

Hydrologie en chemie van grondwater in de duinen

Pieter J. Stuyfzand^{1,2}

Veldwerkplaats Vastelandsduinen,
Castricum, 15 Sept 2009



Inhoud



HYDROLOGIE:

- Hoe meten aan regenwater, bodemvocht, grondwater?
- Vorming zoetwaterlens
- Nuttige neerslag (effecten verschillende begroeiing)
- Verzilting en Kunstmatige Inf Opp.water (KIO)

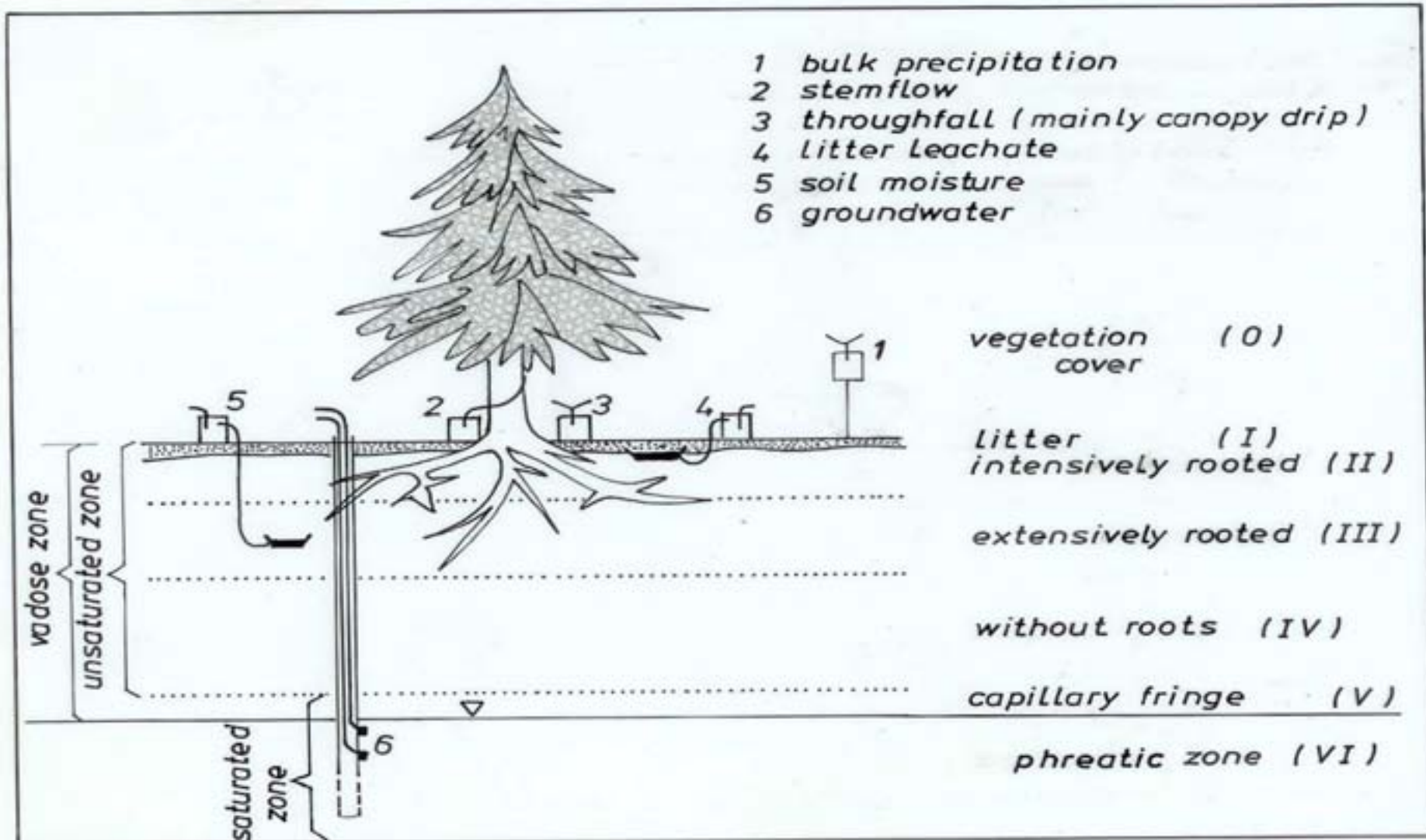
HYDROCHEMIE

- Invloed begroeiing
- Ontkalking
- Kunstmatig infiltraat

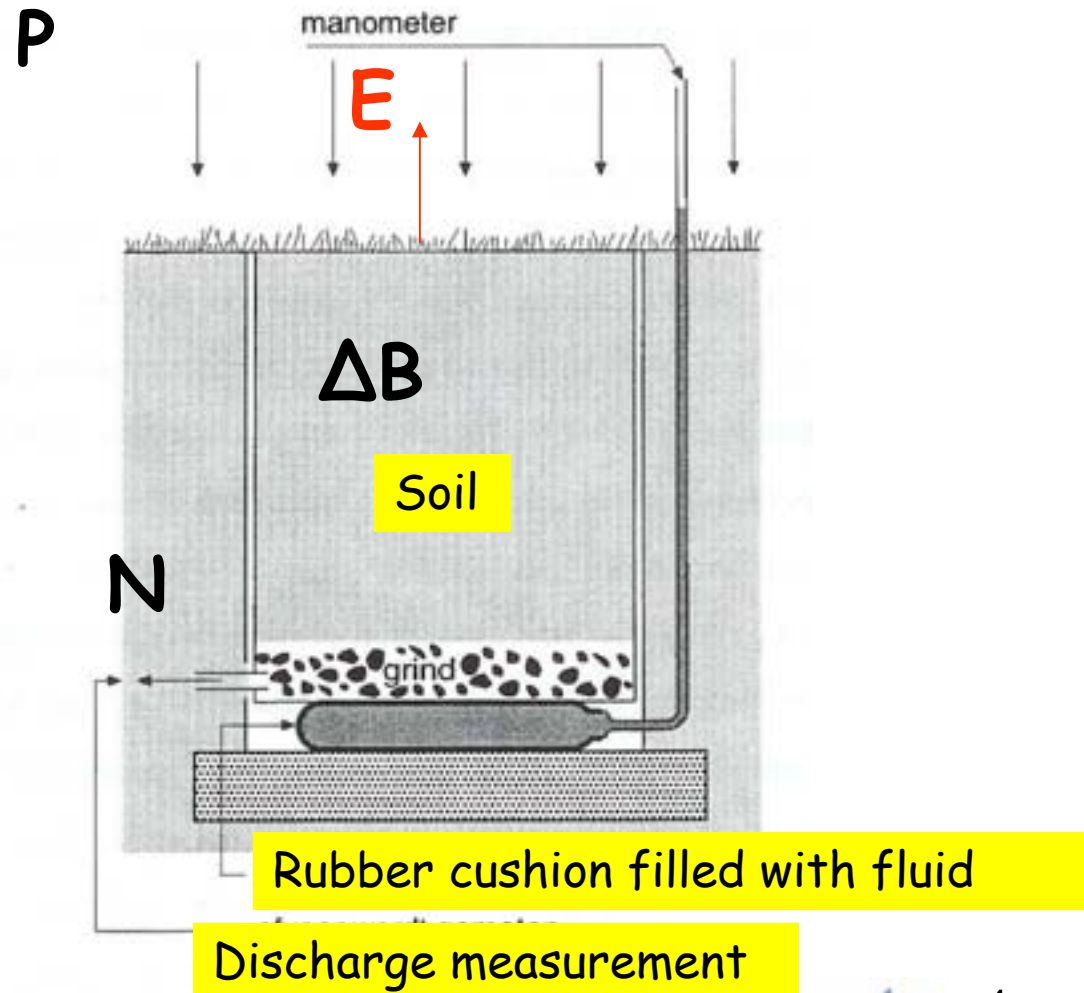
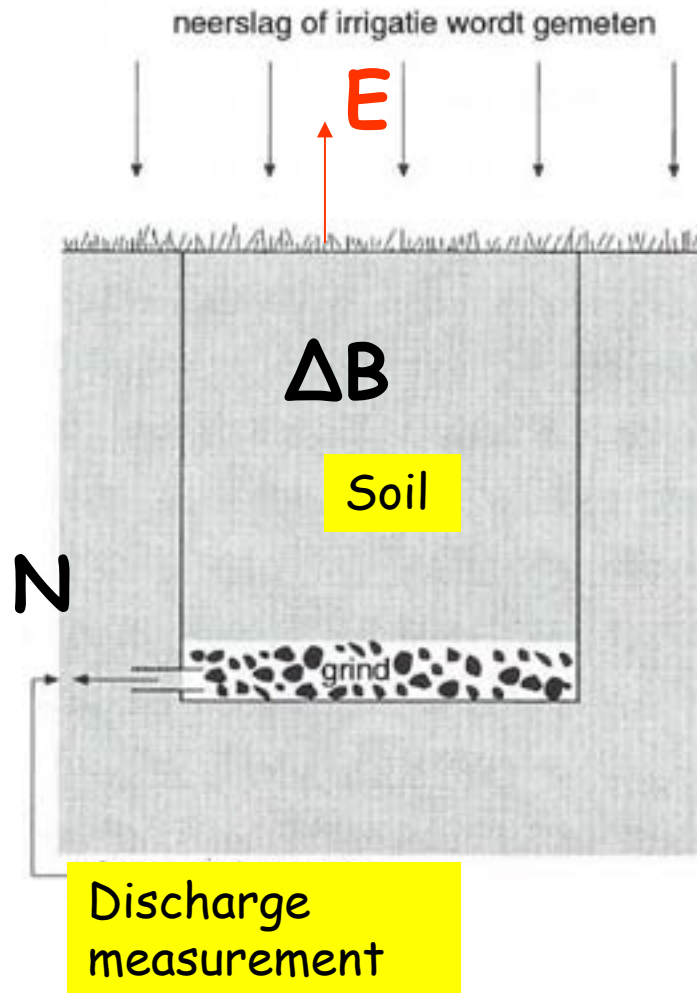
Zorgen duinbeheerders:

- Verdroging en verzilting (waterwinning, urb, den)
- Verzuring (atm dep, verdroging, duinfix)
- Verruiging (KIO, verzuring, atm dep)
- Vernatting (KIO, stop waterwinning)
- Effecten zeespiegelstijging, tempverhoging, zandsuppleties

Hydrologie: hoe te meten aan regenwater, bodemvocht, grondwater?



Lysimeters: $N = P - E (- \Delta B)$



De beroemde lysimeters Castricum (625 m², 2.5 m d, 194
deels gesloopt in 2001!!



