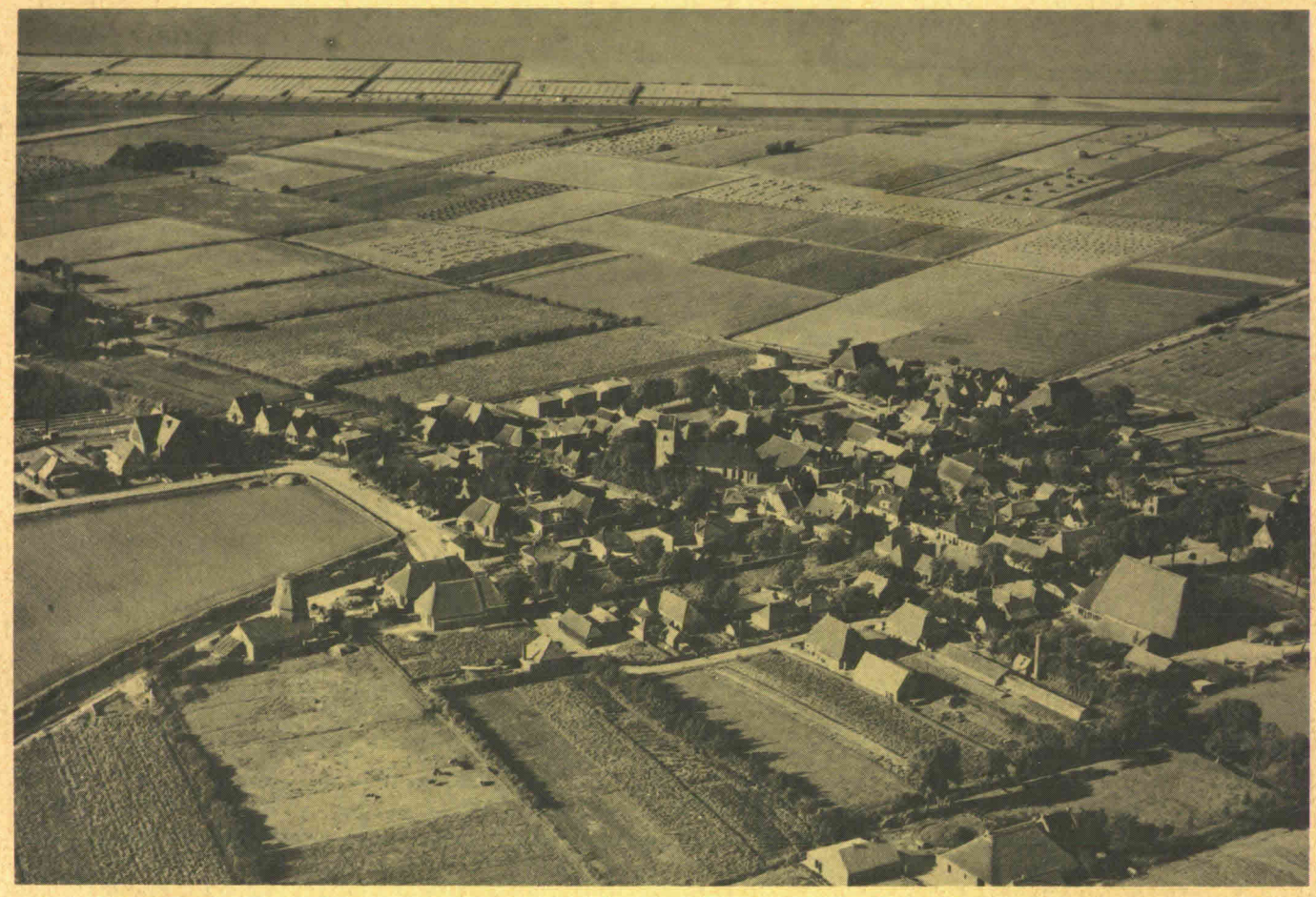
POLDERS

naar de colleges van prof. ir. J.L. KLEIN



TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT 1966

Ex Libris J. Stuip

Inhoud.

1. Inleiding.
2. De geologische wordingsgeschiedenis van Nederland.
3. De invloed van de mens op de bodemvorming.
4. De relatieve zeespiegelrijzing.
5. De indeling van de polders.
6. Enkele benamingen en begrippen betreffende de lozingswijze en de waterkeringen van de polders.
7. De bestuursvorm van de polders.
8. De waterstaatkundige opbouw van het Nederlandse polderland.
9. De landaanwinning.
10. De gewenste waterstand.
11. De vaststelling van het polderpeil.
12. De ontwatering.
13. De verkaveling.
14. Enige voorbeelden van moderne verkaveling.
15. De waterlopen.
16. De neerslag.
17. De verdamping.
18. De waterbalans.
19. De neerslag en de verdamping.
20. Het waterbezwaar.
21. De waterlossing.
22. De watervoorziening.
23. Het Deltaplan.
24. Literatuur.

1. Inleiding.

Het uiterlijk aspect van ons land wordt beheerst door de natuur in de loop van de geologische geschiedenis en door het ingrijpen van de mens. Door de geologische opbouw is een gedeelte van ons land gelegen boven de zeespiegel. In hoofdzaak betreft dit het zuiden, midden, oosten en noorden. Deze gebieden bestaan meestal uit hellende terreinen waarvan de afwatering geschiedt door stromende wateren.
Het zuidwesten, westen en noorden van ons land is gelegen beneden de zeespiegel. De menselijke activiteit is hier nog slechts eeuwen oud en dateert vanaf het begin van onze jaartelling. Zonder het menselijk ingrijpen zouden deze gebieden onder water staan. Hier vindt men de delen met horizontale waterspiegel, waar het water kunstmatig moet worden geloosd. Dit polderland is het dichtst bevolkte gebied van ons land.
De afsluiting van het omringende water geschiedt door dijken, kaden, afdammingen en kunstwerken. De waterbeheersing geschiedt met behulp van gemalen of uitwateringsluizen, welke het overtollige water lozen. Dit kan plaats vinden naar open water (zee of rivier), of naar afgesloten wateren, welke op zichzelf ook weer een waterbeheersing bezitten (boezems). Op grond van deze gegevens kan een definitie worden gegeven voor het begrip polder.
Een polder is een gebied, waarin de waterstand kan worden beheerst, onafhankelijk van de omgeving.
De waterbeheersing is van zeer groot belang voor de groei van de gewassen, welke een zo constant mogelijke waterstand nodig hebben. Daaruit volgt de verdere inrichting van de polder. Het overtollige water wordt uit de grond via sloten, greppels of drains gevoerd naar verzamelsloten, welke op hun beurt het water brengen via tochten of kanalen naar het gemaal of naar de uitwateringsluis. Vaak kan de waterbeheersing nog worden verbeterd door niet alleen het overtollige water af te voeren, maar door ook in perioden van tekort water in te laten. De waterlozing heeft men vrijwel geheel in de hand; de watervoorziening levert nog moeilijkheden op, zowel ten aanzien van de hoeveelheid als van de kwaliteit van het water.
Het gehele complex van factoren betreffende de instandhouding van onze polders, de inrichting, de exploitatie en het bestuur, wordt polderwezen genoemd.
Het polderwezen heeft dus een dienende functie door het instandhouden van de bestaande polders en door het opvoeren van de productiviteit.
Het vereist daarbij een speciale techniek. Het is verweven met bestuurlijke aspecten, zoals toezicht aan de ene kant en streven naar zelfbestuur aan de andere kant. Al deze factoren, die samenhangen met de civiel-technische zijde, de landbouwkundige zijde en de bestuurlijke zijde, zijn niet los van elkander te beschouwen. Zij bepalen de waterstaat van ons land. Het begrip waterstaat is door Prof de Goede omschreven als: het bruikbaar maken en het bruikbaar houden van bodem en water voor menselijke activiteit op het gebied van bewonen en bewerken d.m.v. waterbouwkundige werken. Planologisch gezien dienen daarbij de ontspanning en het verkeer inbegrepen te zijn. Tot de waterstaat behoren ook het scheppen van nieuw land, de landaanwinning, de landverbetering en een betere benutting van het water.
Het polderwezen is één van de oudste ingenieurstaken. De ouderdom ervan is de oorzaak, dat de theorie vaak later is gekomen dan de praktijk. Vele kleinere werken steunen nog op de eeuwenoude ervaring en praktijk. Er is daarbij geen verstarring van de techniek opgetreden door de voortdurende wisselingen van de aspecten en van de eisen. In dit verband is de historische ontwikkeling van de waterstaat zeer leerrijk. Voor de grotere werken is een goede theoretische kennis onontbeerlijk. Deze omvat:

a) de bodem, voor wat betreft de vorming van de diepere lagen en de oppervlaktelagen, de wordingsgeschiedenis, de geologische opbouw, de klink, de waterdoorlatendheid en de gevolgen van het ingrijpen door de mens.

b) <u>het water</u>, voor wat betreft het voorkomen aan de oppervlakte en in de bodem, de waterbeweging, de grondwaterstroming in verzadigde bodem en onverzadigde bodem, de hoedanigheid, de aanvoer en afvoer door de rivieren, de neerslag, de afvoer van het overtollige water, de verdamping, de aanvoer bij water tekort en de klimatologische invloeden.

c) <u>landbouwkundige aspecten</u>, voor wat betreft de grondsoort, de korrelsamenstelling, de gewenste waterstand, de gewenste waterbeheersing, het waterverbruik, de ontwatering en de verkaveling.

d) <u>de bewoning</u>, voor wat betreft de planning van de wegen, de dorpskernen, de stadsgebieden, het verkeer en de recreatie.

Hulpwetenschappen bij de bovengenoemde theoretische aspecten zijn: de geologie, de bodemkunde, de hydraulica, de hydrologie, de grondmechanica, de meteorologie, de landbouwkunde en de planologie.

Op de waterbouwkundige werken zal in dit college alleen worden ingegaan, voor zover dit het functioneel verband betreft. Het constructieve deel ervan wordt door andere docenten behandeld.

2. De geologische wordingsgeschiedenis van Nederland.

De ouderdom van de aarde werd enkele eeuwen geleden te kort geschat, namelijk op 6000 jaar. Rond het jaar 1800 nam men nog aan, dat de aarde slechts 80.000 jaar oud was. Sindsdien zijn de inzichten belangrijk verbeterd en schrijft men de aarde een belangrijk hogere ouderdom toe, namelijk 2,5 miljard jaar, volgens de Nederlandse Aardolie Maatschappij (N.A.M.) zelfs 3,5 miljard jaar en naar de inzichten van prof. Vening Meinesz 5 miljard jaar. De ouderdom van de vaste aardkorst wordt algemeen aangenomen op 2 miljard jaar. De dikte van de vastelandsschollen bedraagt ongeveer 30 kilometer. In deze vaste laag is men met behulp van boringen nog slechts tot 4 km diepte doorgedrongen.

We (1966) zelfs 6 miljard jaar

Over de eerste periode na het ontstaan van de vaste aardkorst tot ongeveer 500 miljoen jaar geleden is slechts zeer weinig bekend. Vanaf dit tijdstip wordt de verdere wordingsgeschiedenis verdeeld in drie hoofdtijdperken (zie tabel 2-1).

Tabel 2-1. Indeling van de geologische tijdperken:

tijdperk	tijdsgrenzen in miljoenen jaren.
Palaeozoïcum of Primair	500-190 v.Chr.
Mesozoïcum of Secundair	190- 60 "
Kaenozoïcum (Tertiair	60-0,6 "
(Kwartair	0,6- heden

Het laatste geologische tijdperk is het Kaenozoïcum, waarin wij thans nog leven. Dit tijdperk begint met het Tertiair, waarin de zoogdieren op de voorgrond gaan treden. De reptielen, welke in het Mesozoïcum tot fantastische ontwikkeling kwamen, houden wel vertegenwoordigers, maar hebben niet veel meer te betekenen. Bodembewegingen, welke in de vorige perioden naast plooïing en andere vervormingen zo hier en daar bekkendalingen hadden veroorzaakt, waren nog niet afgelopen. Ten dele gaan zij ook in de tegenwoordige tijd nog door. Ook de horizontale drukkrachten, welke aanleiding gaven tot golvingen in de laagpakketten, begonnen weer op te leven. In de daardoor ontstane anticlinalen accumuleerde zich zo hier en daar olie. Ook traden er horst- en slenkvormingen op, waardoor zo hier en daar zoutoppersingen ontstonden.

olie

Het Tertiair is in Nederland vooral bekend door zijn mariene afzettingen. Er hadden kleine transgressies (zeespiegelrijzingen) en regressies (zeespiegeldalingen) plaats. Vaak zal de kustlijn over ons land hebben gelopen en een enkele maal stond ons land geheel onder water, hoewel er ook tijden geweest zullen zijn, dat dit boven water lag.

Het Kwartair is bepalend voor ons land, omdat in deze periode de vorming van de bovenste grondlagen plaats vond. In het begin van deze periode verscheen ook de mens ten tonele; in Nederland veel later, eerst omstreeks 12000 jaar voor Christus.

Tabel 2-2. Indeling van het kwartair.

Pleistoceen of diluvium	Günzglaciaal	600 000 - 450 000	v.Chr.
	Mindelglaciaal	450 000 - 200 000	"
	Rissglaciaal	200 000 - 75 000	"
	Würmglaciaal	75 000 - 8 000	"
Holoceen of alluvium	Preboreaal	8 000 - 7 000	v.Chr.
	Boreaal	7 000 - 5 500	"
	Atlanticum	5 500 - 3 000	"
	Subboreaal	3 000 - 700	"
	Subatlanticum	700 v.Chr.- heden	

In het pleistoceen of diluvium komen vier ijstijden voor van grote koude. In deze perioden kregen het landijs en de gletschers grote uitbreidingen. De ijstijden werden afgewisseld met perioden, waarin de temperatuur meer normaal was. Het Günz-, Mindel- en Rissglaciaal vertonen ieder twee koude perioden; het Würmglaciaal drie. Van de oorzaken van de ijstijden is nog steeds weinig bekend, hoewel er genoeg hypothesen over zijn opgesteld. Milankovitsch, een Serf, heeft gebruik gemaakt van astronomische gegevens en hieruit koudeperioden berekend, waarvan de uitkomsten opvallend goed overeenstemmen met wat de geologen hebben gevonden.
Tijdens de eerste twee ijstijden werd ons land niet door het landijs bereikt. Het Mindelglaciaal is zelfs in onze afzettingen nog niet met zekerheid aangetoond kunnen worden.
In de interglaciale perioden daalde de temperatuur bij het naderen van een ijstijd geleidelijk. Als gevolg daarvan daalde de zeespiegel, waardoor de rivieren diep in het terrein gingen snijden. Waarschijnlijk vermeerderde de neerslag waardoor de rivieren een groter transporterend vermogen kregen. In ons land zijn tijdens de interglaciale perioden land- en zoetwaterafzettingen ontstaan. Zo is bijvoorbeeld de klei van Tegelen afgezet in het Günz-Mindel interglaciaal. In het Mindel-Riss interglaciaal werden sedimenten afgezet van fijne en grove zanden, soms met belangrijke kleilagen en plaatselijk wat veen. Zij komen vooral voor in Drente,Groningen en Friesland. Het Rissglaciaal is voor ons land het belangrijkste. In deze ijstijd is Nederland met landijs bedekt geweest, zij het ten dele. Bij de daling van de temperatuur trok de zee zich steeds verder terug zodat de Noordzee droog kwam te liggen. Door de rivieren werden zand en grind afgezet, de zogenaamde hoogterrasafzettingen. Toen het in Duitsland aanwezige landijs de afvoer van de rivieren, die naar het noorden stroomden, ging beletten, werden deze geleidelijk naar het westen omgebogen. Eerst zal hun loop nog ten noorden van ons land hebben gelegen; later zullen zij over ons land hebben gelopen toen het landijs ons land naderde. In deze periode werd de bekende potklei in het noorden van ons land afgezet.
De grondmorenen van het landijs bereikten hun grootste uitbreiding tot de lijn: Vogelenzang - Nijmegen. Ten noorden van deze lijn kan men aan de oppervlakte of in de ondergrond keileem of restanten daarvan verwachten. Het landijs, dat de diepe dalen van de rivieren binnendrong drukte de aanwezige hoogterrasplateaus omhoog en vervormde deze tot stuwwallen. Op deze wijze zijn bijvoorbeeld ontstaan de Veluwe, de Utrechtse heuvelrug en de Overijsselse heuvelruggen. Andere heuvelruggen, bijvoorbeeld de Renderklippen en de Kamperklippen tussen Apeldoorn en Hattem zijn ontstaan door opvulling van spleten in het landijs of door stuiven.

Ten zuiden van de lijn Vogelenzang - Nijmegen ontstonden de middenterrasafzettingen, vooral in Noord-Brabant en Limburg, bestaande uit zandafzettingen door de rivieren.
Na het terugtrekken van het landijs ontstond een korte tijd van riviererosie. Door de wind vond transport plaats van verweerde keileem, waardoor de lössafzettingen ontstonden langs de Veluwezoom, het Rijk van Nijmegen en in Zuid-Limburg.
Geleidelijk steeg de zeespiegel waardoor de eroderende werking van de rivieren minder werd. In deze tijd werden de laagterrassen gevormd, waarvan de voornaamste afzettingen bestonden uit lagen dekzand.
In het Riss-Würm interglaciaal was de zeespiegel zover gestegen, dat de zee (de Eemzee) delen van ons land bedekte. De Eemzee had een uitloper in de Eemvallei, door Groningen, over Noord-Holland, Zeeland en het Westland. De afzettingen bestaan uit zand, soms kleïig en verder wat veen. Zij worden Eemniën genoemd.
Het Würmglaciaal bracht geen ijs in ons land. Door de lage temperatuur bevroor de bodem tot op grote diepte. De rivierafvoeren daalden na aanvankelijk hoog geweest te zijn en veroorzaakte na de sedimentatie een erosie. Hier en daar, vooral in het oosten van ons land, zijn resten voor erosie gespaard gebleven. In de Lekstreek worden zij donken genoemd. In het westen van ons land zijn de overblijfselen zeldzamer; Hillegersberg is er een voorbeeld van.
Aan het einde van het Würmglaciaal kwamen nog enkele kleine klimaatschommelingen voor. Nog tweemaal werd een laag dekzand afgezet.
Geleidelijk werd de temperatuur weer hoger en ging de bovenlaag van de grond ontdooien. Smeltwater en rivierwater moest bovengronds of door diepe rivierdalen afvloeien. Er ontstonden moerassen, plantengroei en veenvorming. Langzamerhand werd de bodem beter waterdoorlatend en ging de zeespiegel stijgen waardoor de Noordzee zich ging vormen.
De ondergrens van het holoceen is niet geheel eenduidig. Men neemt tegenwoordig als begin aan het tijdstip, waarop de vorming van het veen op grote diepte begon. Het klimaat werd in het holoceen geleidelijk aan beter, al traden in het preboreaal nog enkele klimaatschommelingen op. In het boreaal was het vrij warm en droog met overheersend oostelijke winden. Het daarop volgend atlanticum was ook nog warm met overwegend westelijke winden; het was een zeeklimaat, vochtig. Het subboreaal was minder warm en vrij droog. In het subatlanticum werd het weer vochtiger (zeeklimaat).
Vanaf het preboreaal ontwikkelde zich in het westen en noorden van ons land een uitgestrekt veengebied. De kust bevond zich door de lage stand van de zeespiegel vele kilometers westelijker dan thans. De veenvorming zette zich voort tot in het boreaal en ontwikkelde zich in de loop van de enkele duizenden jaren tot een dikte van meer dan 10 meter.
Omstreeks 5000 j. v.Chr. ging de stijging van de zeespiegel verdere veenvorming beletten. Het veen verdronk en overspoelde, het eerst in het westen. De zee breidde zich tenslotte uit over geheel Holland, Zeeland, het noorden van Friesland en het noorden van Groningen. Als gevolg van de toen heersende westelijke winden ontstond er een golfbeweging die naar de kust was gericht. Hierdoor ontstond voor de kust een lange rij zandbanken waarop zich duinen konden ontwikkelen. Er ontstond een soort waddenzee waarin wadafzettingen ontstonden die in het westen van ons land meer dan 10 m dik zijn. De overstroming ging met horten en stoten. Plaatselijk, meer naar het oosten, ging de veengroei door en overspoelde het veen eerst later. Het veen is door de daarna gevormde wadafzettingen sterk samengeperst tot minder dan 1 m dikte. Het ligt, aflopend naar het westen tot een diepte van ongeveer 20 m -N.A.P. en wordt ook wel veen op grote diepte genoemd. Het is een slecht waterdoorlatende laag. Veelvuldig is deze veenlaag onderbroken door wegspoeling.
In de waddenzee, ook wel zee van Lorié genoemd, vonden wadafzettingen plaats, bestaande uit zand en sterk gelaagde kleïige zandlaagjes met zo hier en daar dunne klei- en veenlaagjes.

pre-en boreaal

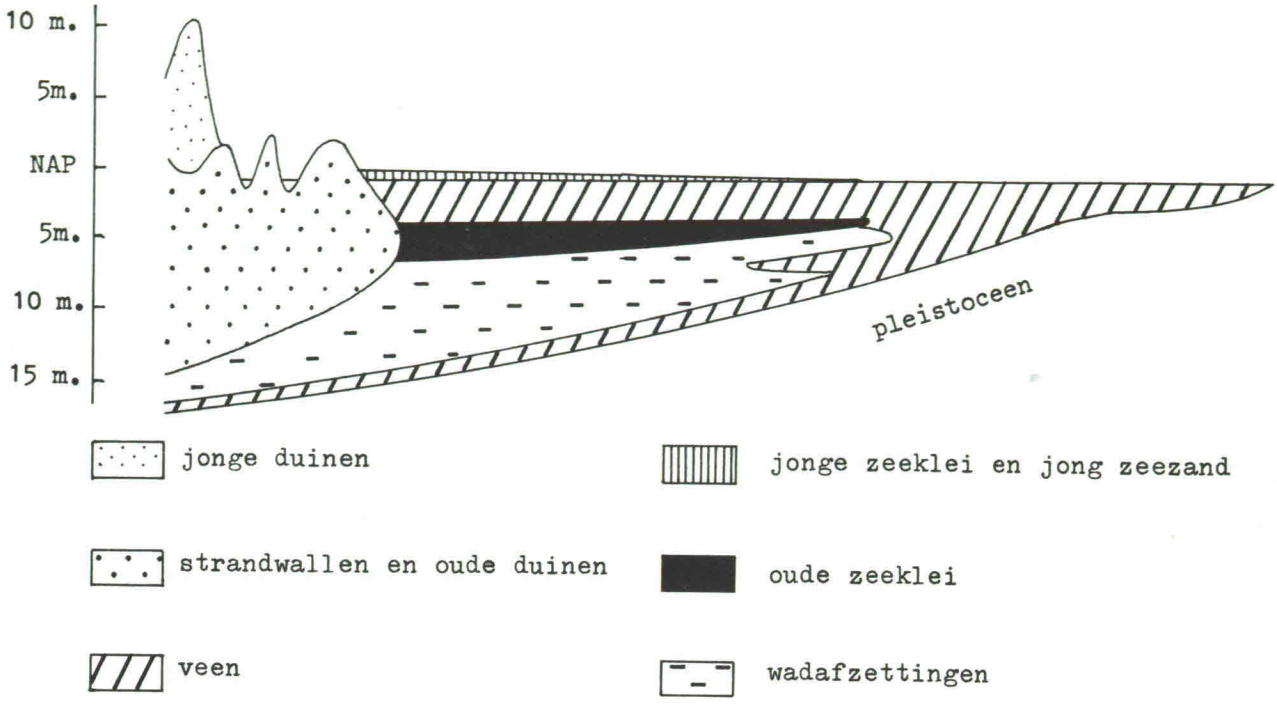
Toen het water rustiger werd, werd op de wadafzettingen een kleilaag van een paar meters dikte afgezet, de zogenaamde oude zeeklei of blauwe zeeklei. In het westen ligt deze met de bovenkant op 4-6 m-N.A.P., in het noorden op 2-3 m-N.A.P. De kwelders, die op de kleilaag ontstonden, kwamen op den duur droog te liggen omdat de opwas sterker werd dan de zeespiegelrijzing. Het water achter de strandwal verzoette, doordat de strandwal een steeds meer gesloten geheel ging vormen. Er ontwikkelde zich plantengroei en een nieuwe periode van veenvorming begon, boven op de oude zeeklei. Omstreeks 3000 j. v.Chr., bij het begin van het subboreaal, trad een stilstand op in de veenvorming. Waarschijnlijk draaide de wind weer en werd het klimaat minder warm en tevens droger waardoor de omstandigheden voor de veenvorming ongunstiger werden. De duinvorming hield op, omdat de golfbeweging geen zand meer naar de kust voerde. Misschien was zelfs de zeespiegelrijzing tijdelijk onderbroken.

In het subatlanticum veranderde het klimaat weer in een zeeklimaat, vochtig met westelijke winden. De veenvorming begon opnieuw. Dit veen was van het oude veen gescheiden door de grenslaag van Weber. Het oppervlakteveen groeide tot enkele meters dikte. Tegelijkertijd begon in het oosten het hoogveen te ontstaan. De stijgende zee verbrak op enkele plaatsen de duinen en sloeg het veen weg. Dit gebeurde het eerst in het zuiden (Zeeland) en later in het noorden (Petten tot en met de Dollard). Zo ontstond ook de Zuiderzee omstreeks 1000 j. n.Chr. Zelfs in de 13e en 14e eeuw blijken nog uitbreidingen van de Zuiderzee plaats gehad te hebben. In het Westland ontstonden twee overstromingen. De eerste trad op vóór de Romeinse tijd vanuit het zuiden tussen Schiedam en Delft. Hierdoor werden geulen in het terrein veroorzaakt die later met klei werden opgevuld. Door klink van het omliggende veen bleven deze geulen als ruggen in het terrein liggen. De tweede overstroming zette tussen de 4e en 9e eeuw het Westlanddek af. In de ontstane zeeboezems heeft afzetting van zeezand en zeeklei, de zg. jonge zeeklei plaats gehad. Ook rivieren overstroomden het veen of spoelden het weg en zetten rivierklei af.

Door de aantasting van de oude duinen kwamen grote massa's zand vrij die op de stranden terecht kwamen. Na opdroging werd dit zand door de wind landinwaarts verplaatst en konden nieuwe duinen ontstaan, eerst in het zuiden, later ook in het noorden. De vorming begon omstreeks 850 j. v. Chr. In het zuiden ontstonden de nieuwe duinen wat meer landinwaarts dan de oude; bij Den Haag ongeveer op dezelfde plaats; noordelijker iets meer zeewaarts. Het stuiven werd bevorderd door droogte en grote aantallen konijnen die de vegetatie aantastten. De neiging tot landinwaartse verplaatsing wordt zoveel mogelijk door de mens tegengegaan.

Als gevolg van de bovengenoemde ontwikkeling zijn de oppervlaktelagen in Nederland gevormd door:

a) pleistoceen of diluvium in het oosten en zuiden van ons land. Ten noorden van de lijn Vogelenzang-Nijmegen bestaan de afzettingen voornamelijk uit keileem aan de oppervlakte, in de ondergrond of restanten daarvan, dekzandafzettingen en interglaciale afzettingen.
   Ten zuiden van de lijn Vogelenzang-Nijmegen zijn de zogenaamde middenterrassen en laagterrassen gevormd, bestaande uit rivierafzettingen, lössafzettingen en dekzandlagen.
b) holoceen of alluvium in het westen en noorden van ons land, waardoor het pleistoceen wordt bedekt. De afzettingen bestaan uit veen, jonge zeeklei, rivierklei, rivierzand, oude en jonge duinen. Direct daaronder komt vrijwel overal de oude of blauwe zeeklei voor, die in de diepe droogmakerijen aan de oppervlakte komt.



Figuur 2-1. Schematisch profiel door het Holoceen van West-Nederland.

De diepere grondlagen zijn intussen van grote betekenis, omdat hierin de grondwaterbeweging plaats vindt. De aard van de diepere grondlagen, vooral de waterdoorlatendheid, bepaalt de mate waarin een bepaald gebied onder invloed staat van het water in de zee, de rivieren, de meren of de kanalen. Van veel belang is daarbij het zoutgehalte van het grondwater, dat weer verband kan houden met de geologische omstandigheden waaronder de lagen zijn ontstaan. Van veel belang zijn daarbij de mariene formaties waarin zout water aanwezig kan zijn.

3. De invloed van de mens op de bodemvorming.

De bewoners van de lage delen van ons land vestigden zich oorspronkelijk op de plaatsen welke van nature hoog waren gelegen zoals de pleistocene opduikingen (donken, bergen en woerden) en de stroomruggen van de rivieren en kreken. Vele oude plaatsnamen herinneren hieraan nog.
Vooral in Friesland en Groningen maakten de bewoners later kunstmatig verhoogde vlucht- of woonplaatsen, de zogenaamde terpen of wierden. Ook daaraan herinneren nog talloze plaatsnamen.
In oude delen van Zeeland, voornamelijk op Walcheren, maakte men vluchtheuvels, hillen of vliedbergen genoemd. Men neemt aan, dat in het noorden van ons land indertijd een talrijke en welvarende bewolking heeft geleefd. Door de steeds stijgende zeespiegel werd zij grotendeels verdreven en deels, verarmd, gedwongen tot terpenbouw, omstreeks 1000 à 300 jr.v. Chr.
De invloed van de zeespiegelrijzing is terug te vinden in de terpen welke tot 1200 na Chr. regelmatig, en misschien zelfs periodiek werden verhoogd, hoewel zij meestal reeds op van nature hooggelegen plaatsen waren aangelegd zoals oeverwallen van rivieren en kreken.
Hoewel de Romeinen vermoedelijk reeds enkele dijken zullen hebben aangelegd, komt de dijksbouw eerst na 800 jr. na Chr. als waterkering meer en meer op de voorgrond. En met het aanleggen van de dijken begint de conserverende invloed van de mens. Het verdere verlies van cultuurgrond door de zee wordt hiermede tegengegaan. Als gevolg daarvan wordt de natuurlijke groei van de bodem binnen de dijken afgesneden en houdt de klei- en veenvorming op. Buiten de dijken gaat de ontwikkeling nog verder. Door het ontwateren van de bodem ten behoeve van de landbouw droogt de oppervlakte uit en krijgt men een grotere druk op de ondergrond waardoor op vele plaatsen de bodemklink sterk toeneemt, het sterkst, waar de slappe lagen het dikst zijn (in het westen en noorden van ons land). Als gevolg van deze klink en de steeds verder stijgende zee komt de oppervlakte van het land binnen de waterkeringen relatief steeds lager te liggen ten opzichte van de zeespiegel.
Zolang het huidige klimaat geen sterke wijzigingen zal ondergaan, kan deze conserverende invloed van de mens nog vele duizenden jaren worden volgehouden. De bescherming tegen de zee en het rivierwater zal echter wel steeds meer zorgen gaan baren. Het inkorten van de kustlijn (deltaplan en afdamming van de Waddenzee) zal daarom op den duur steeds dwingender worden.
Naast de conserverende invloed heeft de mens echter ook een verstorende invloed op de geologische gesteldheid van ons land. Door vervening is in het westen van ons land de oorspronkelijke veenlaag verwijderd tot op de oude zeeklei en waar deze ontbrak, tot op de wadafzettingen. Als gevolg daarvan bleven grote plassen achter zoals bij Loosdrecht, Vinkeveen en Reeuwijk.
In het oosten, noorden en zuiden geschiedde de turfwinning eveneens, tot ongeveer op het diluviale zand. Hoogveen komt nu nog slechts plaatselijk voor in het zuiden van Drente en in de Peel (Brabant). De bovenlagen (bonkaarde) werden na de turfafgraving met het zand vermengd waardoor de dalgronden ontstonden. Vele rivierkleiafzettingen werden afgegraven (afgeticheld of ontkleid) ten behoeve van de steen- en pannenbakkerijen. Voor de aanleg van wegen, het ophogen bij het bouwrijp maken van gronden en de kalkzandsteenfabricage werden vele hoge zandterreinen afgegraven. De laatste tijd wordt veel gebruik gemaakt van zand uit diepe zandputten (pleistoceen en wadzand) en van zand uit de benedenrivieren. Veel zand en grind wordt onttrokken aan kunstmatige grindgaten langs de Maas.
De mens heeft de bodemvorming ook bevorderd. De meeste plassen, welke in het westen door de vervening waren ontstaan en de meren en plassen, welke door afslag ontstonden werden, evenals grote delen van de Zuiderzee drooggemaakt.

De aanwas van de buitengronden werd en wordt nog steeds bevorderd. Indijking van buitengronden vond en vindt plaats, vooral in het gebied van de Waddenzee.
Gronden van geringe landbouwkundige waarde worden verbeterd door ophoging met specie uit havens en rivieren. Tuinbouwgronden zijn verbeterd door toepassing van andere, betere, oppervlaktelagen.
Gegevens over de bodemsoorten staan aangegeven op de Bodemkaart van Nederland, welke wordt samengesteld door de Stichting Bodem Kartering te Wageningen.
Gegevens over de diepere grondlagen kunnen worden ontleend aan de Geologische kaart van Nederland, welke wordt samengesteld door de Geologische dienst te Haarlem. Gegevens over de grondwaterstanden en de variaties die daarin kunnen optreden, kunnen worden ontleend aan de waarnemingen, welke worden verricht aan de vele putten en buizen. Het beheer daarvan berust bij het Archief grondwaterstanden van de T.N.O. in 's-Gravenhage.

4. De relatieve zeespiegelrijzing.

4-1. Algemeen.

Als vergelijkingsvlak voor de hoogtebepaling wordt in ons land gebruikt het N.A.P. (normaal amsterdams peil).
Als vergelijkingsvlak voor de onderlinge hoogteligging van de punten is het zeer goed bruikbaar. Aan uitkomsten, betreffende hoogteveranderingen in de loop der tijden, welke zijn verkregen door min of meer regelmatige vergelijking met het N.A.P. vlak, kan slechts een betrekkelijke waarde worden toegekend. Een stijging van de zeespiegel t.o.v. N.A.P. leidt bijvoorbeeld tot eenzelfde effect als een daling van het N.A.P. vlak. Dezelfde overweging geldt ook bij wijzigingen in de hoogteligging van terreinpunten.
Voor de civiel-ingenieur zijn drie aspecten van de zeespiegelrijzing van belang, namelijk:

a. de stijging van de zeespiegel in het algemeen,
b. de stijging van de zeespiegel t.o.v. N.A.P. (de relatieve zeespiegelrijzing).
c. de daling van het maaiveld t.o.v. N.A.P.

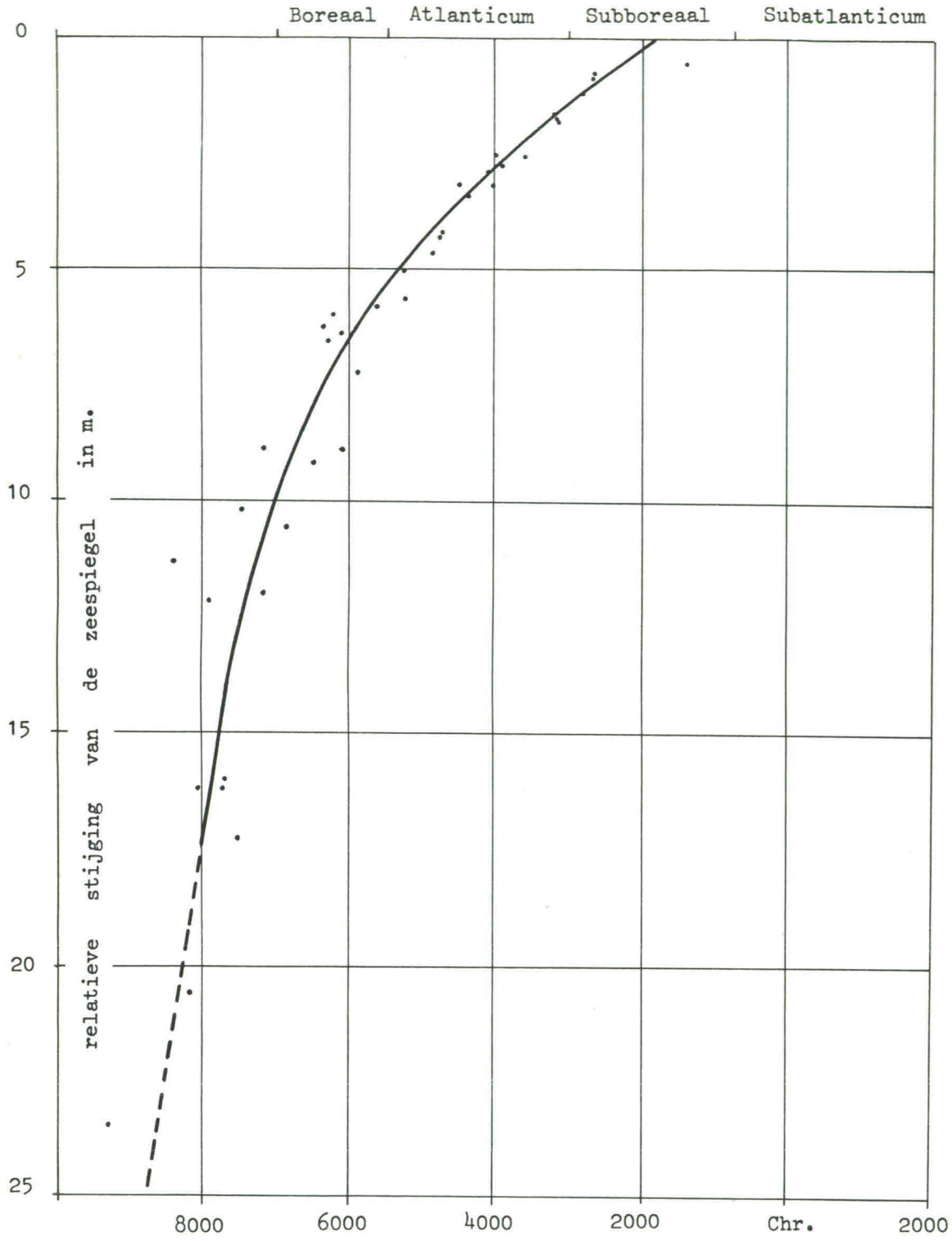
4-2. De stijging van de zeespiegel in het algemeen.

Men neemt aan, dat de totale hoeveelheid water, welke op de aarde voorkomt, zowel in vloeibare vorm (neerslag, water en waterdamp), als in vaste vorm (ijs en sneeuw) in de loop van de geologische geschiedenis constant is gebleven. Van deze hoeveelheid is een groot gedeelte gebonden in het ijs aan de poolkappen, als landijs en in gletschers, naar schatting 22 miljoen km^3. Indien deze hoeveelheid in zijn geheel zou afsmelten, zou daardoor de zeespiegel over de gehele aardoppervlakte ongeveer 55 meter stijgen boven het tegenwoordige niveau. In de geologische geschiedenis is een volledig afsmelten nimmer voorgekomen en dat is ook in de toekomst niet te verwachten. Deze hoeveelheid ijs is echter van zo'n grote betekenis, dat reeds een geringe wijziging in de temperatuur belangrijke gevolgen kan hebben op de zeestand. Dergelijke wijzigingen treden op tijdens het Pleistoceen bij de ijstijden.
Tijdens de laatste ijstijd (Würm-glaciaal) was zoveel water vastgelegd in de poolkappen, het landijs en de gletschers, dat de zeespiegel toen een stand had van 60 meter beneden het tegenwoordige niveau. De Noordzee stond toen dus geheel droog!
Toen na het Würmglaciaal de temperatuur langzamerhand gingen stijgen, smolt het ijs successievelijk af, waardoor de zeespiegel weer begon te rijzen. Deze rijzing zet zich tot op heden nog voort. In het temperatuurverloop kwamen schommelingen voor, waardoor de stijging van de zeespiegel tijdelijk vertraagde (regressie) en zelfs versneld geweest kan zijn (transgressie). Een belangrijke transgressie is opgetreden omstreeks het jaar 5000 v. Chr., waardoor het veen op grote diepte verdronk en bedekt werd met wadafzettingen. Een andere transgressie is verantwoordelijk geweest voor de afzetting van het Westlanddek na de Romeinse tijd.

4-3. De stijging van de zeespiegel t.o.v. N.A.P.

De stijging van de zeespiegel t.o.v. N.A.P. wordt genoemd de relatieve zeespiegelrijzing. Men spreekt ook wel van de relatieve bodemdaling. Deze laatste aanduiding is echter minder logisch, omdat de stijging van de zeespiegel de andere factoren overheerst.

De relatieve zeespiegelrijzing is samengesteld uit de reeële stijging van de zeespiegel, de daling van de vaste ondergrond (pleistoceen) en de daling van het N.A.P. t.o.v. het pleistoceen.
Het verloop van de relatieve zeespiegelrijzing over de laatste 100 jaar heeft men kunnen afleiden uit de peilschaalwaarnemingen op een aantal betrouwbare peilschalen gelegen aan de zee. Men vond daarbij een stijging van 17 cm per eeuw.
De daling van het pleistoceen is voor het zuidelijk gedeelte van Zeeland waarschijnlijk nihil. Verder naar het noorden neemt zij toe. Voor noord-Nederland wordt zij geschat op 2 tot 4 cm per eeuw. Waarschijnlijk is zij een gevolg van de stijging in Noorwegen doordat daar door het verdwijnen van de ijskap een verminderde druk op de ondergrond is ontstaan. (isostasie)
Over de daling van het N.A.P. t.o.v. het pleistoceen is weinig bekend. Aangenomen mag worden, dat een deel van de relatieve zeespiegelrijzing, zoals deze aan de peilschalen wordt geconstateerd, is ontstaan door absolute bodemdaling en inklinking van de oppervlaktelagen.
Over de relatieve stijging van de zeespiegel ten opzichte van het pleistoceen is meer bekend geworden sinds de metingen van de ouderdom van het veen op grote diepte met behulp van het zogenaamde C14 onderzoek. Daarbij wordt gebruik gemaakt van het feit, dat de koolstof, die de planten tijdens hun leven opnemen, is samengesteld uit het normale koolstofatoom met een atoomgewicht van 12 en een isotoop met een atoomgewicht van 14. Na het afsterven van de planten begint het C14 langzaam uiteen te vallen en neemt de radioactiviteit af. Door meten van de radioactiviteit kan men de ouderdom vaststellen. Aangezien de halveringstijd van het C14 groot is (5570 jaar), is deze methode geschikt voor de ouderdomsbepaling van lagen, welke vele duizenden jaren oud zijn. Voor het onderzoek heeft men gebruik gemaakt van het veen op grote diepte en wel van de onderzijde van het veen waar dit rust op het pleistoceen.



Figuur 4-1. Relatieve stijging van de zeespiegel ten opzichte van het pleistocene oppervlak.

Over de laatste 2000 jaar zijn geen gegevens beschikbaar wegens het ontbreken van voldoend betrouwbare veenmonsters. De metingen zijn uitgezet in figuur 4-1. Na de laatste ijstijd blijkt de zeespiegelrijzing aanvankelijk zeer sterk geweest te zijn, namelijk 75 cm per eeuw. Geleidelijk is zij afgenomen en bedraagt thans nog ongeveer 10 cm per eeuw.
Veiligheidshalve houdt men voor de berekeningen tegenwoordig voor de relatieve zeespiegelrijzing, dus met inbegrip van de daling van het N.A.P. t.o.v. het pleistoceen, wel een bedrag aan van 20 cm per eeuw.
Uit de ouderdomsbepalingen van het veen op grote diepte heeft men door metingen aan de onderkant en aan de bovenkant een indruk kunnen krijgen van de samendrukking van het veen. Deze blijkt zeer groot te zijn. Veenlagen op grote diepte, welke nu nog een dikte hebben van enkele decimeters, hebben volgens de ouderdomsbepaling oorspronkelijk een laagdikte gehad van meer dan 5 m.

4-4. De daling van het maaiveld t.o.v. N.A.P.

De daling van het maaiveld kan worden veroorzaakt door menselijk ingrijpen (ontkleien, afgraven, vervenen), maar ook door klink. Deze laatste factor is van grote betekenis voor de jonge klei- en veenlagen. Vers gevormde veenlagen kunnen tot 80% uit water bestaan; kleilagen in de polders bevatten 40 tot 50% water. Het watergehalte van dergelijke pakketten kan in de loop der tijd sterk afnemen, waardoor de bodem klinkt. Deze watervermindering wordt veroorzaakt door de grotere druk, welke er op wordt uitgeoefend door de bovenliggende lagen na droogmaking. Uit onderzoekingen is gebleken, dat de inklinking van de kernen van de Zeeuwse en de Zuid-Hollandse eilanden, waar dikke veenlagen in de ondergrond voorkomen, sinds het begin van onze jaartelling 1 à 2 meter heeft bedragen. In de omringende zeekleipolders, waar het veen grotendeels verdwenen is, bedroeg de inklinking over deze periode slechts 20 tot 60 cm.
Bij polders, waar de bodem uit klei bestaat, zal men dus bij inpolderen altijd rekening moeten houden met een klink. Deze klink kan belangrijke waarden aannemen indien in de ondergrond veenlagen voorkomen.
Dergelijke effecten kunnen optreden, wanneer men in bestaande polders het polderpeil gaat verlagen. Behalve het gevaar voor de funderingen van de gebouwen kan daarbij dus klink optreden, welke het effect van de peilverlaging voor een deel te niet doet. Men noemt dit: het naar beneden malen van polders.
Bij polders, waar de bodem uit veen bestaat, heeft verlaging van de grondwaterstand nog een ander effect. Er kan daardoor meer zuurstof tot de veenlagen toetreden, waardoor de organische staf in het veen verteert. Alleen al hierdoor kan het oppervlak van veenlanden zo'n 10 cm per eeuw dalen.
Als gevolg van de bovengenoemde oorzaken zijn vele polders in ons land na de bedijking aan klink onderhevig geweest. Bij oude polders heeft dat er toe geleid, dat geleidelijk van vrije afwatering moest worden overgegaan op bemaling. Door dezelfde oorzaak zijn thans vele oude polders dieper gelegen dan de jongere. Bij sommige eilanden, bijvoorbeeld Tholen, is daardoor de typische schotelvorm ontstaan.

verlaging: veen 1) klink (1 à 2 meter sinds o)
2) veen verweert
klei 2) klink (20 à 60 cm sinds o)

5. De indeling van de polders.

Al naar gelang de ligging, het ontstaan, de bodemsoort en het bodemgebruik kan men de polders indelen in verschillende groepen.

a) indeling van de polders naar de ligging.

rivierpolders zijn polders, welke hun overtollig water lozen op rivieren. Hiertoe behoren delen van de Betuwe, de Lijmers, het Rijk van Nijmegen en het Land van Maas en Waal.

buitenpolders zijn polders welke zijn gelegen buiten de hoofdwaterkering, omgeven door een dijk. Zij lozen het overtollige water rechtstreeks op het open water (rivier of zee) of op een binnendijks gelegen polder.

binnenpolders zijn polders, welke zijn gelegen binnen de hoofdwaterkering. Zij zijn omgeven door een dijk of kade en lozen hun overtollig water rechtstreeks op het open water of op andere polders.

zomerpolders zijn polders, welke zijn gelegen buiten de hoofdwaterkering. Hoewel zij veelal zijn omgeven door een kade of dijk, lopen zij meestal onder bij hoge rivierwaterstanden of stormvloedstanden. 's Zomers zijn zij in de meeste gevallen watervrij. Deze toestand kan ook ontstaan doordat zij zomers wel worden bemalen en 's-winters niet, zoals in Friesland wel voorkomt.

b) indeling van de polders naar het ontstaan.

droogmakerijen zijn polders, welke zijn ontstaan door het droogmaken van plassen, meren of zeeboezems. Zij komen voornamelijk voor in Zuid-Holland, Noord-Holland en Utrecht. Ook in Friesland en Groningen komen droogmakerijen voor, doch deze zijn meestal ondieper. Tot de nieuwste droogmakerijen behoren de IJsselmeerpolders.

indijkingen of bedijkingen zijn ontstaan door het bedijken van buitendijks gelegen gronden zoals kwelders, schorren en gorzen welke ook bij hoogwater drooggelegen zijn en de slikken en blikken, welke alleen bij laagwater droogvallen.

Wanneer de buitendijkse gronden alleen in horizontale richting aangroeien, spreekt men van aanwas; in verticale richting wordt de aangroei opwas genoemd.

Het oude land met zijn vaak grillige loop van wegen en waterlopen is op natuurlijke wijze gevormd. Deze naam wordt gebruikt in tegenstelling met het nieuwe land, bestaande uit droogmakerijen en inpolderingen, welke een strakke verkaveling hebben.

c) indeling van de polders naar de bodemsoort.

veenpolders zijn polders, waarvan de bodem uit veen bestaat; magere reklei

kleipolders zijn polders, waarvan de bodem uit klei of zavel bestaat;

zandpolders zijn polders, waarvan de bodem uit zand bestaat. Dit woord is nog niet ingeburgerd, omdat dergelijke gebieden tot nu toe nog weinig zijn ingepolderd.

d) indeling van de polders naar het bodemgebruik.

bouwpolders zijn polders, welke voornamelijk uit bouwland bestaan;

weipolders of koepolders zijn polders, welke voornamelijk uit grasland bestaan;

veenpolders zijn polders, welke na de omdijking worden uitgeveend. Dit gebeurt ook wel na de drooglegging (Friesland).

6. Enkele benamingen en begrippen betreffende de lozingswijze en de waterkeringen van de polders.

6-1. De lozingswijze van de polders.

De afvoer van het overtollige water uit de polders kan geschieden door natuurlijke of vrije lozing en door bemaling. Natuurlijke of vrije lozing, ook wel lossing genoemd, geschiedt door uitwateringssluizen naar open water (zee of rivier) of naar boezems. Polders, welke een dergelijke lozing hebben, worden wel sluispolders genoemd en in Groningen wel pomppolders.
Uitsluitend vrije lozing komt niet veel meer voor als gevolg van de bodemklink, waardoor men van vrije lozing moest overgaan op bemaling. Voorbeelden van vrije lozing zijn de uitwateringssluis bij Roptazijl (Friesland) en Dokkummer Nieuwe Zijlen. In combinatie met een gemaal komt vrije lozing bijvoorbeeld voor bij Tacozijl (Friesland) en Katwijk.
Bemaling van polders geschiedt door middel van een gemaal rechtstreeks op het open water of de boezem. Het overtollige water wordt via een stelsel van watergangen (waterleidingen, waterlossingen, tochten) van de kavelsloten naar het gemaal gevoerd. In de polder tracht men een vaste waterstand te handhaven, het zogenaamde polderpeil. Zomers en 's-winters kan het polderpeil verschillend zijn; men spreekt dan van zomerpeil resp. winterpeil.
De polder kan bestaan uit één geheel; zij kan ook verdeeld zijn in polderafdelingen, welke ieder afzonderlijk verschillende peilen hebben. In wezen zijn deze afdelingen dus polders. De onderlinge scheiding van de afdelingen kan bestaan uit kaden. Handhaving van het peil geschiedt meestal door middel van stuwen, afsluitbare duikers en bemaling. In de polders kunnen kleine delen voorkomen waar een lagere waterstand wordt gehandhaafd door het water naar de eigenlijke polder op te malen. Men spreekt dan van onderbemaling. Ook het omgekeerde kan zich voordoen, namelijk het handhaven van een hoger peil in een deel van de polder. Men spreekt dan van opkeren of opzetten.
Het overtollige water, dat wordt geloosd via het gemaal of de uitwateringssluis, wordt gevoerd naar open water. Dit kan geschieden direct, door een open verbinding, of indirect via een gesloten water of stelsel van wateren, dat dient om het overtollige water op te vangen en het op zijn beurt weer te lozen op een ander water. Men spreekt dan van een boezem. De boezem kan een vast peil hebben waarop de waterstand wordt gehandhaafd, het zogenaamde boezempeil.
Boezemland is land, dat rechtstreeks op de boezem afwatert; hiertoe behoort een groot deel van Groningen, Friesland en de geestgronden in Noord-Holland en Zuid-Holland.
Men onderscheidt verschillende soorten boezems.
Een besloten boezem is een boezem, waarvoor een maalpeil geldt. Zodra de waterstand op de boezem het maalpeil heeft bereikt, mogen de polders niet langer op de boezem lozen wegens gevaar voor doorbraak van de kaden en wateroverlast voor de boezemlanden.
Een vrije boezem is een boezem, waarop de polders ten allen tijde mogen lozen. Dit zal vaak voorkomen bij boezems, welke een grote waterbergende oppervlakte hebben, bijvoorbeeld door het aanwezig zijn van meren. Hiertoe behoort bijvoorbeeld Frieslands boezem.
Een bergboezem is een binnen de polder gelegen omdijkt gebied, waarin tijdelijk water kan worden geborgen bij hoge buitenwaterstanden.

