

KONINKLIJK NEDERLANDS METEOROLOGISCH INSTITUUT

WETENSCHAPPELIJK RAPPORT
SCIENTIFIC REPORT

W.R. 78-5

J.Q. Keijman en W. Schipper

Waterhuishouding lysimeters Castricum 1967.
Een vergelijking van de verdamping berekend
uit de waterbalans met de verdamping volgens Penman.



De Bilt, 1978

Publikationsnummer K.N.M.I. W.R. 78-5 (M.O.)

U.D.C.: 551.574 : 551.579

SUMMARY

In the years 1940-1941 4 large lysimeters were built in the sand dunes near Castricum by the Provincial Water Supply Works of North-Holland. The lysimeters consist of concrete boxes, 25 m wide, 25 m long and 2.5 m deep. At a depth of 2.25 m a drainage system is provided by which the daily amount of drain water is measured. Except lysimeter I which remained bare, each lysimeter got its own planting that is continued in the surroundings. Lysimeter II has a natural dune vegetation consisting of grasses and bushes, lysimeter III has a planting of deciduous trees (oaks, alder trees and birches) and lysimeter IV a planting of pines. The installation has been in operation in the years 1942-1971. Meteorological quantities such as precipitation, temperature and humidity of the air, windspeed and sunshine duration were measured daily. In the period 1961-1971 Rijkswaterstaat carried out soil moisture measurements by the neutron diffraction method in 2 or 3 tubes in each lysimeter.

In the present study the water balance of the year 1967 has been investigated. Evaporation calculated from the water balance for periods of 2 weeks, proved to be very erratic (fig. 8). This is mainly due to the low accuracy of the determination of the average moisture content of the lysimeters. Therefore the evaporation values were smoothed (fig. 9). No correlation was found between average moisture content and the ratio f of the smoothed values of evaporation and evaporation according to Penman (fig. 12, 13, 14 and 15).

Evaporation could be determined from the water balance with a reasonable accuracy for periods of 3 months. Rather striking is the result that evaporation in winter is 0.8-1.5 mm/day whereas the Penman evaporation is only 0.2 mm/day (See the upper table on page 11). This leads to very large f -values (see the lower table on page 11). It is clearly necessary to modify the Penman formula in the case of very rough surfaces as has been proposed recently by Thom and Oliver (1977).

The influence of vegetation on evaporation is very clear if yearly totals are considered. The f -values range from 0.3 for bare soil to 1.1 for coniferous trees (table 6). These values, however, cannot be used for the separate seasons.

Koninklijk Nederlands Meteorologisch
Instituut,
Wilhelminalaan 10,
3730 AE De Bilt / Nederland.

Legends to figures.

1. Location of the lysimeters at Castricum.
2. Construction of the lysimeters.
3. Neutron probe for soil moisture.
4. Moisture content (mm) measured in tubes A and B in lysimeter I.
5. Moisture content (mm) measured in tubes A, B and C in lysimeter II.
6. Moisture content (mm) measured in tubes A, B and C in lysimeter III.
7. Moisture content (mm) measured in tubes A and B in lysimeter IV.
8. Evaporation calculated from water balance data for periods of approximately 2 weeks.
9. The same evaporation after smoothing.
10. The evaporation according to Penman and the smoothed values of evaporation from lysimeters I and II.
11. The same for lysimeters III and IV.
12. Relationship between soil moisture on the ratio of real and potential evaporation for lysimeter I.
13. The same for lysimeter II.
14. The same for lysimeter III.
15. The same for lysimeter IV.
16. Drain of the 4 lysimeters as a percentage of precipitation for yearly totals.
17. Yearly totals of precipitation, evaporation according to Penman and evaporation from the 4 lysimeters.

Legends to tables.

1. Moisture content (M) per tube and per lysimeter.
2. The change in moisture content ($M_2 - M_1$), precipitation (ΣN), drainage (ΣD) and evaporation V of the 4 lysimeters.
3. Smoothed values (V_i') and unsmoothed values (V_i) of evaporation in mm/day.
4. Evaporation according to Penman in mm per period (E_0) and in mm/day (E_0).
5. Smoothed values of evaporation (V_i'), \bar{E}_0 , average moisture content of the 4 lysimeters and the ratio $\frac{V_i'}{\bar{E}_0}$.
6. Yearly totals of drain (D), evaporation ($R-D$) and the ratio $f = (R-D)/E_0$.

Inhoud.

1. Inleiding.

- 1.1 algemeen.
- 1.2 constructie lysimeters.
- 1.3 begroeiing lysimeters.

2. Bodemvochtmetingen.

- 2.1 algemeen.
- 2.2 neutronen sonde.
- 2.3 berekening vochtinhoud profiel.
- 2.4 resultaten bodemvochtmetingen.

3. Verdamping.

- 3.1 algemeen.
- 3.2 verdamping uit waterbalans.
- 3.3 verdamping volgens Penman.
- 3.4 vergelijking van de verdamping volgens Penman met de verdamping uit de waterbalans.
- 3.5 verband tussen bodemvochtgehalte en het quotiënt van de reële- en potentiële verdamping.
- 3.6 de invloed van de begroeiing op de hoeveelheid nuttige neerslag.
- 3.7 de invloed van de begroeiing op de verdamping.
- 3.8 correlatie tussen de jaartotalen van de neerslag en verdamping.
- 3.9 de verdampingstotalen per seizoen.

4. Discussie.

1. Inleiding.

1.1 Algemeen.

In de jaren 1940-1941 zijn voor de Provinciale Waterleiding Maatschappij Noord-Holland in de duinen bij Castricum op ± 2 km van de kust 4 lysimeters gebouwd op een vrij vlak terrein met een maaiveldhoogte van 3.75 m + N.A.P. (zie figuur 1).

Van deze lysimeters is gedurende de jaren 1942-1971 elke dag de ondergrondse afvoer nauwkeurig bepaald. Er zijn ook goede neerslagmetingen beschikbaar die met een grondregenmeter verricht zijn. Voor nadere gegevens betreffende de bouw van de lysimeters en meteorologische en hydrologische waarnemingen gedurende de beginperiode van het project, zij verwezen naar (1), (2), (3), (7) en (8). Door Wind (11) en (12) zijn de uitkomsten van Castricum vergeleken met die van andere lysimeterinstallaties in Nederland. In (9) vindt men o.a. de maandtotalen van neerslag en nuttige neerslag (drain), grondwaterstanden en een vergelijking van regenmeteropstellingen.

Ten einde de verdamping uit de waterbalans te kunnen berekenen voor perioden korter dan een jaar, zijn bodemvochtmetingen noodzakelijk. Deze metingen zijn door Rijkswaterstaat verricht in de jaren 1961-1971.

Tevens zijn er dagelijks verschillende meteorologische grootheden gemeten zoals temperatuur, relatieve vochtigheid, zonneschijnduur en windsnelheid waarmee de verdamping volgens Penman berekend is. Het doel van dit verslag is de verdamping uit de waterbalans voor perioden tussen de tijdstippen van grondbemonstering te bepalen en vervolgens na te gaan of er een verband bestaat tussen deze verdamping, de verdamping volgens Penman en het bodemvocht.

In eerste instantie zullen hiervoor de meetgegevens van het jaar 1967 gebruikt worden.

1.2 Constructie lysimeters.

Elke lysimeter bestaat uit een aan de bovenkant open bak van gewapend beton, met een lengte en breedte van 25 m en enigszins afgeronde hoeken, terwijl de bak 2.50 m diep is. De lysimeter is gevuld met duinzand afkomstig uit de bouwput of directe omgeving. Voor de afvoer van het drainwater zijn op de bodem van de bak afvoergoten van 25 cm hoogte gemaakt. Ter voorkoming van het binnendringen van zand zijn deze goten voorzien van dekplaten met grindpakkingen. Deze dekplaten rusten op verhogingen van de gootrand of

op nokken langs de zijwand. Het zand in de lysimeter is dus tot 25 cm verzadigd met water, zodat het grondwaterpeil in de lysimeter overeenkomt met het gemiddelde grondwaterpeil buiten de lysimeter. In een droge periode kan het grondwater dat zich in de lysimeter bevindt, echter verdwijnen daar door het gotenstelsel wel water afvoer maar geen toevoer plaatsvindt. Het gotenstelsel mondt uit in een verzamelput die zodanig is geconstrueerd dat daarin verdamping of toevoer van condensatiewater praktisch uitgesloten is. Via een gietijzeren leiding staat deze verzamelput in verbinding met een meetput, waarin de hoeveelheid duinwater elke dag bepaald kan worden (zie figuur 2).

1.3 Begroeiing lysimeters.

lysimeter I: is onbegroeid, spontaan optredende plantengroei wordt door regelmatig wieden verwijderd, terwijl het zand tegen verstuiven beschermd is door in het zand gestoken dood materiaal.

lysimeter II: heeft een zo natuurlijk mogelijke duinvegetatie, zoals helm, bramen, zoden, kruipwilg en duindoorn, die langzamerhand een dominerende plaats is ingaan nemen. Ook de naaste omgeving is op dezelfde wijze begroeid.

lysimeter III: en de omgeving daarvan heeft een loofhout vegetatie bestaande uit eik, els en beuk. De hoogte van de eik op de lysimeter in 1967 was 5.00 m, daarbuiten 5.75 m.

lysimeter IV: en de omgeving daarvan heeft een naaldhoutvegetatie van oostenrijkse dennen. Hoogte in 1967, na dunning in 1954, op de lysimeter was 8.00 m, daarbuiten 9.00 m.

2. Bodemvochtmetingen.

2.1 Algemeen.

In het meetjaar 1967, lopend van 12-1-1967 t/m 8-1-1968, is 24 maal het bodemvochtgehalte bepaald m.b.v. neutronen-sondes.

De tijdsduur tussen de meetperioden is echter niet gelijk. Bovendien konden op 1 dag slechts 2 lysimeters bemonsterd worden. Dit werd gedaan op 13 niveaus t.w. 20, 30, 40, 60, 90, 120, 150, 170, 190, 200, 210, 220 en 230 cm en elk niveau 2 à 3 keer gedurende 1 minuut. De volgende dag werden de andere 2 lysimeters afgewerkt.

In lysimeter I (kaal) en IV (naald) werd in 2 buizen en in lysimeter II (duin) en III (loof) in 3 buizen gemeten.

De metingen werden verricht met 2 sondes met verschillende ijkingen.

2.2 Beschrijving en werking neutronen-sondes.

De draagbare uitrusting voor de bepaling van het bodemvochtgehalte volgens de "neutronen-verstrooiingsmethode" bestaat uit een radio-actieve bron met een detector en een telcircuit dat de pulsen van de detector afleesbaar verwerkt. Tevens is aan het telcircuit een instelbare tijd klok verbonden. Het telcircuit bevat meestal ook de gelijkspanningsvoeding (oplaadbare batterijen). Onder in het detectie gedeelte zit de radio-actieve bron, die in een daarvoor bestemde buis tot de gewenste diepte wordt neergelaten in de grond, met daarboven een gastelbuis gevuld met borium tri fluoride (BF_3), verrijkt met B^{10} .

Onafhankelijk hiervan is een voorversterker ingebouwd, die de kort durende elektrische pulsen moet versterken. (zie figuur 3). De neutronen-verstrooiingsmethode is gebaseerd op het feit dat snelle neutronen, uitgezonden door een radio-actieve bron afgeremd en verstrooid worden door botsingen met andere kernen, bijna uitsluitend door waterstof (H) kernen, en dan overgaan in thermische neutronen. Daar in de bodem waterstof kernen vrijwel uitsluitend in het bodemwater voorkomen, is de afremming dus ook een maat voor het vochtgehalte in de bodem.

Wanneer de thermische neutronen in botsing komen met de B^{10} in de detector, treedt een kernreactie op, hierbij wordt lithium gevormd en komen α -deeltjes vrij, die sterk ioniserend werken. Hierdoor neemt het geleidend vermogen van het gas toe en er treedt een verandering op in de over de buis staande spanning. Deze kortdurende

elektrische schommelingen worden door het telcircuit afleesbaar gemaakt.

2.3 Berekening van de vochtinhoud van het profiel.

Aan het begin en aan het einde van elke meetdag werd de sonde geijkt in een standaardmonster (parafine) en vergeleken met de fabrieksijsking. De gevoeligheid van de apparatuur kan nl. veranderen door wijziging van de activiteiten van de bron, de gevoeligheid van de gastelbuis en van de toestand van de elektrische installatie. Ook de klok werd voor en na de metingen geijkt. De ingestelde meettijd is één minuut.

Dit zou bij controle met de net frequentie van 50 Hz, $50 \times 60 = 3000$ pulsen moeten opleveren. De tijdens het meten verkregen tellingen worden dus gecorrigeerd voor afwijkingen van de sonde en van de klok. Tevens moet op de uitkomst van de metingen een correctie toegepast worden voor de dikte van de buiswand. In Castricum is dit een vaste correctie factor van 1,22. De totale correctie wordt dus:

$$1,22 \frac{\text{fabriekstelling}}{\text{controle telling}} \times \frac{3000}{\text{aantal controle pulsen}} = \text{correctie factor.}$$

De meetgegevens worden nu met deze correctie factor vermenigvuldigd. Men krijgt dan de gecorrigeerde telling per diepte.

Met behulp van de ijking van de sondes, worden de gecorrigeerde tellingen omgerekend in vochtpercentage. Onder vochtpercentage wordt verstaan de volumefractie vloeibaar water uitgedrukt in procenten. ($\text{cm}^3 \text{ water} / \text{cm}^3 \text{ materiaal} \times 100$).

