

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging

nota WW-WH-79.11

MEETNET IJSSEL

projectcode						
		2	6	5	/	7 8

auteur(s): ir. J.W. van der Made

datum: augustus 1979

bijlagen: I, II, III, IV, V

samenvatting:

De nota geeft de resultaten van de toepassing op de IJssel van in vorige nota's ontwikkelde methoden voor de bepaling van de dichtheid van een meetnet.

nota nr. 79.11.

aan: Voorzitter Projectgroep Meetnetten datum: augustus 1979
van: ir. J.W. van der Made
inzake: meetnet IJssel
bijlagen: 5
afschrift aan: ir. G. Verwolf, ir. A.J. v.d. Steld
project: 265/78

I Achtergrond

Nagegaan is of de tegenwoordige reeks peilschrijvers voldoende is om de waterloopkundige toestand langs de IJssel met voldoende nauwkeurigheid weer te geven.

Onder voldoende nauwkeurigheid wordt hier verstaan dat de aan de stations bereikbare meetnauwkeurigheid ook van de niet bemeten tussenliggende plaatsen verwezenlijkt wordt. De standen aldaar worden bepaald door interpolatie tussen de meetstations. Hierbij is gebruik gemaakt van de zg. optimale interpolatie door middel van meervoudige lineaire regressie. Bij 5 vaste meetstations bedraagt de stand y aan een ander punt.

$$y = A_1 x_1 + A_2 x_2 + A_3 x_3 + A_4 x_4 + A_5 x_5 + B \quad (1)$$

De coëfficiënten werden bepaald door lineaire regressie mede met gebruikmaking van gegevens van de in werkelijkheid wel bemeten stand y .

De coëfficiënten zijn zodanig dat de reststandaardafwijking in y (σ_y) minimaal is. Voor de berekening is bekendheid nodig met alle correlatiecoëfficiënten tussen de x -waarden en tevens tussen y en ieder der x -waarden.

Is S_y de algehele standaardafwijking van de stand y om zijn gemiddelde dan volgt σ_y uit:

$$\sigma_y^2 = \frac{|C_{n+1}|}{|C_n|} S_y^2 \quad (2)$$

behoort bij: nota
datum: 18 juni 1979
bladnr: 2.

Hier is $|C_n|$ de waarde van de determinant van de correlatiematrix van de n meetstations en $|C_{n+1}|$ de overeenkomstige waarde voor $n + 1$ plaatsen, te weten de n stations met de te onderzoeken plaats.

Voor de afleiding van deze betrekking zij verwezen naar de nota WW-WH-79.01.

II Uitkomsten

Het tegenwoordige meetnet langs de IJssel bestaat uit de volgende stations, waarbij de onderstreepte namen duiden op een peilschrijver en de overige op een peilschaal:

Kampen

Katerveer

Wijhe

Olst

Deventer

Zutphen

Dieren

Doesburg

De Steeg

Westervoort-brug

IJsselkop

Achtereenvolgens worden de volgende series stations beschouwd ter berekening van de standaardafwijking in de overige plaatsen, indien aldaar niet gemeten zou worden:

1. Kampen, Katerveer, Olst, Zutphen, Doesburg, IJsselkop;
2. Kampen, _____, Olst, Zutphen, Doesburg, IJsselkop;
3. Kampen, Katerveer, _____, Zutphen, Doesburg, IJsselkop;
4. Kampen, Katerveer, Olst, _____, Doesburg, IJsselkop;
5. Kampen, Katerveer, Olst, Zutphen, _____, IJsselkop;
6. Kampen, Katerveer, _____, Zutphen, _____, IJsselkop.

rijkswaterstaat

behoort bij: nota
datum: 18 juni 1979
bladnr: 3.

De bewerking is uitgevoerd voor de 8h standen opgetreden om de 3 dagen gedurende de jaren 1977 en 1978.