Een voorboezem is een boezem, waarop bij hoge buitenwaterstanden het water tijdelijk kan worden geborgen. Een voorboezem wordt ook wel gebruikt aan zee door tijdens het hoogwater deze te vullen en tijdens het laagwater met groot verval te ledigen, waardoor de toegangsgeul met kracht kan worden doorgespuid.

6-2. De waterkeringen van de polders.

De polders zijn afgesloten van het omringende land en water door dijken, welke in den regel hoog zijn, of door kaden, welke in den regel laag zijn.
De scheiding tussen twee polders wordt polderkade genoemd. Een landscheiding is in feite een waterscheiding, het geeft de grens aan tussen twee boezemgebieden.
Wanneer een boezem van kaden is voorzien, spreekt men van boezemkaden.
Een kwelkade is een kade, welke gelegen is achter een rivierdijk om het kwelwater te keren.
Waterkeringen, welke het land beschermen tegen het open water (de zee of de rivieren) worden hoofdwaterkeringen genoemd. Hiertoe behoren de zeedijken en de bandijken van de rivieren. Hun hoogte wordt mede bepaald door de overschrijdingskans van het buitenwater en de golfoploop.
Dijken, welke zijn gelegen achter de hoofdwaterkering en de functie van tweede of derde kering vervullen, worden binnendijken, slaperdijken of droge dijken genoemd. Vaak zijn het oorspronkelijke hoofdwaterkeringen, welke door inpoldering van het voorliggende land tot tweede kering zijn vervallen. Men treft ze vooral aan in Friesland, Groningen en op de Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden. Ook zijn er slaperdijken, welke als zodanig zijn aangelegd, bijvoorbeeld in Zuid-Holland en in Noord-Holland.
Verbindingsdijken tussen de hoofdwaterkering en de binnendijk worden schenkeldijken of opdijken genoemd.

9. De landaanwinning.

9-1. Algemeen.

Sedert het midden van de 13e eeuw is in ons land door bedijkingen een landwinst verkregen van ongeveer 350 000 ha, hoofdzakelijk in de 16e, 17e en 19e eeuw. Door droogmakerij is sedert 1500 een landwinst ontstaan van ongeveer 250 000 ha. Hierbij zijn inbegrepen de IJsselmeerpolders (inclusief oostelijk Flevoland). Het merendeel daarvan is ontstaan in de 20e eeuw (120 000 ha), als gevolg van de Zuiderzeewerken; 70 000 ha in de 19e eeuw en 30 000 ha in de eerste helft van de 17e eeuw. Als toekomstmogelijkheden ziet men nog 120 000 ha aan bedijkingen en 130 000 ha aan droogmakerijen (waarvan 100 000 ha voor de Zuiderzeewerken). Hieraan kan nog worden toegevoegd 50 000 ha van de in totaal 210 000 ha woeste grond, welke nog ontgonnen kunnen worden.
De 600 000 ha grond, welke tot heden zijn verkregen door bedijkingen en door droogmakerij, vormen een indrukwekkend totaal. Daarbij moet echter niet uit het oog worden verloren, dat deze aanwinst voor het grootste deel gronden betreft, welke door geweld van de zee en van de rivieren en ook gedeeltelijk door de mens verloren zijn gegaan en later ten dele weer zijn teruggewonnen. Tegenover de winst van 600 000 ha staat een verlies van 500 000 ha, zodat de reële winst slechts gering is geweest.
Veel land is nodig voor stads en dorpsuitbreidingen, industrie, havens en sportterreinen, wegen en spoorwegen, kanalen en vliegvelden, zand en kleiputten en grindgaten. De hiervoor benodigde grondoppervlakte kan worden gesteld op 3000 ha per jaar.
Landaanwinning is dus nationaal-economisch gezien zeker gewenst en zelfs noodzakelijk. Het loont niet, als men slechts de "private" waarde van de grond beschouwt. Men moet daartoe de zogenaamde "sociaal-economische" waarde bezien. Sprekende gezegden hierover zijn:
- men wint het land voor de derde hand;
- de eerste boer gaat er aan dood, de tweede lijdt er nood, de derde vindt er zijn brood;
- de eerste gaat over de kop, de tweede heeft een strop, de derde komt er bovenop.

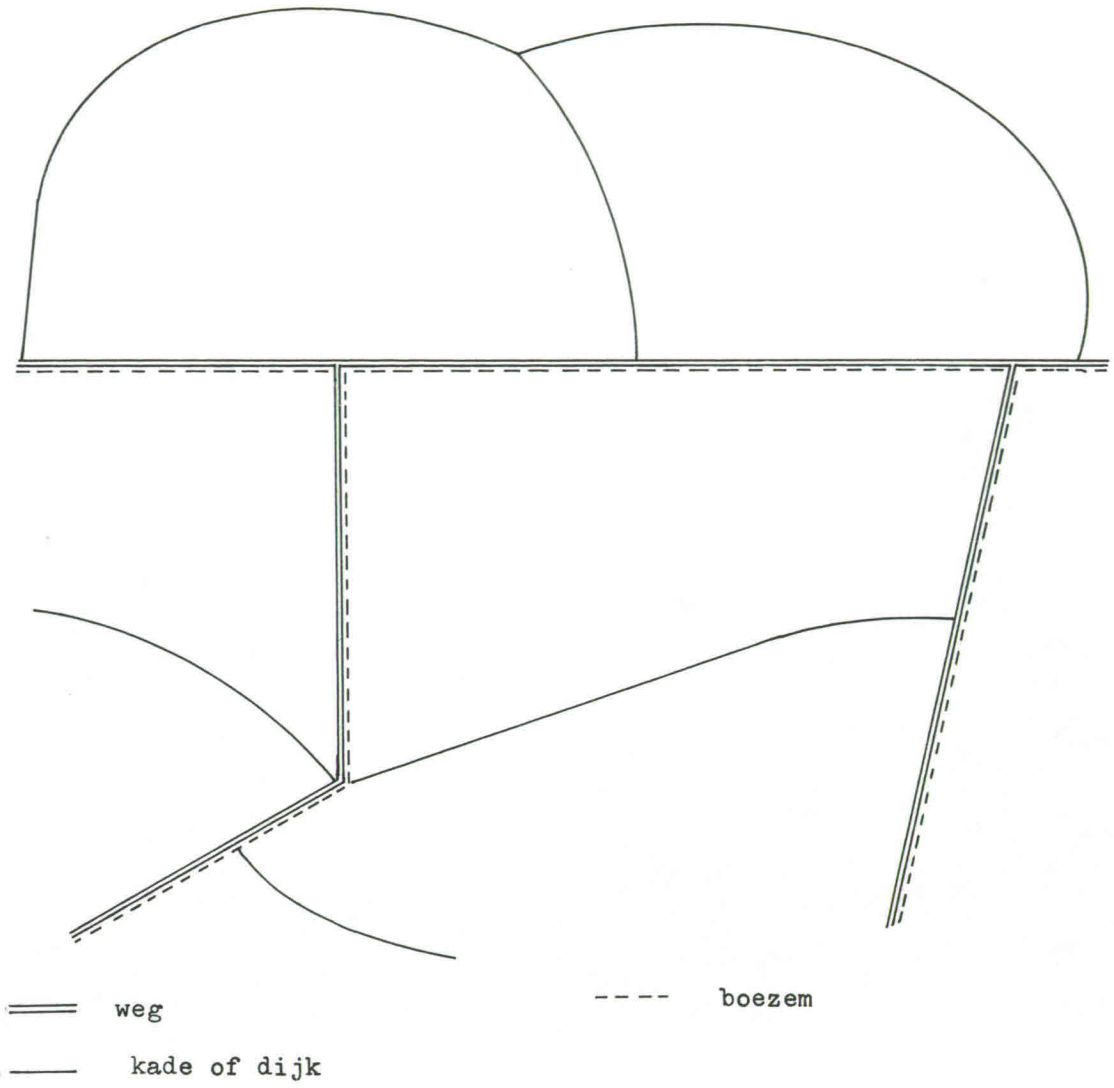
Bij de wet op droogmakerijen en indijkingen van 1904 zijn maatregelen getroffen, welke een goede uitvoering waarborgen en de belangen van derden beschermen. Krachtens deze wet kan droogmakerij of indijking geschieden:
a) door het rijk;
b) met concessie van het rijk;
c) krachtens waterschapsreglement.
Belanghebbenden in het achterliggende en aanliggende gebied kunnen bezwaren indienen bij de Gedeputeerde Staten volgens een bepaalde procedure.

Bij een droogmakerij wordt de bodem van een meer, een plas of een zeeboezem drooggelegd. Bij een indijking of een bedijking wordt het buitendijks ontstane nieuwe land (voorland) ingepolderd. In beide gevallen moet dijkaanleg plaatsvinden en het land ontwaterd kunnen worden. Vroeger legde men de dijken bij voorkeur in den droge aan; slechts een enkele keer werd een zogenaamde "plempdijk" toegepast. Het voorland moest zo hoog zijn opgewassen, dat een dijkaanleg mogelijk werd. In de tegenwoordige tijd met zijn moderne hulpmiddelen kan men ook dieper gelegen buitendijkse gronden bedijken.
Bij de droogmakerijen en de indijkingen moet men rekening houden met de belangen van het achterliggende en het omliggende land in verband met de

Zoetermeer, Benthuizen, Gelderswoude, Hazerswoude, Moerkapelle, Waddingsveen, Berkel, Bleiswijk, Bergsenhoek, Zevenhuizen en Nieuwerkerk.
De steden liggen in deze gebieden vanouds op boezemland of op de stroomruggen van de grote rivieren. Langs de oude veenstromen, welke thans boezemkanalen zijn, werden soms vrij brede stroken polderland niet verveend. Deze hoger gelegen polders vormden een beveiliging voor de droogmakerijen tegen het boezemwater.
Een geheel ander beeld vertonen de nieuwe IJsselmeerpolders. Zij bestaan uit uitgestrekte droogmakerijen met bebouwingskernen er midden in. Ook enkele oudere droogmakerijen kennen trouwens reeds, deels vanouds, deels uit latere tijd, de bebouwingscomplexen binnen hun dijken zoals in de Haarlemmermeer en de Beemster, de uitbreidingen van Amsterdam in de Watergraafsmeer en van Rotterdam bij Hillegersberg.

Topografisch is de droogmakerij, evenals de bedijking, direct te herkennen aan het regelmatige, rechthoekige net van wegen en watergangen. Opvallend is bijvoorbeeld de indeling van de Beemster met zijn vierkantenpatroon. Het "oude land" vertoont zich daarentegen geheel anders. Door haar natuurlijke ontstaanswijze vertoont het net van wegen en waterlopen hier een grillig beeld. Doch ook in het oude land komt tegenwoordig zo hier en daar het strakke patroon van wegen en waterlopen voor, vooral door de ruilverkavelingen.
Een vrij regelmatige indeling vertonen ook de veenkoloniale gebieden. Typerend zijn hier de wijken, die vanuit de vaarten over grote lengte optrekken. Zij zijn gegraven in het veen, oorspronkelijk voor de ontwatering, later voor de afvoer van de turf en bezitten daardoor vrij ruime afmetingen. Rondom de wijken is het veen afgegraven, waardoor zij meestal met een smalle strook veen uitsteken boven de aangrenzende afgegraven gebieden. Zij doen thans grotendeels dienst als boezem voor de te bemalen polders en de afvoer van landbouwproducten.

Met de ontginning van de hoger gelegen gronden in het oosten en zuiden van ons land wordt geleidelijk ook de ontwatering en de watervoorziening van deze gebieden ter hand genomen. Zo zijn allengs de stroomgebieden van beken en kleine rivieren in waterschapsverband gebracht, o.a.: de Wold en de Aa in Drente, de Regge en de Vecht in Overijssel, de Berkel en de Oude IJssel in Gelderland, de Dommel, de Aa en de Donge in Brabant, enz. De vraagstukken, welke hierbij aan de orde komen, zijn voor een groot deel dezelfde als die voor het polderland.

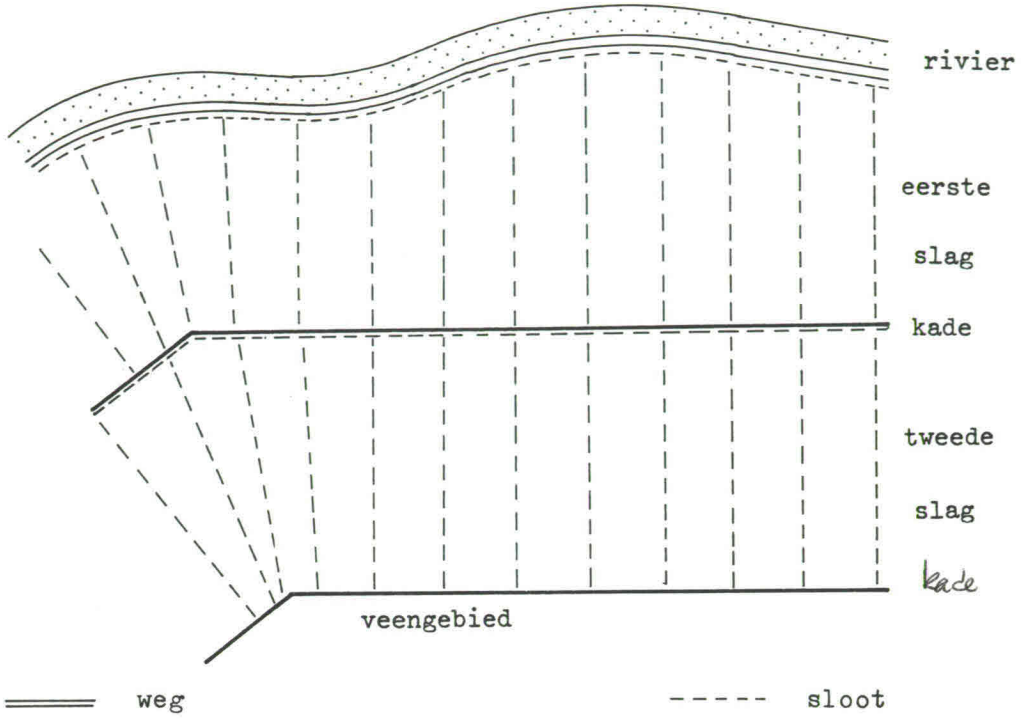


Figuur 8-2. Droogmakerijen in Zuid-Holland en Utrecht.

De droogmakerijen in Zuid-Holland en Utrecht bestaan hoofdzakelijk uit drooggemaakte veenplassen, welke waren ontstaan door de vervening van oude veenpolders. Tussen deze verveningen, welke in enkele grote complexen bijeen lagen, liet men de dorpen op smalle ruggen veen staan. Door deze ruggen lopen ook de vaarten, welke vroeger dienden voor de afvoer van het veen en tegenwoordig voor het op peil houden van het grondwater in de dorpen in verband met o.a. de funderingen. De smalle ruggen steken nog steeds enkele meters boven de aangrenzende droogmakerijen uit. De droogmakerijen vormen hier grote, aaneengesloten complexen. Voorbeelden hiervan zijn: Nieuwe Wetering, Rijnsaterwoude, Nieuwveen, Zevenhoven, Aarlanderveen, Mijdrecht, Nootdorp, Stompwijk,

ontwikkeling heeft plaats gehad in de kop van Noord-Holland, in west-Brabant en langs de noordelijke oever van de Maas (daarbij inbegrepen de Rotterdamse Waterweg). In Zeeland en het gebied van de Zuidhollandse eilanden vond bedijking plaats, uitgaande van kernen. Daar vindt men eveneens verschillende dijken achter elkaar, behalve in de oudste gebieden (Schouwen en Walcheren). Door de van oorsprong lagere ligging van de oudste, meer naar binnen gelegen polders en de langdurige klink, hebben verschillende eilanden een schotelvorm gekregen, bijvoorbeeld Tholen. Soms is één eiland ontstaan door aaneengroeien van verschillende kernen, zoals Goeree-Overflakkee. Deze polders en boezems raakten hun water aanvankelijk kwijt door natuurlijk verhang en door sluisgang. Overal in de dijken en kaden vond men uitwateringssluizen. Geleidelijk aan werd deze natuurlijke lozing steeds moeilijker, doordat deze gebieden door bodemdaling (klink) en zeespiegelrijzing steeds dieper kwamen te liggen. In de jongere bedijkingen vindt men nog wel natuurlijke lozing.
Omstreeks het begin van de 15e eeuw (de eerste vermelding geeft aan in 1408) vond de toepassing van de windmolen plaats. Deze bemalingsvorm schiep nieuwe mogelijkheden. In de 16e eeuw begon het klooster Egmond met het droogleggen van meren en plassen. Geleidelijk werden meer moerassen, poelen en zelfs enkele meren drooggelegd. Dit nam vooral in de 17e eeuw (gouden eeuw) een grote omvang aan toen vele rijke kooplieden een goede geldbelegging in het nieuwe land zagen. De verbetering van de windmolen door het toepassen van een draaibare kap speelde daarbij een grote rol. Oorspronkelijk werkten de molens met schepraderen, welke het water hooguit 2 m konden opmalen. In het begin werden daardoor slechts de ondiepe plassen en moerassen drooggelegd. In een later stadium ging men er toe over verschillende molens achter elkaar te plaatsen, welke elkander het water toemaalden (molengang), waardoor de totale opvoerhoogte kon worden vergroot. Men sprak daarbij, afhankelijk van het aantal achter elkaar geplaatste molens van Tweemanspolders en Driemanspolders. Nog later paste men vijzelmolens toe, welke het water ineens hoog konden opmalen.
De droogmakerijen in Noord-Holland zijn vrijwel uitsluitend drooggemaakte, vanouds bestaande meren. Door afslag zijn zij in de loop der eeuwen vergroot en hebben een lengteas gekregen welke van zuidwest liep naar noordoost. Deze afslag is veelal de reden geweest tot droogmaking. Zo vormde de Haarlemmermeer op den duur een grote bedreiging voor Leiden en vooral voor Amsterdam. De droogleggingervan vond plaats in het midden van de negentiende eeuw. De Noordhollandse droogmakerijen liggen dan ook vrijwel alle als afgeronde eenheden te midden van de oude veenpolders.

In de Hollanden en west-Utrecht kwamen vanouds moerasgebieden voor waaronder een ontoegankelijk grensgebied tussen het graafschap Holland en het bisdom Utrecht.



Figuur 8-1. Het slagenlandschap.

Op de hogere kleigronden langs de rivieren waren de doorgangen; hier bouwde men vestingen, zoals Naarden, Woerden, Oudewater en Nieuwpoort. Deze vrijwel ontoegankelijke gebieden werden geleidelijk aan in polders gelegd en ontwaterd, eerst in een strook langs de veenstromen en later ook meer binnenwaarts gelegen. Op deze wijze ontstonden rijen evenwijdige polders langs de veenstromen, de zogenaamde slagen. Deze moerasgebieden lagen veelal te laag om zonder kunstmatige middelen het water te kunnen lozen. Aanvankelijk bezigde men hiervoor de hoosschop en de paardenmolen. Al spoedig vond de windmolen toepassing (in het begin van de 15e eeuw). Hierdoor konden de geleidelijk dieper gedaalde veenpolders en ook de oudere kleipolders worden bemalen. Het oorspronkelijk niveau van deze polders zal omstreeks N.A.P. + 1 m hebben bedragen; thans is het maaiveld gelegen op ongeveer een hoogte van N.A.P.-1 à 2 m. 1408
In Groningen en Friesland werden van ouds de Middelzee en na zijn ontstaan in het begin van de 15e eeuw ook de Dollard geleidelijk aan ingedijkt. Ook langs de kust vond een geleidelijk voortschrijdende bedijking plaats. Hierdoor ontstonden daar langgerekte polders, strooksgewijze evenwijdig aan de kust met verschillende hoge dijken achter elkaar. In de binnendijken werden voor het verkeer vaak coupures gemaakt, welke met behulp van schotbalken konden worden afgesloten. Een soortgelijke

8. De waterstaatkundige opbouw van het Nederlandse polderland.

De bewoners van de lage delen van ons land vestigden zich van oudsher op natuurlijk hooggelegen plaatsen, zoals pleistocene opduikingen en stroomruggen. Door de stijgende zeespiegel werd later de bevolking grotendeels verjaagd en deels, verarmd, in het noorden tot terpenbouw gedwongen tussen 1000 en 300 jaar voor Chr. Aan de vele latere periodieke verhogingen van de terpen is te zien, dat de stijgende zeespiegel steeds meer zijn invloed op het land deed gelden.
Oorspronkelijk heeft men dus alleen getracht de woonkernen tegen overstroming te beveiligen. In een vrij vroeg stadium, waarschijnlijk omstreeks Chr. is men plaatselijk er toe overgegaan tot het verbinden van de terpen door dijken, welke voornamelijk als weg dienst deden.
Ook de Romeinen vestigden zich op de hooggelegen gronden, natuurlijke hoogten en stroomruggen. Hun wegen volgden zo goed mogelijk de hooggelegen stroomruggen van de rivieren. Plaatselijk hebben zij waarschijnlijk dijken aangelegd ter bescherming van woonkernen of als ondergrond voor een weg.
Hoewel dus zo hier en daar wel eerder kleine dijken zullen zijn aangelegd, kwamen de rivierdijken eerst vanaf omstreeks 800 jaar na Chr.
De zeedijken komen nog later.
De eerste bedijkingen hebben tot doel gehad het beschermen van de meer landinwaartse woonkernen tegen overstroming. Zo werden hele gebieden in het oude lage deel van ons land, voornamelijk in de Hollanden, het westen van Utrecht, een deel van Friesland en Overijssel en geleidelijk ook van Groningen door dijken of kaden afgesloten van het buitenwater. Dit buitenwater bestond uit de zee, zeearmen, geulen, kreken, binnenzeeën, meren, rivieren en andere met de zee in open verbinding staande "binnenwateren". Binnen de aldus gevormde omdijkingen kon het overtollige water slechts met moeite worden afgevoerd door de kunstmatige lozingsmiddelen zoals de hoosschop en de paardenmolen. Eerst toen men een betere afvoer bereikte door het toepassen van afsluitbare openingen en nog later door het in gebruik geraken van windmolens, kreeg men enigermate een beheersing van de waterstand. Grote delen van ons land werden op deze wijze "in polders gelegd".
In de Hollanden, Utrecht, Friesland en Groningen ging men er in de tweede helft van de dertiende eeuw toe over vele geulen, kreken en rivieren aan hun mond af te dammen. Hierdoor was men wel de hoge zeestanden kwijt, maar tevens de laagwaters. En juist tijdens de laagwaters kon men uit de omdijkte gebieden het water lozen. De kunstmatige lozingsmiddelen konden dit gemis niet geheel verhelpen.
De aan de mond afgesloten geulen, kreken en rivieren gingen nu de functie van boezem vervullen, doordat zij het water moesten opvangen van de aanliggende polders en dit op hun beurt moesten lozen op de rivier, de zee of op andere boezems. Binnen de afgedamde boezems kwam boezemland voor, dat oorspronkelijk natuurlijk op de boezem kon afwateren. Door klink werd men gedwongen deze gebieden eveneens te omdijken en over te gaan op bemaling. Voorbeelden van de op deze wijze ontstane boezems zijn: Rijnlands boezem, Rotteboezem, Amstellandboezem en Schermerboezem. Andere boezems zijn van aanmerkelijk latere datum, zoals de Noordzeekanaalboezem, welke in de tweede helft van de negentiende eeuw is ontstaan toen het IJ werd afgesloten en de ringvaarten van de vele droogmakerijen uit de 16e eeuw en later. De boezempeilen van deze complexen zijn meestal enige decimeters beneden N.A.P. gelegen. Zij zijn verzoet en spelen een belangrijke rol in de watervoorziening van ons polderland.
Vele plaatsnamen, welke eindigen op -dam, herinneren nog aan de afdamming van de binnenwateren.

Dan wordt de omslag (mede) bepaald naar het belang, dat men heeft bij de maatregel, waarvoor deze wordt geheven. Men deelt de grond dan in volgens omslagklassen, naar een klassificatie van de grond.
Niet alle onderhoudswerken worden door de polder zelf gedaan. Sloten en een deel van de hoofdwatergangen worden b.v. schoongemaakt en op diepte gehouden door de aangelanden. Dit zijn de eigenaren van het aanliggende land. Bij verpachte grond is dit meestal aan de pachter opgedragen. Soms komen de gezamenlijke werken van de polder voor op een legger of ligger, waarin alle werken staan omschreven met hun plaats, hun afmetingen, de eigenaren en de onderhoudsplichtigen.
Het waterschap heeft de bevoegdheid om regels vast te stellen in de vorm van verordeningen en kan deze ook doen naleven, eventueel onder politiedwang. De verordeningen mogen alleen bepalingen bevatten, welke nodig zijn om een juiste behartiging van de aan het waterschap toevertrouwde belangen te verzekeren. Deze verordeningen of keuren bevatten bijvoorbeeld bepalingen, dat de aangelanden gehouden zijn bepaalde watergangen te onderhouden op de afmetingen, zoals deze in de legger zijn genoemd.
De schouw is een periodieke rondgang van het bestuur, waarbij het onderhoud wordt gecontroleerd. Een keur kan ook verboden bevatten, bijvoorbeeld om op de wegen te komen met een wagen met bemodderde wielen, of om in de kaden te graven.
Van oudsher was het regel, dat de aan de zee grenzende eigenaren, gemeenten of polders, het stuk zeedijk, waarachter zij liggen, onderhouden (verhoefslaging). Dit behoort langzamerhand tot het verleden. Op de meeste plaatsen draagt het door de hoofdwaterkering omgeven gebied zorg voor de dijk. In Zeeland berustte de zorg tot voor kort nog bij de afzonderlijke polders. Voor sommige van deze polders werd dit te zwaar, bijvoorbeeld in gebieden, waar het onderhoud zeer kostbaar is (dijkvallen). Dergelijke polders kunnen aan de Provinciale Staten het verzoek richten om een calamiteusverklaring te verkrijgen. Bij inwilliging van dit verzoek wordt dan een apart waterschap voor het dijksonderhoud opgericht, waarin aangrenzende en achterliggende polders meebetalen. Bovendien krijgt dit waterschap subsidie van het rijk en de provincie. De polders, waarvan de kosten van dijksonderhoud nu deels door andere polders, door het rijk en door de provincie worden gedragen, worden calamiteuze polders genoemd. Geleidelijk aan wordt (is) de dijkzorg overal gecentraliseerd in grote waterschappen.

7. De bestuursvorm van de polders.

Onder een polder wordt verstaan een gebied, dat is afgesloten van het omliggende land en waarin de waterstand kan worden beheerst, onafhankelijk van de omgeving. Het begrip polder wordt dus hier in technische zin gebruikt. De zorg voor de waterkering, de boezems, de peilbeheersing, het onderhoud van de polderwegen, de bruggen e.d. en de bevoegdheid om verordeningen vast te stellen, is toevertrouwd aan de waterschappen. Dit zijn publiekrechtelijke lichamen, die de zorg voor de waterstaatsbelangen van een bepaald gebied tot taak hebben. Deze belangen zijn gebonden aan de tot het waterschap behorende gronden, resp. onroerende goederen.
Andere benamingen voor een waterschap zijn: Polder, Hoogheemraadschap, Heemraadschap en Grootwaterschap.
Provinciale Staten stellen het reglement (bijzonder) vast, waarin de taak en de grens van het grondgebied van de polder wordt vastgelegd, het aantal en de bezoldiging van de bestuursleden enz. Het is meestal gebaseerd op een algemeen provinciaal reglement, geldend voor alle waterschappen van de provincie, dat bepalingen omtrent de verkiezing van de bestuursleden, het stemrecht, het financieel beheer, de bestuursuitoefening en soms ook omtrent de taak van de polders bevat. Ook de omslagregeling is bij reglement geregeld, hetzij in het algemeen, hetzij in het bijzonder reglement.
Niet alle polders zijn gereglementeerd. Vooral vele buitenpolders, die in één hand zijn, zijn ongereglementeerd, omdat daartoe de behoefte niet werd gevoeld.
De specifieke waterstaatsbelangen, welke zijn toevertrouwd aan de waterschappen zijn:

- omringdijk (waterkering)
- interne watergangen
- interne wegen
- waterlossing
- waterinlaat
- waterhoedanigheid

Zo is bijvoorbeeld een dijkring een waterschap, waaraan de zorg voor de waterkering rondom het grondgebied er van is opgedragen. De grond kan dus deel uitmaken van verschillende waterschappen.
Het bestuur bestaat uit voorzitter, secretaris, penningmeester en leden. Soms hebben deze functionarissen namen als dijkgraaf, hoogheemraad, heemraad, schout, watergraaf, molenmeester enz. Het bestuur is belast met de exploitatie, het onderhoud, de aanleg en de vernieuwing van de werken die tot de inrichting van de polder behoren. De verkiezing van het bestuur geschiedt soms rechtstreeks door de ingelanden. Waar dit om practische redenen niet mogelijk is, bijvoorbeeld bij waterschappen met zeer veel ingelanden, geschiedt de verkiezing getrapt via hoofdingelanden.
De ingelanden zijn de eigenaren van de grond. Zij hebben stemrecht, meestal naar rato van hun grondeigendom. Het stemrecht is meestal niet evenredig met de oppervlakte van het grondeigendom, maar neemt per ha af, naarmate de oppervlakte toeneemt. De zeer kleine eigenaren kunnen meestal gezamenlijk stemrecht uitoefenen. In sommige waterschappen hebben ook de pachters stemrecht.
De jaarlijkse lasten worden omgeslagen over de ingelanden over ongebouwd onroerend goed en soms ook over gebouwd onroerend goed. De aanslagen worden uitgereikt aan de hand van een kohier of gaarderboek. Dit is een lijst van de ingelanden met de belastbare oppervlakte. In sommige gevallen is een omslag berekend naar evenredigheid van het onroerend bezit niet billijk.

afwatering, de waterinlaat, de visserij, de scheepvaart, het verkeer, de bewoning, het landschap en de recreatie. Bij de droogmakerijen dient men bovendien rekening te houden met de directe en indirecte gevolgen van de waterstandsverlaging in de droogmakerij op de grondwaterstand in de omgeving. Een eventuele grondwaterstandsdaling in de omgeving kan nadelig zijn voor de funderingen, wegen en kan aanleiding geven tot verdroging door negatieve kwel. Dit is bijvoorbeeld gebeurd bij Kuinre door het droogmaken van de Noordoostpolder.

Bij indijkingen moet worden overwogen, wanneer de buitendijks gelegen gronden voor bedijking in aanmerking komen. Vroeger werd een kwelder, schor of gors "rijp" bevonden voor indijking, wanneer deze was opgewassen tot boven normaal hoogwater. De aanleg van de dijk met de bijkomende werken was dan betrekkelijk eenvoudig terwijl de afwatering natuurlijk kon geschieden. Men kreeg dan zeer zware kleigronden, welke volgens de moderne kennis op het gebied van de landbouw wel enige nadelen bezaten. Tegenwoordig neemt men genoegen met grond, welke voor 15% uit slib bestaat (afslibbare delen, kleiner dan 16 μ). De gronden mogen niet te licht zijn, men krijgt dan het gevaar voor verdroging en verstuiving. Men spreekt tegenwoordig van grond, welke geschikt is voor bedijking. Een laag van 80 cm opwas geeft nog vrijwel optimale uitkomsten; 60 cm is de benedengrens.
Men is, technisch gezien, tegenwoordig in staat om slikken en zelfs dieper gelegen landen zonder bezwaar in te dijken, droog te maken en droog te houden. Door juiste waterhuishouding, grondbewerking en bemesting, is zelfs nog een behoorlijke opbrengst mogelijk op minder zware gronden.
Werken ter bevordering van de aanwas en de opwas worden landaanwinningswerken genoemd. Zij behoren, evenals de dijkaanleg, de aanleg van de wegen, de watergangen, de gemalen, de sluizen en bruggen tot de civieltechnische werken. Daarnaast komen cultuurtechnische werken voor, zoals egalisatie, detailontwatering, grondbewerking enz. Hoewel de verkaveling en de aanleg van de watergangen meestal onder de civiel-technische werken worden uitgevoerd, staan deze feitelijk op de grens tussen civieltechnische en cultuurtechnische werken.
Verder komen bij de droogmakerijen en de indijkingen nog voor de bouwkundige werken zoals boerderijen, schuren en dorpskernen. Het geheel dient planologisch te worden bekeken en te worden ingepast in het grote geheel van de aangrenzende polders en landen voor wat betreft de bewoning, het verkeer, het landschap en de recreatie.

9-2. De bevordering van de landaanwinning.

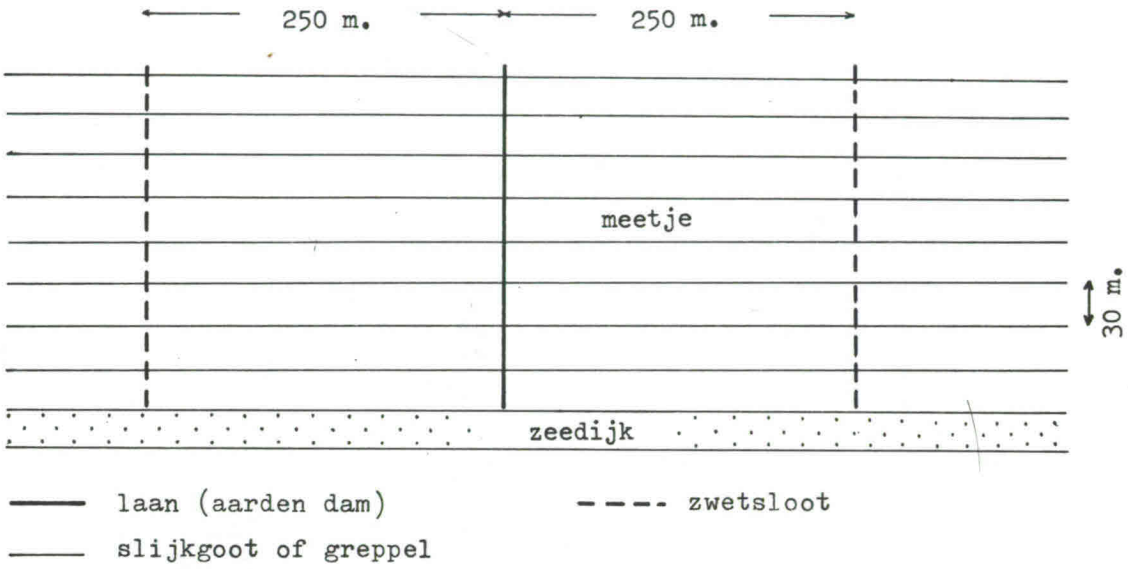
Aanvankelijk wisten de boeren aan de kust hun land gestadig te vergroten door de aanslibbing zelf te bevorderen. Op deze wijze ontstonden, vooral in Groningen, de zeer langgerekte stukken grond. De boeren werden lintboeren genoemd. Geleidelijk aan werd deze wijze van landaanwinning voor de particulieren minder aantrekkelijk door de zich wijzigende arbeidsverhoudingen. Daarbij kwam, dat de overheid in de dertiger jaren behoefte kreeg aan arbeidsintensieve werken in verband met de werkverruimingsmaatregelen. Vanaf 1935 werden toen met de belanghebbende eigenaren de zogenaamde delimitatiecontracten afgesloten. Het rijk nam daarin de taak van de landaanwinning over en de eigendomsgrenzen werden vastgelegd.

Voor het ontstaan van nieuw land door buitendijkse aanslibbing is het nodig, dat er zand en slib in het zee- of rivierwater aanwezig zijn, die kunnen bezinken. De oppervlakte wordt daardoor hoger (opwas) of groter (aanwas). Boven een bepaalde hoogte gaat de natuurlijke begroeïing een grote, soms zelfs overheersende rol spelen.
De landaanwinning kan worden bevorderd door:

a. beplanting. Vanouds werden hiervoor biezen, riet en driekant gebruikt. Tegenwoordig past men veel beplanting toe met Spartina Townsendii (basterd-slijkgras). In het noorden vriest dit meestal uit. Afhankelijk van de landhoogte en de vorm van de getijkromme past men toe:

basterd-slijkgras	tot 80 cm beneden gem.H.W.
zeekraal	tot 50 cm beneden gem.H.W.
zeeaster	tot iets beneden gem. H.W.
kweldergras	tot iets boven gem. H.W.

b. greppelen. Oorspronkelijk werd het greppelen toegepast in combinatie met "kruisdammen" bij een vakverdeling van 100 x 100 m. Later heeft men deze methode verlaten. Men past nog wel toe zogenaamde "meetjes". Dit zijn kommen van ongeveer $\frac{3}{4}$ ha. met er om heen walletjes, welke zijn opgeworpen met het bezinksel uit de sloten.



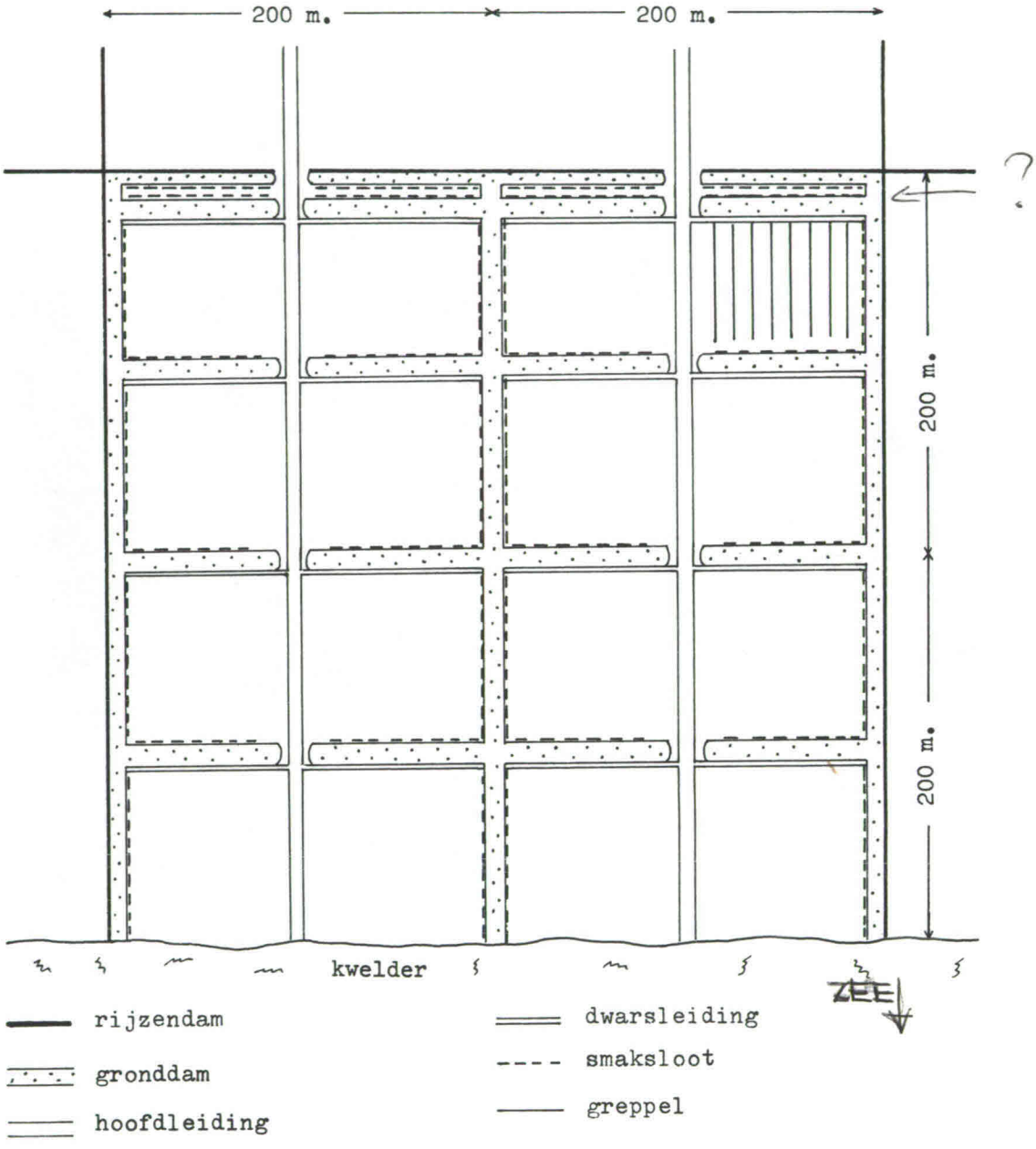
Figuur 9-1. Het greppelen.

Het gaat bij het bezinken steeds om een snelle toevoer van het water om het slib niet voortijdig te verliezen. Daarna dient het water zo lang mogelijk stil te staan om een zo volledig mogelijke bezinking te krijgen en een goede hechting aan het oude slib. Ten slotte dient het water weer vlot weg te kunnen stromen. Een of twee maal per jaar worden de greppels weer op diepte gebracht, waarbij het uitkomende bezinksel als een rug midden op het perceel wordt gedeponeerd. Het greppelen kan worden toegepast voor slikken, welke niet lager zijn gelegen dan ongeveer 50 cm. beneden gem. H.W.

c. Sleeswijk-Holsteinse methode (gewijzigd)

Deze kan worden toegepast tot hoogten van 1,00 à 1,20 m. beneden gem. H.W., wanneer dus nog geen beplanting mogelijk is. Men maakt vakken

van ongeveer 400 x 400 m, welke worden begrensd door "dammen" van rijshout tussen palen (zie figuur 9-2). Deze dammen reiken tot gem. H.W. en zijn aan weerszijden aangeaard onder een beloop van 1 : 5 met aarde, welke is ontleend aan de sloten aan weerszijden van de dam. Aan de zeezijde zijn de vakken voorzien van twee openingen; welke de toegang verlenen tot de hoofdgeulen. Vaak treft men verschillende vakken achter elkaar aan.
De vakken worden door aarden dammen van ongeveer 0,58 m hoogte onderverdeeld in vakken van 100 x 100 m. De twee hoofdgeulen zijn ieder 2 à 3 m breed en 25 à 45 cm. diep. De dwarssloten liggen om de 100 m. zijn 2 m. breed en 25 cm. diep. De greppels liggen op afstanden van 5 à 10 m. zijn 1 à 2 m. breed en 20 à 25 cm. diep.



Figuur 9-2. De Sleeswijk-Holsteinse methode (gewijzigd).

d. kribben. Deze worden alleen toegepast als lengtedammen. Dwarsdammen, vooral bij de kopeinden van de openingen, hebben bij een groot tijverschil meestal veel te lijden van de sterke stroom. Achter de kribben past men sloten toe en begreppelt op de wijze van de Sleeswijk-Holsteinse methode.

c. schaal- en weekdieren. Het niet bezinkbare slib wordt door deze dieren (vooral de mosselen) opgenomen en in bezinkbare vorm (korrels, samenballingen) afgescheiden.

b. chemisch . Op chemische wijze is het ook mogelijk het slib tot bezinking te brengen. In de praktijk is het echter nog niet mogelijk gebleken deze methode op economisch verantwoorde wijze toe te passen.

10. De gewenste waterstand.

10-1. De betekenis van het water als bouwsteen voor de landbouwgewassen.

Water is de voornaamste bouwsteen van de plant. Zo bestaan de aardappels voor 75% uit water en de voederbieten voor 88%. Een goede oogst aardappelen, resp. voederbieten bevat zodoende 40 000 kg, resp. 100 000 kg water per hectare, overeenkomend met een schijf water van 4 resp. 10 mm. Deze hoeveelheden spelen geen rol van betekenis bij de totale neerslag in Nederland, welke gemiddeld 725 mm per jaar bedraagt.

10-2. De verdamping van het water.

Zeer veel water wordt opgenomen door de wortels, stroomt door de plant en verdampt aan de bladeren bij de groei van de gewassen. Men noemt dit transpiratie. Het aantal kilogrammen water, dat benodigd is voor de vorming van 1 kg droge stof, wordt de transpiratiecoëfficiënt genoemd. Zij loopt uiteen van 300 tot 600 en bedraagt gemiddeld 400. Naast het waterverbruik door de plant zelf treedt verdamping op vanaf de bladeren van de daarop gevallen neerslag. Ook treedt verdamping op vanuit het open water en de grond; deze wordt evaporatie genoemd. Het totaal van transpiratie, verdamping en evaporatie wordt wel verdamping, evaporatie of evapotranspiratie genoemd en bedraagt 450 tot 600 mm per jaar. De evapotranspiratie is onder meer afhankelijk van de soort van het gewas, het groeistadium, de grondsoort, de verhouding tussen de bodem- en wateroppervlakte, de hoeveelheid beschikbaar water, de temperatuur, de wind en de vochtigheid.
Het totale waterverbuik in ons land door de evapotranspiratie is zeer groot. Zo worden door de 2,5 miljoen hectaren landbouwgewassen rond 10^{10} m^3 water per jaar gebruikt. Dit is het tienvoudige van het huidige landelijke waterleidingverbruik!

10-3. De beworteling van de gewassen.

Het water, dat is benodigd voor de groei van het gewas wordt hoofdzakelijk opgenomen door het actieve deel van de wortelzone, waarin zich de wortelharen bevinden. Dit is ongeveer 1 cm achter de top van de wortel. Noodgedwongen kan de plant ook daarbuiten water opnemen, doch dan worden er nieuwe wortelharen gevormd, hetgeen vertragend werkt op de ontwikkeling van de plant.
De gunstigste grondwaterstand hangt dus samen met de bewortelingsdiepte van de verschillende gewassen.
Men is dus in feite genoodzaakt om de grondwaterstand te regelen naar de gebruikswijze van de grond.
Tabel 10-1 geeft een overzicht van de bewortelingsdiepte voor verschillende gewassen.

Tabel 10-1. Overzicht van de bewortelingsdiepte voor verschillende gewassen.

optimale wortelontwikkeling in centimeters

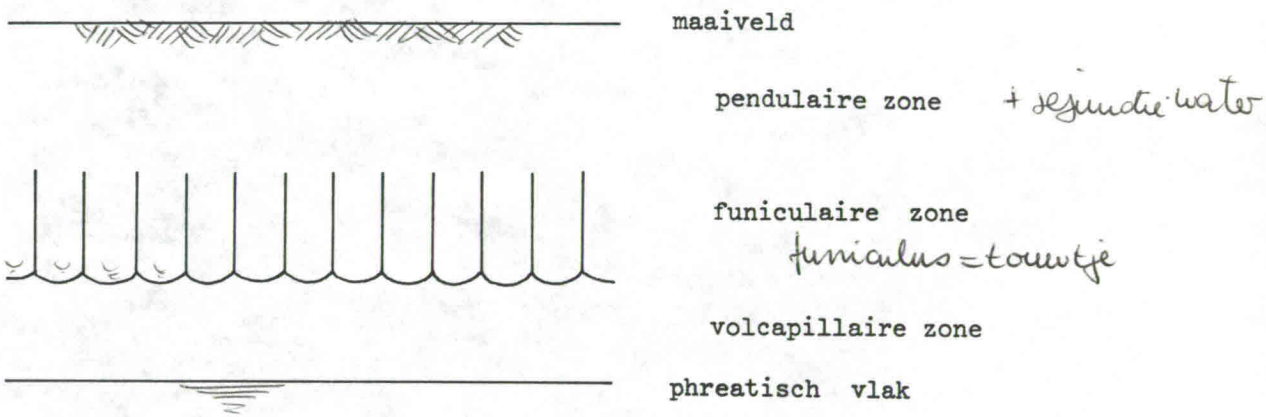
±150	±100	±75	±40	
zeer diep	diep	middelmatig	ondiep	zeer ondiep
lucerne vruchtbomen (stam)	granen suikerbieten	aardappelen maïs vruchtbomen (struik)	tuinbouw groenten bollen	gras

De grondwaterstand is in ieder geval de ondergrens van de wortels, waarin deze nog water kunnen opnemen. Daarboven kunnen plaatselijk echter belemmeringen voor de wortelgroei optreden, zoals een vaste, harde laag, stenen, voedselarme laag, enz. Hierop reageren de wortels

ongunstig. Boven de optimale grondwaterstand dient de grondsamenstelling zo gelijkmatig mogelijk te zijn.
Grassen wortelen over het algemeen zeer ondiep. Het grootste deel van de wortels bevindt zich in de zone van 0 tot 20 cm. Dit komt door het ingrijpen van de mens, die door het regelmatig hooien of beweiden de wortelgroei belemmert. Het gras kan ook zeer diepe wortels ontwikkelen.

10-4. De verdeling van het water in de grond.

De grondwaterspiegel of het phreatisch vlak is het vlak van de grondwaterstand, waar de druk gelijk is aan de atmosferische. Beneden dit vlak is de druk hoger en zou de lucht uit de grond verdwenen moeten zijn. In klei en veen is deze lucht vaak ingesloten door capillairen en kan zij niet ontwijken omdat de weerstand in de omliggende fijne poriën te groot is. Beneden het phreatisch vlak spelen zich de overwegend horizontale grondwaterstromingen af. Er boven treden voornamelijk verticale bewegingen op als gevolg van de capillaire werking van de grond, het indringen van de neerslag en de verdamping. Men verdeelt deze zone in drie gebieden, zoals is aangegeven in figuur 10-1.



Figuur 10-1. De drie zones boven het phreatisch vlak.

In de volcapillaire zone zijn alle poriën gevuld met water dat capillair in verbinding staat met het grondwater. De stijghoogte is omgekeerd evenredig met de diameter van het capillair. Hoe fijner de poriën, hoe groter de capillaire stijghoogte, maar hoe geringer de stijgsnelheid.
In de funiculaire zone staat het water alleen nog met het grondwater in verbinding door de fijne poriën. De grove poriën zijn gevuld met lucht.
In de pendulaire zone is geen contact meer met het grondwater, Hier bevindt zich alleen nog het zogenaamde pendulaire water of hangwater. Dit water bevindt zich rond de aanrakingsvlakken of punten van de gronddeeltjes. Ook behoort er toe het zogenaamde sejunctiewater, dat blijft hangen in afgesloten capillairen en groepjes poriën.
De overgang tussen de drie zones verloopt zeer geleidelijk bij de fijn verdeelde grondsoorten zoals klei en zavel. Bij de grof verdeelde gronden, zoals zand, is de overgang zeer scherp en ontbreekt de funiculaire zone meestal geheel.

10-5. De opname van het water door de wortels.

Het phreatisch vlak vormt de onderste grens voor wateropname door de wortels. De opnamemogelijkheid van water door de plantenwortels in de daarboven liggende volcapillaire zone is zeer gering door het ontbreken van voldoende lucht.