IJking sonde II

$$\begin{aligned} \text{gecorrigeerde telling } n \geq 1700: & \text{ vochtperc. } m = n \cdot 387 \cdot 10^{-5} + 2,0 \\ n < 1700: & \quad \quad \quad m = n \cdot 5,0 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

IJking sonde I

$$\begin{aligned} \text{gecorrigeerde telling } n \geq 1500: & \text{ vochtperc. } m = n \cdot 4,5 \cdot 10^{-3} + 1,6 \\ n < 1500: & \quad \quad \quad m = n \cdot 5,6 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

Men krijgt nu de vochtpercentages per diepte, m_1 t/m m_{13} .
Voor de berekening van de toatale vochtinhoud, van 0-250 cm,
wordt ook nog de dikte van de laag waarvoor m_1 t/m m_{13} af-
zonderlijk gelden, in rekening gebracht. En wel als volgt:

m_1 (20 cm) is vochtperc. in laag 0-25 cm = 25 cm.

m_2 (30 cm) is vochtperc. in laag 25-35 cm = 10 cm.

m_3 (40 cm) is vochtperc. in laag 35-50 cm = 15 cm.

etc.

Vochtinhoud 0-250 cm wordt dus $M = 2,5 m_1 + m_2 + 1,5 m_3 + 2,5 m_4 + 3,0 m_5 + 3,0 m_6 + 2,5 m_7 + 2,0 m_8 + 1,5 m_9 + m_{10} + m_{11} + m_{12} + 2,5 m_{13}$. (mm).

2.4 Resultaten bodemvochtmetingen.

In tabel 1 staan de uitkomsten van de vochtinhoud (M) van 0-250 cm in mm per buis per lysimeter. Deze gegevens zijn in figuur 4 t/m 7 in grafiek gebracht.

In lysimeter I (kaal) is buis B nagenoeg altijd hoger dan buis A. In de andere lysimeters is er geen systematisch verschil tussen de buizen. De verschillen in mm tussen de buizen op 1 meetdag was voor de 4 lysimeters als volgt:

		Grootste	Kleinste
lysimeter I	(kaal)	90.2	10.4
	II (duin)	86.9	2.0
	III (loof)	75.8	1.4
	IV (naald)	64.8	0.4

De gem. vochtinhoud van lysimeter I (kaal) schommelde in 1967 tussen 470 - 550 mm.

De gem. vochtinhoud van lysimeter II (duin) schommelde in 1967 tussen 310 - 480 mm.

De gem. vochtinhoud van lysimeter III (loof) schommelde in 1967 tussen 280 - 450 mm.

De gem. vochtinhoud van lysimeter IV (naald) schommelde in 1967 tussen 230 - 410 mm.

In lysimeter II, III en IV komen de laagste waarden voor in de zomer of in de herfst en de hoogste in de winter. In lysimeter I (kaal) is dit niet het geval, de seizoenen hebben hierop geen invloed.

Lysimeter I heeft het gehele jaar drain, $\bar{M} \geq 470$ mm.

Lysimeter II geen drain in de maanden juli t/m okt., $\bar{M} \geq 310$ mm.

Lysimeter III geen drain in de maanden juli t/m okt., $\bar{M} \geq 280$ mm.

Lysimeter IV geen drain in de maanden juli t/m okt., $\bar{M} \geq 230$ mm.

Gedurende een deel van het jaar hebben lysimeter II, III en IV dus geen afvoer. Toch is er steeds vrij veel water in het profiel aanwezig, vooral onder in de lysimeters. Zelfs bij lysimeter IV daalt daar het vochtpercentage niet beneden 34% (verzadiging bij 40-45%).

Het is derhalve niet waarschijnlijk dat de verdamping ver onder het potentiële niveau zal dalen.

3. Verdamping.

3.1 Algemeen.

In de nabijheid van lysimeter I (kaal) zijn vele jaren verschillende meteorologische grootheden gemeten. De voor dit verslag van belang zijnde grootheden zijn zonneshijnduur, windsnelheid, luchttemperatuur en -vochtigheid en neerslag gemeten met een grondregometer. Verder werd elke dag het drainwater uit de lysimeters bepaald.

3.2 Verdamping uit de waterbalans.

De verdamping als restterm uit de waterbalans kan als volgt berekend worden:

$$V = \sum_{i=1}^n N_i - \sum_{i=1}^n D_i - (M_2 - M_1)$$

waarin M_1 = vochtinhoud in mm gemiddeld over 2 of 3 buizen aan het begin van de balansperiode.

waarin M_2 = vochtinhoud in mm gemiddeld over 2 of 3 buizen aan het einde van de balansperiode.

N = neerslag per etmaal in mm.

D = drain per etmaal in mm.

V = verdamping per balansperiode in mm.

n = aantal dagen in beschouwde balansperioden.

In tabel 2 is voor alle 4 de lysimeters de verdamping berekend per balansperiode in mm. Deze gegevens zijn in fig. 8 in grafiek gezet. De uitkomsten in deze grafiek zijn onbevredigend, wegens de pieken die door de nullijn gaan. Dit zou betekenen dat er ook in voorjaar en zomer perioden zijn waarin de condensatie de verdamping overtreft. Dit moet uitgesloten worden geacht.

De verschillen tussen de lysimeters vertonen een niet systematische fout, die in hoofdzaak veroorzaakt wordt door een grote onnauwkeurigheid in de bepaling van het bodemvocht (M).

Tevens is het beter de verdamping uit te drukken in mm/dag, wegens de ongelijke lengte van de waterbalansperiode. Om alsnog het verschillende gedrag der lysimeters zichtbaar te maken is gladstrijken van de V-waarden noodzakelijk.

Wanneer M_i de vochtinhoud is van het profiel op de grens van de balansperioden $i-1$ en i dan geldt voor de fout in V_{i-1} , tengevolge van fouten in M aan het begin en einde van de periode $i-1$.

$$\delta V_{i-1} = \delta M_{i-1} - \delta M_i$$

$$\delta V_i = \delta M_i - \delta M_{i+1}$$

$$\delta V_{i+1} = \delta M_{i+1} - \delta M_{i+2}$$

Door middeling van V_{i-1} en V_i wordt δM_i geëlimineerd en door middeling van V_i en V_{i+1} wordt δM_{i+1} geëlimineerd.

Een eenvoudige gladstrijk procedure is nu om V_i te vervangen door het gemiddelde van de 2 bovengenoemde gemiddelden.

Men krijgt dan $V_i^1 = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{2}(V_{i-1} + V_i) + \frac{1}{2}(V_i + V_{i+1}) \right\} = \frac{1}{4}V_{i-1} + \frac{1}{2}V_i + \frac{1}{4}V_{i+1}$

De fout in V_i hangt af van de fouten in de 4 M-bepalingen waardoor een zekere vereffening ontstaat.

Bij de afleiding van deze relaties is V_i de verdamping per periode maar het resultaat zijn gladstrijkformules van algemeen karakter die ook toepasbaar zijn op verdampingswaarden uitgedrukt in mm/dag.

In tabel 3 is de verdamping per periode omgerekend naar verdamping in mm/dag. Deze gegevens zijn daarna met de gladstrijkformule bewerkt.

De uitkomsten hiervan zijn in fig. 9 in grafiek gebracht. Het verloop in deze grafiek is veel overzichtelijker geworden t.o.v. het verloop in fig. 8.

3.3 Verdamping volgens Penman.

De maandgemiddelden van de verdamping volgens Penman (E_o) zijn voor het gehele jaar reeds berekend volgens de standaard methode van het KNMI (4). Wil men echter de verdamping volgens Penman vergelijken met de verdamping berekend uit de waterbalans, dan moet de verdamping volgens Penman omgerekend worden van maandgemiddelden naar verdamping per balansperiode.

Zoals door Makink (5) en (6) aangetoond is, kan de verdamping uit een vrij water oppervlak (E_o) geschat worden met:

$$(1) \quad E_o = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} G/L - 0,2 \text{ mm/dag}$$

waarin $\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$ = een vlak verlopende functie is van de temperatuur

(Bij 10°C is $\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$ 0,55; bij 17°C is deze 0,65)

G = de globale straling.

L = de verdampingswarmte.

G kan geschat worden met:

$$(2) \quad G = R_A (a + bp)$$

waarin R_A = de zonnestraling aan de rand van de atmosfeer.

P = de relatieve zonneshijnduur.

a = 0,20 empirische constanten.

b = 0,56

Uit 1 en 2 volgt:

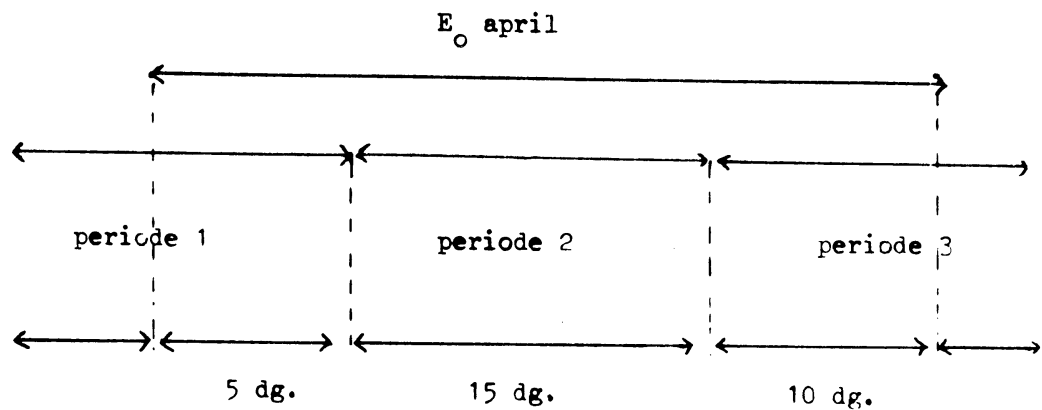
$$(3) \quad E_o = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_A}{L} (a + bp) - 0,2 \text{ mm/dag.}$$

Binnen een maand zijn $\frac{\Delta}{\Delta+\gamma}$ en R_A bij benadering constant. Verwaarloost men de term 0,2, dan geldt binnen een gegeven maand voor delen van die maand

$$E_o = \text{constante } (a+bp)$$

waarin voor p de gemiddelde waarde over het beschouwde deel van de maand wordt genomen. De constante volgt uit het feit dat E_o en p voor de gehele maand bekend zijn.

De berekening geschiedt dan bijvoorbeeld als volgt:



Voor de laatste 5 dagen van periode 1 geldt $E_o^1 = c (0,20 + 0,56 \bar{p}_1) 5$

Voor periode 2, 15 dagen geldt $E_o^2 = c (0,20 + 0,56 \bar{p}_2) 15$

Voor de eerste 10 dagen van periode 3 geldt $E_o^3 = c (0,20 + 0,56 \bar{p}_3) 10$

$$E_o = E_o^1 + E_o^2 + E_o^3 = c \left\{ (0,20 + 0,56 \bar{p}_1) 5 + (0,20 + 0,56 \bar{p}_2) 15 + (0,20 + 0,56 \bar{p}_3) 10 \right\}.$$

In tabel 4 staan de omgerekende verdampingswaarden volgens Penman in mm per periode (E_o) en in mm per dag (E_o).

3.4 Vergelijking van de verdamping volgens Penman met de verdamping uit de waterbalans.

In figuur 10 en 11 zijn deze Penman waarden met de verdampingscijfers berekend uit de waterbalans in grafiek uitgezet.

In de zomer zijn de verdampingscijfers volgens Penman hoger dan die berekend uit de waterbalans, terwijl 's winters het juist andersom is. (zie onder 3.9).

3.5 Verband tussen bodemvochtgehalte en het quotiënt van de reële- en potentiële verdamping.

Bij benadering kan men zeggen dat V_i^1 de reële verdamping is en dat $E_p = f E_o$ de potentiële verdamping voorstelt, waarbij de waarde van de factor f vooralsnog onbekend is.

Theoretisch bestaat er verband tussen het bodemvochtgehalte (M) en het quotiënt van de reële en potentiële verdamping. Dit is echter bij de 4 lysimeters in Castricum niet het geval. Zie figuur 12 t/m 15. De gegevens voor deze figuren zijn ontleend aan tabel 5.

3.6 De invloed van de begroeiing op de hoeveelheid nuttige neerslag.

Onder nuttige neerslag verstaat men dat gedeelte van de neerslag dat ten goede komt aan het grondwater (afgetapt drainwater). In fig. 16 is voor de jaren 1942 t/m 1971 voor elk der lysimeters de nuttige neerslag als percentage van de neerslag, opgevangen door een grondregenmeter in de nabijheid van lysimeter I, in grafiek uitgezet. Van de onbegroeide lysimeter wordt ca. 75% van de neerslag als drainwater afgevoerd.

Tot omstreeks 1952 neemt het percentage voor de lysimeters II, III en IV af, i.v.m. de toename van de begroeiing.

Voor lysimeter II (duin) is na 1952 het percentage gem. 43%.

Voor lysimeter III (loof) is na 1952 het percentage gem. 40%.

Voor lysimeter IV (naald) is na 1952 het percentage gem. 20%.

3.7 De invloed van de begroeiing op de verdamping.

In fig. 17 is de jaarlijkse verdamping per lysimeter in grafiek gebracht, tevens zijn de neerslag en verdamping volgens Penman ter vergelijking uitgezet. De jaarcijfers lopen van maart t/m februari van het volgend jaar, waarbij men aanneemt dat de vochttoestand van de bodem aan het begin en het einde van het jaar hetzelfde is.

De gegevens voor deze grafiek zijn ontleend aan tabel 6. In deze tabel is ook de factor f berekend, en gemiddeld over de jaren 1951 t/m 1970 voor iedere lysimeter.