Deze keuze is gedaan om de volgende redenen:

1. Vóór 1976 week het net in verschillende opzichten af van het huidige (plaatsen stations, meetinrichting);
2. Het jaar 1976 was ongewoon droog en daarmee niet representatief voor een meerjarige toestand;
3. De jaren 1977 en 1978 voldeden redelijk aan de meerjarige frequentieverdeling van de Rijnafvoeren;
4. Vanwege de optredende autocorrelatie zijn slechts de standen, optredende om de 3 dagen gebruikt. Hierdoor werd het gebruik van overvloedige informatie zoveel mogelijk vermeden, zonder afbreuk te doen aan het uiteindelijke resultaat.

Bijlage I geeft de gevonden correlatiecoëfficiënten, gemiddelden en algehele standaardafwijkingen. De hieruit berekende reststandaardafwijkingen vindt men in bijlage II.

Voor de "vaste" stations zelf zijn geen waarden ingevuld. Een benadering hiervoor vormt de waarde $\epsilon\sqrt{2}$, waarbij ϵ de standaardafwijking in de metingen voorstelt. Deze kan per station verschillen. Een voor Deventer ingesteld onderzoek wees uit dat voor dit station deze waarde te stellen is op $2,5 \text{ cm} < \epsilon < 2,7 \text{ cm}$. Voor Zutphen lagen de uitkomsten op $2,3 \text{ cm} < \epsilon < 3,2 \text{ cm}$. Voor de andere stations kan ϵ een waarde hebben, die enigszins van deze getallen verschilt. Het is echter gewenst om tot een standaardwaarde te komen, waarop de te stellen nauwkeurigheidseis kan worden gebaseerd. Nemen we hiervoor $\epsilon = 2,5 \text{ cm}$, dan wordt de maximaal toelaatbare waarde voor de standaardafwijking: $\epsilon\sqrt{2} = 3,5 \text{ cm}$. Indien de waarden aan de tussenliggende punten hieraan gelijk of kleiner zijn, dan kan het meetnet voldoende worden geacht.

behoort bij: nota

nr:

datum: 18 juni 1979

bladnr: 5.

- . Gebruikt men deze lijn later om de stand aan station II uit de waargenomen stand aan station I af te leiden dan bevat alleen het laatste gegeven meetfouten. De variantie wordt dan slechts ϵ^2 ; de oorspronkelijke waarde $2\epsilon^2$ wordt dus met ϵ^2 gereduceerd.

Voor verder van elkaar verwijderde stations kan men dezelfde redenering toepassen. De variantie ten opzichte van de geconstrueerde betrekkinglijn moet bij later gebruik worden gereduceerd met $1 \times \epsilon^2$.

Voor de toetsing kan men op grond hiervan twee wegen bewandelen:

1. men vergelijkt de waarden van de standaardafwijking uit bijlage II met het criterium $\epsilon\sqrt{2}$.
2. men reduceert de waarden uit bijlage II door de varianties (= de kwadraten daarvan) met ϵ^2 te verminderen en de resultaten daarvan te vergelijken met ϵ .

Het zal duidelijk zijn dat dit van de conclusies geen verschil maakt. zodat we de extra bewerkingen volgens 2. kunnen vermijden.

III Beschouwing van de resultaten

Uit bijlage II blijkt dat bij de bestaande serie peilschrijvers (serie 1) de standen aan de overige stations met voldoende nauwkeurigheid konden worden berekend over de onderzoeksperiode.

Ook bij weglating van één der stations Katerveer, Zutphen of Doesburg bleek aan de gestelde eis nog steeds te kunnen worden voldaan (respectievelijk reeks 2, reeks 4, reeks 5). Het station Olst had een zodanige invloed dat weglating tot overtreding van de gestelde eis leidde in Deventer (serie 3). Weglating van Olst en Doesburg (serie 6) geeft een resultaat dat bovenstaande conclusies bevestigt.

Daarnaast kan worden opgemerkt dat het weglaten van het station Katerveer bezwaarlijk is uit het oogpunt van scheepvaartbelangen; dit in verband met de nabij gelegen Spooldersluis. Geval 2 kan dus ook worden uitgesloten.

behoort bij: nota
datum: 18 juni 1979
bladnr: 6.