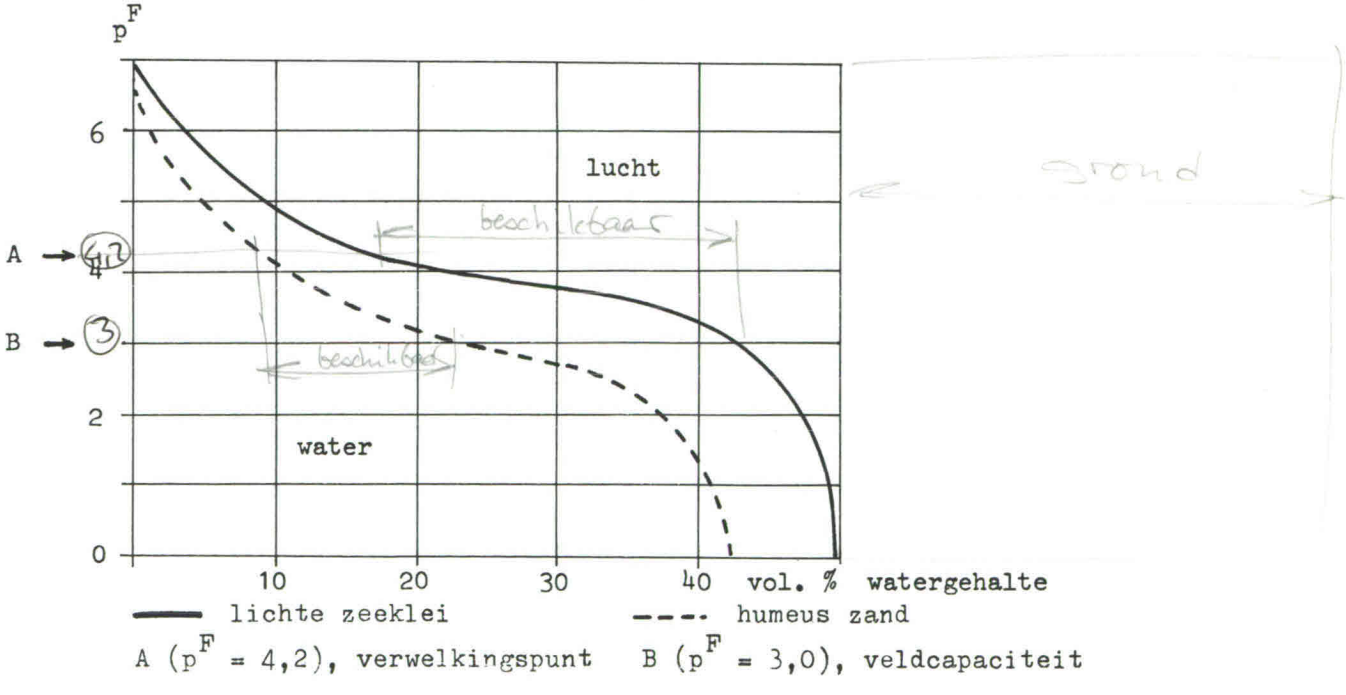
De grote opnamemogelijkheid van de wortels treedt op in de funiculaire zone waarin de grote poriën met lucht gevuld zijn. Bovendien kan het water in deze zone worden aangevuld vanuit het grondwater. Ook in de pendulaire zone zijn de omstandigheden gunstig. In deze zone heeft geen aanvulling plaats door het grondwater, wel door de neerslag.

Niet al het water in de pendulaire zone kan worden opgenomen. Dit betreft het imbititiewater, dat moleculair of colloïdaal aan de grond is gebonden en het hygroscopisch water, dat iets minder sterk aan de grond is gebonden.

Als maat voor de hoeveelheid beschikbaar water in de bodem wordt in de landbouwkringen gebruikt de p^F, waaronder wordt verstaan de logaritme van de onderdruk van dat water in centimeters water. Men onderscheidt daarin enkele karakteristieke waarden:

a) de veldcapaciteit bij $p^F = \pm 3$. De onderdruk is dan gelijk aan 1000 cm of 1 atmosfeer. Dit is het geval in de pendulaire zone. De wortels moeten deze zuigspanning uitoefenen om dit water op te kunnen nemen. Men krijgt deze onderdruk, wanneer de grond na verzadiging door een oevervloedige regenperiode een redelijke tijd heeft kunnen uitzakken. De grond weet dit water nog juist vast te houden tegen de zwaartekracht in. De rest van het water zakt dus naar het grondwater. Dit water is dus voor de plantengroei beschikbaar wanneer het water uit de funiculaire zone onaangeroerd blijft.

b) het verwelkingspunt bij $p^F = \pm 4,2$. De onderdruk is dan gelijk aan 16000 cm of 15 atm. Dit is de grootste zuigspanning, waarbij de plantenwortels nog water kunnen opnemen. Bij grotere onderdrukken kan het water niet meer opgenomen worden, hoewel er nog wel voldoende beschikbaar is.



Figuur 10-2. Verband tussen het watergehalte en de onderdruk.

Bij elke waarde van p^F behoort een volumepercentage water. Dit percentage is afhankelijk van de grondsoort. Voor twee grondsoorten, namelijk klei en humus zand is dit verband weergegeven in figuur 10-2. In de figuur zijn tevens aangegeven het verwelkingspunt (p^F = 4,2) en de veldcapaciteit (p^F = 3,0). In landbouwkringen neigt men er toe, uit te gaan van de p^F = 2, optredende kort na een overvloedige regenbui; men noemt deze ook wel de veldcapaciteit. De hoeveelheid water tussen de veldcapaciteit en het verwelkingspunt kan door de plant worden bereikt, wanneer er geen aanvulling door het grondwater kan optreden, bijvoorbeeld wanneer het grondwater te diep ligt. Bij klei bedraagt deze hoeveelheid: 43-18 = 25%; bij humeus zand: 23-10 = 13%. Zonder humus is bij zand met een diepliggende grondwaterstand zelfs geen plantengroei mogelijk.

10-6. De aanwezigheid van lucht in de wortelzone.

Naast een zekere hoeveelheid water en voedingsstoffen hebben de plantenwortels behoefte aan lucht. Bij een groot poriënvolume van de grond krijgt deze een zogenaamde kruimelstructuur. Dit is van belang voor de opname van hevige neerslag en het vasthouden van hangwater. Pas drooggevallen gronden hebben een zeer hoog watergehalte en een zeer dichte structuur, vooral, wanneer zij verzilt zijn.
Een ideale verdeling van het volumepercentage grond: water: lucht zou zijn 1:1:1. Deze ideale verhouding wordt niet bereikt want het totaal poriënvolume bedraagt bij zandgrond ongeveer 40% en bij kleigrond ongeveer 50%, zodat het poriënvolume bijna steeds kleiner is dan tweederde. Hierbij heeft zandgrond het nadeel, dat het percentage poriënvolume aanmerkelijk kleiner is dan tweederde. Ook de verhouding water-lucht is bij zandgrond verre van ideaal door het vrijwel ontbreken van de funiculaire zone waardoor de hoeveelheid water, welke door de plant kan worden benut bij diepliggende grondwaterstand vrijwel nihil is. Zandgrond heeft een betere structuur, naarmate het humusgehalte hoger is en de humeuze bovenlaag dikker is. Men kan de structuur ervan verbeteren door toevoeging van compost of van veen (zoals in feite het geval is bij de dalgronden). Op de esgronden in het oosten van ons land heeft men vroeger deze structuurverbetering bereikt door verhoging met heideplaggen en regelmatige bemesting met stalmest (stro).
Uit de bovengenoemde factoren volgt, dat kleigrond met een hoge grondwaterstand slechte groeicondities bezit door het ontbreken van voldoende lucht. Zandgrond heeft alleen goede groeicondities, wanneer de grondwaterstand zo hoog is, dat de plant zich op de grens van de capillaire zone van water kan voorzien.
Afhankelijk van de toe te passen gewassen dient de meest gunstige grondwaterstand te worden gekozen.

10-7. Het verband tussen de hoogte van de grondwaterstand en de opbrengst.

De gunstigste ligging van de grondwaterspiegel ten opzichte van het maaiveld blijkt sterk afhankelijk te zijn van de aard van het gewas (in verband met de bewortelingsdiepte) en de bodemsoort (in verband met de ligging van de volcapillaire zone en de poriënverdeling). Over de gunstigste grondwaterstanden zijn vele proeven gedaan terwijl ook de praktijk ervaringsuitkomsten biedt. De proeven zijn gedaan op zandgronden en op zware kleigronden voor verschillende gewassen. De eerste proeven werden verricht in bakken, waarin men de grondwaterstand nauwkeurig kon regelen en de neerslag kon nabootsen door begieten. Bij de latere proeven werd de neerslag buiten beschouwing gelaten. Bij de ondiepe grondwaterstanden had deze weinig invloed en bij de diepe grondwaterstanden kon de opbrengst er niet door op peil gebracht worden.

Tabel 10-2. Invloed van de grondwaterstand op de opbrengst van bollen bij duinzand.

grondwaterstand in cm beneden maaiveld	hyacinthen		tulpen		
	grof	fijn	grof	fijn	→ duinzand
50	109,5	83,9	2123	1496	
60	90,3	100,5	1986	1357	
70	64,8	74,5	1715	1229	
80	45,0	67,7	1565	1210	
	gewichtsvermeerdering in %		absolute productie		

Hyacinthen geven op fijn duinzand de grootste gewichtsvermeerdering bij een grondwaterstand van 60 cm beneden het maaiveld. Bij een diepere grondwaterstand bleek de beworteling oppervlakkiger te worden met enkele lange wortels naar beneden. Bij een ondiepere grondwaterstand werd het wortelstelsel vrij ondiep.
De beoordeling van de proeven met klavergrasmengsels (tabel 10-3) is minder eenvoudig dan bij bouwland omdat men hooi wint bij verschillende sneden waardoor verschillen kunnen optreden in opbrengst en voederwaarden.

Tabel 10-3. Hooiopbrengst in 100 kg/ha en ruw-eiwitgehalte in procenten van de droge stof bij klavergrasmengsels op verschillende grondsoorten.

grondwaterstand in centimeters beneden maaiveld	grof zand		fijn zand		klei		veen	
	hooi	eiwit	hooi	eiwit	hooi	eiwit	hooi	eiwit
40	118	12,6	174	12,1	180	13,3	173	13,4
70	50	6,0	152	10,8	162	16,3	162	14,5
100	43	5,3	113	8,9	142	14,0	124	11,2
130	33	4,1	72	5,8	141	13,1	123	10,9

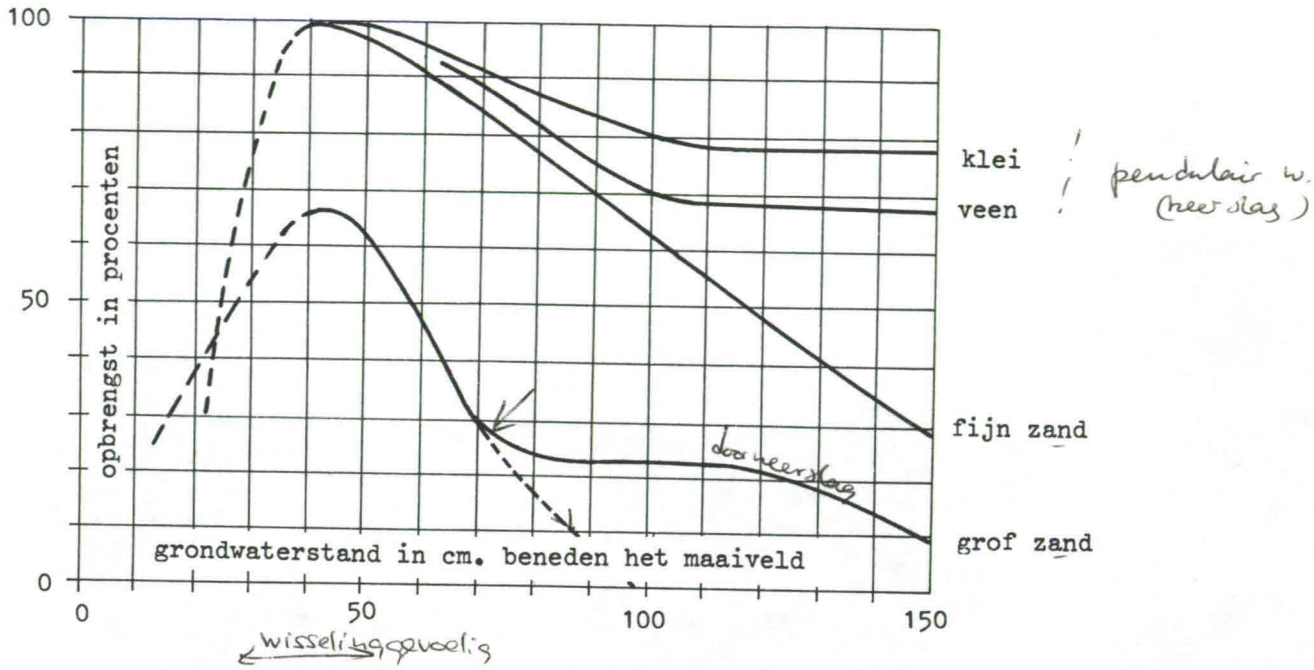
De hoge grondwaterstanden geven overal de grootste hooiopbrengst (zware vegetatie). In enkele gevallen echter blijkt de voedingswaarde daarbij slechter te zijn dan bij een iets diepere grondwaterstand.

Tabel 10-4. Opbrengst in kg/are bij hooi en zomertarwe op zandige terreinen in de noordoostpolder (middelfijn zand).

grondwaterstand in centimeters beneden maaiveld	hooi			zomertarwe
	eerste snede	tweede snede	totaal	
40	44	42	86	26,4
55	35	35	70	26,3
70	32	25	57	25,8
diep	22	17	39	21,9

Zomergranen op deze middelfijne zandgrond blijken bij een grondwaterstand ≦ 70 cm beneden het maaiveld vrijwel indifferent te zijn voor de grondwaterstand. Bij grotere diepte wordt de opbrengst merkbaar lager.

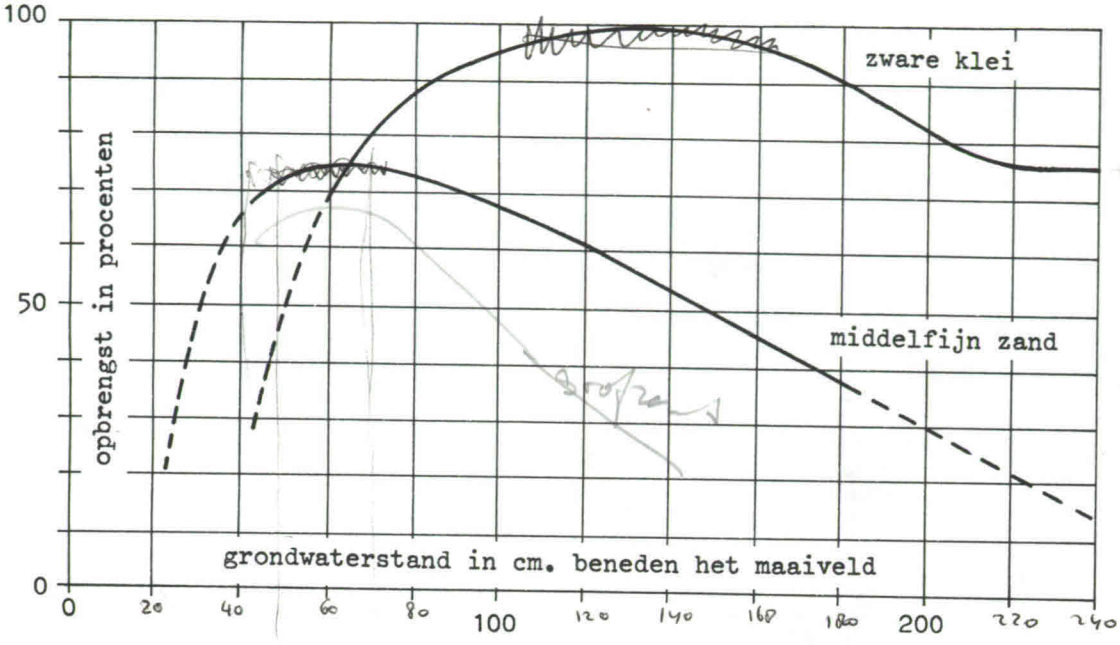
Voor grasland blijkt de hoogste opbrengst te worden verkregen bij een grondwaterstand van 40 cm beneden het maaiveld.



Figuur 10-3. De opbrengstkrommen voor een klavergrasmengsel op verschillende grondsoorten.

In figuur 10-3 zijn de opbrengstkrommen getekend voor een klavergrasmengsel op verschillende grondsoorten. De waarden hiertoe zijn ontleend aan tabel 10-3, waarbij de grootste opbrengst op 100% is gesteld en de overige opbrengsten in percentages daarvan zijn uitgedrukt.
De relatief grootste opbrengst wordt verkregen bij een grondwaterstand van 40 tot 50 cm beneden het maaiveld. Bij hogere standen zal de opbrengst sterk teruglopen en nul worden bij een grondwaterstand van enkele decimeters beneden het maaiveld. Dit is het geval, wanneer de bovenzijde van de volcapillaire zone het maaiveld bereikt en de wortels zich niet meer kunnen ontwikkelen door gebrek aan lucht.
Bij lagere grondwaterstanden neemt de opbrengst bij grof zand zeer snel af en zou tot nul naderen, indien er geen suppletie van water door de neerslag zou zijn. Als gevolg van de neerslag nadert de kromme nu slechts zeer langzaam de nullijn. Ook de lang doorgroeiende graswortels beïnvloeden het langzaam afnemen van de opbrengst. De opbrengst bij fijn zand neemt geleidelijk af maar zal uiteindelijk ook de nullijn bereiken omdat het pendulaire water ondanks de suppletie door de neerslag niet voldoende is om een opbrengst te bereiken.
De opbrengst bij klei en veen neemt bij lager wordende grondwaterstanden slechts langzaam af en gaat daarna over in een vrijwel constante waarde. Blijkbaar is het pendulaire water, aangevuld met de neerslag in staat te voorkomen, dat verwelking van het gewas optreedt.

De grotere opbrengst bij een grondwaterstand van 40 tot 50 cm beneden het maaiveld is het gevolg van de wateraanvoer door de funiculaire zone welke in verbinding staat met het grondwater. Vooral bij de grove zandgronden is deze zone zeer critisch.



Figuur 10-4. De opbrengstkrommen voor tarwe op verschillende grondsoorten.

wisselingsgevoelig

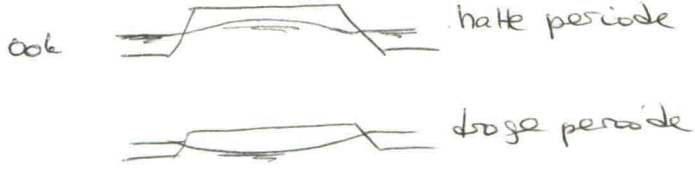
In figuur 10-4 zijn de opbrengstkrommen getekend voor zomertarwe op zware klei en op middelfijn zand. Bij dit zand blijkt de opbrengst voor grondwaterstanden van 40 tot 70 cm beneden het maaiveld slechts weinig af te hangen van de grondwaterstand. Bij grotere diepten neemt de opbrengst aanmerkelijk af en zal uiteindelijk de nullijn bereiken, omdat het pendulaire water, ondanks de neerslag niet toereikend is om uiteindelijke verwelking te voorkomen. Bij grof zand zal bij dieper wordende grondwaterstand de nullijn aanmerkelijk eerder worden bereikt. Bij de zware klei heeft de opbrengst de grootste waarde bij een grondwaterstand van 150 cm beneden het maaiveld. De kromme heeft tussen 90 en 150 cm een zeer vlak verloop. In deze zone is dus de opbrengst niet zo zeer afhankelijk van de grondwaterstand. Hierdoor kan men in de praktijk de ontwateringsdiepte voor zware kleigronden zonder bezwaren op 120 cm beneden het maaiveld kiezen, waardoor de sloten minder diep worden en het grondverzet minder. Bovendien is daarbij de kans op doorsnijding van afsluitende lagen geringer.
Bij grondwaterstanden dieper dan 150 cm neemt de opbrengst geleidelijk af en blijft daarna een constante waarde behouden. In dit gebied maakt het gewas alleen gebruik van het pendulaire water en de neerslag, welke in de bodem blijft hangen. Bij de zone van de grootste opbrengst wordt in het benodigde water voorzien door de funiculaire zone, welke in directe verbinding staat met het grondwater.

10-8. De invloed van de wisselende grondwaterstand op de opbrengst.

Bij de voorgaande proeven werd steeds uitgegaan van een constante waterstand. In de praktijk treedt deze toestand echter niet op. Als gevolg van de neerslag, de afvoer, de verdamping en het verbruik door de planten treedt een voortdurende wijziging van de grondwaterstand op. Het nemen van proeven met wisselende waterstanden, welke de praktijk benaderen, is uiterst moeilijk. De proeven, welke op dit gebied zijn verricht, hebben enkele belangrijke punten uitgewezen.

a) de gunstigste gemiddelde waterstand stemt overeen met de constante grondwaterstand welke bij de voorgaande proeven is aangehouden;
b) de opbrengst is zeer gevoelig voor wisselingen in de ondiepe grondwaterzones bij gras op alle grondsoorten en bij graan op zand. Dit blijkt in de figuren 10-3 en 10-4 bij het snelle afnemen van de opbrengst wanneer het grondwaterpeil hoger ligt dan 40 tot 50 cm beneden het maaiveld;
c) de opbrengst is minder gevoelig voor wisselingen van de grondwaterstand beneden de optimale zone;
d) toenemende fluctuatie in de grondwaterstand geeft over het algemeen een afnemende opbrengst. De verklaring hiervoor is, dat de wortels zich op een vaste grondwaterstand instellen. Stijgt deze, dan worden de wortels gehinderd en sterven uiteindelijk af. Daalt de grondwaterstand, dan groeien de wortels mee.

Een goede beheersing van de grondwaterstand is dus in het belang van de landbouw, vooral bij geringe ontwateringsdiepten. Wisseling van de waterstand met de seizoenen kan voordelen hebben. Vanouds her was het in vele gevallen de gewoonte om zomers en 's-winters verschillende peilen aan te houden. Proeven hieromtrent hebben uitgewezen, dat een lage winterwaterstand gevolgd door een hoge zomerwaterstand de beste resultaten geeft. Er wordt daardoor een goede ontluchting van de grond verkregen en bovendien is een dergelijke grond minder koud. 's-Winters mag de grondwaterstand niet te hoog zijn: "natte gronden zijn koude gronden". In geen geval mag bij bouwland het water in de bouwvoor stijgen; hierdoor ontstaat structuurverandering van de grond.



11. De vaststelling van het polderpeil.

11-1. Algemeen

Afhankelijk van de grondsoort en de wijze van ontwatering kan de grondwaterstand afwijken van de slootwaterstand. In de zomer en in polders met negatieve kwel is de grondwaterstand lager dan de slootwaterstand. In de natte wintermaanden en in polders met diepe kwel is de grondwaterstand hoger dan de slootwaterstand. Door de slootwaterstand tracht men de grondwaterstand te beïnvloeden. Men heeft daarbij, behalve met grasland en bouwland, tevens te maken met "ondiepe" en "diepe" gronden. Onder "ondiepe" gronden verstaat men gronden, waarbij de waterhoudende bovengrond dunner is dan de optimale ontwateringsdiepte. In dergelijke gronden zal de slootwaterstand wat hoger gekozen dienen te worden om "steun" te verlenen aan het grondwater. Onder "diepe" gronden verstaat men gronden, waar een redelijk dikke laag waterhoudende bovengrond (klei, zavel, humushoudend zand) aanwezig is, welke lager reikt dan de optimale ontwateringsdiepte.
Voor veen, ook al is dat over grotere dikte aanwezig, gelden afzonderlijke eisen in verband met verdrogingsgevaar. Hier zal men de slootwaterstand zo hoog mogelijk kiezen.
De keuze van de waterstand in de sloten van de polders, het zogenaamde polderpeil, is in hoofdzaak een landbouwkundige zaak. Deze waterstand is immers mede bepalend voor de grondwaterstand. Daar er bij elke bodemsoort een nauw verband bestaat tussen de grondwaterstand en de opbrengst van de gewassen, is het duidelijk, dat de eisen van de landbouw bij de peilbepaling in het algemeen in de polders overheersen.
Er zijn echter ook nog andere factoren, welke een rol kunnen spelen bij de vaststelling van het polderpeil, bijvoorbeeld:

1)- meerder grondverzet en meer grondverlies bij diepere en dus bredere sloten
2)- moeilijkheden van aanleg bij diepere sloten in verband met het vaak onder de klei voorkomende loopzand. Hierdoor wordt tevens het onderhoud verzwaard en de diepe kwel bevorderd.
3)- kostbaarder drainage bij diepere ontwatering
4)- gevaar voor bodemklink, verdrogen van veen en aantasting van houten funderingen van bestaande gebouwen bij diepere ontwatering
5)- grotere opvoerhoogte van het gemaal bij een lager polderpeil.

Al deze factoren hebben, waar zij een rol spelen, een verhogende invloed op het polderpeil.
Het polderpeil dient dus te worden gekozen afhankelijk van de grondsoort, het gebruik van de bodem, de hoogteligging van het maaiveld en de opbrengst van de gewassen. Als globale richtlijn kan daarbij worden aangehouden:

a) grasland op alle grondsoorten: 0,40 tot 0,60 m - mv
b) bouwland op lichte grond: 0,70 m - mv
c) bouwland op klei en zavel: 1,20 tot 1,50 m - mv.

11-2. De berekening van het polderpeil.

Bij de berekening van het polderpeil wordt uitgegaan van vier factoren over de gehele polder:

1. bodemsoort. De gegevens over de samenstelling van de bodem, of juister gezegd, het bodemprofiel, worden verkregen door een kartering te maken van de bodem. Bij herverkavelingen en ruilverkavelingen van bestaande polders of gebieden zijn deze gegevens bekend. Zij staan aangegeven op de "Bodemkaart van Nederland", uitgave van de

Stichting voor Bodemkartering te Wageningen. Bij indijkingen, bedijkingen en droogmakerijen zal de bodem gekarteerd moeten worden.

2. bodemgebruik. Bij herverkavelingen en ruilverkavelingen van bestaande polders of gebieden zijn deze gegevens bekend. Bij indijkingen, bedijkingen en droogmakerijen gaat men over tot het samenstellen van een zogenaamde cultuurkaart, waarop het bodemgebruik wordt aangegeven. Men zal daarbij rekening dienen te houden met de bodemsoort. Over het algemeen kan men daarbij als richtlijnen nemen:

a) klei en zavel met een dikte van 1 meter of meer op zand is het meest geschikt voor bouwgrond omdat daarbij een ontwateringsdiepte toegepast kan worden, welke een optimale opbrengst geeft.

b) klei en zavel met een dikte van minder dan 1 m op zand en op veen is het meest geschikt voor grasland waarbij een geringe ontwateringsdiepte toegepast dient te worden. Diepe ontwatering is bij klei op zand niet mogelijk, omdat zand geen merkbare volcapillaire en funiculaire zone heeft, zodat het grondwater de kleizone dan niet kan steunen. Diepe ontwatering bij klei op veen geeft klink en structuurverandering in het veen.

c) zandgrond zonder humus is geschikt voor grasland en tuinbouw. De ontwateringsdiepte moet gering genomen worden, zodat het gras en de tuinbouwgewassen op het grondwater kunnen leven. Voor tuinbouw zal meestal tevens een structuurverbetering van de grond nodig zijn.

d) zandgrond met humus is geschikt voor grasland, tuinbouw en landbouw, mits de ontwateringsdiepte dienovereenkomstig wordt aangepast.

e) veengrond is alleen geschikt voor grasland en tuinbouw. In verband met klink en structuurverandering mag daarbij slechts een geringe ontwateringsdiepte worden toegepast.

3. hoogteligging van het terrein. Bij bestaande gronden kan de hoogteligging worden ontleend aan de hoogtekaarten. Afhankelijk van de "gevoeligheid" van de bodem en het gewas zal men vaak meer hoogtepunten moeten bepalen door middel van waterpassingen. Bij bedijkingen en indijkingen kan men de hoogtepunten combineren met de grondboringen, welke moeten worden verricht voor de bodemkaart. Men zal daarbij rekening moeten houden met de structuurverandering, welke kan optreden. Bedijkte gronden hebben soms al een structuurverandering ondergaan, voornamelijk de kwelders, zodat men daarbij niet met de klink rekening behoeft te houden. Bij jonge polders moet men rekening houden met de klink. Deze is afhankelijk van de dikte van de kleilagen op het zand. Bij zavelige klei dient gerekend te worden op een zetting van 10 tot 30% van de dikte van de bovenlaag. Bij klei bedraagt dit 30 tot 40%. Men kan de klink ook trachten te benaderen via de grondmechanica (consolidatietheorie) of door vergelijkend profielonderzoek met andere objecten. Zo zijn bijvoorbeeld de IJpolders (slappe sliblaag) in 75 jaar 1 tot 1½ m geklonken en oude, met veenslik gevulde geulen zelfs meer dan 2 m. In Oostelijk Flevoland houdt men voor de komende honderd jaar 1 tot 1,25 m aan, afgeleid o.a. uit de Zuidplaspolder. Hoogveen is in 10 tot 20 jaar bij een ontwateringsdiepte van 1 m, 20 tot 30% van de dikte geklonken door structuurverandering. De klink in de Hollandse en Utrechtse venen heeft door de zeer geringe ontwateringsdiepte slechts 25% van de laagdikte bedragen. Deze klink gaat nog steeds door, waardoor polderpeilverlaging periodiek nodig zal zijn.

4. opbrengst van de gewassen. Voor vele grondsoorten en gewassen zijn tegenwoordig de opbrengstkrommen bekend. Zij zijn ook te bepalen door waarnemingen in overeenkomende situaties. Men zal de hoger gelegen delen zoveel mogelijk bestemmen voor bouwland en de lagere delen voor grasland en eventueel tuinbouw. Het polderpeil wordt daarbij voornamelijk ingesteld op de lagere delen, behoudens de civieltechnische aspecten. Men zal steeds de diepste plaatsen de meest gunstige ontwateringsdiepte geven, omdat deze gebieden het meest gevoelig zijn voor de grondwaterstand. De hogere gebieden liggen niet gauw te hoog en laten door het vlakke verloop van het optimum in de opbrengstkromme een ruimere marge in de grondwaterstand toe.

Ook bij het meest gunstigste polderpeil zal de totale opbrengst lager komen te liggen dan 100%. Als zij lager wordt dan 90%, is de peilvaststelling niet bevredigend. Men kan dan de aanpassing aan de maaiveldhoogte proberen te verbeteren door grondegalisatie en grondverzet, doch dat zijn zeer dure oplossingen. De meest gebruikelijke oplossing is, dat men in bepaalde delen van de polder een ander peil handhaaft door uitwateringssluizen, stuwtjes en afsluitbare duikers. Men noemt dit opkeren van het water.
Men kan ook plaatselijk een lagere waterstand handhaven door het toepassen van een onderbemaling.

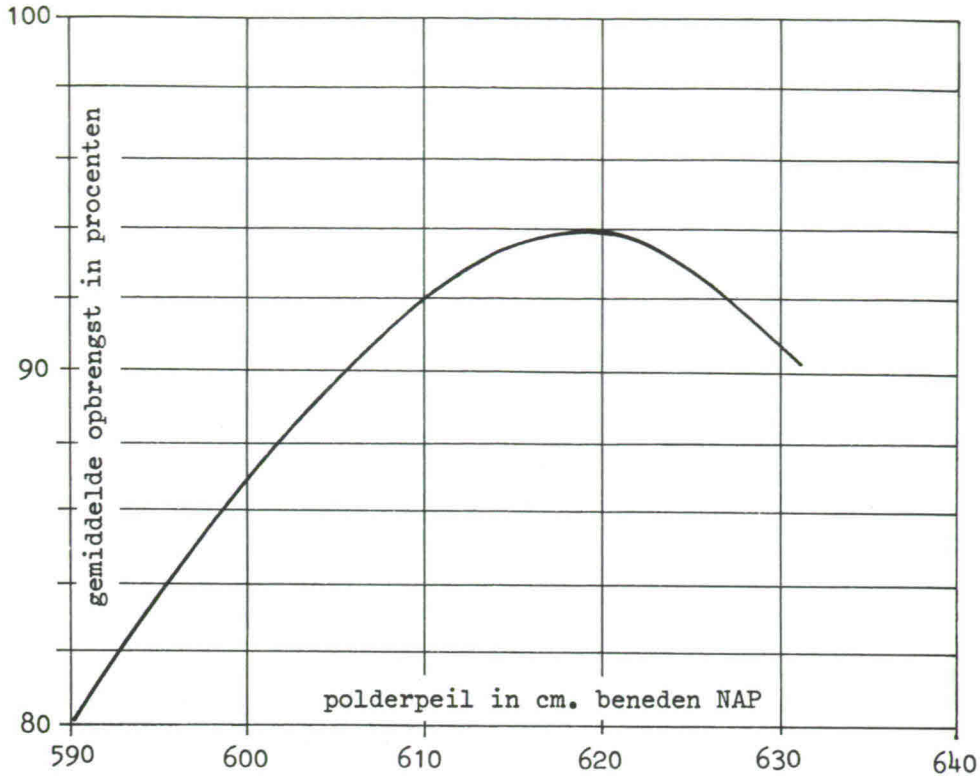
11-3. De opzet van de peilberekening.

Op de hoogtekaart wordt de bodemkaart ingetekend. Van elk bodemtype wordt in elke hoogteklasse de oppervlakte bepaald met behulp van een planimeter waarna deze oppervlakken worden omgerekend in delen van de totale polderoppervlakte. Uitgegaan wordt voor de verdere berekening van een aangenomen polderpeil. Dit wordt voor de verschillende oppervlakken afgetrokken van de gemiddelde maaiveldhoogten, waarmede de ontwateringsdiepte is verkregen. Uit de opbrengstkrommen wordt daarna voor de verschillende gewassen per oppervlaktegebied het opbrengstpercentage bepaald. Er kan hier worden opgemerkt, dat bij deze methode de grondwaterstand en het slootpeil gelijk worden verondersteld. Voor elk oppervlaktegebied wordt nu de oppervlakte vermenigvuldigd met het opbrengstpercentage. De som van deze uitkomsten geeft nu het gemiddeld opbrengstpercentage voor de gehele polder. Een voorbeeld van een dergelijke berekening geeft tabel 11-1.

Tabel 11-1. Voorbeeld van een peilberekening.

bodemprofiel en gewas	hoogteklasse in m - NAP	deel van de polderoppervlakte	gemiddelde ontwateringsdiepte bij polderpeil NAP - 5,90	opbrengst %	opbrengst x oppervlakte
klei (diep)					
bouwland	4,00-4,20	0,03	1,80	96	2,88
"	4,20-4,40	0,04	1,60	98	3,92
"	4,40-4,60	0,08	1,40	100	8,00
"	4,60-4,80	0,05	1,10	96	4,80
"	4,80-5,00	0,03	1,00	90	2,70
"	5,00-5,20	0,04	0,80	80	3,20
klei (diep)					
grasland	5,20-5,40	0,05	0,60	90	4,50
"	5,40-5,60	0,05	0,40	70	3,50
klei (1 m) op zand					
bouwland	4,40-4,60	0,05	1,40	80	4,00
"	4,60-4,80	0,05	1,20	80	4,00
"	4,80-5,00	0,08	1,00	90	7,20
"	5,00-5,20	0,08	0,80	80	6,40
klei (½ m) op zand					
grasland	5,20-5,40	0,08	0,60	90	7,20
"	5,40-5,60	0,10	0,40	70	7,00
klei (½ m) op zand met slib					
grasland	5,20-5,40	0,08	0,60	80	6,40
"	5,40-5,60	0,05	0,40	90	4,50
		1,00	gem.opbrengstpercentage:		80,20

Het gemiddeld opbrengstpercentage blijkt nu 80 te bedragen en is dus te laag. De berekening wordt herhaald voor andere polderpeilen. De bij de verschillende polderpeilen berekende opbrengstpercentages zijn vermeld in tabel 11-2 en grafisch weergegeven in figuur 11-1.



Figuur 11-1. Gemiddelde opbrengstpercentages bij verschillende polderpeilen.

Tabel 11-2. Gemiddelde opbrengstpercentages bij verschillende polderpeilen.

polderpeil m - NAP	gemiddelde opbrengst %
5,90	80
6,10	92
6,20	94
6,30	91

in geld

Het verschil in waarde tussen de opbrengst van grasland en die van bouwland is in berekening tot uitdrukking gebracht door de oppervlakten van het grasland met 10% te verminderen.

Uit figuur 11-1 volgt, dat de grootste opbrengst wordt verkregen bij een polderpeil van NAP - 6,20 m. Daarbij is geen rekening gehouden met de civiel-technische kosten. Deze kunnen bij de berekening worden meegeteld als een correctie op de opbrengstcijfers. Verhoging van het opbrengstpercentage is ook mogelijk door het toepassen van meer dan één polderpeil. In een dergelijk geval dienen de daardoor te ontstane meerdere kosten in de berekening betrokken te worden. In de tabellarisch uitgevoerde berekening is niet te zien, of er aaneengesloten gebieden voorkomen waar een hoger of lager polderpeil tot verbetering van de opbrengst kan leiden. Men kan dit beoordelen op een kaart, waarop men naast de hoogtecijfers de ontwateringsdiepte aangeeft, welke behoort bij het gekozen polderpeil, en het opbrengstpercentage. Door middel van pijltjes naar boven, naar beneden, door plustekens en door mintekens kan men aangeven of het opbrengstpercentage verbeterd kan worden door het polderpeil te verhogen of te verlagen.

11-4. De afwijkingen van het polderpeil.

Soms is het raadzaam in bepaalde delen van de polder een hoger of lager peil te handhaven met het doel in die gebieden een verbetering van de opbrengst te verkrijgen.
Het handhaven van een hoger peil in een of meer delen van een polder is eenvoudig te bereiken door de sloten in die delen af te sluiten met dammen, stuwen, uitwateringssluisjes en afsluitbare duikers.
De waterinlaat is daarbij minder eenvoudig. Deze dient dan te geschieden door opmalen of door inlaten vanuit hoger gelegen boezems of aangrenzende polders. Soms wordt een plaatselijke, tijdelijke verhoging van het polderpeil toegepast in de campagnevaart om voldoende vaardiepte te verkrijgen voor het afvoeren van de landbouwproducten. In de Haarlemmermeer geschiedt dit voor de suikerbieten; in de veenkoloniën voor het vervoer van de aardappels.
De eenvoudigste methode om het water plaatselijk op te zetten bestaat uit het gebruik van houten of gewapend betonnen schotten, waarvan de bovenzijde gelijk ligt met de gewenste waterstand (opkeringen).
Het ophouden van het water heeft consequenties wanneer er neerslag valt. Naarmate er meer regen valt, wordt de overstorthoogte groter. Het lage polderland doet dan als dienst om het water van het hoge deel op te vangen. Het gevaar ontstaat daarbij, dat bij hevige regenval het lage deel van de polder te zwaar met water van het hogerliggende deel wordt belast waarop het gemaal niet is berekend. In feite moet de afvoer van het hogerliggende deel evenredig zijn met de afvoer van het lagerliggende deel van de polder.
De genoemde bezwaren hebben zeer grote invloed bij de sluis of molenpolders. Men kiest daarom een vaste overlaat alleen, wanneer het hoge deel minder dan 10% beslaat van de gehele polder.
Wanneer de genoemde delen meer dan 10% van de gehele polderoppervlakte beslaan, moet men werken met dammen met regelbare duikers, regelbare stuwen en uitwateringssluizen. Het nadeel van deze toepassingen is, dat een bediening nodig is. Het voordeel is, dat men de zaak volledig in de hand heeft.
Naast de genoemde afwijkingen van het polderpeil in min of meer grote polderafdelingen kent men nog de individuele particuliere afwijkingen van het polderpeil. Meestal betreft dit laaggelegen delen, omdat de particulieren bij peilafwijkingen in de hogere delen meestal weinig belang hebben.

Het particulier handhaven van een peil, lager dan het polderpeil (onderbemaling) is alleen gerechtvaardigd, indien daarmede de opbrengst verhoogd kan worden en dit toelaatbaar is in verband met de hoogteligging en het bodemprofiel. Indien dit lagere peil voor de gehele polder nodig zou blijken te zijn, of voor een belangrijk deel er van, en het polderbestuur er niet toe over wenst te gaan, is onderbemaling door een enkele "vooruitstrevende" particulier af te raden. Vooral in veenpolders, maar ook in kleipolders zal het onderbemalen land sterker gaan klinken en als gevolg daarvan blijvende onderbemaling nodig zijn, ook al wordt later in de gehele polder het peil verlaagd. Bovendien heeft de boer na het in gebruik nemen van de onderbemaling weinig of geen belang meer bij een goede peilbeheersing van de gehele polder. Dit komt de gang van zaken niet ten goede. Indien er plaatselijk behoefte bestaat aan onderbemaling, zal men tot een algehele peilverlaging moeten zien te komen of tot het inrichten van een lager gelegen polderafdeling. De taak voor de toezichthoudende instantie (provincie) is daarbij, dat een ingeland niet de dupe wordt van een slecht bestuur.

12. De ontwatering.

12-1. Algemeen.

Van de cultuurgronden in Nederland wordt aangenomen, dat de neerslag met een vertraging van 1 tot 1½ uur in de bodem wordt opgenomen. Het komt daarbij vrijwel nergens tot vorming van plassen of bovengrondse afvoer. De neerslag trekt vrij snel als zakwater door de grond met een scherp begrensd front en bereikt in den regel binnen een etmaal het grondwater. Het plantenwortelstelsel wordt daardoor niet geschaad. 's-Zomers, wanneer het watergehalte van de grond vaak dicht bij het verwelkingspunt ligt, wordt de neerslag volkomen door de grond opgenomen. Wanneer de grond reeds tot de veldcapaciteit verzadigd is, bereikt de neerslag het grondwater, dat daardoor een stijging ondergaat met een hoogte, globaal gelijk aan 10 tot 20 maal de hoogte van de neerslag, afhankelijk van de poriëngrootte. Indien deze stijging te groot wordt en niet voldoende snel kan worden verminderd door afvoer naar de sloten, spreekt men van wateroverlast. Er treden daarbij bezwaren op van te weinig lucht in de grond, belemmering van de wortelactiviteit, structuurverandering, gevaar voor bevriezen, lang koud blijven van de grond en opbrengstvermindering. Een wateroverlast is dus ongewenst. Het doel van de ontwatering is daarom het voorkomen en opheffen van wateroverlast. De ontwatering beheerst de snelheid van de regenafvoer en dientengevolge de capaciteit van de afvoersloten en de gemalen. Hoewel de ontwatering in eerste instantie een cultuurtechnische zaak is, is het raakvlak met de civieltechnische kant dus zeer nauw.

12-2. De grondwaterstroming.

Wanneer de neerslag de grondwaterspiegel heeft bereikt, ondergaat deze een stijging en stelt zich in volgens een gebogen vlak. De afstroming van het water wordt daarbij bepaald door de wet van Darcy, welke luidt:

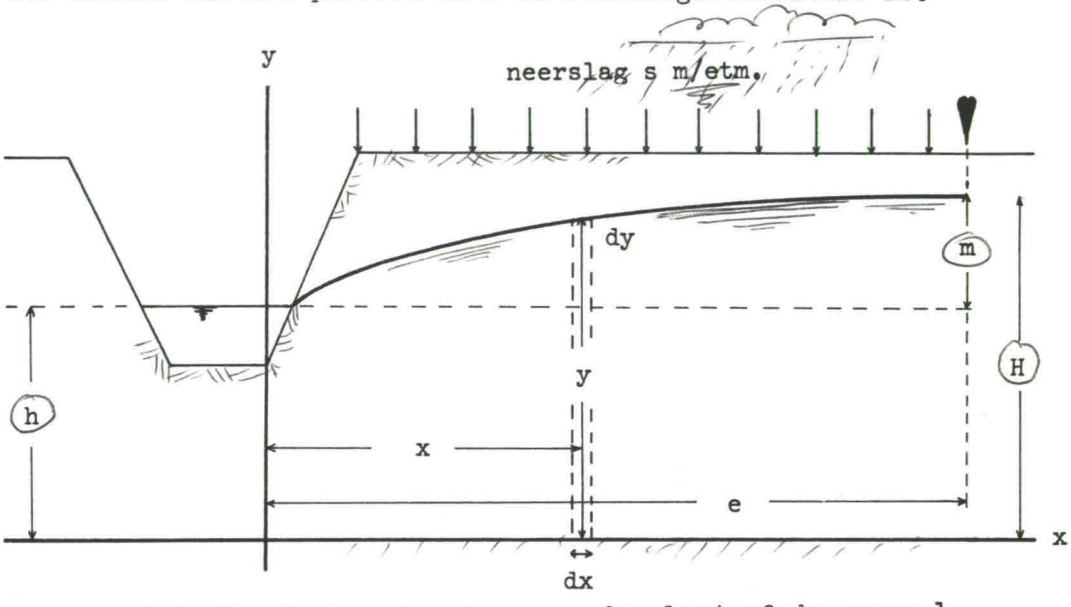
$$Q = k \cdot \frac{h \cdot F}{l}$$; Hierin is:

Q = afvoer in m^3/sec
h = drukverschil in m
F = doorsnede van de watervoerende laag in m^2
k = evenredigheidsfactor in m/sec, de zogenaamde doorlaatfactor welke kan worden gedefinieerd als de dikte van de laag water per m^2, welke per tijdseenheid door een laag grond passeert bij de eenheid van verhang
l = lengte van de watervoerende laag in m.

De doorlaatfactor k heeft de dimensie van een snelheid en wordt uitgedrukt in cm/sec of m/etmaal. Zij is vele malen groter dan de werkelijke stromingssnelheid van het water, omdat door de poriën van de grond slechts een beperkt doorstromingsprofiel beschikbaar is. Grove poriën, scheuren, worm- en wortelgangen hebben er een grote invloed op. Als gevolg daarvan is de doorlaatfactor zeer moeilijk aan de grondmonsters te bepalen. In de practijk wordt zij gemeten in boorgaten, welke tot dat doel in het terrein worden gemaakt.

12-3. De formule van Hooghoudt.

Wanneer de neerslag de grondwaterstand heeft bereikt, ondergaat deze een stijging. Het grondwater gaat door de verhoogde stand afstromen naar de lagere slootwaterstand. Daarbij wordt verondersteld, dat de grond homogeen doorlatend is tot de bodem van de sloot en een doorlaatfactor k heeft. Bij een constante neerslagintensiteit treedt na enige tijd een stationnaire toestand op, waarbij de afvoer van de grond even groot is als de neerslagintensiteit. De afvoer in de verschillende doorsneden van het doorstromingsprofiel naar de sloot of greppel (figuur 12-1) is niet constant. In het midden van het perceel is Q = 0. Op een afstand x van de sloot of greppel bedraagt de afvoer Q = (e - x). s, waarin e de afstand is van de sloot of greppel tot het midden van het perceel en s de neerslagintensiteit is.



Figuur 12-1. Grondwaterstroming naar de sloot of de greppel.

De afleiding geldt eveneens voor drains, wanneer het slootniveau wordt vervangen door de drain. De afstand e is dan gelijk aan de halve drainafstand en h de hoogte van de drain boven de ondoorlatende laag.
Per eenheid van breedte, loodrecht op het beschouwde doorstromingsvlak geldt:

$$Q = (e - x) \cdot s = k \cdot \frac{dy}{dx} \cdot y \quad \text{of} \quad s.(e - x).\, dx = k \cdot dy \text{ of:}$$

$$\int_0^e s.(e - x)\, dx = k.\int_h^H y\, dy \text{ of: } s.(ex - \tfrac{1}{2} x^2)\Big|_0^e = \tfrac{1}{2} ky^2 \Big|_h^H \text{ of:}$$

$$s(e^2 - \tfrac{1}{2} e^2) = \frac{k(H^2 - h^2)}{2}$$

Hieruit volgt: $\boxed{s = k \cdot \frac{H^2 - h^2}{e^2}}$

dan kook ni m/etmaal

$$s = k \cdot \frac{H^2 - h^2}{e^2}$$

Voor:
$H - h = m$
$H + h = 2d$
$d = h + \frac{1}{2} m$
krijgt men: $s = \frac{k}{e^2} (m^2 + 2\ hm)$
In deze formule is:
s = afgevoerde waterschijf in m/etm.
k = doorlaatfactor in horizontale richting in m/etm.
h = hoogte van de slootwaterstand of van de drain boven de waterondoorlatende laag
e = halve breedte van het perceel tussen de sloten of halve drainafstand.

Wanneer de drains vlak boven de waterondoorlatende laag liggen, kan h = 0 worden gesteld en krijgt men:

$$s = \frac{k\ m^2}{e^2}$$

Wanneer de waterondoorlatende laag diep is gelegen, is de term m^2 te verwaarlozen t.o.v. de term 2 h m en krijgt men:

$$s = \frac{2\ k\ h\ m}{e^2}$$

Hierin is h de hypothetische diepte van de waterondoorlatende laag. Heeft men te maken met verschillende doorlatendheid boven en onder de draindiepte, dan wordt gerekend met de uitgebreide formule van Hooghoudt, welke luidt:

$$s = \frac{1}{e^2} (k_1\ m^2 + 2\ k_2 h\ m)$$

Hierin is:
k_1 = doorlaatfactor in horizontale richting boven het vlak van de drains in m/sec
k_2 = doorlaatfactor in horizontale richting beneden het vlak van de drains in m/sec.
Deze splitsing tussen de diepere en de ondiepere lagen blijkt vooral van belang te zijn bij de droogmakerijen. In de IJsselmeerpolders bleek de doorlatendheid van de ondiepere lagen te verbeteren, naarmate de grond langer droog lag. Dit was het gevolg van de structuurverandering.

De afvoer (drainage) moet zodanig zijn, dat de grondwaterstand ten hoogste tot 40 cm onder het maaiveld kan stijgen. De mate, waarin de grondwaterstand stijgt, hangt af van de grondsoort en van de voorgeschiedenis. Wanneer er na een lange tijd van droogte neerslag valt, kan de grond water opnemen vanaf het verwelkingspunt tot aan het verzadigingspunt. Deze berging kan 20% tot 30% bedragen. In dergelijke gevallen bereikt de neerslag meestal het grondwater niet maar brengt het watergehalte van de grond weer op peil.
Wanneer de grond de veldcapaciteit heeft bereikt, is daarin nog een berging mogelijk van gemiddeld ongeveer 7% tot aan het verzadigingspunt. Met elke mm neerslag zal de grondwaterstand dan 10 tot 20 mm (gemiddeld ongeveer 15 mm) stijgen.

Met de formule van Hooghoudt kan ook de drainafstand worden berekend, mits men er rekening mee houdt, dat niet altijd het gehele profiel voor de waterstroming wordt benut. De stroombanen nemen namelijk een bepaalde

vorm aan, zodat de stroming met de minste drukverliezen plaats heeft. Zij breiden zich daarbij uit tot een zekere diepte. Deze diepte (h) is des te groter, naarmate de l groter wordt. Raken echter de diepste stroombanen aan de waterondoorlatende laag, dan wordt daardoor de h verminderd. Dit is het geval bij geringe diepte van de ondoorlatende laag. Bij grote diepte van de ondoorlatende laag daarentegen zal h constant blijven. Hooghoudt heeft dit probleem nader uitgewerkt en in tabelvorm het verband gegeven tussen h, H en l. In de practijk wordt eerst een l(e) aangenomen. Met de formule van Hooghoudt berekent men daarna l(e), waarbij de benodigde h aan de tabellen wordt ontleend, m en s worden gesteld en een redelijke waarde voor k wordt aangenomen. De berekening wordt net zo lang herhaald, tot de berekende l overeenstemt met de aangenomen l. iteratie → computer!!

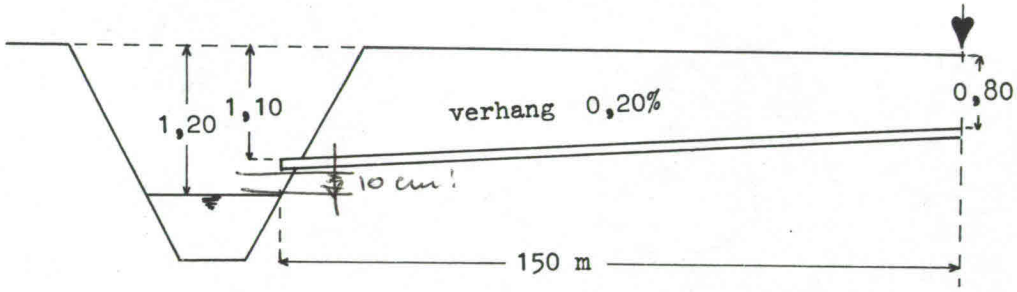
12-4. De ontwateringsmethoden.

a) greppels. Het systeem van begreppeling wordt nog steeds veel toegepast. In grasland is het de enige ontwateringsmethode, omdat het toepassen van drains daar in verband met de geringe ontwateringsdiepte niet mogelijk is. De greppels hebben een onderlinge afstand van 10 tot 15 m; de bodem ligt bij ondiepe ontwatering meestal gelijk met het polderpeil. Greppels zijn voortdurende bronnen van onkruid, worden gemakkelijk dichtgetrapt door het vee, vragen veel onderhoud en geven moeilijkheden bij het machinaal bewerken. Bovendien geven zij een groot grondverlies, van 5 tot 12%. Bij grasland valt daaraan niet te ontkomen. Bij bouwland zal men daarom liever ontwatering toepassen met behulp van drains.

b) moldrainage. Deze methode vindt in ons land nog weinig toepassing. Met een molploeg wordt op enige afstand beneden het maaiveld een kogel door de grond getrokken. Men kan daarbij gaan tot een diepte van 60 tot 75 cm, zodat deze methode voor bouwland ongeschikt is. Moldrainage kan worden toegepast in vaste veengronden en zware kleigronden. Zij is gebruikt in de Beemster en op de zware komkleigronden. Tegenover de korte levensduur van deze drainage staat het voordeel, dat zij aanmerkelijk goedkoper is dan drainage met buizen. !Ile

c) drainage. Vroeger maakte men voor de ontwatering gebruik van sleuven, welke waren opgevuld met sintels, stenen of turfblokken. Tegenwoordig past men nog wel toe riet of takkenbossen (alleen, wanneer drains te duur zijn). Meestal past men drains toe van gebakken aarden buizen en soms, wanneer de grond niet te zuur is, van betonnen buizen. Men kent de kraagloze buizen, de kraagbuizen en een soort tussenvorm met ingekeepte stootvoegen. De kraagloze buizen worden tegen elkaar gelegd. De kraagbuizen zijn het duurste; zij vinden voornamelijk toepassing in gronden, welke zich nog moeten zetten, omdat zij vaster tegen elkaar liggen en elkaar steunen.
De drains worden gelegd in sleuven welke uit de hand of machinaal zijn gegraven. Soms worden de buizen op latten gelegd. Zij worden afgedekt met turfstrooisel, riet, of mimosarun (afvalproduct van de leerlooierijen) met daar over heen de bovengrond. Het water treedt binnen door de voegen. De toestroming van het water geschiedt voornamelijk van onderen af. Er zijn ook wel poreuze buizen in de handel, doch deze kunnen dichtslibben, vooral door colloïdale deeltjes.