3.8 Correlatie tussen de jaar totalen van de neerslag en verdamping.

Uit fig. 17 kan men zien dat er een zekere mate van correlatie bestaat tussen de neerslag R en de verdamping V uit de 4 lysimeters.

De coëfficiënten van de regressievergelijking $V=a+bR$ blijken significant voor alle lysimeters.

De correlatie coëfficiënten voor de lysimeters I t/m IV zijn resp. 0.58, 0.64, 0.57 en 0.71.

Deze waarden zijn te laag om aan de regressievergelijkingen enige praktische betekenis te kunnen toekennen. Zelfs voor lysimeter IV wordt door de correlatie de standaardfout van de verdamping slechts met ca. 30% verminderd.

De correlatie tussen R en de verdamping E_o verschilt niet significant van nul.

3.9 De verdampingstotalen per seizoen.

Neemt men de gladgestreken waarden van de verdamping en de E_o -waarden in de perioden 2 t/m 22 samen tot seizoenstotalen dan krijgt men:

<u>Periode</u>		<u>lysimeter</u>				E_o
		<u>I</u>	<u>II</u>	<u>III</u>	<u>IV</u>	
winter	55 dagen.	43	82	60	74	11
voorjaar	91 dagen.	65	146	83	229	211
zomer	90 dagen.	43	180	217	199	301
herfst	91 dagen.	107	176	180	260	87

Berekent men met deze seizoenstotalen waarden van $f = \frac{V}{E_o}$ dan krijgt men:

	<u>I</u>	<u>II</u>	<u>III</u>	<u>IV</u>
winter	3.9	7.5	5.5	6.7
voorjaar	0.3	0.7	0.4	1.1
zomer	0.1	0.6	0.7	0.7
herfst	1.2	2.0	2.1	3.0

4: Discussie.

Uit fig. 9 en 16 blijkt duidelijk het sterk afwijkende gedrag van de kale lysimeter t.o.v. de begroeide lysimeters.

Oorzaak: zodra het bovenste laagje grond uitgedroogd is, vermindert de verdamping uit de bodem zeer sterk, omdat het water dit laagje moeilijk kan passeren. Bij een begroeide bodem wordt water aan de bodem onttrokken uit een veel dikkere laag nl. de wortelzone.

Een relatie tussen het quotiënt f van de reële verdamping en de potentiële verdamping waarvoor E_0 als maat wordt genomen en de vochtinhoud van de bodem werd niet gevonden. (zie fig. 12 t/m 15).

De grote spreiding der meetpunten in deze figuren wordt ongetwijfeld voor een deel veroorzaakt door de onnauwkeurigheid van de bepaling der verdamping voor waterbalansperioden van ca. 2 weken.

Voor jaartotalen van de verdamping is er een duidelijk resultaat wat

de factor f betreft: voor kale bodem	$f = 0.3$
duinvegetatie	$f = 0.8$
loofhout	$f = 0.8$
naaldhout	$f = 1.1$

Belangwekkend zijn de waarden van f berekend voor seizoenstotalen (zie 3.9). De perioden zijn voldoende lang om de verdampingswaarde redelijk betrouwbaar te maken. Het blijkt nu dat de f -waarden die voor jaartotalen zijn bepaald, niet gebruikt kunnen worden voor de afzonderlijke seizoenen. Opvallend zijn de hoge f -waarden voor de winter. De werkelijke verdamping is dan 0.8 à 1.5 mm/dag, terwijl E_0 slechts 0.2 mm/dag bedraagt. In het voorjaar en zomer zijn de f -waarden normaal. In het najaar echter zijn zij weer veel hoger. De conclusie is dat er voor vegetaties met een grote ruwheid geen evenredigheid is tussen de verdamping, die vermoedelijk niet veel van het potentiële niveau afwijkt, en de openwaterverdamping E_0 .

Een gewijzigde Penman-formule voor ruwe oppervlakken is onlangs voorgesteld door Thom en Oliver (1977) (10).

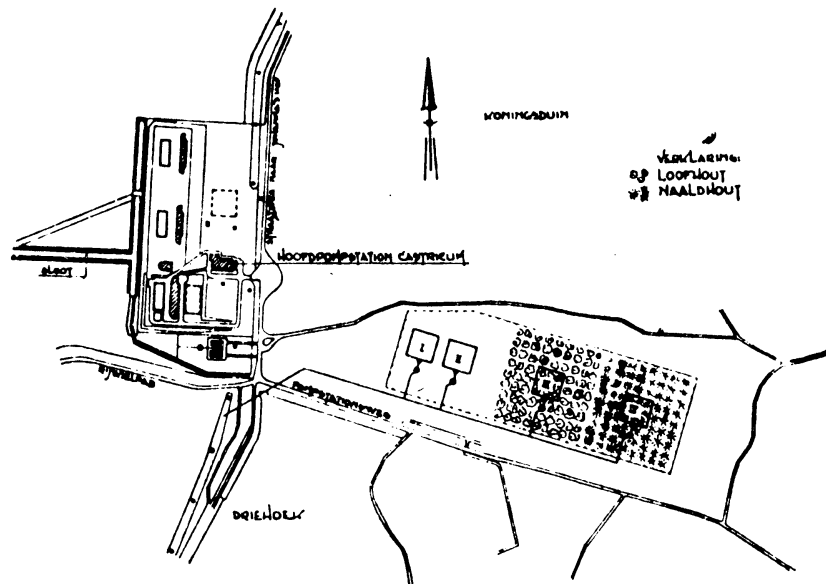


fig.1. Situatie van de lysimeters te Castricum.

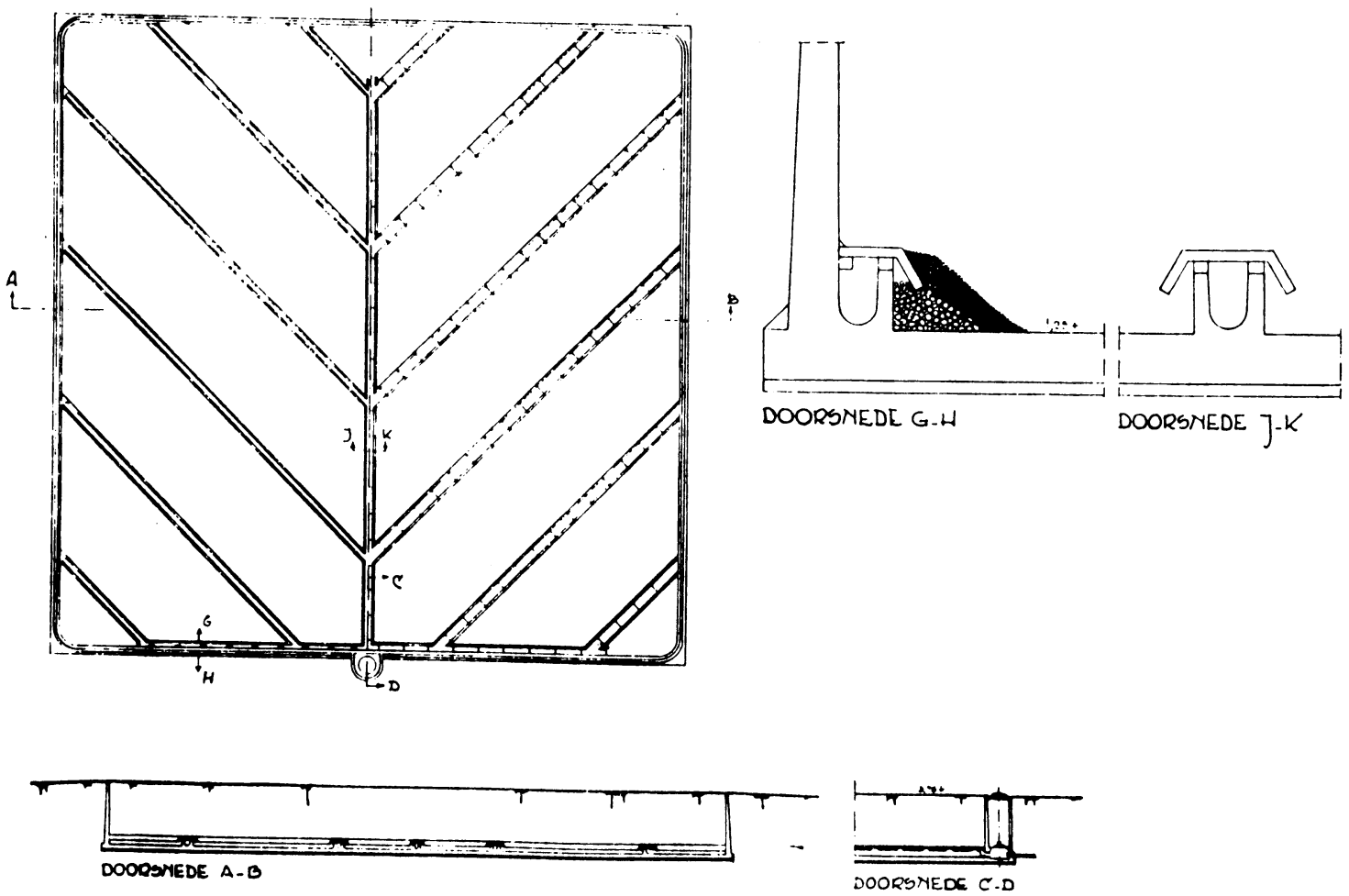


fig.2. Constructie lysimeters.

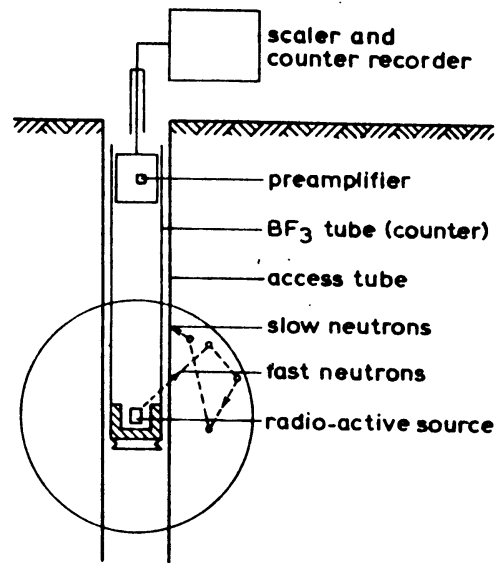


fig.3. De neutronen bodemvocht meter.

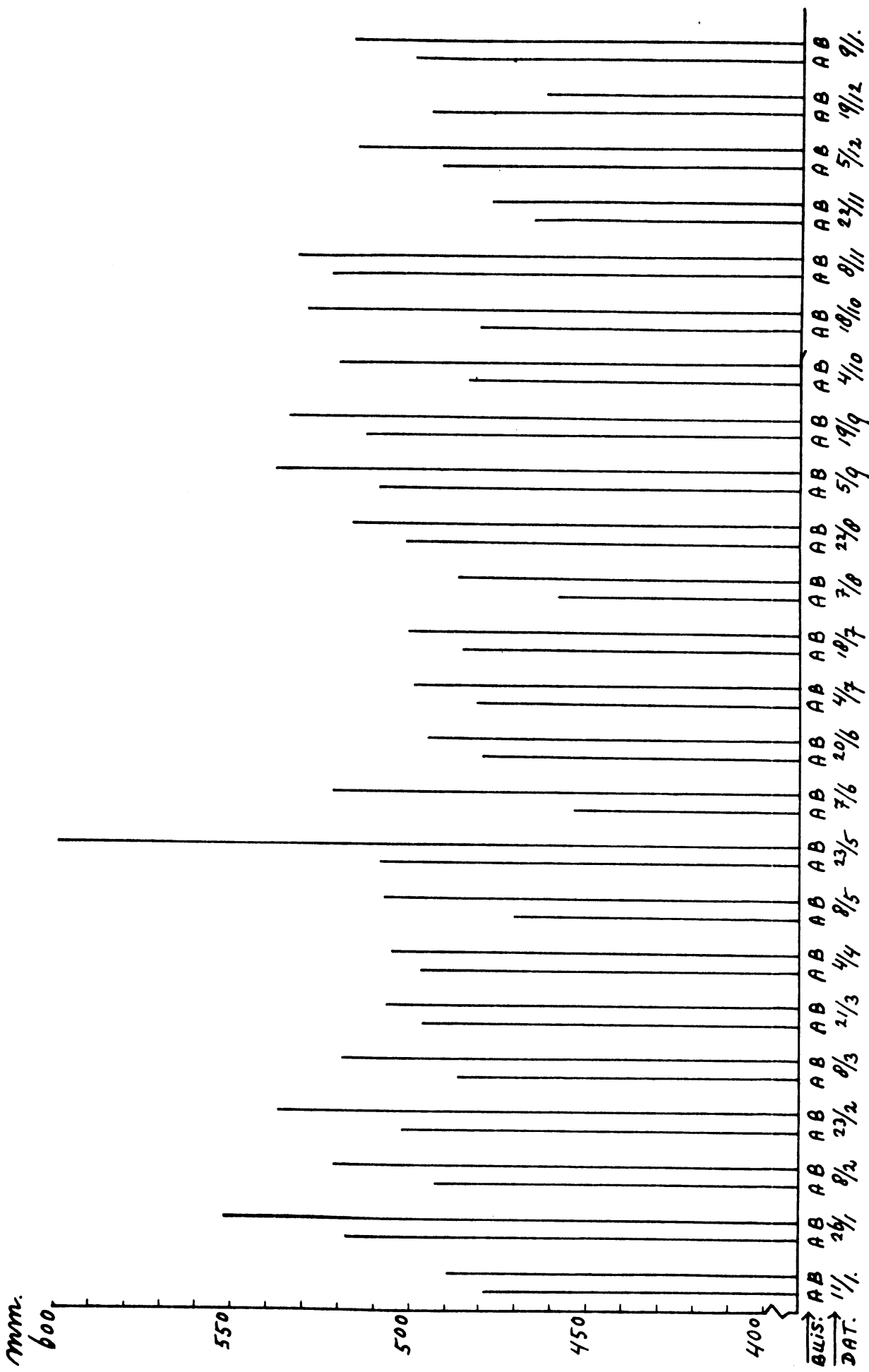


fig. 4. lysimeter I (kaal). Vochtinhoud (mm) van 0-250 cm.

