

Verstedelijking, industrie en zware zomerregens: een verkennende studie

Inleiding

De toenemende aandacht voor de reacties van de natuur op de activiteiten van de mens heeft er reeds toe geleid dat bij de beoordeling van ingenieursontwerpen thans ook de weerslag op het milieu in de beschouwingen wordt betrokken. Een volgende stap dient dan in te houden dat wordt nagegaan welke gevolgen de door de mens veroorzaakte verandering van de omgeving op zijn beurt moet hebben ten aanzien van de normstelling voor ingenieursontwerpen. Zo is de vraag die in deze studie



D. A. KRAIJENHOFF
VAN DE LEUR
LH Wageningen



H. PRAK
LH Wageningen

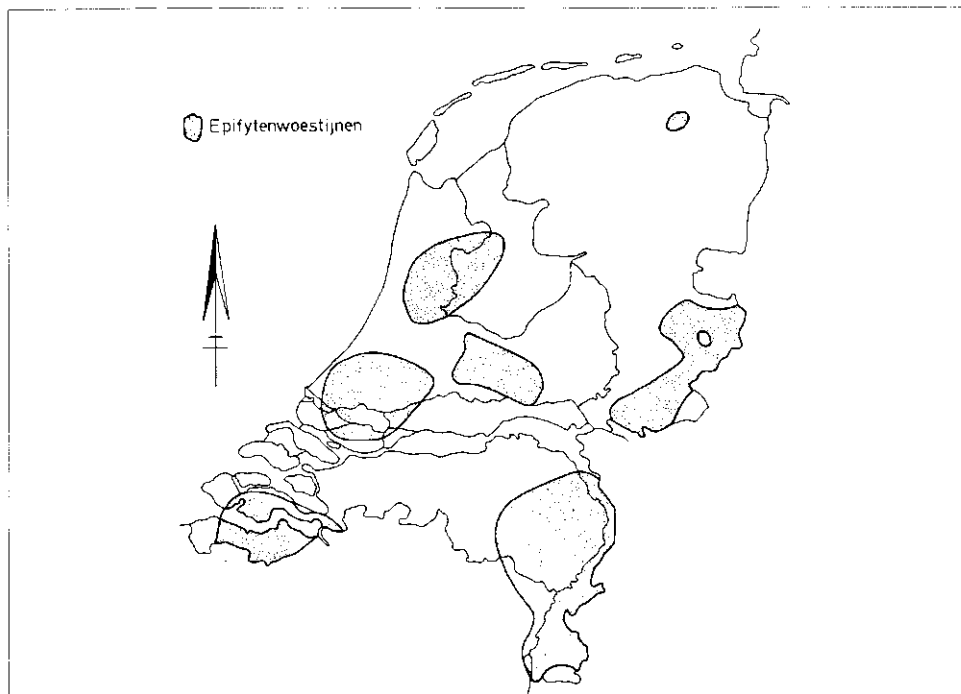
wordt gesteld ook tweeledig:

— Hoe is de invloed van verstedelijking en industriële ontwikkeling op de zomerneerslag?

— Welke conclusies zouden daaruit moeten worden getrokken met betrekking tot de ontwerpcriteria voor rioleringen?

Men heeft op vele plaatsen in de wereld al vastgesteld dat grote steden en industrie, door hun van de landelijke omgeving afwijkende structuur, energiehuishouding en produktie van afvalstoffen, een verandering van het klimaat hebben teweeggebracht die zich niet alleen in de stad zelf, maar ook in zijn omgeving doet gevoelen. Reeds in 1950, dus voordat de grootscheepse industrialisatie op gang gekomen was, bracht Barkman [1] de invloed van steden en industrie in kaart, zoals die zich in het verdwijnen van korstmossen manifesteerde (afb. 1). De Wit [2] moest onlangs constateren dat dit effect algemeen was geworden. De schaarste aan epifyten hing samen met het SO_2 -gehalte van de lucht. Gaat het hierbij om gasvormige verontreinigingen en in regen en mist opgeloste zure bestanddelen, ook wat de regenhoeveelheid betreft heeft men in vele studies kunnen vaststellen dat er sprake is van een verandering in het oorspronkelijke neerslagpatroon. Zie de artikelen van Huff en Changnon [3] en Plate [4].

Voor Zuid-Holland vond Yperlaan [5] eveneens een hogere neerslag boven de steden bij ZW-wind in winter en voorjaar. Ook meende hij aanwijzingen te vin-



Afb. 1 - Het voorkomen van korstmossen in 1950 (Barkman).

den dat bij N-wind in de zomer de zwaarste van regenbuien boven Rotterdam en even benedenwinds daarvan, groter zou zijn. De onderzoekingen in de Verenigde Staten, waarover door Huff werd gerapporteerd, brachten onder meer aan het licht dat stedelijke agglomeraties en industrieën vooral een stimulerende werking kunnen hebben op zich reeds ontwikkelende regenbuien in onweersachtige systemen. De verzwarende van heftige regens op St. Louis en benedenwindse gebieden was opmerkelijk en bedroeg een veelvoud van de reeds bekende gemiddelde verhoging van de neerslag van stedelijke invloeden. Men kan zich dan ook de vraag stellen of het oordeel van Huff, dat dit verschijnsel aanleiding behoort te zijn tot een aanpassing van de ontwerpcriteria voor regenrioleringen in deze steden, ook voor Rotterdam en andere plaatsen in Nederland van toepassing zou moeten zijn.

Immers ook in Nederland kent men in de zomermaanden de zware onweersbuien die in korte tijd grote hoeveelheden regen produceren. In een landelijk gebied zal men, wat de waterbeheersing betreft, daar alleen maar moeite mee hebben wanneer het ondiepe grondwater door een intensieve peilbeheersing op een constant niveau wordt onderhouden, dus in sommige tuinbouwgebieden en bloembollenstreken. In de stad ligt dit echter anders; daar veroorzaken de zware zomerregens de piekbelasting van het rioleringsstelsel. In feite ontleent men de ontwerpcriteria aan de nogal summierse gegevens die over deze kortdurende heftige regens beschikbaar zijn,

meestal zoals die door het KNMI te De Bilt zijn waargenomen. Een systematische bestudering van deze regens met het oog op mogelijke gebiedseffekten in Nederland is de schrijvers niet bekend. Wel werd uit Hilversum vernomen dat men daar al tientallen jaren geleden, in overleg met het KNMI, de onwerpnorm met 10 % had verhoogd.

Het door Huff vermelde stadseffekt op onweersbuien was aanleiding tot een poging om ook voor Nederland de verdeling van zware zomerbuien na te gaan. Hier kan echter niet worden beschikt over een dicht netwerk van honderden regenschrijvers gecombineerd met radar, zoals die voor dit doel in de omgeving van St. Louis en Chicago [6] in bedrijf zijn. In Nederland moest worden uitgegaan van de daggegevens die door het KNMI op haar netwerk van 200 à 300 neerslagstations zijn verzameld en in jaarboeken [7] zijn gepubliceerd. Uitgangspunt van dit onderzoek is daarom de aanname dat in Nederland het optreden van hoge dagneerslagen in de zomermaanden veroorzaakt wordt door soortgelijke buimechanismen als waarover Huff heeft gerapporteerd.