Verstopte drains kunnen worden gereinigd door van beneden af schoon te spuiten, of door, na ontgraving, ze vanuit het midden te vegen met een ketting onder toevoeging van water. De afstand van de drains bedraagt meestal 8 tot 20 m. Dichter op elkaar leggen dan 8 m wordt te kostbaar. De drains worden gelegd loodrecht op de twee lange zijden van de kavel. In het midden bedraagt de minimum diepte in verband met de mogelijkheid van bevriezen en beschadiging door mechanische bewerking van de grond, 60 tot 90 cm. Meestal worden de drains gelegd onder een helling van 0,1 tot 0,25%. De snelheid van het water in de drains is afhankelijk van de hellingshoek en moet zo groot zijn, dat geen bezinking optreedt. Zodra de grondwaterstand boven de drains uitkomt, is de drukhoogte (grondwaterpeil - slootwaterpeil) boven de drains maatgevend voor de afvoer.
Bij de uitmonding van de drains onder water treedt bij de niet gevulde drain een stroomvertraging op, zodra het water het in de drain staande slootwater bereikt. Hierdoor ontstaat bezinking en verstopping in het benedeneind. De uitmonding van de drain moet daarom op tenminste 10 cm boven het slootwaterniveau liggen.
Met de gewone drains kan men lengten bereiken van 100 tot 150 m. De grootst mogelijke lengte wordt bepaald door het gekozen verhang en het polderpeil (zie figuur 12-2).



Figuur 12-2. Drainage door middel van drains.

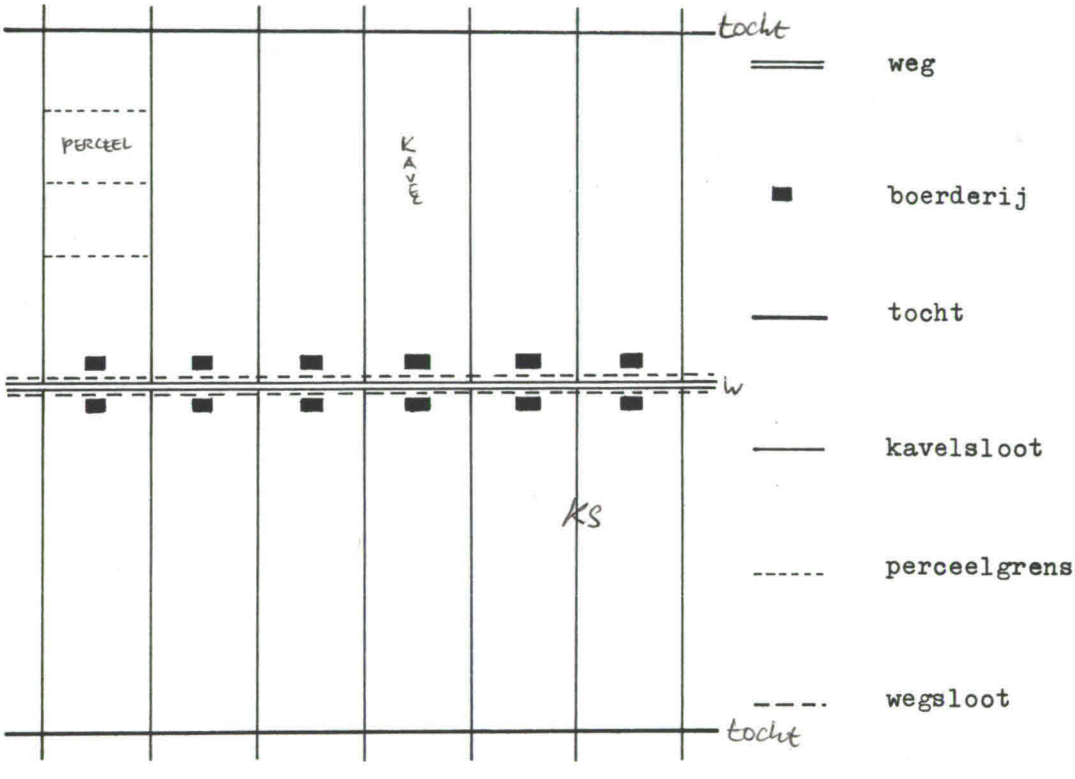
Met samengestelde drains (hoofddrain met zijdrains) kan men grotere lengten bereiken. Dit systeem is in ons land door het te geringe beschikbare verhang nog weinig toegepast. Bovendien is het schoonmaken van een dergelijk samengesteld drainagesysteem geen eenvoudige zaak.
Tegenwoordig worden ook wel plastic drains toegepast. Bij de eerste proeven daarmede in Nederland, in de Bathpolder, werd een buis, vervaardigd uit polyethyleen vanaf een haspel met behulp van een molploeg in de grond getrokken. Het water treedt bij een dergelijke drainage de buis binnen door perforatie-openingen of perforatie-sleuven.
Bij toepassing van het hardere, doch goedkopere polyvinyl (PVC) is deze werkwijze niet mogelijk. De buis moet, wegens zijn stugheid in een van te voren gegraven sleuf worden gelegd. Ook kan een strip van PVC vanaf een haspel via het mes van een molploeg in de grond worden geleid en door een op het mes bevestigd vormelement tot een buis worden vervormd. Het water kan de buis binnentreden door

perforatie-openingen of langs de overlappende naad, welke tijdens het vervormen van de strip tot buis is ontstaan.
Bij het in de grond brengen van plastic drainagepijpen met behulp van een molploeg en ook bij het toepassen van moldrainage treedt het zogenaamde "moleffect" op. Door de verplaatsing van de grond bij de vorming van de molgang treedt rondom de gang ~~een verdichting~~ op van de grond, waardoor de doorlatendheid daar ter plaatse kleiner wordt. niet gewenst!

13. De verkaveling.

13-1. Algemeen.

Voor het handhaven van de meest geschikte grondwaterstand in een polder zijn onder meer greppels of drains en sloten nodig. Deze sloten vormen met de wegen, welke nodig zijn voor het per as kunnen bereiken van de stukken land, de boerderijen en de bewoningskernen een regelmatig netwerk.
Onder verkaveling van een polder wordt verstaan de indeling door middel van wegen en waterlopen in gebruiks- en eigendomseenheden. Deze eenheden worden kavels genoemd. Een kavel is dus een ononderbroken oppervlakte land, welke meestal behoort aan één eigenaar of die één gebruiker heeft. Wanneer op een kavel verschillende gewassen worden verbouwd, worden de kaveldelen, waarop één gewas wordt geteeld, percelen genoemd (zie figuur 13-1).



Figuur 13-1. Voorbeeld van een moderne verkaveling

Een verkavelingsplan omvat naast het plan van de wegen en waterlopen tevens de overige bestemmingen van de grond. Deze zijn: boerderijen, bewoningskernen, verkeerswegen, spoorwegen, kanalen, industrieterreinen, recreatiegebieden enz. Het is dus een soort bestemmingsplan in de geest van een uitbreidingsplan of van een

streekplan. Een bedrijf omvat meestal één kavel, soms een halve kavel of een samenvoeging van kavels. Elke kavel telt in den regel een aantal percelen, op zandgrond bijvoorbeeld voor rogge, aardappelen, haver en voederbieten; op kleigrond voor tarwe, suikerbieten, aardappelen, vlas, gerst, haver en lucerne.
De sloten tussen twee kavels worden kavelsloten genoemd. Een kavelsloot tussen twee kavels van één eigenaar is een binnensloot; die tussen twee kavels van verschillende eigenaren een scheisloot.

13-2. De kavelgrootte.

De voornaamste factor bij de verkaveling is de grootte van de bedrijven, welke wordt bepaald door niet waterstaatkundige overwegingen. In hoofdzaak zijn dit de bedrijfseconomische, de landbouwpolitieke en de sociale overwegingen. In Nederland is de gemiddelde bedrijfsgrootte voor de landbouw 9½ ha, voor de veeteelt 11½ ha. en voor de tuinbouw meestal niet meer dan 2 ha. Voor de landbouw wordt een bedrijfsgrootte van 7 ha. als het minimum beschouwd voor een levensvatbaar bedrijf. In de droogmakerijen komen vele landbouwbedrijven voor van 20 ha. en groter, waarbij de kavelgrootte gelijk is aan de gemiddelde bedrijfsgrootte. Soms heeft de kavelgrootte de oppervlakte van de grootste bedrijfseenheid waarbij de bedrijven een veelvoud worden van een halve kavel. Tegenwoordig ligt de meest rendabele bedrijfsgrootte hoger in verband met de investeringskosten voor de bedrijfsgebouwen en voor het materieel, doch zelden boven de 50 ha.
Een overzicht van de kaveloppervlakte en de bedrijfsgrootte voor enkele moderne droogmakerijen geeft tabel 13-1. In deze tabel zijn bij de kleine en grote bedrijven de uitzonderlijke bedrijven weggelaten.

Tabel 13-1. De kaveloppervlakte en de bedrijfsgrootte voor enkele moderne droogmakerijen bij akkerbouw.

droogmakerij	kavel-oppervl. ha.	bedrijfsgrootte ha.			gem.aantal stukken land per bedrijf.
		klein	gem.	groot	
Wieringermeer	20	10	42	72	2,1
N.O. polder	24	12	27	48	1,4
O. Flevoland	30	18	40	60	1,7

De betrekkelijk kleine bedrijfsgrootte in de Noordoostpolder wordt veroorzaakt, doordat deze polder vele landbouwers moest opvangen, welke elders waren verdreven of geen land konden bemachtigen.

13-3. De kavelafmetingen.

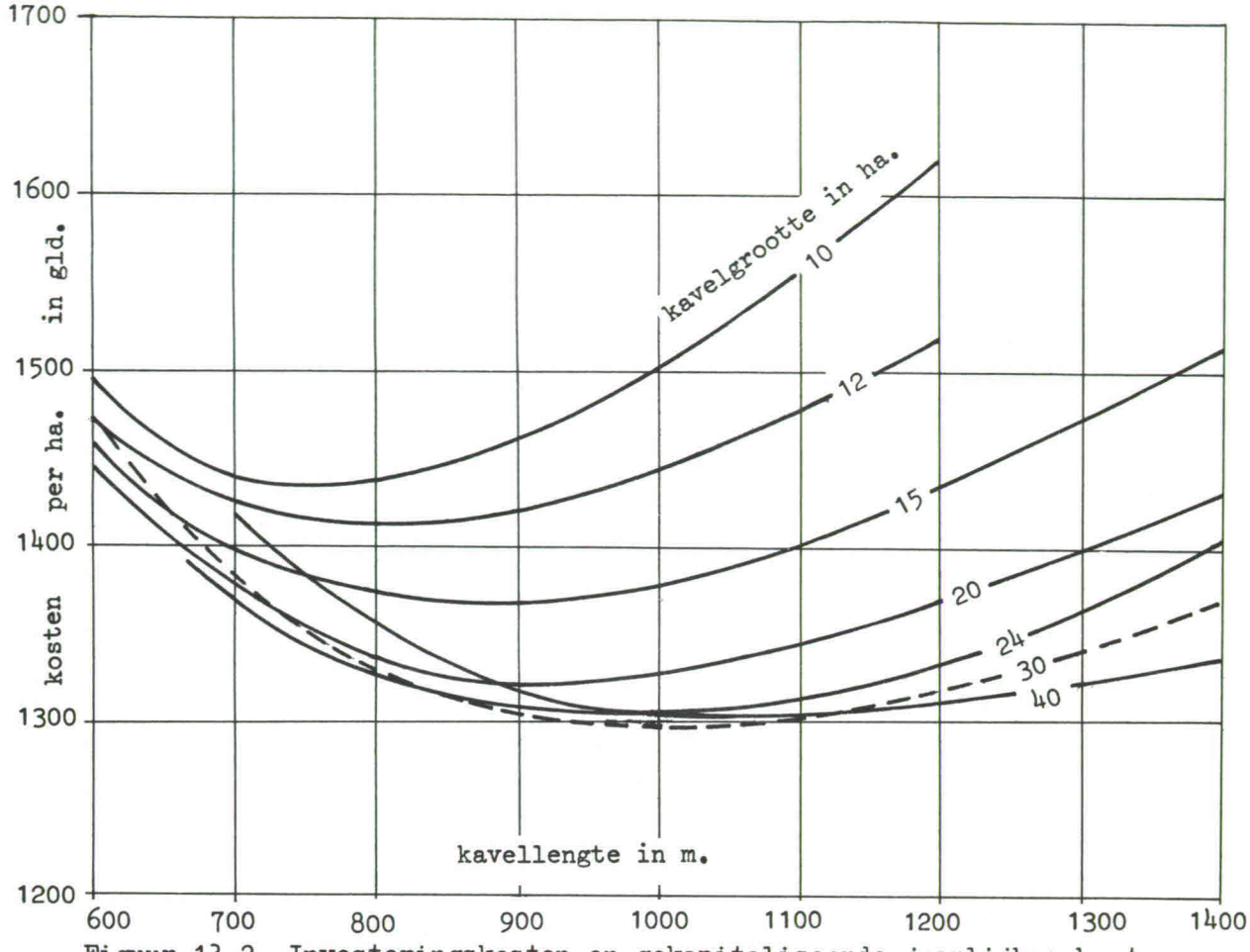
Ter besparing op de kosten van het stelsel van wegen en waterlopen is een grote kavellengte gewenst. De meest gebruikelijke lengten varieren tussen 400 en 800 m. Zelden treft men kavels aan, welke kleiner zijn dan 250 m. In de meer moderne polders, zoals de Zuidplaspolder, de Wieringermeer en de Noordoostpolder wordt een kavellengte van 800 m aangehouden. Een te grote lengte geeft landbouwkundige bezwaren, zoals hogere transportkosten, hogere arbeidslonen en veel tijdverlies. Hierdoor bestaat het gevaar, dat de zware gewassen, zoals aardappelen en bieten niet meer op de achterste delen van de kavels verbouwd zullen worden. En juist deze producten zijn belangrijk

om hun opbrengst. Bovendien zal door de boer aan de achterste delen van de kavels minder aandacht worden besteed, waardoor deze de kans lopen verwaarloosd te worden. Een verhard pad over de kavel vangt een deel van de genoemde bezwaren wel op, maar het tijdverlies en de extra transportkosten blijven. Als gevolg van deze bezwaren wordt momenteel 1200 m als uiterste kavellengte aangehouden.
Naar de meest economische kavelafmetingen zijn moderne berekeningen ingesteld. Daarbij zijn de investeringskosten en de gekapitaliseerde jaarlijkse kosten per ha. berekend, zowel voor de inrichting als voor het landgebruik. Onder de inrichting zijn begrepen de aanleg van de wegen, de tochten, de kavelsloten, het onderhoud van de wegen en tochten en de drainage. De kosten van het landgebruik omvatten de kosten voor het onderhoud van de kavelsloten, de transportkosten, de arbeidslonen, de kosten van het tijdverlies, zowel voor de arbeidskrachten als voor de landbouwwerktuigen, en de kosten voor het verlies aan opbrengst op de wendplaatsen.
Tabel 13-2 geeft een dergelijke berekening voor de kavelafmetingen van oostelijk Flevoland, zoals deze is gepubliceerd door ir. B. Prummel in het Landbouwkundig Tijdschrift van december 1950.

Tabel 13-2. Investeringskosten en gekapitaliseerde jaarlijkse kosten per ha. voor de Noordoostpolder bij verschillende kavelafmetingen op de prijsbasis van 1950.

Kavel-grootte in ha.	kavellengte in m.						
	600	700	800	900	1000	1200	1400
10	1497	1438	1438	1461	1499	1618	--
12	1475	1426	1412	1418	1442	1518	--
15	1459	1392	1369	1366	1378	1435	1516
20	1449	1377	1338	1319	1325	1369	1436
24	1456	1367	1326	1305	1307	1337	1402
30	1477	1385	1330	1305	1294	1319	1369
40	--	1421	1355	1317	1303	1306	1338

De bovengenoemde kosten zijn, voor wat betreft het aandeel van de landgebruikskosten, sterk afhankelijk van de aard van het bedrijf en van de bodemsoort. De investeringskosten zijn, evenals de kosten van onderhoud, sedert 1950 belangrijk gestegen. Als gevolg daarvan zal de meest gewenste kavellengte toenemen. Momenteel maakt dit een punt van studie uit bij de Dienst der Zuiderzeewerken. De landbouwkundige bezwaren, welke optreden bij langere kavels, kunnen voor een deel worden opgevangen door de kavels breder dan 300 m te kiezen en het verharde pad in het midden van de kavel te leggen.
Voor kortere kavellengten daarentegen pleiten de onmeetbare nadelen van moeilijke bereikbaarheid, de mogelijkheid tot verwaarlozing, opbrengstderving en tijdverlies op de wendplaatsen.



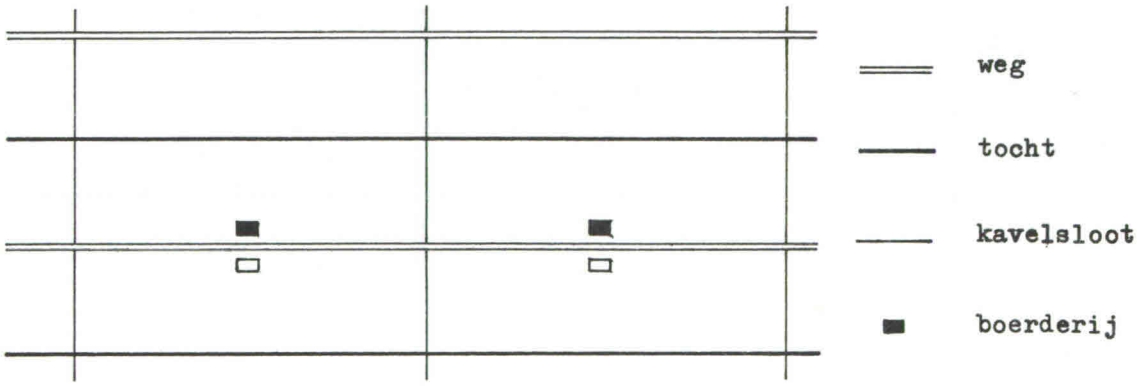
Figuur 13-2. Investeringskosten en gekapitaliseerde jaarlijkse kosten per ha. voor de Noordoostpolder bij verschillende kavelafmetingen op de prijsbasis van 1950.

Figuur 13-2 geeft de investeringskosten en gekapitaliseerde jaarlijkse kosten van tabel 13-2 in grafiekvorm. De meest economische kavelgrootte blijkt 30 ha. te bedragen bij een kavellengte van 1000 m. De voor oostelijk Flevoland gekozen lengte van 1000 m. blijkt dus voordelig te zijn voor kavels van 30 tot 40 ha. en voor kleinere kavels slechts weinig ongunstiger te zijn. Bij kleine kavels geeft vergroting tot 20 ha. belangrijke voordelen; daarna neemt de winst nog slechts weinig toe. Over het algemeen blijkt bij kleine kavels een kleinere kavellengte voordeliger te zijn en bij grotere kavels een grotere kavellengte. Daarbij neemt tevens de breedte enigszins toe, zodat bij eventueel toepassen van grotere kavellengten dan 1000 m. niet alleen de kaveloppervlakte zal toenemen, maar ook de breedte.
De kavelbreedte vloeit dus binnen zekere grenzen voort uit de gewenste bedrijfsgrootte en de lengte. Een kleinere breedte is vooral in verband met machinale bewerking ongewenst. De grootste breedte wordt bepaald door de grootste toe te laten lengten van de loodrecht op de kavelsloten lopende drainreeksen. In de IJsselmeerpolders worden de drains in het midden niet hoger gelegd dan met hun onderkant 90 cm

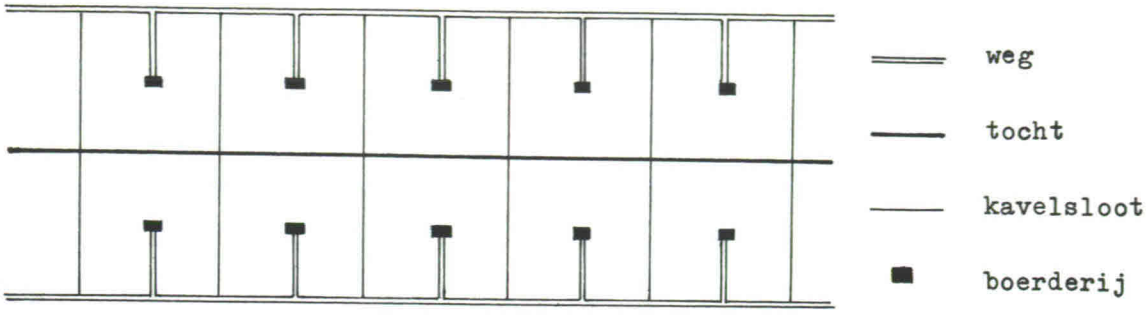
onder het maaiveld. In andere polders houdt men voor deze maat wel 70 en zelfs 60 cm aan, hetgeen tot bezwaar heeft, dat de ontwateringsdiepte in het midden van de kavels te gering is. De uitmonding van de buizen wil men niet dieper hebben dan 1,20 m. onder het maaiveld (20 cm. boven de slootbodem). Er is dan nog 30 cm verval in de drainreeksen, dat bij een toegelaten verhang van 0,20 % een maximum kavelbreedte oplevert van 300 m. Dit is toegepast in de Noordoostpolder. Vergroting van de kavelbreedte leidt dus tot kleiner verhang in de drains, waarbij moeilijkheden kunnen optreden in verband met de afzetting van slib in de drains. Ook wordt het schoonmaken bij grotere lengten bezwaarlijk en aanmerkelijk duurder. Wanneer men daarbij de drainreeksen niet te dicht op elkaar legt moet men daarbij vaak nog gebruik maken van de veel duurdere buizen met een diameter van 8 cm. i.p.v. de gebruikelijke 5 cm. in verband met de grotere waterafvoer.

13-4. De opzet van de verkaveling.

Bij de opzet van een verkavelingsplan wordt de meest gewenste kavelgrootte bepaald uit de afmetingen, waarbij de totale investeringskosten en de gekapitaliseerde jaarlijkse kosten zo laag mogelijk zijn. Hierdoor kunnen afmetingen worden vastgesteld, welke voor de gebruiker niet de meest gunstige zijn. Wanneer de boer geen enkel aandeel zou dragen in de externe kosten van wegen en waterlopen, zou voor hun de meest aanvaardbare verkaveling zijn een indeling, waarbij de afstand van de boerderij naar alle punten van het land zo klein mogelijk is. Dit zou betekenen een ronde kavelvorm, waarbij de boer als een spin in zijn web zit. Deze oplossing is in de praktijk niet uitvoerbaar. Wel uitvoerbaar is de oplossing, waarbij de kavels met de lange zijde langs de weg liggen (figuur 13-3) met eventueel aan de overzijde van de weg nog een kavel, of een vierkante kavelvorm, waarbij de boerderij in het midden is geplaatst en een toegangsweg daar naar toe aanwezig is (figuur 13-4). Beide oplossingen zijn voor de gebruiker ideaal, doch de kosten van inrichting en onderhoud van de wegen, tochten en kavelsloten zijn zeer hoog door de grote totale lengte ervan.

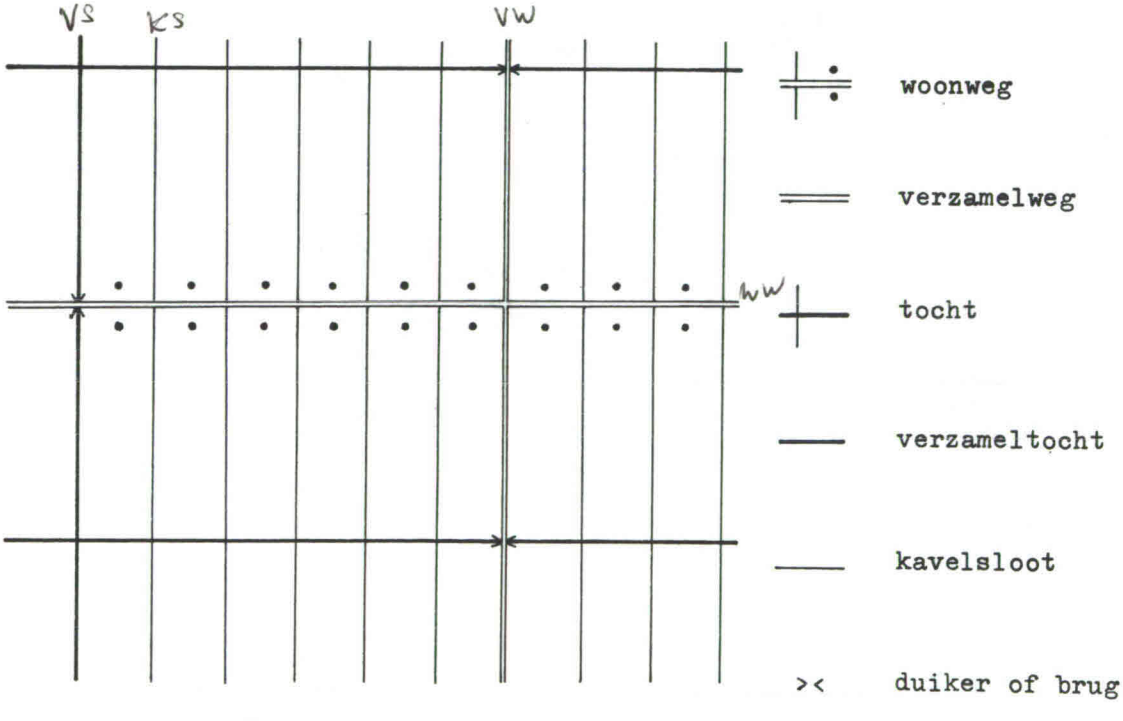


Figuur 13-3. Verkaveling met de lange zijde van de kavels langs de weg.



Figuur 13-4. Verkaveling met vierkante kavels en de boerderij in het midden.

De moderne verkaveling is gebaseerd op de berekening, waarbij de totale investeringskosten en gekapitaliseerde jaarlijkse kosten per ha. minimaal zijn. Men krijgt dan de kavelindeling van figuur 13-5. Men streeft bij deze indeling naar de meest gunstige omstandigheden voor wonen, verkeer, werken en ontspanning. Het verkavelingsplan doet dus tevens dienst als bestemmingsplan.



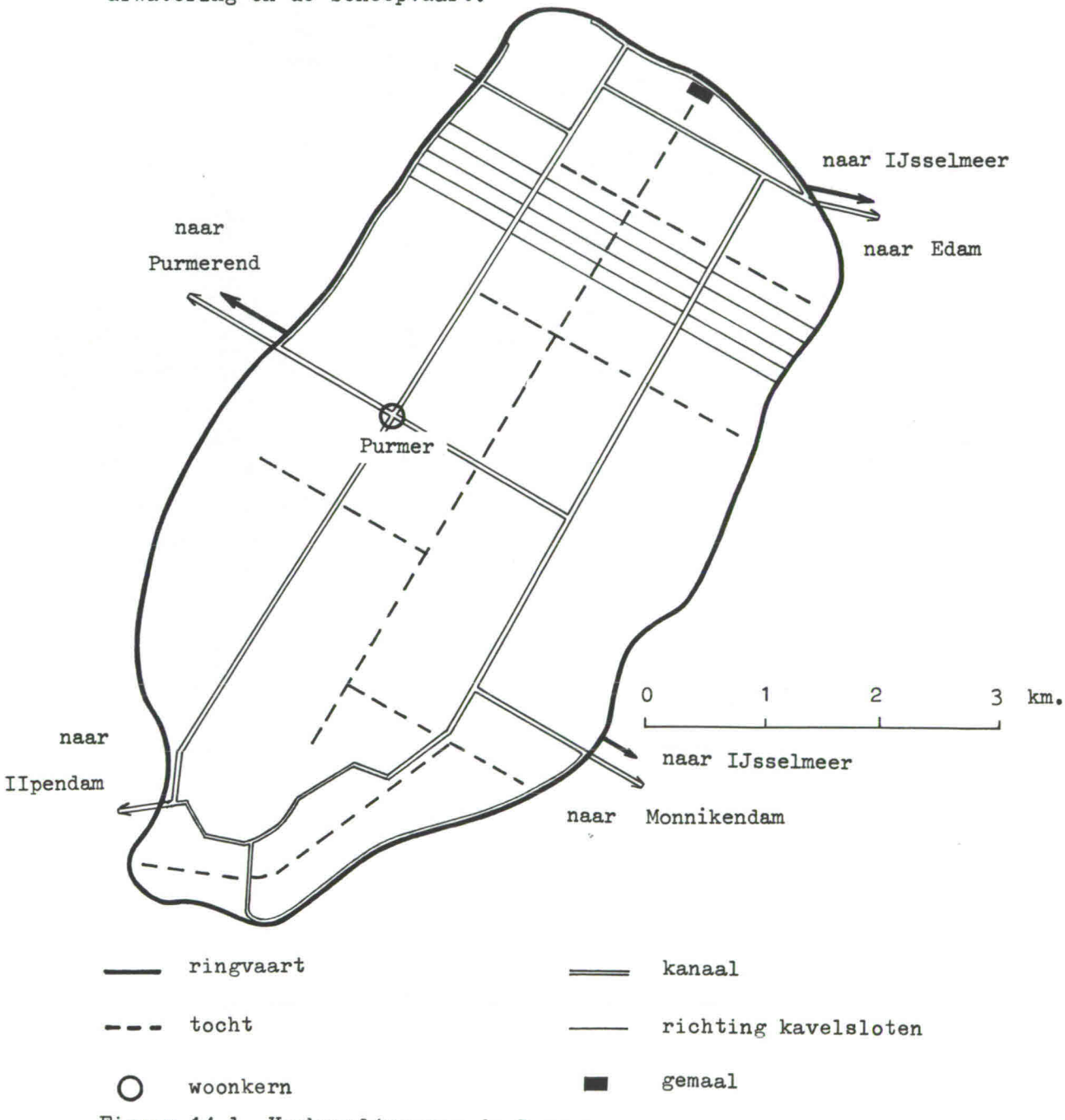
Figuur 13-5. Verkaveling met de korte zijde van de kavels langs de weg.

De boerderijen zijn gelegen aan polderwegen, welke worden opgevangen op wegen van grotere orde, de zogenaamde verzamelwegen. De verzamelwegen leiden naar de dorpskernen, welke soms zijn gelegen op de kruising van een polderweg en een verzamelweg of buiten de polder.
De afstand van de boerderijen naar het dorp mogen niet te groot zijn. Vroeger nam men hiervoor enkele kilometers aan, omdat men vrijwel alle afstanden lopend moest afleggen. Met de komst van de fiets en tegenwoordig het gemotoriseerde vervoer zijn deze afstanden toegenomen tot 9 à 10 km. Dit groter worden is er tevens de oorzaak van, dat de dorpskernen, welke een aantal inwoners van 3000 tot 5000 moeten hebben om leefbaar te zijn, niet in inwonertal achteruit zijn gegaan als gevolg van de kleiner wordende arbeidsbezetting op de boerderijen (mechanisatie van de bedrijven). De afmetingen van de dorpskernen met de daarbij behorende omgeving zijn daardoor geleidelijk uitgegroeid tot ongeveer 10.000 ha. Toch mag de afstand van de boerderij tot de dorpskern niet te groot worden met het oog op het vele verkeer van de boerderij naar het dorp (schoolgaande kinderen, winkelende moeders, kerkbezoek en ontspanning). Aan de andere kant is er verkeer naar de boerderij door slagers, bakkers, melkboeren, groenteboeren, kruideniers, postbodes en vooral de arbeidskrachten, welke meest woonachtig zijn in de dorpskernen.
De kleine bedrijven, welke meestal een intensieve bewerking vereisen , worden dichtbij de dorpen geplaatst; de overige boerderijen aan de dorpskant van het bedrijf als geen andere motieven de plaats bepalen.
Langs de verzamelwegen worden geen boerderijen geplaatst; dit zou tot moeilijkheden kunnen leiden door het gebruik ten behoeve van landbouw en doorgaand vervoer.
Langs de dijken worden eveneens geen boerderijen geplaatst. Een weg, welke dergelijke boerderijen moet verbinden is oneconomisch omdat er slechts boerderijen aan één zijde voorkomen. Zou men de weg op de dijk projecteren, dan heeft elke boerderij een dure oprit langs de dijk naar de weg nodig.
De tochten komen uit op een verzameltocht, welke het water naar het gemaal voert. In den regel zal men het gemaal in het midden van de lange zijde van de polder kiezen om het grondverzet en de ingravingen in verband met het benodigde verhang zo gering mogelijk te houden.
Tochten en wegen wisselen elkaar af. Men laat niet graag een tocht langs de weg lopen, omdat dan elke boerderij met een brug over de tocht gevoerd moet worden, tenzij men gebruik maakt van een parallelweg. Daarbij blijft dan toch de moeilijkheid bestaan van de kavelsloten, welke men onder de weg moet doorvoeren. Indien een dergelijke oplossing niet is te voorkomen, kunnen steeds een aantal kavelsloten worden opgevangen op een wegsloot, welke daarop berekend dient te worden, waarna men om een bepaald aantal kavels het water onder de weg doorvoert naar de aan de overzijde liggende tocht.
De dorpsgebieden worden meestal duidelijk begrensd door twee tochten, een lege zone tussen het dorp en de tochten, of een bosstrook. Groepering van een dorpskern rondom een tocht is vaak minder wenselijk met het oog op de vervuiling van het water, tenzij de tocht eveneens dienst doet als scheepvaartweg.
Per 4 of 5 dorpen wordt vaak een streekcentrum gesticht, dat tevens de functie van hoofdplaats van de gemeente kan vervullen (± 8000 tot 10.000 inwoners).
Men is echter niet altijd vrij in de verkaveling, bijvoorbeeld bij herverkaveling. Dit trad op bij het eiland Schouwen, waar de wegen op afstanden van 1 km. lagen. Men heeft bij de herverkaveling de wegen gehandhaafd waardoor een kavellengte werd verkregen van 500 m. Men wilde deze niet op 1000m brengen omdat dan de tocht langs de weg zou komen te lopen en elke boerderij van een brug moest worden voorzien. Bij de wegverbreding kwam de weg over de wegsloot te liggen. Deze werd vervangen door een ondergrondse hoofddrain.

Het land wordt ontwaterd door drains in de lengterichting van de kavels. De drains lopen naar de tocht en naar de hoofddrain , welke plaatselijk in dwarstochten is opgevangen.
Hierdoor kan de kavelbreedte nu willekeurig worden gekozen en eventueel gewijzigd worden.

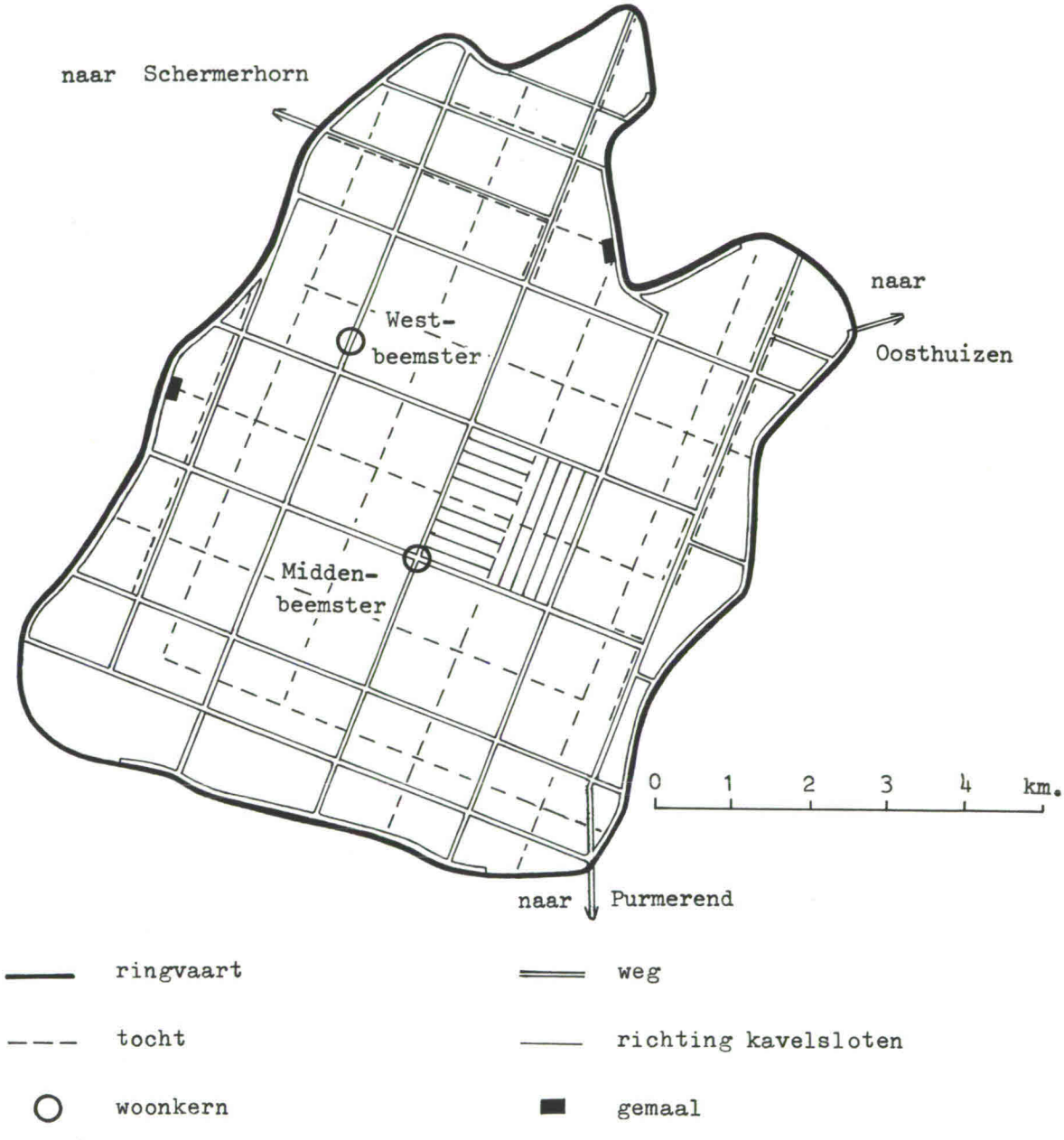
14. Enige voorbeelden van moderne verkaveling.

Topografisch is de droogmakerij, evenals de bedijking, direct te herkennen aan de regelmatige verkaveling. Als voorbeeld zullen worden beschreven: de Purmer (2760 ha), de Beemster (7100 ha), de Haarlemmermeer (18 100 ha), de Wieringermeer (20 000 ha), de Noordoostpolder (48 000 ha) en Oostelijk Flevoland (54 200 ha). Hiervan behoren de Purmer, Beemster en Haarlemmermeer tot de droogmakerijen, welke zijn ontstaan uit vanouds bestaande meren. Door afslag kregen deze een langgerekte vorm in de richting zuidwest tot noordoost. De diepste delen kwamen in het noordoosten van de meren voor. Zij hebben een strakke verkaveling, welke practisch hetzelfde is als in de moderne droogmakerijen.
De ringvaart, direct gelegen buiten de ringdijk, deed dienst voor de afwatering en de scheepvaart.



Figuur 14-1. Verkaveling van de Purmer.

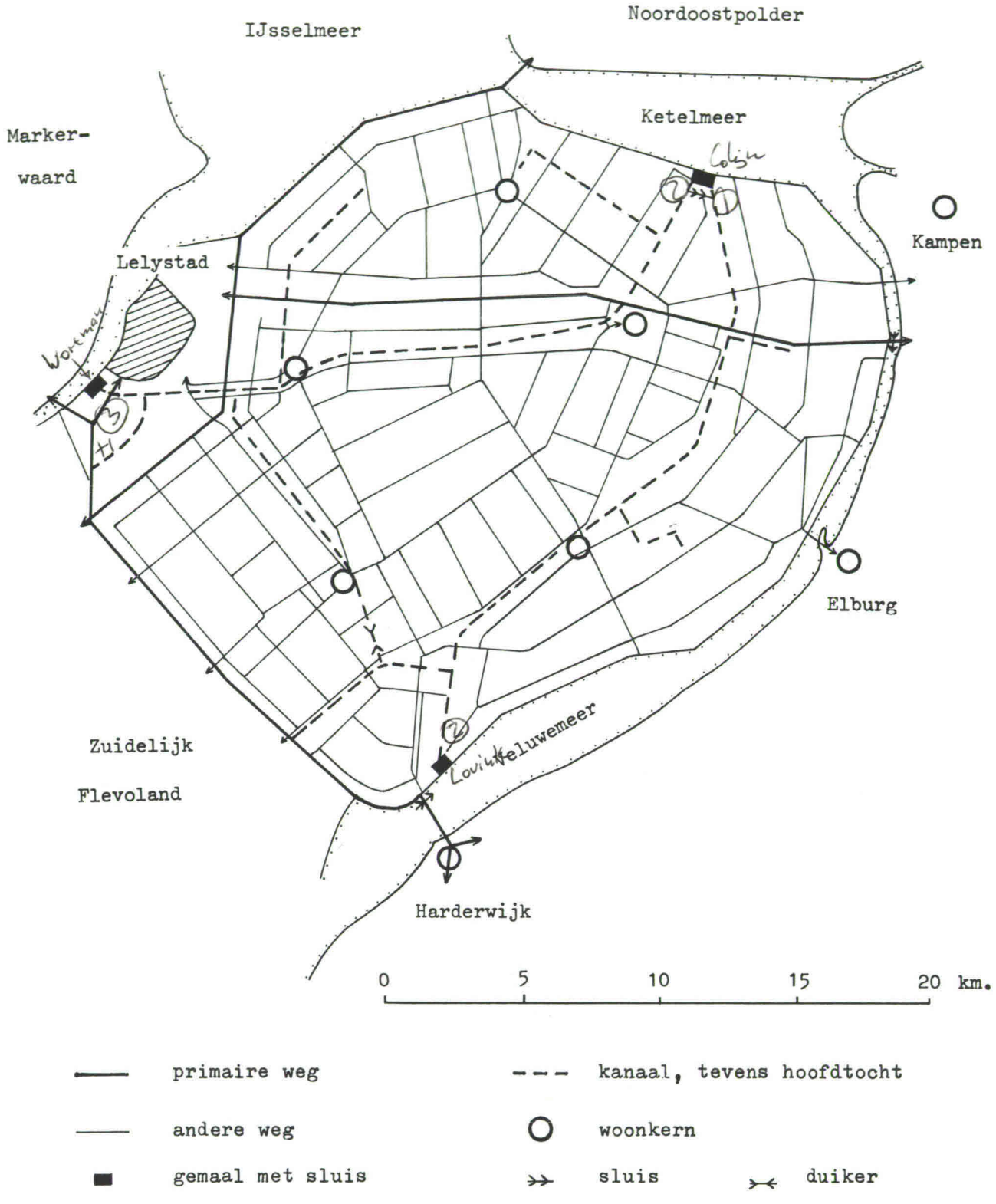
De Purmer (figuur 14-1), drooggemaakt in het begin van de 17e eeuw, is voorzien van één langstocht, welke leidt naar een gemaal, dat is gelegen in de noordoosthoek (het diepste gedeelte). Bij Edam en Monnikendam heeft de ringvaart door sluizen verbinding met het IJsselmeer voor de scheepvaart en de afwatering. Tevens heeft de ringvaart nog een scheepvaartverbinding met Purmerend.
Door de Purmer lopen twee langswegen waaraan de boerderijen zijn gelegen. Een enkele boerderij ligt aan de dijk. Alleen aan de zuidzijde, de noordwestzijde en de noordoostzijde is de dijk plaatselijk van een weg voorzien. De afwatering van de uiterste stroken land geschiedt in wegsloten en plaatselijk onder de weg door met dwarstochten naar de hoofdtocht. De verzamelwegen geven een duidelijke verbinding met de drie belangrijkste randplaatsen: Edam, Monnikendam en Purmerand. De twee langswegen geven aansluiting op Ilpendam. In de polder zelf is één woonplaats, Purmer, gelegen.



Figuur 14-2. Verkaveling van de Beemster.

De Beemster (figuur 14-2) is eveneens drooggemaakt in het begin van de 17e eeuw. In de polder loopt een stelsel van 4 langstochten en 6 dwarstochten, waarvan er één verschoven is. Tussen de tochten lopen 5 langswegen, waarvan 3 verschoven en 7 dwarswegen, waarvan 2 verschoven. Op deze wijze is een verkaveling ontstaan van vierkante stukken met afmetingen van 900 bij 900 m, welke zijn onderverdeeld in kavels van 180 bij 900 m. De lengterichting van de kavels is willekeurig. Hierdoor zijn de boerderijen verdeeld over alle wegen en is er geen onderscheid aanwezig tussen woonwegen en verzamelwegen. Vrijwel langs de gehele polder loopt een weg over de dijk en komen boerderijen langs de dijk voor. De tochten leiden naar twee gemalen; één, gelegen in het noordoosten en één in het westen. In de polder komen twee woonkernen voor, Middenbeemster en Westbeemster. Van deze twee is de laatste jonger en minder belangrijk. Tevens komen in de Beemster nog enkele minder belangrijke subkernen voor. De wegen geven een duidelijke aansluiting op de randplaatsen: Purmerend, Oosthuizen en Schermerhorn. Bovendien zijn er nog aansluitingen op een aantal minder belangrijke randplaatsen.
De Haarlemmermeer is eerst drooggemaakt in ± 1850 met behulp van stoombemaling. Door de polder lopen 5 woonwegen, waarvan 1 dubbel en 6 dwarswegen (zonder boerderijen). De waterafvoer geschiedt door 6 lange tochten, 1 hoofdvaart en 6 dwarstochten. De bemaling geschiedt door 2 gemalen, Leeghwater in het zuidwesten en Lynden in het noordoosten. Van de oude stoomgemalen is de Cruquius bij Heemstede nog volledig in de oorspronkelijke staat. Tegenwoordig doet dit gemaal dienst als museum. Van het begin af heeft men, ten onrechte, voor de gehele polder één peil aangehouden. Later is daarin verandering gekomen door particuliere bemalingen. In de polder komen twee woonkernen voor, Abbenes en Nieuw-Vennep; één hoofdkern, Hoofddorp en verder verschillende kleinere kernen gelegen langs de rand. De woonkernen werden voornamelijk gesticht op de kruising van langswegen en dwarswegen. Deze oplossing bleek niet te voldoen.
De gehele ringdijk is van een weg voorzien. Doordat goede wegen in de polder in het begin ontbraken, ontstond er langs de ringdijk een uitgebreide lintbebouwing, voordat de woonkernen in de polder tot bloei konden komen. Een dergelijke toestand was verre van ideaal voor de sociale voorzieningen. Met het toenemen van het verkeer ontstond behoefte aan goede verbindingen, tussen Amsterdam en Rotterdam, Haarlem en Utrecht. Men is daarin gaan voorzien, door het aanleggen van de rijkswegen Nr. 4 en Nr. 6. De verkaveling in de Haarlemmermeer lag zo, dat men de nieuwe wegen langs een tocht kon leggen, zodat geen versnippering van de kavels optrad.
De Wieringermeer is drooggemaakt in het kader van de Zuiderzeewerken. De peilbeheersing is beter dan bij de oude droogmakerijen en aangepast aan de hoogteligging door de instelling van drie afdelingen met afzonderlijke peilen. De verkaveling is gevarieerd in het kader van de wegen. Door de polder loopt een vaarwegennet, dat van goede sluizen is voorzien. Aanvankelijk werd gedacht aan 6 dorpen in het midden en 7 langs de rand, dus 1 dorp per 1500 à 1600 ha op afstanden van 3 tot 5 km, zoals in het oude land. Naar de nieuwe inzichten omtrent de afstanden van boerderij naar dorp en de dorpsgrootte, in verband met de leefbaarheid, werd dit aantal verkleind tot 3, waarbij de oppervlakte per dorp 6000 tot 7000 ha werd. Deze dorpen blijken te dicht op elkaar gepland te zijn en te ver verwijderd van de rand. Het meest centrale dorp, Wieringermeer, was oorspronkelijk als centrum bedoeld. De ontwikkeling van het vasteland uit deed echter eerder Middenmeer ontstaan, dat ook tot centrum ging uitgroeien, zodat men nu de niet-ideale toestand heeft van twee centra, dicht bij elkaar gelegen.
De Noordoostpolder is onderverdeeld in twee afdelingen, welke afzonderlijk kunnen worden bemalen. Afdeling I heeft een polderpeil van N.A.P.-4,50 m en loost zijn water via het gemaal "Smeenge" bij De Voorst. Tussen

afdeling I en de lager gelegen afdeling II bevindt zich een sluis, waardoor in bijzondere gevallen water kan worden afgelaten.
Afdeling II heeft een polderpeil van N.A.P.-5,70 m en wordt bemalen door de "Vissering" bij Urk en de "Buma" bij Lemmer. Op de tochten kan worden gevaren en naast de gemalen is een goede verbinding met het buitenwater door schutsluizen.
Van de Noordoostpolder is Emmeloord de hoofdplaats met een uiteindelijk gepland aantal inwoners van 10 tot 12 000. Aanvankelijk waren er omheen 6 dorpskernen gepland, doch later is dit aantal uitgebreid tot 10. Elk dorp heeft nu een oppervlakte van ongeveer 4500 ha. Dit heeft moeilijkheden gegeven bij het komen tot een gemeentelijke indeling; bij de kernvorming had men daarop niet gelet. In januari 1962 is de gehele Noordoostpolder als één gemeente aangewezen en voorlopig ingedeeld bij de provincie Overijssel.
Oostelijk Flevoland is, evenals de Noordoostpolder, onderverdeeld in twee afdelingen, welke afzonderlijk kunnen worden bemalen. De eerste afdeling heeft een polderpeil van N.A.P.-5,20 m en wordt bemalen door de gemalen "Lovink" bij Harderwijk en "Colijn" bij Ketelhaven.(Figuur 14-3).
De tweede afdeling heeft een polderpeil van N.A.P.-6,20 m en wordt bemalen door de gemalen Wortman bij Lelystad en Colijn bij Ketelhaven. Het gemaal Colijn kan dus beide afdelingen bemalen. Op de tochten kan worden gevaren tot een laadvermogen van 600 ton op de hoofdvaart naar Lelystad, tot 300 ton op de hoofdtochten en tot 120 ton op enige kleinere tochten en dwarstochten waardoor alle dorpen per schip bereikbaar zijn. De vaarwegen zijn vanuit het IJsselmeer en het Veluwemeer bereikbaar door sluizen bij Lelystad, Ketelhaven en Harderwijk. Op de grens van de twee polderafdelingen bij het gemaal Colijn zorgt een schutsluis voor de doorgaande scheepvaart. Door deze sluis en een duiker in het zuidwestelijk deel kan water worden geloosd op de tweede afdeling.
Tussen de polder en de Veluwe is een breed randmeer aangelegd, dat behalve voor de scheepvaart (tot 1350 ton) tevens dienst doet voor recreatie en een belemmering vormt voor de kwel naar de polder en daardoor te sterke verlaging van de grondwaterstand op de Veluwe voorkomt.
Het eerste verkavelingsplan voor de polder werd gepubliceerd in 1957. Het hield onvoldoende rekening met de ligging tussen de Noordoostpolder en de toekomstige aangrenzende polders als één geheel in samenhang met de noordelijke, oostelijke en westelijke provincies. In 1960 werd het verkavelingsplan drastisch herzien terwijl in 1961 het structuurplan voor de zuidelijke polders gereed kwam. Dit heeft er toe geleid, dat men het verkavelingsplan, dat reeds in uitvoering was, alsnog moest wijzigen, hoewel een gehele aanpassing aan het structuurplan niet meer mogelijk bleek.
Lelystad vormt voor de drie polders Oostelijk Flevoland, Zuidelijk Flevoland en de Markerwaard het streekcentrum. Daarnaast heeft Harderwijk nog zijn invloedsfeer in Oostelijk Flevoland, waardoor in het oosten nog slechts één streekcentrum nodig was. In de gehele polder zijn 10 dorpskernen gegroepeerd, welke in groepen van 3, 3 en 5 in drie gemeenten worden ondergebracht, terwijl Lelystad een afzonderlijke gemeente zal vormen, eventueel in combinatie met 3 randdorpen. De boerderijen liggen over het algemeen niet verder dan 5 km verwijderd van de dorpen. Langs de dijken komen geen boerderijen voor.
De kavellengte is zoveel mogelijk gehouden op 1000 m met een minder strakke indeling, dan bijvoorbeeld de Beemster. In de nieuwe polder zal bij de landschapsrecreatie een ruime betekenis worden toegekend aan het gebruik van groenstroken en bebossing.



primaire weg — — — kanaal, tevens hoofdtocht

andere weg ○ woonkern

■ gemaal met sluis ⇉ sluis ⋊ duiker

Figuur 14-3. De verkaveling van Oostelijk Flevoland.

