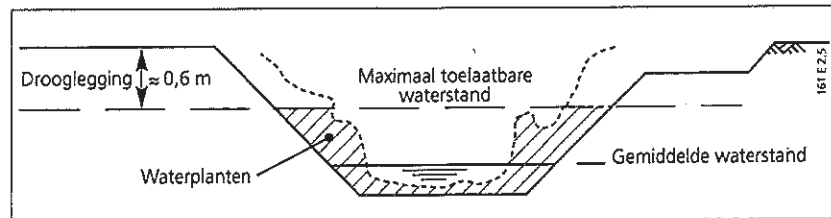
### Vegetatieontwikkeling en obstructie

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  $0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). 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 (droogleggingsniveau).

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).

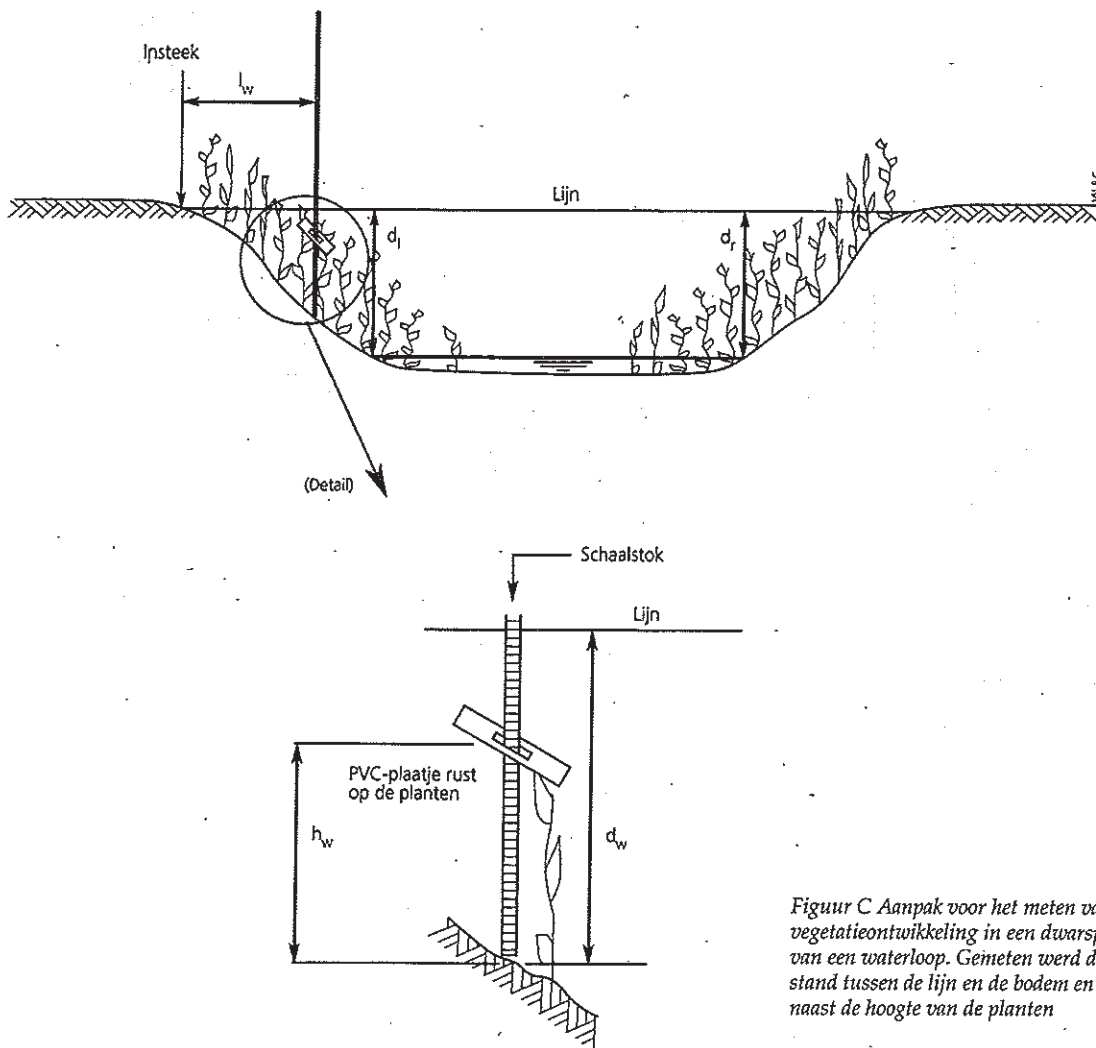
Voor het bepalen van het tijdstip van maaionderhoud is niet de obstructie behorende bij een gemiddelde of overheersende waterstand in de zomer van belang. Het gaat om de obstructie bij een hoge waterstand die nog toelaatbaar is voor het aanliggend bodemgebruik (fig. 5). Voor het stroomgebied van de Poelsbeek en Bolscherbeek is een droogleggingsnorm van 0,6 m beneden maaiveld aangenomen (Werkgroep Cultuurtechnisch Vademeccum, 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

