

# **Inlaatduiker Oosterhout**

## **Herijking van de afvoerrelatie**

W. Boiten

### **Rapport 108**

Sectie Waterhuishouding  
Nieuwe Kanaal 11, 6709 PA Wageningen  
Internet: [www.dow.wau.nl/whh](http://www.dow.wau.nl/whh)

ISSN 0926-230X

1651720

## INHOUD

1. Inleiding .....	2
2. Beschrijving van de inlaatduiker .....	3
3. De tot nu toe gebruikte afvoerformule. ....	5
4. De afvoerrelatie opgesteld met literatuurgegevens .....	6
5. Drie debietmetingen in het veld. ....	7
6. De aanbevolen afvoerrelatie. ....	9

Fotoblad

Literatuurlijst

# INLAATDUIKER OOSTERHOUT

## 1. Inleiding

Op 12 november 2001 verleende het Hoogheemraadschap van West-Brabant opdracht aan de Sectie Waterhuishouding van de Wageningen Universiteit tot het opstellen van een afvoerrelatie van inlaatduiker Oosterhout.

De werkzaamheden zijn conform de offerte 01 322 WB/hw d.d. 9 oktober 2001, mogelijkheid 1, die als volgt is omschreven: het opstellen van een afvoerrelatie met behulp van verliescoëfficiënten uit de literatuur, en aangevuld met twee debietmetingen in het veld om de berekende afvoercoëfficiënt eventueel bij te stellen.

De inlaatduiker Oosterhout is één van de ruim twintig debietmeetstations van het Hoogheemraadschap. Eind 1992 zijn al deze meetstations geëvalueerd door het toenmalig Waterloopkundig Laboratorium (rapport Q1612, dec. 1992) via een driedaags veldbezoek na een periode van middelhoge afvoeren.

Voor de inlaatduiker Oosterhout heeft RWS in 1987 een afvoerrelatie opgesteld, waarover in de evaluatie 1992 geen helder waardeoordeel is gegeven door gebrek aan informatie over de vormgeving van de duiker.

In het huidige onderzoek is een poging ondernomen de afvoerrelatie langs theoretische weg op te stellen met verliescoëfficiënten uit de literatuur. Daarnaast zijn drie debietmetingen in het veld uitgevoerd, steeds tijdens laag water op het Wilhelminakanaal.

In dit rapport wordt aandacht besteed aan de volgende onderwerpen:

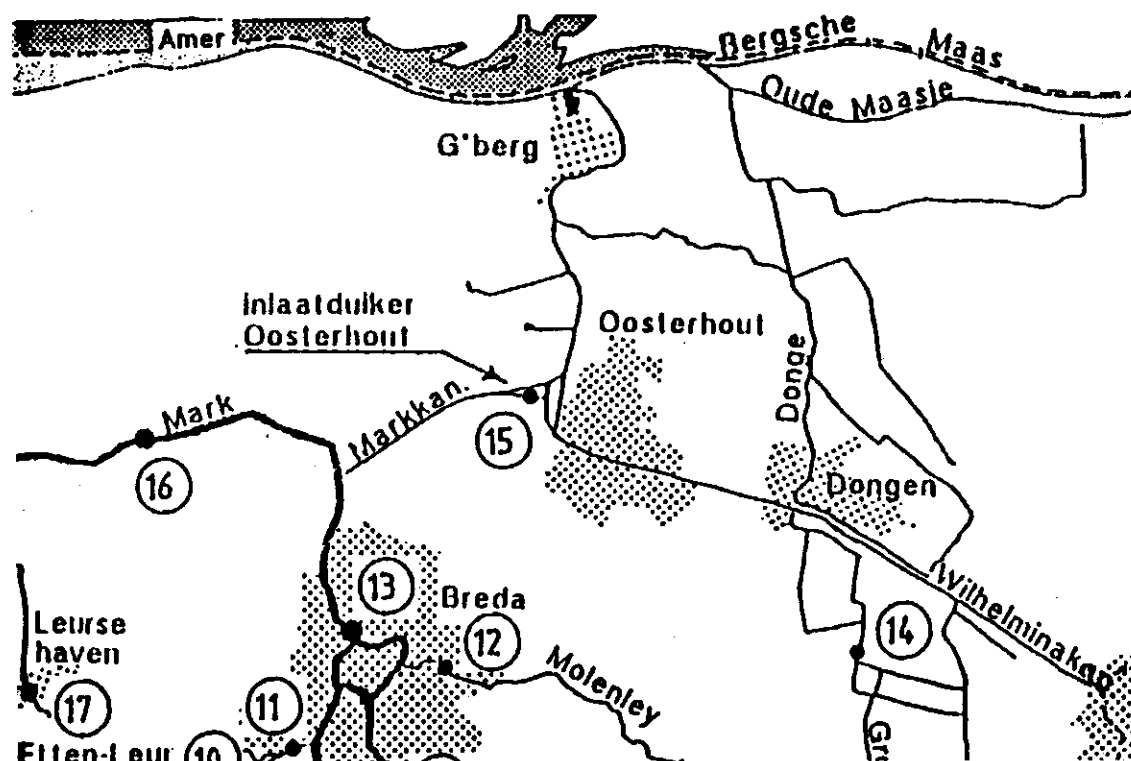
- par. 2 beschrijving van de inlaatduiker
- par. 3 de tot nu toe gebruikte afvoerformule
- par. 4 de afvoerrelatie opgesteld met literatuurgegevens
- par. 5 drie debietmetingen in het veld
- par. 6 de aanbevolen afvoerrelatie.

Het onderzoek is uitgevoerd onder leiding van ing. W. Boiten van de Sectie Waterhuishouding in nauwe en zeer plezierige samenwerking met de heer Luc Rouws en mevr. Yvonne van den Elshout van het Hoogheemraadschap West-Brabant.

## 2. Beschrijving van de inlaatduiker

De inlaatduiker Oosterhout is aangelegd in een dam tussen het Wilhelminakanaal en het Markkanaal.

Figuur 1 geeft de locatie aan van de duiker (meetstation 15).



Figuur 1. Locatie van de inlaatduiker Oosterhout

Het Wilhelminakanaal mondt circa 10 km stroomafwaarts van de duiker uit op de Bergsche Maas/Amer bij Geertruidenberg. De waterstand op dit scheepvaartkanaal wordt bepaald door de grootte van de Maasafvoer én door het getij op de Amer. Als gevolg fluctueert de bovenwaterstand ter plaatse van de inlaatduiker onder normale omstandigheden als volgt:

$$\text{NAP} + 0,15 \text{ m} < P_1 < \text{NAP} + 0,90 \text{ m}$$

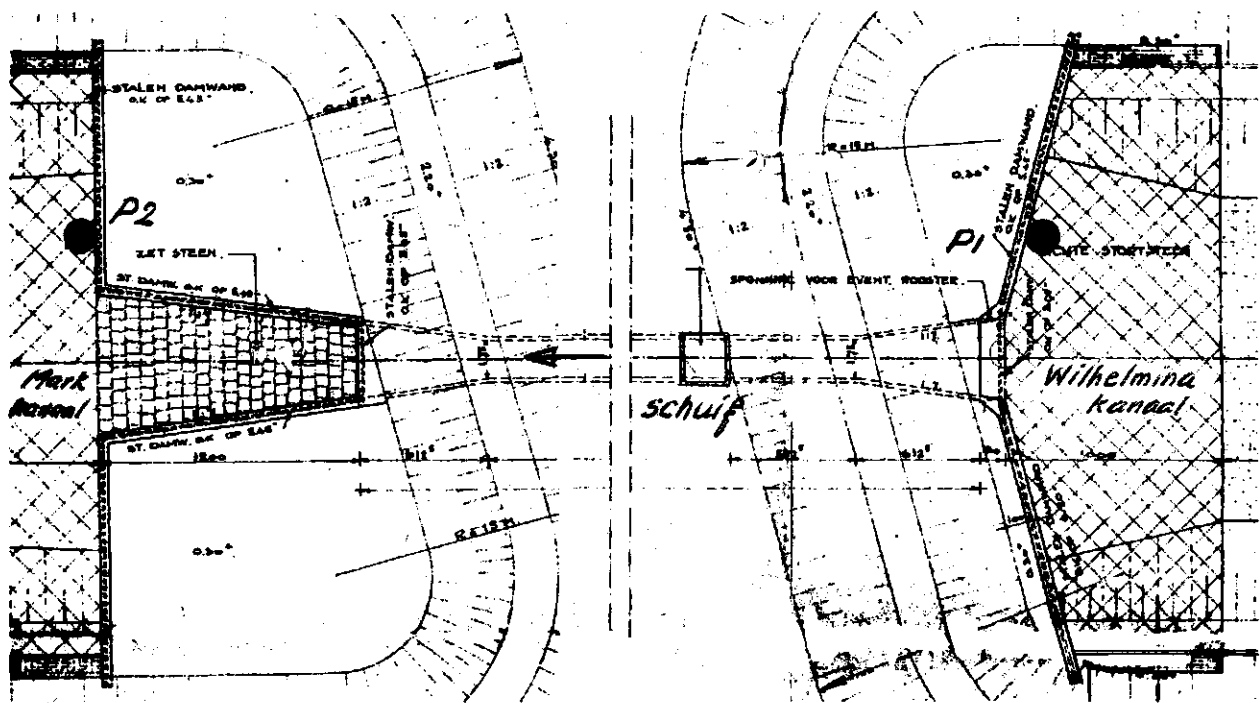
Het Markkanaal mondt circa 5 km stroomafwaarts van de duiker uit op de Mark bij Terheijden. De benedenwaterstand ter plaatse van de inlaatduiker fluctueert als volgt:

$$\text{NAP} + 0,05 \text{ m} < P_2 < \text{NAP} + 0,20 \text{ m}$$

Door het geheel trekken van een schuif in de duiker, wordt gedurende enkele weken per jaar het Markkanaal verversd met water uit het Wilhelminakanaal (bewaken van de waterkwaliteit van het Marksysteem).

De waterstanden  $P_1$  bovenstrooms en  $P_2$  benedenstrooms van de inlaatduiker worden gemeten tegen de stalen damwanden, en leveren kwartierwaarden.

Figuur 2 geeft een beeld van de 78 m lange inlaatconstructie én de locaties van  $P_1$  en  $P_2$ .



Figuur 2 Plattegrond inlaatduiker

Van damwand tot damwand wordt de vormgeving als volgt weergegeven (de afstanden X zijn in de lengteas met  $X = 0$  de locatie van de meetraai voor debietmetingen):

	afstand X (m)	open/dicht	breedte B (m)
stalen damwand, locatie $P_1$	-0,45	open	
voorkant krooshek	0,40	open	3,80
begin versmalling	0,62	open	3,65
begin plafond	1,40	open/dicht	3,44
einde versmalling, begin recht	7,52	dicht	1,75
einde recht, begin verwijding	60,28	dicht	1,75
einde plafond	66,40	dicht/open	3,41
einde verwijding, stalen damwand $P_2$	78,40	open	6,66

Ter aanvulling:

- wanden en bodem zijn in beton (ruwheid niet bekend)
- bodemhoogte NAP – 2,05m, over de gehele lengte
- plafondhoogte NAP – 0,30 m
- de dichte koker 1,75 m x 1,75 m in doorsnede en 65 m lang is steeds geheel gevuld
- de schuif – óf geheel gesloten óf geheel getrokken – ligt ongeveer op  $X = 14.30$  m
- het krooshek heeft hoekige staven  $d = 0,01$  m en h.o.h. 0,13 m
- de kanaalpanen zijn zeer ruim, oppervlakte dwarsdoorsnede  $A = 50$  á  $60$  m<sup>2</sup>.