15. De waterlopen.

15-1. Algemeen.

De waterlopen, ook wel watergangen genoemd, dienen in de eerste plaats om het overtollige water naar het gemaal of de sluis te transporteren. Daarnaast doen zij dienst voor wateraanvoer, drinkwater voor het vee, waterberging, bluswater, veekering, sproeiwater voor de fruit- en tuinbouw en voor wat betreft de grote waterlopen ook voor de scheepvaart en de recreatievaart.
De afmetingen en het verhang van de waterlopen worden berekend volgens de beginselen van hydraulica, voor de hoeveelheid water, welke moet kunnen worden afgevoerd. Het verhang en het profiel moeten zo worden gekozen, dat de toelaatbare snelheid van het water nergens wordt overschreden. Ook mag het water bij de grootste afvoer nergens te hoog komen, zowel achter in de polder, waar in den regel de hoogste delen liggen, als bij het gemaal, waar de diepste delen liggen.
Men kan de waterlopen verdelen in tertiaire, secundaire en primaire waterlopen.
Tot de tertiaire waterlopen behoren de drains, de greppels, de perceelssloten en de dwarssloten. Hiervan zijn de drains gesloten watergangen; de overige zijn open doch hebben vrijwel geen afvoerende functie. Men houdt hiervoor algemeen geldende normale afmetingen aan. Deze zijn:

bodemdiepte: 0,35 m. beneden polderpeil
bodembreedte: 0,40 m.
taludhelling: 1 : 1 of 1 : $\frac{3}{4}$, afhankelijk van de grondsoort.

Tegenwoordig legt men de bodem van de greppels in verband met het eenvoudiger onderhoud vaak op de hoogte van het polderpeil.
Bij de perceelssloten is dit niet mogelijk, omdat dan de functie van veekering vervalt. Het nadeel van deze methode is, dat men een sterke vervuiling en sterke onkruidgroei krijgt.
Tot de secundaire waterlopen behoren de kavelsloten, de wegsloten en de dijksloten. Enkele centimeters verval is ook bij de langste kavelsloten reeds voldoende voor de te verwachten afvoer. Men legt de bodem van de secundaire waterlopen daarom bijna altijd horizontaal.
Voor het profiel worden, evenals bij de tertiaire waterlopen, algemeen geldende afmetingen aangehouden. Deze zijn:

bodemdiepte : 0,45 m. beneden polderpeil
bodembreedte: 0,50 m.
taludhelling: 1 : 1 of 1 : 2, afhankelijk van de grondsoort.

De secundaire waterlopen behoeven slechts berekend te worden, wanneer er meer dan 30 ha. op afwatert. Voor de normale kavelgrootten van 300/1000 m. kan dus het eenheidsprofiel worden aangehouden. Wanneer men een kavelsloot of een wegsloot gebruikt voor het afvoeren van het water van een grotere oppervlakte, dient het profiel en het verhang berekend te worden.
Indien men, zoals tegenwoordig wel gebeurt, de bodem van de secundaire waterlopen op polderpeil legt, vervalt de functie van veekering. Men moet er dan tevens op letten, dat de uitmonding van de drains boven het berekende natte profiel bij de normale afvoer komt te liggen; over het algemeen dus tenminste 20 cm boven de slootbodem.
De primaire waterlopen ontvangen het water van de kavelsloten en andere waterafvoerende sloten en brengen het naar het gemaal of de uitwateringssluis. Zij dienen tevens vaak voor het scheepvaartverkeer in de polder en dienen daartoe de benodigde diepte te bezitten. De afmetingen en het verhang worden berekend volgens de principes van de hydraulica, waarbij rekening moet worden gehouden met de vereiste afvoer, het toegestane verhang en de toelaatbare stroomsnelheid. Bovendien speelt het benodigde grondverzet een belangrijke rol.
De hydraulische berekeningen zijn tijdrovend. Het is daarom wenselijk te kunnen beschikken over nomogrammen, waarin voor verschillende gangbare profielen de waarden voor de grootheden in onderling verband kunnen worden afgelezen.

Behalve bij zeer grote afvoer mag het water achter in de polder niet boven de drainuitmondingen komen. Hieruit, en uit de eventuele "afmaling" bij het gemaal volgt dus het verval en het verhang. Soms kan dit aanleiding geven om de drains achter in de polder wat ondieper te leggen, of dichter op elkaar, onder kleinere helling, of door daar kleinere kavelbreedten toe te passen.
Indien een bepaalde hoek van de polder moeilijkheden geeft bij de waterafvoer door de lage ligging, kan het water van de overige polderdelen hier beter omheen gevoerd worden om de waterlopen in dit lage, kritische deel niet nog meer te belasten. Dit kan leiden tot splitsing van het waterlopenstelsel. Bij voorkeur moet men daarbij, in verband met het grondverzet, geen laag gelegen primaire waterlopen projecteren door een hoog gelegen polderdeel.

15-2. De formules voor de hydraulische berekening.

Van de drie grootheden profiel, verhang en afvoer zijn er in de berekening twee bekend of voorlopig aangenomen. De derde kan daarna worden berekend. Grondslag voor de hydraulische berekening vormt de formule van Chezy:

$$Q = F.c.\sqrt{RI}$$

Hierin is:

v = gemiddelde stroomsnelheid in m. sec^{-1}
c = coëfficiënt in $m^{\frac{1}{2}}.sec^{-1}$
R = hydraulische straal (F/O) in m.
I = verhang
Q = afvoer in $m^3.sec^{-1}$
F = natte doorsnede in m^2
O = natte omtrek in m.

Voor de polderinrichtingen in Nederland maakt men gebruik van de formule van Chezy met de coëfficiënt c volgens Bazin, Manning of de Delftse formule.

Bazin.

$$c = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$$

Hierin is:

γ = 0,85 voor schone aarden wanden
γ = 1,30 voor vlak begroeide oevers en schone bodem
γ = 1,75 voor begroeide watergangen

De coëfficient van Bazin is jarenlang in gebruik geweest bij de Cultuur Technische Dienst, de cultuurmaatschappijen en de waterstaatsdiensten. Voor een groot deel werkt men er thans nog mee.
De formules zijn uitgewerkt in een grafiekenalbum door J.L. Breeman en verkrijgbaar bij Van Gorcum uit Assen. Het kunnen gebruiken van deze nomogrammen heeft er toe geleid, dat de coëfficiënt volgens Bazin zo lang in gebruik is gebleven.

Manning.

$$c = K_M.R^{1/6}$$

Hierin is K_M een coëfficient met de dimensie van $m.^{1/3}sec^{-1}$ voor de wandruwheid. Deze coëfficiënt is sterk afhankelijk van de mate van begroeiing, welke wordt bepaald door het onderhoud van de waterlopen, het seizoen en de grondsoort.

Tabel 15-1 geeft een overzicht van verschillende waarden voor K_M.

Tabel 15-1. Enkele waarden voor de coëfficiënt K_M in de formule van Manning.

	winter	zomer
kleine watergangen.		
(waterdiepte $<$0,80 m; R $<$0,50 m)		
in lichte grond	35	20
in zware grond	25	15
middelgrote watergangen		
(waterdiepte 0,80 - 1,50 m; R 0,50 - 1,00 m)		
in lichte grond	40	30
in zuivere grond	30	20

De formule van Manning is ontwikkeld voor de irrigatieleidingen in Indonesië en geldt voor begroeide watergangen. Grote watergangen, waar de begroeiing in den regel minder invloed heeft, kunnen beter met behulp van een andere formule worden berekend.
De werkgroep "Waterlopen" van de "Cultuurtechnische Vereniging" (gevormd door de sectie Cultuurtechniek van het KIVI en de studiekring Cultuurtechniek van het Koninklijk Genootschap voor Landbouwwetenschappen) beveelt de formule van Manning aan voor begroeide waterlopen. De formule is verwerkt tot nomogrammen, welke sedert 1959 verkrijgbaar zijn bij Van Gorcum te Assen onder de titel: "Richtlijnen voor het ontwerpen van leidingen en kunstwerken van de Cultuurtechnische Vereniging, afdeling Waterlopen".
Delftse formule.

$$c = 18 \log. \frac{12R}{K_D + \gamma/4}$$

Hierin is:

γ = dikte van de grenslaag. Deze is slechts van invloed bij gladde (beklede) wanden en kleine snelheden. Bij aarden wanden kan zij verwaarloosd worden.

K_D = maat voor de wandruwheid in m.; in feite de diameter van de wandbekledende bollen. Voor vlakke aarden wanden bedraagt de coëfficiënt: 20 tot 50.10^{-3} m.
Voor geribbelde bodem en wanden houdt men aan $1\frac{1}{2}$ tot 2 maal de hoogte van de ribbels.
Voor effen, korrelige grond kan de gemiddelde diameter van de korrels worden aangehouden.

De Delftse formule wordt door de werkgroep "Waterlopen" aanbevolen voor onbegroeide watergangen.

15-3. Het verval bij duikers en bruggen.

Men neemt globaal aan, dat ten hoogste de helft van het totale verval in een leiding wordt veroorzaakt door extra weerstand bij duikers en bruggen. De hierdoor ontstane drukhoogteverliezen worden gevormd door het intredeverlies, de wrijvingsverliezen en het uittredeverlies.

Het totale verlies in drukhoogte in een duiker, waardoor een debiet van Q m^3/sec. stroomt, bedraagt:

$$h = (\varphi + \lambda . \frac{L}{D} + \psi) . \frac{v^2}{2g}$$

Hierin is:

- h = drukhoogteverlies in m.
- φ = contractiecoëfficiënt. Bij een instroomopening met scherpe hoeken bedraagt deze 0,60; bij afgeronde hoeken 0,20
- λ = wrijvingscoëfficiënt; voor beton: 0,03
- L = lengte van de duiker in m.
- D = diameter van de duiker in m. Wanneer de duiker niet geheel is gevuld, wordt 4 R aangehouden
- ψ = verliescoëfficiënt bij de uitstroming. Afhankelijk van de vorm van de uitstroomopening en de snelheid van het water beneden de duiker kan de waarde oplopen tot 1
- v = snelheid in de duiker in m/sec. volgende uit de afvoer Q gedeeld door de natte oppervlakte F.
- g = versnelling van de zwaartekracht (9,81 m/sec^2).

De formule kan ook worden geschreven als:

$$Q = \mu . F \sqrt{2gh}$$

Hierin is:

Q = afvoer van de leiding in m^3/sec.

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\varphi + \lambda . \frac{L}{D} + \psi}}$$ = verliescoëfficiënt

- F = oppervlakte van de natte doorsnede in m^2
- g = versnelling van de zwaartekracht (9,81 m/sec^2)
- h = drukhoogteverlies in m.

Voor korte duikers en bruggen, waarbij de wrijving verwaarloosd kan worden, zijn benaderde waarden voor de verliescoëfficiënt μ gegeven in tabel 15-2.

Tabel 15-2. Enkele benaderde waarden voor de verliescoëfficiënt .

bodem ter plaatse van de brug of duiker				
gelijk aan die van de watergang		hoger dan die van de watergang		
zijkanten		drempel	zijkanten	
rechthoekig	0,80	rechthoekig	rechthoekig	0,72
afgerond	0,90	afgerond	rechthoekig	0,76
		afgerond	afgerond	0,85

Het kunstwerk dient in de breedte zoveel mogelijk binnen het profiel van de watergang te blijven. Indien daardoor het verval of de in- en uitstroomsnelheid te groot wordt, wordt de watergang plaatselijk verruimd waardoor een kunstwerk met een grotere doorstromingsbreedte kan worden toegepast.

Duikers met een kleine diameter worden meestal geheel onder de waterspiegel gelegd.
Het liefst past men geen duikers toe met een diameter kleiner dan 40 cm. (onder wegen 50 cm). Indien mogelijk worden de duikers met de bovenzijde tenminste 10 cm. boven de waterspiegel gelegd, waardoor de weerstand kleiner wordt en drijvend vuil kan passeren. Bij een overhoogte van meer dan 20 cm. wordt deze gelijk verdeeld over de bodem en de vrije hoogte boven de waterspiegel.

15-4. De berekening van de profielen.

De watergangen worden berekend op de basis van de afvoer welke er door stroomt en een afvoerformule waaruit bij aangenomen verhang de natte doorsnede wordt verkregen. De afvoer voor elk leidingvak wordt verkregen als som van het water van het vorige vak vermeerderd met het water van het eigen vak. Men verkrijgt deze afvoer door voor elk vak de oppervlakte te vermenigvuldigen met de berekende afvoercoëfficiënt (zie waterbezwaar, hoofdstuk 19). Aan het begin van de leidingen mag het water niet boven de drainuitmondingen komen. Bij de nieuwe droogmakerijen is deze hoogte meestal 20 cm. Hiermede is dus de beginhoogte gegeven. De eindhoogte wordt bepaald uit het polderpeil verminderd met 20 tot 50 cm. afmaling bij het gemaal. Wanneer men het verhang over het gehele leidingnet constant wil houden, moeten op elk vak bij de berekende afvoer de bijbehorende waarden van de breedte en de bodemhoogte worden bepaald.
De juiste keuze van het verhang, de breedte en de bodemhoogte wordt in feite bepaald door het grondverzet en de toelaatbare snelheid van het water. Grote diepte geeft veel grondverzet en kleine breedte. Grote breedte geeft minder diepte. In korte polders kiest men het verhang vaak wat groter; in lange polders wat kleiner. Van groot belang is daarbij ook de opvoerhoogte van het gemaal.
Gebruikelijk is om in de polders aan het begin een klein verhang te kiezen, tot 0,05 °/oo, toenemend tot 0,15 °/oo aan het benedeneind met een kort stuk van 0,5 °/oo bij het gemaal. Als de tochten voor scheepvaart worden gebruikt, zijn de profielen meestal veel ruimer dan voor de afvoer nodig is en zijn de verhangen dus veel kleiner. De verhangen worden dus niet berekend, maar aangenomen op bepaalde waarden. Uit de berekende afvoer en de verhangen worden de afmetingen berekend, waarbij de toelaatbare snelheden van het water niet overschreden mogen worden. Vroeger nam men daarbij als maximum waarde aan een snelheid van 0,10 tot 0,20 m/sec. Tegenwoordig wordt deze, afhankelijk van het bodemmateriaal, veel groter genomen (tabel 15-3).

Tabel 15-3. Toelaatbare stroomsnelheden in waterlopen.

Grondsoort	snelheid in m/sec.	taludhelling
klei, leem, löss	0,60 - 0,80	1 : 1 tot 1 : 2
zavel	0,30 - 0,60	1 : 1½ tot 1 : 2½
grof zand	0,20 - 0,50	1 : 1½ tot 1 : 3
fijn zand	0,15 - 0,30	1 : 2 tot 1 : 4 en meer
vast veen	0,30 - 0,60	1 : 2
slap veen	0,15 - 0,30	1 : 2 tot 1 : 4 en meer

De grootste aangegeven snelheden zijn alleen toelaatbaar bij diepe watergangen. Lagere snelheden laat men toe, indien de bodem en de taluds door kwel minder stabiel zijn.
Het gunstigste profiel is een halve cirkel. Dit is echter onmogelijk in verband met de taluds. De oplossing van de omgeschreven veelhoek met de steilst toelaatbare taluds geeft vrij smalle en diepe profielen met gering grondverzet. Diepe profielen geven in den regel

bezwaren, doordat zij in de droogmakerijen het onderliggende zand kunnen bereiken, waardoor loopzand ontstaat en kwel kan optreden, soms vaak zout water. In de praktijk worden daarom brede, ondiepe profielen toegepast, zoals de nomogrammen ook uit wijzen.
De taluds worden flauwer gekozen, naarmate de watergangen dieper zijn, er een naar binnen gerichte kwel is, of er naast met zwaar verkeer wordt gereden, zonder dat daarbij een brede berm aanwezig is. Bij diepe watergangen, welke kunnen voorkomen indien tevens scheepvaart wordt toegelaten, worden ook wel geknikte taluds of tussenbermen toegepast. Steilere belopen worden toegepast bij begroeide taluds of bij oeververdedigingen.
Vooral de Cultuur Technische Dienst en de cultuurmaatschappijen, maar ook de waterstaatsdiensten maken voor de berekening gebruik van uniforme berekeningsschema's (tabel 15-4).
De watergangen worden genummerd, te beginnen met de hoofdleiding achter in de polder. De kunstwerken krijgen een letter, voorafgegaan door het volgnummer in de betreffende leiding en gevolgd door het nummer van de leiding. Indien de kunstwerken twee leidingvakken begrenzen, worden zij aangegeven met een hoofdletter. Bij een samenkomst van een leiding met de hoofdleiding dient de bodemhoogte dezelfde waarde te verkrijgen. Vanuit dit punt wordt dus de zijleiding teruggerekend.
Op een afzonderlijke rekenstaat worden de kunstwerken berekend; de daaruit voortvloeiende gevallen worden in de tabel 15-4 vermeld op de plaatsen, welke zijn aangegeven met x.

Tabel 15-4. Indeling van een berekeningsschema voor de waterlopen.

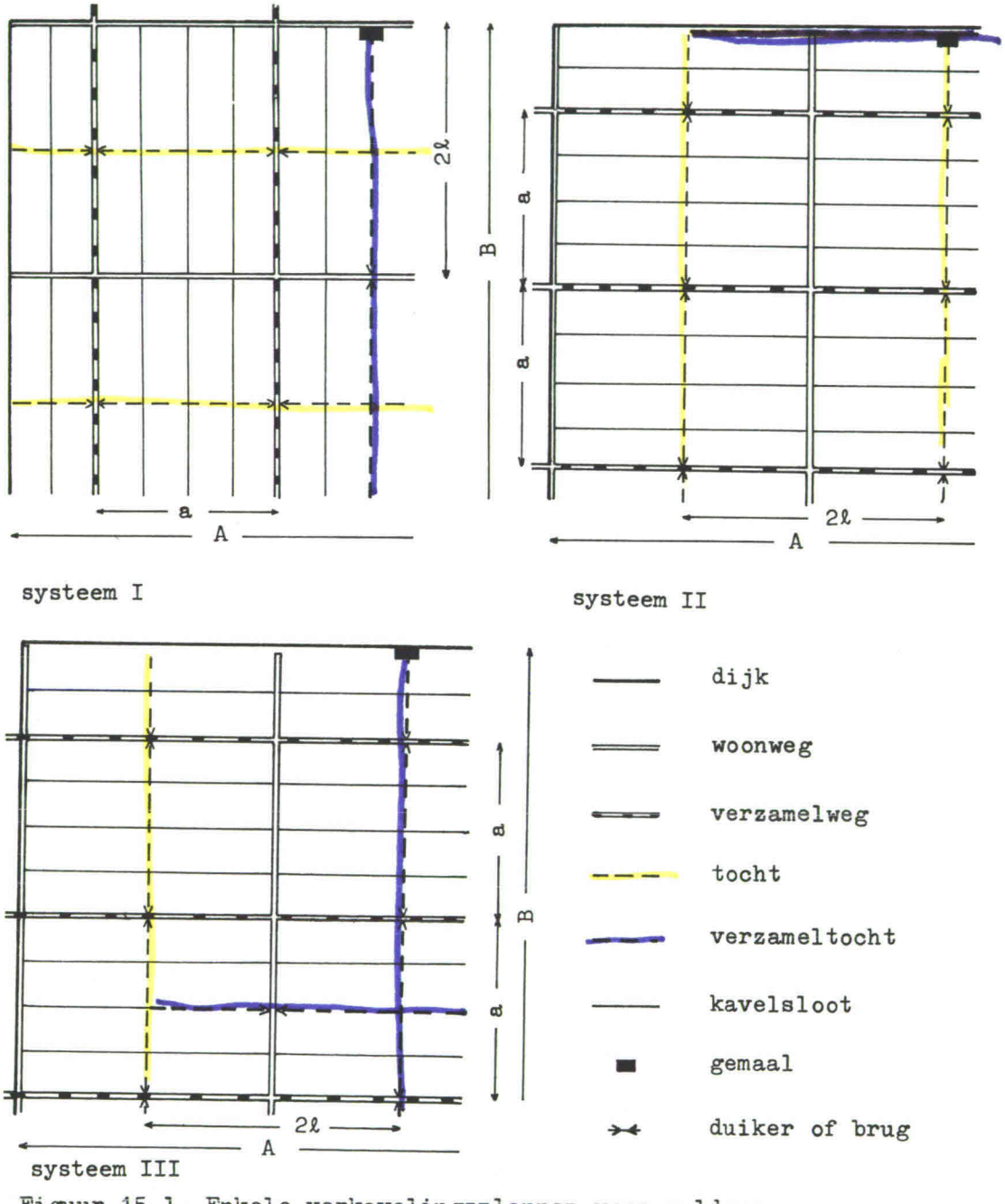
nummer watergang letter kunstwerk	totale afwateringsoppervlakte	Q m³/sec	K_M	l	b	h	talud 1:n	I %	verval z	waterspiegel in m. tov NAP	bodemhoogte in m. tov NAP	V m/sec
1	a								uitgangspunt			
A	a							x				
2	a + b											
3	c											
B	c							x				
4	c + d											
5	a+b+c+d											
C								x				
6												
D								x				
7												

De bodemhoogte van de waterlopen wordt meestal aangegeven t.o.v. de gemiddelde waterstand in het betreffende vak; dus de hoogten aan het begin en aan het einde van het vak worden niet afzonderlijk aangegeven.
Een grote toegelaten snelheid leidt tot natte doorsneden met geringe afmetingen en grote verhangen. Dit kan, ondanks geringe afmetingen aan het boveneinde, leiden tot grote diepten en grote afmetingen aan het benedeneinde bij het gemaal en bijgevolg een groot grondverzet en een grote opvoerhoogte voor het gemaal.
De gemalen en de sluizen vormen meestal het sluitstuk van de berekening. Voor de waterinlaat moet men de watergangen vaak doorrekenen vanuit een ander punt en met andere waterstanden. Men moet daarbij in eerste

instantie uitgaan van de reeds voor de waterafvoer berekende profielen waaruit de waarden voor het verhang volgen.

15-5. Het gunstige verloop van wegen en waterlopen en de gunstige vorm van een polder.

Bij de tracering van de wegen en de waterlopen in een polder kan men te werk gaan volgens drie systemen (fig. 15-1). Belangrijk voor de keuze zijn daarbij de aanlegkosten van de wegen, de waterlopen en de kunstwerken. Omdat deze elkander voor de drie systemen niet veel ontlopen, geven andere omstandigheden meestal de doorslag, zoals de onwenselijkheid van watergangen langs de dijken, wegaansluitingen naar gebieden buiten de polder, gunstige ligging van de watergangen t.a.v. de hoogteligging, het landschap, de algemene topografie, de plaatsing van de boerderijen, de aanwezigheid van scheepvaartwegen en de doorgaande autowegen.



Figuur 15-1. Enkele verkavelingsplannen voor polders.

verzamelweg steeds // kavelsloten
verzamel sloot steeds // woonweg

Wanneer de polderlengte = A wordt gesteld, de polderbreedte = B, de kavellengte = l, de afstand van de verzamelwegen = a en gebruik wordt gemaakt van één verzameltocht, kunnen de totale aanlegkosten van de wegen, waterlopen en kunstwerken voor de systemen I, II en III worden vergeleken.

Lengte van de wegen.

systeem I: $\left(\frac{B}{2l} + 1\right) . A + \frac{A}{a} . B = \frac{AB}{2l} + A + \frac{AB}{a}$

systeem II. $\left(\frac{A}{2l} + 1\right) . B + \frac{B}{a} . A = \frac{AB}{2l} + B + \frac{AB}{a}$

systeem III: $\left(\frac{A}{2l} + 1\right) . B + \frac{B}{a} . A = \frac{AB}{2l} + B + \frac{AB}{a}$

De lengte van de wegen is bij de systemen II en III gelijk. Wanneer de lengte A van de polder groter is dan de breedte B, is de oplossing volgens systeem II de gunstigste.

Lengte van de waterlopen.

systeem I: $\frac{B}{2l} . A + B - 1 = \frac{AB}{2l} + B - 1$

systeem II: $\frac{A}{2l} . B + A - 2l = \frac{AB}{2l} + A - 2l$

systeem III: $\frac{A}{2l} . B + A - 2l = \frac{AB}{2l} + A - 2l$

aan kavelsloten allemaal evenveel

De lengte van de waterlopen is bij de systemen II en III gelijk. Bij het systeem II ligt de hoofdtocht langs de dijk, hetgeen in vele gevallen ongewenst is. Voor $A \gg B$ is de oplossing volgens systeem I het voordeligste.

Aantal kunstwerken.

systeem I : $\frac{A}{a} . \frac{B}{2l} . + \frac{B}{2l} = \frac{AB}{2al} + \frac{B}{2l}$

systeem II : $\frac{B}{a} . \frac{A}{2l} = \frac{AB}{2al}$

systeem III: $\frac{B}{a} . \frac{A}{2l} + \frac{A}{2l} - 1 = \frac{AB}{2al} + \frac{A}{2l} - 1$

Het kleinste aantal kunstwerken treedt op bij de oplossing volgens systeem II. Het verschil tussen de oplossing volgens de systemen I en III hangt af van de grootte van A en B.

Wanneer men alleen let op het grondverzet, is dus de oplossing volgens systeem I (lengte van de waterlopen) het voordeligste voor $A > B$. Er kan worden berekend, wat de meest voordelige verhouding is tussen A en B. Daardoor wordt het grondverzet evenredig gesteld aan de afvoer.

Zijtochten: lengte van één tocht: A
gemiddelde afvoer per tocht : $\frac{2lA}{4}$
aantal tochten: $\frac{B}{2l}$
gemiddelde afvoer x totale lengte: $A . \frac{2lA}{4} . \frac{B}{2l} = \frac{A^2B}{4}$

Hoofdtocht: aantal delen: $\frac{B}{2l}$

gemiddelde afvoer per deel: 2lA
lengte van de tocht B-l
gemiddelde afvoer x totale lengte: $\frac{B}{2l} \cdot \frac{2lA.(B-l)}{2} = \frac{AB}{2}(B-l)$

Wanneer l wordt verwaarloosd t.o.v. B, bedraagt de totale gemiddelde afvoer x lengte:

$$\frac{A^2B}{4} + \frac{AB^2}{2}$$

Deze vorm moet minimaal zijn. Hierin kan worden gesteld:

$A = nB$
$A.B = O = \text{constant}$
$O = A.B = n.B^2$ of: $B = O^{\frac{1}{2}}.n^{-\frac{1}{2}}$.
$A = nB$ of: $A = O.^{\frac{1}{2}}.n^{\frac{1}{2}}$

Ingevuld in $\frac{A^2B}{4} + \frac{AB^2}{2}$ geeft dit:

$\frac{O^{1\frac{1}{2}}.n^{\frac{1}{2}}}{4} + \frac{O^{1\frac{1}{2}}.n^{-\frac{1}{2}}}{2}$ moet minimaal zijn, dus:

$\frac{df}{dn} = n^{-\frac{1}{2}} - 2n^{-1\frac{1}{2}} = 0$. Hieruit volgt: $n^{-\frac{1}{2}} = 2n^{-1\frac{1}{2}}$ of: $n = 2$.

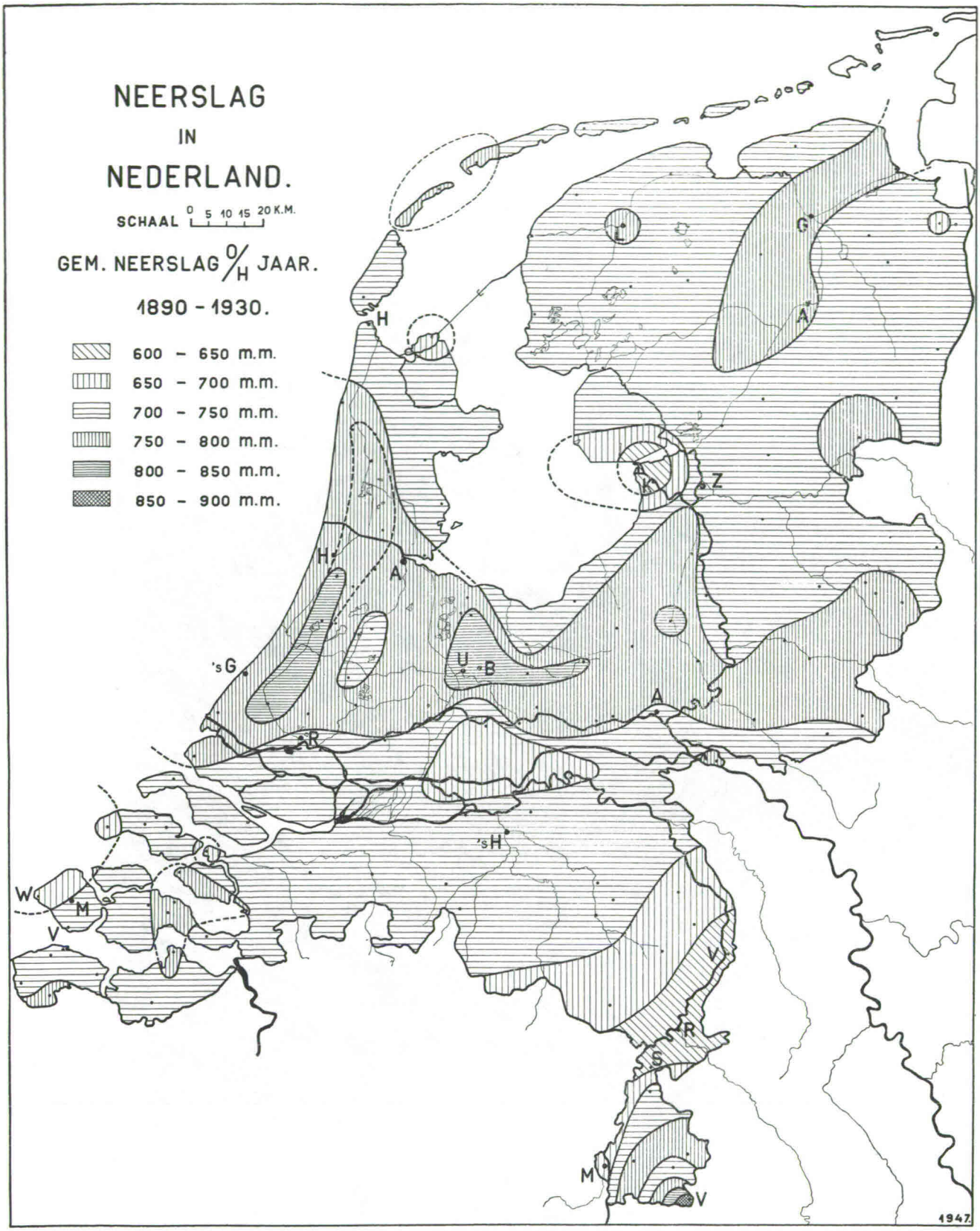
Het minste grondverzet treedt dus op, wanneer de lengte van de polder gelijk is aan twee maal de breedte. In de praktijk is deze keuze niet altijd mogelijk. De verhouding wordt meestal bepaald door de topografische omstandigheden. Bij een grote lengte zal het i.v.m. het grondverzet vaak voordeliger zijn om twee of meer gemalen te plaatsen. Men heeft daarbij tevens een geringere opvoerhoogte en een grotere zekerheid. Daar tegenover staat, dat twee gemalen duurder zijn dan één en grotere exploitatiekosten hebben.

16. De neerslag.

Neerslag ontstaat door afkoeling van met waterdanp verzadigde lucht. Warme lucht kan relatief veel waterdamp bevatten. Zomers kunnen grote temperatuurverschillen optreden, waardoor de regenval een sterk buïig karakter kan hebben (onweersbuien).
De neerslag wordt gemeten in regenmeters. Dit zijn trechtervormige opvangbakken, waaronder een meetbak is geplaatst. Vóór 1945 waren de regenmeters op een hoogte van ongeveer 1,50 m boven het maaiveld geplaatst. Als gevolg daarvan en een zeker windeffect gaven de metingen een te lage uitkomst, tot 10% toe. De tegenwoordige regenmeters zijn geplaatst op een hoogte van ongeveer 40 cm boven het maaiveld en hebben daardoor vrijwel geen windeffect meer. De regenwaarnemingen van vóór 1945 zijn dus tot 10% te laag en dit is jammer, want voor de berekening van het waterbezwaar moet over lange, betrouwbare waarnemingsreeksen kunnen worden beschikt.
De gemiddelde neerslag bedroeg over de periode 1891-1930 voor geheel Nederland 690 mm per jaar. Gecorrigeerd met gemiddeld 5% voor het windeffect geeft dit een gemiddelde neerslagsom van 725 mm per jaar. Het jaargemiddelde vertoont een grote spreiding, van 350 mm in droge jaren tot 1200 mm in uitgesproken natte jaren. Hoewel de neerslag gemiddeld voldoende is om de verdamping van het water (450-600 mm) te compenseren, komen er dus ook jaren voor, waarin een watertekort optreedt.
Plaatselijk kunnen de gemiddelde neerslagsommen per jaar grote verschillen vertonen, zoals blijkt uit figuur 16-1. Hierin zijn verwerkt de neerslagcijfers over de periode 1891-1930 na de correctie voor de invloed van de wind. De grootste neerslag treedt op bij Vaals, de kleinste bij Kampen. Gebieden met een lage neerslag komen voor in midden-Limburg, het zuidoosten van Brabant en een deel van Drente en Groningen. De gebieden met hoge neerslag liggen achter de duinen in Zuid- en Noord-Holland en in de omgeving van Utrecht.
Ook de neerslagcijfers over de maanden van het jaar vertonen grote verschillen, zoals blijkt uit tabel 16-1, waarin de neerslagcijfers zijn gegeven voor Utrecht/De Bilt over de periode 1891-1930 en figuur 16-2, waarin de cijfers zijn weergegeven in grafiekvorm. De gegevens zijn ontleend aan: "Mededelingen en Verhandelingen Nr. 34b", van het K.N.M.I.

Tabel 16-1. Overzicht van de neerslag te Utrecht/De Bilt over de periode 1891-1930.

	neerslagsommen in mm											
	dec.	jan.	febr.	mrt.	apr.	mei	juni	juli	aug.	sept.	okt.	nov.
gemiddeld												
maand	72	57	44	50	46	52	61	79	88	70	77	64
seizoen	←	173	→	←	148	→	←	228	→	←	211	→
jaar	←					760						→
hoogste												
dag	42	46	35	28	33	34	48	42	74	44	38	39
maand	171	112	123	139	127	132	147	195	193	189	215	142
seizoen	←	308	→	←	251	→	←	387	→	←	391	→
jaar	←					988						→

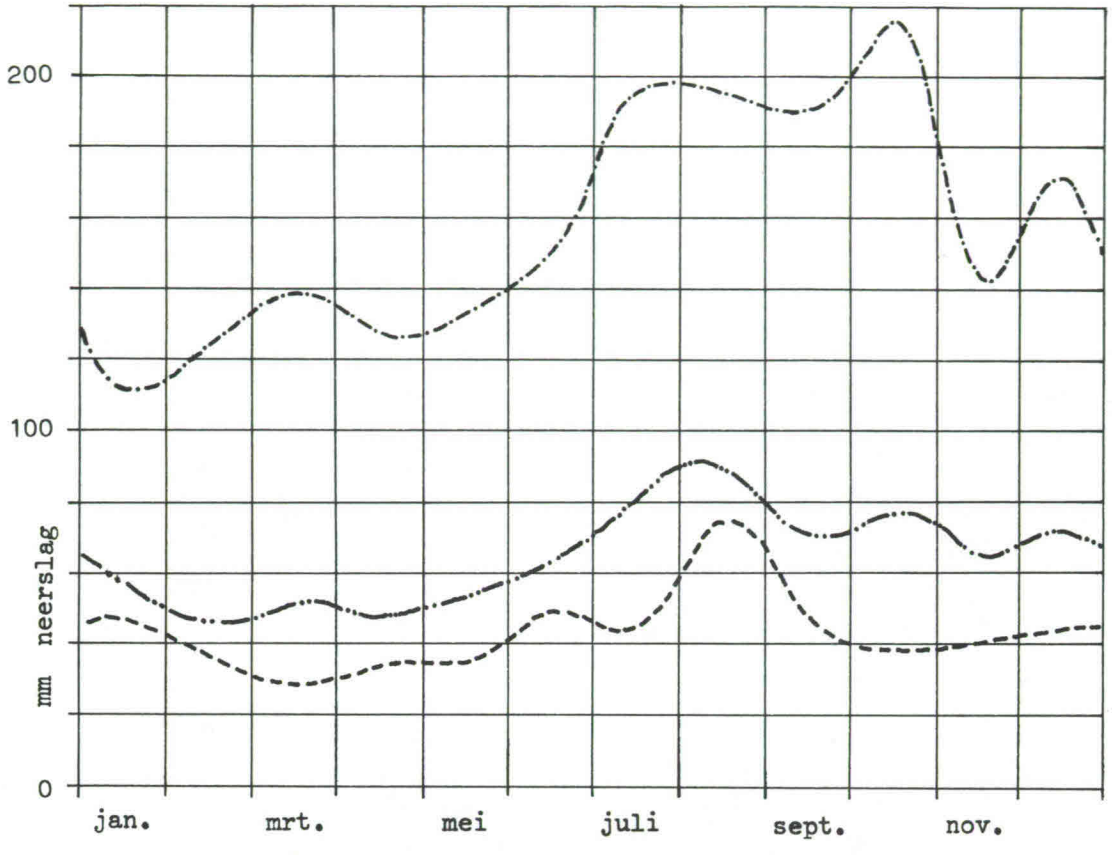


NAAR DR. C.BRAAK: „HET KLIMAAT VAN NEDERLAND" INVLOED VAN DEN WIND OP REGENWAARNEMINGEN.
MEDEDEELINGEN EN VERHANDELINGEN KON. NED. METEOROLOGISCH INSTITUUT Nº 38.

TECHNISCHE HOGESCHOOL TE DELFT.
AFD. WEG- EN WATERBOUWKUNDE.

Figuur 16-1. Gemiddelde jaarsommen van de neerslag in Nederland over de periode 1891-1930.

De gemiddelde maandsommen vertonen de laagste waarden in de winter en in het voorjaar. De hoogste waarden treden op in de zomer en in de herfst met uitgesproken maxima in augustus en oktober.



—·—·· hoogste maandsommen

—··— gemiddelde maandsommen

---- hoogste dagsommen

Figuur 16-2. Overzicht van de neerslag te Utrecht/De Bilt over de periode 1891-1930.

De hoogst voorgekomen maandsommen blijken 2 tot 2,5 maal zo groot te zijn als het gemiddelde, met uitgesproken maxima in juli, augustus, oktober en december.
De jaar-, seizoen- en maandsommen van de neerslag zijn voor het waterbezwaar in de polders niet belangrijk, hoewel zij wel mede bepalend zijn voor de verzadigingsgraad van de bodem. Zij zijn verder van belang voor de bepaling van de hoeveelheid te accumuleren water ten behoeve van de

watervoorziening, in het IJsselmeer en in de toekomst in het Zeeuwse Meer. Voor de waterafvoer van de polders gaat het voornamelijk om korte perioden. Dit is niet altijd zo geweest. Vóór de opkomst van de molens moest het water, dat in de herfst en de winter was gevallen, vóór het groeiseizoen weer verdwenen zijn.
De neerslag vertoont een enorm grillig beeld. Men kan daarom de metingen zelf niet gebruiken voor de afvoerbepaling maar moet gebruik maken van neerslagcijfers, welke in een bepaalde periode kunnen worden bereikt of overschreden. Als maatstaf neemt men tegenwoordig de neerslag in een tijd van 5 dagen welke eenmaal in een periode van 5 jaar wordt bereikt of overschreden. Aan het einde van het tijdvak van 5 dagen moeten de sloten weer op peil zijn. In enkele kwetsbare polders neemt men hiervoor zelfs wel 2 dagen.
De maatgevende neerslagen worden ontleend aan de regenduurlijnen, waarin de frequenties zijn gegeven van de neerslagsommen over tijdvakken van een bepaald aantal aaneengesloten dagen. Deze neerslagen zijn ontleend aan langdurige waarnemingsreeksen. In tabel 16-2 zijn zij gegeven voor het station Hoofddorp, zowel voor het gehele jaar, als voor de periode oktober tot en met maart. In de tabel zijn volledigheidshalve ook de neerslagen per dag gegeven. Kortere tijdseenheden hebben voor de polders weinig zin. Zij zijn echter wel van belang voor de rioleringen, waarbij een regenbui in zeer korte tijd afgevoerd moet kunnen worden. Dergelijke gevallen doen zich in feite ook voor bij de kassengebieden waar de neerslag vrijwel onmiddellijk in de sloten terecht komt.

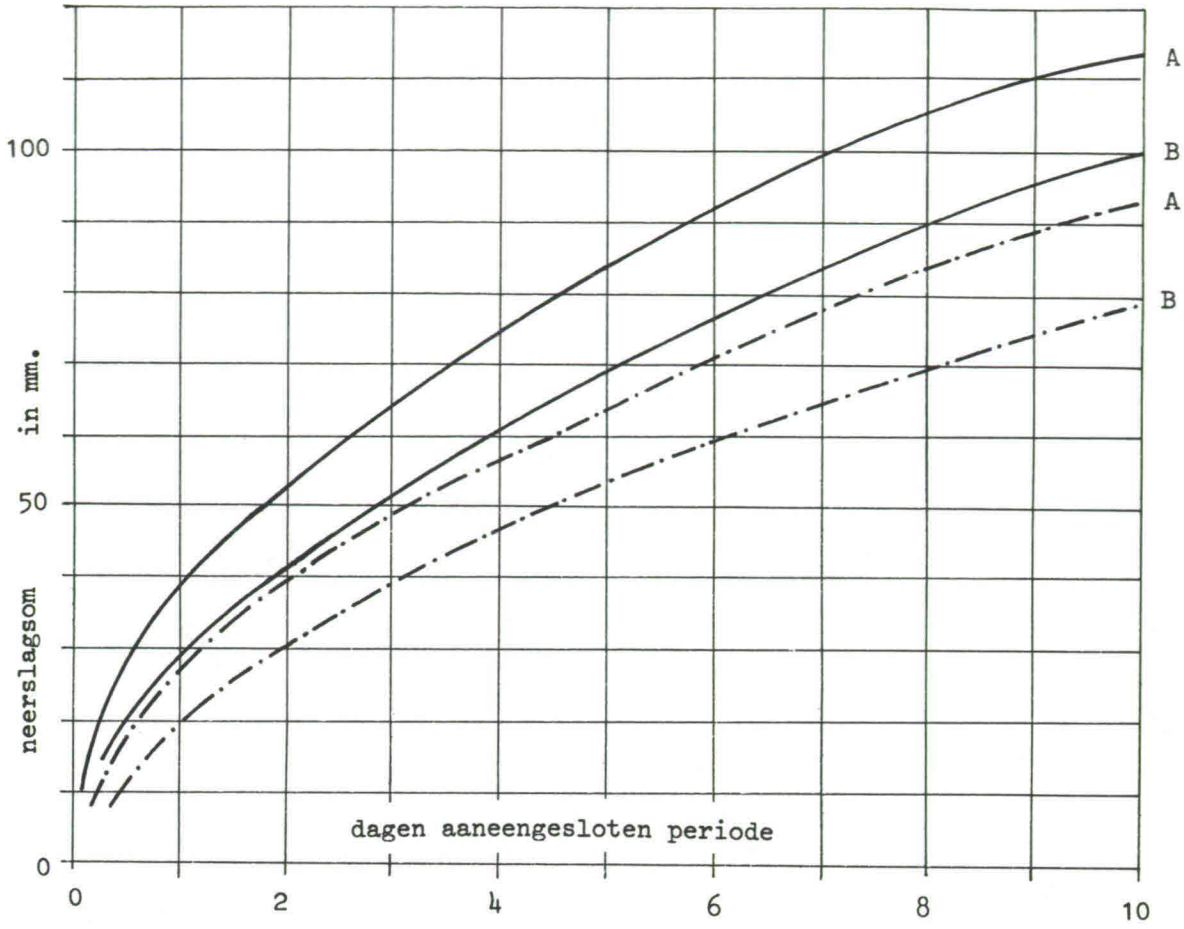
Tabel 16-2. Overzicht van de neerslag te Hoofddorp op meerdere dagen achtereen.

aaneengesloten periode van:	bereikte of overschreden neerslag in mm									
	1x per jaar		1x per 2 jaar		1x per 5 jaar		1x per 10jr.		1x per 50jr	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1 dag	27,5	19,5	32	23,5	38,5	28,5	43,5	33	56	44
2 dagen	40	30	45	35	52	41	58	46,5	71	58
3 dagen	49,5	39	56	44	65	51	72	56	89	68
5 dagen	64	53	73	60	84	69	90	76	109	92
7 dagen	78	64	87	72	99	83	107	89	125	105
10 dagen	93	79	102	89	114	100	123	106	143	125

A = januari t/m december

B = oktober t/m maart

Figuur 16-3 geeft de regenduurlijnen voor het station Hoofddorp, zowel voor het gehele jaar, als voor de periode oktober tot en met maart. Getekend zijn de regenduurlijnen voor neerslagen, welke gemiddeld eens per jaar en eens per 5 jaar worden bereikt of overschreden.



A januari t/m december — eenmaal in de vijf jaren

oktober t/m maart —·— eenmaal per jaar

Figuur 16-3. Voorbeeld van regenduurlijnen.

Men stelt voor een polder de regenduurlijn op voor het dichtsbijzijnde neerslagstation. Voor grote gebieden, meer dan 10 000 ha, kan men een reductie toepassen, omdat bij dergelijke grote gebieden de maxima van de neerslag niet gelijktijdig optreden. Beter nog kan men daarbij het gemiddelde van meer neerslagstations nemen. Er kunnen zich gevallen voordoen, dat het waterbezwaar aanmerkelijk groter wordt, dan zou volgen uit de regenduurlijnen. Dit treedt op, wanneer de neerslag valt in de vorm van sneeuw en zodoende wordt geaccumuleerd tot het moment van de dooi, of bij bevroren grond, wanneer de neerslag bovengronds afstroomt.

17. De verdamping.

De belangrijkste factor van de wateronttrekking, welke tot een watertekort kan leiden, is de verdamping of de evapotranspiratie. Dit is de som van de transpiratie, de evaporatie en de verdamping van de bladeren en de oppervlakte. Daarnaast treedt verdamping op van open watervlakten. De grootte van de verdamping is moeilijk te meten; zij is echter aan minder snelle fluctuaties onderhevig dan de neerslag, hoewel er een sterke seizoensinvloed is. De factoren, welke de verdamping beïnvloeden, zijn de intensiteit en de duur van de zonnestraling, de temperatuur van de lucht, de verzadigingsgraad van de lucht, de windsnelheid en de luchtturbulentie. Deze factoren gelden zowel voor de bebouwde als voor de onbebouwde landoppervlakken en voor de wateroppervlakken. Verder zijn van invloed op de verdamping de bouw van de plant, de dichtheid en de diepte van de beworteling, welke de mate van watertoevoer naar boven beïnvloeden. Ook de opbouw van het profiel en de granulaire samenstelling van de grond spelen een belangrijke rol. Het feit, dat zoveel factoren van invloed zijn op de verdamping, maakt de zaak theoretisch niet eenvoudig. Voor het bepalen van de verdamping staan verschillende methoden ter beschikking.

1. verdampingsbakken. Deze worden gebruikt voor de bepaling van de verdamping op open wateroppervlakken. Men meet daarbij de verdamping door de gewichtsverandering te bepalen en rekening te houden met de neerslag. Op deze wijze wordt een verdamping gemeten, welke groter is dan de natuurlijke, omdat de temperatuur van het water in de bak te hoog wordt. Men heeft dit verschil kunnen verminderen, door de bakken in het water te plaatsen. De uitkomst blijft daarbij ook nog te hoog, omdat het water in de bak stilstaand is.
2. graszoden. Uit de grond worden graszoden gestoken van 25x25x10 cm, welke worden gewogen en daarna weer in een bakje in het maaiveld worden geplaatst. Het gewichtsverlies na één uur komt overeen met de standaardverdamping. Makkink vond op die wijze voor gras in de maanden juni tot en met juli 1949 een gemiddelde verdamping van 3,8 mm per etmaal, oplopend tot 4,5 mm per etmaal.
3. zoutverplaatsing. Door Zuur is een methode ontwikkeld en in de Wieringermeer beproefd om door verplaatsing van het zout in de bodem de verdamping te meten.
4. analytisch. Door Thornthwaite is een analytische methode ontwikkeld, welke verder is uitgewerkt door Penman, uitgaande van de luchttemperatuur en de breedtegraad. Penman heeft deze twee factoren nog uitgebreid met het zonneschijnpercentage, de relatieve vochtigheid en de windsnelheid. Volgens deze methode van de energiebalans verkrijgt men verdampingscijfers, welke maximaal mogelijk zijn. De werkelijke verdamping is ongeveer 0,7 maal zo groot.
5. vochtmetingen. In het buitenland wordt de verdamping wel bepaald door het meten van het vochtgehalte in de bewortelingslaag, waarbij men er van uitgaat, dat er geen capillaire toestroming van het water is en dat de neerslag de zone geheel passeert.
6. lysimeters. Bij de lysimetermethode maakt men gebruik van bakken, welke zijn gevuld met grond. Men meet daarbij de neerslag en de afvoer en bepaalt het gewicht. De bakken worden ingegraven in de natuurlijke omgeving, waarbij dezelfde grondtemperatuur optreedt. Wanneer men lysimeterbakken gebruikt, is het gevaar aanwezig, dat de samenstelling, de opbouw en de dichtheid van de grond niet meer dezelfde is als van de omgeving. Daarom past men wel lysimetervakken toe, welke door middel van damwanden zijn afgesloten van de omgevende grond en welke zijn gedraineerd. Men kan nu de grond niet wegen, zodat het vochtgehalte van de grond aan het begin

en aan het eind van de proef moet worden bepaald door middel van vochtmetingen. Om het gevaar van kwel en inzijging te voorkomen dient de stijghoogte binnen en buiten het vak gelijk gehouden te worden.
Lysimeterproeven zijn of worden verricht door:
- het proefstation te Groningen. Maschhaupt vond daarbij een verdamping van 300-400 mm voor ongebouwde grond en 475-575 mm voor begroeide grond per jaar.
- het Provinciaal Waterleidingbedrijf Noord-Holland aan 4 grote lysimeters van 25x25x2,50 m, begroeid met duinbegroeiing, naaldhout, loofhout en onbegroeid.
- het Cilo in de Gelderse Vallei voor veengrasonderzoekingen.
- Rijnland bij het meteorologisch station Oude Wetering voor verschillende grondsoorten. De gemiddelde maandelijkse verdamping in procenten van de gemiddelde jaarlijkse verdamping over de jaren 1947 t/m 1955 bleek voor gras op veen te bedragen:

januari	1	mei	16	september	9
februari	2	juni	18	oktober	4
maart	5	juli	18	november	1
april	10	augustus	15	december	1

Verder worden bij Stroe reeds enige jaren lysimeters gebruikt bij onderzoekingen in de bosbouw.