Analyse

Alle, door het KNMI voor Nederland gerapporteerde, dagneerslagen in de maanden mei, juni, juli, augustus en september over de jaren 1933 t/m 1975 zijn doorgenomen. Daarbij werden de stationdagen met 30 mm en meer genoteerd. Bij de verwerking van deze gegevens werd een splitsing gemaakt tussen de reeks 1933 t/m 1956 en de

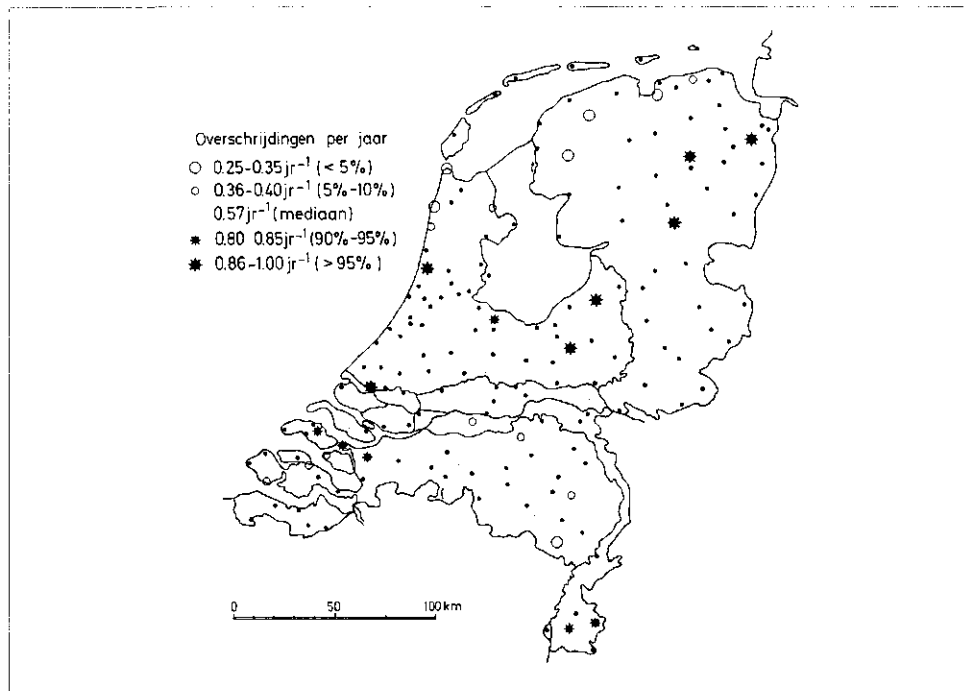
reeks 1957 t/m 1975. In de eerste periode van 24 jaren was er nog maar in geringe mate sprake van industrievestiging zodat een vergelijking van beide reeksen een eventueel effect van de industrialisatie zichtbaar zou kunnen maken. Aangezien het onderzoek tot de zomermaanden beperkt is, hoeft er niet aan de invloed van verwarming van kassen en gebouwen en de daarmee verband houdende luchtvervuiling te worden gedacht.

TABEL I - Het aantal dagneerslagen $\geq 30,0$ mm in de periode 1933-1956 gedurende de maanden mei - september.

Kolom 1: het aantal dagneerslagen $\geq 30,0$ mm.
Kolom 2: het aantal stations met het in kolom 1 aangegeven aantal dagneerslagen $\geq 30,0$ mm.
Kolom 3: relatieve frequentie van de in kolom 2 gegeven aantallen (N = 170).
Kolom 4: cumulatieve frequentie-verdeling.

1	2	3	4
5	0	.000	.000
6	1	.006	.006
7	2	.012	.018
8	3	.018	.035
9	9	.053	.088
10	11	.065	.153
11	7	.041	.194
12	17	.100	.294
13	18	.106	.400
14	22	.129	.529
15	17	.100	.629
16	10	.059	.688
17	14	.082	.771
18	13	.076	.847
19	13	.076	.924
20	6	.035	.959
21	1	.006	.965
22	3	.018	.982
23	2	.012	.994
24	1	.006	1.000
≥ 25	0	.000	1.000

In tabel I zijn voor de periode '33 - '56 de aantallen stations met aantallen dagneerslagen ≥ 30 mm vermeld. Hier is in het bijzonder aandacht besteed aan de cumulatieve frequentieverdeling in de vierde kolom. Teneinde mogelijke systematische onregelmatigheden in de ruimtelijke verdeling op te kunnen sporen is in afb. 2 aangegeven welke stations met hun aantallen liggen in resp. de laagste 5 %, de laagste 10 %, de hoogste 10 % en de hoogste 5 %. Tevens zijn in de afbeelding de met deze percentages corresponderende frequenties vermeld. Er blijkt een preferentiezone voor hoge zomer-dagneerslagen dwars over Nederland te liggen in de richting ZW-NO. Behalve in deze centrale preferentiezone blijken er ook in Zuid Limburg meer zware zomerregens te zijn gevallen. Een poging tot verklaring van de gevonden verdeling zal hier niet worden gedaan. De ongelijkmatigheid kan worden aangeduid door de verhouding tussen de 95 % grens en de mediaan. Voor de beschouwde 24 jaar ('33-'56) is deze 1,49.



Afb. 2 - Dagneerslagen ≥ 30 mm (Zomers, 1933-1956).

TABEL II - Het aantal dagneerslagen $\geq 30,0$ mm in de periode 1957-1975 gedurende de maanden mei - september.

De betekenis van de kolommen is dezelfde als in tabel I, behalve bij kolom 3 is N nu 296.

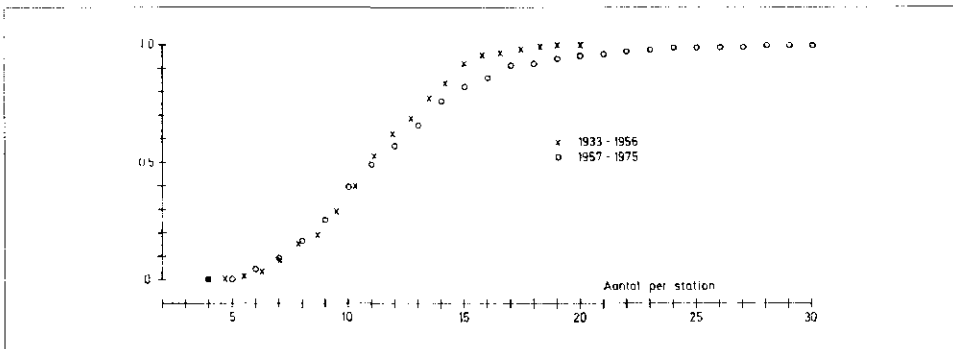
1	2	3	4
4	0	.000	.000
5	1	.003	.003
6	13	.044	.047
7	13	.044	.091
8	20	.068	.159
9	29	.098	.257
10	40	.135	.392
11	29	.098	.490
12	23	.078	.568
13	27	.091	.659
14	30	.101	.760
15	18	.061	.821
16	12	.041	.861
17	16	.054	.916
18	4	.014	.920
19	5	.017	.946
20	3	.010	.956
21	3	.010	.966
22	3	.010	.976
23	3	.010	.986
24	1	.003	.990
25	0	.000	.990
26	0	.000	.990
27	1	.003	.993
28	1	.003	.997
29	1	.003	1.000
≥ 30	0	.000	1.000