Her verval over de inlaatduiker heeft een bovenbegrenzing  $P_1 - P_2 \leq 0,85$  m ter bescherming van het stortbed benedenstrooms.

### 3. De tot nu toe gebruikte afvoerformule

Voor de afvoer door een onderwateropening (i.c. een geheel gevuld duikerprofiel) geldt:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2g\Delta h} \quad [1]$$

Hierin zijn:

- Q het debiet ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- C een afvoer- of verliescoëfficiënt (-)
- A oppervlakte dwarsdoorsnede duikerprofiel ( $1,75 \times 1,75 \text{ m}^2$ )
- g versnelling t.g.v. de zwaartekracht ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ )
- $\Delta h$  het verval over de duiker (m)

Bij de inlaatduiker Oosterhout wordt het verval over de gehele constructie (65 m duikerprofiel en 13 m open profiel) gemeten als  $P_1 - P_2$ , waardoor de afvoercoëfficiënt C een iets andere inhoud heeft. Nu geldt:

$$Q = m \cdot A \cdot \sqrt{2g(P_1 - P_2)} \quad [2]$$

waarin de coëfficiënt m alle verliezen (wrijvingsverliezen én lokale verliezen) herbergt tussen de meetpunten  $P_1$  en  $P_2$ . De theoretische bepaling van m wordt behandeld in paragraaf 4.

Het Hoogheemraadschap heeft tot nu toe met formule 3 gewerkt:

- de coëfficiënt m is bepaald aan de hand van stroomsnelheidsmetingen in de situatie waarbij nog geen krooshek aanwezig was. Uit deze metingen volgde  $m = 0,85$ .
- voor A werd de oppervlakte van het duikerprofiel genomen:  $A = 1,75 \times 1,75 = 3,0625 \text{ m}^2$   
formule 2 werd daarmee:

$$Q = 11,53\sqrt{P_1 - P_2} \quad [3]$$

In een later stadium is het krooshek aangebracht, waarna RWS Noord-Brabant op 7 juli 1987 aan de hand van vier stroomsnelheidsmetingen de coëfficiënt m opnieuw bepaalde. De conclusie was toen dat m bepaald met krooshek nauwelijks afweek van m bepaald zonder krooshek. Uit de berekeningen in paragraaf 4 blijkt inderdaad, dat de verliezen door het krooshek klein zijn ten opzichte van de totaalverliezen.

Het Hoogheemraadschap rekent met formule 3:  $Q = 11,53\sqrt{P_1 - P_2}$ .

Niettemin bestaan er nog steeds twijfels en onzekerheden over de effecten van twee veranderingen aan de inrichting van de duiker:

- de extra verliezen na plaatsing van het krooshek
- de gevolgen van de verplaatsing van het meetpunt  $P_1$ .

Om deze onzekerheden weg te nemen, is besloten tot de huidige opdracht, de inlaatduiker te herijken.

#### 4. De afvoerrelatie opgesteld met literatuurgegevens

Van de inlaatduiker Oosterhout is de vormgeving bekend uit de ontwerptekening 1.2070.00.02.3 van het ingenieursbureau DHV, gedateerd in maart 1970. De situatie van het krooshek is in september 2001 opgemeten in het kader van de huidige opdracht. In paragraaf 2 is de geometrie beschreven.

Met behulp van informatie uit de literatuur is het dan redelijk goed mogelijk alle energieverliezen tussen de peilmeetstations  $P_1$  en  $P_2$  te berekenen. Deze verliezen zijn enerzijds de wrijvingsverliezen (ruwheid langs de natte omtrek) en anderzijds de lokale verliezen (intree, geleidelijke en plotselinge vernauwingen en verwijdingen).