Lys.1



Lys.3

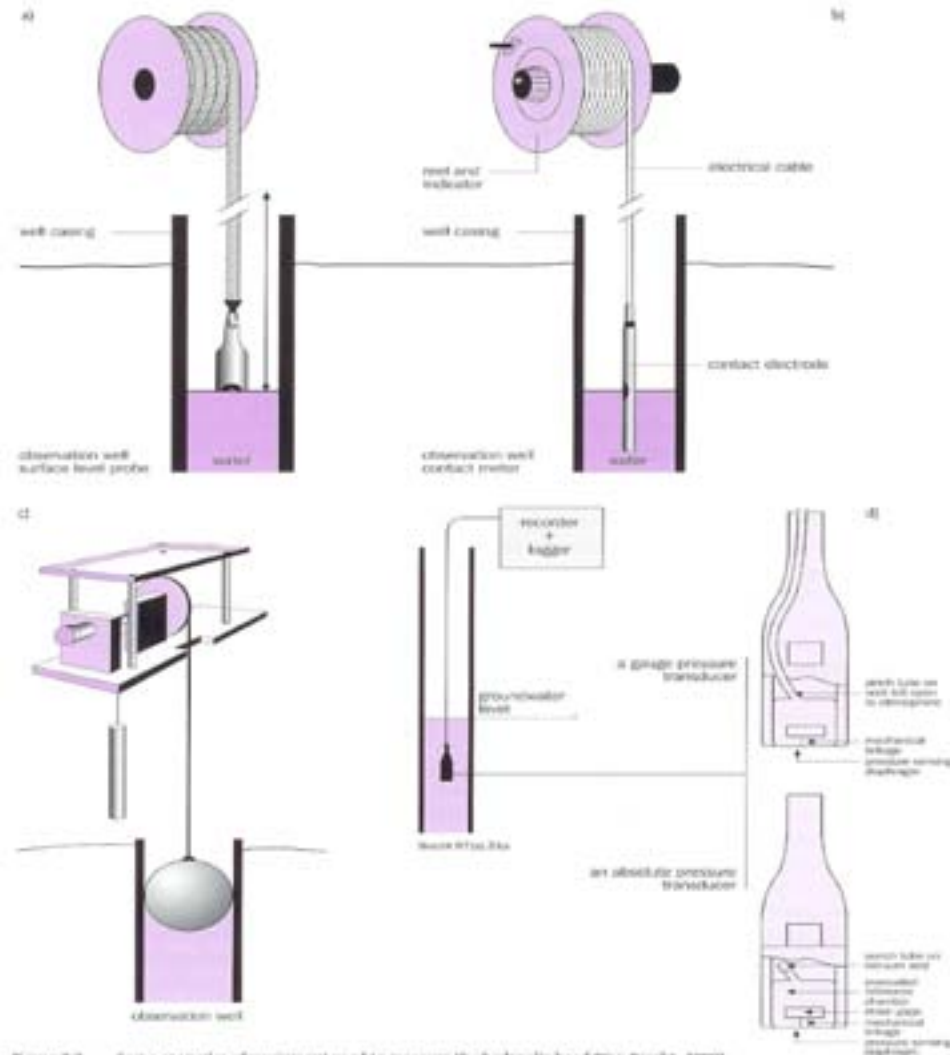
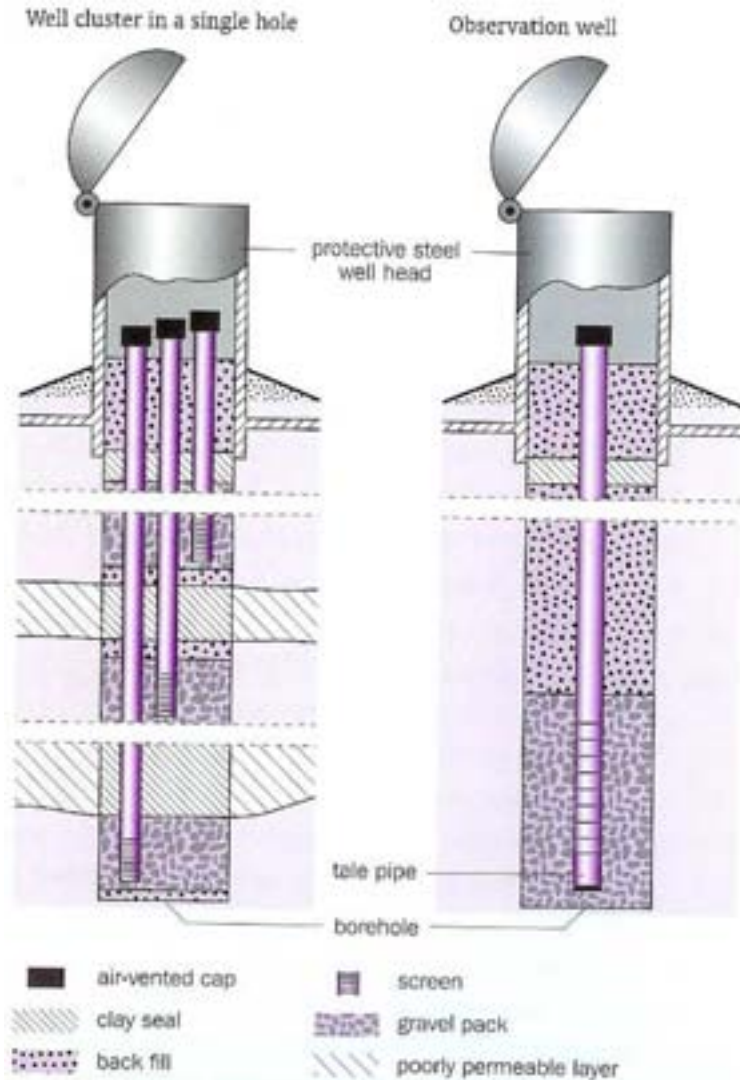


Lys.2



Lys.4

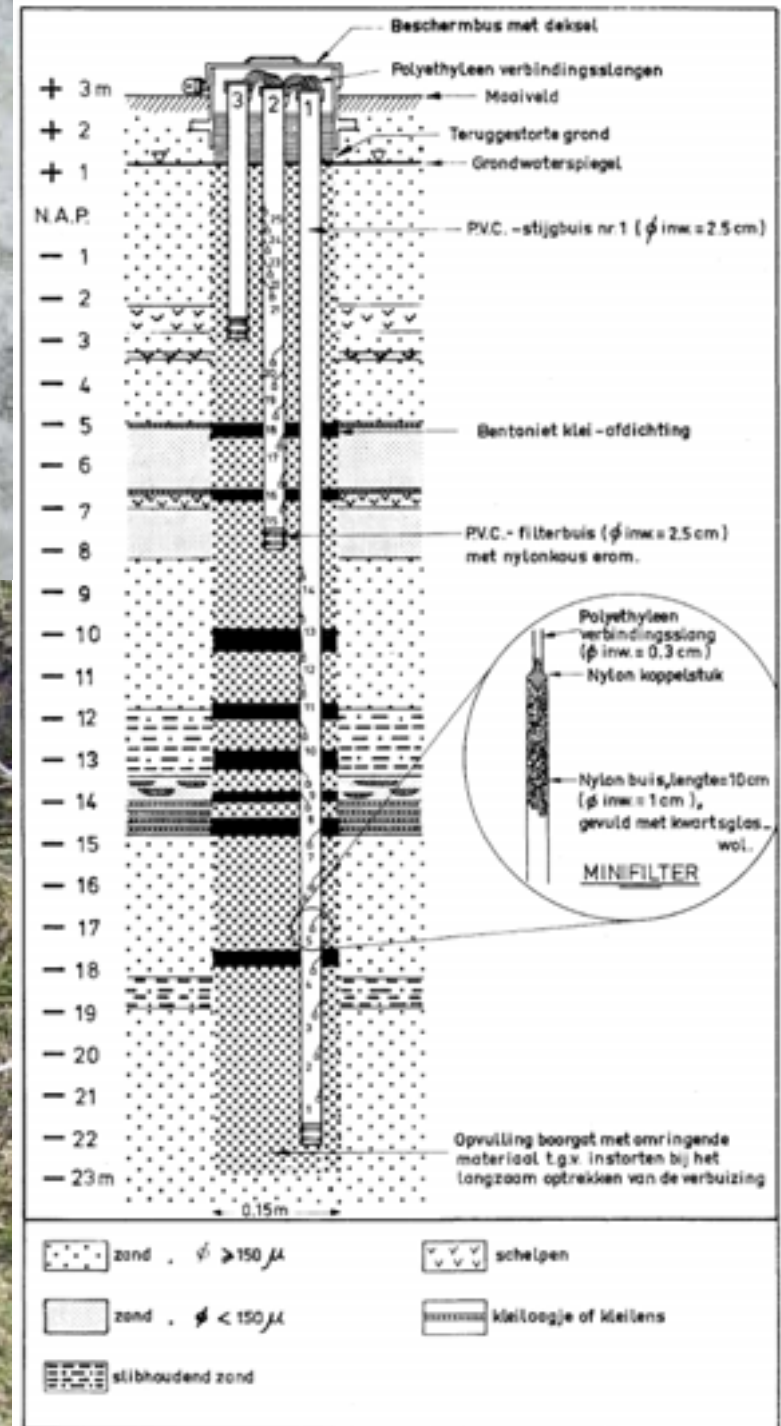
Enkelvoudige peilbuis & piezometernest, met meting grondwaterstand



Bemonstering via luchtlift, PWN nabij Castricum (1985)



