

NN31545.0162

DE INVLOED VAN DE REGENVAL OP DE STIJGING VAN HET
GRONDWATER EN OP HET BERGEND VERMAGEN

ir. J. Bon

Inleiding

Het onderzoek naar de invloed van de regenval op de stijging van het grondwater en op het bergend vermogen, heeft plaatsgevonden in het stroomgebied van de Lunterse beek. Bij de boerderij de Groote Voort, welke gelegen is aan de Overwoudse beek en de Postweg, op ongeveer twee km ten westen van Lunteren, werden de waarnemingen verricht met de volgende zelfregistrerende meters. Een regenmeter, een grondwaterstandsmeter en een beekpeilmeter.

Het terrein is licht hellend van oost naar west en bestaat uit grasland. Het profiel heeft een sterk humeuze soms lemige bovenlaag van ongeveer 30 cm dikte, liggend op dicht fijn wit geel zand. Met sterke regens heeft snel plasvorming plaats. Een grote bergingscapaciteit bezitten deze gronden over het algemeen niet zoals later zal worden verklaard.

Dergelijke gronden komen over grote oppervlakten in de Gelderse vallei voor evenals in vele andere beekgebieden in ons land.

Het afvoeronderzoek bij beken is in Nederland tot dusverre vooral aangepakt als een uitbreiding en verfijning van het drainage onderzoek. Men heeft vele formules ontwikkeld, die regen, grondwaterstand en afstroming met elkander verbonden. Aan deze formules liggen echter een aantal veronderstellingen ten grondslag, die voor het ene probleem een redelijke vereenvoudiging kunnen zijn, terwijl voor een ander probleem dezelfde veronderstelling heel goed elk uitzicht kan vernietigen om tot een juiste oplossing te komen.

Een belangrijke grondslag voor de keuze van deze veronderstellingen is een scherp inzicht in wat er met het regenwater nu precies gebeurt. Speciaal ten aanzien van de invloed van de grondwaterdiepte op de berging en van mogelijke bovengrondse afvoer bestaat veel onzekerheid. In de volgende beschouwing wordt een overzicht gegeven van een onderzoek, dat tot doel had, een inzicht te krijgen in de wijze waarin het water zich naar de beek beweegt en de principes, waarop men een afvoertheorie zou moeten baseren.

193651

De gebruikelijke waarnemingen zijn bij het gebruikelijke onderzoek veelal dag- en weekwaarnemingen voor regen, beekpeil en grondwaterstand geweest. Om een goed inzicht te krijgen in wat er na een regenbui nu gebeurt leek de aangewezen weg, met zelfregistrerende instrumenten de regen, afvoer en grondwaterdiepte te registreren en de veranderingen na elke regenbui van enige omvang in beschouwing te nemen.

De volgende paragrafen behandelen de reactietijd van grondwater en beekpeil ten opzichte van de regenbui, de samenhang tussen regen, grondwaterdiepte en waterstandsstijging.

Het doel van het onderzoek was meer speciaal, een indruk te verkrijgen, welk deel van de afvoer door de grond plaatsvindt en beheerst wordt door drainageformules en welk deel via plassen en greppels over de grond plaatsvindt en beheerst wordt door allerlei niet in formules uit te drukken toevalligheden van het maai-veld oppervlak en de onderhoudstoestand van de greppels.

A. Opzet van het onderzoek

De stijging van het grondwater als gevolg van de regen is van een groot aantal veranderlijke factoren afhankelijk. Enkele factoren zijn: de totale hoeveelheid neerslag en de intensiteit van de enkele bui, de doorlatendheid van de grondlagen, de uitdrogingsgraad van de bovengrond, het tijdsverschil ten opzichte van de voorgaande bui, de afvoersnelheid van het grondwater door de ondergrond, de plasvorming en de afvoer over of door de humeuze bovenlaag.

Met de factor verdamping behoeft bij deze studie geen rekening gehouden te worden. Dit vindt zijn oorzaak in het feit, dat met de betrekkelijk korte tijdvakken van de enkele regenbui kan worden gewerkt, waarbinnen de verdamping te verwaarlozen is. Tijdens de regen is de straling door de bewolking beperkt, de luchtvochtigheid is groot en de verdamping daardoor minimaal.

De stijging van de beekpeilen is van dezelfde factoren afhankelijk als de stijging van het grondwater. Echter hebben de regenintensiteit en de verzadigingsgraad van de grond met bodemvocht op het moment dat de regen valt of wanneer de verzadigingsgraad tijdens de langdurige regen toeneemt een grote invloed op de afvoer.