Cruciaal voor nogal lange duikers is het inschatten van de wandruwheid voor de 65 m lange duiker. Voor de inlaatduiker Oosterhout is geschat  $k = 0,002$  m hetgeen voor het profiel  $1,75$  m x  $1,75$  m resulteert in een ruwheidcoëfficiënt  $\lambda = 0,02$ . Coëfficiënten voor lokale verliezen zijn ontleend aan Van der Tuin [1964].

Alle verliezen zijn uitgedrukt als

$$\Delta H = x \cdot Q^2 \quad [4]$$

In onderstaand overzicht zijn waarden van  $x$  gegeven voor diverse deelverliezen.  $x = \Delta H/Q^2$  waarbij  $x$  is uitgedrukt in  $10^{-8} \cdot \text{m}^{-5} \cdot \text{s}^2$ .

deeltrajecten	wrijvings- verliezen	lokale verliezen	totale verliezen	percentage v.h. totaal
open inloop vanaf $P_1$ (excl. krooshek)	195	2417	2612	0,4
krooshek	-	4329	4329	0,7
intree naar gesloten duiker	-	131632	131632	21,0
duiker, 65 m lang	388903	69907	458810	73,4
uittree naar open uitloop	-	3065	3065	0,5
open uitloop tot $P_2$	139	25010	25149	4,0
Totaal	389237	236360	625597	100,0

Met de aanname  $k = 0,002$  m (matig afgewerkt, ruw beton met voegen) voor het duikerprofiel wordt het totaalverlies tussen  $P_1$  en  $P_2$ :

$$\Delta H = 0,00625597 Q^2 \quad [5]$$

waaruit volgt:

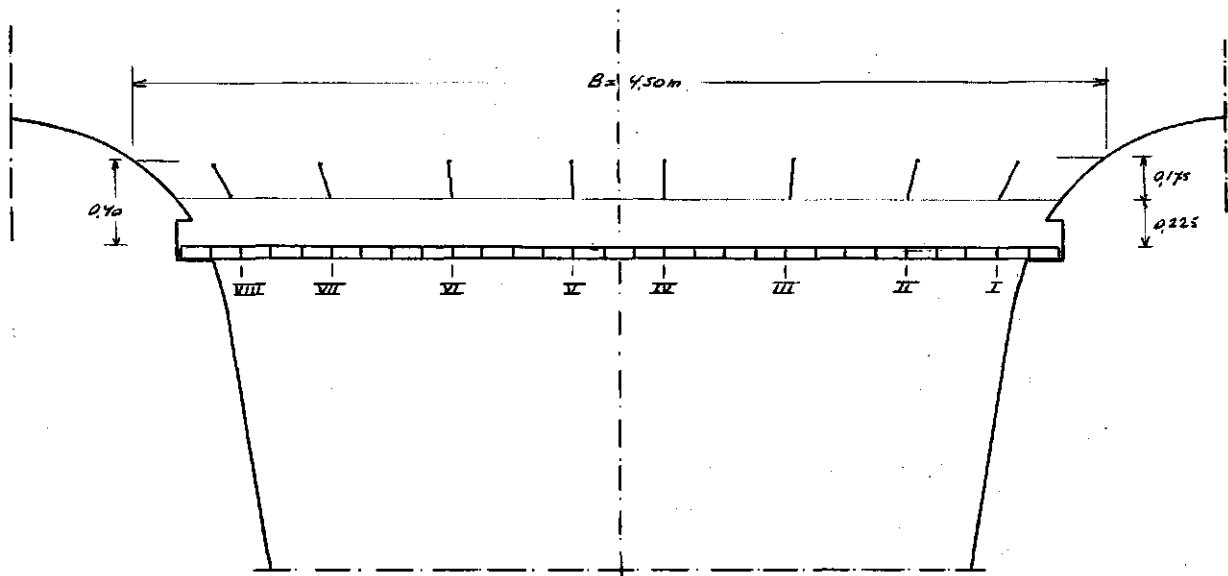
$$Q = 12,64 \sqrt{P_1 - P_2} \quad [6]$$

Tevens blijkt uit de berekening dat de verliezen van het krooshek zeer klein zijn (0,7%).