Piezo- meter- nesten en mini- filters



Legenda

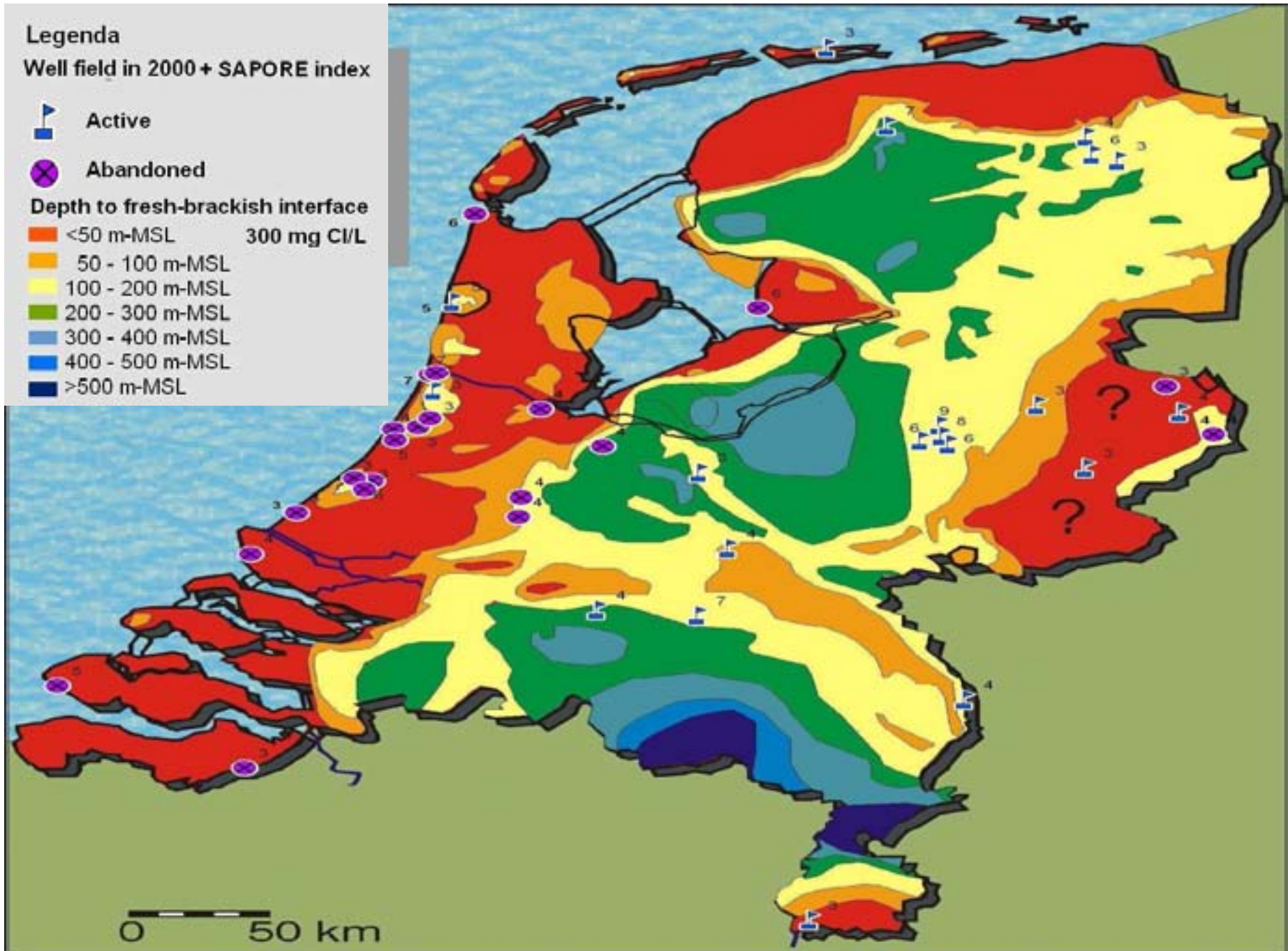
Well field in 2000 + SAPORE index

Active

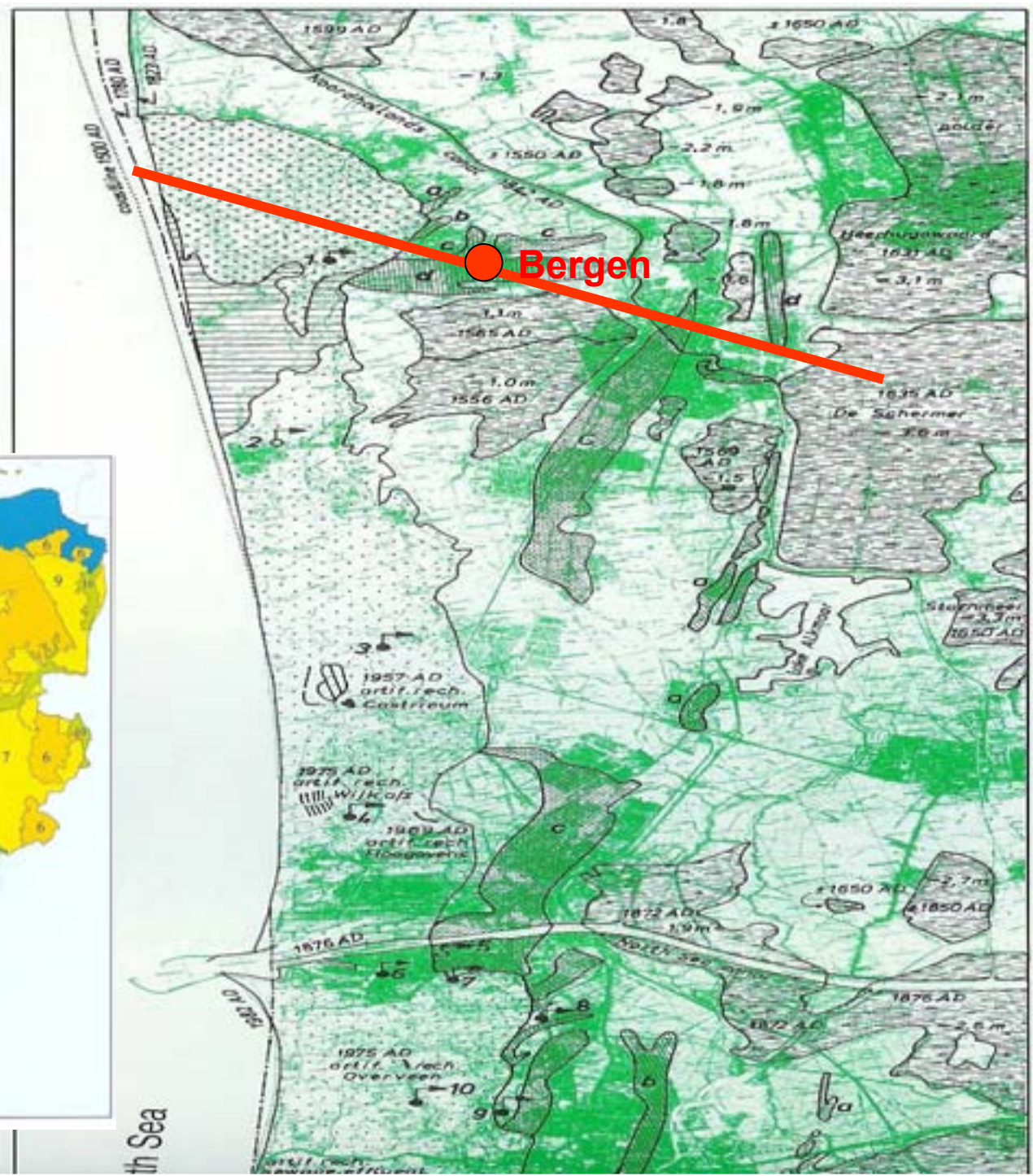
Abandoned

Depth to fresh-brackish interface

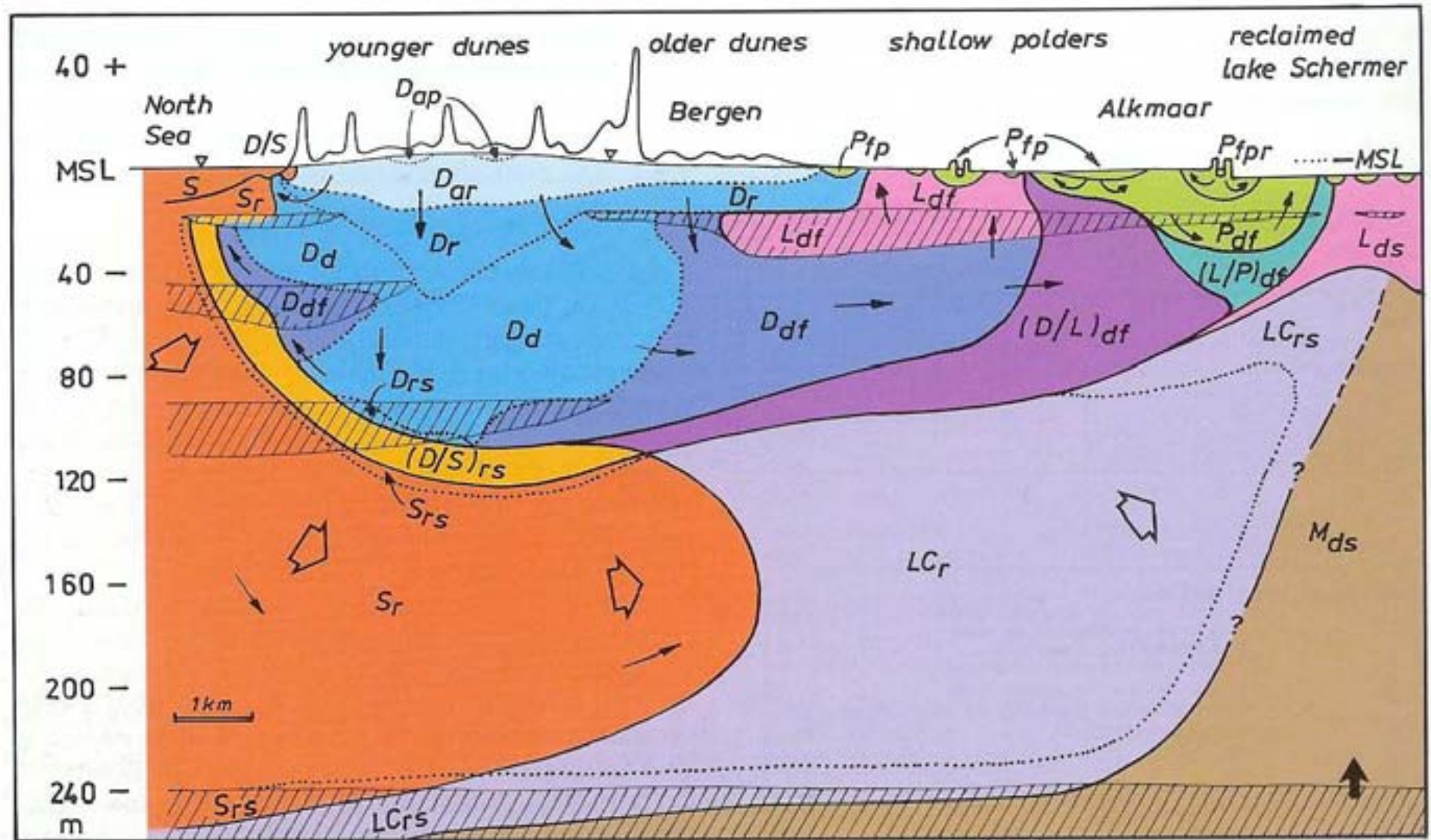
- <50 m-MSL 300 mg Cl/L
- 50 - 100 m-MSL
- 100 - 200 m-MSL
- 200 - 300 m-MSL
- 300 - 400 m-MSL
- 400 - 500 m-MSL
- >500 m-MSL



Duingebied
 Santpoort -
 Camperduin:
 veel
 veranderingen
 (Stuyfzand, 1993)

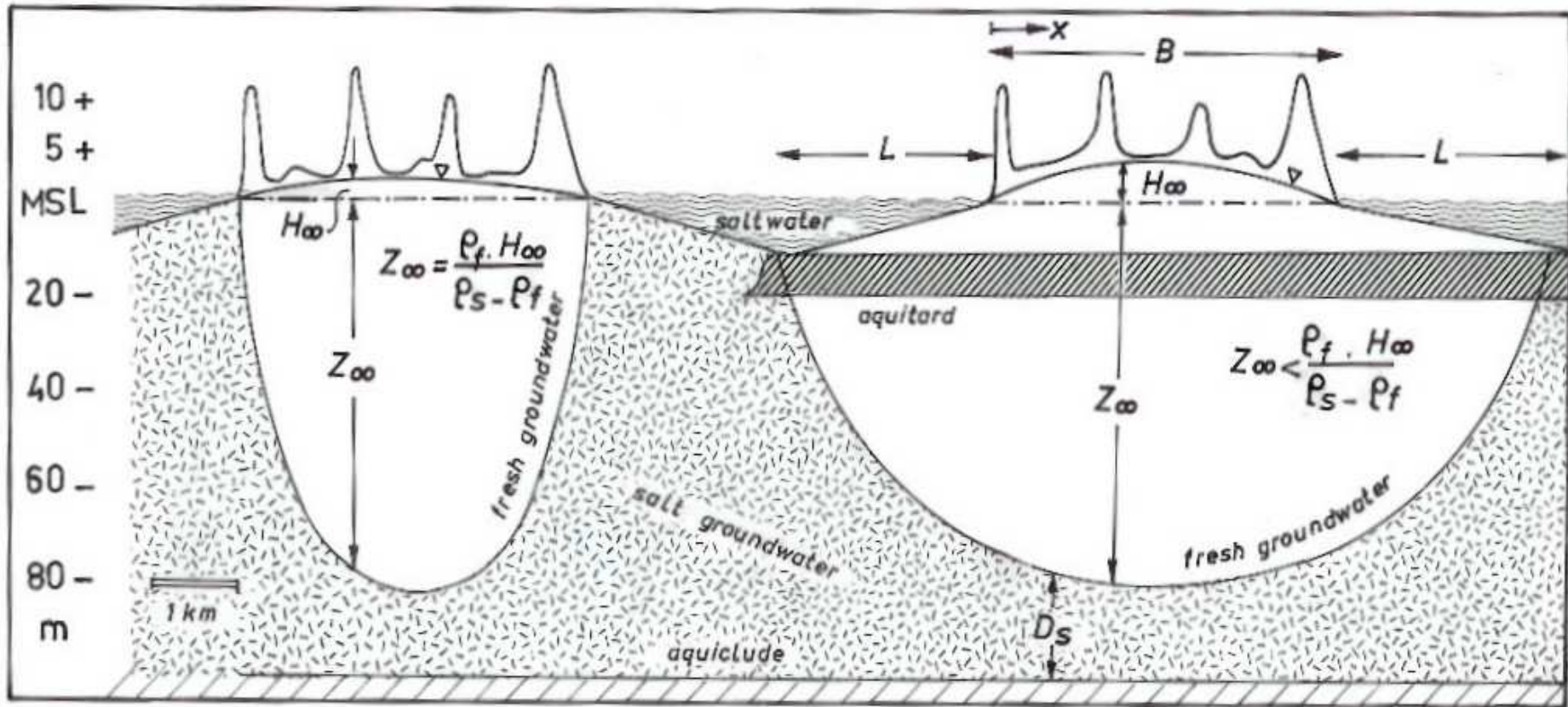


Verschillende zoete, brakke en zoute waterlichamen (Stuyfzand, 1993 p128)



Het Ghyben-Herzberg principe van zoet grondwater drijvend op stagnant zout groundwater