- Resten nog de series 1, 4 en 5. Blijkens de resultaten heeft Doesburg een ingrijpender invloed op zijn omgeving dan Zutphen. We onderzoeken nu eerst het geval van weglating van Zutphen (serie 4) nader aan de hand van een periode, vallende buiten de periode waarvoor de betrekkingen zijn vastgesteld. Mocht dit tot ongewenste resultaten leiden dan komt serie 5 zeker niet meer in aanmerking. Tenslotte wordt nog serie 1 op dezelfde wijze als serie 4 getoetst.

Als toetsingsperiode is genomen de periode van de maanden januari, februari en maart 1979.

Ook hier zijn standen gebruikt, waargenomen om de 3 dagen.

Tijdens de onderzochte dagen varieerden de afvoeren van de Rijn tussen 1347 m³/s (24 januari) en 6459 m³/s (19 maart). Hoewel geen extremen werden bereikt kan toch gesteld worden dat deze periode de in het algemeen voorkomende toestand redelijk goed weergeeft.

Uitgaande van de stations van een kernmeetnet zijn de waarden aan de overige (aanvullende) stations berekend volgens formule 1. De coëfficiënten A en B zijn berekend volgens de methode der kleinste kwadraten voor lineaire regressie.

Bijlage III geeft de voor de series 4 en 1 berekende en gebruikte coëfficiënten.

In bijlage IV vindt men de resultaten voor een kernmeetnet volgens serie 4: Kampen, Katerveer, Olst, Doesburg, IJsselkop.

Uitgaande van de eis dat de standaardwaarde van de verschillen tussen de gemeten en berekende waarden ten hoogste $\sigma = 3,5$ cm mag zijn en dat daarmee een afwijking van $2\sigma = 7$ cm nog juist als goed mag worden aangemerkt zijn alle gevallen waarvoor de afwijking > 7 cm is in de tabel onderstreept. In totaal is dit 60x voorgekomen op een totaal van 180 gevallen (30 dagen voor 6 stations), dat wil zeggen in 55% van de gevallen. Dit komt overeen met de verwachtingswaarde van de overschrijdingsfrequentie van 2σ en is daarmee op zichzelf wel aanvaardbaar te achten.

behoort bij: nota

nr:

datum: 18 juni 1979

bladnr: 7.

Per station afzonderlijk blijkt evenwel, dat van het totaal aantal afwijkingen er een vijftal bij Zutphen voorkomen, op een totaal van 30. Dit moet als te veel worden aangemerkt. Voor een goede weergave van het waterstandsverloop aldaar zal dus toch te Zutphen een peilmeetstation nodig zijn. Dit geval is nader uitgewerkt op bijlage V.

We hebben nu te doen met een kernmeetnet volgens serie 1. Uit bijlage V blijkt dat in 5 gevallen niet aan de gestelde eis wordt voldaan op een totaal aantal van $5 \times 30 = 150$ gevallen (3,3%). Deze zijn redelijk gelijkmatig verdeeld over de stations. Dit is aanvaardbaar.

Over de uitschieters, die in de tabellen IV en V voorkomen kan nog worden opgemerkt dat een aantal ervan voorkomen tijdens hoogwatergolven, vooral in de maand maart. Deze grote afwijkingen kunnen vermoedelijk ontgaan of op zijn minst gereduceerd worden indien in de toegepaste betrekking mede de tijdsfactor wordt opgenomen. Dit kan gebeuren indien de betrekking wordt gebaseerd op momentane en op eerder of later voorgekomen standen. Hiernaar zal een nader onderzoek worden ingesteld.

Voor de bepaling van de waterstanden aan tussenliggende punten is een kernmeetnet volgens serie 1 blijkbaar ruim voldoende.