## 5. Drie debietmetingen in het veld

Als meest geschikte meetraai is gekozen voor het 4,50 m brede profiel op 0,40 m bovenstreams van het krooshek.

Figuur 3 geeft de locatie aan met de daarin gekozen verticalen I t/m VIII.



Figuur 3 De locatie van de meetraai.

In de meetraai zijn de stroomsnelheden gemeten in 8 verticalen en per verticaal op 5 dieptes ten opzichte van de bodem (0,1 d, 0,3 d, 0,5 d, 0,7 d en 0,9 d).

De snelheden zijn gemeten met de elektromagnetische sensor SENSA 2300 gedurende een looptijd van 60 seconden.

Steeds is gemeten gedurende de laagwaterperiode op het Wilhelminakanaal, om tijdens de ongeveer 1,5 uur durende meting met minimaal optredende peilvariaties te werken

Figuur 4 toont het peilverloop op elk der drie meetdagen:

- 13 december 2001 van 13.25 – 15.00 uur
- 23 januari 2002 van 09.20 – 11.10 uur
- 27 maart 2003 van 12.10 – 13.35 uur

Het peilverloop is opgebouwd uit kwartier-gemiddelde waarden.

Voor het berekenen van het debiet uit de gemeten stroomsnelheden én de gemeten bovenwaterstand  $P_1$  werd de volgende procedure gevolgd:

- meting bovenwaterstand  $P_1$ , waaruit de diepte  $d$  wordt afgeleid
- meting van de 40 stroomsnelheden, steeds met de sensor in de stroomrichting, te beginnen met alle 8 snelheden op 0,1 d en afsluitend op 0,9 d
- correctie gemeten snelheden op schuine aanstroming  $v = v_{gem} \cdot \cos \alpha$
- bepaling gewogen gemiddelde snelheid per gemeten diepte  $v_{di}$
- bepaling gemiddeld peilverschil per gemeten diepte en het gemiddelde  $\Delta h$  over de totale meetduur.
- correctie van de snelheden per gemeten diepte op variaties in peilverschil



$$v_{dic} = v_{di} * \sqrt{\Delta h / \Delta h_{gem}}$$

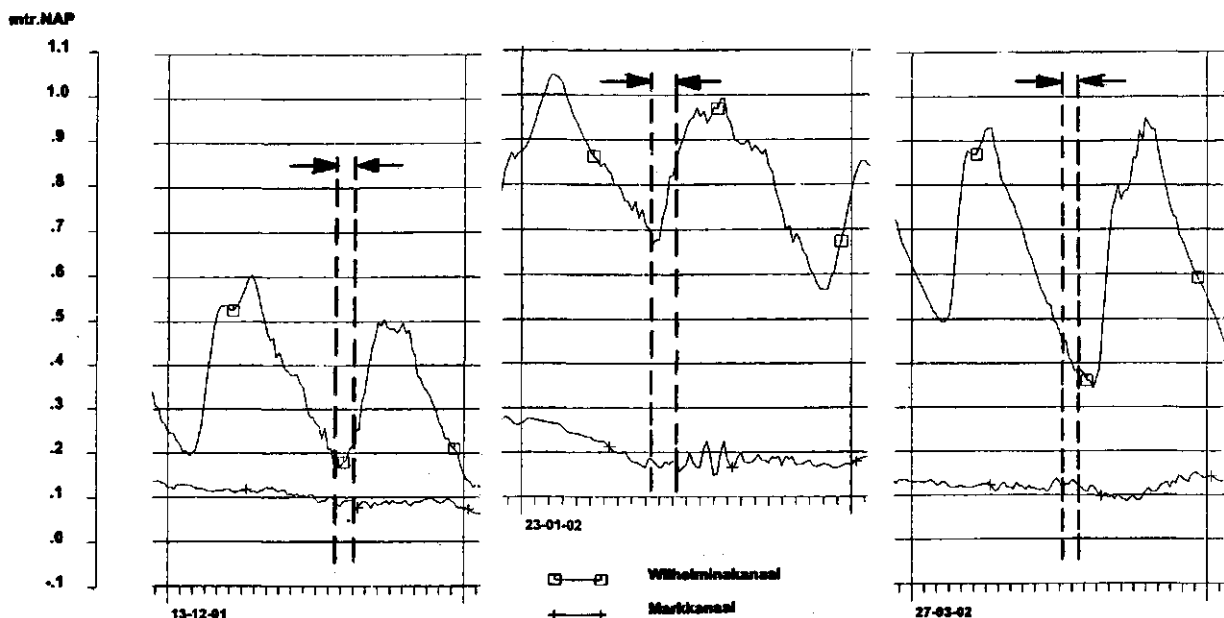
- het uitzetten van de 5 snelheden  $v_{dic}$  in de verticaal, en bepaling van de gemiddelde snelheid  $\bar{v}$  in de (gemiddelde) verticaal
- berekening van het debiet  $Q = B \cdot d \cdot \bar{v}$