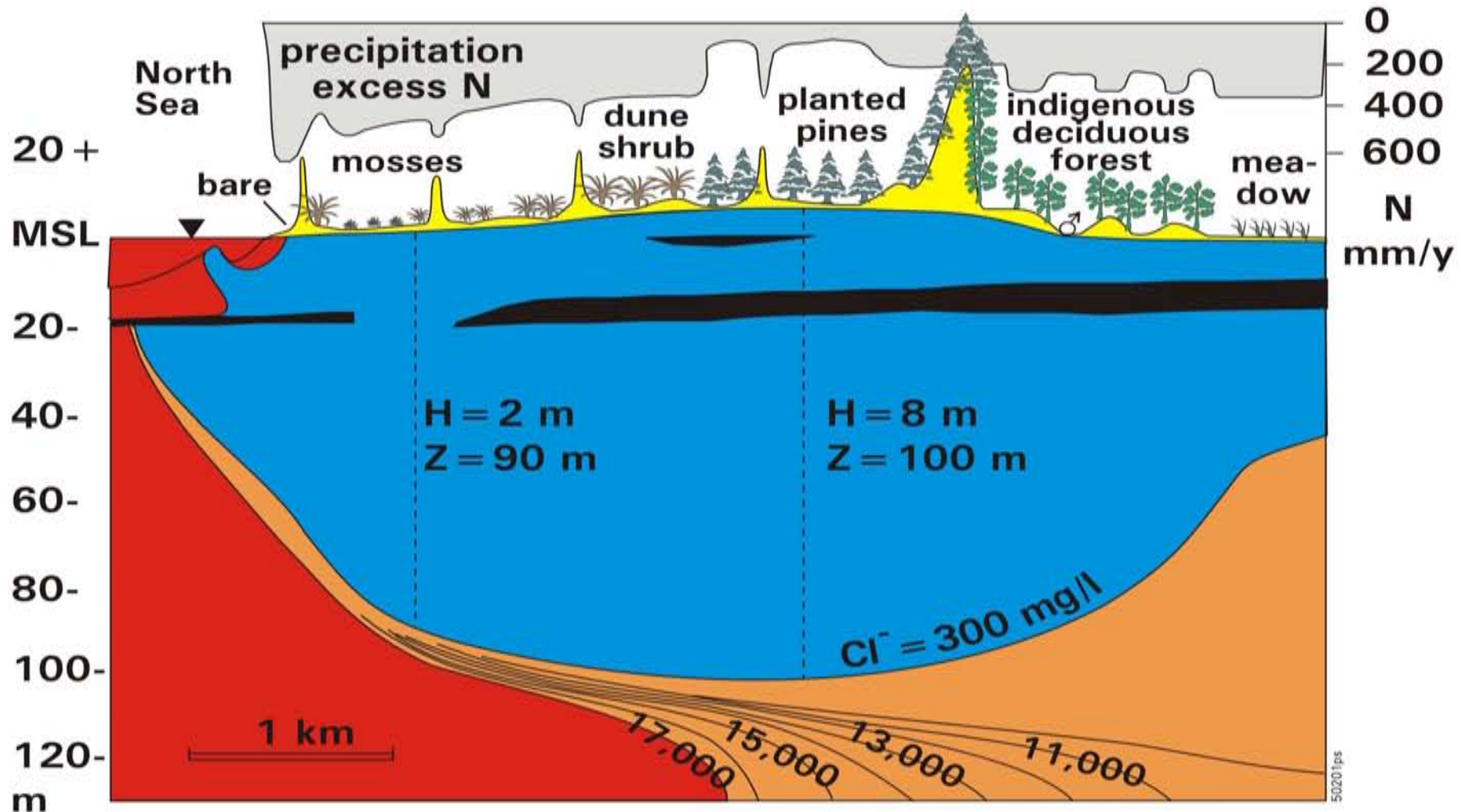
(Stuyfzand, 1993 p.83)



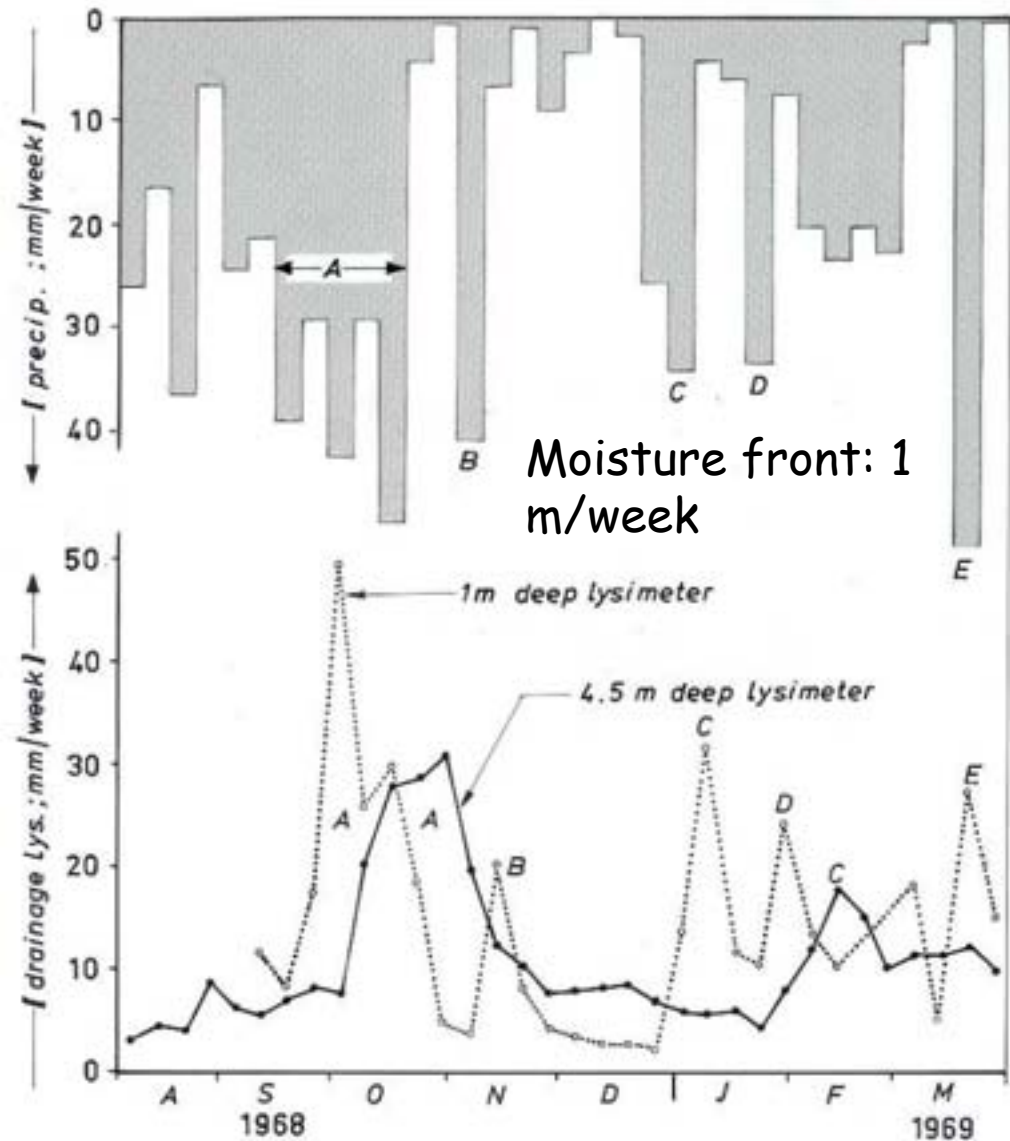
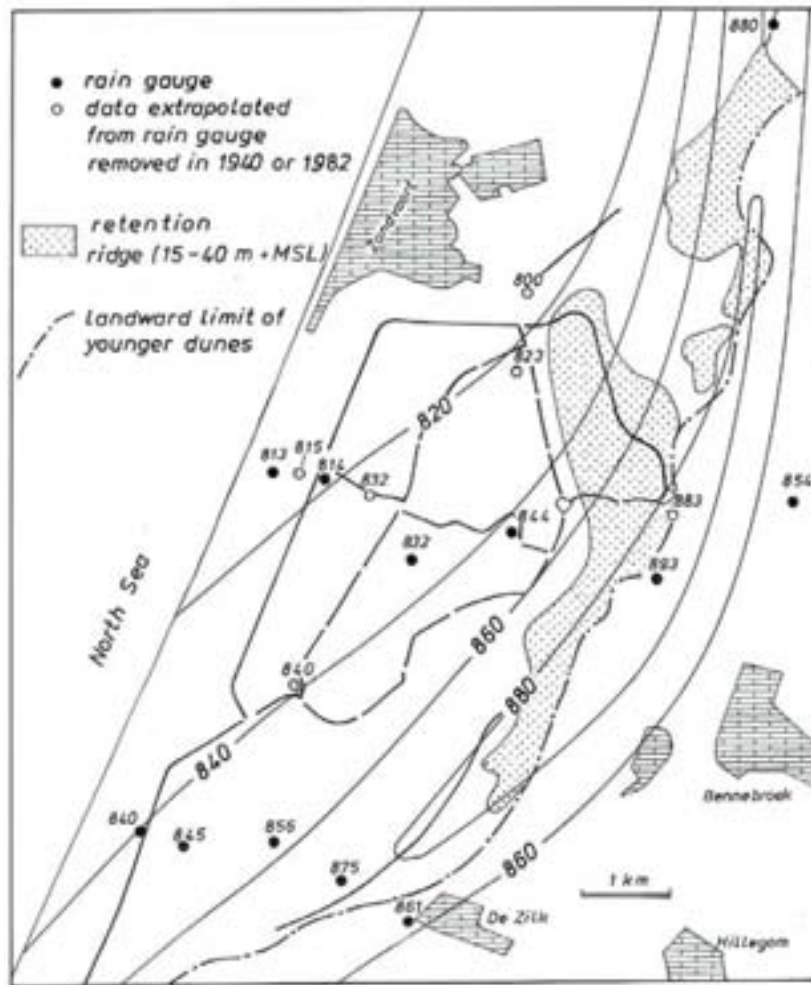
Algemene aanname: $Z_{\infty} = 40H_{\infty}$ ($\Delta\rho = 0.025 \text{ kg/L}$)



Zoetwaterlens met afwijkende H-Z tov Badon's principe (Stuyfzand & Bruggeman, 1994)



Gemiddelde jaartotaal regenval op AWD en snelle respons grondwater op buien (Stuyfzand, 1993)



Lys → Natuurlijke grondwateraanvulling kustduinen hangt sterk af van begroeiing: gemidd 1957-1981

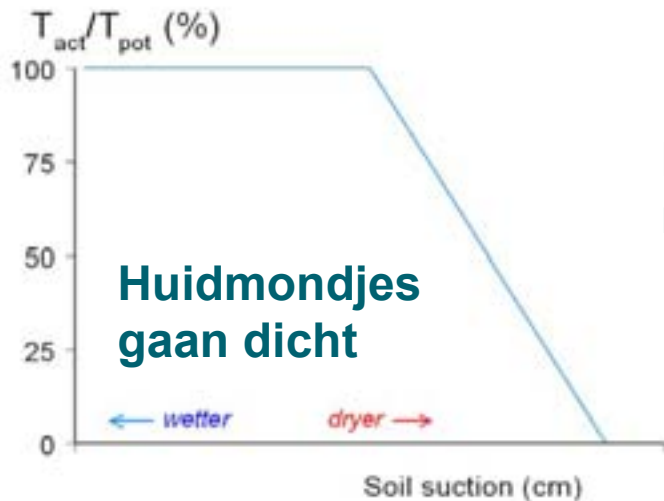
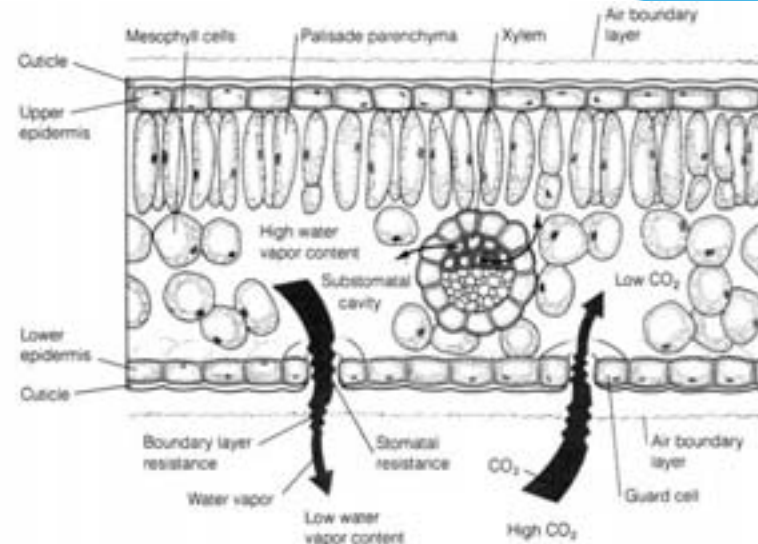
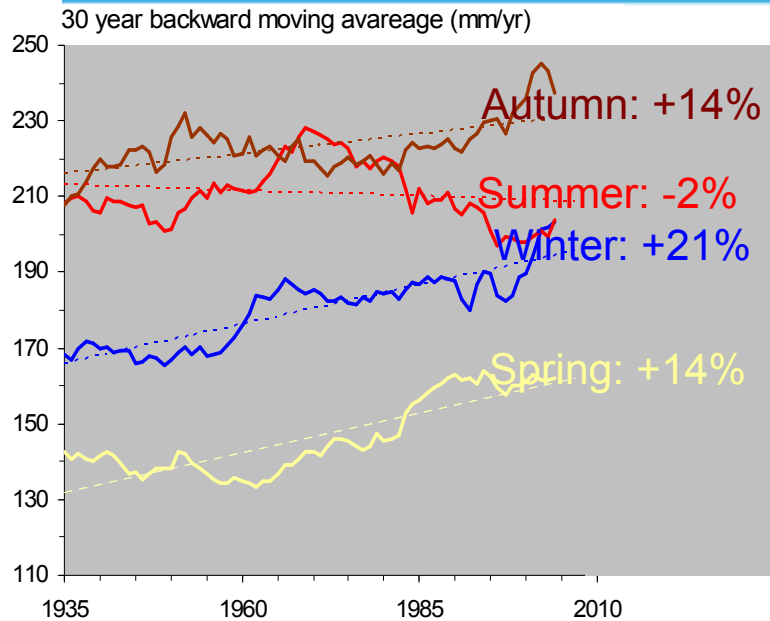
mm/year	Bare dune sand	Dune shrub (Hippophae)	Oaks (Quercus robur)	Pines (Pinus nigra)
Gross precipitation	820	820	820	820
Interception	0	162	230	360
Soil evaporation	197	174	115	150
Transpiration	0	139	170	170
Excess precipitation	623	345	305	140
	(76%)	(42%)	(37%)	(17%)