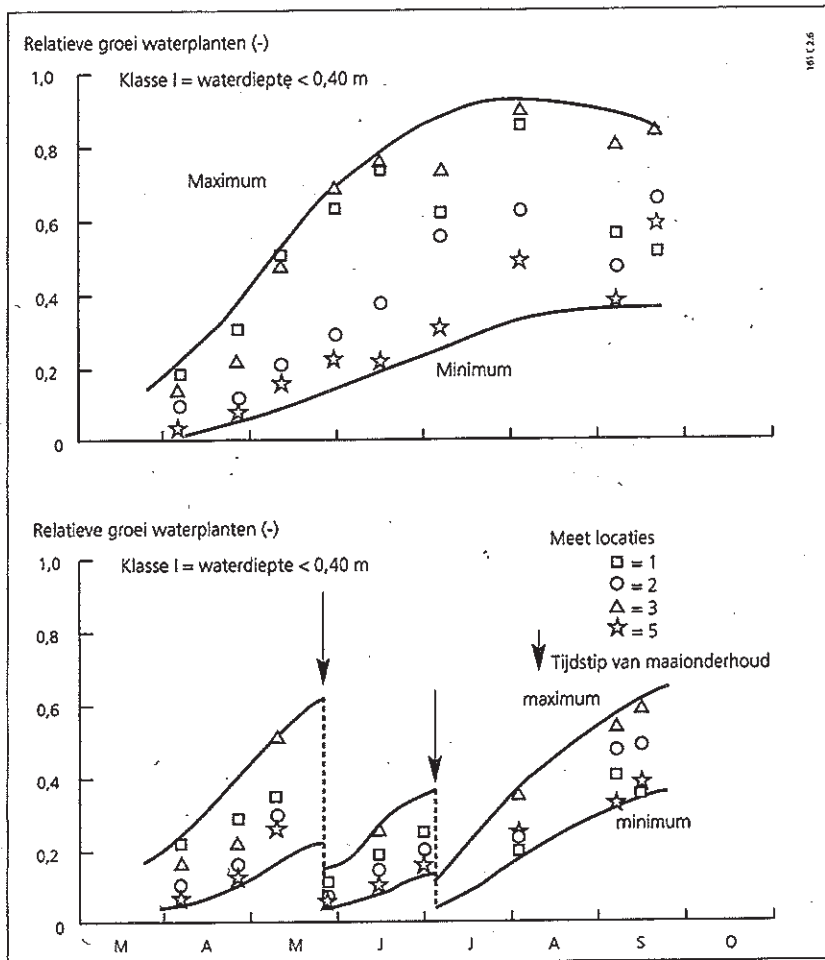
Voor het meten van de vegetatieontwikkeling werden in samenspraak met het Waterschap Regge en Dinkel, negen locaties uitgekozen in het stroomgebied van de Poelsbeek en Bolscherbeek (fig. 4). De vegetatieontwikkeling in de waterlopen is herleid tot een relatieve obstructie. Dit was mede noodzakelijk voor 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 werden 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 ( $\pm 0,13 \times 0,45$  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 af-

stand 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 niet-horizontaal 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 droogleggingsniveau 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 maïspelden 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 aan-

wezig 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.

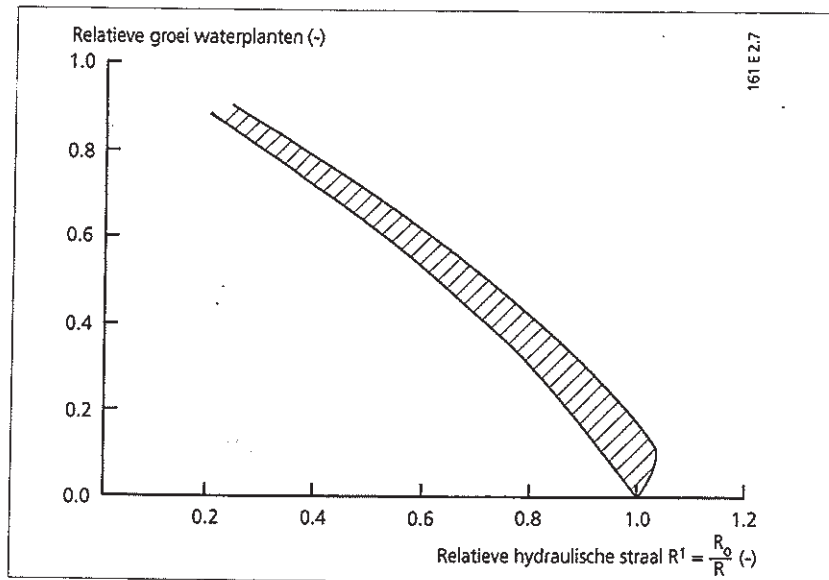
Voor het toepassen van vergelijking (3) is het nodig de hydraulische straal  $R_0$  voor het open-watergedeelte te kennen. Van alle obstructiemetingen in Twente is een verband gevonden tussen de relatieve obstructie en de relatieve hydraulische straal (fig. 7). Aan de hand van de obstructie en de hydraulische 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  $k_m^0$  van  $32 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ . 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 overgrowth with herbs on hydraulic parameters of*

*agricultural outfalls and ditches*. Proc. 20<sup>th</sup> 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, 8<sup>th</sup> 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*. Landbouwwuniversiteit 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. *Metten van verhang en stroomsnelheidsverdeling in een meetgoot bij verschillende begroeiingsstadia*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Interne mededeling 313.