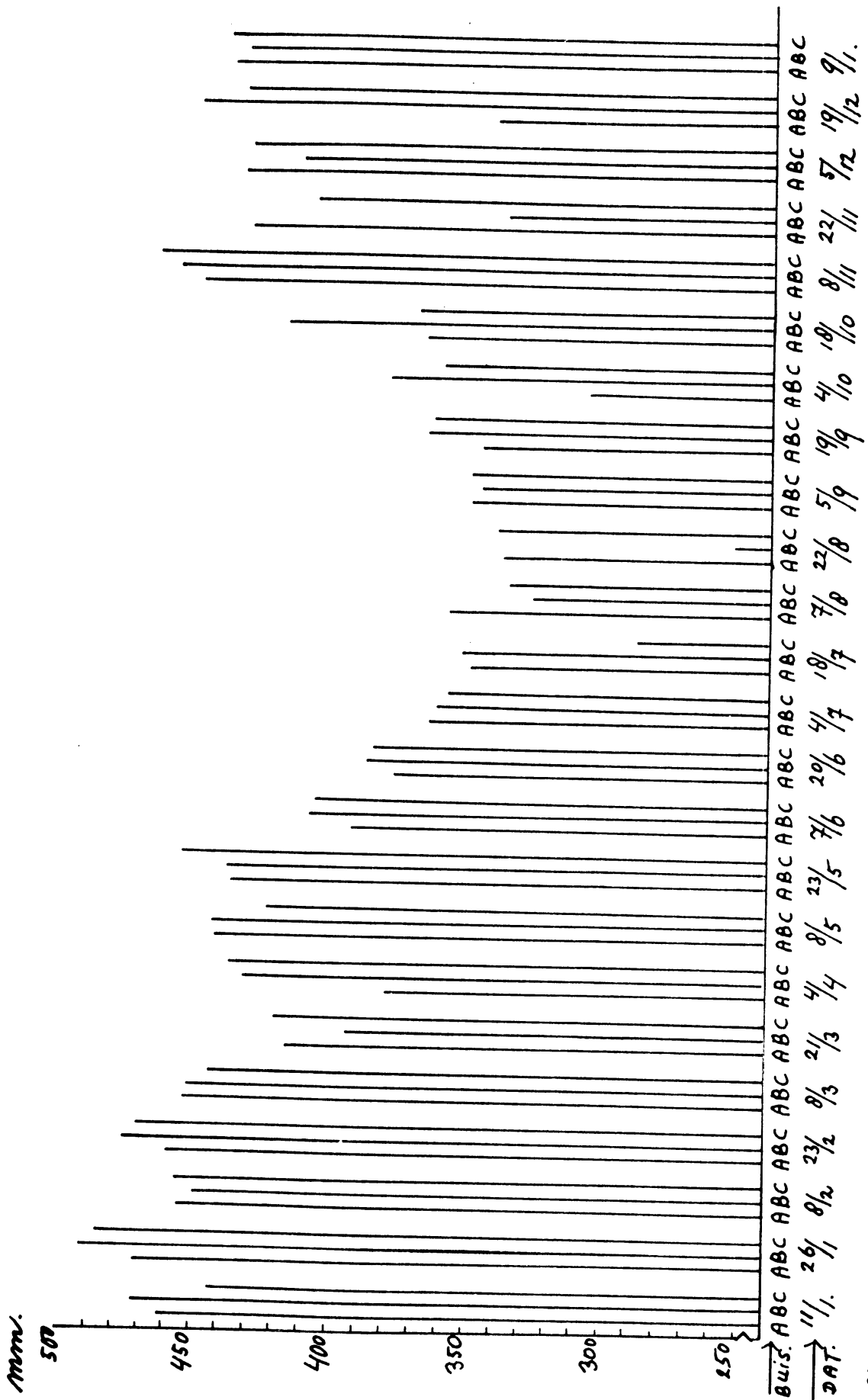


fig. 5. lysimeter II (duin). Vochtinhoud (M) van 0-250 cm.

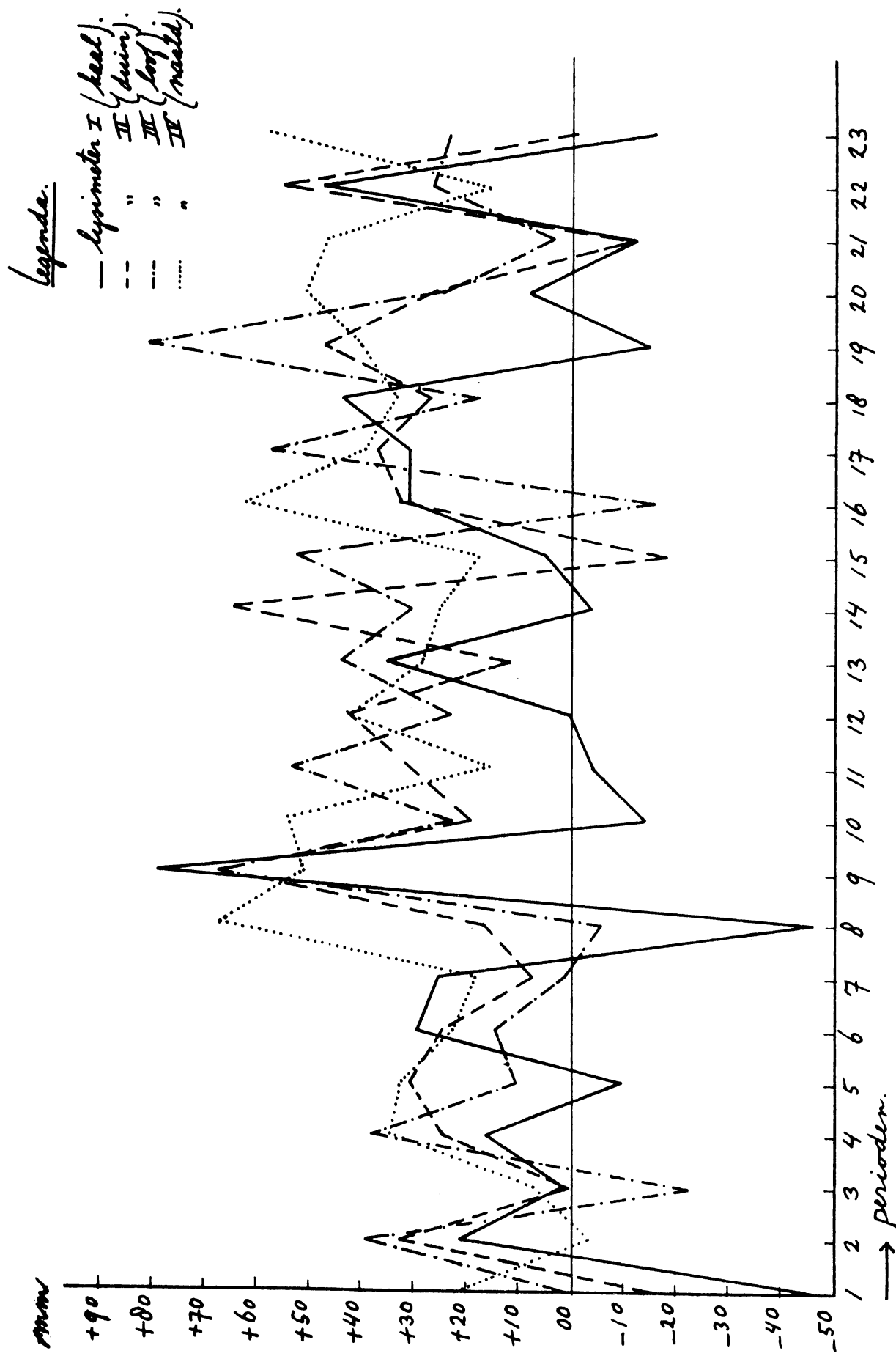


fig. 8. Verdamping per balansperiode, berekend uit de waterbalans, voor lysimeter I t/m IV.

legenda:

- lysimeter I (laal.)
- - " (druim)
- · - " (loof)
- " (naald)

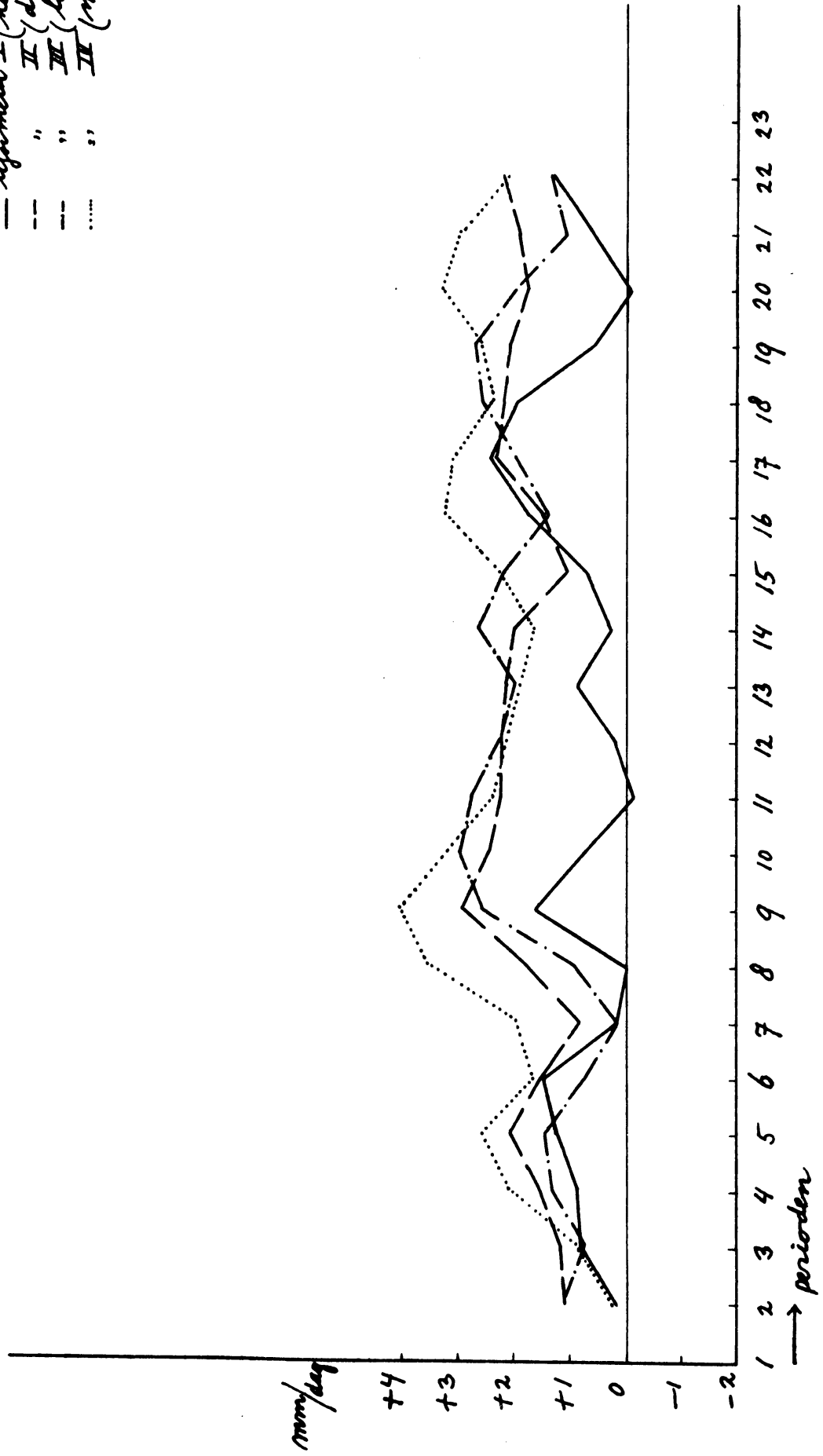


fig. 9. Verdamping per balansperiode, berekend uit de waterbalans, voor lysimeter I t/m IV, gladgestreken.

legende:
 — lysimeter I (kaal).
 - - - lysimeter II (duin).
 ○ Penman.