Door klimaatverandering meer grondwateraanvulling?

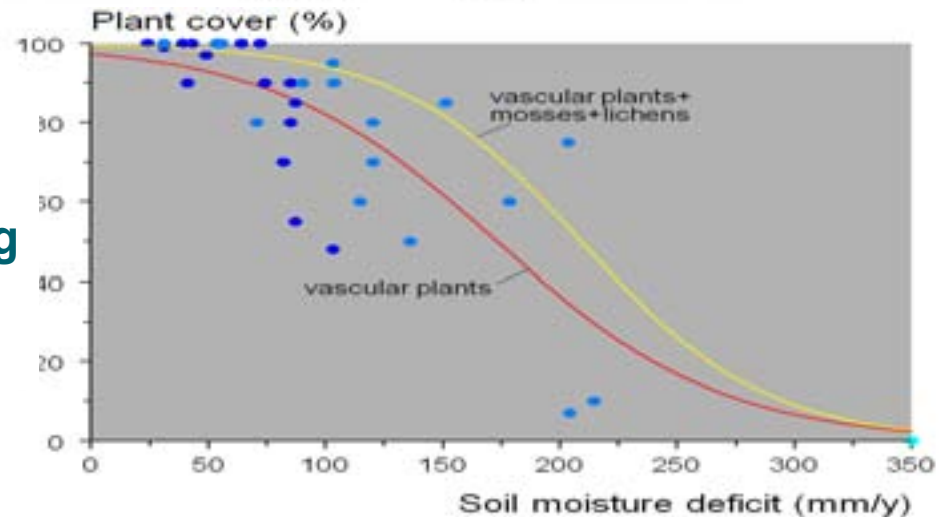
Flip Wiite, Ruud Bartholomeus, Gijsbert Circel, Pierre Kamps



CO₂-toename



Drogere bodem → minder veg → minder Evap



Waterafstoting zeer droog zand

- Verminderde infiltratiecapaciteit duinbodem → significante toename opp afvoer en erosie langs hellingen.
- Afname grondwateraanvulling onder duintoppen en toename richting duinvalleien → verdroging droge duinen, vernatting duinvalleien.



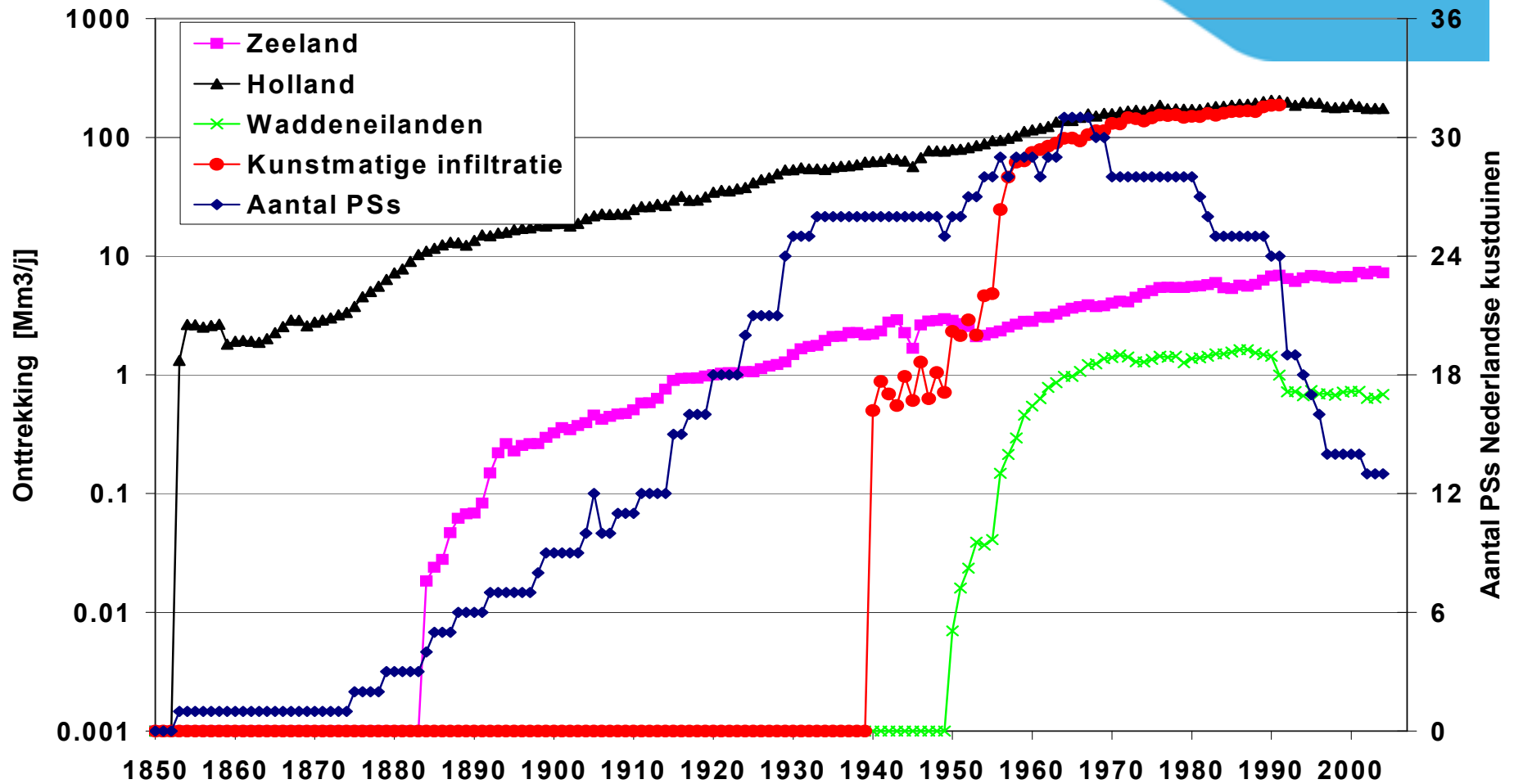
Oppervlakkige afvoer regenwater langs duinhelling (plot Meyendel)



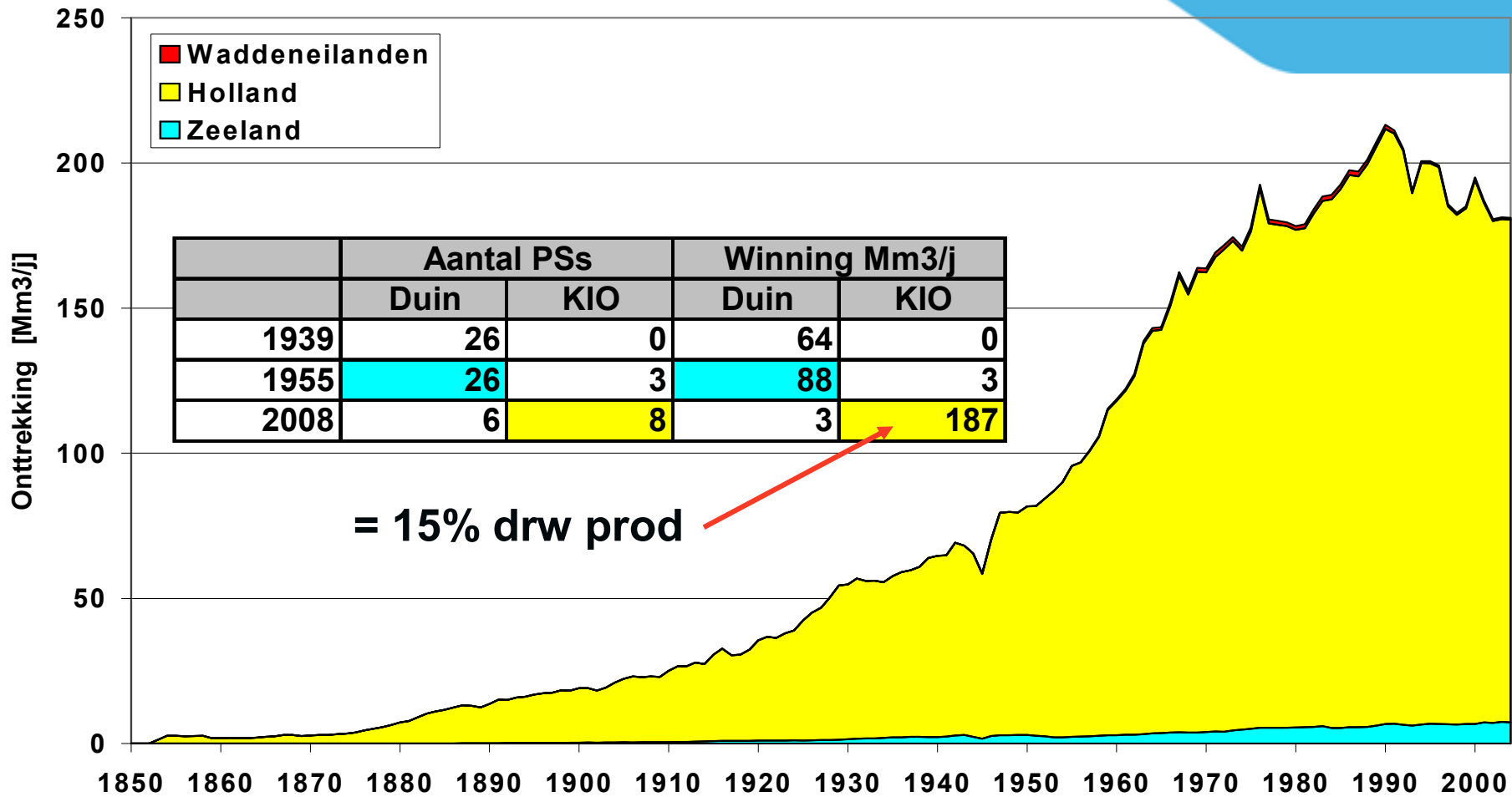
Duinzand infiltreert niet altijd voldoende snel