Gegevens die in de praktijk eenvoudig verzameld kunnen worden zijn van drieërlei aard, namelijk:

1. de diepten van het grondwater beneden maaiveld
2. de regenhoeveelheden
3. het beekpeil

De variatie in het bergend vermogen, de doorlatendheid, de ondergrondse afvoer, de afvoer over de oppervlakte of door de losse zodelaag en andere belangrijke factoren zouden in het laboratorium zijn te bepalen of uit speciale waarnemingen zijn te berekenen. Als routine waarnemingen zijn dergelijke bepalingen te omslachtig en te tijdrovend.

Bij de beschouwing van de stroken van de zelfregistrerende instrumenten valt het op, dat niet iedere regenbui een grondwaterstandsstijging of een beekpeilstijging tengevolge heeft. Ook is de verhoging van het grondwater of van het beekpeil bij ongeveer gelijke regenbuien niet steeds gelijk.

Om de invloed van de regen op de afvoer na te gaan, werden in het bovenstroomsgebied van de Lunterse beek, bij de Overwoudse beek aan de Postweg, waarnemingen verricht betreffende de regenval, de grondwaterstand en de afvoer van de beek. Hiertoe werd van zelfregistrerende meters gebruikgemaakt, te weten een regentmeter, een grondwaterstandsmeter en een beekpeilmeter. Op de stroken van de regentmeter kon het begintijdstip van de regen worden vastgesteld, doch ook de tijdsduur van de regenbui en de hoeveelheid neerslag. Door de beide andere meters werd het begintijdstip van de grondwaterstijging of beekpeilstijging vastgelegd, doch tevens de duur van de stijgingen en de stijghoogte. Het tijdsverschil tussen het begin van de regen en het begin van de peilstijgingen kon daardoor worden bepaald. Het bodemprofiel, zoals dat ter plaatse van het waarnemingspunt aanwezig is komt zeer verbreid in het stroomgebied van de Lunterse beek voor. Het bestaat uit een sterk humeuze bovenlaag van ongeveer 30 cm dikte met een weinig slib, met daaronder een geel-witte, vrij dichte zandondergrond.

De bewerkte gegevens zijn alle gedurende de periode van november 1959 tot juni 1962 te velde bepaald. Betrouwbare afvoergegevens zijn echter vanaf februari 1961 ter beschikking.

Handwritten signature

I. Tijdsverschil tussen het begin van de regen en het begin van de grondwater- en beekpeilstijging

Door vast te stellen welke tijd verloopt tussen het begin van de regen en het begin van de grondwater- of beekpeilstijging, kan men een indruk krijgen van de wijze waarop regen tot afvoer komt. Is bijvoorbeeld de vertragingstijd van het beekpeil gelijk of kleiner dan die van de grondwaterstijging, dan mag verondersteld worden dat een deel van de regen niet of voor een klein deel door de ondergrond wordt afgevoerd. De afvoervermeerdering moet dan door versnelde afvoeren langs de randen van de sloten en beken worden bewerkstelligd en verder door afstroming door de bovenlaag of door oppervlakte-afstroming.

Van de registreerstroken zijn die regenbuien uitgezocht, welke een grondwater- of beekpeilstijging veroorzaken. De vertragingstijden zijn zeer variabel. De oorzaak hiervan is, naar wij ons voorstellen, een samenspel van een aantal factoren, die niet ieder voor zich zijn af te zonderen. Enkele van deze factoren zijn: de diepte van het grondwater, het bergend vermogen, de bevochtiging van het profiel, de intensiteit van de regen enz.

Bij een grotere diepte van het grondwater zal de tijdsduur die nodig is om het regenwater in contact te brengen met de grondwaterspiegel gemiddeld langer zijn dan bij een hogere grondwaterstand. Worden in een grafiek de vertragingstijden van de grondwaterstijging ten opzichte van het begin van de regenbui uitgezet tegen de diepte van het grondwater vóór de stijging, dan blijkt, dat deze vertragingstijd hier echter niet mee samenhangt (zie figuur 1).

Is een regenintensiteit daarentegen groot, dan wordt de indringingsnelheid van het regenwater ook groter en de vertragingstijd kleiner. Deze tijd wordt ook kleiner naarmate het profiel door een voorafgaande bui goed is bevochtigd.

Hoge grondwaterstanden in de zomer, van 30 cm diepte en minder, gaan gepaard met een zeer klein bergend vermogen. Doordat bij deze grondwaterstand het beekpeil betrekkelijk laag is, zal in het perceel een vergrote ondergrondse afvoer optreden, die het grondwater snel doet dalen. Valt bij zeer hoge grondwaterstanden een regenbui, dan zal de aanvoerintensiteit van het regenwater

bij het freatisch vlak groter moeten zijn dan die van de afvoer, wil een grondwaterstijging of een constant niveau optreden. Hierdoor zal de vertragingstijd bij hoge grondwaterstanden groter zijn dan bij iets diepere waterstanden, waarbij een kleinere afvoerintensiteit aanwezig is.