7. waterbalans. Bij deze methode wordt de balans van het water bepaald, bij voorkeur in gebieden, welke hydrografisch en hydrologisch een eenheid vormen. Volgens deze methode zijn aan het einde van de vorige eeuw verdampingscijfers bepaald van gemiddeld 480 mm per jaar voor de Haarlemmermeer. Later werd deze hoeveelheid door Stolp en Mohrman gecorrigeerd tot 535 mm. Bruggeman heeft aangetoond, dat de door Sterk gebruikte methode voor de Haarlemmermeer ook heden ten dage nog zeer goed bruikbaar is.
De Gruyter, vroeger ingenieur van Rijnland, berekende de jaarlijkse verdamping van Rijnland op 550 mm en die van de Haarlemmermeer op 530 mm.
De 550 mm voor Rijnland werd op grond van onderzoekingen van Van Everdingen van het KNMI over de maanden van het jaar verdeeld, zoals is aangegeven in tabel 17-1.

Tabel 17-1. Verdeling van de gemiddelde jaarlijkse verdamping van 550 mm voor Rijnland over de maanden van het jaar,

januari	4 mm	mei	88 mm	september	45 mm
februari	7 "	juni	111 "	oktober	22 "
maart	17 "	juli	114 "	november	10 "
april	41 "	augustus	86 "	december	5 "

In Nederland worden sinds geruime tijd zeer nauwkeurige waterbalansmetingen gedaan in de Rottegatspolder, ten noorden van het Damsterdiep, in Groningen. In deze polder van 80 ha wordt de waterbalans gecombineerd met andere methoden om de verdamping te bepalen.
De waterbouwkundigen werken in hoofdzaak met de methode van de waterbalans.
De verdampingscijfers, welke op verschillende wijzen voor grasland zijn verkregen, komen vrij behoorlijk met elkaar overeen. Voor de groeimaanden mei tot en met augustus variëren zij van 3 tot 4,5 mm per etmaal gemiddeld. Waarschijnlijk liggen de gemiddelde cijfers voor korte perioden en droge zomers nog iets hoger. Daarbij moet dan echter niet uit het oog worden verloren, dat bij de proeven de omstandigheden over het algemeen gunstig waren. Men spreekt daarbij wel van de potentiële evapotranspiratie. Bij minder gunstige omstandigheden doet de plant

het ook zuiniger aan.
Voor akkerbouwgewassen zijn cijfers bepaald door Ir. C. Baars van het Cilo, voor zandgronden in Oost-Brabant met 45 mm waterbergend vermogen in de bewortelingszone. De uitkomsten zijn vermeld in tabel 17-2. Daarbij dient te worden opgemerkt, dat in de betreffende streek de verdamping hoger is dan in polderland en dat het onderzoek nog in het beginstadium verkeert.

Tabel 17-2. Overzicht van de door ir. C. Baars bepaalde verdampingscijfers voor Oost-Brabant.

	normaal jaar				zeer droog jaar			
	mei	juni	juli	aug.	mei	juni	juli	aug.
gras	85	110	142	104	98	125	157	120
zomergerst	100	125	-	-	116	143	-	-
haver	80	125	-	-	93	143	-	-
mais		85	122	104		97	135	120
aardappelen		125	102	104		143	113	120
bieten		105	122	125		120	135	145

Voor de tuinbouw zijn de gegevens nog schaarser. In Kennemerland zijn proeven genomen met infiltratie van zandige gronden. Aan een terrein van 3 ha werd per etmaal 144-160 m^3 water toegevoerd, hetgeen overeenkomt met 4,8-5,3 mm per etmaal. In de kassen wordt volgens de Rijkstuinbouwconsulent te Naaldwijk tot 14 mm water per etmaal verstrekt. Een deel daarvan gaat in de in de kassen heersende subtropische atmosfeer door verdamping verloren. Ook zal een belangrijk deel van het toegevoerde water weer afvloeïen naar het polder- of boezemwater.
In een bos verdampt 25% van de neerslag direct van de bladeren. Voor de landbouwgronden zijn hierover geen cijfers bekend. Normaal is de grond bedekt met het gewas en is de evaporatie (verdamping rechtstreeks uit de grond) onbelangrijk, behalve in boomgaarden. Men kan de evaporatie in de boomgaarden niet tegengaan door onderbegroeiïng, want dan gebruikt die het water. Wel kan men de evaporatie verminderen door afdekken van de bodem, bijvoorbeeld door een dunne laag stro.
De evapotranspiratie is het grootst bij gras (tot meer dan 600 mm); daarna volgen klaver (500 mm), lucerne, hakvruchten en granen (400-500 mm). In korte perioden van de groeitijd kan de evapotranspiratie belangrijk meer bedragen dan de gemiddelde waarde. Het grootst is de afwijking bij gras; daarna volgen klaver, lucerne, haver, bieten, rogge en aardappels. Ook tijdens droge, zeer hete dagen, vooral na een natte tijd, kan de evapotranspiratie sterk oplopen, tot 6 mm per etmaal en zelfs meer.

18. De waterbalans.

Bij de waterbalans wordt het evenwicht nagegaan tussen de waterbelastende factoren en de waterontlastende factoren. Zij is het uitgangspunt voor het bepalen van de waterafvoer en de waterinlaat en wordt ook wel voor andere doeleinden gebruikt, zoals het bepalen van de verdamping en de kwel. De toepassing vindt bij voorkeur plaats in gebieden, welke hydrografisch en hydrologisch een eenheid vormen, zoals polders en stroomgebieden van rivieren en beken.
De waterbalans wordt als volgt geschreven:

$$N + K + S + I \text{ (belastende factoren)} =$$
$$V + K + S + A \text{ (ontlastende factoren)} +$$
$$(G_2-G_1) + (S_2-S_1) \text{ (sluitposten).}$$

N = neerslag. Deze ontstaat door afkoeling van met waterdamp verzadigde lucht en kan vallen in vloeibare vorm (regen) of in vaste vorm (sneeuw en hagel). Bij de neerslag wordt tevens gerekend de condensatie. Dit is niet geheel juist. Soms wordt de condensatie (mist, dauw, rijp) gemeten met de neerslag tezamen, wanneer direct na de condensatie neerslag valt. In het algemeen blijft echter de condensatie aan de oppervlakte van de bodem en de gewassen en verdampt weer, zonder het grondwater te bereiken. Een deel van de condensatie is dus in feite begrepen in de neerslag en een deel in de verdamping. Het aandeel in beide is echter te verwaarlozen.
K = kwel. De kwel is te verdelen in twee soorten, de omtrekskwel en de diepe kwel.
De omtrekskwel treedt op door en onderdoor de omringende dijk of kade door de oppervlaktelagen rechtstreeks uit het omliggende water naar de naaste omgeving in de polder, bijvoorbeeld de dijksloot. Zij hangt af van de doorlatendheid van de waterkering, van de kwellengte en van het verval. Belangrijk is ook de verhouding van de dijklengte en de polderoppervlakte. Om de kwel te verminderen, kan men zorgen voor goede dijkspecie, kleikisten of damwanden en zorgen, dat de afdichtende laag niet wordt doorbroken door een diepe sloot vlak achter de waterkering. De omtrekskwel kan, vooral bij zout water zeer nadelig zijn.
De diepe kwel treedt op door en vanuit de diepere lagen en hangt af van de horizontale doorlatendheid van de watervoerende lagen, de verticale doorlatendheid van de bovenste lagen en de overdruk van het water uit de diepere lagen ten opzichte van het polderpeil. Bij de Nederlandse droogmakerijen kan deze diepe kwel zout zijn, daar zij afkomstig is uit de onderliggende mariene lagen. Van veel belang is daarbij te zorgen, dat de slecht waterdoorlatende lagen niet worden doorsneden of diep worden ingesneden door het afwateringsstelsel (bijv. door sloten en tochten).
Bij de Wieringermeer wordt met een diepe kwel gerekend van 1,2 mm per etmaal; bij Oostelijk Flevoland 1 mm.
In de Haarlemmermeer is de diepe kwel geleidelijk afgenomen van 0,5 tot 0,2 mm per etmaal.
In de polder Broekvelden en Vettenbroek bij Gouda bedraagt de totale kwel 13 mm per etmaal en in de Bethunepolder zelfs 16 mm, doch dit is zoet water.
De kwel behoort zowel tot de waterbelastende als tot de waterontlastende factoren. In het laatste geval spreekt men van negatieve kwel of inzijging; deze treedt vooral op bij hooggelegen gronden naast diepere droogmakerijen zoals langs de rand van de Noordoostpolder, de Veluwezoom, de polders langs de Oude Rijn en de polders bij de Vecht.
S = schutwater. Het schutwater kan in de polder treden, of de polder verlaten bij het schutten. Daarbij treedt tevens een zekere lek op, welke constant is en onafhankelijk van het aantal schuttingen. Zij is meestal te verwaarlozen; hoe beter de constructie is, hoe kleiner zij is. Ook bij andere constructies kan lek optreden.

Van het schutwater is van belang de hoeveelheid en de kwaliteit.
De hoeveelheid volgt uit het aantal schuttingen vermenigvuldigd met de oppervlakte van de kolk en het waterstandsverschil. Wanneer het buitenwater zout is, bedraagt de zoutbelasting aanzienlijk meer dan de hoeveelheid ingelaten water als gevolg van uitwisseling van zout en zoet water door het verschil in soortelijk gewicht. De hoeveelheid zout water kan daardoor de gehele kolkinhoud benaderen. Zo belast de Noordersluis te IJmuiden het Noordzeekanaal jaarlijks met ongeveer $3,7 \times 10^6$ ton Na Cl. De sluizen in de afsluitdijk belasten het IJsselmeer jaarlijks met ongeveer $1,7 \times 10^6$ ton Na Cl; meer dan de totale zoute kwel van de IJsselmeerpolders.
I = inlaat. Deze kan betreffen het inlaten van water in droge tijden of voor doorspoelen uit de boezem of andere polders, maar ook het water uit Nortonputten, waterleidingen en rioleringen.
V = verdamping. Hiertoe behoren zowel de verdamping van de vrije water-oppervlakte als die van de grond en de verdamping door het gewas.
A = afvoer. De afvoer van het overtollige water geschiedt door middel van een gemaal, sluis of molen,
G_2-G_1 = verschil in grondberging. Over grote perioden speelt de grondberging geen rol; het grondwater komt op den duur weer op hetzelfde niveau terug en het hangwater bereikt weer dezelfde orde van grootte. Voor de korte perioden, waarom het bij de afvoerbepaling van de polders gaat, is de grondberging wel van betekenis. Zij hangt af van de diepte van de grondwaterspiegel onder het maaiveld, de dikte van de volcapillaire zone, de hoeveelheid funiculair water en hangwater, het porienvolume van de grond en de hoeveelheid door het zakwater ingesloten lucht aan het begin en einde van de periode.
In het algemeen zal boven de volcapillaire zone 10 à 20 maal de hoogte van de geborgen waterschijf in beslag worden genomen bij een waterbergend vermogen van 10 à 5%. Voorafgaande natte perioden hebben door gestegen grondwaterspiegel en grotere hoeveelheid hangwater een sterk verlagende invloed op de grondwaterbergingscapaciteit. Voorafgaande droge perioden hebben door lage grondwaterspiegel en geringe hoeveelheid hangwater een sterk vergrotende invloed op de bergingscapaciteit.
S_2-S_1 = slootberging. Deze wordt ook wel open berging genoemd. De waterbelasting geschiedt rechtstreeks door de neerslag op de sloten en de taluds en indirect via de ontwatering. De stijging van het peil in de sloten hangt af van de verhouding van de slootoppervlakte tot de polderoppervlakte en de hoeveelheid neerslag. Over lange perioden speelt de slootberging geen maatgevende rol; wel bij korte afvoerperioden.
De open waterberging was vroeger groot, tot 1/10 van de polderoppervlakte, hetgeen bij de toenmalige bemaling (windmolens) en sluisgang ook nodig was. De sloten deden tevens dienst als veekering en drinkgelegenheid. Door de verbetering van de bemaling, het draineren en het toepassen van schrikdraad wordt tegenwoordig een kleinere waterberging mogelijk gemaakt; in de Wieringermeer 1/55, in de Noordoostpolder 1/100 en in de IJpolders (1875): 1/200.
De berging is door de taluds afhankelijk van de waterstand.

Wanneer men de waterbalans over lange perioden toepast, bevat zij twee onbekenden, namelijk de kwel (K) en de verdamping (V). Men gebruikt de waterbalans in hoofdzaak om deze twee onbekenden op te lossen. Men maakt er daarbij gebruik van, dat 's-winters de verdamping gering is terwijl de kwel het gehele jaar door optreedt. Door toepassen van de waterbalans in de wintermaanden is dus de kwel te berekenen waarna door toepassing voor de zomermaanden de verdamping valt te berekenen.
Bij stroomgebieden van beken en rivieren ontbreekt de kwel en kan men de verdamping rechtstreeks uit de waterbalans berekenen. Ook vindt de waterbalans toepassing bij de lysimeterproeven.

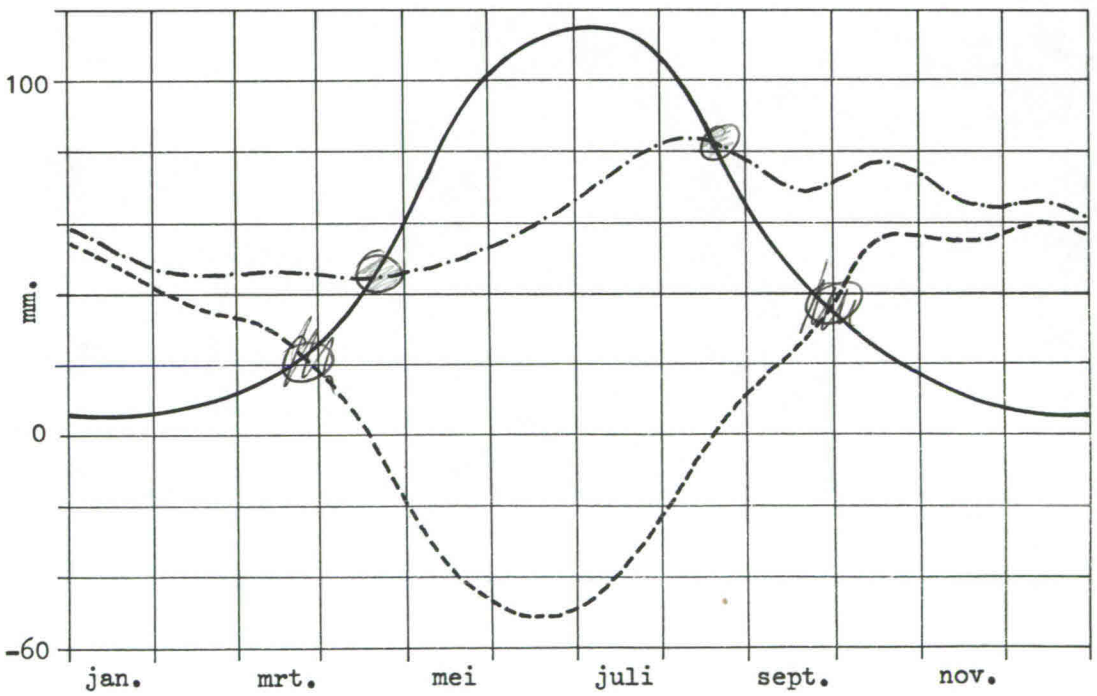
19. De neerslag en de verdamping.

In tabel 19-1 zijn de neerslag- en de verdampingscijfers gegeven voor de verschillende maanden van het jaar. Voor de neerslag is het landelijk gemiddelde aangehouden; voor de verdamping is gebruik gemaakt van de cijfers van Rijnland.

Tabel 19-1. Neerslag- en verdampingscijfers voor de verschillende maanden.

mm	jan.	febr.	mrt.	apr.	mei.	juni	juli	aug.	sept.	okt.	nov.	dec.	jaar
neerslag	51	43	45	43	49	59	75	83	69	78	65	65	725
verdamping	4	7	17	41	88	111	114	86	45	22	10	5	550
neerslag-verdamping	47	36	28	2	-39	-52	-39	-3	24	56	55	60	175

Hoewel over het gehele jaar gerekend de neerslag gemiddeld meer bedraagt dan de verdamping en er dus geen watertekort optreedt, overheerst de verdamping in de zomermaanden en treedt daarin een watertekort op. In de wintermaanden is de neerslag hoger dan de verdamping. Evenwicht tussen neerslag en verdamping is er in april en augustus. Figuur 19-1 geeft het grafisch verloop van de neerslag, de verdamping en het verschil.



-.-.-. neerslag

——— verdamping

---- neerslag min verdamping

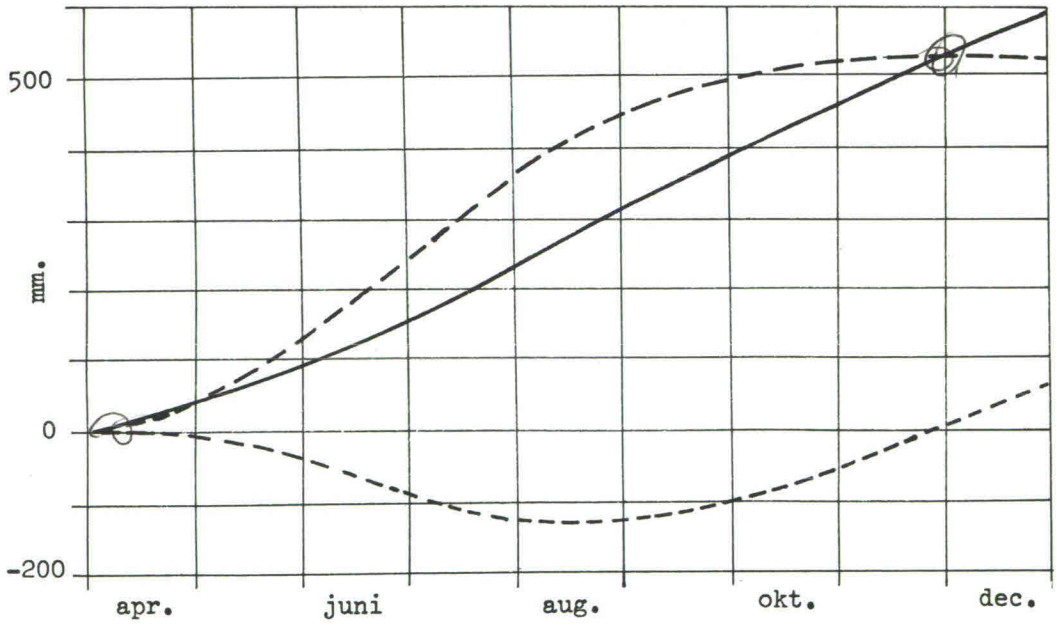
Figuur 19-1. De neerslag en de verdamping over het jaar.

Het waterbezwaar wordt door een goede ontwatering, afwatering en waterlozing zodanig beheerst, dat begin april het te veel aan water geheel zal zijn verwijderd, of benut voor het opzetten van de sloten tot het hogere zomerpeil. Vanaf dit ogenblik zal het kleine, nog aanwezige positieve verschil tussen neerslag en verdamping (figuur 19-1) geleidelijk afnemen en er een tekort op gaan treden, waarbij de grondwaterspiegel gaat dalen. Daarom zijn de gesommeerde cijfers van de neerslag, de verdamping en het verschil van grote betekenis. Deze zijn gegeven in tabel 19-2, vanaf 1 april.

Tabel 19-2. Gesommeerde maandcijfers voor de neerslag, de verdamping en het verschil vanaf 1 april in mm.

gesommeerde maandcijfers in mm	april	mei	juni	juli	aug.	sept.	okt.	nov.	dec.
neerslag	43	92	151	226	309	378	456	521	586
verdamping	41	129	240	354	440	485	507	517	522
neerslag-verdamping	2	-37	-89	-128	-131	-107	-51	4	64

De bovenstaande cijfers zijn grafisch weergegeven in figuur 19-2. Uitgaande van de evenwichtstoestand op 1 april groeit het watertekort aan gedurende de maanden mei, juni, juli en bereikt de hoogste waarde in augustus, op het ogenblik, dat de verdamping minder gaat bedragen dan de neerslag (figuur 19-1). Vanaf dit ogenblik neemt het tekort geleidelijk af en is eerst eind november weer opgeheven.

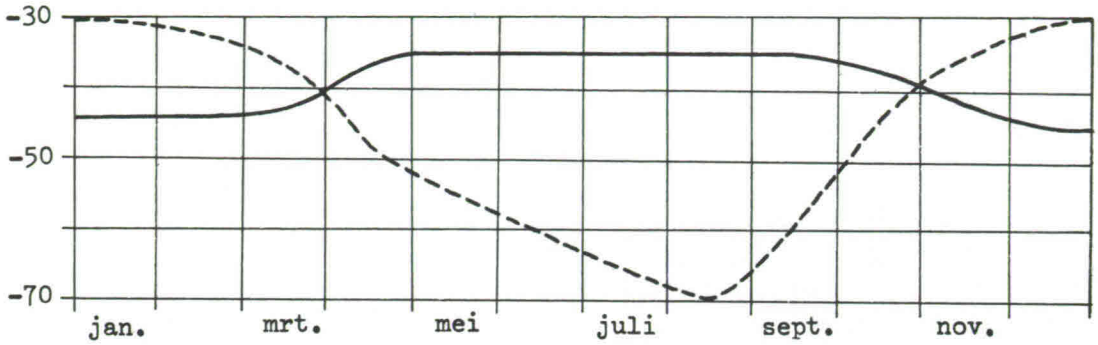


—— gesommeerde neerslag - - - gesommeerde verdamping

- - - - gesommeerde neerslag min verdamping

Figuur 19-2. Sommatiecurven neerslag en verdamping vanaf 1 april.

Het watertekort kan enigszins worden verminderd door het opheffen van het tekort in de sloten door het inlaten van water, waardoor enige zijdelingse infiltratie optreedt. Hoewel in een gemiddeld jaar eerst eind november het watertekort is opgeheven, kan dit in de natte jaren aanzienlijk eerder zijn. Veiligheidshalve rekent men voor het waterbezwaar daarom met de periode oktober t/m maart. Voor gebieden, waar geen watertekort optreedt als gevolg van kunstmatige beregening, dient voor het waterbezwaar dus rekening gehouden te worden met het gehele jaar.



--- grondwaterstand

—— slootwaterstand

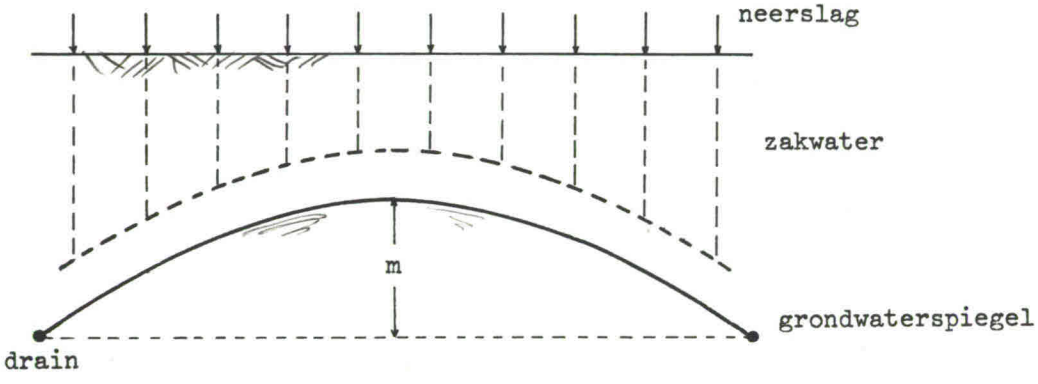
Zomerpeil = 0,35 m Winterpeil = 0,45 m onder maaiveld.

Figuur 19-3. Het verloop van de grondwaterstand en de slootwaterstand over het jaar in de Alblasserwaard bij veengrasland.

Figuur 19-3 geeft een voorbeeld van het verloop van de grondwaterstand en de slootwaterstand bij veengrasland in de Alblasserwaard, gemiddeld over 5 jaren.
De grondwaterstand daalt reeds begin april beneden de slootwaterstand, breikt in augustus de laagste waarde en heeft begin november weer het slootwaterpeil bereikt. De geringe invloed van de verhoging van de slootwaterstand tot het zomerpeil in april op de grondwaterstand is zichtbaar. Over het algemeen houdt men tot half maart een laag winterpeil aan en laat daarna de sloten volregenen tot het gewenste zomerpeil, dat men handhaaft tot eind september, waarna men weer over gaat op het lagere winterpeil. Dit geldt vooral voor grasland, dat een sterke beheersing vraagt van de grondwaterstand.
Infiltratie van water uit de sloten en eventueel zelfs door de drains kan het watertekort niet opheffen, al geschiedt de infiltratie nog zo goed. Slechts het tekort onder het vlak van de drains wordt op die wijze aangevuld en in verband met het daarvoor nodige verhang en de gelijktijdige onttrekking door de plantenwortels dan slechts nog ten dele. In de funiculaire zone en vooral in de pendulaire zone boven de drains blijft het tekort bestaan. Vooral bij gronden met diepe drooglegging is infiltratie dus weinig effectief. Slechts royale beregening (of bevloeiing, maar die is in het groeiseizoen voor de meeste gewassen niet toelaatbaar) zou het watertekort in de bodem in de groeimaanden geheel kunnen opheffen. Bij de beregening en de infiltratie moet sterk gelet worden op de kwaliteit van het water. Verzilt water kan leiden tot accumulatie van zoutin de bodem, zoals vroeger reeds in verschillende vruchtbare landen is geschied , bijv. Mesopotamië. Zomerregens, ook de zware onweerregens, doen de grondwaterstand vrijwel nooit te hoog stijgen.

20. Het waterbezwaar.

Wanneer bij de waterbalans de waterbelastende factoren de waterontlastende factoren en de sluitposten gaan overheersen, komt er te veel water in de polder. Dit teveel aan water, dat men het waterbezwaar noemt, moet door de afvoer worden opgeheven. Indien de afvoer daartoe niet direct in staat is, wordt het water tijdelijk geborgen in het land, de zogenaamde gesloten waterberging, en in de sloten, de zogenaamde open waterberging. Zomers, wanneer de evapotranspiratie hoog is en het watergehalte van de grond meestal beneden de veldcapaciteit is, is de gesloten waterberging zeer groot. Vaak komt het daarbij, zelfs bij zeer zware buien, niet eens tot afvoer, maar treedt er berging op in de grond, waarbij het watergehalte stijgt. In de wintermaanden is de evapotranspiratie vrijwel te verwaarlozen. Het duurt echter gemiddeld nog tot begin november, eer de veldcapaciteit bereikt is. Eerst vanaf dit ogenblik zal de neerslag leiden tot een ontwatering van de grond en een stijging van de slootwaterstand. Theoretisch zou het dus voldoende zijn om de berekening van het waterbezwaar te doen plaats vinden over de periode november tot en met maart. Zekerheidshalve, voornamelijk in verband met de van de gemiddelde toestand afwijkende natte jaren, kiest men de periode oktober tot en met maart.



Figuur 20-1. Beweging van de neerslag naar de grondwaterspiegel bij drains.

Het overgrote deel van de neerslag zakt min of meer verticaal in de bodem tot het zich verenigt met het capillaire grondwater. Het verhoogt de grondwaterstand, welke aan het begin van de neerslagperiode horizontaal of gebogen kan zijn (figuur 20-1) overal met een zelfde waarde. De snelheid van inzijging hangt af van de verticale doorlatendheid van de grond. Deze is in de doorwortelde zone meestal vrij groot, zodat de neerslag vrijwel steeds binnen één etmaal het grondwater bereikt. Slechts in sommige gevallen is de verticale doorlatendheid klein en ongunstig als gevolg van een dichtgeslagen oppervlakte of een ploegzool. Ook kan zij ongunstig zijn bij sommige, fijnzandige zavelgronden of bij gronden, waarin zich dichte, horizontale kleilaagjes bevinden. Vaak kan de verticale doorlatendheid worden verbeterd door een diepe bewerking van de grond.

De stijging van de grondwaterspiegel hangt af van het verschil tussen de veldcapaciteit en de watercapaciteit van de grond. Deze bedraagt 10-5%, zodat een verhoging van de grondwaterstand optreedt van 10, resp. 20 maal de aangevoerde neerslag. Het grondwater vloeit door de ondergrond zijdelings naar de drains of naar de greppels en de sloten. Het deel van de neerslag, dat rechtstreeks in de sloten valt, is klein en hangt af van de grootte van de open waterberging ten opzichte van de gehele polderoppervlakte.
De zijdelingse afvoer wordt bepaald door de formule van Hooghoudt:

$$s = \frac{k}{e^2} (m^2 + 2\ hm).$$

Hierin is:

s = afgevoerde waterschijf in meters per etmaal;
k = horizontale doorlaatfactor in meters per etmaal;
e = halve drainafstand in meters;
m = hoogte van de grondwaterstand in het midden boven de drains in meters;
h = hoogte van de drains boven de (hypothetische) ondoorlatende laag in meters.

De drainage dient zo te worden gekozen, dat de neerslag tot afvoer komt, zonder dat de grondwaterspiegel te veel wordt verhoogd. Als bovengrens voor de gestegen grondwaterspiegel wordt meestal 40 tot 50 cm beneden het maaiveld aangehouden. Bij de Zuiderzeewerken wordt bij uitzondering 35 cm geaccepteerd. De afvoercapaciteit van het gemaal, de sluis of de molen dient voldoende groot te zijn om een bepaalde stijging van het water in de sloten te voorkomen.
Behalve de neerslag spelen ook de overige waterbelastende factoren een belangrijke rol, zoals de kwel, het lekwater, het schutwater en de waterinlaat voor bijv. doorspoeling of verversing. Hoewel men bij voorkeur geen water zal inlaten in tijden van waterbezwaar, zal waterinlaat niet altijd te vermijden zijn. Een klein deel van het ingelaten water wordt gevormd door het afvalwater en het rioolwater. Inlaten van water kan echter ook voorkomen, indien de polder dienst doet als boezem voor andere polders. In een dergelijk geval dient de bemaling aan dit grotere waterbezwaar aangepast te worden.
De afvoerberekening van een polder is geen eenvoudige zaak. De verticale doorlatendheid en de horizontale doorlatendheid, alsmede het waterbergend vermogen van de grond kunnen slechts bij benadering worden bepaald. De hoogte van de grondwaterstand aan het begin van een neerslagperiode moet worden aangenomen, of worden ontleend aan metingen. Andere factoren, zoals kwel en lekwater kunnen worden geschat, berekend of bepaald aan de hand van de waterbalans. Vaak zal de afvoerberekening globaal worden aangepakt. Een oude vuistregel daarbij is, dat de neerslag, welke op een bepaalde dag valt, op die dag en de twee daarop volgende dagen telkens voor een derde gedeelte wordt afgevoerd naar de sloten. Afhankelijk van de doorlatendheid van de grond, de ontwateringsdiepte, het drainagestelsel en het bergend vermogen van de grond kan men deze periode varieren tussen 5 en 2 dagen. Deze methode leidt tot grote afvoeraannamen en is dus wel aan de veilige kant, maar tevens duur in verband met de daaruit voortvloeiende grote bemalingscapaciteit. Uit de gevallen neerslag en de afvoer is dag voor dag de hoogte van de grondwaterspiegel te berekenen. Uit de afvoer naar de sloten, de kwel, het lekwater en de door het gemaal uitgeslagen hoeveelheid water, volgen de dagelijkse slootwaterstanden. Een dergelijke berekening is in tabel 20-1 uitgevoerd voor een periode van 6 dagen met hoge

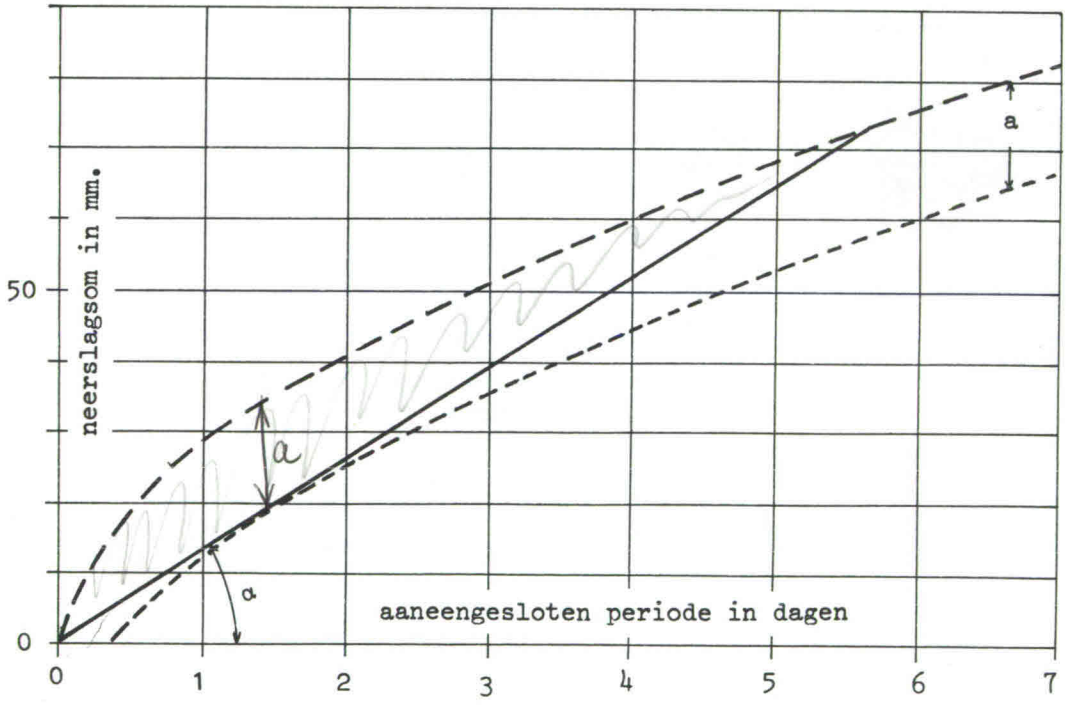
neerslag in oktober 1930 voor de Wieringermeer. De neerslaggegevens zijn gemiddeld voor een aantal stations rond de Wieringermeer, zodat geen reductie nodig was in verband met de polderoppervlakte.

Tabel 20-1. Eenvoudige berekening van de waterafvoer voor de Wieringermeer tijdens een neerslagperiode in oktober 1930.

datum	7	8	9	10	11	12
- neerslag (mm)	18	33	12			
- afvoer van de neerslag naar de sloten:						
van de eerste dag	6	6	6			
van de tweede dag		11	11	11		
van de derde dag			4	4	4	
totaal	6	17	21	15	4	
- kwel (mm)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
- slootbelasting (mm)	6,5	17,5	21,5	15,5	4,5	0,5
- afmaling in 5 dagen 65,5 mm, per dag 13 mm	6,5	13	13	13	13	7
- dagelijkse slootberging (mm)	0	4,5	8,5	2,5	-8,5	-7
- totale slootberging (mm)	0	4,5	13	15,5	7	0
a) gemiddelde slootstijging (m)	0	0,25	0,72	0,85	0,38	0
- dagelijkse grondwaterberging in mm (neerslag-afvoer naar de sloten)	12	16	-9	-15	-4	0
- totale grondwaterberging (mm)	12	28	19	4	0	0
b) gemiddelde grondwaterstijging in m.	0,18	0,42	0,28	0,06	0	0

Voor kwel, schutwater en lekwater is een constante slootbelasting aangenomen van o,5 mm per etmaal. De slootoppervlakte bedraagt 1/55 van de totale polderoppervlakte; de variatie daarin bij verschillende slootwaterstanden wordt verwaarloosd. Het waterbergend vermogen van de grond tussen de veldcapaciteit en de watercapaciteit bedraagt ongeveer 7% (1/15).
De gemiddelde slootstijging (a) is afgeleid uit de totale slootberging, door vermenigvuldiging met 55/1000. De gemiddelde grondwaterstijging (b) is verkregen door de totale grondwaterberging te vermenigvuldigen met 15/1000.
De eerste twee dagen van de regenperiode blijkt het grondwater hoger te staan dan de slootwaterstand, zoals in de praktijk ook het geval is. De overige dagen is de slootwaterstand hoger dan de grondwaterstand. Dit is niet mogelijk, zodat de hier toegepaste berekening niet juist kan zijn. De fout kan worden verminderd, door de bemalingscapaciteit hoger te kiezen, doch dit leidt tot zeer grote capaciteiten. Ook is het mogelijk, de neerslag over meer dan 3 dagen te verdelen, waarbij wel de slootwaterstand

beneden de grondwaterstand komt te liggen, doch de grondwaterstand de toelaatbare waarde overschrijdt. Een betere aanpassing wordt verkregen, wanneer de neerslag, welke in één etmaal valt, niet gelijkmatig wordt verdeeld over 3 of meer achtereenvolgende dagen, maar snel oplopend tot een hoogste waarde op de tweede dag en daarna geleidelijk afnemend tot nul. Een dergelijke methode blijft echter vrij willekeurig en vraagt voor de toepassing veel inzicht. Men krijgt daarbij zeer hoge afvoeren en bemalingscapaciteiten. In de praktijk rekent men niet met willekeurige regenperioden, zoals in het voorafgaande rekenvoorbeeld, maar met de gegevens uit regenduurlijnen. Men neemt daarbij bijvoorbeeld de neerslag in een periode van 5 achtereenvolgende dagen, welke in de maanden oktober tot en met maart éénmaal in de 5 jaar wordt bereikt of overschreden. Wanneer wordt aangenomen, dat al de neerslag in de grond komt en tot afvoer komt zonder vertraging, is het ook mogelijk de bemalingscapaciteit rechtstreeks te berekenen uit de regenduurlijn. Dit is aangegeven in figuur 20-2. De gesommeerde afvoer van het gemaal wordt aangegeven door een rechte lijn. Het oppervlak tussen de afvoerlijn en de duurlijn, in figuur 20-2 gearceerd, wordt het schadeoppervlak genoemd. Hiervan geeft a het aantal mm neerslag aan, dat in een bepaald aantal jaren, in het geschetste geval gemiddeld eens in de 5 jaren, boven het polderpeil in de polder aanwezig mag zijn, zowel in de open waterberging (sloten) als de gesloten waterberging (grond), zonder ontoelaatbare schade aan te richten. Is deze maatstaf voor een polder bekend, dan wordt de afvoerlijn voor het gemaal bepaald als raaklijn door de oorsprong aan de over een afstand a verschoven duurlijn.



— — — regenduurlijn voor eenmaal in de vijf jaar, oktober t/m maart

- - - - verschoven duurlijn ——— afvoerlijn gemaal.

Figuur 20-2. Vereenvoudigde bepaling van de bemalingscapaciteit.

Het schadeoppervlak kan worden verkleind door de hoek α te vergroten; dit leidt tot een grotere bemalingscapaciteit. Uit de figuur is niet af te leiden, hoeveel de grondwaterstand en de slootwaterstand stijgt. In werkelijkheid zal de afvoer met een zekere vertraging het gemaal bereiken, afhankelijk van de verticale en de horizontale doorlatendheid van de grond, de ontwateringsdiepte en de keuze van de drainage. Ook zal de lozing niet altijd direct beginnen; zij begint eerst, nadat de waterstand in de sloten is begonnen te stijgen. Ondanks deze bezwaren leidt deze methode toch tot een aanvaardbare oplossing.

$\frac{dQ}{dt} = \alpha =$ bem. cap.

3) Een hydrologisch meer verantwoorde berekeningswijze is aangegeven in tabel 20-2. Hierin is de berekening toegepast met als grondslag de regenduurlijn van Hoofddorp voor 1 x per 5 jaar voor de maanden oktober tot en met maart. Rekening wordt gehouden met de ontwatering door middel van de drains en de afwatering door middel van de bemaling. De sommatielijnen zijn weergegeven in figuur 20-3.

Uitgangspunten voor de berekeningen in de tabel zijn:

- gemiddelde draindiepte = 0,90 m;
- halve drainafstand = 5,50 m;
- horizontale doorlaatfactor = 0,25 m/etm.;
- diepte van de hypothetische ondoorlatende laag onder de drains = 2,50 m;
- verticale doorlaatfactor (inzijgsnelheid) = 0,60 m/etm.;
- open waterberging (incl. taluds) = 2%;
- wateropnemend vermogen van de grond tussen de watercapaciteit en de veldcapaciteit = 7%;
- polderpeil = 1,20 m beneden het maaiveld;
- schut-, lek-, kwel- en inlaatwater = 2/3 mm/etm.

Bij de berekening wordt er van uit gegaan, dat de neerslag in de voorafgaande dagen gelijk is aan de gemiddelde neerslag in de zes wintermaanden, namelijk: $\frac{282}{180}$ = 1,6 mm per etmaal en dat er een evenwichtstoestand is opgetreden, zodat de afvoer vanuit de grond naar de sloten 1,6 mm per etmaal bedraagt. Aangenomen wordt, dat de slootwaterstand op het begintijdstip van de neerslag juist de hoogte van het polderpeil heeft. ongunstigst
Met behulp van de formule van Hooghoudt kan nu voor de evenwichtstoestand de verhoging m in het midden tussen de drains worden berekend. Hiervoor wordt gevonden:

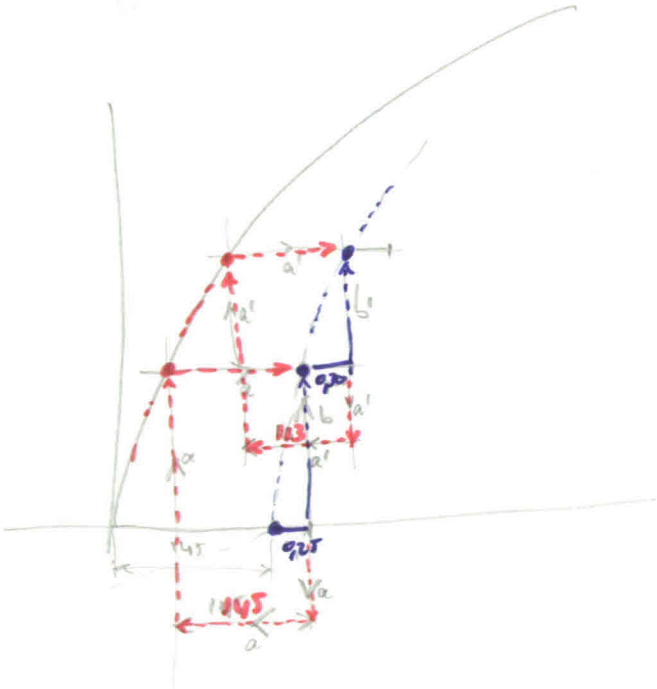
$S = \frac{k\,m\,h}{c^2} \rightarrow m =$ $\frac{0{,}0016 . 5{,}5^2}{0{,}25 . 2 . 2{,}50}$ = 0,04 meter. Hier is de vereenvoudigde formule van Hooghoudt gebruikt omdat bij de kleine waarde van de opbolling m (0,04 meter) de factor m^2 kan worden verwaarloosd. De berekende waarde is in tabel 20-2 aangegeven in regel 2. De gemiddelde stijging van de grondwaterspiegel bedraagt door de parabolische vorm er van 2/3 deel of 0,03 meter. Afgetrokken van de ~~gemiddelde grondwaterspiegel~~ drainage van 0,90- wordt zodoende een gemiddelde grondwaterspiegel aan het begin van het tijdvak verkregen van 0,87 m. De regenperiode wordt verdeeld in tijdvakken. Het eerste tijdvak van 1,45 etmaal (bovenste twee regels) wordt gelijk gesteld aan de tijd, welke verloopt, voordat de neerslag het freatisch vlak bereikt. Deze is berekend uit de door de neerslag af te leggen afstand tot het grondwater aan het begin van het tijdvak (0,87 m) te delen door de verticale doorlatendheid of inzijgsnelheid van 0,60 meter per etmaal (regel 4). De volgende tijdvakken worden zo klein gekozen, dat de toestand daarin stationnair verondersteld mag worden.

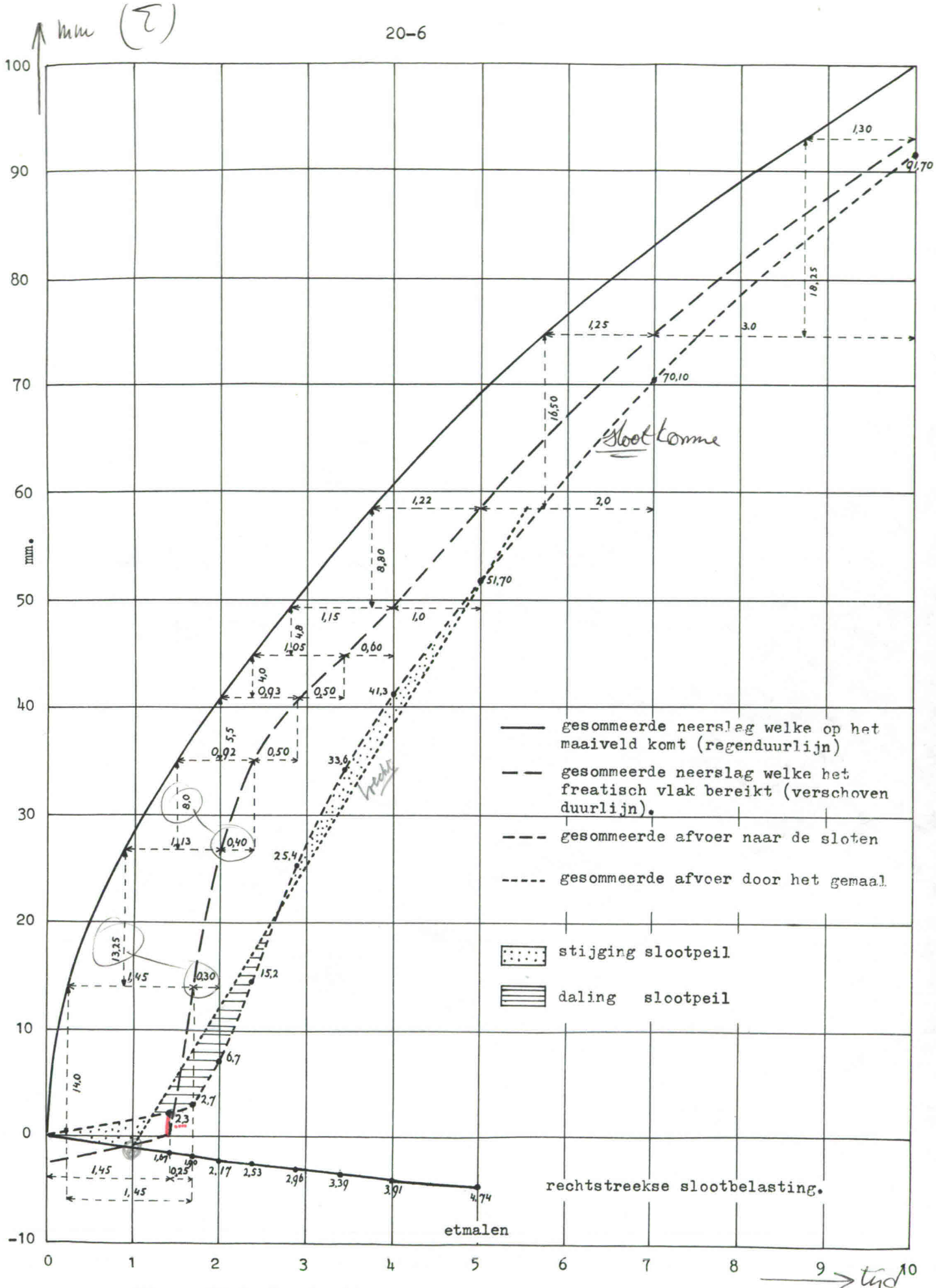
$0 = \frac{2}{3} fl$

$0 = fl$

De ontwatering wordt berekend met behulp van de formule van Hooghoudt. Hiervoor wordt in het eerste tijdvak gevonden:

$$\frac{1000 . 0{,}25 (0{,}04^2 + 2 . 2{,}50 . 0{,}04)(1{,}45)}{5{,}5^2} = 1{,}45 . 1{,}6 = 2{,}30 \text{ mm.}$$


a'
b'
a'
0,20
b
a'
1,13
a'
a
1,45
0,25
1,45
a
a



Figuur 20-3. Voorbeeld van een grafisch/tabellarische berekening van de stijging van grondwater en slootpeil gedurende een periode van grote neerslag.

De gesommeerde ontwatering over de verschillende tijdvakken is aangegeven in regel 8.
De hoeveelheden neerslag, welke in de tijdvakken het freatisch vlak bereiken (regel 5) worden bepaald aan de hand van figuur 20-3 door aan het eind van het tijdvak op een tijdstip gelijk aan de berekende inzijgingstijd (regel 4) vroeger op de regenduurlijn de toename van de neerslag af te lezen. Deze wordt aangegeven in regel 5. Tevens is daarbij de verschoven duurlijn te tekenen. Deze geeft aan de gesommeerde neerslag, zoals deze het freatisch vlak bereikt.
De stijging van de gemiddelde grondwaterspiegel in de verschillende tijdvakken (regel 6) wordt verkregen door de hoeveelheid neerslag, welke het freatisch vlak bereikt (regel 5), verminderd met de ontwatering (regel 3) te vermenigvuldigen met:
$\frac{100}{g} \cdot \frac{1}{1000}$. Hierin is g het wateropnemend vermogen van de grond tussen de watercapaciteit en de veldcapaciteit, in dit voorbeeld 7%. Uit de stijging van de gemiddelde grondwaterstand (regel 6) is de gemiddelde grondwaterstand aan het eind van het tijdvak te berekenen (regel 7), welke tevens de gemiddelde grondwaterstand aan het begin van het daarop volgende tijdvak wordt (regel 1).
In figuur 20-3 wordt de gesommeerde ontwatering (de afvoer uit de grond naar de sloten) ingetekend. Tevens wordt hierin aangegeven de sommatielijn van de rechtstreekse slootbelasting, welke bestaat uit de neerslag die valt op de sloten en de taluds en het schut-, lek-, kwel- en inlaatwater (regel 10).
Wanneer nu als eis wordt gesteld, dat 5 dagen na het begin van de neerslag de sloten weer op peil moeten zijn, kan de sommeringslijn van de afgemalen hoeveelheden water worden getrokken naar het snijpunt met de verticaal van 5 dagen. Het beginpunt van de afmalingslijn wordt gesteld na 1 dag, zodat de bemalingscapaciteit daarop kan worden afgelezen uit figuur 20-3. In het gekozen voorbeeld wordt dit:

$$tg\ \alpha = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{51,7 + 4,74}{4} = 14 \text{ mm per etmaal.}$$

De afgemalen hoeveelheden zijn in regel 11 aangegeven. In regel 12 wordt de stijging van het gemiddeld slootpeil berekend door de ontwatering (regel 3), vermeerderd met de rechtstreekse slootbelasting (regel 10) en verminderd met de bemaling (regel 11) te vermenigvuldigen met $\frac{100}{s} \cdot \frac{1}{1000}$.
Hierin is s het percentage van de open waterberging. Uit de stijging van het gemiddeld slootpeil in een tijdvak wordt het gemiddeld slootpeil aan het eind van het tijdvak bepaald (regel 13), dat gelijk is aan het gemiddeld slootpeil aan het begin van het daaropvolgende tijdvak (regel 9).
Met de bemaling kan eerst worden begonnen, nadat de neerslag is gevallen (na 24 uur) en de sloten zijn begonnen te stijgen. Eerst worden de sloten beneden het polderpeil gemalen waarbij de afmaling de toevoer overheerst. Na ongeveer 1 etmaal malen begint bij het gekozen voorbeeld de slootwaterstand boven het polderpeil te stijgen, tot 16 cm toe en gaat daarna weer dalen, zodat na 4 dagen malen het polderpeil weer is bereikt.
Wanneer men de bemaling niet begint na 1 etmaal, maar later, bijvoorbeeld na 1½ etmaal, dan worden de gemiddelde slootwaterstanden ongeveer 30 cm hoger. Daarbij wordt in het vijfde tijdvak de slootwaterstand hoger dan de gemiddelde draindiepte van 0,90 m, zodat de ontwatering minder wordt. Het duurt daardoor meer dan ½ dag langer dan 5 dagen, eer de sloten weer op peil zijn. In dergelijke gevallen zou een grotere bemalingscapaciteit nodig zijn. Er is dus alles aan gelegen na de neerslag zo vroeg mogelijk met het malen te beginnen.
Het aantal mm water per etmaal, dat door het gemaal uitgeslagen moet worden, wordt ook wel de afvoercoëfficiënt, de specifieke afvoer of de afvoerfactor genoemd. Gebruikelijke waarden voor de afvoerfactor voor polders in

het westen van het land zijn 10 à 12. Voor bouwland in het noorden van ons land wordt een wat lagere factor aangehouden, namelijk 8 à 10. De afvoerfactor is sterk afhankelijk van de ontwateringsdiepte, de open waterberging, de gesloten waterberging en soms ook van de kwel. Ook de bestemming van de grond beïnvloedt de afvoerfactor, zoals bouwland, weiland, stadsbebouwing, wegen en kassen. Over het algemeen geeft een diepe ontwatering (bouwland) lage cijfers en een ondiepe ontwatering (weiland en tuinbouw) hoge cijfers. Bij de zeer kwetsbare tuinbouw worden waarden toegepast tot 16.
De dimensionering van de watergangen en de kunstwerken in een polder geschiedt aan de hand van de afvoerfactor en de afwaterende oppervlakten.