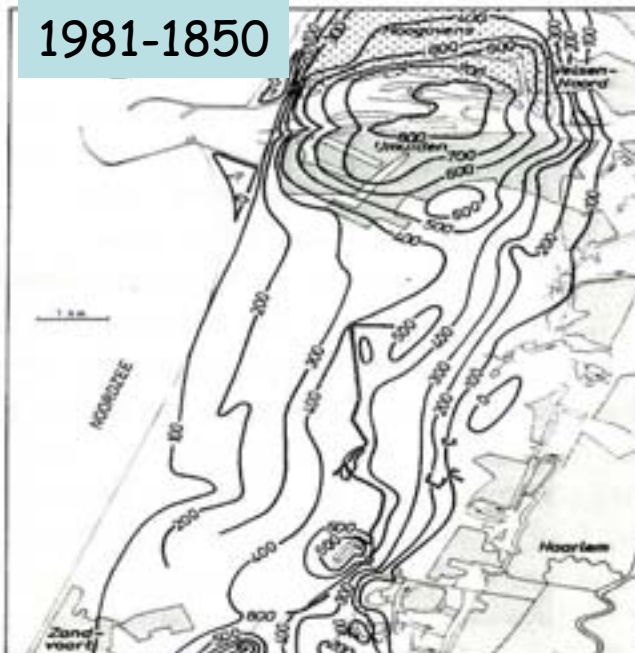
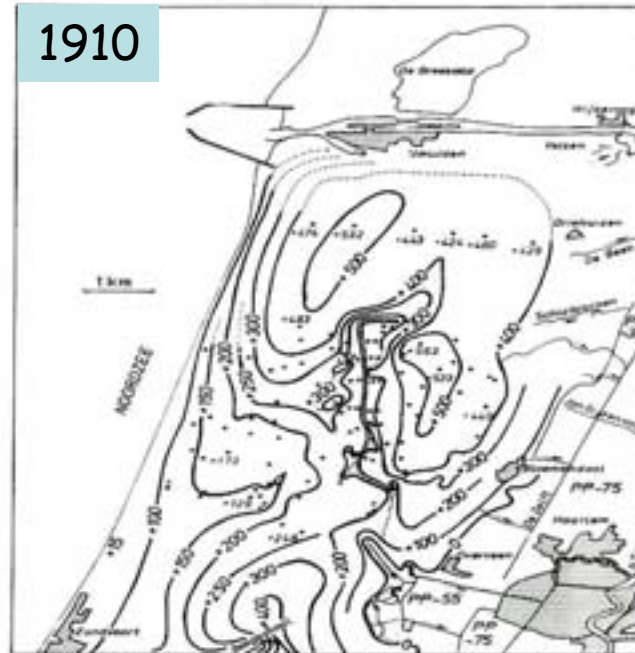
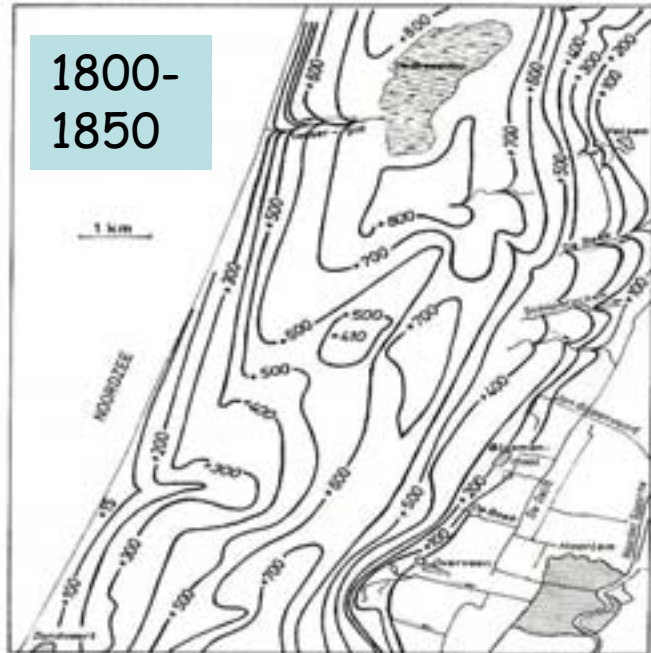


Jaartotalen grondwateronttrekking aan duinen en KIO, alsmede aantal PSs



Jaartotalen grondwateronttrekking aan duinen (KIO incl.) en de sluiting van veel duinwaterpompstations



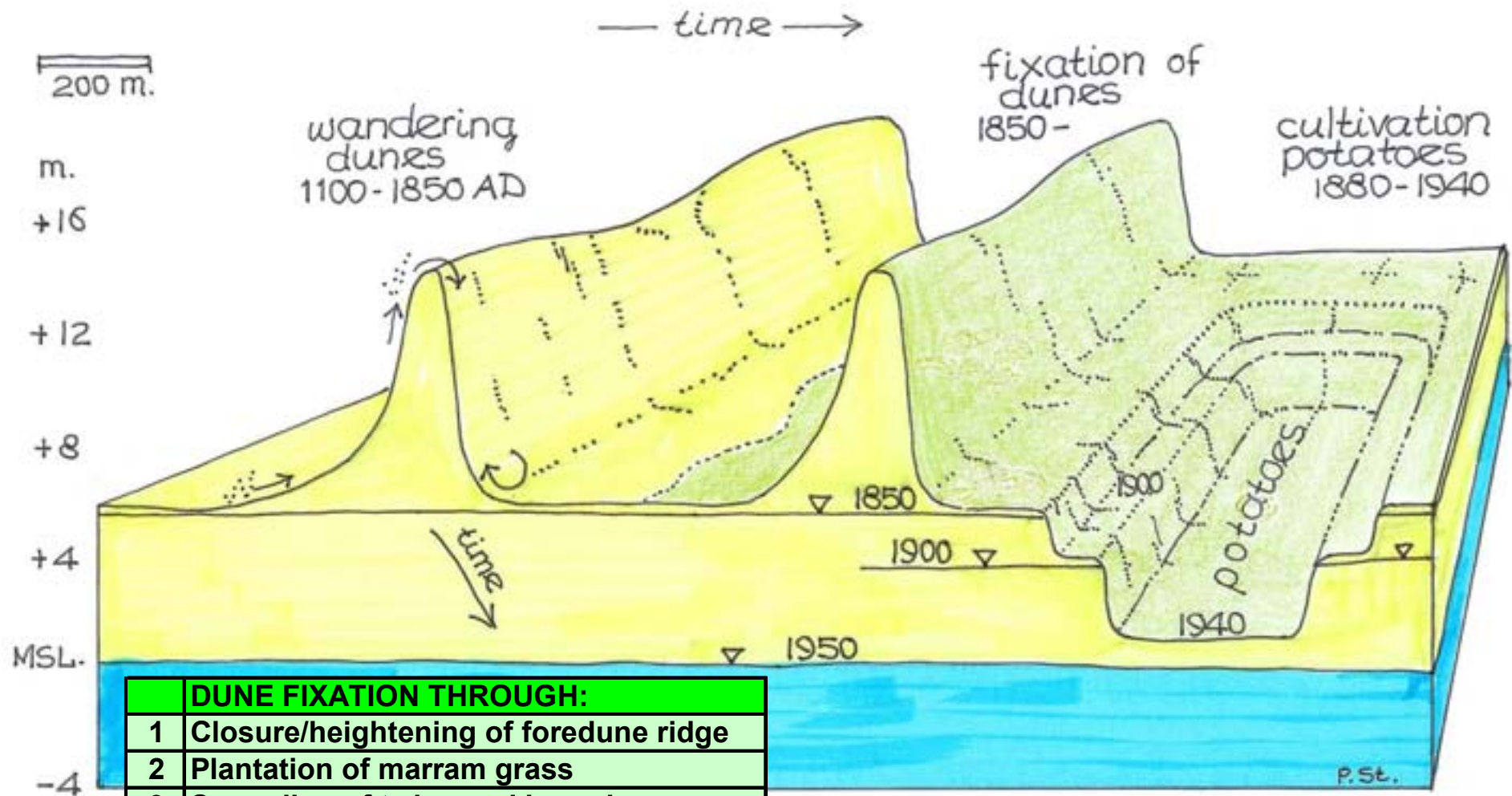


Gemeten
grondwater-
standen in
1850, 1910,
1974 en de
daling 1850-
1981 in
Kennemer-
duinen

(Stuyfzand 1987
p48)



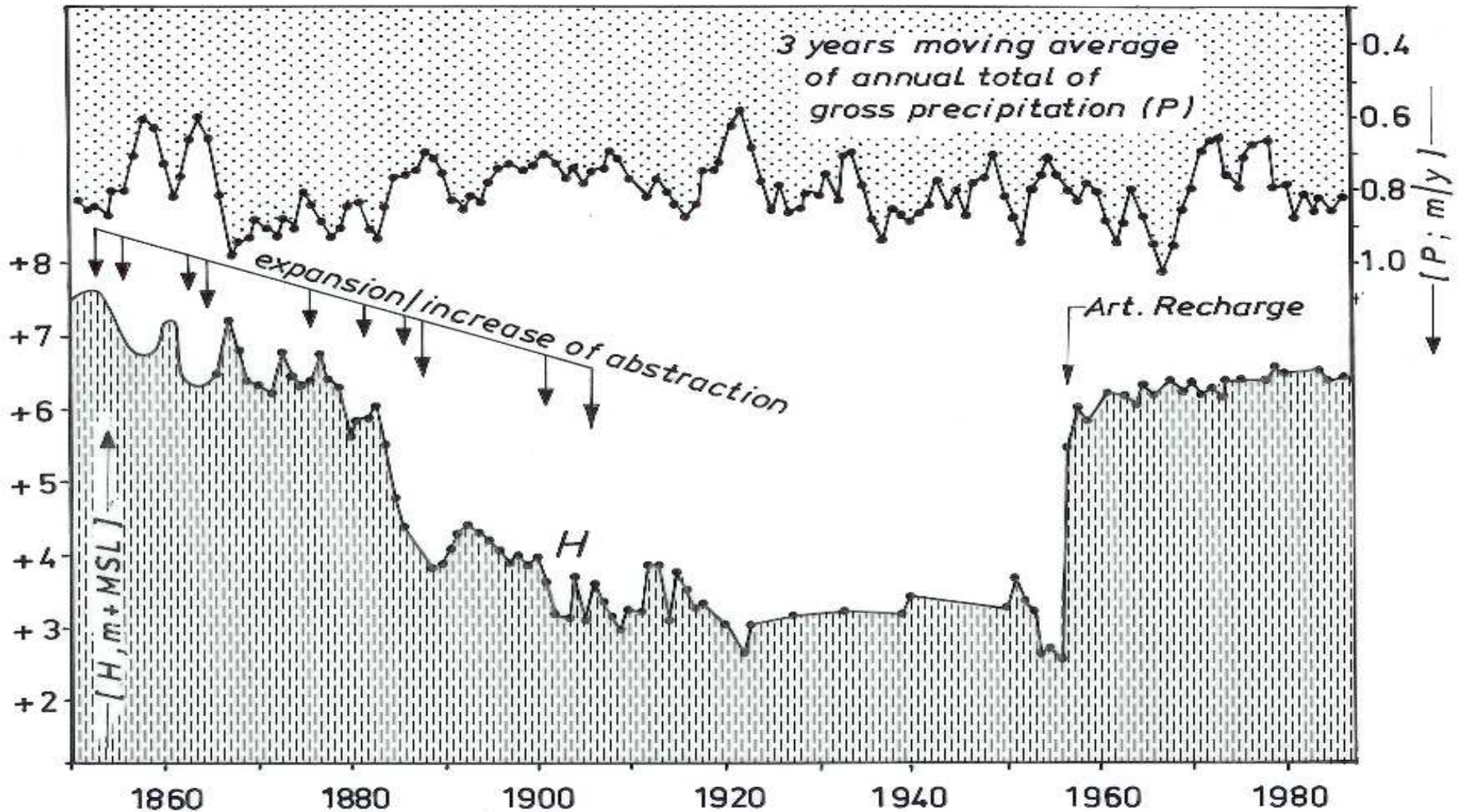
Afleiding oude grondwaterstand van hoogte gefossiliseerde duinvalleien (Stuyfzand 2005)