Uit het gevonden materiaal blijkt, dat de vertragingstijd bij een grondwaterdiepte tussen de 50 en 60 cm, van 0-9½ uur varieert, zie figuur 1. In deze figuur is een onderscheid gemaakt tussen de vertragingstijden in de zomer en in het voorjaar. Het valt op dat de vertragingstijden gedurende het voorjaar zeer kort zijn namelijk 0-½ uur. Slechts in twee gevallen bedroeg de vertragingstijd 2 uur, terwijl de vertragingstijden in de zomer veel groter zijn en een veel grotere spreiding hebben.

Toch treden in de zomer bij sterke regenintensiteiten en bij hoge grondwaterstanden zeer korte vertragingstijden op. Als voorbeeld is in figuur 1 een buienreeks met een stippellijn aangegeven. In deze figuur is de variatie van de vertragingstijd en de grondwaterstijging na te gaan. De gegevens zijn ontleend aan die van de onderstaande tabel.

Tabel 1

De invloed van de regenval op de vertragingstijd van de grondwaterstijging en beekpeilstijging in augustus 1961

| Datum | Neerslag mm | Intensiteit N in mm/uur | Grondw. diepte/cm | Vertragingstijd grondw.stijging | beekpeil |
|-------------|----------------|----------------------------|----------------------|------------------------------------|----------|
| 15/8 | 12,2 | 1,3 | 74,5 | 5,5 uur | 7,5 uur |
| 16/8 | 10,6 | 3,- | 61,5 | 3,- " | 3,- " |
| 18- 19/8 | 2,- | 0,2 | 49,5 | - | - |
| 19/8 | 17,- | 1,3 | 49,5 | 2,- " | 3,- " |
| 21/8 | 28,- | 7,- | 35,- | 2,5 " | 2,5 " |
| 22/8 | 7,5 | 1,9 | 12,- | 3,- " | 3,- " |
| 24/8 | 4,8 | 1,9 | 28,- | 2,25 " | 4,- " |
| 25/8 | 6,5 | 3,5 | 24,5 | 0 " | 0 " |

De vertragingstijden voor het beekpeil hebben bijna dezelfde grote spreidingen als die van het grondwater. Worden van dezelfde buien uit tabel 1 de vertragingstijden van het beekpeil uitgezet

tegen de bijbehorende grondwaterdiepte dan ontstaat het beeld in figuur 2. Ook in deze figuur is een onderscheid gemaakt tussen de voorjaars- en zomerregenbuien. Het blijkt nu dat de voorjaarsregens niet steeds een zeer korte vertragingstijd voor het beekpeil opleveren. De spreiding in de tijden bedraagt van 0-4½ uur. Het blijkt nu dat de beekpeilverhoging, veroorzaakt door vele zomerbuien, sneller reageert dan de grondwaterstijging.

In 5 gevallen bleek in de zomer het begin van de stijging van het beekpeil bijna samen te vallen met het begintijdstip van de regen, terwijl de grondwaterstandstijging slechts in 2 gevallen gelijktijdig met de regen reageert.

Worden de vertragingstijden van het beekpeil en het grondwater tegen elkaar uitgezet, zoals in figuur 3, dan blijkt dat in de meeste gevallen het grondwater eerder reageert dan het beekpeil. In deze gevallen wordt dus eerst een grotere grondwaterverhoging tussen de sloten en beken door het neerzakkende regenwater opgebouwd. Pas nadat de drukverhoging in de vorm van grotere opbolling tussen de leidingen is ontstaan, vindt een zodanige vergrote grondwaterafvoer plaats, dat deze in de beek tot uiting komt.

Echter doen zich verscheidene gevallen voor dat de vertragingstijd gelijk is. De punten liggen dan op de 45° lijn. De drukverhoging heeft dan direct een grotere afvoer door de grond tengevolge of een deel van het regenwater wordt direct langs de slootranden afgevoerd, waardoor een vergrote beekafvoer tot stand komt. Bij grote en intensieve buien, vooral in de zomer, heeft de stijging van het beekpeil eerder plaats dan die van het grondwater. In deze gevallen is waarschijnlijk een deel van het regenwater eerder in de sloot of beek dan bij het grondwater. Het regenwater zal in dat geval snel door, of over de bouwvoor en van de slootkanten zijn afgevoerd.

Een veldproef werd genomen, waarbij een overdekte zinken bak tegen de afgestoken wand van de slootkant werd geplaatst, op een diepte gelijk aan die van de overgang van de humeuze bovenlaag naar de zandondergrond. In deze bak werd bij sterke buien water opgevangen dat uit de humeuze bovenlaag treedt, hoewel het grondwater op een grotere diepte stond. Aangenomen wordt, dat bij deze slagregens de infiltratiecapaciteit van de zandondergrond werd overschreden, waardoor een deel van het regenwater horizontaal door

de bouwvoor werd afgevoerd.