Tabel II geeft nu een soortgelijk beeld voor de periode '57 - '75. De ongelijkmatigheid is duidelijk toegenomen, want de 95 % - 50 % verhouding ligt voor deze 19 jaar op 1,74. Door het aantal dagneerslagen ≥ 30 mm in de periode '33 - '56 te reduceren met een faktor 19/24 kunnen beide verdelingen in één figuur worden weergegeven (afb. 3). De medianen van beide frequentieverdelin-

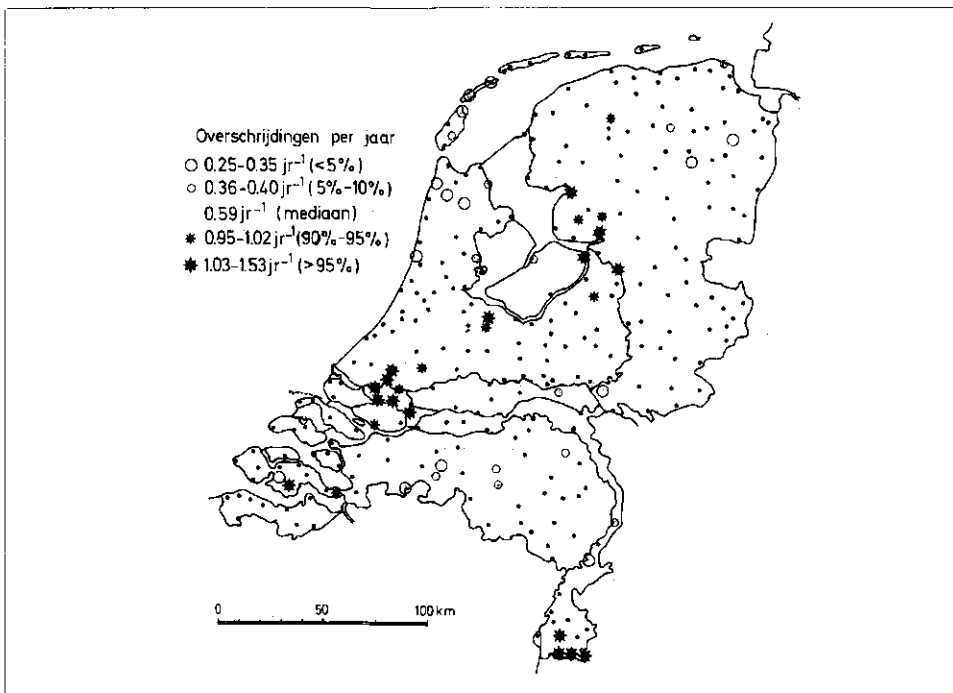
gen zijn vrijwel gelijk, alleen is er in de nieuwe periode een toename van de lage en zeer hoge aantallen opgetreden, gepaard gaande met een afname van de middel-lage en middel-hoge aantallen.

De ruimtelijke verdeling van de extremen in de periode '57 - '75 is weergegeven in afb. 4. Vergelijking met afb. 2 toont concentraties van zware neerslagen op Rotterdam en omgeving, in het zuiden van Limburg en, zij het in mindere mate, in het zuiden van Zeeland. Opgemerkt moet worden dat de grenzen van de hoogste 5 % en 10 % in de tweede periode met hogere frequenties corresponderen dan in de eerste periode. Daarom zijn de verschillen groter dan men op het eerste gezicht bij vergelijking van de afb. 2 en 4 zou veronderstellen. Daar tegenover staat het grotere aantal waarnemingsstations in de tweede periode, wat weer aanleiding geeft tot meer markeringen. Bij de gevonden concentraties denkt men al gauw aan de stads- en industriegebieden van resp. Rotterdam, Luik, Antwerpen, Gent en Zeeuws-Vlaanderen (zie ook afb. 1). Minder voor de hand liggend is de opmerkelijke concentratie nabij de IJsselmond. Ook de verder versterkte neerslag op het Gooi is onverwacht. Tenslotte blijkt de aanvankelijk hoge frequentie in de kop van Drenthe en in de veenkoloniën nu in een lage te zijn veranderd. Ook op deze anomalieën zal nader worden ingegaan.

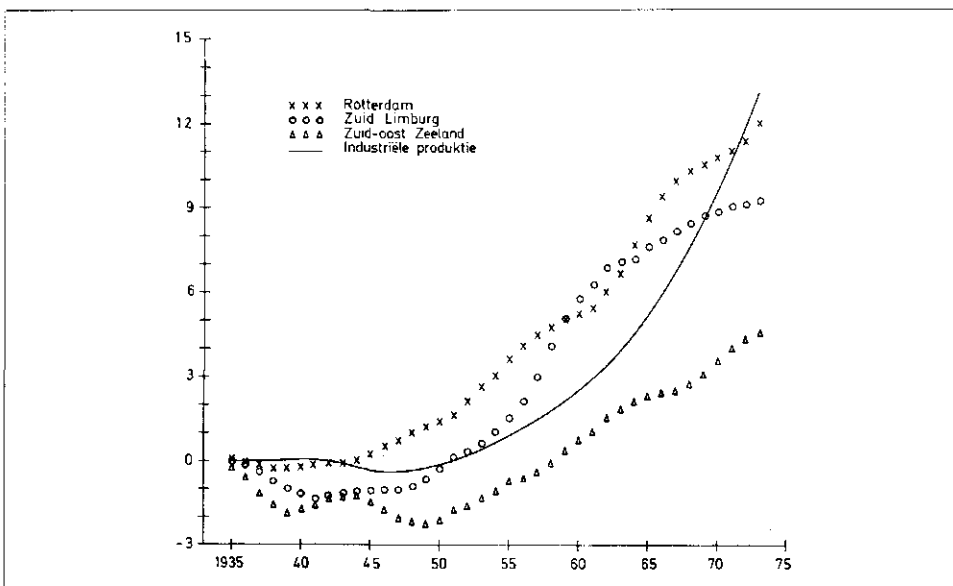
Om zo mogelijk enig inzicht in het ontstaan van dit zestal concentraties van zware zomerdag neerslagen te krijgen zijn voor elk van de in tabel III vermelde regio's de jaarlijkse aantallen dagneerslagen ≥ 30 mm



Afb. 3 - Cumulatieve frequentie dagneerslagen ≥ 30 mm.