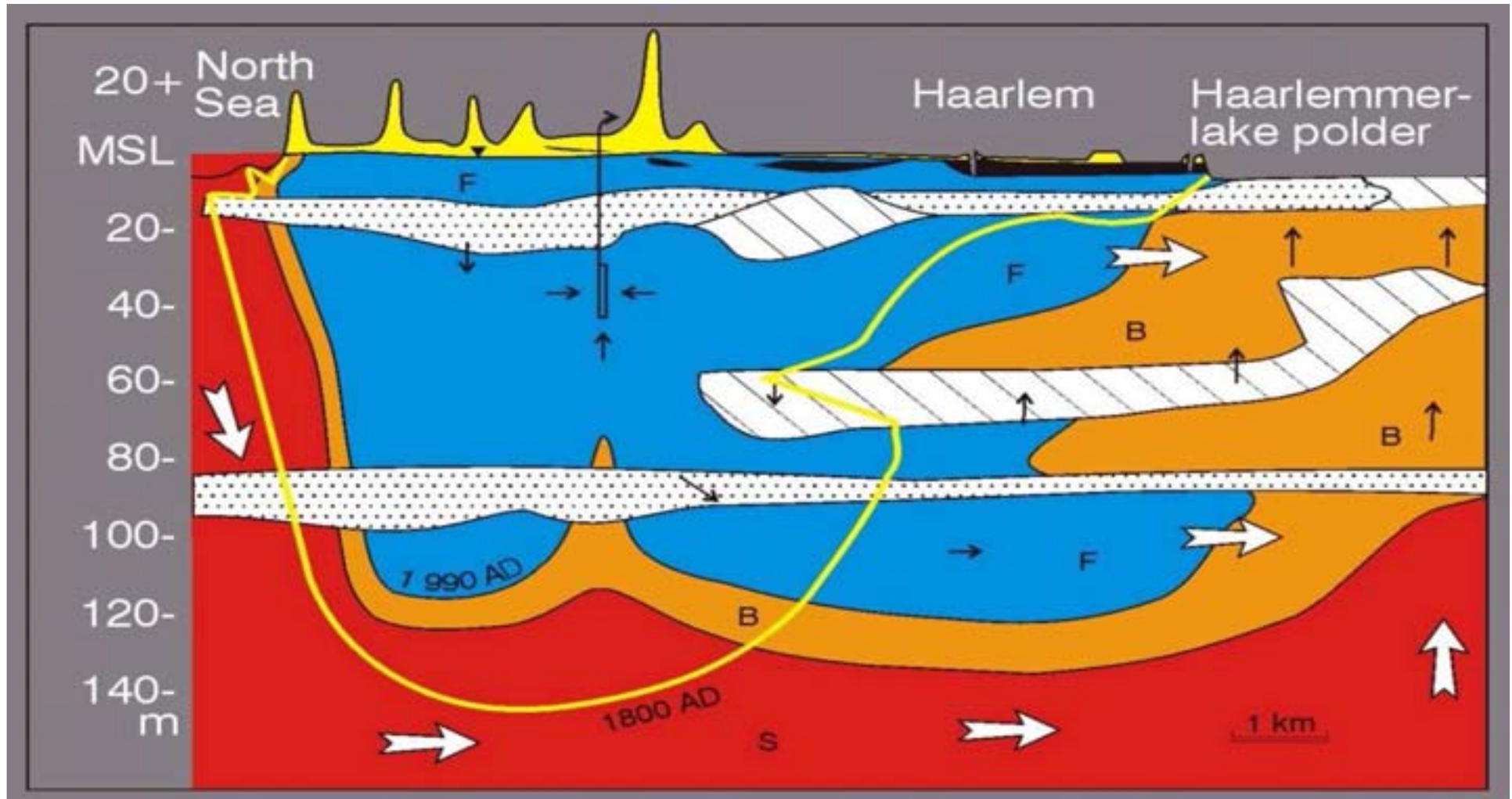
DUNE FIXATION THROUGH:	
1	Closure/heightening of foredune ridge
2	Plantation of marram grass
3	Spreading of twigs and branches
4	Afforestation
5	Rabbit hunting
6	Agricultural activities

Grondwaterstandsdeling in duinen

(Stuyfzand, 1993)

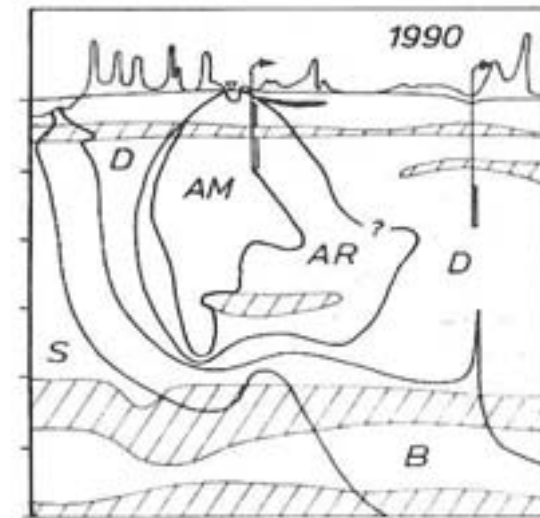
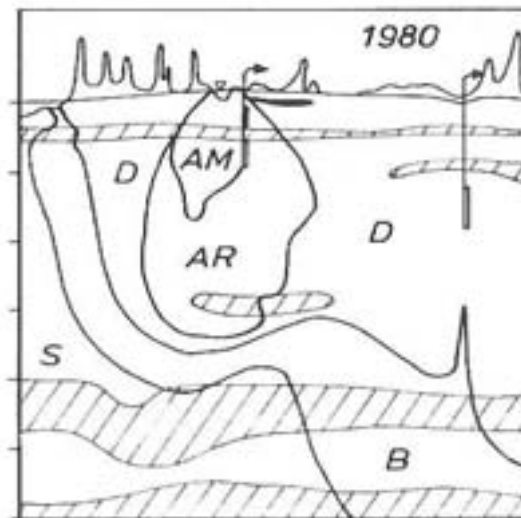
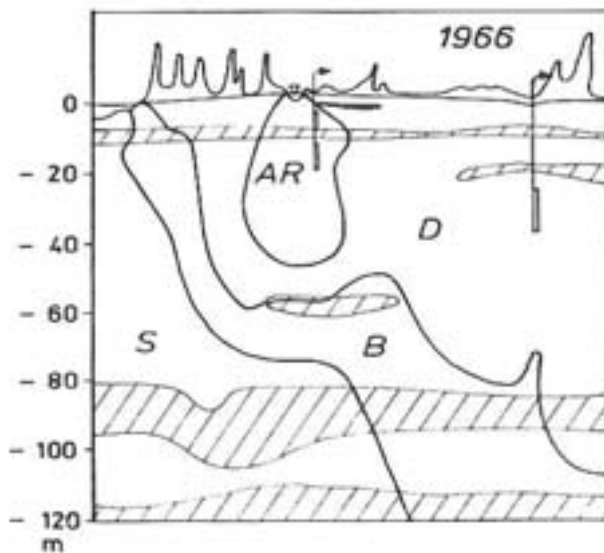
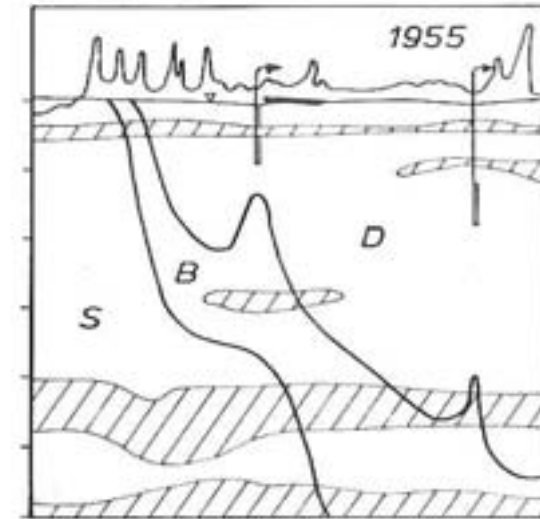
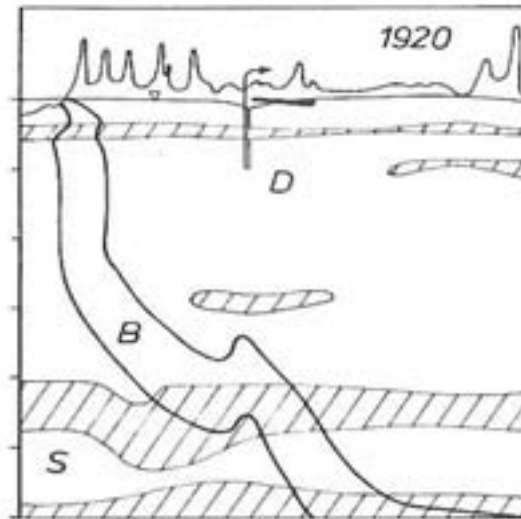
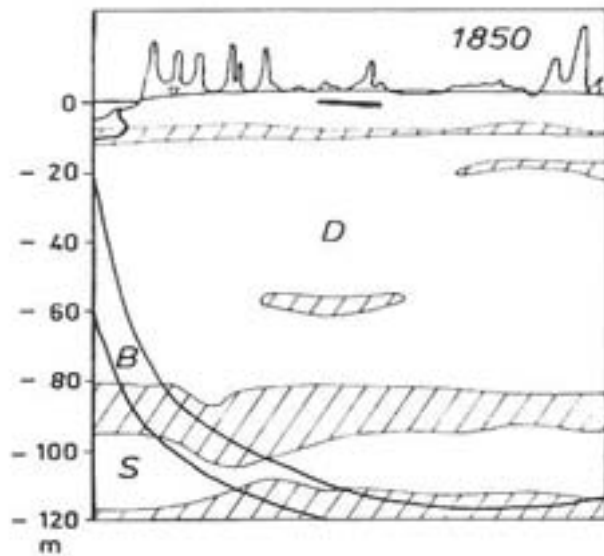


Droogmakerijen, diepe polders en grondwaterwinning → snelle veranderingen (Stuyfzand, 1996)

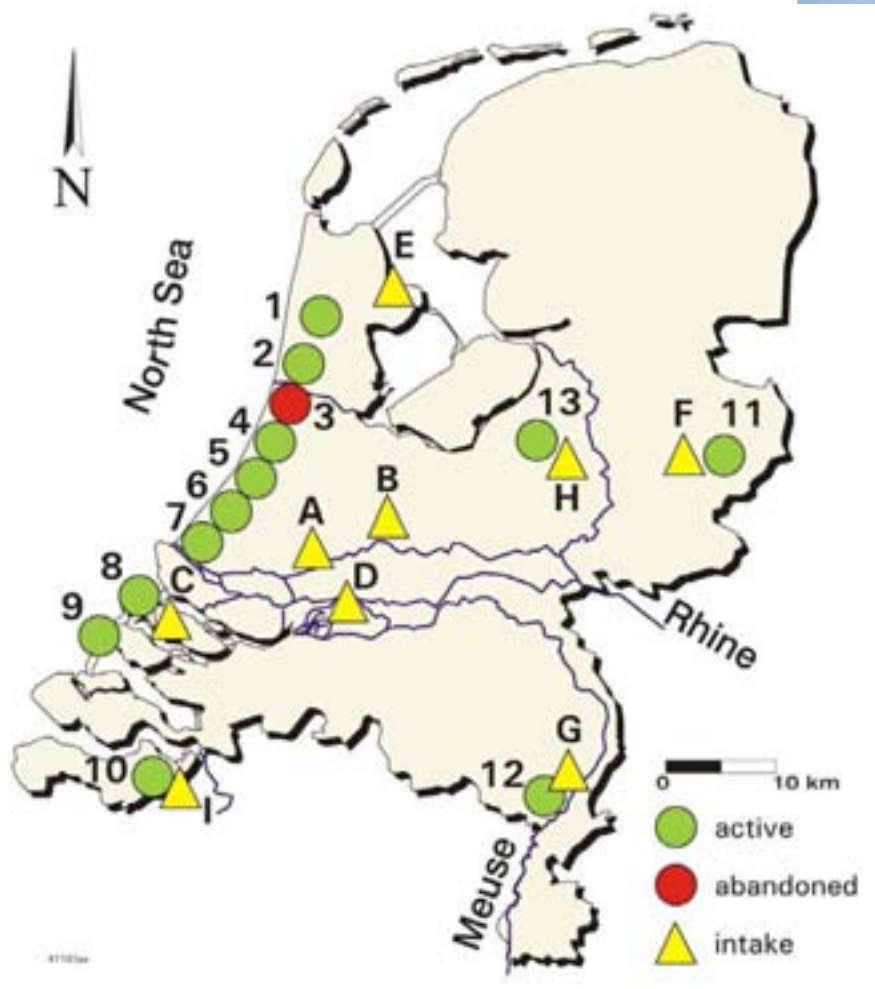


Verziltting en effecten KIO tNv Den Haag

(Stuyfzand, 1993 p.97)



Kunstmatige infiltratie in Nederland sinds 1940,
thans 12 locaties: goed voor 200 Mm³/y, ca 16%
van nationale drinkwatervoorziening



Waarom KIO tbv drinkwatervoorziening in W-Nederland?