Een min of meer groot gedeelte van de regen wordt dus waarschijnlijk als gevolg van hoge regen intensiteit en daartegenover kleine doorlatendheid via de oppervlakkige lagen afgevoerd, zonder dat de grondwaterzone daarbij wordt gepasseerd. Deze oppervlakkige afstroming levert de verklaring voor het betrekkelijk snelle opkomen van de afvoergolven, die ook weer snel verdwenen zijn, omdat de leidingen een grote afvoercapaciteit bezitten. Hierop wordt naderhand nog teruggekomen.

II. De grootte van de grondwaterstijging

De variatie in de grootte van de grondwaterstijging is afhankelijk van de hoeveelheid neerslag, de verzadigingstoestand van de grond en de diepte van het grondwater. Uit de verzamelde gegevens leek de strekking naar voren te komen, dat bij een kleine regenhoeveelheid de stijging van het grondwater bij diepe, zowel als ondiepe grondwaterstanden geringer is dan bij gemiddelde waterstanden. Bij de ondiepe grondwaterspiegel zou de geringe grootte van de stijging zijn oorzaak vinden in de berging in plassen en verhoogde afvoer. Bij een diepe waterspiegel wordt de geringe stijging veroorzaakt doordat een deel van de neerdalende regenhoeveelheid onderweg in het profiel blijft hangen en dus niet of niet direct tot het grondwater doordringt.

Om de grootte van de stijging te benaderen werden bij grondwaterdiepte klassen van 10 cm de neerslag en de stijging in grafieken tegen elkaar uitgezet. Daarbij werd gesplitst naar de voorjaarstoestand en de zomertoestand. Deze scheiding verantwoordt de grote verschillen in de verzadigingstoestand van de grond.

Door de stippen in de grafieken werden lijnen getrokken, die per klasse van 10 cm grondwaterdiepte, de gemiddelde maximale stijging weergeven veroorzaakt door variërende neerslaghoeveelheden. Voor zeer grote hoeveelheden regen - in de zomer van meer dan 30 tot 50 mm in een enkele bui - werd aangenomen dat de verzadigingsgraad van de grond die van de winter benadert. De grondwaterspiegel bevindt zich in een normale zomer meestal niet veel dieper dan 80 cm en stelt dus grenzen aan het maximale bergend vermogen.

Door samenvoeging van de afzonderlijke lijnen per grondwater-

klasse van 10 cm, ontstond een verzamelfiguur, die voor deze diepteklassen het verband weergeeft tussen de maximale stijghoogte en de neerslag. De figuur 4a geeft de voorjaartoestand aan bij veldcapaciteit en figuur 4b, de zomertoestand. In dit laatste geval is door de verdamping van het gewas een zekere mate van uitdroging in de bovenste lagen opgetreden.

Door nu deze figuren om te zetten in andere, waarbij de stijging en de diepte van het grondwater even voor de bui op de assen staan aangegeven, ontstaan de overeenkomstige figuren 5a en 5b. Uit deze figuren blijkt nu de geringe maximale stijging van het grondwater bij de hoge en bij de diepe grondwaterstanden. De grootste stijging zal men bij matig diepe waterstanden zien optreden.

III. Het bergend vermogen van de grond

Om een idee te krijgen van het bergend vermogen van de grond, werd de verhouding bepaald tussen de gevallen neerslag van een enkele bui en de daarna optredende grondwaterstijging. Deze verhouding wordt de grondwaterstijgingscoëfficiënt genoemd. In vele gevallen komt deze coëfficiënt overeen met het bergend vermogen van de grond, te weten, het vermogen om een hoeveelheid water uitgedrukt in mm, in het profiel met een zeker aantal mm waterstandsstijging te bergen. Het bedrag van de regen uitgedrukt in cm gedeeld door de stijging in cm van de grondwaterspiegel geeft het bergend vermogen. Bij oplopende grondwaterstanden neemt het bergend vermogen af en bij uitdroging en diepe waterstanden neemt het toe tot waarden die tot 15 à 20% kunnen bedragen. Soms is de verhouding neerslag tot grondwaterstijging geen goede maat voor de berging. Onder die omstandigheden wordt de uitdrukking grondwaterstijgingscoëfficiënt gebezigd. Dit doet zich voor waar oppervlakte-afvoer of afvoer door de ondergrond een niet meer verwaarloosbaar bedrag uitmaken van de waterbalans.

De grootte van de stijging van het grondwater is onder meer afhankelijk van de diepte van het grondwater en de regenhoeveel-

heid. Bij een diepe grondwaterstand en een kleine regenval is het mogelijk dat al het water in het profiel blijft hangen. Het quotiënt $100N:S$, (N = neerslag in mm en S = grondwaterstijging in mm) wordt, indien geen stijging optreedt, oneindig groot. Bij een diepe grondwaterstand, die normaal in de zomer voorkomt, zal een zekere mate van uitdroging van de bovengrond voorkomen, die door de regen wordt aangevuld. Een deel van het regenwater bereikt de grondwaterspiegel dan in het geheel niet. Hoge waarden van het quotiënt kunnen dan ook op een waterberging in de bovenste lagen wijzen.