IV Conclusie

Als meest geschikte reeks meetstations komt naar voren de serie:

- Kampen
- Katerveer
- Olst
- Zutphen
- Doesburg
- IJsselkop

De overige stations kunnen gehandhaafd blijven om informatie te leveren over variaties en verloop in de correlaties. Hiervoor kan volstaan worden met minder frequente waarnemingen dan tot dusver.

	Kampen	Katerveer	Wijhe	Olst	Deventer	Zutphen	Dieren	Doesburg	De Steeg	Westervoort - brug	Ysselkop
Kampen		0,902604	0,848124	0,842832	0,832904	0,827921	0,818122	0,815635	0,81176	0,800086	0,802126
Katerveer			0,986463	0,984105	0,976336	0,970518	0,96268	0,960305	0,954007	0,942014	0,941783
Wijhe				0,999080	0,996653	0,992652	0,986492	0,983708	0,975144	0,960359	0,959401
Olst					0,998490	0,995840	0,990707	0,988277	0,980760	0,967082	0,966296
Deventer						0,998014	0,99398	0,991657	0,98414	0,970655	0,969619
Zutphen							0,997669	0,996097	0,990317	0,978264	0,977585
Dieren								0,999395	0,996244	0,987493	0,986843
Doesburg									0,997903	0,990914	0,99033
De Steeg										0,996409	0,996424
Westervoort											0,999275
Ysselkop											

Station	Gemiddelden NAP + cm	Standaardafwijking Sy cm
Kampen	1,7	21,9
Katerveer	70,8	44,9
Wijhe	175,0	65,0
Olst	232,2	73,3
Deventer	319,3	81,7
Zutphen	464,7	85,8
Dieren	633,3	89,1
Doesburg	673,0	90,1
De Steeg	760,1	90,7
Westervoort-brug	884,9	92,5
Ysselkop	907,6	91,8

Basisgrootheden, gebruikt bij de in
deze nota uitgevoerde berekeningen

Ontleend aan 8h-waterstanden over
de jaren 1977....1978, éénmaal per
3 dagen

Totaal aantal n = 243

Bijlage II

Reststandaardafwijkingen vandewaterstand in cm aan plaatsen langs de IJssel indien aldaar geen directe metingen plaatsvinden, maar de waterstanden worden afgeleid uit stationswaarnemingen ter plaatse St.

Station	serie					
	1	2	3	4	5	6
Kampen (peilschrijver)	St	St	St	St	St	St
Katerveer (peilschrijver)	St	3,49	St	St	St	St
Wijhe	2,04	2,08	3,39	2,14	2,13	3,50
Olst (peilschrijver)	St	St	2,82	St	St	2,83
Deventer	2,69	2,83	3,69	2,82	2,71	3,73
Zutphen (peilschrijver)	St	St	St	3,16	St	St
Dieren	2,13	2,15	2,14	2,25	3,31	3,34
Doesburg (peilschrijver)	St	St	St	St	3,29	3,31
De Steeg	2,41	2,41	2,41	2,42	2,96	2,96
Westervoort-brug	3,28	3,31	3,29	3,31	3,43	3,43
IJsselkop (peilschrijver)	St	St	St	St	St	St
Aantal stations	6	5	5	5	5	4

SERIE 4

kernstation → afg. station ↓	Kampen A ₁	Katerveer A ₂	Olst A ₃	Zutphen A ₄	Doesburg A ₅	IJsselkop A ₆	constante B (cm)
Wijhe	-0,0333	0,1832	0,8152	-	0,0582	-0,0838	9,7264
Deventer	0,1140	-0,3439	1,0878	-	0,2564	-0,0883	-1,5576
Zutphen	0,1502	-0,3374	0,7319	-	0,6155	-0,1228	15,6555
Dieren	0,0614	-0,1603	0,2398	-	0,9161	-0,0555	22,7056
De Steeg	0,0289	-0,0465	0,0218	-	0,5778	0,4218	-13,4453
Westerv. brug	-0,0940	0,1649	-0,1837	-	0,2198	0,8771	-27,8985