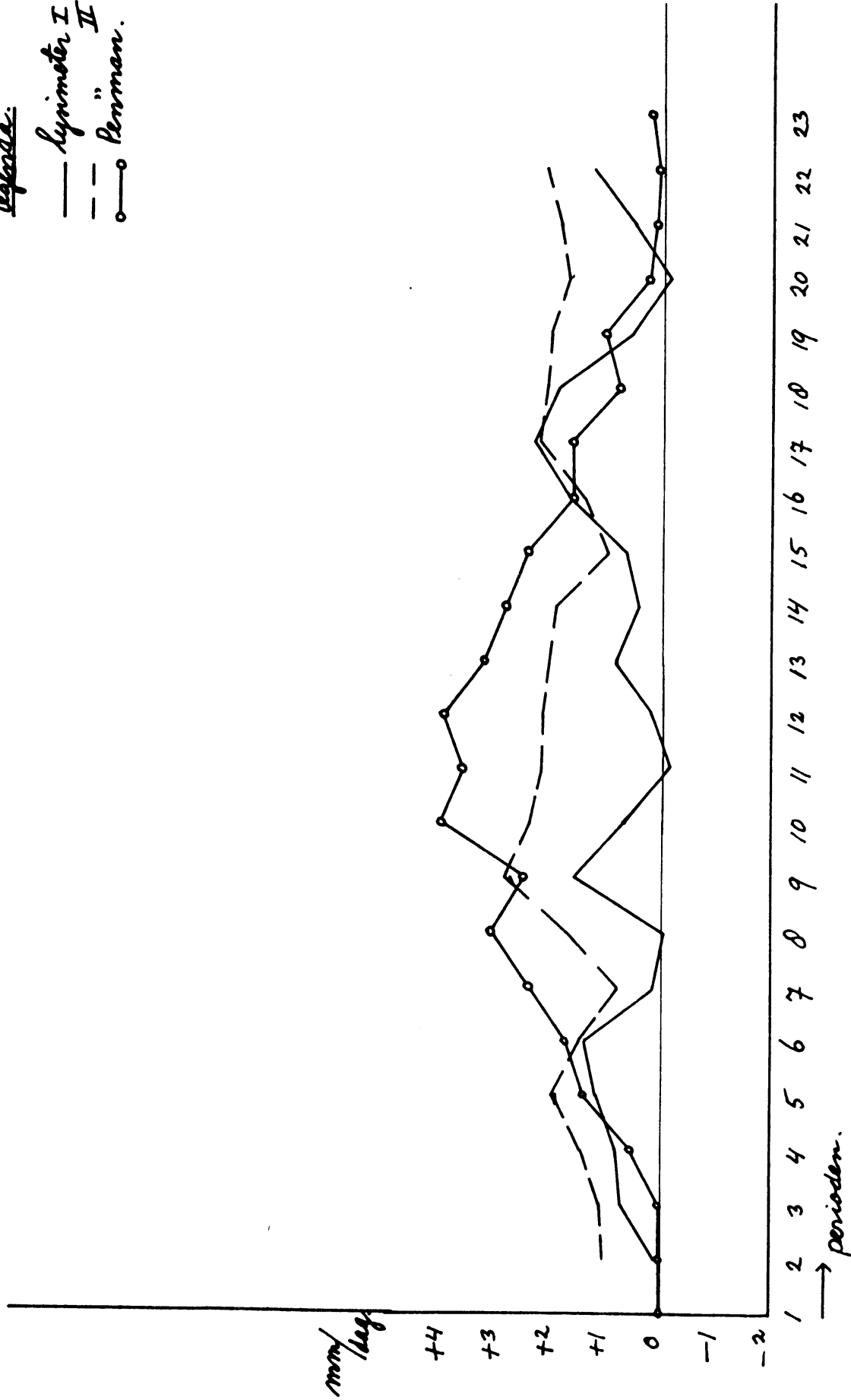


fig. 10. Verdamping volgens Penman (\bar{E}_0) en de verdamping berekend uit de waterbalans (V_i') voor lysimeter I (kaal) en II (duin).

legende.

- - - lysimeter III (loof)
- " II (nabla)
- Penman.

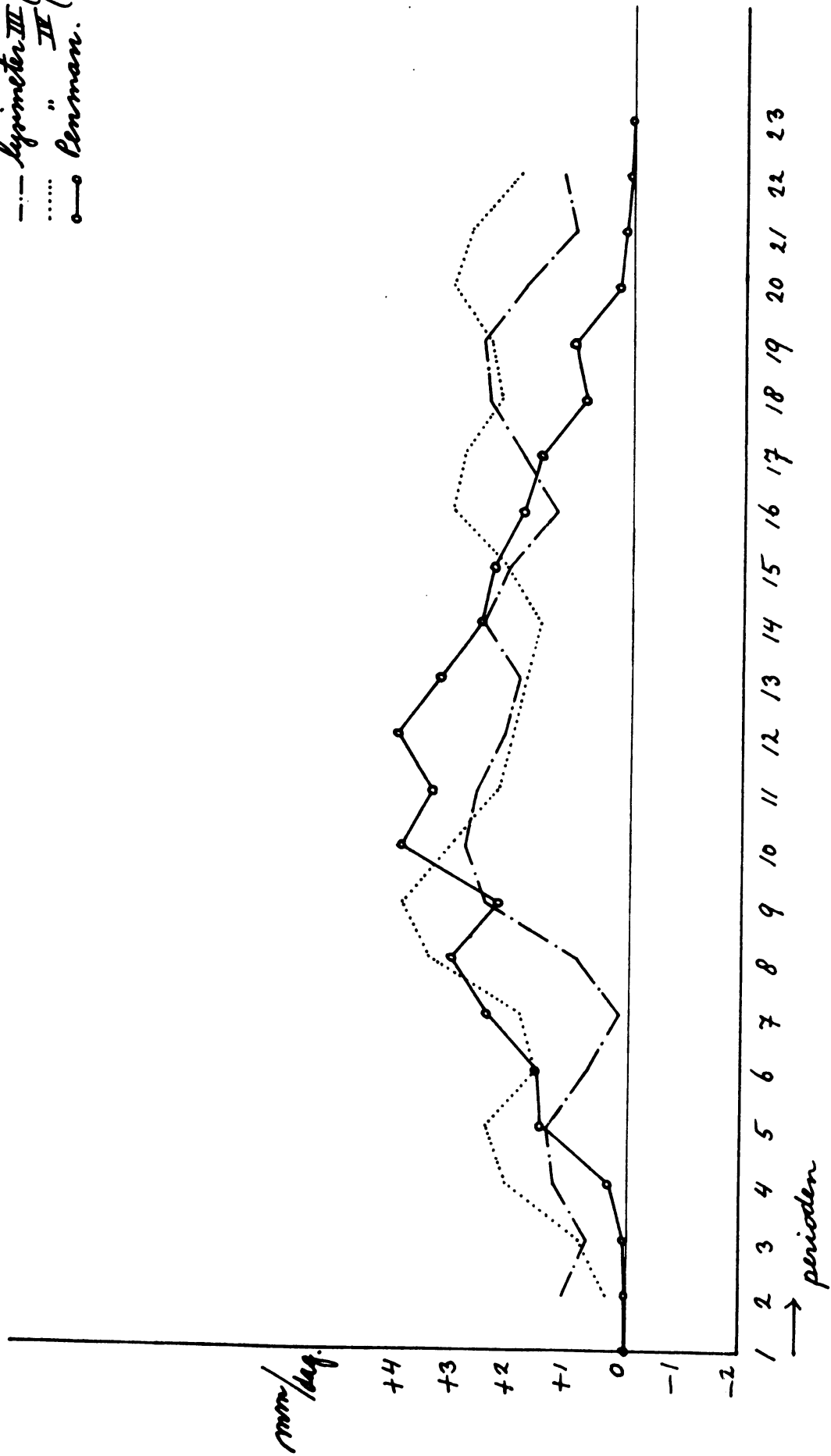


fig. 11. Verdamping volgens Penman (\bar{E}_0) en de verdamping berekend uit de waterbalans (V_i') voor lysimeter III (loof) en IV (naald).

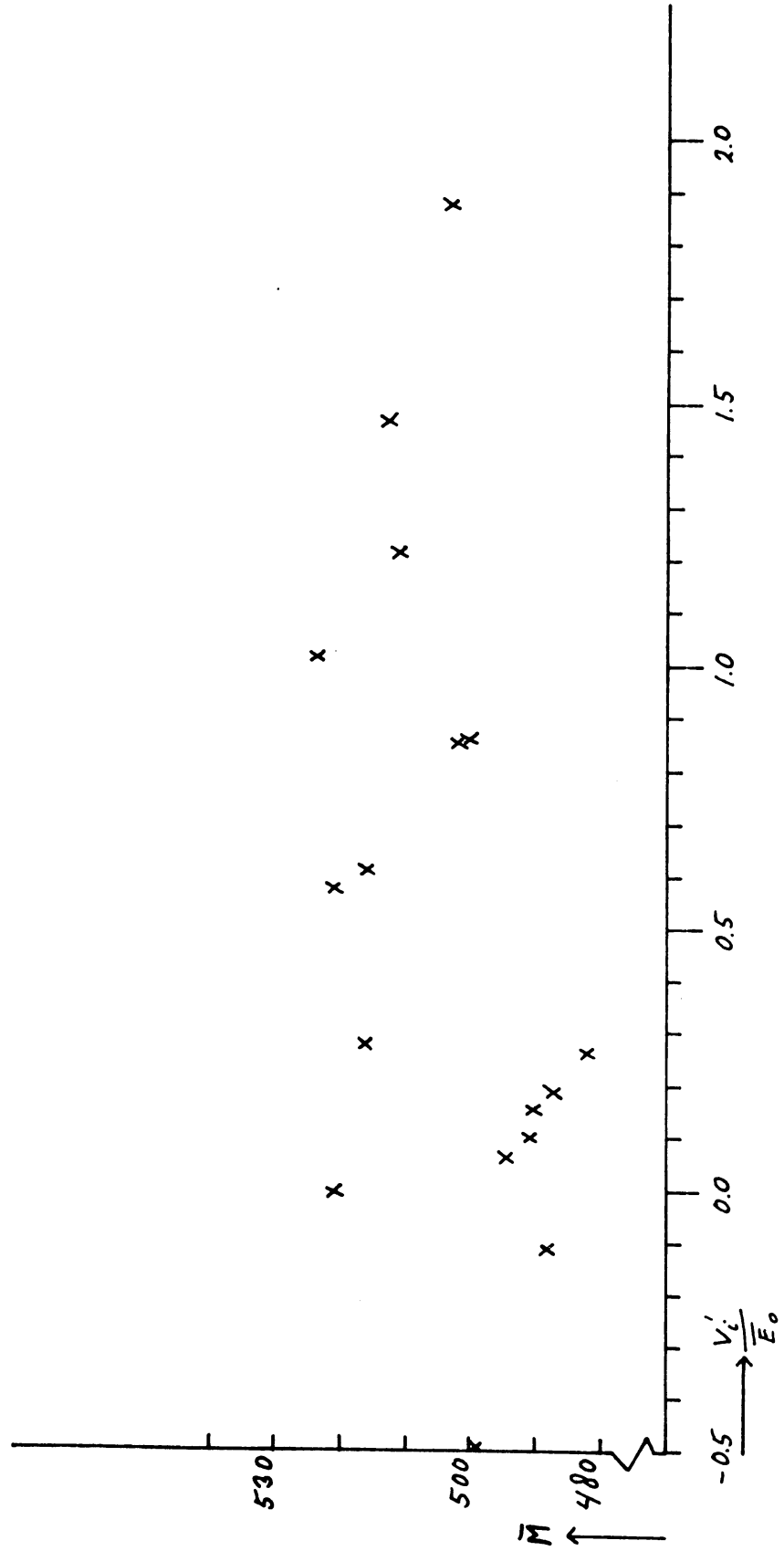


fig. 12. Het verband tussen het bodemvochtgehalte en het quotiënt van de reële-en potentiële verdamping voor lysimeter I (kaal).

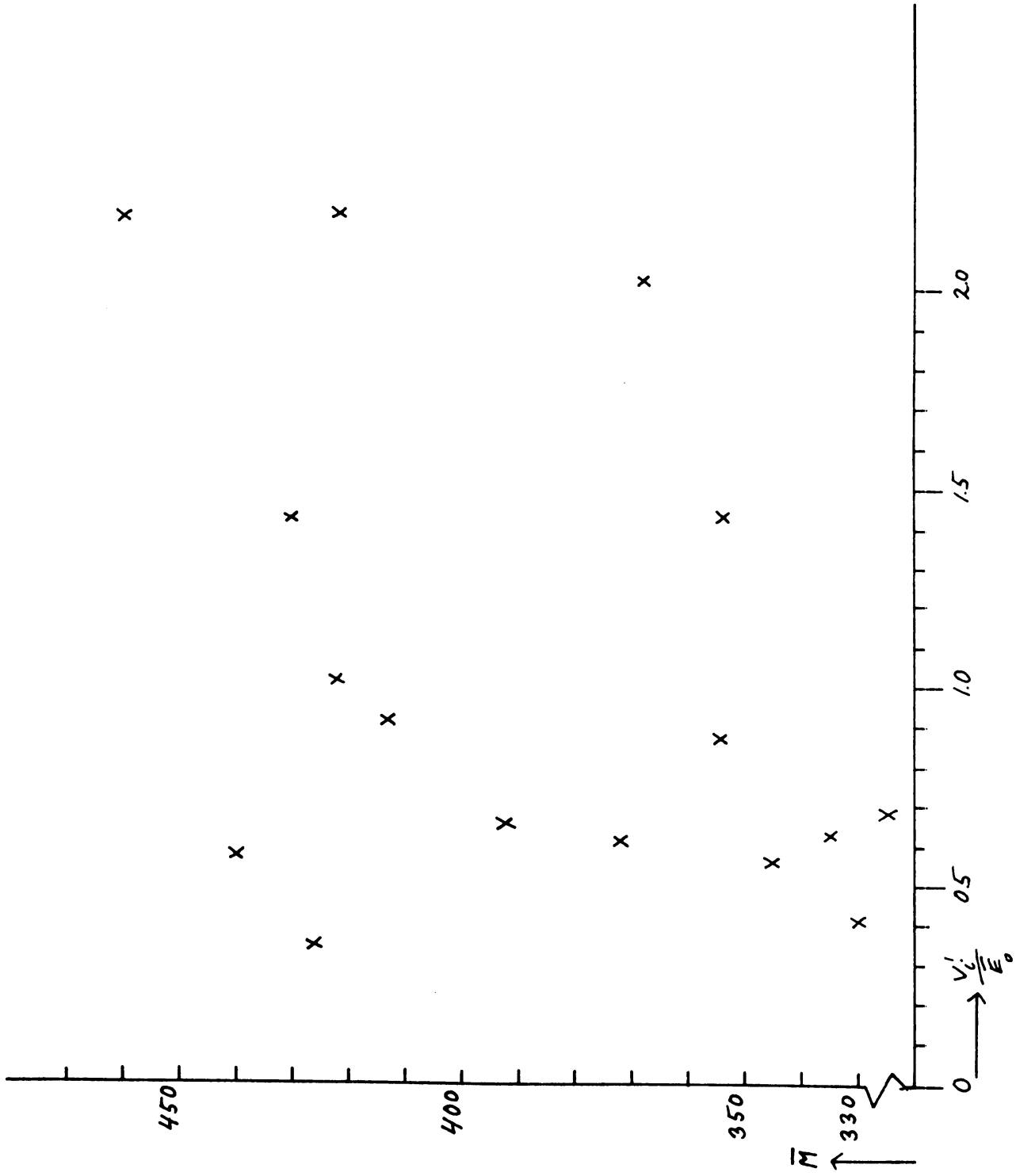


fig. 13. Het verband tussen het bodemvochtgehalte en het quotiënt van de reële-en potentiële verdamping voor lysimeter II (duin).