Een hoge grondwaterstand gaat gepaard met een grote opbolling en daarbij treedt een grotere afvoer van het grondwater op. Is bij een volgende kleine regenbui de aanvoer van het door de grond zakende regenwater kleiner of gelijk aan de verhoogde afvoer van het grondwater en de afvoer door de bouwvoor dan treedt ook geen grondwaterstijging op. De grootte van de grondwaterstijging, bij een bepaalde hoeveelheid neerslag, wordt bij een steeds hoger wordende grondwaterstand geleidelijk kleiner, omdat deze grootte afhangt van het verschil tussen aan- en afvoer. Bij een verzadiging van de grond, dus bij grondwaterstanden dicht onder of tot aan het maaiveld, wordt de stijging van het grondwater gelijk 0 cm. Daarna en soms even tevoren gaat een nieuwe invloed werken, namelijk het overschot aan regenwater wordt over en door de bovengrond afgevoerd en plassen kunnen ontstaan.

Van een groot aantal buien werd deze verhouding berekend en wel van de "droge" periode oktober 1959 tot juli 1960 en de daarop volgende "natte" periode van juli 1960 tot juni 1962.

Wanneer de berekende N/S percentages van een groot aantal buien in een grafiek tegen die diepte van het grondwater bij het begin van de bui uitgezet, dan blijkt uit figuur 6, dat deze percentages sterk uiteenlopen. Bij een nadere beschouwing blijken de punten zich op een bepaalde wijze te groeperen. De N/S percentages in het voorjaar 1961 en 1962 lopen op van 2,5% tot ongeveer 4,5% bij grondwaterdiepten van 57,5 tot bijna 30 cm. Deze N/S percentages kunnen gelijkgesteld worden aan het bergingspercentage. Deze punten zijn in de figuur 6 aangegeven met een omringde stip en hebben betrekking op een normale voorjaarsvochtverdeling in het profiel. De figuur 7a, evenals de volgende figuur 7b is uit de over-

zichtsfiguur 6 gelicht.

Het valt op dat na een winter de grondwaterstanden betrekkelijk diep kunnen zijn, namelijk tussen de 50 en 60 cm, terwijl het bergingspercentage gering is, namelijk 2,5 à 3,5%. De bovenlagen van het profiel blijken bijna volledig verzadigd te zijn. Dit wordt in de praktijk waargenomen aan het drassige grasland en het snel vormen van plassen in kuultjes. Afhankelijk van het jaar, begint ongeveer vanaf mei, door de proter wordende verdamping, de bovengrond op te drogen, zodat ondanks het oplopen van de waterstand tengevolge van een voorjaarsregen het bergingspercentage toeneemt tot 4,5%. Daarna neemt het N/S percentage of het bergingspercentage in het groeiseizoen toe door een dalende waterstand en de toenemende verdamping. Bij een diepte van 40 cm bedraagt het bergingspercentage ongeveer 6,75% en bij een diepte van 75 cm bedraagt het ongeveer 9%.

In figuur 7a is de samenhang tussen de bergingsverandering en de grondwaterstand voor het voorjaar tot juli 1961 met een stippellijn aangegeven. De data zijn bij de punten vermeld. De cirkeltjes in de figuur zijn de gegevens over het natte voorjaar van 1962 tot juni. Het blijkt dat het natte jaar 1962 tot 15 juni hydrologisch in een voorjaarstoestand verkeerde want de spreiding van het N/S percentage varieert van 3,3% op 29 april en 6 mei met bijbehorende waterstanden van respectievelijk 46 en 52,5 cm, tot 4,5% op 21 mei en 4,4% op 15 juni met een grondwaterstand van 69,5 cm.

Het gemiddelde verband tussen het N/S percentage of het hiermede gelijkgestelde bergingspercentage en de diepte van het grondwater kan, voor de betreffende waarnemingsplek, onder de wisselende vochttoestanden voor de zomer tot het einde van het jaar worden weergegeven door de getrokken lijn A-A' uit de figuur 6.

Voor de droge periode van 1959-1960 liggen vele punten op de gebogen streeplijn B-B'. De grondwaterstand die in een normale zomer tot ongeveer 70 cm onder maaiveld daalt, was in dit tijdvak dus zeer diep namelijk ruim 1 m. De bovengrond was dan ook sterk uitgedroogd. Er heerst dus een groot vochtdeficit. De bergingscapaciteit was dus ook groot, evenals de grondwaterstijgingscoëfficiënt. In deze droge periode zijn zware buien of op afzonderlijke

dan wel op opeenvolgende dagen gevallen, vooral na juli 1960. Toch bleek dat bij grondwaterdiepten van minder dan 80 cm onder maaiveld het N/S percentage ongeveer 2,5% kleiner te zijn dan bij een meer normale bevochtigingstoestand van het jaar 1961.