Afb. 4 - Dagneerslagen ≥ 30 mm (Zomers, 1957 - 1975).



Afb. 5.

TABEL III - Globaal overzicht van de regio's.

Regio	Gem.	Min.	Max.
Rotterdam	8,2	6	10
Zuid Limburg	7,3	5*	10
Zuidoost Zeeland	7,8	6*	10
't Gooi	2,0	1	3
IJsselmond	8,7	3	13
Noord Drente + veenkoloniën	7,1	5*	8
'Overig' Nederland	226,0	170*	268

Gem.: gemiddeld aantal stations in de periode 1933-1975.

Min.: minimaal aantal stations in de periode 1933-1975.

Max.: maximaal aantal stations in de periode 1933-1975.

* Gedurende een gedeelte van de tweede wereldoorlog lagen de met * gemerkte minimum aantallen stations lager.

op alle stations in die regio gedeeld door het aantal stations. Aldus is het verloop in de tijd van het jaarlijks aantal overschrijdingen op een 'gemiddeld' station in de regio verkregen. Dit frequentieverloop werd wat regelmatig gemaakt door de voortschrijdende vijfjarige gemiddelden te nemen. Dezelfde bewerking werd toegepast op de gegevens voor 'overig Nederland' en de aldus verkregen frequenties voor een 'gemiddeld' station in overig Nederland werden van de bijbehorende frequenties van een 'gemiddeld' station van een regio afgetrokken. De gevonden verschillen werden in de tijd gesommeerd en opgetekend in de afb. 5 en 6.

Men kan nu uit afb. 5 aflezen dat het aantal zomerdagneerslagen ≥ 30 mm in de regio Rotterdam tussen 1935 en 1945 gelijk was aan dat van 'Overig Nederland'. Maar in de daarop volgende 28 zomers tot 1974 vielen er op een 'gemiddeld' station in de regio Rotterdam 12 meer. Ter vergelijking diene dat men op grond van een mediaan van 0,58 voor die periode 16 gebeurtenissen op een gemiddeld Nederlands station kan berekenen.

De toenames van de zware zomerdagneerslagen op de regio's IJsselmond en 't Gooi zijn apart in afb. 6 aangegeven omdat het er op lijkt dat hier van een ander verschijnsel sprake is dan in de regio's Rotterdam, Z.-Limburg en Z.O. Zeeland: De toenames zetten later in en lopen tegen het einde van de beschouwde periode weer terug. Een eerste suggestie dat beide verschijnselen iets met de menselijke bedrijvigheid te maken zouden hebben, volgt uit de in de afb. 5 en 6 opgenomen trendlijn van de industriële produktietoename. Deze is door een overeenkomstige bewerking van door het CBS gepubliceerde gegevens verkregen [8].

Tenslotte is in afb. 7 het gesommeerde verloop van de jaarlijkse verschillen tussen het optreden van zomerdagneerslagen ≥ 30 mm op een gemiddeld station in de regio

'N.-Drenthe en Veenkoloniën' en een gemiddeld station in 'Overig Nederland', uitgezet. Men ziet dat na de oorlog, tot omstreeks 1955, er in N.-Drenthe inderdaad meer zware zomerregens vielen. Daarna komt er de reeds gesignaleerde verandering en blijft de jaarlijkse frequentie vrijwel steeds lager dan in overig Nederland. Deze neerwaartse kentering is dus tegengesteld aan die van de eerder beschouwde regio's en valt wat tijd van optreden betreft tussen die van de groep Rotterdam, Z. Limburg en Z.O. Zeeland en die van de groep IJsselmond en 't Gooi. Ter illustratie is in afb. 7 ook nog eens het verloop bij de IJsselmond weergegeven.

Nadere beschouwing van de resultaten

Bij een beoordeling van het verkregen materiaal moet voorop worden gesteld dat

regen ontstaat onder de invloed van een zeer groot aantal variërende factoren.

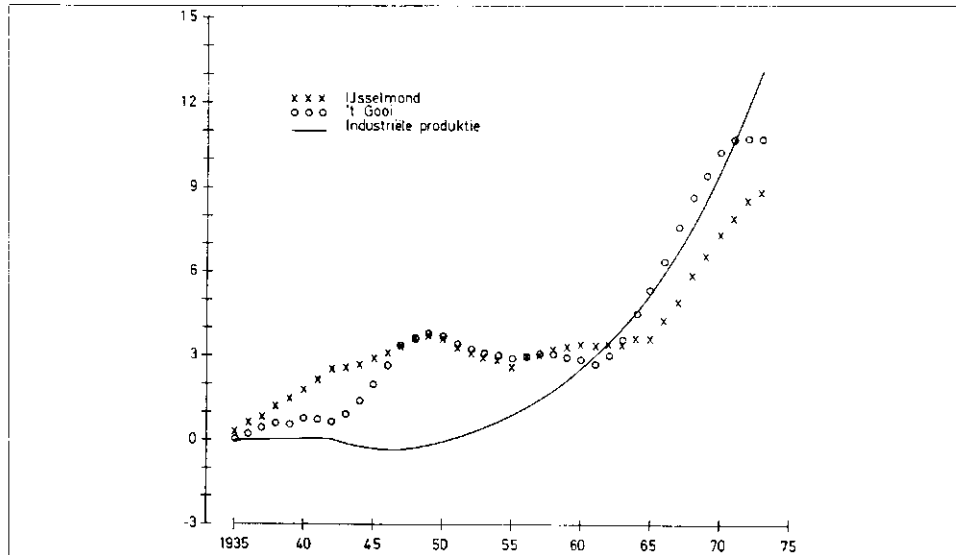
Dit mechanisme is zo gecompliceerd dat het daarom waarschijnlijk nooit zal kunnen worden uitgedrukt in een samenhangend geheel van niet alleen kwalitatief maar ook kwantitatief volledig beschreven oorzakelijke verbanden. Men dient daarom de mathematische statistiek te gebruiken om vast te stellen hoe waarschijnlijk het is dat een waargenomen verandering in het verloop van de neerslag nog aan de interactie van de reeds aanwezige veelheid van factoren moet worden toegeschreven of dat er inderdaad van een nieuwe invloed kan worden gesproken. Een dergelijke statistische analyse is echter zeer moeilijk en daarom in het kader van deze verkennende studie alsnog achterwege gebleven. Dat hier desondanks niet wordt volstaan

met het vermelden van de opgetreden veranderingen, maar ook aandacht wordt gevraagd voor de mogelijke nieuwe invloeden van verstedelijking en industrialisatie, is toe te schrijven aan het feit dat het gevonden materiaal in de richting van bepaalde oorzaken lijkt te wijzen, en wel om de volgende redenen:

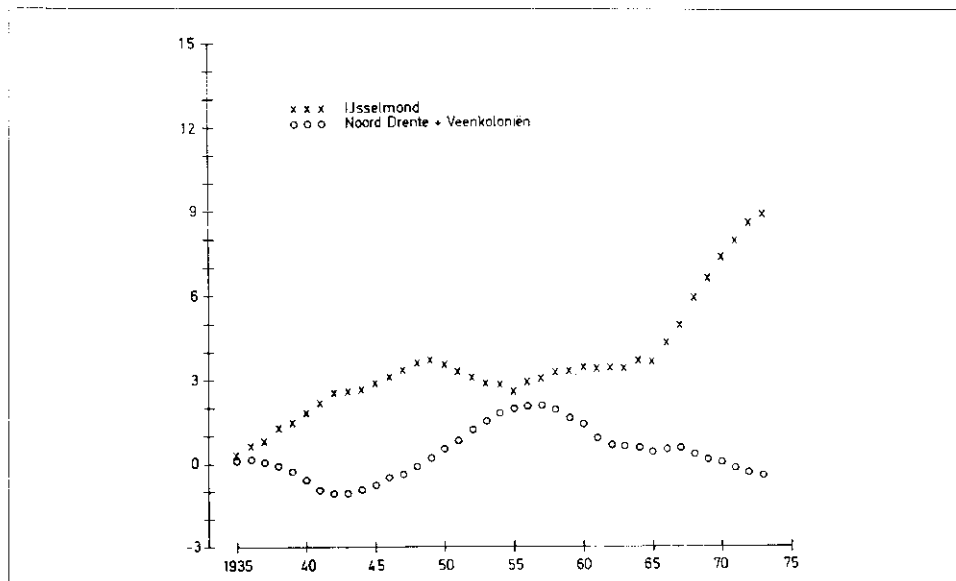
— Het overgelegde materiaal geeft geen aanleiding tot de veronderstelling van een algemene verandering in de meteorologische omstandigheden. De gemiddelde frequenties over geheel Nederland waren in de perioden 1932-1956 en 1957-1975 nagenoeg hetzelfde. De geconstateerde veranderingen waren van lokale aard, de toenames van de aantallen zware zomerneerslagen in de vermelde regio's werden klaarblijkelijk gecompenseerd door afnamen elders in Nederland.

— De reeds vermelde nabijheid van de industriële gebieden van Rotterdam, Luik, Antwerpen-Gent-Zeeuws Vlaanderen, gecombineerd met de studieresultaten die voor verwante situaties in de Verenigde Staten werden gepubliceerd, suggereren een directe invloed van verstedelijking en industrialisatie op het optreden van zware zomerneerslagen bij Rotterdam, in Z. Limburg en in Z.O. Zeeland. Hieronder volgt meer over het onderzoek in de Verenigde Staten.

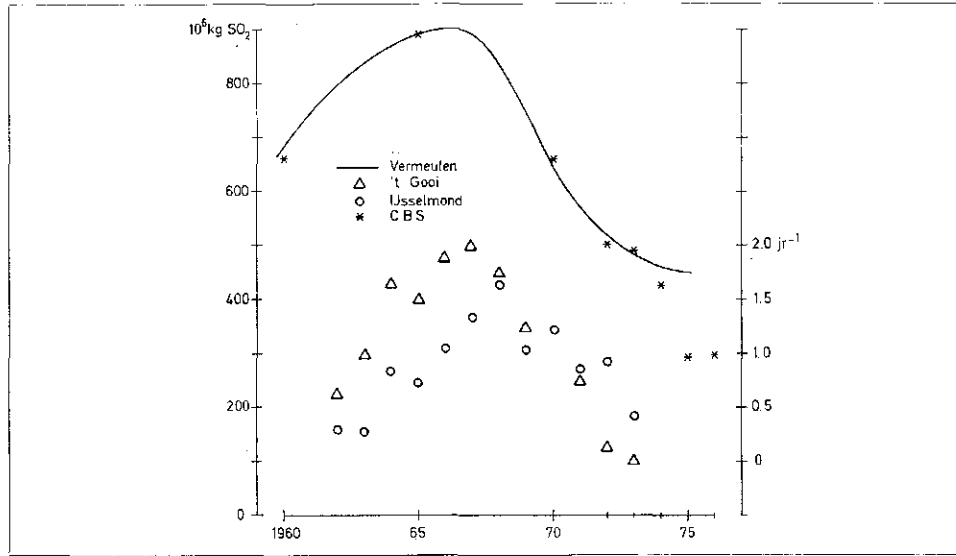
— Er is een opmerkelijk samengaan van het verloop van de SO_2 uitstoot in Nederland en het optreden van zomerdagbuien ≥ 30 mm zowel in 't Gooi als nabij de IJsselmond. In afb. 8 is de overeenstemming te zien tussen het verloop van de vijfjarige gemiddelden en de gang van de SO_2 uitstoot zoals die aan Schaake [9] en Vermeulen [10] is ontleend en deels rechtstreeks afkomstig is van het CBS [11]. Rekening houdende met het feit dat het Rotterdam-Botlek gebied de belangrijkste lokale SO_2 -emitter van Nederland is (Van Lookeren Campagne [12]), leiden ook nu de resultaten van Amerikaans onderzoek tot de veronderstelling van een samenhang tussen de industriële activiteit in dat gebied en de regenanomaliën in 't Gooi en nabij de IJsselmond. Wat het Gooi betreft vermeldt Vermeulen [10] nog een opmerkelijke bijzonderheid over de chemische samenstelling van het regenwater op een meetpunt van de provincie Noord-Holland te Hilversum. Het gehalte aan sulfaten en vanadium bleek daar onverwacht hoog te zijn en viel niet uit industriële activiteit in de omgeving te verklaren. Vermeulen merkt op dat sulfaataerosolen ook als vrieskernen bij de wolkenvorming een rol kunnen hebben gespeeld en dat vanadium van nature in aardolie voorkomt, maar ook bij kraakprocessen in raffinaderijen wordt gebruikt.



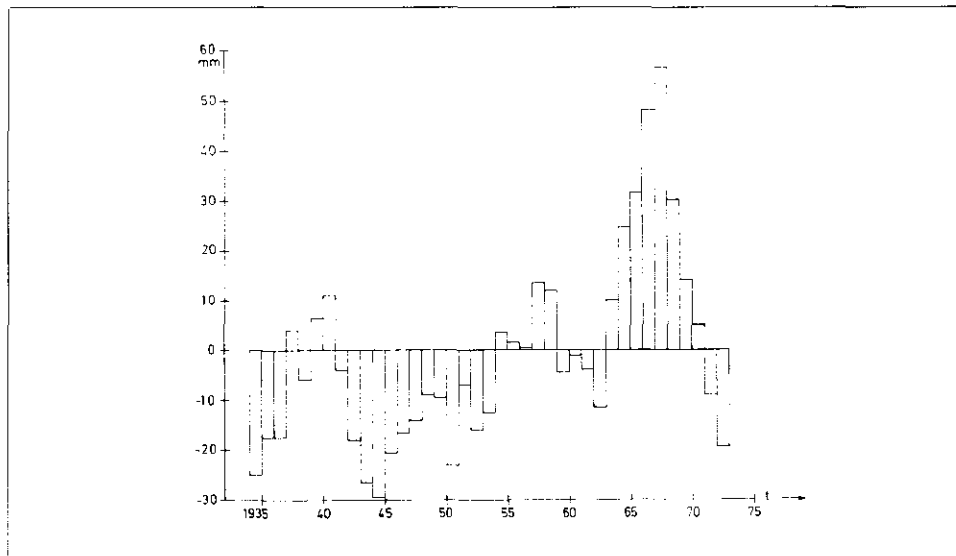
Afb. 6.