SERIE 1

kernstation → afg. station ↓	Kampen A ₁	Katerveer A ₂	Olst A ₃	Zutphen A ₄	Doesburg A ₅	IJsselkop A ₆	constante B (cm)
Wijhe	-0,0039	0,1171	0,9586	-0,1959	0,1788	-0,1078	12,7939
Deventer	0,0743	-0,2548	0,8945	0,2641	0,0938	-0,0559	-5,6922
Dieren	0,0258	-0,0802	0,0661	0,2373	0,7701	-0,0264	18,9908
De Steeg	0,0158	-0,0171	-0,0422	0,0873	0,5241	0,4326	-14,8124
Westerv. brug	-0,0741	0,1201	-0,0865	-0,1328	0,3015	0,8608	-25,8195

Regressie coëfficiënten

voor bepaling van de standen

aan de afgeleide stations

uit die aan de kernstations.

$$y = A_1 x_1 + A_2 x_2 + A_3 x_3 + A_4 x_4 + A_5 x_5 + A_6 x_6 + B$$

x₁ = stand Kampen

x₂ = " Katerveer

x₃ = " Olst

x₄ = " Zutphen

x₅ = " Doesburg

x₆ = " IJsselkop

y = " afgeleid station.

De standen worden uitgedrukt in NAP + cm.

kern meet net (serie 4)

aanvullende stations

Bijlage IV

Kampen		Katerveer		Olst		Donsburg		IJsselkrop						Wijhe		Deventer		Zutphen		Dieren		De Slag		Westersbrug					
														Waarn		ber		Waarn		ber		Waarn		ber		Waarn		ber	
Jan																													
3	19	120	340	872	1140									260	263	449	452	621	624	821	822	975	974	1120	1119				
6	43	170	406	875	1093									324	330	515	514	663	666	836	836	948	955	1070	1073				
9	32	118	300	727	931									242	239	394	392	530	533	692	692	793	801	910	910				
12	28	92	243	660	878									190	189	330	326	464	465	624	624	739	740	854	855				
15	12	76	222	646	868									170	169	308	304	445	445	608	608	725	728	850	846				
18	- 9	53	148	619	849									146	146	280	278	414	418	581	581	704	704	833	826				
21	- 20	40	188	613	847									135	136	269	264	407	410	572	575	701	700	831	824				
24	- 11	47	188	604	835									139	137	262	267	400	405	566	567	693	689	819	811				
27	- 16	40	186	612	847									134	134	265	267	400	409	570	574	700	699	829	823				
30	- 21	40	190	615	846									138	138	273	272	410	413	579	577	701	700	830	823				
Feb																													
2	- 12	55	214	649	874									153	159	301	300	444	444	605	611	735	732	854	852				
5	10	105	310	785	1030									238	241	412	411	565	565	739	743	889	872	1010	1007				
8	30	153	384	877	1110									308	308	494	494	651	653	835	834	967	964	1090	1090				
11	32	162	392	886	1143									318	314	501	499	655	658	842	841	986	983	1121	1121				
14	37	191	428	922	1184									350	347	535	534	693	692	873	876	1017	1020	1165	1163				
17	73	241	472	951	1240									395	388	570	572	720	724	901	904	1065	1060	1219	1215				
20	72	237	454	915	1159									378	377	552	551	697	700	871	872	1008	1005	1140	1133				
23	40	175	388	829	1036									320	318	489	486	628	630	791	792	907	904	1016	1017				
26	40	114	316	754	960									250	251	413	413	550	556	716	718	834	829	941	940				
Mar																													
1	- 1	80	265	705	912									204	205	359	359	499	504	667	669	782	781	845	842				
4	14	106	301	708	890									235	241	401	394	540	529	672	678	770	773	874	869				
7	24	105	292	746	966									225	229	394	389	543	538	702	707	828	827	942	945				
10	8	128	330	783	991									256	264	433	428	584	575	743	744	863	858	930	973				
13	44	156	378	858	1048									305	303	487	484	639	640	813	816	900	948	1075	1076				
16	51	202	452	947	1236									360	365	559	560	716	717	894	901	1037	1057	1214	1210				
19	120	262	486	959	1238									412	402	582	587	729	739	906	914	1068	1064	1216	1211				
22	88	241	457	918	1157									381	380	550	556	697	705	873	876	1010	1006	1138	1136				
25	54	200	416	870	1088									342	343	515	515	658	663	831	830	953	949	1071	1069				
28	42	165	379	826	1040									310	308	480	479	621	624	785	789	910	904	1022	1019				
31	40	152	374	854	1090									300	299	480	480	630	636	810	812	942	942	1070	1068				
												aantal malen verricht (waarn - ber)		> 7000 :		2x		0x		5x		0x		2x		1x			