Als oorzaak van dit kleinere percentage in het droge jaar kunnen onder andere twee factoren genoemd worden.

1. Door de series zware buien heeft de bovengrond het verzadigingspunt benaderd waardoor de berging kleiner werd en de stijging van het grondwater werd groter dan onder normale omstandigheden bij die grotere diepte.
2. Door de sterke uitdroging heeft een zodanige luchtabsorptie plaatsgevonden, dat door de daardoor optredende luchtinsluitingen de stijging van het grondwater meer is toegenomen dan onder normalere omstandigheden.

In verband met dit laatste punt kan opgemerkt worden, dat meermalen werd geconstateerd dat de ondergrond na een sterke bui zeer ongelijkmatig bevochtigd was. Gevonden werd dat grote plekken in het profiel zeer droog waren, doch naast deze droge plekken kwamen goed bevochtigde plaatsen voor. Na een regen van 30 mm, welke zeven dagen van tevoren was gevallen en een regen van 7,5 mm van de vorige dag, werden in november 1959 ringmonsters genomen, die in het laboratorium op vochtgehalte werden ge-analyseerd. Vochtgehalte van 3 en 11,5 volume-procenten kwamen op dezelfde diepte vlak naast elkaar voor. Door de droge en warme perioden tussen de buien in 1959 en begin 1960, werd de gedeeltelijk aangevulde vochtvoorraad snel verdampt, waardoor het vochtdeficit weer aanmerkelijk was toegenomen op het moment dat de volgende bui viel.

Bij de beschouwing van een reeks buien, die telkens een dag na elkaar vielen, zal door de stijging van het grondwater en het vochtgehalte in de capillaire zone het berekende N/S percentage van de volgende bui moeten afnemen. Op de grafiek in figuur 6 zal het percentage ongeveer teruglopen langs de lijn A-A', die het gemiddelde percentage aangeeft bij de variabele diepte van het grondwater. Nu blijkt dat de eerste buien een afname van het percentage te zien geven en de volgende bui plotseling een sterk vergroot N/S percentage laat berekenen. Er heeft, wat betreft de waterberging

bij hoge grondwaterstanden, zich een ander verschijnsel voorgedaan. Het berekende grote N/S percentage komt nu niet geheel voor rekening van de berging in het profiel, doch voor een deel als berging van de neerslag aan de oppervlakte in de vorm van plassen of als een versterkte afstroming door de bovengrond zowel als een verhoogde afvoer naar de ondergrond. De regenhoeveelheid wordt dus niet meer uitsluitend voor de stijging van het grondwater gebruikt. In werkelijkheid is slechts een gedeelte van de regen ten goede gekomen aan de stijging van het grondwater. Voor de berekening zou dan in feite een kleinere neerslaghoeveelheid aangenomen moeten worden, welke men dan in verband zou moeten brengen met de kleine waargenomen stijging.

In het veld is waar te nemen, dat de stijging van het grondwater dichter bij het oppervlak sterk wordt afgeremd. Plasvorming op de percelen, soms vlak naast de grondwaterbuis, is dikwijls waar te nemen, terwijl op dat moment de gemeten grondwaterstand op 10 tot 30 cm onder maaiveld staat. Dat het grondwater op de meetplaats door normale regens veelal niet hoger stijgt dan ongeveer 30 cm beneden het maaiveld kan veroorzaakt worden door een vol capillaire zone, of een grote doorlatendheid van de humeuze bovenlaag.

De punten in de figuur 6, welke toestanden weergeven die bij grondwaterstanden hoger dan 50 cm onder maaiveld voorkomen en welke N/S percentages aangeven, die groter zijn dan zou overeenkomen met het gemiddelde bergingspercentage bij deze hoge grondwaterstanden, geven aan, dat verschillende vormen van afstroming optreden.

Hoge N/S percentages bij diepe grondwaterstanden, die betrekking hebben op kleine regenbuien kunnen duiden op neerdalend vocht, dat in de capillaire zone blijft hangen.

Een viertal voorbeelden verduidelijken het gedrag van het N/S percentage onder invloed van de regen en grondwaterstijging. In figuur 7b zijn deze punten uitgezet.

Het begin van de "natte" zomer 1960 kenmerkte zich door zware buien, met een grote regenintensiteit, die op de uitgedroogde bovengrond vielen, zie tabel 2.