Afb. 7.



Afb. 8.



Afb. 9 - Vijf-jarig glijdend gemiddelde van het verschil tussen de totale neerslag in de perioden 1 mei - 1 september op drie stations in het IJsselmond-gebied en drie stations in de regio Noord Drente en Veenkoloniën.

— Bij de vergelijking van de afb. 2 en 4 kan men met betrekking tot de zojuist genoemde anomalieën ook aan andere antropogene invloeden denken, zoals het droogvallen van de IJsselmeerpolders, veranderingen in bodem en vegetatie van Drenthe en het omlaag brengen van de regenmeters. Toetst men deze gedachten echter aan het verloop van de afb. 5 en 6 dan vindt men daarin geen samengaan, misschien met uitzondering van de verandering, na de oorlog, van de regenmeters die in een regio vroeger of later dan in overig Nederland kan hebben plaatsgevonden.

Enige onderzoeksresultaten in de Verenigde Staten

Changnon en Huff [13] vermeldten een

publicatie in 1962 van Landsberg die de gegevens over klimaatveranderingen bij Amerikaanse en Europese steden samenvatte in de hierbij overgenomen tabel IV. Men lette speciaal op de toename van onweersbuien in de zomer.

In 1973 verscheen een publicatie van Huff en Changnon [3] over de neerslagverdeling bij 8 grote Amerikaanse steden, alle met een vochtig klimaat. Aan deze publicatie is tabel V ontleend. Ook hier een toename van de zomerneerslag, in verschillende gevallen op een flinke afstand benedenwinds. Op een afstand van 55 km N.O. van Washington is ook nog een duidelijk neerslagmaximum voor de zomer vastgesteld. Huff en Changnon wijzen er op dat het andere, direct benedenwinds van Washington gelegen maximum vermoedelijk niet aan de invloed van industriële bedrij-

TABEL IV - Worldwide data showing average changes expressed as per cent of rural conditions.

	Annual	Cold season	Warm season
Contaminants	+ 1000	+ 2000	+ 500
Solar radiation	- 22	- 34	- 20
Temperature (°F)	+ 1.5	+ 2.0	+ 1.0
Humidity	- 6	- 2	- 8
Visibility	- 26	- 34	- 17
Fog	+ 60	+ 100	+ 30
Wind speed	- 25	- 20	- 30
Cloudiness	+ 8	+ 5	+ 10
Rainfall	+ 11	+ 13	+ 11
Snowfall	± 10	± 10	-
Thunderstorms	+ 8	+ 5	+ 17

vigheid, maar aan de directe invloed van de stad met zijn afwijkende ruwheid, klimaat en hoeveelheid uitlaatgassen, moet worden toegeschreven. Later komt men ook voor St. Louis tot de conclusie dat de neerslagtoename boven de stad zelf aan veranderingen binnen de atmosferische grenslaag en niet zozeer aan de invloed van grotere aerosolen zou kunnen worden toegeschreven ([14], pag. 653).

Hobbs en anderen [15] zochten in 1970 een verklaring van de door hen, nabij de oceaankust van Washington State, waargenomen locale toenames van de neerslag, in de prouktie van 'few numbers of very efficient cloud condensation nuclei (CCN)' door bovenwinds gesitueerde pulp- en papierfabrieken. Deze hygroskopische deeltjes zouden uit sulfaten en sulfieten bestaan. Het wassen van rookgassen met een ammonia-oplossing zou ook zeer efficiënte condensatiekernen opleveren.

De bevindingen van Changnon en Huff waren aanleiding tot een grootscheeps onderzoek bij St. Louis, het Metropolitan Meteorological Experiment (METROMEX). Dit door de National Science Foundation gesubsidieerde project is opgezet en geleid door de Illinois State Water Survey om, ten dienste van het waterbeheer, plaatselijke neerslaganomalieën op te sporen en te verklaren, kennis overdraagbaar te maken naar andere stedelijke gebieden en voorts het effect op mens en omgeving vast te stellen. Het project liep over de periode 1971 - 1976 en aan de rapportering is in 1978 een volledige uitgave van 151 pagina's van het Journal of Applied Meteorology [14] gewijd. Aan de rijkdom aan informatie die hierin door hydrologen, meteorologen, fysici, chemici, ecologen, milieudeskundigen en statistici werd aangeboden, wordt hier allereerst de resulterende hypothese ontleend:

De stedelijke anomalie heeft te maken met ([14], p. 567):

1. Thermodynamische effecten die aanleiding geven tot meer wolken, een hogere wolkenbasis en een hogere instabiliteit in de wolken.

TABEL V - Summary of urban effects on summer rainfall at 8 cities.

City	Observed effect	Maximum change		Approximate location
		mm	%	
St. Louis	Increase	40	15	16-20 km downwind
Chicago	Increase	50	17	50-55 km downwind
Indianapolis	Indeterminate	—	—	
Cleveland	Increase	35	15	40-80 km downwind
Washington	Increase	28	9	Urban area
Baltimore	Increase	43	15	Urban & northeastward
Houston	Increase	33	17	Near urban center
New Orleans	Increase	45	10	NE side of city

TABEL VI - Comparison of water yield between urban effect (U) and rural (R) raincells among heaviest cells during 1971-1974. Cumulative

percent of raincells	Urban effect volume (m ³)	U - R (m ³)	Percent difference
10	3.43 x 10 ⁶	1.69 x 10 ⁶	97
20	2.06 x 10 ⁶	8.63 x 10 ⁵	72
30	1.48 x 10 ⁶	5.61 x 10 ⁵	61
40	1.17 x 10 ⁶	4.31 x 10 ⁵	59
50	9.25 x 10 ⁵	3.27 x 10 ⁵	55
60	7.34 x 10 ⁵	2.53 x 10 ⁵	53
70	5.73 x 10 ⁵	1.85 x 10 ⁵	48
80	4.25 x 10 ⁵	1.23 x 10 ⁵	41
90	2.84 x 10 ⁵	7.40 x 10 ⁴	35

2. Thermodynamische en mechanische effecten veroorzaken convergentiezone's waarin wolken en regen ontstaan.

3. Toevoeging van zeer grote condensatie- en vrieskernen ('giant nuclei') leidt tot een samenvoeging van druppels die heftiger en produktiever verloopt dan elders.