Tabel 20-2. Voorbeeld van een grafisch tabellarische berekening van de stijging van grondwater en slootpeil gedurende een periode van grote neerslag.

beschouwde tijdvak		etm.	0-1.45	1.45-1.70	1.70-2	2-2.40	2.40-2.90	2.90-3.40	3.40-4	4-5	5-7	7-10
duur van dit tijdvak	Δt	etm.	1.45	0.25	0.30	0.40	0.50	0.50	0.60	1	2	3
1. gemiddelde grondwaterspiegel aan begin van het tijdvak	= 7 vorig tijdvak	m-maaiveld	0.87	0.87	0.68	0.55	0.56	0.63	0.69	0.73	0.75	0.78
2. hoogteverschil tussen grondwatersp. midden tussen drains en draindiepte aan begin tijdvak	$m=1\frac{1}{2}\,(0.90-1)$	m	0.04	0.04	0.33	0.53	0.51	0.41	0.32	0.26	0.23	0.18
						van de grens (0.90-0.53-0.37m)						
x2. hoogteverschil tussen grondwatersp. midden tussen drains en slootpeil aan begin tijdvak	$m=1\frac{1}{2}\,(9-1)$	m										
3. ontwatering(=afvoer uit grond naar sloten) gedurende het tijdvak	$0=1000^{k}/e^{2}(2^{2}+2h.2)\Delta t$ $=40\Delta t.2$ (of 2')	mm.	2.30	0.40	4.0	8.5	10.2	8.2	7.7	10.4	18.4	21.6
4. tijd die verloopt voordat neerslag het gemiddeld freatisch vlak bereikt aan eind tijdvak	inzijgingstijd $=1:V_1=1:0.60$	etm.	1.45	1.45	1.13	0.92	0.93	1.05	1.15	1.22	1.25	1.30
5. hoeveelheid neerslag die het freatisch vlak bereikt in tijdvak	$N_{gr.w.}$ opmeten uit regenduurlijn	mm.	2.30	14	13.25	8.0	5.5	4.0	4.8	8.80	16.5	18.25
6. stijging gemiddelde grondwatersp. in tijdvak	$=\frac{100}{g}\times\frac{1}{1000}(5-1)=\frac{1}{70}(5-3)$	m	0	0.19	0.13	-0.01	-0.07	-0.06	-0.04	-0.02	-0.03	-0.05
7. gemiddelde grondwaterspiegel aan eind tijdvak	= 1-6	m-maaiveld	0.87	0.68	0.55	0.56	0.63	0.69	0.73	0.75	0.78	0.83
8. gesommeerde ontwatering aan het eind van alle beschouwde tijdvakken	$\Sigma 0 = \Sigma 3$	mm	2.30	2.70	6.70	15.2	25.4	33.6	41.3	51.7	70.10	91.70
na intekening van de ontwateringskromme en de rechtstreekse slootbelasting 10 in de figuur is de afvoercapaciteit te schatten (14 mm/etm.)												
9. gemiddeld slootpeil aan begin tijdvak	=13 vorig tijdvak	m-maaiveld	1.20	1.32	1.46	1.46	1.30	1.12	1.04	1.05		
10. rechtstreekse slootbelasting=neerslag in sloten en op taluds,alsmede kwel,schut-,lek- en inlaatwater in tijdvak	$=\frac{N(\text{gemeten})}{50}+\frac{2}{3}\Delta t$	mm	1.67	0.23	0.27	0.36	0.43	0.43	0.52	0.83		
11. afvoer (b.v.bemaling) uit sloten in tijdvak	$=\text{bemalingscap.}\times\Delta t=1\Delta t$	mm	xx 6.3	3.5	4.2	5.6	7.0	7.0	8.4	14.0		
12. stijging gemiddeld slootpeil in tijdvak	$=\frac{100}{n}\cdot\frac{1}{1000}\left(\frac{1+10-11}{\frac{1+10-11}{20}}\right)=$	m	-0.12	-0.14	0	0.16	0.18	0.08	-0.01	-0.14		
x13. gemiddeld slootpeil aan eind tijdvak	= 9-12	m-maaiveld	1.32	1.46	1.46	1.30	1.12	1.04	1.05	1.19		
							hoogste gemiddelde slootpeil			stijging slootpeil opgeheven		

x als slootpeil boven de gemiddelde drainhoogte stijgt, moet met 2' i.p.v. met 2 worden gerekend

xx aangenomen dat na 1 etmaal met afmalen wordt begonnen.

21. De waterlossing.

21-1. Algemeen.

De watergangen brengen het overtollige water naar een of meer punten, waar het water buiten de polder wordt gebracht. Dit kan geschieden indirect, door eerst te lozen op een boezem of op een andere polder en direct, door rechtstreeks te lozen op het buitenwater, waaronder wordt verstaan de zee met de zeearmen, de rivieren, de beken en het IJsselmeer. Het lozen van het water kan geschieden op natuurlijke wijze door sluisgang; het kan ook plaats vinden door bemaling met behulp van gemalen of windmolens.

Bij het lozen op andere polders is de toestand niet veel anders dan bij de interne polderafvoer. Wanneer de andere polder lager ligt, zullen voor de peilbeheersing afsluitbare duikers of sluizen nodig zijn. Bij hogere ligging is het nodig gebruik te maken van een bemalingsinrichting. De sluizen of duikers en de gemalen dienen te worden berekend met dezelfde afvoerfactor als van de polder zelf. Evenals bij onderbemalingen en opgekeerde polderafdelingen is een juist afstemmen van de lozende op de ontvangende polder noodzakelijk. Gedurende de lozing zal daarom veelal bediening van de sluis of het gemaal nodig zijn.

De lozing op boezems vertoont veel overeenstemming met het lozen van een polder op een andere polder. Vaak is echter de capaciteit van de lossingsmiddelen van de boezem kleiner dan de som van de capaciteiten van de polderlossingen. Dit geval doet zich vooral voor, als een deel van de polderlossingen bemalen wordt en de lossing van de boezem geheel of gedeeltelijk natuurlijk is. Het instellen van een maalpeil brengt meestal in deze toestand geen verbetering. Men zal dan juist proberen het water zo snel mogelijk op de boezem te brengen vóór dit door het bereiken van het maalpeil wordt verboden. Een grote boezemoppervlakte is dan van belang. De moeilijkheden kunnen vaak worden verholpen door de waterlossing van de boezem te verbeteren zoals is gebeurd of zal gebeuren in Delfland en in Friesland.

De lozing op een rivier of beek geschiedt vaak op natuurlijke wijze. Daarbij moet rekening gehouden worden met het afvoerregiem van de rivier. Tijdens hoogwaterperioden kan de waterlossing gestremd zijn. De open waterberging in de polder moet dan zo groot zijn, dat een dergelijke periode overbrugd kan worden. Dit blijft echter een moeilijke kwestie. Vaak zal men daarom naast de uitwateringssluis nog een hulpbemaling plaatsen. De natuurlijke lossing geschiedt in het meest benedenwaarts gelegen punt van de polder. Waar dat niet mogelijk was, moest men vaak kilometers lange parallelwatergangen aanleggen om een voldoend laag punt aan de rivier te bereiken. Een dergelijke oplossing werd ook vaak nodig door het klinken van de polder, waardoor men een nieuw, verder stroomafwaarts gelegen lozingspunt moest scheppen.

Bij de lozing op de zee of de zeearmen treft men ook nog veel sluisgang aan, waarbij gebruik gemaakt wordt van het getij, als gevolg waarvan tweemaal daags laagwaters optreden. Het tijverschil, ook wel genoemd de getijamplitudo, varieert door de invloed van de zon en van de maan, waardoor het bij springtij groter is en bij doodtij kleiner dan het gemiddelde. Bovendien treedt er bij de hoog- en laagwaters een dagelijkse ongelijkheid op. Als gevolg van de wind kunnen daarbij nog op- en afwaaïingen optreden. Men heeft dus bij sluisgang in het getijgebied geen continue waterlossing. De sluizen moeten in een vrij korte tijdsduur het overtollige water spuien, waardoor zij een grotere capaciteit dienen te hebben, dan overeenkomt met de afvoerfactor. Bovendien moet in de polder een vrij grote waterberging aanwezig zijn om de stremming van de lozing over één hoogwater te kunnen overbruggen en bij de storm-

vloeden zelfs over meer. Men kan daarbij gebruik maken van bergboezems en voorboezems, waarin het water tijdelijk kan worden geborgen bij hoge buitenwaterstanden. Een voorboezem wordt ook wel gebruikt door deze tijdens het hoogwater te vullen en tijdens het laagwater de toegangsgeul met kracht te laten doorspuien, waarbij men eventueel gebruik maakt van een soort krabber, ook wel mol genoemd.

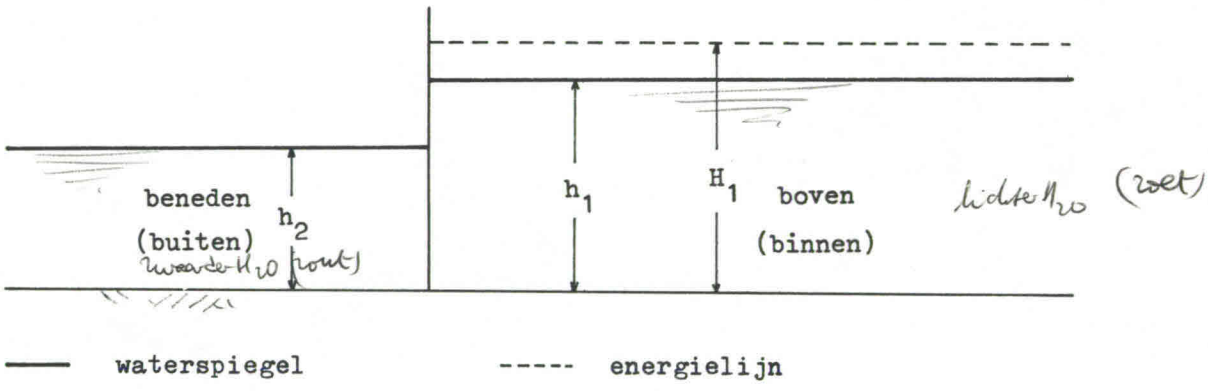
21-2. De natuurlijke lozing.

Tot in de vijftiende eeuw was de natuurlijke lozing of sluisgang de enige mogelijkheid tot het afvoeren van het overtollige water uit een polder. Bij een niet te groot, min of meer constant verschil tussen de waterstand boven en beneden de sluis, wordt de afvoer voorgesteld door de formule:

$$Q = B \cdot \mu \cdot h_2 \cdot \sqrt{2g\,(H_1 - h_2)}$$

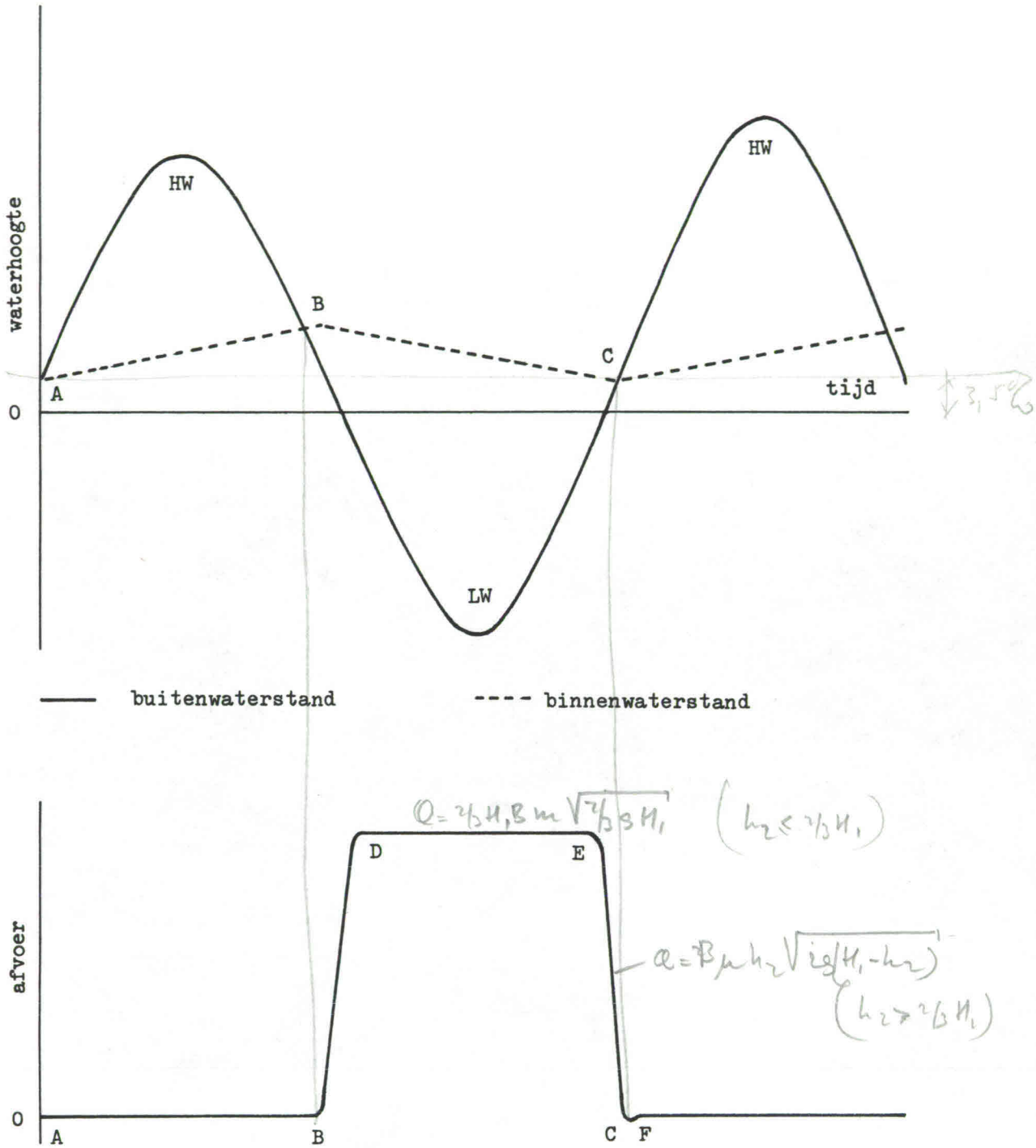
Hierin is (zie figuur 21-1):

- Q = afvoer in m^3/sec.
- B = breedte van de sluis in m;
- μ = contractiecoëfficiënt;
- h_2 = benedenwaterstand in m boven de sluisbodem;
- g = versnelling van de zwaartekracht in m/sec^2;
- H_1 = energiehoogte in m bovenstrooms van de sluis t.o.v. de sluisbodem.



Figuur 21-1. Waterhoogten bij een uitwateringssluis.

Het verschil tussen de energiehoogte H_1 en de waterstand h_2 benedenstrooms van de sluis wordt omgerekend in verband met het verschil in soortelijk gewicht van het water. Vaak kan dit het eenvoudigste gebeuren door de getijlijn in zijn geheel te verhogen met 3,5% bij zout water ten opzichte van de bodemhoogte van de sluis.
Om de energiehoogte bovenstrooms van de sluis te verkrijgen, wordt de waterstand daar ter plaatse verhoogd met de snelheidshoogte $\frac{v^2}{2g}$, waarin v de snelheid is in m/sec en g de versnelling van de zwaartekracht in m/sec^2.
Figuur 21-2 geeft het verloop van de waterstanden bovenstrooms en benedenstrooms van de sluis. Vanaf punt A stijgt de binnenwaterstand geleidelijk, doordat door de hogere buitenwaterstand de lozing gestremd is. De stijging duurt voort tot punt B, waar de binnenwaterstand ongeveer 10 cm hoger is dan de buitenwaterstand. Bij deze overdruk kan de grotere druk van het zoute water en de wrijving van de deuren worden overwonnen.



Figuur 21-2. Verloop van de waterstanden en de afvoeren bij een uitwateringssluis in het getijgebied.

Vanaf punt B daalt de waterstand binnen min of meer rechtlijnig tot punt C.
In figuur 21-2 wordt tevens het verloop gegeven van de afvoer. In punt B is de overdruk van het binnenwater voldoende om de deuren te kunnen openen. Vanaf dit ogenblik gaat de afvoer geleidelijk toenemen volgens de formule voor de gestuwde afvoer tot punt D:

$$Q = B \cdot \mu \cdot h_2 \sqrt{2g\,(H_1 - h_2)}$$

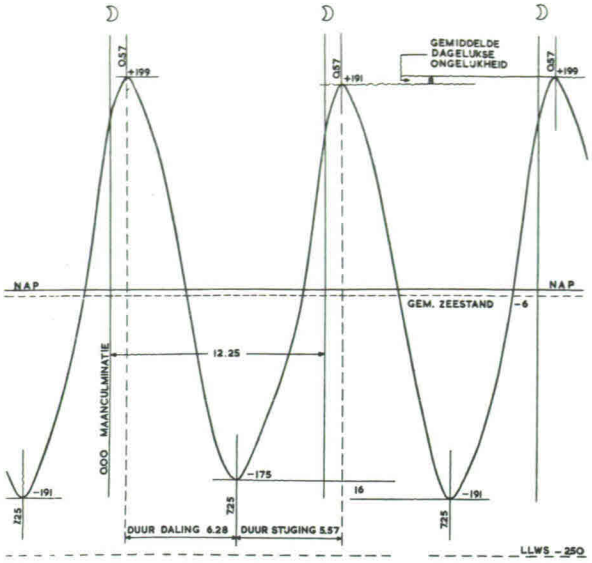
Deze formule geldt voor het gebied, waarin $h_2 > 2/3\ H_1$ is. Bij deze afvoer is de vorm van de in- en uitstroomopening van groot belang. De coëfficiënt μ is in den regel kleiner dan 1, doch kan onder gunstige omstandigheden en bij kleine afvoer ook groter dan 1 worden.
Van D naar E is de afvoer constant en onafhankelijk van de buitenwaterstand. Deze maximum afvoer wordt bepaald door de formule:

$$Q = 2/3 \cdot B \cdot m \cdot H_1 \cdot \sqrt{2/3\ g \cdot H_1}$$

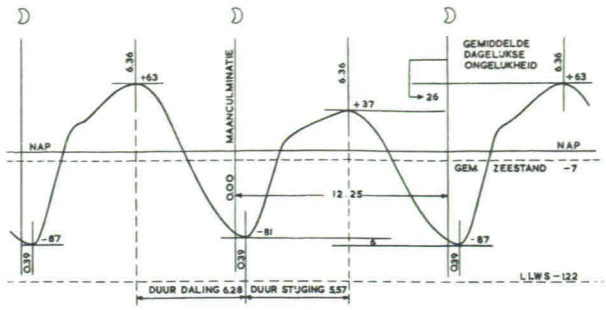
Deze formule geldt voor het gebied, waarin $h_2 \leqq 2/3\ H_1$ is.
Vanaf punt E tot C voldoet de afvoer weer aan de formule voor de gestuwde afvoer ($h_2 > 2/3\ H_1$).
Van C naar F keert de afvoer van teken om gedurende zeer korte tijd, tot dat een geringe overhoogte van de buitenwaterstand voldoende is om de deuren te laten sluiten. Het water is daarbij ook buiten zoet, zodat de geringe overhoogte alleen dient om de wrijving van de deuren te overwinnen. Deze is door de trilling van het langs de deur stromende water zeer gering.
In de praktijk voert men de berekening uit. door de laagwaterperiode in korte tijdsintervallen te verdelen waarin h_2 en H_1 constant genomen kunnen worden en waarin de afvoeren berekend worden. Bij de vaststelling van de energiehoogte moet rekening gehouden worden met het verhang trekken in de polder tijdens de bemaling.
Bij lozing naar zee maakt men vaak gebruik van deuren, welke bij laagwater vanzelf open gaan en bij hoogwater door het opkomend buitenwater automatisch worden gesloten. Men noemt deze deuren wachtdeuren.
Om het te laag weglopen van het binnenwater te voorkomen, kan dit worden opgehouden door een of meerdere stuwen. Deze geven echter een belemmering van de afvoer, vooral bij grote afvoeren. Men moet dan regelbare stuwen toepassen, doch deze vereisen een bediening. Ook kan men, in tijden van lage afvoeren de wachtdeuren vergrendelen.
De lozingsmogelijkheid hangt af van de mate, waarin het dagelijks laagwater onder het gewenste polderpeil komt en de duur van deze onderschrijding. Ook de frequenties van de waargenomen laagwaterstanden spelen daarbij een rol. Belangrijk is daarbij vooral, hoeveel dagen achtereen niet gespuid kan worden als gevolg van de astronomische laagwaters, de verhoging daarvan door de wind, of de hoogwaterstanden van de rivier.
Figuur 21-3 geeft een overzicht van het verloop van de tijverschillen langs de kust. Het tijdverschil is het kleinst bij Den Helder (1,36 m) en het grootst bij Vlissingen (3,74 m) en Bath (4,57 m). Op enkele plaatsen bereikt het laagwater geen lage stand, doch duurt het wel lang (Hoek van Holland) door zijn brede, vlakke vorm.

21-3. De bemaling.

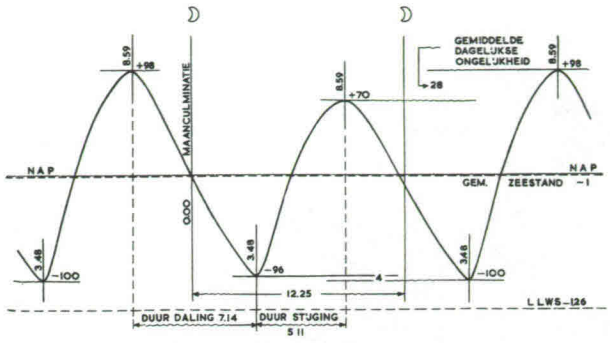
Elke bemalingsinstallatie bezit een opvoerwerktuig, een krachtwerktuig en een overbrenging.
Het opvoerwerktuig moet voldoende capaciteit hebben om het overtollige water binnen een vastgestelde tijd uit de polder te kunnen verwijderen.



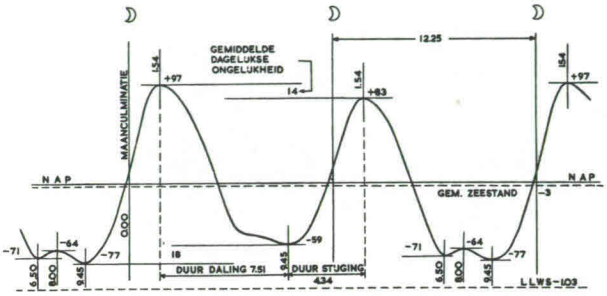
Gemiddelde getijkromme te Vlissingen



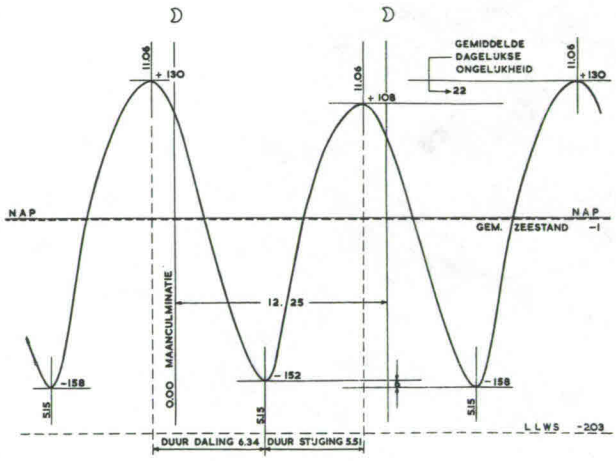
Gemiddelde getijkromme te Den Helder



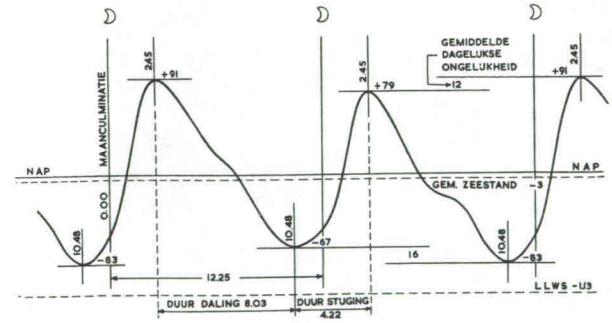
Gemiddelde getijkromme te Harlingen



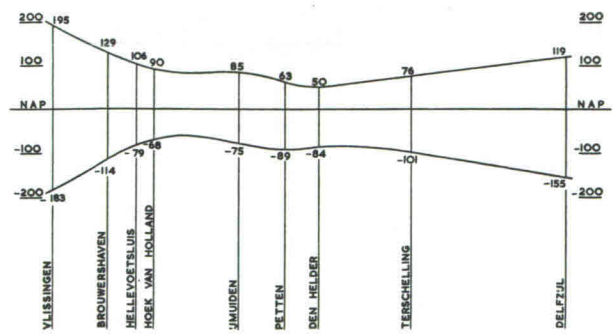
Gemiddelde getijkromme te Hoek van Holland



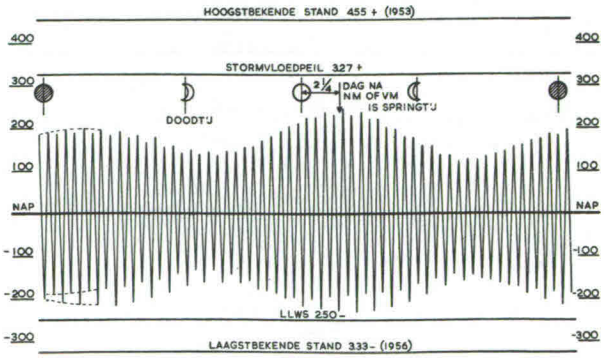
Gemiddelde getijkromme te Delfzijl



Gemiddelde getijkromme te IJmuiden



Gemiddeld hoogwater en laagwater langs de Nederlandse kust



Voorbeeld van het verloop der getijbeweging te Vlissingen van nieuwe maan tot nieuwe maan

Figuur 21-3. Getijden langs de Nederlandse kust.

De capaciteit wordt ook wel het waterverzet genoemd en wordt uitgedrukt in m^3/sec of m^3/min.

- Het krachtwerktuig moet voldoende arbeidsvermogen hebben om door het opvoerwerktuig de vereiste waterhoeveelheid te kunnen laten verwijderen. Het netto arbeidsvermogen wordt uitgedrukt in waterpaardekrachten door het product van de opvoerhoogte (in meters) en het waterverzet (in m^3/min.) te vermenigvuldigen met $\frac{1000}{60.75}$.
In de gehele installatie vinden verliezen plaats door wrijving, turbulentie en waterstroming. Gunstige rendementen zijn: voor het krachtwerktuig 80-95%; voor de pomp 60-85% en voor de overbrenging 90%, zodat het totale rendement 50 à 75% bedraagt. Het bruto arbeidsvermogen, uitgedrukt in paardekrachten, wordt dus verkregen door vermenigvuldiging van het aantal waterpaardekrachten (netto arbeidsvermogen) met
$\frac{100}{75}$ à $\frac{100}{50}$.
De overbrenging dient om het toerental van het krachtwerktuig om te zetten in dat van het opvoerwerktuig. Een enkele maal is daarbij slechts een directe koppeling mogelijk. De overbrenging bestaat bij molens uit houten kamraderen en rondsels. Bij de gemalen werden vroeger riemschijven toegepast. Tegenwoordig past men daarbij tandwielkasten en snaaroverbrengingen toe met een zeer hoog rendement.

21-4. De molens en de gemalen.

Na de hoosschop en de tonmolens voor het lozen van het polderwater kwam in het begin van de vijftiende eeuw de windmolen in gebruik. Om precies te zijn, in 1408 gingen de dijkgraaf en de hoogheemraden van Delfland naar Alkmaar om een windwatermolen te bezichtigen. Sindsdien is de windmolen verschillende malen verbeterd; in het begin van de 17e eeuw kreeg zij een draaibare kap en in de 20e eeuw werden de wieken aerodynamisch verbeterd. Heden ten dage worden zij nog gebruikt, deels met het oog op het landschapsschoon en ter behoud van de molens; maar ook om in tijden van brandstofschaarste, bijvoorbeeld in de tweede wereldoorlog, bij te kunnen springen.
Men kent de bovenkruiers en de wip- of staartmolens. Voor onderbemalingen worden veel kleine molentjes toegepast en ook wel grotere, amerikaanse windmotoren.
De energie voor de draaïing van de wieken wordt ontleend aan het arbeidsvermogen van beweging ($\frac{1}{2}$ p.v^2) van de wind die het wiekenveld kruist: 0,000 85.c.F.v^3. PK. Hierin is F de oppervlakte van het veld van de wieken in m^2 en v de snelheid van de wind in m/sec. De waarde van c bedraagt meestal 0,08 à 0,20 en kan maximaal 0,35 bedragen. Zij kan worden verbeterd door de wiekvorm te verbeteren door bijvoorbeeld de stroomlijnwiek van Dekker toe te passen (verdekkeren) of de fokwiek van Fanel.
De molen zelf heeft rendementsverliezen in de overbrenging (n_1) en het opvoerwerktuig (n_2), zodat het resulterende vermogen bedraagt:
$n_1.n_2.c.0{,}00085.F.v^3$ waterpaardekracht. Hierin bedraagt $n_1 \pm 0{,}90$ en n_2 0,60 à 0,90.
De amerikaanse windmotor heeft meestal een gunstiger c dan de hollandse molen.
De windmolens kunnen niet altijd malen, namelijk niet bij te kleine windsnelheid en niet bij te grote windsnelheid. Het maalbereik ligt bij windsnelheden tussen 6 en 11 m/sec, ongeveer 25% van de tijd. Door stroomlijnen van de wieken en het toepassen van de fokwiek kan ook bij lagere windsnelheden worden gemalen. De fokwiek werkt bovendien remmend bij hoge windsnelheden. Het maalbereik kan ook bij hoge windsnelheden worden vergroot door het toepassen van jalouzieën in de wieken, welke bij hoge windsnelheden automatisch openen. Windbemaling blijft desondanks een ongewisse lozingsmogelijkheid. Zij is alleen mogelijk als hulpbemaling of

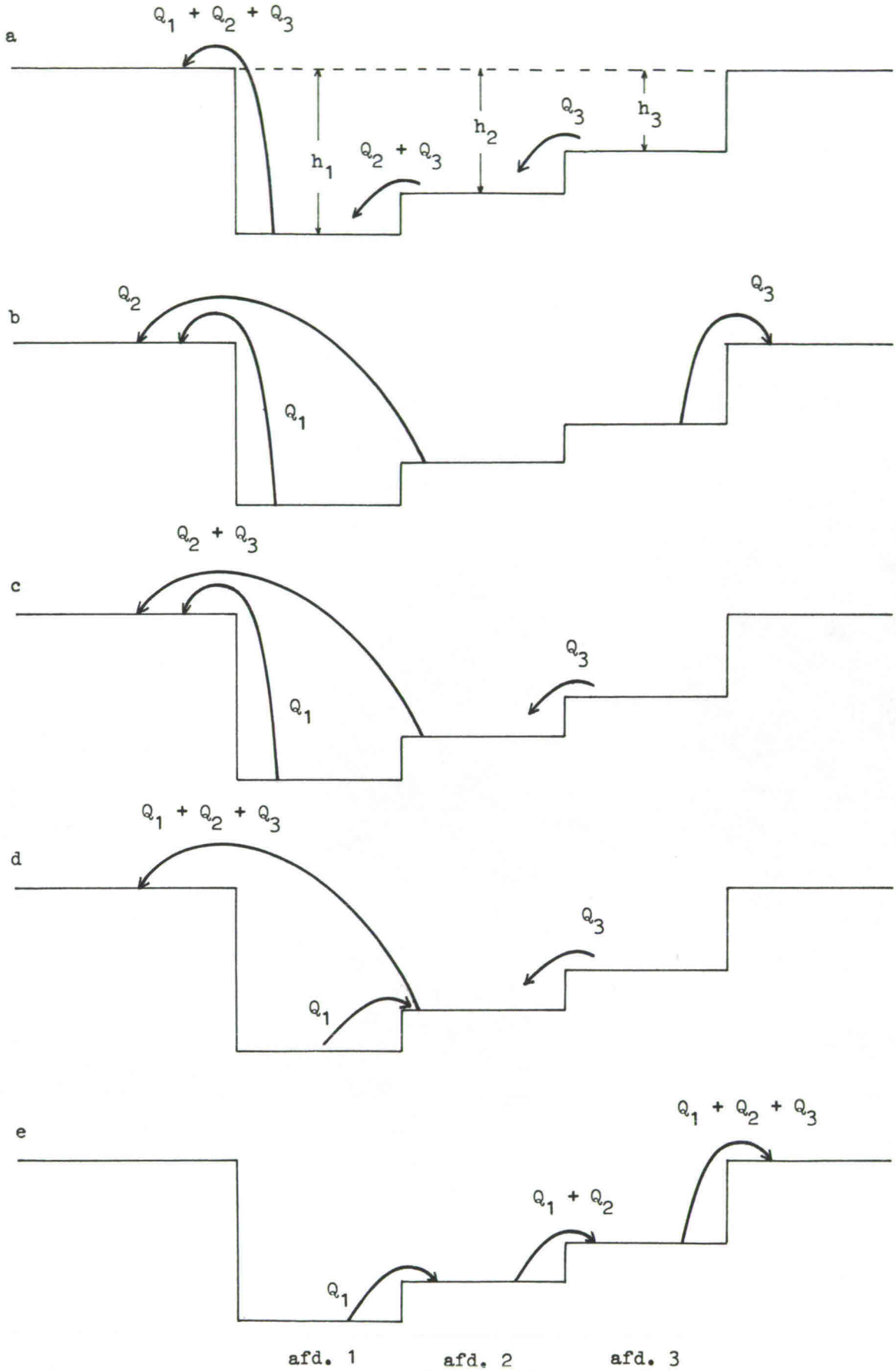
bij polders met een grote waterberging, zoals oude graslandpolders. Ook zijn zij duur in bediening en onderhoud. Vaak zijn zij voorzien van een machinale hulpbemaling of hulpaandrijving. De mogelijkheid, om een electrische hulpmotor te gebruiken, welke tevens kan dienen voor electriciteitsopwekking, is in onderzoek. Het oudste gemaal, een stoomgemaal, is toegepast in 1844 in de proefpolder van Nootdorp.
Het stoomgemaal vraagt een grote investering door het ketelhuis, de schoorsteen, de zware fundering en de dure bediening. Het brandstoftransport is zwaar. Door het opstoken van de ketel is veel tijds- en energieverlies aanwezig. Het stoomgemaal kan daarom tegenwoordig alleen nog worden toegepast bij continue bemaling over lange perioden. Door reparaties en ketelinspectie kunnen stoomgemalen vele dagen achtereen buiten gebruik zijn. Bekende stoomgemalen zijn aanwezig bij Tacozijl (Wouda) en Heemstede (Cruquius). De Cruquius is buiten bedrijf en doet dienst als museum.
Het zuiggasgemaal is zeer voluminaus en in feite geheel achterhaald door de benzine-, petroleum- en vooral de dieselgemalen.
Het dieselgemaal wordt veelvuldig toegepast, hoewel de bediening goed geschoold personeel vraagt. Onder- en overbelasting kan worden opgevangen, zij het met een rendementsverlies. Het behoort met de electrische gemalen tot de moderne gemalen.
Het electrische gemaal is eenvoudig te bedienen. De motor zelf en het gebouw zijn goedkoop in aanschaf. De kabelaanleg en de transformator kunnen de aanleg duur maken, afhankelijk van de afstand, waarover de electriciteit moet worden overgebracht. Het electrische gemaal leent zich voor automatisch bedrijf, waarbij de motor door een vlotter wordt in- en uitgeschakeld en voor afstandsbediening.
Bij de gemalen blijft overigens altijd controle en smeren nodig. Ook het krooshek moet regelmatig worden schoongemaakt. In de totale exploitatiekosten, bestaande uit de kosten van rente, afschrijving, onderhoud, bediening, olie, electriciteit, smeermiddelen, is soms het dieselgemaal en soms het electrisch gemaal voordeliger. Dit hangt mede af van de olieprijs en de electriciteitsprijs. Electrische gemalen zijn veelal gebonden aan de zogenaamde spertijden, waarin zij niet mogen malen en de afname van een bepaald kwantum electriciteit buiten de spertijden. Om de spertijden te overbruggen is een grotere open waterberging nodig, een grotere capaciteit van het gemaal en dienen de watergangen een ruimer profiel te hebben.
Indien een polder of een boezem meerdere gemalen, of althans meerdere opvoerwerktuigen heeft, komt bemalingsspreiding (spreiden van de bemaling over meerdere energiebronnen) in aanmerking. Men verkrijgt daardoor grotere bedrijfszekerheid, hetgeen in tijden van oorlog e.d. zeer gewenst is. Men kan een dergelijke spreiding ook bereiken, door de polders elkander te laten helpen.

21-5. De opvoerwerktuigen.
Het scheprad is een groot verticaal schoepenrad, dat het water opvoert van de achterwaterloop naar de voorwaterloop over een opleider tussen krimpmuren. In de voorwaterloop is een wachtdeur geplaatst om het teruglopen van het water tegen te gaan. Een dergelijke afsluiting, ook vaak als klep uitgevoerd, maakt men bij alle laaggelegen opvoerwerktuigen, waar gevaar voor hevelen of terugstroming aanwezig is.
Het waterverzet hangt af van de tasting (diepte, waarmede de schoepen in het water steken), de omdraaïingssnelheid en de breedte van de schoepen. Bij een te geringe tasting wordt het rendement sterk verminderd; vergroting van de tasting is erg duur. Schepraderen zijn niet goed bruikbaar bij wisselende waterstanden. Bij al te hoog buitenwater krijgt men

teruglopen van het water, Bij constante en juiste peilen, binnen en buiten en een goede uitvoering is het scheprad een heel goed opvoerwerktuig met een rendement van 75 à 90%. Het geringe toerental maakt een goede toepassing mogelijk bij de langzaam draaiende molens. Ook werden schepraderen wel gebruikt bij stoombemaling. De opvoerhoogte van een scheprad is echter gering, ten hoogste 1½ tot 2 m. Zij worden thans nog alleen toegepast bij watermolens.
De vijzel bestaat uit een as met schroefvormige bladen in een halfcylindrische hellende goot, de zogenaamde opleider. Vroeger gebruikte men een houten as met een schroefgang, welke was gevormd uit duigen. Tegenwoordig is de vijzel samengesteld met een stalen Mannesmann buis als as waarop een stalen schroefgang is gezet, meestal bestaande uit drie gangen door elkaar. De opvoerhoogte kan 3 tot 4 m bedragen. De vijzel heeft bij de juiste waterstanden een groot rendement, van 70 tot 85%.
Het water wordt geleid tot het hoogste punt van de opleider. Bij lage buitenwaterstanden heeft men geen profijt van de lagere opvoerhoogte, tenzij een deel van de opleider kan worden neergeklapt. Bij hoge buitenwaterstanden krijgt men teruglopen van het water. Ook lage binnenwaterstanden veroorzaken een lagere opbrengst. Vele vijzels hebben daarom een verstelbare helling. Het lage toerental maakt toepassing mogelijk bij molens. Bij gemalen dient een sterke reductie van het toerental toegepast te worden.
De plunjerpompen, ook wel zuigerpompen genoemd, worden nu vrijwel niet meer gebruikt. Hun toepassing vond plaats in de beginperiode van de stoomgemalen. Zij zijn nog aanwezig bij het gemaal Cruquius bij Heemstede, dat tegenwoordig dienst doet als museum.
De centrifugaalpomp bestaat uit een slakkenhuis met een waaier, welke een horizontale of een verticale as heeft. De aanzuiging geschiedt axiaal door onderdruk; de afvoer door de centrifugaalkracht. Deze pompen hebben een hoog toerental, waardoor rechtstreekse koppeling aan de motor van het gemaal mogelijk is. Bij opstelling boven water is een vacuumpomp nodig; sommige kleine pompen zijn zelfaanzuigend. De zuighoogte is maximaal 6 à 7 m. De zuigbuis moet voldoende ver onder het water liggen met het oog op luchtaanzuigen. Verlenging van de buizen bij peilverlaging is betrekkelijk eenvoudig.
Het rendement is het gunstigst bij een bepaalde zuighoogte; het bedraagt 60 à 85%. Daarbij zal men bij voorkeur rekening houden met de mogelijkheid van latere peilverlagingen.
Men spreekt van de statische opvoerhoogte, waaronder wordt verstaan het verschil tussen de binnen- en de buitenwaterstand en de manometrische opvoerhoogte, welke bestaat uit de statische opvoerhoogte, vermeerderd met de drukhoogten, benodigd voor de verliezen.
De schroefpomp bestaat uit een waaier of een schroef in de plaatselijk verwijde zuig-persbuis. Deze perst het water axiaal in de persbuis. De schoepen zijn meestal verstelbaar voor wisselende opvoerhoogten en zelfs voor wisselende pomprichting. Bij kleine opvoerhoogte is het rendement groter dan bij een centrifugaalpomp.

21-6. De waterafvoer.

De waterafvoer van een polder met bijvoorbeeld drie afdelingen kan op verschillende wijzen plaats vinden. Bij het voorbeeld van figuur 21-4a, gaat het water via overlaten naar het lage deel en wordt afgemalen door één groot gemaal met een benodigd vermogen van: $Q_1h_1+Q_2h_1+Q_3h_1$. Deze oplossing kost veel brandstof. Men laat eerst het water naar beneden lopen en pompt het later weer op. Daar tegenover staat, dat men 1 gebouw nodig heeft met 1 bediening en 1 installatie.



Figuur 21-4. Voorbeelden van de waterafvoer van een polder met drie afdelingen.

Bij de oplossing van figuur 21-4b, wordt elk deel afzonderlijk bemalen. Het benodigd vermogen is minimaal, namelijk: $Q_1h_1+Q_2h_2+Q_3h_3$, dus met het laagste brandstofverbruik. Deze oplossing kost echter 3 gemalen en een hoge boezem voor gebied II. Bij de oplossing van figuur 21-4c, gaat het water van het hoge deel via een overlaat naar het middendeel. Hiervoor zijn nodig 2 gemalen en een hoge boezem. Het benodigd vermogen is iets groter dan bij de oplossing van figuur 21-4b, namelijk: $Q_1h_1+Q_2h_2+Q_3h_2$. Bij de oplossing van figuur 21-4d, gaat het water van het hoge deel via een overlaat naar het middendeel en wordt het lage deel op het middendeel bemalen. Het benodigd vermogen bedraagt nu:
$Q_1(h_1-h_2) + (Q_1+Q_2)\ h_2+Q_3h_2$ of: $Q_1h_1+Q_2h_2+Q_3h_2$, hetzelfde als bij de voorgaande oplossing. Hiervoor zijn nodig één groot gemaal en een klein gemaal, die gecombineerd kunnen worden in één gebouw, en een hoge boezem voor gebied II. Indien het middendeel II bij de oplossingen b, c en d aan het buitenwater grenst, is de hoge boezem overbodig. Soms is het mogelijk, het gemaal te combineren met dat van gebied I.
Bij de oplossing van figuur 21-4e, wordt het water trapsgewijze naar het hooggelegen deel opgemalen en van daaruit uitgeslagen op het buitenwater. Het benodigd vermogen bedraagt: $Q_1h_1+Q_2h_2+Q_3h_3$ en is even groot als bij oplossing b. Voor de bemaling zijn nodig twee kleine gemalen en één groot gemaal. De hoge boezem van oplossing b is nu niet nodig.
Indien het hoge deel en het lage deel klein zijn ten opzichte van het middendeel en vooral, indien er in het middendeel van ouds reeds een gemaal aanwezig is voor de gehele polder, is veelal de oplossing c of d het voordeligst. De keuze van deze twee kan mede afhangen van de capaciteit van het bestaande gemaal. Een gemaal wordt weinig duurder door een grotere opvoerhoogte; de kosten zijn nagenoeg evenredig met het waterverzet. Wel neemt het brandstofverbruik toe bij toenemende opvoerhoogte.
Bij de kostenberekeningen moeten de watergangen meegerekend worden. Een combinatie van gemalen is wat goedkoper aan bouwkosten, doch duurder aan watergangen. De juiste keuze is een kwestie van economie ten aanzien van de gemalen en de watergangen. Men moet daarbij rekening houden met de situatie (buitenwater, plaats van de kabel, bereikbaarheid van de gemalen) en de bestaande toestand. Soms is er reeds een gemaal voor de totale capaciteit aanwezig (oplossing d); soms is er één gemaal op de scheiding van twee polderdelen, dat voor beide polderafdelingen kan dienen (oplossing c).
Bij gehele of gedeeltelijke mogelijkheid tot lozing door sluizen wordt de oplossing weer anders.

21-7. De bemaling van Oostelijk Flevoland.

Oostelijk Flevoland wordt bemalen door drie gemalen, die zijn gelegen bij Lelystad (Wortman), Ketelhaven (Colijn) en Harderwijk (Lovink). De plaats van de gemalen is aangegeven in figuur 14-3.
De polder wordt door een van noordoost naar zuidwest lopende dieptelijn in twee afdelingen verdeeld, welke beide een afzonderlijk polderpeil hebben in verband met de van zuidoost naar noordwest hellende bodem. De eerste afdeling heeft een polderpeil van N.A.P.-5,20 m; de tweede van N.A.P.-6,20 m. Het is duidelijk, dat elk van de afdelingen tenminste één gemaal moet hebben. Voorts moet er rekening mee worden gehouden, dat wegens de langgestrekte vorm van de afdelingen, bij bepaalde windrichtingen in de kanalen een sterke afwaaïing zou kunnen optreden op de plaats van het gemaal, waardoor dit niet meer zijn volle debiet zou leveren en wellicht een ontoelaatbare verhoging van de waterstand zou optreden. Het is daarom nodig, dat bemaling aan beide einden kan geschieden. Dit zou impliceren, dat er totaal vier gemalen nodig waren. Nu is het echter zo, dat de twee noordelijke gemalen in één gebouw geconcentreerd konden worden bij Ketelhaven, waar de poldergrens de meerdijk snijdt. Hierdoor kon belangrijk op de bouwkosten worden bespaard. De zuidelijke gemalen zijn geplaatst bij Lelystad en bij Harderwijk.

De totale bemalingscapaciteit, welke op grond van uitvoerige berekeningen is vastgesteld op 4300 m^3/min of 11 mm/etm. (ontwatering 10 mm en kwel 1 mm) wordt verdeeld over acht pompen, elk van 500 à 600 m^3/min. De opvoerhoogte is bij de drie gemalen verschillend. De verhouding van het waterbezwaar van de twee afdelingen is zodanig, dat dan met drie pompen in de hoge afdeling en met vijf pompen in de lage afdeling, de juiste verdeling van de bemalingscapaciteit wordt verkregen.
De verdeling van de pompen over de gebouwen is dan zo, dat het gemaal Harderwijk met 2 pompen is ingericht, dat te Ketelhaven met 1 pomp voor de hoge afdeling en 2 pompen voor de lage afdeling, terwijl in het gemaal Lelystad 3 pompen voor de lage afdeling staan. In het gemaal bij Lelystad is nog ruimte voor 1 pomp voor Zuidelijk Flevoland.
Door de verdeling van de bemalingsinstallatie over drie gebouwen en acht pompen is uiteraard de bedrijfsreserve groot, welke nog verder is vergroot door niet voor de drie gemalen dezelfde brandstof te kiezen. Zo is dan ook het gemaal bij Lelystad met dieselmotoren ingericht; de beide andere gemalen met electromotoren. Een tussensluis in de polderscheiding bij Ketelhaven en een duiker in het zuidwestelijke deel maken het mogelijk water van de hoge naar de lage afdeling af te spuien in geval van een electriciteitstoring.
De algemene inrichting van de bouwwerken is grotendeels bepaald door de behoeften van de pompen en de motoren. Hoewel wegens de ongelijkheid van het aantal pompen per gemaal, de verschillen in de wijze van aandrijving, ongelijk aantal en verschillende aard van de nevenruimten, verschillen in de diepteligging van de polderkanalen en verschillende architectonische wensen, het innerlijk en het uiterlijk van de drie gemalen vrij sterk verschilt, hebben zij in wezen een grote mate van overeenstemming.
Aan de polderzijde begint het kunstwerk met de zuigkanalen, die elk eindigen in een zuigmond, door welke het water door de er bovenstaande pomp wordt opgezogen. De pompwaaier (centrifugaalpomp met verticale as) draait in het slakkenhuis van beton. De pompassen passeren de kelder en worden aangedreven door de in de op de onderbouw staande machinehal opgestelde machines. Zijdelings in de slakkenhuizen is een opening, welke toegang geeft tot de perskanalen; deze perskanalen verwijden zich naar buiten en eindigen in het uitmondingsgebouw. Over de zuigkanalen ligt een betonbrug.
De gebouwen zijn gefundeerd op een monolytische betonvloer, welke rust op betonpalen.
Behalve de machinehal bestaat de bovenbouw uit diverse ruimten, zoals werkplaats, hulpmachinekamer (met aggregaten voor stroomopwekking), kantoor, toiletten enz.; bij de electrogemalen bevinden zich bovendien nog transformatorruimten, schakelruimten enz.

22. De watervoorziening.

22-1. Algemeen.