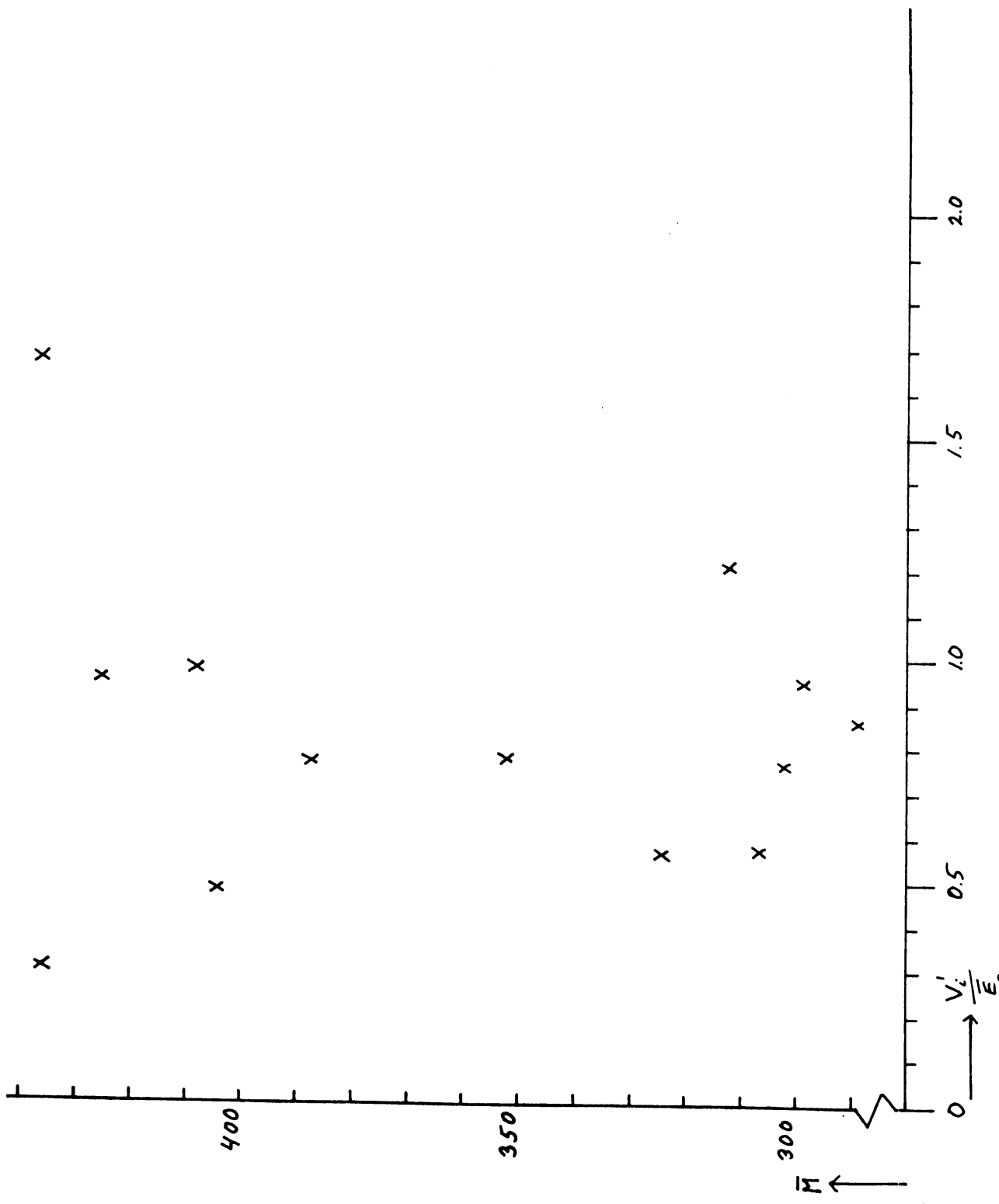


fig.14. Het verband tussen het bodemvochtgehalte en het quotiënt van de reële-en potentiële verdamping voor lysimeter III (loof).

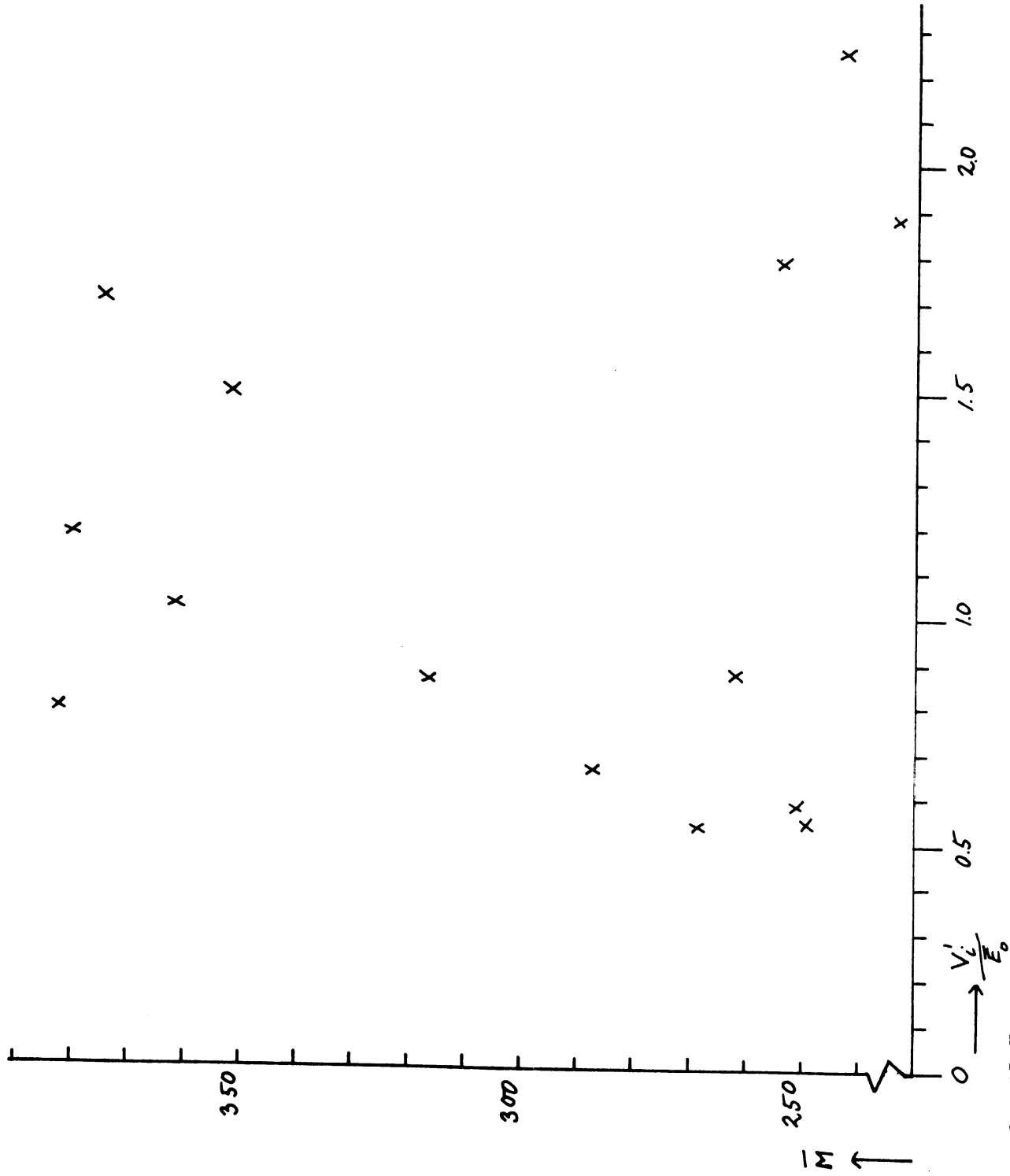


fig. 15. Het verband tussen het bodemvochtgehalte en het quotiënt van de reële-en potentiële verdamping voor lysimeter IV (naald).

legende.

- lysimeter I (kaal).
- - " II (dein).
- · - " III (loof).
- " IV (middel).

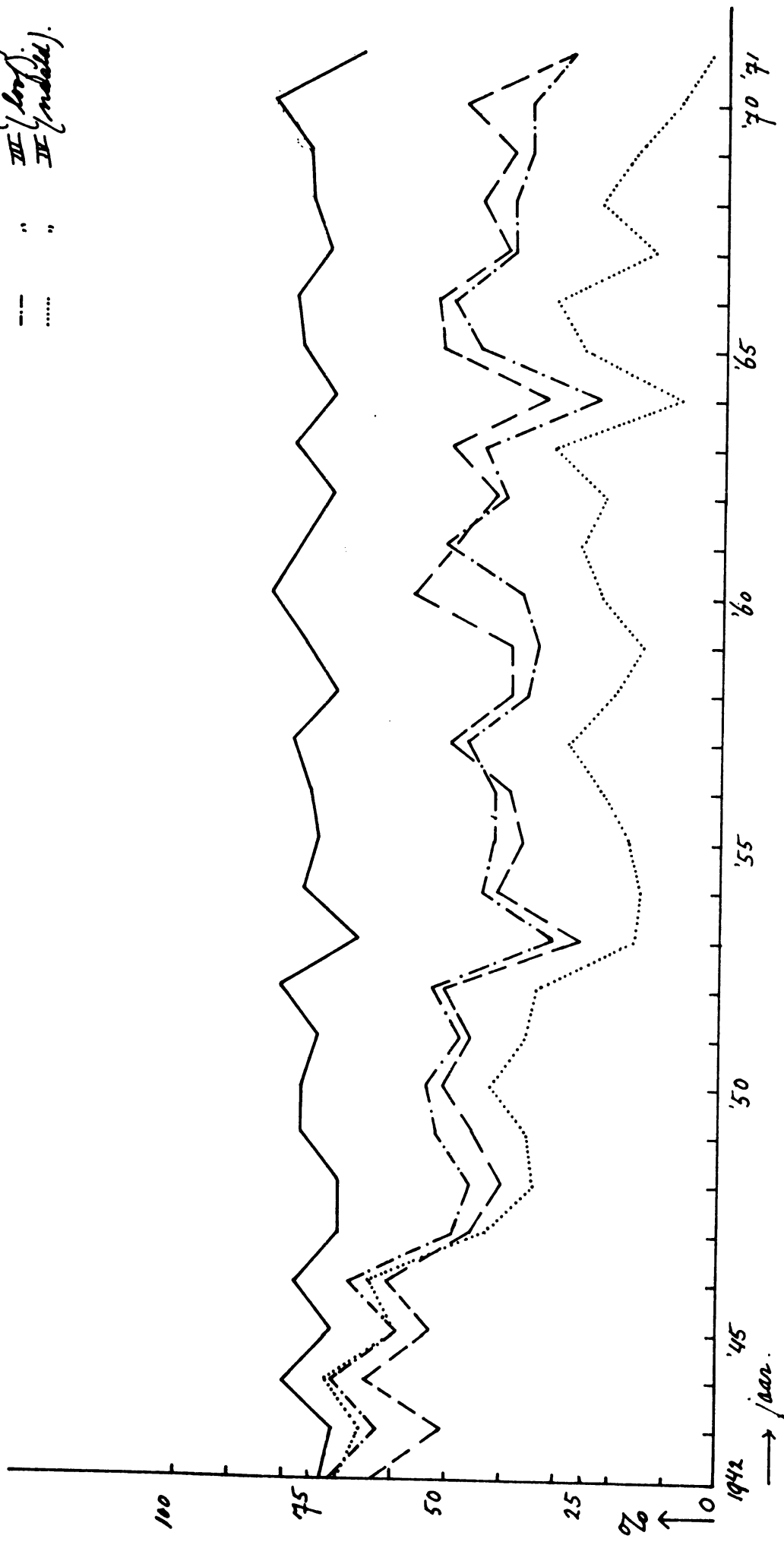


fig. 16. Percentage van de neerslag dat tengerode komt aan het grondwater (drainwater).