Voorts werd gevonden dat stedelijke invloeden de neerslag uit zware buien aanzienlijk versterken. Tabel VI laat zien dat dit effect sterker is naarmate de bui reeds krachtiger was. Boven stedelijke gebieden en benedenwinds daarvan, verloopt de omzetting van de uitgestoten SO₂ in afhankelijkheid van temperatuur, vochtigheid en aanwezigheid van ozon en bepaalde metaalionen. Ten gevolge van coagulatie van deze deeltjes nemen de sulfaataerosolen in aantal af maar in afmeting toe ([14], p. 612). Deze grote deeltjes geven bij voorkeur aanleiding tot druppelvorming of bevrozing.

Slotbeschouwing en conclusies

Het hiervoor beschreven materiaal blijkt te passen in een gedachtegang die hieronder puntgewijze zal worden uiteengezet:

— In verschillende delen van de wereld blijken stedelijke gebieden in de zomer een grotere neerslag en speciaal een groter aantal onweersbuien te ondergaan (tabel IV).

— Bij de METROMEX studie is nader gebleken dat in deze zomerse onweersbuien vooral de zware regens worden gestimuleerd (tabel VI).

— Deze neerslagverzwaringen in en nabij

de agglomeraties van steden en industrieën worden in de eerste plaats aan mechanische en thermische effecten toegeschreven [14]. De ligging van de regenverzwaringen in de regio's Rotterdam, Z. Limburg en Z.O. Zeeland (afb. 4) en het verloop hiervan in de tijd (afb. 5) doen veronderstellen dat sinds de vijftiger jaren een dergelijk proces in deze regio's gaande is.

— Neerslagverzwaringen op afstand, benedenwinds van industrieën, worden in verband gebracht met de omzetting van SO₂ in rookgassen tot sulfaataerosolen die dienst kunnen doen als condensatie- en vrieskernen [15]. Ook in de METROMEX-studie wordt deze functie aan sulfaat-aerosolen toegeschreven [14].

— Naar aanleiding van een sulfaatmaximum in het regenwater van Hilversum noemt Vermeulen [10] eveneens het optreden van sulfaataerosolen als vrieskernen. Het aangetroffen sulfaat- en vanadiumgehalte werd met het kraken en stoken van olie geassocieerd. Wanneer dan het verloop van de zware zomerdag-neerslagen in Het Gooi en bij de IJsselmond opmerkelijk parallel blijkt te lopen met de uitstoot van SO₂ (afb. 8) ligt de veronderstelling voor de hand dat er op een of andere manier via het optreden van 'giant nuclei' een oorzakelijk verband tussen beiden zal bestaan.

— Elshout [16] behandelt de adsorptie van SO₂ aan aerosolen die met oxidatie gepaard gaat. Deze voor rookpluimen belangrijke omzetting tot zwavelaerosolen zou in Nederland door controle van de stofuitworp kunnen worden begrensd. Nu is de stofuitworp inderdaad parallel aan de SO₂-reductie omlaag gebracht [11]. Het zou dan in de lijn van de ontwikkelde gedachtegang liggen om de regenanomaliën in het Gooi en bij de IJsselmond niet alleen met de SO₂ emissie maar ook met de combinatie van SO₂- en stofuitstoot in verband te brengen.

— Wisse [17] besluit zijn recente verhandeling over de beweging van aerosolen met op te merken dat het gaat om een groot aantal ingewikkelde processen in de atmosfeer en hij is van oordeel dat het kwantificeren van de verspreiding van deeltjes en

van de verwijderingsmechanismen nog veel onderzoek vergt. Men mag aannemen dat dit zeker geldt wanneer ook de mogelijke gevolgen van het door de mens veranderde aerosol op de neerslag in de beschouwing worden getrokken.

Tijdens een Technische Bijeenkomst van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO beschreef Schmidt [18] de atmosferische processen die de neerslag veroorzaken. Hij vermeldt ook, dat door menselijk ingrijpen het aantal ijskristallen boven in de wolken kan worden vergroot door er deeltjes met een soortgelijke structuur, zoals zilverjodide, in los te laten. Hierdoor bevordert men het uitregenen (hagelen?) van deze wolken. Marwitz [19] deed verslag van zijn reis door de Sovjet Unie waar in 1971 reeds grote oppervlakten aan land- en tuinbouwgrond met behulp van radar, raketten en luchtafweergeschut tegen hagelschade werden beschermd. Met loodjodide, zilverjodide en natriumchloride worden de hagelbuien onschadelijk gemaakt. Door vergelijking van de hagelschade voor en tijdens deze campagne zou een besparing van 40 miljoen roebels (ca. 160 miljoen gulden) in 4 jaren zijn berekend, hetgeen overeenkomt met 70 à 80 % van de voormalige hagelschade. Dit lijkt voor ons Nederlanders toch nog wat al te fantastisch, vooral als er zou moeten worden geschoten. Toch duiden de afb. 4 en 8 er op dat we ten aanzien van de zware zomerregens in het Gooi en bij de IJsselmond ook met 'atmospheric water-management' bezig zijn geweest. Als we geen herhaling wensen en we geloven niet in zuiver toeval, dan is meer inzicht in de processen vereist. Of zo'n herhaling ongewenst is zal uit een analyse van de gevolgen moeten worden afgeleid. Zo kan men zich afvragen wat de Drenthse zandboeren denken van het verminderen van zomerregens. Hoe is het met de tuinderijen en de veldgewassen in de extra beregende gebieden (hagel?)? Hoe reageert de landbouw op klei en zware zavel? Afb. 9 toont ter illustratie het glijdend vijfjarig gemiddelde van het verschil tussen de totale neerslag in de maanden mei, juni, juli en augustus op drie stations in het IJsselmondgebied en drie stations in de regio noord Drenthe en veenkolonien. Ook dit verloop vertoont in de laatste jaren een terugkeer naar normaal. Maar wat moeten we verwachten wanneer de industrie en de energiebedrijven noodgedwongen op kolen en zwaardere olie terug zullen moeten grijpen? Vermeulen [10] constateert dat de centrales hier al mee begonnen zijn en de prognoses omtrent de komende stijging van de SO₂-uitworp zijn inderdaad weinig hoopgevend [12, 20]. Om tot ons uitgangspunt terug te keren:

Niets duidt erop dat de hier gevonden hoge frequentie van zware zomerregens in en nabij Rotterdam van tijdelijke aard zou zijn. Hetzelfde geldt voor Z. Limburg, in zekere mate voor Z.O. Zeeland en vermoedelijk voor andere, bij deze eerste verkenning nog niet gevonden plaatsen in Nederland. Een groter aantal hoge dagneerslagen gaat gepaard met een toename van heftige regens van kortere duur. Deze zijn het die de hoeveelheden en frequenties van overstorten uit rioleringsstelsels bepalen. Een uitgebreid neerslagonderzoek zal nodig zijn om de ontwerp- en beoordelingscriteria voor rioleringen aan de lokale neerslagverhoudingen aan te kunnen passen. Deze verkennende studie heeft naar alle waarschijnlijkheid nog een ander type van 'inadvertent weather modification' (onbedoelde weersverandering) aan het licht gebracht, namelijk een effect op afstand. Een voortgezette en statistisch onderbouwde studie van al het in Nederland aanwezige waarnemingsmateriaal zal ook de omvang van dit type van neerslag-anomalieën kunnen vaststellen. Daaraan zou dan nog een brede verkenning van de aan deze anomalieën verbonden gevolgen moeten worden vastgeknoopt. Tenslotte zou het voor een onderzoek naar de oorzaken gewenst zijn dat de instellingen, die zich met onderzoek naar de verschillende onderdelen en aspecten van de luchtvervuiling in Nederland bezig houden, ook een gezamenlijke actie zouden richten op de invloed die de luchtvervuiling op de neerslagverdeling heeft of kan hebben. Het project METROMEX bij St. Louis en het nieuwe enorme onderzoek bij Chicago [6], beide geleid door de Illinois State Water Survey, hebben een hoeveelheid kennis en ervaring opgeleverd, die veelbelovende uitgangspunten zou kunnen bieden voor de coördinatie, uitrusting en begeleiding van zo'n multidisciplinair onderzoek naar de invloed van steden en industrieën op de neerslagverdeling in Nederland.

Dankbetuiging

De schrijvers zijn erkentelijk voor de inlichtingen en aanwijzingen die zij van vele kanten hebben ontvangen.

Literatuur

1. Barkman, J. J. 'The influence of air pollution on byophytes and lichens'. Proc. First Europ. Congr. on the Influence of Air Pollution on Plants and Animals'. Wageningen, 1968, pp. . . . - 209.
2. Wit, T. de. 'Epiphytic lichens and air pollution in the Netherlands'. RIN Verhandelingen No. 8, 1976.
3. Huff, F. A. and Changnon, S. A. 'Precipitation modification by major urban areas'. Bull. Am. Met. Soc., Vol. 54 No. 12, 1973, pp. 1220-1232.
4. Plate, E. J. 'Auswirkung der Urbanisierung auf

den Wasserhaushalt'. Wasserwirtschaft, 66 Jhrg. Heft 1-2-1976.

5. Yperlaan, G. J. 'Statistical evidence of the influence of urbanization on precipitation in the Rijnmond area'. IAHS Public. No. 123 Proc. Amsterdam Symp. Oct. 1977, pp. 20-30.
6. Huff, F. A. and Towery, N. G. 'Utilization of radar in operation of urban hydrologic systems'. 1978. Preprint Vol. 18th Conf. on Radar Meteorology, Mar. 28-31, Atlanta pp. 437-441.
7. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut 'Regenwaarnemingen'. 1933 t/m 1975.
8. Centraal Bureau voor de Statistiek. '75 Jaar statistiek van Nederland', 's-Gravenhage, 1975.
9. Schaake, P., Hoofd Afd. Milieu statistieken, Centraal Bureau voor de Statistiek. Persoonlijke mededeling.
10. Vermeulen, A. J. 'Immissie-onderzoek met behulp van regenvangers; opzet, ervaringen en resultaten', Prov. Waterstaat van N.-Holland, Haarlem, maart 1977.
11. Centraal Bureau voor de Statistiek. 'Luchtverontreiniging door verbranding van fossiele brandstoffen'. 1960 - 1972, 's-Gravenhage, 1975.
12. Van Lookeren Campagne, N., 'Handboek voor Milieubeheer', Hfd. 7.6, samenvatting van 'Emissies en hun bestrijding'. Uitg. Vermande Zonen, 1977.
13. Changnon, S. A. and Huff, F. A. 'METROMEX: an investigation of inadvertent weather modification' Bull. Am. Met. Soc. Vol. 52 N 10, 1971, pp. 958-967.
14. Journal of Applied Meteorology, mei 1978, Vol. 17 No. 5, pp. 565-715.
15. Hobbs, P. V., Radke, L. F. and Shumway, S. E. 'Cloud Condensation Nuclei from industrial sources and their apparent influence on precipitation in Washington State'. J. Atm. Sc. Vol. 27, 1970, pp. 81-89.
16. Elshout, A. J. 'De omzetting van SO₂ in rookpluimen' Polytechnisch Tijdschrift - proces-techniek 32 (1977) pp. 222-226.
17. Wisse, J. A. 'Aerosol in de atmosfeer'. Chemisch Weekblad, april 1978, pp. 213-216.
18. Schmidt, F. H. 'Origin of precipitation'. Comm. voor Hydrologisch Onderzoek TNO, Proc. Tech. Meet. April 1976, pp. 7-16.
19. Marwitz, J. D. 'Hailstorms and hail suppression techniques in the USSR - 1972'. Bull. Am. Met. Soc. Vol. 51 No. 4, April 1973, pp. 317-325.
20. NV Samenwerkende Electriciteits-Productiebedrijven, Arnhem. Verslag over het jaar 1977.



Verschenen:

Opzet en gebruik van een meetnet ten behoeve van het waterbeheer

Redactie: H. Prak

Aldus luidde de titel van een cursus die in het voorjaar 1978 tot tweemaal toe voor totaal 74 deelnemers is georganiseerd door de Stichting Post-Academisch Onderwijs LH Wageningen (PAO).

De voordrachten en de discussies tussen de 21 docenten en de cursisten leverden zoveel interessant materiaal op dat de Vakgroep Hydraulica en Afvoerhydrologie van de Landbouwhogeschool en de Stichting PAO op zich namen om dit te redigeren en te publiceren. De cursusleider, ir. B. A. Herfst en de andere docenten herschreven hun bijdragen en thans is het 281 blz. en vele illustraties omvattend boekwerk, voor f 18,— verkrijgbaar bij het Centraal Magazijn van de Landbouwhogeschool, De Dreijen 4 te Wageningen (tel. 08370 - 82301).

OQSI

In een folder over een warmwatervoorraad-toestel (boiler) stond voor het vermogen aangegeven: 12 800 Cal. Dit is niet in overeenstemming met het SI maar het is ook fout volgens het oude systeem. De calorie was de eenheid voor warmte (= energie = arbeid) en kon dus niet gebruikt worden voor vermogen (= arbeid per tijdseenheid). Bovendien werd vroeger onderscheid gemaakt tussen de kleine calorie (cal) en de grote calorie (Cal); voor dat laatste had men echter moeten schrijven kcal (kilocalorie). Volgens het oude stelsel van eenheden had men moeten schrijven: 12 800 kcal/h. Omdat we weten dat geldt: 1 cal = 4,186 8 N · m = 4,186 8 J kunnen we het vermogen nu omrekenen:

$$12\,800\text{ kcal/h} = \frac{12\,800\,000}{3\,600}\text{ cal/s} = 3\,500\text{ cal/s} = 3\,500 \times 4,186\,8\text{ J/s} = 14\,900\text{ J/s} = 14,9\text{ kJ/s}$$

Voor de eenheid kJ/s schrijven we meestal kW, zodat het vermogen van de boiler als 14,9 kW volgens het SI had moeten worden opgegeven.

(Eenvoudiger omrekening: 1000 kcal/h = 1,163 kW.)