kern meetnet (serie 1)

aanvullende stations

		Kampen	Katerveer	Gist	Zutphen	Doornburg	Usselkoop	Wijhe		Doventer		Dieren		De Steeg		Westerk. brug			
								waarn	ber	waarn	ber	waarn	ber	waarn	ber	waarn	ber		
Jan																			
3	19	120	340	621	872	1140		260	264	449	451	821	821	975	973	1120	1120		
6	43	170	406	663	875	1093		324	330	515	513	836	836	948	955	1070	1073		
9	32	118	300	530	727	931		242	240	394	391	692	691	793	801	910	910		
12	28	92	243	464	660	878		190	189	330	326	624	624	739	740	854	855		
15	12	76	222	445	646	868		170	169	308	304	608	608	725	728	850	846		
18	- 9	53	198	414	619	849		146	147	280	277	581	580	704	704	833	827		
21	- 20	40	188	407	613	847		135	136	269	268	572	574	701	699	831	824		
24	- 11	47	188	400	604	835		139	138	262	265	566	565	693	689	819	812		
27	- 16	40	186	400	612	847		134	136	265	265	570	572	700	698	829	825		
30	- 21	40	190	410	615	846		138	138	273	271	579	576	701	700	830	823		
Feb																			
2	- 12	55	214	444	649	874		153	159	301	300	603	610	735	732	854	852		
5	10	105	310	565	785	1030		238	241	412	411	739	743	888	877	1010	1008		
8	30	153	384	651	877	1110		308	308	494	493	835	833	967	963	1090	1091		
11	32	162	392	655	886	1143		318	314	501	498	842	840	986	982	1121	1121		
14	37	191	428	693	922	1184		350	347	535	535	873	876	1017	1020	1165	1162		
17	73	241	472	720	951	1240		395	389	570	571	901	903	1065	1060	1219	1215		
20	72	227	454	697	915	1159		378	378	552	550	871	871	1008	1005	1140	1139		
23	40	175	388	628	829	1036		320	319	489	485	791	792	907	904	1016	1017		
26	10	114	316	550	754	960		250	253	413	411	716	717	834	829	941	940		
Mrt																			
1	- 1	80	265	499	705	912		204	206	359	358	667	667	782	780	895	892		
4	14	106	301	540	708	890		235	239	401	397	672	681	770	774	874	868		
7	24	105	292	543	746	966		225	228	394	390	702	708	828	828	942	944		
10	8	128	330	584	783	991		256	263	433	430	743	746	863	859	980	972		
13	44	156	378	639	858	1098		305	303	487	484	813	816	950	948	1075	1076		
16	51	202	452	716	947	1236		360	365	559	560	894	901	1057	1057	1214	1210		
19	120	262	486	729	958	1238		412	404	582	584	906	911	1068	1063	1216	1212		
22	88	241	457	697	918	1157		381	382	550	554	873	874	1010	1006	1138	1137		
25	54	200	416	658	870	1088		342	344	515	514	831	824	953	949	1071	1070		
28	42	165	379	621	826	1040		310	309	480	478	785	788	910	904	1022	1022		
31	40	152	374	630	854	1090		300	301	480	479	810	811	942	942	1070	1064		
								aantal verschil (waarn ber)		70m									