Tabel 2

a. Begin "natte" zomer 1960

| Datum | Neerslag | Intensiteit | Grondwaterdiepte | Stijging | N/S |
|-------|----------|-------------|-------------------------------|----------|------|
| | mm | mm/uur | cm - m.v. voor de stijging | cm | % |
| 7/7 | 12,6 | 3,15 | 102 | 10,- | 12,6 |
| 8-9/7 | 49,9 | 3,12 | 92 | 60,- | 8,3 |
| 10/7 | 8,1 | 1,8 | 40,5 | 4,5 | 18,- |

Tengevolge van de eerste twee buien loopt het N/S percentage of het bergingspercentage terug van 12,6 tot 8,3%, zie curve a in figuur 7b. Bij de laatste bui werd het percentage verhoogd tot 18%. Door de bui van 49,9 mm steeg het grondwater tot 32 cm beneden maaiveld. Het hele profiel was dus doornat. Na een daling van het grondwater van 8,5 cm viel de volgende dag 8,1 mm regen. Op dat moment was reeds een verhoogde afvoer aanwezig door de zware regenval van bijna 50 mm. Hierdoor bleef de stijging van het grondwater tot 4,5 cm beperkt.

Volgens de lijn B-B' zou bij een grondwaterstand van 40,5 cm een N/S percentage behoren van 3%. Om een stijging van 4,5 cm te veroorzaken bij een overeenkomstig bergingspercentage van 3% zou volgens de berekening $100N : 45 = 3$, slechts 1,35 mm regen voldoende zijn. De rest van het regenwater, verdeeld over plasvorming, oppervlakte-afvoer en afvoer door de grond, bedraagt dus $8,1 \text{ mm} - 1,4 \text{ mm} = 6,7 \text{ mm}$.

Een tweede bui, die gedurende de tweede week van augustus 1960 viel werd aan een beschouwing onderworpen, zie curve b in figuur 7b.

Tabel 3

b. Augustus 1960

| Datum | Neerslag | Intensiteit | Grondwaterdiepte | Stijging | N/S |
|-------|----------|-------------|-------------------------------|----------|------|
| | mm | mm/uur | cm - m.v. voor de stijging | cm | % |
| 9/8 | 10,3 | 1,1 | 84 | 10 | 10,3 |
| 10/8 | 10,8 | 0,75 | 74 | 19 | 5,7 |
| 11/8 | 10,1 | 0,72 | 55 | 22 | 4,6 |
| 12/8 | 8,- | 2,63 | 33 | 7 | 11,4 |

In tabel 3 is een afname van het N/S percentage door de eerste drie buien aangegeven. Het grondwater is blijven stijgen tot 33 cm onder maaiveld, voordat de laatste bui viel. Deze bui van 8 mm valt met een vrij hoge intensiteit op een bijna verzadigde grond, zodat deze 8 mm regen niet geheel meer in het profiel kan worden opgenomen. Oppervlakteberging en afstroming zal hebben plaatsgevonden in de vorm van plassen en een verhoogde greppel- en slootafvoer. Dit komt weer tot uiting in de verhoging van het berekende N/S percentage van 11,4%. Doordat de beekpeilmeter in de jaren 1959 en 1960 te onnauwkeurig reageerde, zijn geen afvoergegevens over die periode bekend.

De derde regenbui, die werd onderzocht viel in de derde week van augustus 1961.

Tabel 4

c. Augustus 1961

| Datum | Neerslag mm | Intensiteit mm/uur | Grondwaterdiepte cm - m.v. voor de stijging | Stijging cm | N/S % |
|-------|----------------|-----------------------|---|----------------|----------|
| 15/8 | 12,2 | 1,3 | 74,5 | 12,5 | 9,8 |
| 16/8 | 10,6 | 3,- | 61,5 | 12,- | 9,- |
| 18/8 | 2,- | 0,2 | 49,5 | 0 | ∞ |
| 19/8 | 17,- | 1,3 | 49,5 | 23,5 | 7,2 |
| 21/8 | 28,- | 7,- | 35,- | 24,- | 11,7 |
| 22/8 | 7,5 | 1,9 | 12,- | 1,- | 75,- |
| 24/8 | 4,8 | 1,9 | 28,- | 3,5 | 13,7 |
| 25/8 | 6,5 | 3,5 | 24,5 | 8,5 | 7,7 |

Voor de regenperiode welke in tabel 4 is weergegeven loopt het N/S percentage aanvankelijk terug tot en met de regenbui van 19 augustus. De bui van 2 mm op 18 augustus werd geheel in de bovenste grondlagen opgenomen en gaf geen stijging te zien. Het daarvoor berekende N/S percentage is dan ook oneindig groot en kan als zodanig buiten beschouwing worden gelaten. Op het moment dat de bui van 28 mm valt, bedroeg de grondwaterstand 35 cm beneden maaiveld. Op dat moment was reeds bijna 42 mm regen gevallen. Deze natte grond kon de 28 mm, die bovendien met een vrij grote intensiteit viel

niet geheel opnemen. Wel liep de grondwaterstand op tot 11 mm onder maaiveld, doch het omringende terrein stond toen onder water. Ook hier moet de vol capillaire zone een grote rol gespeeld hebben, zodat ook praktisch geen berging meer aanwezig was. Curve c geeft een beeld van de veranderingen in het N/S percentage. Volgens de lijn A-A' behoort bij een grondwaterstand van 35 cm een N/S percentage van 5,5%, zie figuur 7. De hoeveelheid regen die bij een overeenkomstig bergingspercentage van 5,5% een grondwaterstijging van 24 cm kan veroorzaken bedraagt 13,2 mm. Aan totale oppervlakte berging en afstroming is dus 14,8 mm ten goede gekomen. Ook de volgende buien voeren alle meer of minder water oppervlakkig af, of bergen dit als plassen.