De drie debietmetingen zijn als volgt samengevat:

meetdag	waterstand (m NAP)		$P_1 - P_2$ (m)	debiet $Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q / \sqrt{P_1 - P_2}$
	$P_1$	$P_2$			
13 dec. 2001	0,186	0,089	0,097	3,558	11,42
23 jan. 2002	0,747	0,175	0,572	9,595	12,69
27 mrt. 2002	0,414	0,125	0,289	6,788	12,63

#### Evaluatie van de drie veldmetingen

- tijdens alle drie metingen traden in het bovenstrooms pand korte golven op met een amplitude van 0,10 à 0,15 m als gevolg van het schutten van schepen op het doorgaande Wilhelminaknaal. Weliswaar worden deze peilfluctuaties uitgemiddeld, ze zijn verstorend tijdens de debietmetingen, met name bij geringe vervallen  $P_1 - P_2$ .
- de beide laatste metingen leiden tot nagenoeg gelijke coëfficiënten  $Q / \sqrt{P_1 - P_2}$ , die ook nog eens uitstekend overeenkomen met de theoretisch afgeleide coëfficiënt 12,64.
- de eerste meting leidt tot een ca 10% lager resultaat. Mogelijke oorzaken zijn:
  - de hiervoor genoemde peilfluctuaties,
  - een niet geheel gereinigd krooshek, met name onderin.
  - een wellicht iets grotere ruwheid in de duiker omdat er in de periode tussen 18 juli en 13 december 2001 in het geheel niet gespuid is, waardoor eventuele aquatische aangroei ongehinderd kon blijven.



Figuur 4. Het peilverloop bij de inlaatduiker Oosterhout tijdens de meting op 23 januari 2002.

## 6. De aanbevolen afvoerrelatie

- Op basis van de evaluatie in de vorige paragraaf wordt de volgende afvoerrelatie aanbevolen:

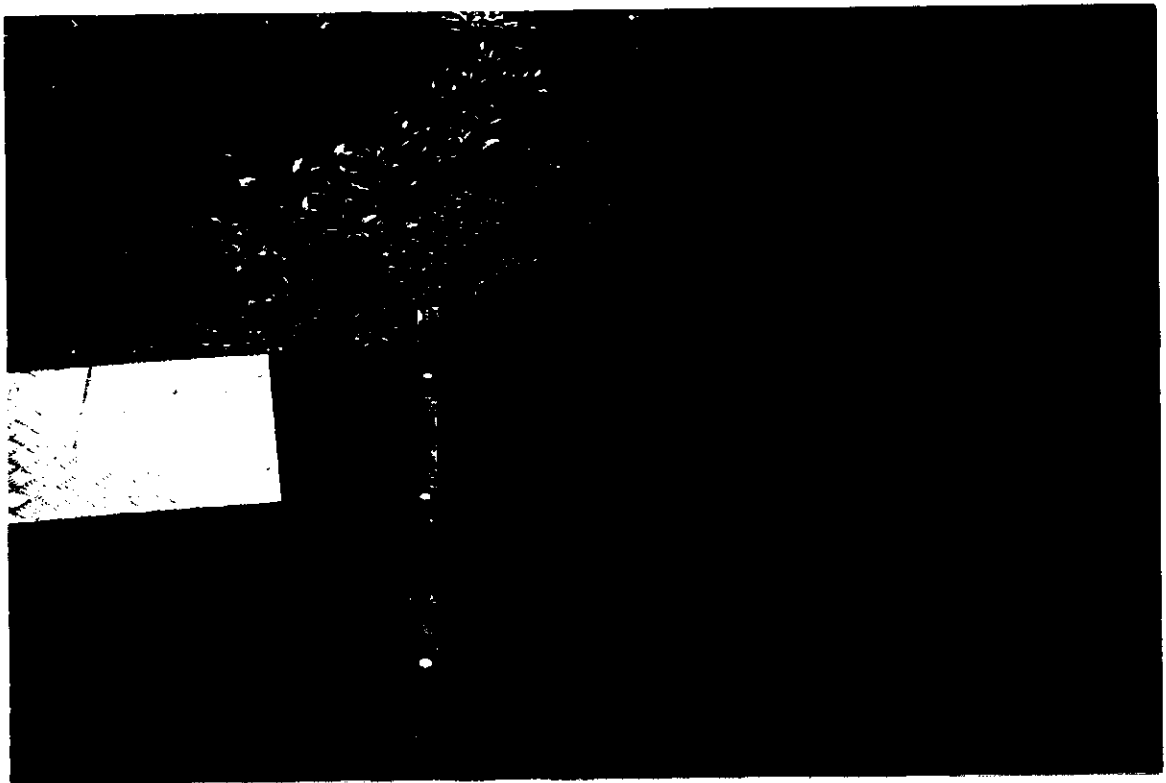
$$Q = 12,66\sqrt{P_1 - P_2}$$

Dit is de gemiddelde waarde van de veldmetingen op 23 januari en 27 maart 2002.

- Blijkbaar was de aanname, gedaan in paragraaf 4, voor de wandruwheid  $k = 0,002$  m in het duikerprofiel, correct. Gezien met name de wrijvingsverliezen in de 65 meter lange duiker ruim 62% van het totale verval  $P_1 - P_2$  veroorzaken, kan worden geconcludeerd dat de afvoerrelatie gevoelig is voor de wandruwheid van het duikerprofiel.
- De bijdrage van het krooshek aan het verval  $P_1 - P_2$  is geringer dan 1%. Niettemin is het zeer gewenst dit krooshek tijdens spui-periodes goed schoon te houden.
- De te verwachten onnauwkeurigheid in de debietbepaling met de relatie  $Q = 12,66\sqrt{P_1 - P_2}$  wordt geschat op  $X_Q = 5\%$  voor vervallen  $(P_1 - P_2) \geq 0,10$  m.



Het bovenstrooms pand: Wilhelminakanaal  
met uiterst links het waterstandmeetpunt P<sub>1</sub>



Het krooshek is geplaatst vóór 1988

## **Literatuurlijst**

**Boiten, W. 1992**

Evaluatie afvoer- en peilmeetstations Hoogheemraadschap van West-Brabant.  
Rapport Q1612 van het Waterloopkundig Laboratorium

**Boiten, W. 2000**

Hydrometry

Collegedictaat IHE Delft en Wageningen UR

**Hamill, L. 1995**

Understanding Hydraulics

Macmillan Press Ltd. London

**Tuin, J.D. van der. 1964**

Informatieblad No. V150-2, lokale verliezen in gesloten leidingen.

Waterloopkundig Laboratorium