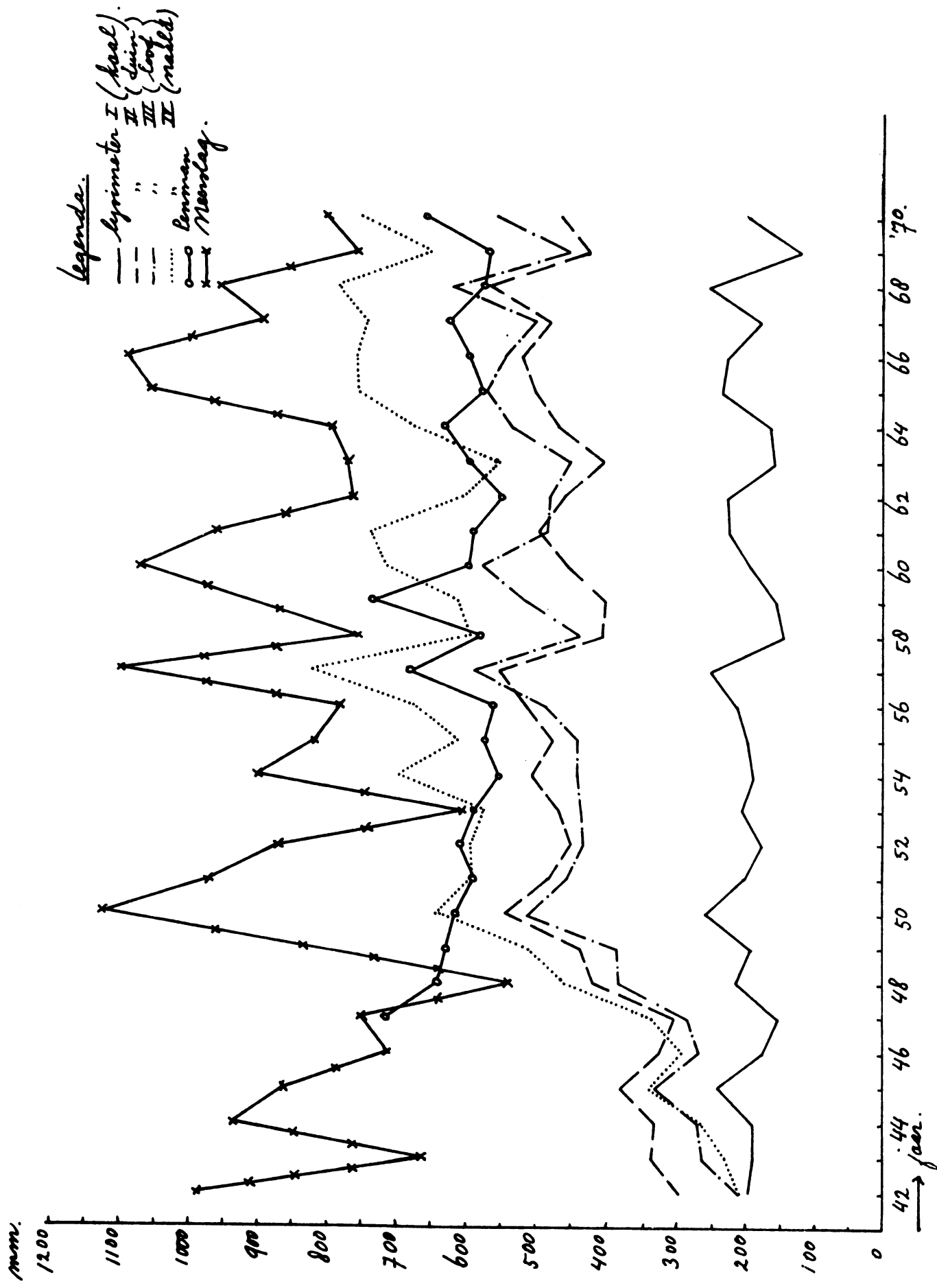


fig.17. De verdamping per lysimeter, de verdamping volgens Penman en de neerslag per jaar in mm.

tabel 1. Vochtinhoud (M) van 0-250 cm, uitgedrukt in mm, per buis, per lysimeter.

meetdatum voor	lysimeter I (kaal).			lysimeter II (duin).			meetdatum voor			lysimeter III (loof).			lysimeter IV (naald).		
	A	B	M	A	B	C	M	III en IV	A	B	C	M	A	B	M
11-01-67	478.5	488.9	483.7	461.6	471.9	442.5	458.7	12-01-67	463.7	410.7	464.1	446.2	394.3	394.7	394.5
26-01	517.4	551.2	534.3	471.6	491.4	485.8	482.9	27-01	—	440.5	464.9	452.7	—	383.0	383.0
08-02	491.9	521.1	506.5	454.4	448.2	456.1	452.9	09-02	413.6	406.5	417.8	412.6	397.0	392.8	394.9
23-02	501.9	536.1	519.0	459.2	475.8	470.7	468.6	24-02	483.1	436.4	433.7	451.1	420.7	401.5	411.1
08-03	486.1	518.0	502.1	452.9	452.4	443.5	449.6	09-03	423.2	405.7	424.6	417.8	396.3	383.7	390.0
21-03	496.1	506.1	501.1	417.0	393.7	419.6	410.1	20-03	412.1	386.9	393.6	397.5	367.5	345.2	356.4
04-04	496.4	504.5	500.5	379.3	431.3	436.8	415.8	03-04	398.9	409.7	423.6	410.7	377.5	353.6	365.6
08-05	469.2	507.3	488.3	441.8	443.1	423.6	436.2	09-05	414.2	419.8	437.1	423.7	402.7	393.8	398.3
23-05	508.4	598.6	553.5	436.4	437.7	454.0	442.7	22-05	472.6	423.0	448.1	447.9	363.2	357.3	360.3
07-06	452.8	521.5	487.2	392.1	407.1	405.6	401.6	06-06	412.6	388.5	401.8	401.0	341.0	344.1	342.6
20-06	479.0	495.2	487.1	376.3	386.5	384.8	382.5	19-06	372.6	367.9	381.0	373.8	298.1	281.5	289.8
04-07	480.4	498.3	489.4	363.6	361.3	357.1	360.7	03-07	339.6	331.4	319.4	330.1	280.4	287.2	283.8
18-07	484.6	500.4	492.5	348.5	352.5	287.2	329.4	17-07	308.5	310.3	335.7	318.2	223.8	281.4	252.6
07-08	457.6	485.8	471.7	356.7	325.3	335.0	339.0	08-08	279.9	290.6	315.7	295.4	239.1	251.5	245.3
22-08	500.7	516.0	508.4	337.9	252.5	339.4	309.9	21-08	291.3	304.3	306.2	300.6	239.2	272.8	256.0
05-09	508.4	537.5	523.0	350.0	349.3	350.6	350.0	04-09	230.0	294.0	305.8	276.6	264.4	268.7	266.6
19-09	512.5	533.6	523.1	344.9	365.7	363.5	358.0	18-09	302.7	314.9	366.0	327.9	238.8	242.0	240.4
04-10	482.6	519.9	501.3	306.6	379.5	360.5	348.9	03-10	304.5	327.1	257.6	296.4	229.2	223.7	226.5
18-10	479.5	529.0	504.3	367.1	417.6	370.3	385.0	17-10	344.3	354.1	333.4	343.9	259.0	256.6	257.8
08-11	522.5	531.6	527.1	448.3	456.7	464.6	456.5	07-11	426.8	411.9	414.6	417.8	404.1	339.3	371.7
22-11	465.0	476.2	470.6	430.0	337.0	497.8	391.6	20-11	396.5	386.7	393.9	392.4	344.7	333.3	339.0
05-12	490.6	514.3	502.5	433.5	412.9	431.2	425.9	04-12	417.2	396.8	403.3	405.8	316.9	338.0	327.5
19-12	493.8	461.2	477.5	342.1	450.7	433.2	408.7	18-12	422.1	401.0	420.5	414.5	389.1	383.3	386.2
09-01-68	499.0	516.6	507.8	438.2	433.2	439.6	437.0	08-01-68	428.2	395.9	420.8	415.0	401.1	398.4	399.8

tabel 2. Verdamping per balansperiode in mm, voor lysimeter I t/m IV.

periode	lysimeter I (kaal).			lysimeter II (duin).			lysimeter III (loof).			lysimeter IV (naald).						
	$M_2 - M_1$	ΣN	ΣD	V	$M_2 - M_1$	ΣN	ΣD	V	$M_2 - M_1$	ΣN	ΣD	V	$M_2 - M_1$	ΣN	ΣD	V
1	+50.6	29.6	24.1	-45.1	+24.2	29.6	22.0	-16.6	+ 6.5	28.4	22.2	- 0.3	-11.5	28.4	18.2	+21.7
2	-27.8	21.0	27.2	+21.6	-30.0	21.0	18.5	+32.5	-40.1	21.7	22.7	+39.1	+11.9	21.7	13.6	- 3.8
3	+12.5	39.6	25.7	+ 1.4	+15.7	39.6	23.3	+ 0.6	+38.5	39.1	23.5	-22.9	+16.2	39.1	15.7	+ 7.2
4	-16.9	26.4	26.3	+17.0	-19.0	26.4	21.3	+24.1	-33.3	28.3	23.6	+38.0	-21.1	28.3	14.5	+34.9
5	- 1.0	12.3	23.0	- 9.7	-39.5	12.3	21.4	+30.4	-20.3	9.6	19.5	+10.4	-33.6	9.6	10.8	+32.4
6	- 0.6	40.8	11.6	+29.8	+ 5.7	40.8	10.7	+24.4	+13.2	40.3	12.6	+14.5	+ 9.2	40.3	8.3	+22.8
7	-12.2	56.3	43.1	+25.4	+20.4	56.3	28.5	+ 7.4	+13.0	57.1	42.6	+ 1.5	+32.7	57.1	5.9	+18.5
8	+65.2	31.8	12.2	-45.6	+ 6.5	31.8	8.7	+16.6	+24.2	29.7	11.3	- 5.8	-38.0	29.7	0.3	+67.4
9	-66.3	31.5	18.7	+79.1	-41.1	31.5	4.7	+67.9	-46.9	33.6	13.1	+67.4	-17.7	33.6	0.2	+51.1
10	- 0.1	1.6	15.2	-13.5	-19.1	1.6	1.5	+19.2	-27.2	1.6	5.9	+22.9	-52.8	1.6	0.0	+54.4
11	+ 2.3	9.9	11.2	- 3.6	-21.8	9.9	0.7	+31.0	-43.9	9.9	0.3	+53.3	- 6.0	9.9	0.0	+15.9
12	+3.1	11.1	7.6	+ 0.4	-31.3	11.1	0.0	+42.4	-11.9	11.1	0.0	+23.0	-31.2	11.1	0.0	+42.2
13	-20.8	21.3	6.6	+35.5	+ 9.6	21.3	0.0	+11.7	-22.8	21.3	0.0	+44.1	- 7.3	21.3	0.0	+28.6
14	+36.7	35.8	2.3	- 3.2	-29.1	35.8	0.0	+64.9	+ 5.2	35.8	0.0	+30.6	+10.7	35.8	0.0	+25.1
15	+14.6	22.0	2.3	+ 5.1	+40.1	22.0	0.0	-18.1	-24.0	28.6	0.0	+52.6	+10.6	28.6	0.0	+18.0
16	+ 0.1	40.4	9.2	+31.1	+ 8.0	40.4	0.0	+32.4	+51.3	35.9	0.0	-15.4	-26.2	35.9	0.0	+62.1
17	-21.8	28.0	18.8	+31.0	- 9.1	28.0	0.0	+37.1	-31.5	25.8	0.0	+57.3	-13.9	25.8	0.0	+39.7
18	+ 3.0	63.0	16.2	+43.8	+36.1	63.0	0.0	+26.9	+47.5	65.2	0.0	+17.7	+31.3	65.2	0.0	+33.9
19	+22.8	148.0	139.9	-14.7	+71.5	148.0	29.5	+47.0	+73.9	154.1	0.0	+80.2	+113.9	154.1	0.0	+40.2
20	-56.5	17.8	66.2	+ 8.1	-64.9	17.8	56.9	+25.8	-25.4	18.0	19.1	+24.3	-32.7	18.0	0.0	+50.7
21	+31.9	35.1	15.4	-12.2	+34.3	35.1	12.6	-11.8	+13.4	35.3	18.4	+ 3.5	-11.5	35.3	0.0	+46.8
22	-25.0	75.1	52.7	+47.4	-17.2	75.1	37.4	+54.9	+ 8.7	74.0	38.7	+26.6	+58.7	74.0	0.0	+15.3
23	+30.3	83.8	69.3	-15.8	+28.3	83.8	56.5	- 1.0	+ 0.5	84.9	61.3	+23.1	+13.6	84.9	13.7	+57.6
som	+24.1	882.2	644.8	+213.3	-21.7	882.2	354.2	+549.7	-31.4	889.3	334.8	+585.7	+ 5.3	889.3	101.2	+782.7

tabel 3. Verdamping in mm per periode(V), per dag(V_i) en per dag, gladgestreken (V_i').