De vierde bui die werd onderzocht, viel in december 1961. Dit was een exceptioneel nat tijdvak.

Tabel 5

d. December 1961

| Datum | Neerslag mm | Intensiteit mm/uur | Grondwaterdiepte cm - m.v. voor de stijging | Stijging cm | N/S % |
|-----------------|----------------|-----------------------|---|----------------|----------|
| 26-27/11 | 21,4 | 0,8 | 58,- | 27,- | 7,9 |
| 30/11 - 1/12 | 49,7 | 1,2 | 31,- | 41,- | 5 |
| 4-5/12 | 20,7 | 0,9 | + 1,5 | - 1,5 | 5 |
| 12/12 | 12,6 | 2,1 | 9,- | 3,- | 42,- |

Uit de gegevens van de buienserie, welke vermeld staan in de tabel 5, blijkt dat de eerste regenbui door de bodem geheel werd opgenomen. De veel besproken neerslag van 30 november tot 1 december van 49,7 mm heeft evenals elders in het land het gebied geïnundeerd. De grondwaterstand bedroeg even voor de bui slechts 31 cm. De grond was dus zo goed als volledig verzadigd. Bij die diepte behoort een gemiddeld N/S percentage van 5%. Deze ontwateringsdiepte was te klein om de bijna 50 mm regen op te vangen. Enige dagen later stond het water nog 1,5 cm boven maaiveld, toen er nog eens 20,7 mm regen viel. Door de grote afvoer heeft de reeds ingezette daling van het grondwater zich voortgezet. Een week nadien stond het grondwater nog maar 9 cm beneden het maaiveld en bracht de regen van 12,6 mm

een grondwaterstijging teweeg van slechts 3 cm. Ook hier heeft toen oppervlakte-afvoer plaatsgevonden. Hierop wordt later nog teruggekomen bij de behandeling van de afvoeren.

Samenvatting en conclusies

Het onderzoek betreffende de samenhang tussen de neerslag en de veranderingen in de grondwaterstand, het beekpeil en het bergend vermogen van de grond is gebaseerd op de analyse van de registreerstroken van de zelfregistrerende meters, zoals de regenmeter, de grondwaterstandsmeter en de beekpeilmeter.

Hierdoor was het mogelijk om een inzicht te krijgen wat er na of tijdens een regen met het grondwater en beekpeil gebeurde. Onder de natuurlijke omstandigheden kon worden nagegaan hoe lang het duurde voordat het grondwater of het beekpeil na het begin van de regen begon te stijgen. Het verschil in deze tijden werd verklaard door de aanwezige grondwaterstand voor de regen, de mate van bevochtiging van de bovengrond en in zekere mate de regenintensiteit.

Een vereenvoudiging is mogelijk door de omstandigheid dat de factor van de verdamping geheel buiten beschouwing kon worden gelaten. De tijdsduur van de veranderingen in de grond duren slechts kort namelijk niet veel langer dan de duur van de regenbui zelf.

Uit de gegevens van de neerslag en de grondwaterstand kan door middel van een berekening de grondwaterstijgingscoëfficiënt worden bepaald. In veel gevallen komt deze coëfficiënt overeen met het bergingspercentage. Allereerst blijkt, dat dit bergend vermogen in de zomer afhankelijk is van de grondwaterdiepte en met hogere waterstanden regelmatig afneemt. Bij hoge grondwaterstanden en grote regenval kon uit waarnemingen worden verduidelijkt dat dan het N/S percentage plotseling weer groter wordt, wat erop wijst dat oppervlakte afstroming, plasvorming of afstroming door de bovenlaag moet hebben plaatsgevonden. In dit geval komt de grondwaterstijgingscoëfficiënt niet meer overeen met de bergingscoëfficiënt.

Hierdoor is het verklaarbaar dat in de winter bij hoge grondwaterstanden reeds kleine regens in staat waren plassen te vormen en dat dan duidelijk afvoermeerdering in de beek optreedt. In de nawinter en in het voorjaar bedraagt het N/S percentage slechts 2% & 4%. Dit percentage loopt in een normale zomer bij een grondwaterdiepte van ongeveer 80 cm beneden maaiveld tot 9% op.