Naast de afwatering is de laatste tijd de watervoorziening sterk op de voorgrond getreden. Voordien werd de watervoorziening feitelijk alleen toegepast in de tropen (irrigatie). Met het opkomen van de landbouwwetenschappen in de laatste decennia is het inzicht in de factoren, welke de opbrengst en de groei van de gewassen beïnvloeden, toegenomen. Sinds enige tijd is bekend, dat niet alleen een te hoge grondwaterstand zeer nadelig is voor de gewassen, maar ook een te lage. Deze inzichten zijn sterk verbeterd door de onderzoekingen naar de invloed van de grondwaterstand op de opbrengst van de gewassen, de betekenis van de vochthoudendheid van de bewortelingslaag en de verdamping.
De invloed van een tekort aan water is duidelijk gebleken tijdens de droge zomers, toen er veel schade aan de gewassen optrad. Ook de graspolders vertoonden een sterke opbrengstvermindering. Stelt men de grasopbrengst in de natte zomers van 1948 en 1950 op 100, dan bedroeg deze in het vrij normale jaar 1943: 80 en in de zeer droge zomers 1947 en 1949 slechts 55. De opbrengst kan in de normale zomers dus met gemiddeld 20% worden vermeerderd en in de droge zomers met ruim 40% indien men voldoende water kan suppleren. In technische opzicht is men de laatste jaren in staat om water aan de plant toe te dienen, bijvoorbeeld door beregening of infiltratie.
Door de uitvoering van de grote werken, zoals de Zuiderzeewerken en de Deltawerken en ook door de Rijnkanalisatie is de kwestie van de waterverdeling aan de orde gekomen, waardoor Landbouw werd genoodzaakt om een uitspraak te doen omtrent de waterbehoefte. Thans staat de betekenis van het IJsselmeer en het Zeeuwse Meer als zoetwaterbekken Landbouw duidelijk voor de ogen. Ir. Mesu sprak uit, dat 1 ha water van het IJsselmeer een productievermeerdering waarborgt, welke gelijk is aan de productie van 1 ha land, Hij ging er daarbij van uit, dat 1 ha water van het IJsselmeer aan 5 ha landbouwgrond een opbrengstvermeerdering kan geven van 20%. Grote bijkomende kosten voor de verwezenlijking van de watervoorziening doen deze in normale jaren steeds weer op de achtergrond geraken. Droge zomers daarentegen werken stimulerend op het doorzetten van de plannen. Hoewel het onderzoek de laatste jaren dus sterk is gericht op de watervoorziening, staat in de praktijk nog veelal de verbetering van de waterafvoer op de voorgrond. Soortgelijke ontwikkelingen treft men aan in Engeland, Duitsland en de Verenigde Staten. In het algemeen kan men zeggen, dat de verbeterde landbouwmethoden alleen ten volle rendabel zijn bij optimale waterhuishouding. De terugslag van de opbrengst tijdens droge perioden wordt daarbij des te sterker gevoeld, zodat men de mogelijkheden tot kunstmatige watervoorziening, welke de techniek nu biedt, moet benutten. Bij de bestudering van de watervoorziening dient te worden uitgegaan van de waterbehoefte en van de bronnen, waaruit het benodigde water kan worden onttrokken. Uit de krommen, welke het verband aangeven tussen de grondwaterstand en de opbrengst, blijkt naast het belang van een goede ontwatering duidelijk de opbrengstvermeerdering, welke is te verkrijgen bij een goede watervoorziening. Dit geldt in het bijzonder voor de droogtegevoelige gronden.
Theoretisch kan men zeggen, dat de waterbehoefte van de grond, bestaande uit de verdamping door het gewas en de grond, tijdens het groeiseizoen, bedraagt:

- voor gewassen met korte groeiperiode zoals rogge, ± 300 mm
- voor gewassen met lange groeiperiode zoals gras, ~~voederbieten~~ en suikerbieten, ± 450 à 500 mm.

Deze waterbehoefte wordt gedekt door:
a. de neerslag in de groeiperiode
b. de hoeveelheid water, welke in de grond aanwezig is, als gevolg van de neerslag in de voorafgaande maanden.
c. de capillaire toevoer van het water vanuit het grondwater naar de wortelzone.
d. het dieper gaan groeien van de wortels achter het water aan
e. de kunstmatige watervoorziening, zoals beregening, irrigatie of afvloeiing.
De mate van voorkomen van neerslagtekorten tijdens de groeiperioden is uitvoerig onderzocht aan de hand van de neerslagcijfers over de jaren 1901-1950 (tabel 22-1).

Tabel 22-1. Overzicht van de neerslagtekorten tijdens de groeiperioden over de jaren 1901-1950.

gemiddeld	neerslagtekort in mm tijdens de groeiperiode april t/m eerste helft juli	april t/m augustus
1x per 25 jaar	> 210	> 280
1x per 10 jaar	> 185	> 250
1x per jaar	130	175

Gemiddeld blijkt dus de neerslag in de groeiperiode te laag te zijn om de verdamping door het gewas en de grond te compenseren. Uitgaande van de gedachte, dat een volledige verdroging veel schadelijker is dan een niet voldoende beheerste waterafvoer, wordt bij de watervoorziening uitgegaan van omstandigheden welke slechts zelden voorkomen. In de Verenigde Staten werkt men met een frequentie van eens in de 10 à 25 jaar. In ons land wordt tegenwoordig van landbouwkundige zijde vaak een frequentie aangehouden van eens in de 25 jaar.

22-2. De beschikbare hoeveelheid water in de wortelzone.

De hoeveelheid water, welke beschikbaar is in de wortelzone hangt af van het bodemprofiel en de bewortelingsdiepte.
Bouwland en boomgaarden op diepe klei- en zavelgronden kunnen het neerslagtekort geheel aanvullen uit het beschikbare water in hun diepe wortelzone, dat wordt aangegeven door het verschil tussen de veldcapaciteit en het verwelkingspunt (zie figuur 10-2). Bij diepe klei- en zavelgronden bedraagt deze hoeveelheid ongeveer 25%. Dit is een zeer gunstig profiel met b.v. 45% gronddeeltjes, 35% water, waarvan 10% niet opneembaar en 20% lucht. Bij een bewortelingsdiepte van meer dan 1 m kunnen het bouwland en de boomgaarden op dergelijke gronden dus over meer dan 250 mm water beschikken, wanneer er geen aanvulling door de neerslag plaats vindt. Zij maken daarbij dus gebruik van een deel van het funiculaire water tijdens de groei van de wortels en voor het overige deel van het aanwezige pendulaire water.
Zandgrond heeft vrijwel geen funiculaire zone en heeft tussen de veldcapaciteit en het verwelkingspunt slechts weinig water ter beschikking. Deze hoeveelheid kan oplopen tot 13% naarmate het zand fijner van samenstelling is en het meer humus bevat. Bij granen met een bewortelingsdiepte van 100 cm kan de beschikbare waterhoeveelheid dus tot 130 mm bedragen. Gemiddeld is de neerslag dus voldoende voor de verbouw van gewassen met een korte groeiperiode en een lang wortelstelsel, zoals rogge en aardappelen, op humeus zand. Vruchtwisseling is daarbij dus niet mogelijk. Zonder kunstmatige aanvulling van water kunnen op zandgronden slechts gewassen met geringe waterbehoefte en korte groeiperiode worden verbouwd.
Grasland en groentegewassen met hun ondiepe beworteling hebben, zowel op kleigrond als op zavel en zandgrond vrijwel ieder jaar een watertekort in de wortelzone. Daarbij heeft gras een lange groeiduur. Hoewel groenten op zich zelf een korte groeiduur hebben, zijn zij door de opvolging van gewassen in één seizoen gelijk te stellen met gewassen met lange groeiduur.

Tabel 22-2. Classificatie van de behoefte aan suppletiewater volgens bijlage 2 van het rapport van het werkcomité Watervoorziening Midden-West-Nederland 1957.

Classificatie van de behoefte aan suppletiewater

No	omschrijving		maximale behoefte mm/etm ') bestaande toestand	toekomst
1	Boezem- en polderplassen, grote wateren		8	8
2	Kleine watergangen, waaronder sloten		6	6
3	Tuinbouw	a. volle grond	4	6
		b. kassen	7	7
		c. bloembollen	4	4
		d. fruitteelt (boomgaarden)	2 - 3	3 - 4
4	Zandgronden	a. intensief		
		1. gras	2 - 4	4 - 6
		2. akkerbouw	2	3
		b. niet-intensief ")	1 - 2	2
5	Veengronden	a. gras	1 - 3	4
		b. akkerbouw	1 - 2	3
6	Kleigronden	a. gras	1 - 2	3
		b. akkerbouw	0 - 1	0 - 1
7	Komkleigronden	a. gras	0 - 1	3
		b. akkerbouw	0 - 1	2
8	Duingronden, hoge gronden, stedelijke gebieden		0	0

') Over perioden van 7 à 10 dagen

") o.a. buitens, bossen, parken.

De onderscheiding van "intensief" en "niet-intensief" houdt sterk verband met de hoogteligging ten opzichte van het grondwater.

Toevoer uit de grondwaterzone door de capillaire opstijging uit een weinig of niet dalende grondwaterstand, hetgeen de ideale toestand is, is alleen mogelijk bij zeer goed doorlatende grond, een voldoende infiltratiemogelijkheid uit een dicht slotenstelsel en bij voldoende beheersing van het slootwaterpeil. Dit treedt juist op bij zandgronden, waar de capillaire stijghoogte nu juist weer te verwaarlozen is. Deze wenselijkheid leidt dus tot een contradictio in terminis. Het onderzoek naar het optrekken van het water uit de grondwaterzone naar de wortelzone en het dieper groeien van de wortels bij dalende grondwaterstand is overigens nog in volle gang. Van veel belang blijkt daarbij te zijn, dat de grondwaterstand vlak onder de wortelzone ligt. Dit treedt vooral op bij zandgronden. In het algemeen kan de watertoevoer uit de grondwaterzone de wateronttrekking door de wortels echter niet bijhouden.

22-3. De watervoorziening.

Met een kunstmatige watervoorziening zijn gebaat:

a. grasland
b. de met groenten beteelde gronden
c. de hoge, niet voldoend waterhoudende gronden; in het algemeen de zandgronden
d. alle overige, dus laaggelegen gronden, welke slecht waterhoudend zijn.

Om de gronden kunstmatig van water te voorzien komen in aanmerking de infiltratie, de beregening en de bevloeiing.

De infiltratie is alleen van belang bij goed doorlatende gronden, zoals de geestgronden (bollencultuur) en de mariene zandgronden in de IJsselmeerpolders. Het water kan worden toegevoerd door een dicht slotenstelsel (bollencultuur) of open greppels (soms bij boomgaarden). De infiltratie kan ook geschieden door het drainstelsel, dat daartoe een horizontale ligging dient te hebben. Meestal is de infiltratie daarbij echter niet voldoende om een horizontale grondwaterstand te verkrijgen maar blijft een zekere daling tussen de drains bestaan. Beter is daarom het gebruik van een afzonderlijk drainagestelsel voor de toevoer van het benodigde water, zoals is toegepast in de Noordoostpolder.

De beregening geschiedt door het besproeien van het land met behulp van een vaste installatie of verplaatsbare installaties. De beregening vindt vooral plaats op de in cultuur gebrachte hoge zandgronden, welke momenteel een oppervlakte bezitten van ongeveer 500 000 ha. Er is een sprongsgewijze vermeerdering te zien van de beregening op deze gronden, vooral na de droge zomer van 1959. Daarvoor, in 1958, bedroeg de beregende oppervlakte 135 000 ha en daarna, in 1961, reeds 445 000 ha.

Bij groente is de watervoorziening reeds lange tijd gebruikelijk door middel van besproeien; dit hangt samen met de veel hogere baten bij gelijke kosten door de intensieve teelt. Van landbouwkundige zijde verwacht men wel, dat de watervoorziening van de genoemde gebieden in één generatie zijn beslag zal krijgen. In dat tijdsbestek zal dan ook de toevoer uit de rivieren en zoetwaterbekkens, de methode van de waterverdeling, de waterverstrekking en de organisatie geregeld moeten worden. Op al deze punten liggen mede taken voor de civiel-ingenieurs, in dienst van de Rijks- en provinciale waterstaatsdiensten, de waterschappen e.a.

Uit de voorgaande cijfers kan men een waterbehoefte berekenen van 3 à 3½ miljard m^3 water, welke eens in de 10 à 25 jaar benodigd is. Een dergelijk totaalcijfer is van belang voor de vraag, in hoeverre de zoetwaterbekkens, zoals het IJsselmeer en in de toekomst de Zeeuwse- en Zuidhollandse wateren toereikend zullen zijn. De daarin beschikbare hoeveelheid water bij een waterschijf van 0,50 m bedraagt 850 miljoen m^3, dus ongeveer het vierde gedeelte van de behoefte voor de watervoorziening. Het rendement van het aangevoerde water is nimmer 100%. Bij beregening verdampt een deel zonder de grond te bereiken. Bij bevloeiing moet enige doorspoeling plaats vinden in

verband met het gevaar van concentratie van opgeloste chloorverbindingen in de grond. Ook hierbij treedt een sterke verdamping op. Bij infiltratie is veel extra water nodig in de sloten en treedt ook verdamping op. Bovendien moet deze overmaat in de sloten bij regenval vaak weer afgevoerd worden. Bij polders met watertoevoer moet vaak de bemaling voor de waterafvoer worden berekend op de regenval voor het gehele jaar, waardoor het gemaal een grotere capaciteit dient te hebben, daar nu ook de zware zomerregens afgevoerd moeten worden.

22-4. De totale waterbehoefte.

Voor het voorzien in de waterbehoefte komen in aanmerking de rivieren en de zoetwaterbekkens. De invloed van de afvoer van de beken is in tijden, waarin het water nodig is, te verwaarlozen. Voor het ontwerpen, uitvoeren en gebruik maken van de verschillende werken voor de aanvoer en de distributie van het water uit de zoetwaterbekkens en de rivieren naar de verschillende gebieden moet men rekening houden met ongunstige, korte perioden. Een gangbaar uitgangspunt daarvoor is de waterbehoefte over 7 of 10 dagen. De behoefte aan watersuppletie bestaat voor de landbouw en om de kwaliteit van het water te verbeteren.

Voor de landbouw zijn de behoeftecijfers voor de korte perioden bepaald uit de waterbalans. Dit geeft niet geheel betrouwbare cijfers, omdat er te veel onzekere factoren in voorkomen. Onderzoekingen op dit punt zijn nog in volle gang. Een studie van de provinciale waterstaatsdiensten van Noord-Holland, Zuid-Holland, Utrecht met Rijnland in het werkcomité: "Watervoorziening Midden-West Nederland 1957" leidde tot de cijfers voor de waterbehoefte, zoals deze zijn weergegeven in tabel 22-2. Aan de hand van deze cijfers kan voor een bepaald gebied de totale waterbehoefte worden bepaald en kan binnen dit gebied de distributie daarvan door de gewone watergangen van de waterafvoer of door afzonderlijke watergangen worden geregeld. Het brengen van het water bij de plant is nog een zaak apart, evenals de methode, welke bij de watertoevoer wordt gebruikt.
Tabel 22-3 geeft de waterbehoefte voor geheel Nederland. Deze cijfers zijn ontleend aan verschillende publicaties, waardoor de gehanteerde normen waarschijnlijk niet voor alle gebieden dezelfde zijn.

Tabel 22-3. Totale waterbehoefte in Nederland ten behoeve van de landbouw over de ongunstigste periode van 10 dagen in het groeiseizoen.

	waterbehoefte in m^3/sec
- Noord-Holland benoorden het IJ, Friesland, Groningen, delen van Drente en Overijssel	300
- verdamping IJsselmeer	50
- toekomstige inpoldering Waddengebied	50
- gebied, ongeveer begrensd door het Noordzeekanaal, de Gelderse Vallei, de Neder-Rijn, de Lek en de Waterweg	130
- Oost-Brabant en Limburg	85
- West-Brabant en de Zeeuwse- en Zuidhollandse eilanden	70
- de rest van Nederland	50
totaal rond	750 m^3/sec

totaal 10 dagen

Het benodigde water moet worden onttrokken aan de rivieren en aan de zoutwaterreservoirs. Polders, gelegen langs de rivieren, kunnen daaraan rechtstreeks het benodigde water onttrekken. Polders, gelegen in een boezemgebied, kunnen het water onttrekken aan de boezem, welke op zijn beurt het water ontleent aan een rivier of een zoetwaterbekken. Wanneer de polders rechtstreeks lozen op de benedenrivieren of de zee, moet het inlaatwater vaak over een grote afstand, soms via andere boezems, worden aangevoerd vanuit de rivieren. Zo dient bijvoorbeeld de Hollandse IJssel voor de inlaat van zoet water voor de boezem van Rijnland, Delfland en Schieland. In verband met het opdringen van het zoute water op de benedenrivieren is de Hollandse IJssel zeer kwetsbaar en daardoor de achillespees voor de watervoorziening van een groot deel van Zuid-Holland geworden. De Schermerboezem kan het benodigde water ontlenen aan het Noordzeekanaal, hoewel de kwaliteit van het water daar sterk achteruit gaat, en aan het IJsselmeer. Frieslands boezem kan het benodigde water ontlenen aan het IJsselmeer.
De kwaliteit van het inlaatwater is zeer belangrijk. Het water mag niet zout of brak zijn, niet vervuild en moet voldoende zuurstof bevatten. De twee grote vijanden van de goede kwaliteit van het water zijn de verzilting en de vervuiling.
De verzilting van het water treedt op door het noodgedwongen moeten inlaten van zout water bij de schuttingen, de kwel bij de aan zee gelegen polders, de diepe kwel vanuit de mariene (zoute) grondlagen en de geleidelijk voortschrijdende verzilting van de benedenrivieren. Ook nortonputten, wellen en gasbronnen kunnen zout water opleveren, vooral in de diepe droogmakerijen. De kwel is te verminderen door het toepassen van kwelkaden, afzonderlijk bemalen kwelsloten en afdichtende bekledingen. Het zoutbezwaar bij schuttingen is slechts door ingrijpende maatregelen te verminderen. Om tijdens het doorspoelen betere menging van het zoute water, dat in een laag boven de bodem aanwezig is met het zoete, bovenliggende water te bewerkstelligen, worden tegenwoordig wel luchtbelschermen toegepast.
Het opdringen van de zoutgrens op de benedenrivieren wordt voornamelijk veroorzaakt door de steeds toegenomen diepten en de grote havencomplexen voor de scheepvaart. Ook de kwaliteit van het uit Duitsland komende rijnwater gaat steeds verder achteruit en heeft bijna de grens van het toelaatbare bereikt. De drinkwatervoorziening ondervindt hiervan de gevolgen, vooral te Rotterdam, waar in droge tijden ook de plaats van de zoutgrens maatgevend is.
In het begin van de 20e eeuw bevond de zoutgrens zich bij de Rijckevorselse sluis, tot ongeveer 1920 bij de Maassluise Vlieten, tot ongeveer 1930 bij de Vlaardingervaart, omstreeks 1940 bij de Parksluizen en nadert sedertdien steeds meer de mond van de Hollandse IJssel. Daarmede is practisch de toelaatbare grens bereikt. De verzilting kan worden tegengegaan door doorspoelen.
Tabel 22-4 geeft een overzicht van de bruikbaarheid van water met verschillende chloorgehalten.

Tabel 22-4. De bruikbaarheid van water met verschillende chloorgehalten.

chloorgehalte in mg/l	bruikbaarheid
< 300	- geschikt voor alle landbouwdoeleinden en als drinkwater voor de mens
300-500	- kan oogstvermindering geven bij gebruik als gietwater onder glas
500-1000	- in vele gevallen onbruikbaar als gietwater voor groentegewassen en twijfelachtig als spuitwater bij ziektebestrijding bij de fruitteelt

chloorgehalte in mg/l	bruikbaarheid
1000-2000	- begint gevaarlijk te worden als infiltratie- en beregeningswater voor de landbouw. Bij ziektebestrijding in de landbouw vermoedelijk nog geen grote moeilijkheden, evenals bij gebruik als drinkwater voor het vee
2000-5000	- grenstraject als drinkwater voor het vee. Helder is het nog wel bruikbaar; bij rottende stoffen door afgestorven plantengroei ongunstige verschijnselen bij het vee
> 5000	- voor land- en tuinbouw in alle gevallen onbruikbaar.

De vervuiling van het openbare water treedt op door het lozen van afvalwater van fabrieken en rioleringen. Zo loost de riolering van Utrecht op de Vecht, Delft en Den Haag deels op de boezem van Delfland, Haarlem en Leiden op Rijnland en Leeuwarden op Frieslands boezem. Voor zover deze vervuiling optreedt in de wateren, welke ook voor levering van water aan poldergebieden dienst doen of waarbij de volksgezondheid in het geding is, moeten deze worden doorgespoeld zoals geschiedt bij de stadsgrachten van Delft, Leiden, Utrecht, Haarlem en Den Haag.
Industriële vervuiling treedt op, vooral door de Groningse suiker-, strocarton- en aardappelmeelfabrieken, welke in vervuiling gelijk staan met 10 tot 15 miljoen inwoneraequivalenten. Ook de textielindustrie in Twenthe is een belangrijke bron voor de vervuiling van de openbare wateren. Bestrijding van de vervuiling van de openbare wateren is dus een vereiste, ook voor de volksgezondheid. Men gaat daarbij steeds meer over tot het toepassen van zuiveringsinstallaties.

De hoeveelheid water, welke nodig is voor het terugdringen van het zout op de Waterweg bedraagt 500 à 600 m^3/sec. Bij 300 m^3/sec. dringt het zout nog op tot voorbij Krimpen en eerst bij 725 m^3/sec wordt de zoutgrens beneden de Parksluizen gehouden. Voor het Noordzeekanaal is ongeveer 100 m^3/sec nodig. Voor het IJsselmeer is 200 m^3/sec nodig om de helft van het zout door de sluizen in de afsluitdijk te kunnen spuien en 500 m^3/sec voor het viervijfde deel. Voor de overige punten, zoals Hellevoetsluis, Rozenburg, Scheveningen, Katwijk, Den Helder, Harlingen, Zoutkamp en Delfzijl wordt een waterhoeveelheid aangenomen van 100 à 200 m^3/sec. Het totaal is dus rond 1500 m^3/sec, of gedurende korte perioden 1000 m^3/sec. Bij deze hoeveelheid komen nog de waterhoeveelheden, welke nodig zijn voor het doorspuien van de stadsgrachten, welke slechts ten dele zijn begrepen in de bovengenoemde 1000 m^3/sec. Men kan dus stellen, dat gedurende korte perioden minimaal 1000 m^3/sec nodig is voor de bestrijding van de verzilting en de vervuiling van ~~de openbare~~ wateren.

10 dagen

22-5. De beschikbare waterhoeveelheid.
De voorziening in de totale waterbehoefte moet komen uit de grote rivieren en ~~de~~ waterreservoirs. De laagste afvoer van de Rijn bedraagt slechts ongeveer 600 m^3/sec. De laagste afvoer van de Maas bij Lith bedraagt 25 m^3/sec terwijl ~~die van de~~ beken is te verwaarlozen. Deze hoeveelheden zijn ten enen male onvoldoende om aan de eisen van de landbouw (750 m^3/sec) te kunnen voldoen en daarbij tevens te kunnen dienen voor de bestrijding van de verzilting en de doorspoeling. Nu is gelukkig de laagste Rijnafvoer in de groeiperiode ongeveer 1000 m^3/sec. Dit is wel voldoende voor de zoetwatervoorziening, maar niet nog tevens voor het terugdringen van de verzilting en de vervuiling.

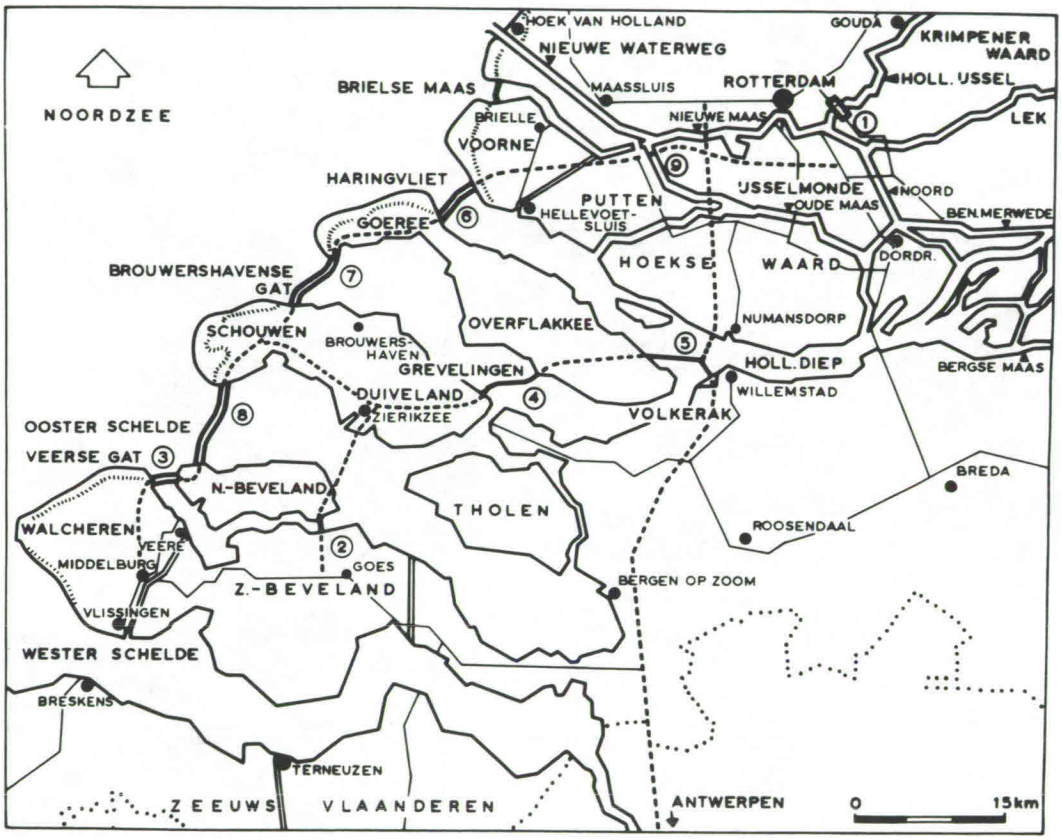
1000 m^3/sec tegen vervuiling & zout
750 m^3/sec voor waterbehoefte
50 m^3/sec voor drinkwater (hoge kwaliteit)

Gebruikt men het water voor deze laatste twee doeleinden, dan blijft er voor de landbouw niets meer over. Doet men dat niet, dan heeft de voorziening voor de landbouw geen zin, omdat het openbaar water verzilt en vervuild is. Slechts, wanneer de verzilting en de vervuiling zeer sterk worden beperkt, kan men dus, met pijn en moeite en prijsgeven van de kwaliteit in droge tijden de zaak min of meer in evenwicht houden. Hier liggen taken voor de civiel-ingenieur voor het bestrijden van het indringen van het zout door de bodem, sluizen en putten.
De afvoer van zoet water door de zeegaten ten zuiden van de Waterweg werd nog verwaarloosd. Door het Haringvliet stroomt 55% van het Rijnwater. Er werd feitelijk stilzwijgend aangenomen, dat de zeearmen afgesloten zullen worden. Er is daar dan echter wel weer zoet water nodig om de verzilting tegen te gaan; deze hoeveelheid kan op 100 m^3/sec gesteld worden.
Spaarbekkens of zoetwaterreservoirs kunnen dienen om het watertekort in korte perioden te overbruggen. Het IJsselmeer (120 000 ha) en het nieuw te vormen Zeeuwse Meer (50 000 ha) kunnen bij een peilverhoging van 0,50 m in totaal 850 miljoen m^3 water opzamelen, hetgeen bij de benodigde hoeveelheid van 750 m^3/sec voldoende is voor ongeveer 2 weken. Het brengen van het water naar de polders en naar de hoge gronden is echter nog een zaak apart. In het algemeen is dit moeilijk, als er geen boezemwateren ter beschikking staan. Bovendien is het een zeer kostbare kwestie. De kosten worden begroot op totaal 3 à 4 miljard gulden.

Men moet oppassen, dat niet door maatregelen in het ene gebied een ander gebied wordt benadeeld. Om de scheepvaart op de IJssel en de watervoorziening rond het IJsselmeer te verbeteren, gaat men de Neder-Rijn kanaliseren, waardoor meer water langs de IJssel wordt gestuurd en de afvoer langs de Neder-Rijn wordt verminderd. Hierdoor ontstaat gevaar voor het opdringen van de zoutgrens langs de Lek. Als remedie daartegen zou het afdammen van de zeegaten meer water langs de Waterweg sturen. Dit laatste blijkt thans, vooral door de grote verdieping van de Rotterdamse Waterweg voor de zeer grote tankers, niet de zekerheid te geven, dat de zoutgrens beneden de mond van de Hollandse IJssel blijft.
Een goed distributiestelsel van het beschikbare water is noodzakelijk, zolang de schaarste voortduurt. Hier ligt dus een terrein van taakverdeling en samenwerking voor rijk, provincie en gemeente. Er zal een soort nationaal beheer van het water moeten komen met functionele decentralisatie, zowel voor de watervoorziening als voor de verzilting en de vervuiling. Grote plannen en grote werken zijn op dit gebied in de toekomst voor de civiel-ingenieur te verwachten.

23. Het Deltaplan.

Het Deltaplan is een modern voorbeeld van de grote verscheidenheid van belangen, welke bij bedijkingen en droogmakerijen in het geding kunnen komen. Hoewel er reeds vóór 1953 plannen bestonden tot afsluiting, waarvan er enkele reeds waren uitgevoerd, namelijk de afdammingen van de Brielse Maas en de Braakman, is het probleem eerst in een acuut stadium gekomen door de stormramp van februari 1953. Met andere grote werken in het verleden is het eerder gebeurd. Zo is bijvoorbeeld de Haarlemmermeer drooggelegd, nadat deze een acute bedreiging ging vormen voor Amsterdam (en Leiden); de Zuiderzeewerken kregen de grote stoot na de stormramp van 1916.
Met de uitvoering van het Deltaplan wordt een kustlijnverkorting verkregen, welke plaatselijk tot een gesloten kustlijn leidt. Een begin daarmede werd reeds gemaakt met de uitvoering van de Zuiderzeewerken. Een voortzetting in de toekomst kan worden verkregen door indijking van het Waddengebied.



hoofdafsluitingen — schema nieuwe wegen

secundaire afsluitingen — bestaande hoofdwegen

beweegbare stormvloedkering

Figuur 23-1. Het Deltaplan.

Behalve een vergroting van de veiligheid tegen overstroming bieden de Zuiderzeewerken en de Deltawerken ook de mogelijkheid tot het vormen van zoetwaterbekkens, recreatiegebieden en betere en kortere wegverbindingen.
Het Deltaplan is vastgelegd in 5 interimadviezen en een eindverslag van de Deltacommissie. De interimadviezen omvatten achtereenvolgens:

- de verhoging van de Schouwense dijk
- de afsluiting van de Hollandse IJssel
- de afdamming van de zeearmen
- de afdamming van het Veeregat en de Zandkreek (Drie-eilandenplan) en nadere beschouwingen in verband met de afdamming van de zeearmen.

De Schouwense dijk was vroeger hoofdwaterkering van het eiland Schouwen en loopt van Zierikzee in noordelijke richting naar Brouwershaven. Gedurende de herstelwerkzaamheden na de ramp van 1953 heeft deze dijk dienst gedaan als slaperdijk. Na de uitvoering van de deltawerken zal de dijk dienst doen als tweede waterkering voor het buitenwater.
De eerste afsluiting na de stormvloedramp was die van de Hollandse IJssel door middel van een hoogwaterkering, bij Krimpen aan de IJssel. De daar achter gelegen dijken waren zeer zwak en gelegen op zeer slappe ondergrond. Bij de stormramp is de dijk aan de zijde van de Krimpenerwaard doorgebroken en een instroming naar het hart van Holland kon alleen worden voorkomen door het midden in de stormnacht laten zinken van een schip, waardoor een gat aan de zijde van Schieland provisorisch kon worden gedicht.
Van de afsluiting van de zeegaten is die van het Haringvliet gepland in 1968/69, het Brouwershavense Gat in 1970 en de Oosterschelde in ± 1978. Het Veeregat is reeds in 1961 afgesloten. Enkele dammen aan de oostzijde van de af te sluiten zeegaten zullen nodig zijn om de hinderlijke stromen en de komberging tijdens de afsluitingswerken te verminderen. Het zijn de dam door het Volkerak, de dam door de Zandkreek en de Grevelingendam. De Volkerakdam dient tevens om het Zeeuwse Meer met zoet water te kunnen vullen en voor de wegverbinding.
Het Deltaplan had oorspronkelijk alleen een waterkerende taak, welke bestond uit een kustlijnverkorting, waardoor de daar achter gelegen dijken tot tweede kering zullen worden gemaakt; waardoor de zo nu en dan voorkomende oevervallen niet zo'n groot gevaar meer zullen opleveren. De mogelijkheid voor een kustweg over de dammen werd reeds bij de eerste plannen opengehouden. Later is het tracé van de dammen geheel veranderd. De toekomstige kustweg zal het gebied van de eilanden vanaf Voorne-Putten tot Walcheren geheel ontsluiten, voornamelijk voor de recreatie. Wanneer er tunnels onder de Rotterdamse Waterweg aanwezig zullen zijn, is er ook een goede verbinding met het overige deel van Zuid-Holland.
De weg over de Volkerakdam ontsluit tevens Goeree. De brug is een tolbrug en is gefinancierd door particulieren. Het rijk neemt de brug over, wanneer de Volkerakwerken geheel uitgevoerd zullen zijn. Door deze brug, de weg door de Hoekse Waard en de Grevelingendam is, behalve Goeree, nu ook Schouwen-Duiveland van het noorden uit ontsloten. Aansluitende op dit traject is door de provincie Zeeland de Oosterscheldebrug gebouwd, welke op 15 december 1965 is geopend. Het gehele gebied van de Zuidhollandse en Zeeuwse eilanden, dat voordien moeilijk bereikbaar was, vooral tijdens storm en ijs, is door deze verbinding goed bereikbaar geworden. Wel was er reeds een verbinding tussen Brabant in de oost-west richting met Zuid-Beveland en Walcheren door een dam, doch deze was van minder belang; de noord-zuid verbinding is de belangrijkste. Alleen de Westerschelde blijft open. De zeehavenactiviteit is daar westwaarts gericht, evenals bij Rotterdam. Met dit gebied is door de nieuwe noord-zuid weg een betere verbinding geschapen.

Voor de stedelijke ontwikkeling zal een spoorwegverbinding een belangrijke rol kunnen spelen. Deze kan bovendien aansluiting geven aan de zeehavenprojecten langs de Westerschelde en in de toekomst via een tunnel onder de Westerschelde naar de tunnel Calais-Dover. Deze verbinding is ook van veel belang voor de internationale treinen, omdat na het gereedkomen van de tunnel Calais-Dover de verbinding Hoek van Holland - Harwich als boottrein wel zal komen te vervallen.

Met soortgelijke argumenten kan ook het belang worden aangetoond van goede noord-zuid gerichte wegverbindingen. De kustweg zal tevens dienst doen als ontsluitingsweg voor de recreatie.

Door de afsluiting van de zeearmen en de Volkerakdam ontstaat een binnenzee, die dienst kan doen als waterbekken voor de zoetwatervoorziening. De verzilting van de eilanden zal een aanzienlijke vermindering ondergaan terwijl een deel van het water zal kunnen worden gebruikt voor de watervoorziening en de doorspoeling.

Vele werken zullen nodig zijn voor de aanpassing aan de nieuwe toestand en de andere waterstanden, welke daarbij optreden, bijvoorbeeld bij de uitwatering en de scheepswerven. Voor de scheepvaartverbinding ontstaat door de afsluiting een toestand zonder getijbeweging, zouter verhoging van de waterstanden door stormvloed en aanzienlijk minder golfbeweging. Daar tegenover staat, dat er tijdens ijswinters vaker ijs zal voorkomen, zoals ook is geschied bij het IJsselmeer. De oester- en mosselcultuur ondervinden grote bezwaren door de afsluiting. De mosselcultuur wordt geleidelijk naar de Waddenzee verplaatst; overplaatsen van de oestercultuur is zeer moeilijk. Ook vele vissers zullen door de afsluiting worden gedupeerd (met nevenbedrijven meegerekend ongeveer 2000 personen). Nationaal gezien spelen de genoemde bezwaren geen grote rol; plaatselijk zijn zij zeer belangrijk.

schrijver	titel	jaar
	Hoofdstuk 2.	
C.H. Edelman	Inleiding tot de bodemkunde van Nederland.	1950
F.J. Faber	Geologie van Nederland, deel III.	1947
F.J. Faber	Geologie van Nederland, deel IV.	1960
F.J. Faber	Zo ontstond Nederland.	1963
W.C.H. Staring	De bodem van Nederland.	1856-1860
P. Tesch	De vorming van de Nederlandse duinkust.	1935
---	Geologische geschiedenis van Nederland. (toelichting bij de geologische kaart).	1956
---	Geologische kaart van Nederland 1 : 200000	1936-1954
---	Bodemkaart van Nederland 1 : 200.000.	1961
---	De bodem van Nederland. (toelichting bij de bodemkaart).	1965
---	Beschrijvingen van de provincies. (behorende bij de Waterstaatskaart).	vanaf 1937
	Hoofdstuk 3.	
G.J. ter Brugge	Enkele kanten van het ontgrondingsvraagstuk. Landbouwkundig Tijdschrift.	1953
	Hoofdstuk 4.	
J. Bennema E.C.W.A. Geuze H. Smits A.J. Wiggers	Inklinkingsdag van de Nederlandse Bodemkundige Vereniging. Landbouwkundig Tijdschrift.	1954
R.J. de Glopper	De inklinking van slappe, subaquatische sedimenten in het IJsselmeer omstreeks 25 jaar na droogvallen. Flevoberichten A.	1963
S. Jelgersma	Onderzoek naar de positieve niveauverandering langs de Nederlandse kust. Rapport nr. 136/280 van de Geologische Stichting.	1961
C.P. Lambregts	Onderzoek naar de klink op het eiland Tholen. Landbouwkundig Tijdschrift.	1957
H. Smits	De inklinking in de Zuidplaspolder Flevoberichten A.	1956
	Hoofdstuk 7.	
S.J. Fockema	Hoofdlijnen van waterschapsrecht; een handleiding tot de studie van het publieke recht en het waterschapsrecht voor bestuurders en ambtenaren van waterschappen.	1956
G.J.C. Schilthuis	Waterschapsrecht.	1960
	Hoofdstuk 8.	
A.A. Beekman	Nederland als Polderland.	1932
R.H.A. Cools	Strijd om de grond in het lage Nederland.	1948
H.A.M.C. Dibbits	Nederland Waterland.	1950
---	Beschrijvingen van de provincies. (behorende bij de Waterstaatskaart)	vanaf 1937
---	Waterstaatskaart van Nederland 1 : 50.000.	vanaf 1865
---	Polders en polderpeilen. Landbouwkundig Tijdschrift.	1957

schrijver	titel	jaar
	Hoofdstuk 9.	
A.G. Bruggeman	Nieuw land.	1951
R.J. de Glopper	De mechanisatie van het graafwerk in de Noord-Nederlandse landaanwinning. Land en Water.	1962
P.W. Kalkwijk	De landaanwinning in het Zuider-Sloe. Weg- en Waterbouw.	1954
P.W. Kalkwijk	Landaanwinning in de Delta. Land en Water.	1957
K. Nicolai	De constructie van rijzen dammen en de aanleg van bezinkvelden bij de landaanwinningswerken. Polytechnisch Tijdschrift.	1962
---	Landaanwinningswerken voor de Westkust van Denemarken en Sleeswijk-Holstein. Polytechnisch Tijdschrift.	1958
---	Landaanwinningsdag van de Nederlandse Bodemkundige Vereniging, Groningen, 20-21 mei 1949. De Ingenieur.	1949
	Hoofdstuk 10.	
L.D. Baver	Soil-physics.	1948
C. van den Berg	Hydrologie in de landbouw. De Ingenieur.	1958
L.J.L. Dey	De verdamping van het bodemwater in Nederland.	1943
F. Hellinga	Regeling van de polderwaterstand.	1956
E. Klapp	Ertragssteigerung und Wasserverbrauch landwirtschaftlicher Kulturen. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung.	1962
B. Prummel	Cultuurtechnische ervaringen bij de ontginning van de Zuiderzeepolders. Landbouwkundig Tijdschrift.	1950
W.H. Sieben	Het verband tussen ontwatering en opbrengst bij de jonge zavelgronden in de Noordoostpolder. Van Zee tot Land Nr. 40	1964
Ph.Th. Stol	Grondwaterstanden onder verschillende klimatologische omstandigheden. Landbouwkundig Tijdschrift.	1960
G.G.M. van der Valk J.A. Schoneveld	Invloed van grondwaterstand op de produktie van enkele gewassen op klei- en zavelgronden. Meded.56. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding.	1963
J. Wesseling	Enige aspecten van de waterbeheersing in de landbouwgronden.	1957
---	Polders en polderpeilen. Landbouwkundig Tijdschrift.	1957
	Hoofdstuk 11.	
G.W. Bloemen	Over de aanpassing van de slootpeilen aan de vereiste grondwaterdiepte. Meded. 6. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding.	1958
D.W. Scholte Ubing	Relaties tussen grond- en slootwaterstanden in laaggelegen graslandgebieden van de	1963

schrijver	titel	jaar
	Lopikerwaard met bodemprofiel van klei op veen. Landbouwkundig Tijdschrift.	
W.C. Visser	Afweging van de mogelijkheden tot verbetering van de waterhuishouding in gebieden met ongelijke maaiveldhoogte. Meded. 68 Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding.	1964
---	Cultuurtechniek. Voordrachten, behandeld op de B-cursus van 8-11 september 1953.	1955
---	Polders en polderpeilen. Landbouwkundig Tijdschrift.	1957

Hoofdstuk 12.

L.H. Bouwman	Onderhoud en vernieuwing van buizendrainages. Polytechnisch Tijdschrift.	1953
J.H. Bouwmans	Het bepalen van de Drainageafstand met behulp van de Boorgatenmethode. Landbouwkundig Tijdschrift.	1953
J.H. Engelhardt	Beschouwingen over het doel en het wezen van drainage.	1958
L.F. Ernst	Grondwaterstromingen in de verzadigde zone en hun berekening bij aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen.	1962
B. Fokkens	De methodiek van het onderzoek naar de vereiste greppel- en drainafstanden in de IJsselmeerpolders. Flevoberichten A.	1962
L.L. Fouss	New machine lays plastic drains. Civil Engineering	1963
M.A. Hemminga	Aspecten van de technische zijde van het draineren in de IJsselmeerpolders. Flevoberichten A.	1963
S.B. Hooghoudt	Bijdragen tot de kennis van enige natuurkundige grootheden van de grond.	1940
C. Husemann K. Pahlke	Vergleichende Feldversuche mit Dränrohren aus Kunststoff und Ton. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung.	1965
A.W. de Jager	Diameter en perforatie van plastic drains. De Ingenieur.	1960
H. Knobloch	Dränung mit neuen Möglichkeiten. Zeitschrift für Kulturtechnnik und Flurbereinigung.	1963
H. Knobloch	Neuer Werkstoff beeinflusst die Dräntechnik. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung.	1964
B.A. van Nes	Overzicht betreffende de doorlatendheid van de bodem. Versl. Med. Comm. Hydrol. Onderz. T.N.O.	1960
C.L. v.Someren	De ontwikkeling van de techniek van machinale drainage. Landbouwkundig Tijdschrift.	1959
S. Spanjer	Rietdrainage in de Noordoostpolder. Flevoberichten A.	1957
W.C. Visser	Wie beeinflusst das Speicherungsvermögen den Dränabstand. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung.	1962

schrijver	titel	jaar
J.G. Wesdorp	De ontwikkeling van horizontale drainering. Polytechnisch Tijdschrift.	1961
J. Wesseling	Enige aspecten van de waterbeheersing in de landbouwgronden.	1957
J. Wesseling	The relation between rainfall, drain discharge and depth of the water table in tile drain. Netherlands Journal of Agricultural Science.	1958
J. Wesseling W.R. van Wijk	Optimal depth of drainage. Netherlands Journal of Agricultural Science.	1955
J. Wesseling	Toepassing van plastic bij drainage. Landbouwkundig Tijdschrift.	1961
---	Drainagevraagstukken. Voordrachtenserie van de Cultuurtechnische vergadering op 16 mei 1952. Landbouwkundig Tijdschrift.	1952

Hoofdstuk 13.

K.S. Feitsma H. Smits	Over de verharding van kavelpaden. Flevoberichten A.	1964
J. Leclerq L. Sine	De landbouwwegen. deel IV. Afmetingen van de percelen en planning van het wegennet. Studie-Dokumentatiecentrum voor Boerderijwerken, Gent.	1964
B. Prummel	Cultuurtechnische ervaringen bij de ontginning van de Zuiderzeepolders. Landbouwkundig Tijdschrift.	1950
A. Rienks	Cultuurtechnische aspecten van de streekontwikkeling. Landbouwkundig Tijdschrift.	1956
J.W. Righ	Enige aspecten van het vooronderzoek bij ruilverkaveling op het gebied van de verkaveling en de ontsluiting. Landbouwkundig Tijdschrift.	1955
---	Cultuurtechniek. Voordrachten, behandeld op de A-cursus van 7 t/m 9 januari 1964.	1964
---	Beschrijvingen van de provincies. (behorende bij de Waterstaatskaart).	vanaf 1937
---	Waterstaatskaart van Nederland; 1 : 50.000.	vanaf 1865

Hoofdstuk 14.

B. Fokkens J.C. de Koning	Drainage in the Zuiderzee-reclamations. Int.Comm.Irrig. and Drain. 4th Congr. Madrid, Trans. Vol. II.	
---	Een structuurplan voor de zuidelijke IJsselmeerpolders, Dienst der Zuiderzeewerken.	1961
---	Het verkavelingsplan voor Oostelijk Flevoland. Driemaandelijks bericht betreffende de Zuider zeewerken.	1957

Hoofdstuk 15.

J.L. Breeman	Van greppel tot watering.	1945
W. van Rossum	Kosten van aanvoer door open waterlopen naar behoeftige landbouwgronden in Nederland. Landbouwkundig Tijdschrift.	1956
---	Cultuurtechniek. Voordrachten, behandeld op de B-cursus van 8-11 september 1953.	1955
---	Richtlijnen voor het ontwerpen van open	1958

schrijver	titel	jaar
	waterlopen en van sommige bijbehorende kunstwerken. Opgesteld door de werkgroep waterlopen van de Cultuurtechnische Vereniging.	
	Hoofdstuk 16.	
S.H.A. Begemann	Toepassing van de waarschijnlijkheidsleer op hydrologische waarnemingen. De Waterstaats-Ingenieur.	1931
C. Braak	Het klimaat van Nederland.A. Neerslag. Meded. en Verhandelingen KNMI, nr. 34 b.	1934
---	Frequenties van k-daagse neerslagsommen op Nederlandse stations.	1956 ev
---	Jaarboek A, Meteorologie.	jaarlijks
	Hoofdstuk 17.	
C. Braak	Het klimaat van Nederland. E. Verdamping. Meded. en Verhandelingen KNMI, nr. 39.	1936
L.J.L. Dey	Algemene beschouwingen over het probleem van de verdamping. Versl.Med.Comm.Hydrol.Onderz. TNO.	1960
C. Kramer	Berekening van de gemiddelde grootte van de verdamping voor verschillende delen van Nederland volgens de methode van Penman.	1957
M. Snijdelaar	Verdampingsonderzoek in de Rottegatspolder. Land en Water.	1957
A.H. Stam	Een Verdampingsonderzoek in den Rottegatspolder in de gemeente Ten Boer van de Provincie Groningen. De Ingenieur.	1946
---	Cultuurtechniek. Voordrachten, behandeld op de B-cursus van 8-11 september 1953.	1955
	Hoofdstuk 18.	
G.W. Bloemen	Het onderzoek naar de waterbalans van landbouwgronden. Meded. van de Cultuurtechnische Vereniging.	1960
	Hoofdstuk 19.	
R. Wind Hzn.	Rapport inzake de lysimeters in Nederland.II. Versl. Med. Comm. Hydr. Onderz. TNO.	1960
---	Jaarboek A. Meteorologie.	jaarlijks
	Hoofdstuk 20.	
C. Bijkerk	Problemen van waterafvoer in agrarische gebieden. Meded. 58. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding.	1963
P. de Gruyter	Schets van Rijnlands boezembeheer. Landbouwkundig Tijdschrift.	1950
D.A. Krayenhoff	A study of non-steady groundwater flow with special reference to a reservoir coëfficiënt. De Ingenieur.	
G.P. Wind	Gevolgen van wateroverlast in de moderne landbouw. Meded. 54. Instituut voor Cultuurtechniek en	

schrijver	titel	jaar
	Waterhuishouding.	
---	Rapport inzake de bemaling van Frieslands boezem. Provinciale Waterstaat van Friesland.	1956

Hoofdstuk 21.

C. Bijkerk	Problemen van waterafvoer in agrarische gebieden. Meded. 58. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding.	1963
A. Franke	De afwatering van polders. Polytechnisch Tijdschrift.	1952
P. de Gruyter	Schets van Rijnlands boezembeheer. Landbouwkundig Tijdschrift.	1950
J.P. Mazure	Berekening van de sluisgang in een kanaal-boezem. De Ingenieur.	1933
J.C. le Nobel	Drie gemalen voor Oostelijk Flevoland. Bouw.	1956
---	Beschrijvingen van de provincies. (behorende bij de Waterstaatskaart).	vanaf 1937
---	Waterstaatskaart van Nederland 1:50.000.	vanaf 1865

Hoofdstuk 22.

C. Baars	Kunstmatige beregening en de toepassing daarvan. Landbouwkundig Tijdschrift.	1957
C. Baars	De kunstmatige beregening op de droogtegevoelige zandgronden. Landbouwkundig Tijdschrift.	1954
C. Baars A.J. Hellings L. Wartena	Beregening in de landbouw.	1956
H. Baumann N. Schendel	Ergebnisse dreijähriger Beregnungsversuche im norddeutschen Klimaraum auf einem schleswig-holsteinischen Heidesandboden. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung.	1965
A.G. Bruggeman	De kwaliteit van het Rijnwater. deel I en II. Polytechnisch Tijdschrift.	1961
L.F. Ernst Th.J. Ferrari	Verbetering van de watervoorziening van een zandgebied door middel van verhoging van de waterspiegel. Landbouwkundig Tijdschrift.	1955
M.M.M. van Gent.	Beregening met afvalwater. Landbouwkundig Tijdschrift.	1957
A.J. Hellings	Resultaten van beregeningsproeven in N.-Limburg. Meded. 5. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding.	1956
L.J.A. de Jonge	Indrogende gronden rondom de Noordoostpolder. Tijdschrift der Nederlandse Heidemij.	1949
C. Kalisvaart	Subirrigation in the Zuiderzeepolders.	1958
C. Kalisvaart	Ervaringen met de infiltratie in de Noordoostpolder. Flevoberichten A.	1958
C. Kalisvaart	Watervoorziening door infiltratie en haar landbouwkundige aspecten. Landbouwkundig Tijdschrift.	1957

schrijver	titel	jaar
F.L.A. Maandag	De wateraanvoer voor droge gronden. Landbouwkundig Tijdschrift.	1954
Th. Oehler	Niederschlagsprofil und Höhenschichtenplan in der Drehstrahlberegnung. Der Kulturtechniker.	1960
A.D. Oostra	De opzet van de wateraanvoerplannen voor Zuid-Nederlandse zandgronden. Meded.71. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding.	1964
D.W. Scholte Ubing	Aantekeningen bij de bepaling van de zoetwatersuppletie ten behoeve van landbouwgronden in midden-west Nederland: Regionale verschillen in neerslag, verdamping en bodemvochttekorten. Landbouwkundig Tijdschrift.	1965
J.H. Snijders	Het Nederlandse verziltingsvraagstuk. Meded. 20. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding.	1960
Ph.Th. Stol B. Vrijhof	De landbouwwaterhuishouding in de provincie Zuid-Holland (COLN).	1958
C.G. Toussaint	Effect van rijenafstand en beregening bij zomertarwe op zandgrond. Landbouwkundig Tijdschrift.	1965
K.F. Valken	Het onderzoek ten behoeve van het Zeeuwse Meer. Versl.Med.Comm.Hydrol.Onderz. TNO.	1961
J.G. Wesdorp	Watersuppletie in de landbouw. Polytechnisch Tijdschrift.	1960
J.G. Wind	Indrogende gronden langs de Noordoostpolder. Polytechnisch Tijdschrift.	1953
J.W. Zeeuw	Hoe draineerde men 100 jaar geleden? Tijdschr. Nederlandse Heidemij.	1960
---	Cultuurtechniek. Voordrachten, behandeld op de A-cursus van 7 t/m 9 januari 1964.	1964
---	De waterbehoefte in midden-west Nederland in zeer droge perioden. Rapport van het werkcomité watervoorziening Midden-west Nederland.	1957
---	De waterbehoefte van de Tielerwaard-West. Interimrapport van werkgroep 1; Commissie ter bestudering van de waterbehoefte van de Gelderse landbouwgebieden.	1961
---	Verslag van de technische bijeenkomst (16). Commissie voor hydrologisch onderzoek TNO.	1962
---	Waterstaatskaart van Nederland, 1 : 50.000.	vanaf 1865

Hoofdstuk 23.

---	Rapport Deltacommissie, deel I. Eindverslag en Interimadviezen.	1960