periode	lysimeter I (kaal).			lysimeter II (duin).			lysimeter III (loof).			lysimeter IV (naald).			
	aant. dagen	V	V_i	V_i'	V	V_i	V_i'	V	V_i	V_i'	V	V_i	V_i'
1	15	-45.1	-3.01	---	-16.6	-1.11	---	-0.3	-0.02	---	+21.7	+1.45	---
2	13	+21.6	+1.66	+0.170	+32.5	+2.71	+1.088	+39.1	+3.01	+1.118	-3.8	-0.29	+0.337
3	15	+1.4	+0.09	+0.787	+0.6	+0.04	+1.159	-22.9	-1.53	+0.717	+7.2	+0.48	+0.838
4	13	+17.0	+1.31	+0.864	+24.1	+1.85	+1.520	+38.0	+2.92	+1.315	+34.9	+2.68	+2.197
5	13	-9.7	+0.75	+1.234	+30.4	+2.34	+2.067	+10.4	+0.95	+1.465	+32.4	+2.95	+2.552
6	14	+29.8	+2.13	+1.439	+24.4	+1.74	+1.510	+14.5	+1.04	+0.767	+22.8	+1.63	+1.679
7	34	+25.4	+0.75	+0.147	+7.4	+0.22	+0.822	+1.5	+0.04	+0.168	+18.5	+0.51	+1.957
8	15	-45.6	-3.04	-0.016	+16.6	+1.11	+1.742	-5.8	-0.45	+0.907	+67.4	+5.18	+3.569
9	15	+79.1	+5.27	+1.615	+67.9	+4.53	+2.912	+67.4	+4.49	+2.573	+51.1	+3.41	+4.045
10	13	-13.5	-1.04	+0.732	+19.2	+1.48	+2.424	+22.9	+1.76	+2.954	+54.4	+4.18	+3.227
11	14	-3.6	-0.26	-0.383	+31.0	+2.21	+2.232	+53.3	+3.81	+2.755	+15.9	+1.14	+2.370
12	14	+0.4	+0.03	+0.395	+42.4	+3.03	+2.214	+23.0	+1.64	+2.272	+42.3	+3.02	+2.120
13	20	+35.5	+1.78	+0.845	+11.7	+0.59	+2.134	+44.1	+2.00	+1.997	+28.6	+1.30	+1.887
14	15	-3.2	-0.21	+0.430	+64.9	+4.33	+1.990	+30.6	+2.35	+2.615	+25.1	+1.93	+1.612
15	14	+5.1	+0.36	+0.683	-18.1	-1.29	+1.014	+52.6	+3.76	+2.192	+18.0	+1.29	+2.237
16	14	+31.1	+2.22	+1.717	+32.4	+2.31	+1.450	-15.4	-1.10	+1.345	+62.1	+4.44	+3.204
17	15	+31.0	+2.07	+2.372	+37.1	+2.47	+2.292	+57.3	+3.82	+1.950	+39.7	+2.65	+3.040
18	14	+43.8	+3.13	+1.907	+26.9	+1.92	+2.137	+17.7	+1.26	+2.540	+33.9	+2.42	+2.349
19	21	-14.7	-0.70	+0.577	+47.0	+2.24	+2.060	+80.2	+3.82	+2.692	+40.2	+1.91	+2.535
20	14	+8.1	+0.58	-0.120	+25.8	+1.84	+1.707	+24.3	+1.87	+1.952	+50.7	+3.90	+3.262
21	13	-12.2	-0.94	+0.522	-11.8	+0.91	+1.895	+3.5	+0.25	+1.067	+46.8	+3.34	+2.917
22	14	+47.4	+3.39	+1.273	+54.9	+3.92	+2.175	+26.6	+1.90	+1.287	+15.3	+1.09	+2.065
23	21	-15.8	-0.75	---	-1.0	-0.05	---	+23.1	+1.10	---	+57.6	+2.74	---

tabel 4. Verdamping volgens Penman in mm per periode (E_0) en per dag (\bar{E}_0).
lysimeter I en II (kaal en duin). lysimeter III en IV (loof en naald).

periode aant.	E_0	\bar{E}_0	periode aant.	E_0	\bar{E}_0
dagen			dagen		
1	15	0.90	1	15	0.95
2	13	0.64	2	13	0.55
3	15	0.58	3	15	0.59
4	13	9.10	4	13	10.14
5	13	18.95	5	11	16.54
6	14	23.23	6	14	22.13
7	34	83.18	7	36	89.89
8	15	45.53	8	13	39.90
9	15	42.25	9	15	40.48
10	13	49.33	10	13	49.29
11	14	51.00	11	14	48.40
12	14	55.34	12	14	56.30
13	20	68.24	13	22	76.02
14	15	43.07	14	13	35.86
15	14	35.01	15	14	35.45
16	14	23.36	16	14	25.05
17	15	24.33	17	15	24.26
18	14	14.31	18	14	14.62
19	21	19.70	19	21	20.22
20	14	3.24	20	13	2.92
21	13	1.94	21	14	2.45
22	14	1.14	22	14	1.13
23	21	4.07	23	21	3.57

tabel 5. Verdamping in mm per dag, gladgestreken (V'_i); volgens Penman (\bar{E}_o) en de vochtinhoud profiel (M) van 0-250 cm in mm.

periode	lysimeter I (kaal).				lysimeter II (duin).				lysimeter III (loof).				lysimeter IV (naald).			
	V'_i	\bar{E}_c	M	$\frac{V'_i}{\bar{E}_o}$	V'_i	\bar{E}_o	M	$\frac{V'_i}{\bar{E}_o}$	V'_i	\bar{E}_o	M	$\frac{V'_i}{\bar{E}_o}$	V'_i	\bar{E}_o	M	$\frac{V'_i}{\bar{E}_o}$
1	---	0.06	509.0	---	0.06	470.8	---	0.06	449.5	---	0.06	388.8	---	0.06	388.8	---
2	+0.170	0.05	520.4	3.400	1.088	0.05	467.9	21.760	1.118	0.04	432.7	27.950	0.337	0.04	389.0	8.425
3	+0.787	0.04	512.8	19.675	1.159	0.04	460.8	28.975	0.717	0.04	431.9	17.925	0.838	0.04	403.0	20.950
4	+0.864	0.70	510.6	1.234	1.520	0.70	459.1	2.171	1.315	0.78	434.5	1.686	2.197	0.78	400.6	2.817
5	+1.234	1.46	501.6	0.845	2.067	1.46	429.9	1.416	1.465	1.50	407.7	0.977	2.552	1.50	373.2	1.701
6	+1.439	1.66	500.8	0.866	1.510	1.66	413.0	0.910	0.767	1.58	404.1	0.485	1.679	1.58	361.0	1.063
7	+0.147	2.45	494.4	0.060	0.822	2.45	426.0	0.336	0.168	2.50	417.2	0.067	1.957	2.50	382.0	0.783
8	-0.016	3.04	520.9	-0.005	1.742	3.04	439.5	0.573	0.907	3.07	435.8	0.295	3.569	3.07	379.3	1.163
9	+1.615	2.82	520.4	0.572	2.912	2.82	422.2	1.032	2.573	2.70	424.5	0.953	4.045	2.70	351.5	1.498
10	+0.732	3.79	487.2	0.193	2.424	3.79	392.1	0.640	2.954	3.79	387.4	0.779	3.227	3.79	316.2	0.851
11	-0.383	3.64	488.3	-0.105	2.232	3.64	371.6	0.613	2.755	3.46	352.0	0.796	2.370	3.46	286.8	0.685
12	+0.395	3.95	491.0	0.100	2.214	3.95	345.1	0.561	2.272	4.02	324.2	0.565	2.120	4.02	268.2	0.527
13	+0.845	3.41	482.1	0.248	2.134	3.41	334.2	0.626	1.997	3.46	306.8	0.577	1.887	3.46	249.0	0.545
14	+0.430	2.87	490.1	0.150	1.990	2.87	324.5	0.693	2.615	2.76	298.0	0.947	1.612	2.76	250.7	0.584
15	+0.683	2.50	515.7	0.273	1.014	2.50	330.0	0.406	2.192	2.53	288.6	0.866	2.237	2.53	261.3	0.884
16	+1.717	1.67	523.1	1.028	1.450	1.67	354.0	0.868	1.345	1.79	302.3	0.751	3.204	1.79	253.5	1.790
17	+2.372	1.62	512.2	1.464	2.292	1.62	353.5	1.415	1.950	1.62	312.2	1.204	3.040	1.62	233.5	1.877
18	+1.907	1.02	502.8	1.870	2.137	1.02	367.0	2.095	2.540	1.04	320.2	2.442	2.349	1.04	242.2	2.259
19	+0.577	0.94	515.7	0.614	2.060	0.94	420.8	2.191	2.692	0.96	380.9	2.804	2.535	0.96	314.8	2.641
20	-0.120	0.23	498.9	-0.522	1.707	0.23	424.1	7.422	1.952	0.22	405.1	8.873	3.262	0.22	355.4	14.827
21	+0.522	0.15	486.6	3.480	1.895	0.15	408.8	12.633	1.067	0.18	399.1	5.928	2.917	0.18	333.3	16.206
22	+1.273	0.08	490.0	15.913	2.175	0.08	417.3	27.188	1.287	0.08	410.2	16.088	2.065	0.08	356.9	25.813
23	---	0.19	492.7	---	0.19	422.9	---	---	---	0.17	414.8	---	---	0.17	393.0	---

tabel 6. Drain (D), de verdamping (R-D) in mm en de begroeiingsfactor $f \left(\frac{R-D}{E_0} \right)$, voor lysimeter I t/m IV.

jaer lysimeter I (kaal), lysimeter II (duin), lysimeter III (loof), lysimeter IV (naald).

mrt	t/m	febr.	R	D	R-D	f	D	R-D	f	D	R-D	f	D	R-D	f	E ₀
1942			985	789	196		691	294		774	211		777	208		
43			659	468	191		322	337		395	264		430	229		
44			934	742	192		600	334		664	270		671	263		
45			861	617	244		482	379		525	336		520	341		
46			712	533	179		385	327		444	269		420	292		
47			750	594	156		445	305		465	285		411	339		717
48			534	319	215		116	418		151	383		76	458		642
49			805	609	196		368	437		420	385		292	513		630
50			1124	862	262		580	544		613	511		480	644		615
51			967	762	205	0.35	484	483	0.82	510	457	0.78	372	595	1.01	589
52			868	689	179	0.29	417	451	0.74	435	433	0.75	274	594	0.98	608
53			602	395	207	0.35	135	467	0.79	166	436	0.74	27	575	0.98	589
54			899	708	191	0.35	393	506	0.92	458	441	0.80	200	699	1.27	552
55			816	617	199	0.35	340	476	0.83	377	439	0.77	205	611	1.07	572
56			769	554	215	0.38	257	512	0.91	280	489	0.87	94	675	1.20	561
57			1098	845	253	0.37	544	554	0.81	505	593	0.87	274	824	1.21	680
58			751	604	147	0.25	348	403	0.70	315	436	0.75	159	592	1.02	579
59			626	468	158	0.22	226	400	0.55	110	516	0.70	16	610	0.83	732
60			1067	871	196	0.33	613	454	0.76	490	577	0.97	352	715	1.20	596

vervolg tabel 6.

lysimeter I (kaal). lysimeter II (duin). lysimeter III (loof). lysimeter IV (naald).

jaar	lysimeter I (kaal)		lysimeter II (duin)		lysimeter III (loof)		lysimeter IV (naald)		Σ					
t/m febr.	R	D	R-D	f	D	R-D	f	D	R-D	f	Σ			
1961	958	733	225	0.38	462	496	0.84	474	484	0.82	221	737	1.25	589
62	761	533	228	0.42	300	461	0.84	281	480	0.88	155	606	1.11	548
63	770	611	159	0.27	369	401	0.67	320	450	0.76	217	553	0.93	595
64	792	627	165	0.26	328	464	0.73	258	534	0.84	119	673	1.06	632
65	1051	817	234	0.41	551	500	0.87	482	569	0.99	296	755	1.32	574
66	1088	859	229	0.38	569	519	0.87	545	543	0.91	331	757	1.27	595
67	884	705	179	0.29	407	477	0.77	385	499	0.80	141	743	1.19	623
68	953	698	255	0.45	387	566	0.99	334	619	1.08	165	780	1.38	572
69	752	632	120	0.21	331	421	0.75	305	447	0.79	104	648	1.15	565
70	798	604	194	0.30	335	463	0.70	245	553	0.84	52	746	1.14	657
			$\bar{f}=0.33 \pm 0,02$			$\bar{f}=0.79 \pm 0,02$			$\bar{f}=0.84 \pm 0,02$			$\bar{f}=1.13 \pm 0,03$		

Literatuurlijst

1. L.J.L. Dey
De meteorologische waarnemingen op het lysimeter station te Castricum.
Water 25 (1941).
2. L.J.L. Dey
The lysimeter station at Castricum (Holland), Procès verbaux des séances de l'Assemblée d'Oslo, 19-28 août 1948.
3. L.J.L. Dey
The lysimeter station at Castricum (Holland), Publication no. 38 de l'Association Internationale d'Hydrologie (Assemblée générale de Rome, tome III) (1954).
4. C. Kramer
Berekening van de gemiddelde grootte van de verdamping voor verschillende delen van Nederland volgens de methode van Penman, Med. en Verh., KNMI, 70, 1957.
5. G.F. Makkink
De verdamping uit vegetaties in verband met de formule van Penman, Versl. Meded. Comm. Hydr. Onderz. TNO 4, 90-115 (1960).
6. G.F. Makkink
Testing the Penman formula by means of lysimeters, Journ. Inst. of Water Eng. 11, 277-288 (1957).
7. B.F. van Nieveelt
Het lysimeterwaarnemingsstation in het Provinciaal duinterrein onder Castricum.
Water 25 (1941).
8. B.F. van Nieveelt
Over de lysimeterwaarnemingen te Castricum.
Water 30 (1946).
9. P.W.N.
Het lysimeterwaarnemingsstation te Castricum.
Eindrapport (1972).
10. A.S. Thom and H.R. Oliver
On Penman's equation for estimating regional evaporation, Quart. J.R. Met. Soc., 103, 345-357 (1977).
11. R. Wind Hzn
The lysimeters in the Netherlands (I)
Verslag. Meded. Comm. Hydrol. Onderz. TNO 3 (1958).
12. R. Wind Hzn
De lysimeters in Nederland (II)
Verslag. Meded. Comm. Hydrol. Onderz. TNO 4 (1960).