Motivatie 1940-50:

- Duidelijk tekort aan zoet water (grote steden)
- Dalende grondwaterstanden
- Verzilting van pompputten en drainagesystemen
- Verdroging natuurgebieden

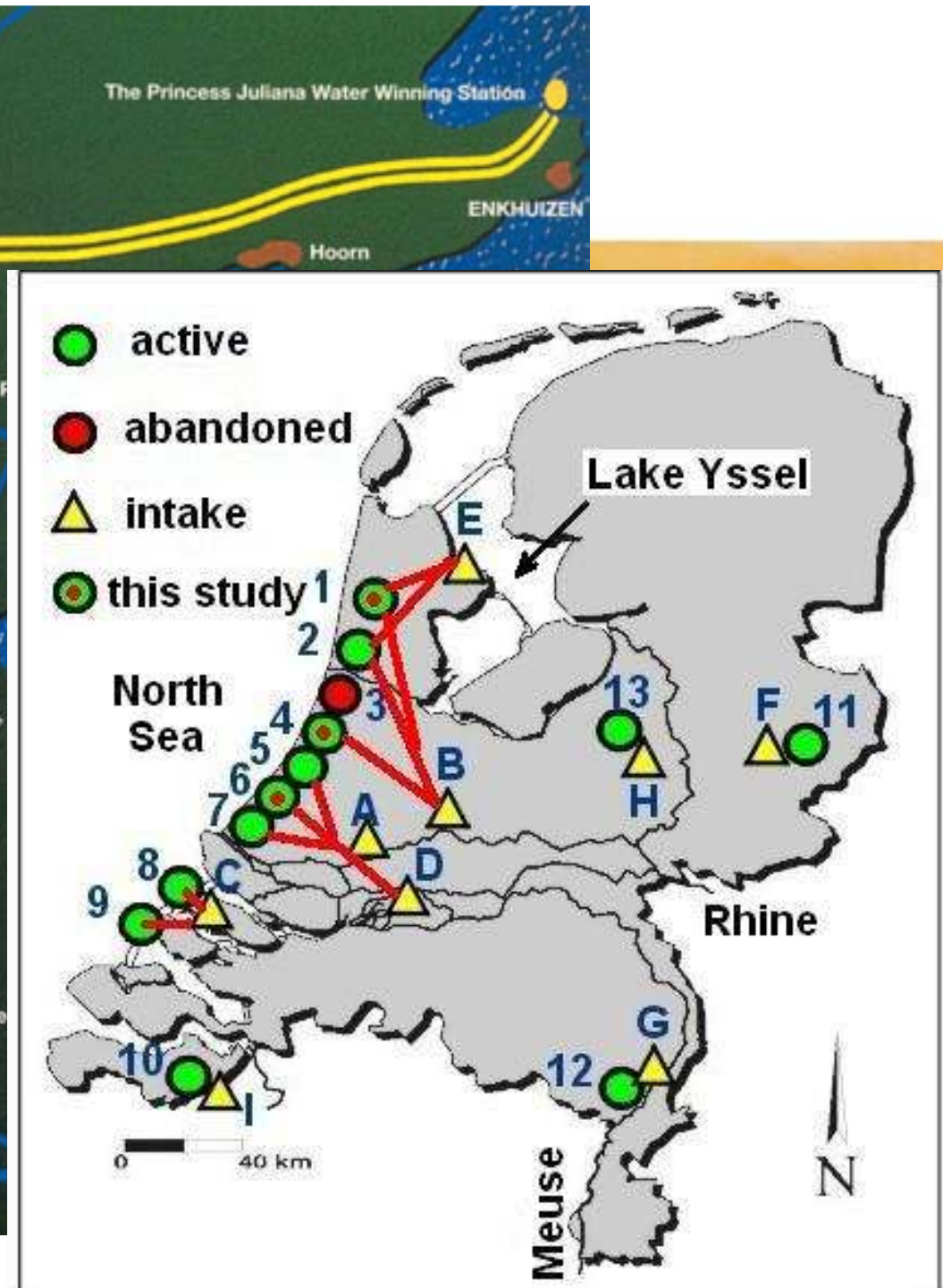
Voordelen t.o.v direct gebruik oppervlaktewater:

- Afvlakking kwaliteitsfluctuaties opp.water
- Veilige berging in ondergrond
- 100% Eliminatie zwevend stof en pathogenen
- Zelfreiniging vele verontreinigingen incl. radionucliden
- Smaakverbetering, ecologischer imago drinkwater

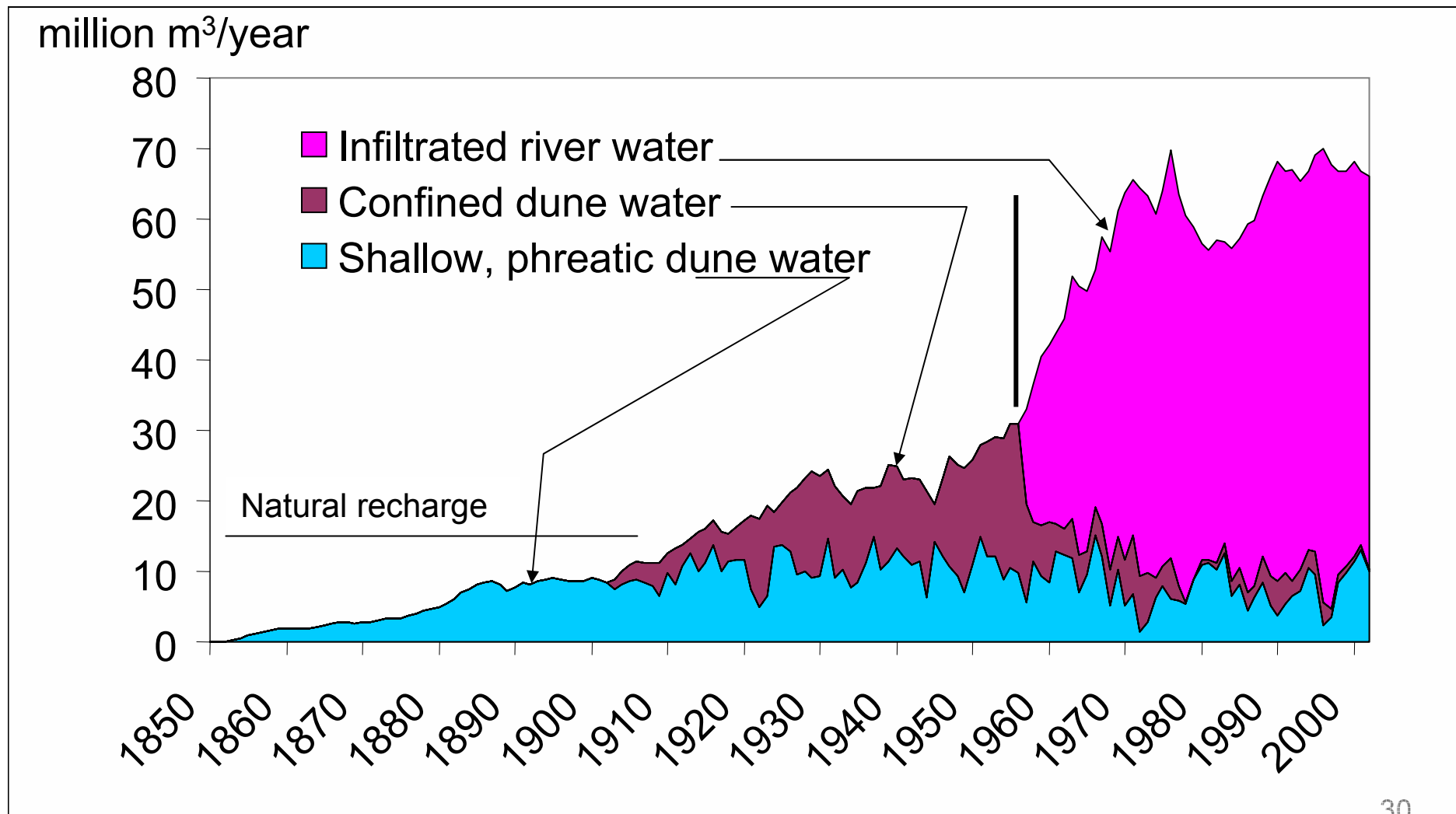


Bronnen van infiltratiewater:

- D,G: Maas (69 Mm³, 39%)
- A-C: Rijn (77 Mm³, 44%)
- E: Ysselmeer (14 Mm³, 8%)



Herkomst drinkwater 1853-2000 uit de Duinwaterwinplaats Amsterdam



Bodemverstopping infiltratiepanden was vóór 1976 normaal



Slib vooral bestaande uit
algen + kalk. → bestrijding
eutrofiering nodig !

Bodemverstopping eenvoudig vast te stellen



Vergelijking van verstopping + eutrofiering bij KIO in 2 verschillende gebieden: links OK, rechts fout



**Riet zou slibvorming kunnen tegengaan en
waterkwaliteit kunnen verbeteren (verg.
helofytenfilters)**



Slibverwijdering WLB (thans 1x/15 jaar ca.)



Toename duurzaamheid door OINS: Open Infiltratie Nieuwe Stijl

**Sanering stroomgebied waaruit opp.water betrokken wordt
Implementatie EU richtlijnen voor KIO tbv drinkwatervoorziening
(IB 1993) :**

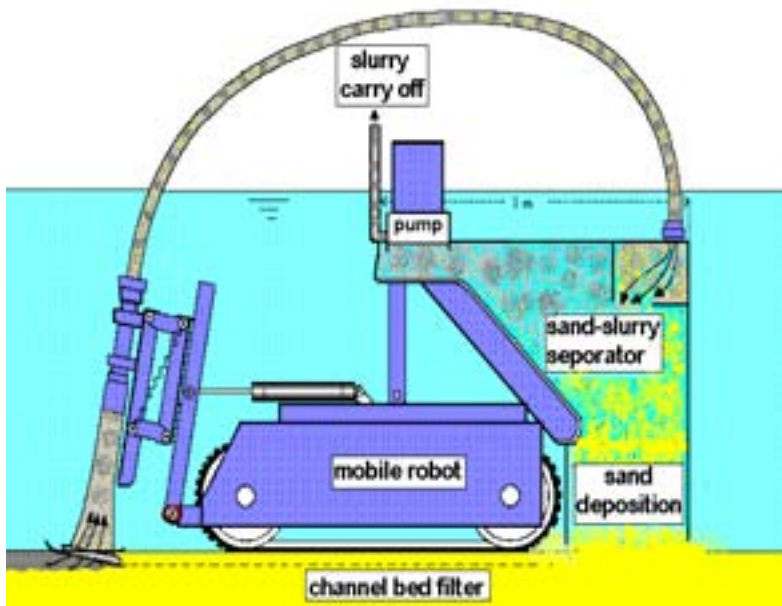
- 1) Max. toelaatbare concentraties
- 2) Beperkt houden ruimtelijke verspreiding kunstmatige infiltraat (gesloten systeem)
- 3) Schoonmaak wanneer systeem verlaten

Inpassing KIO-systeem in natuurlijke landschap door:

- a) Van monotone geulen naar meer natuurlijke waterlopen (reductie helling oeverwalud, baaien + eilandjes)
- b) Verdere voorzuivering (PO₄ verwijdering, GAC, UV+H₂O₂), reductie kalkagressiviteit + oxid cap (vnl NO₃) influent
- c) Diepinfiltratie ipv open infiltratie
- d) Verplaatsing zuivstation/gebouwen naar terrein buiten duin
- e) Stop onnatuurlijke fluctuaties waterpeilen en slibruiming
- f) Vergroting capaciteit door intensivering ipv uitbreiding

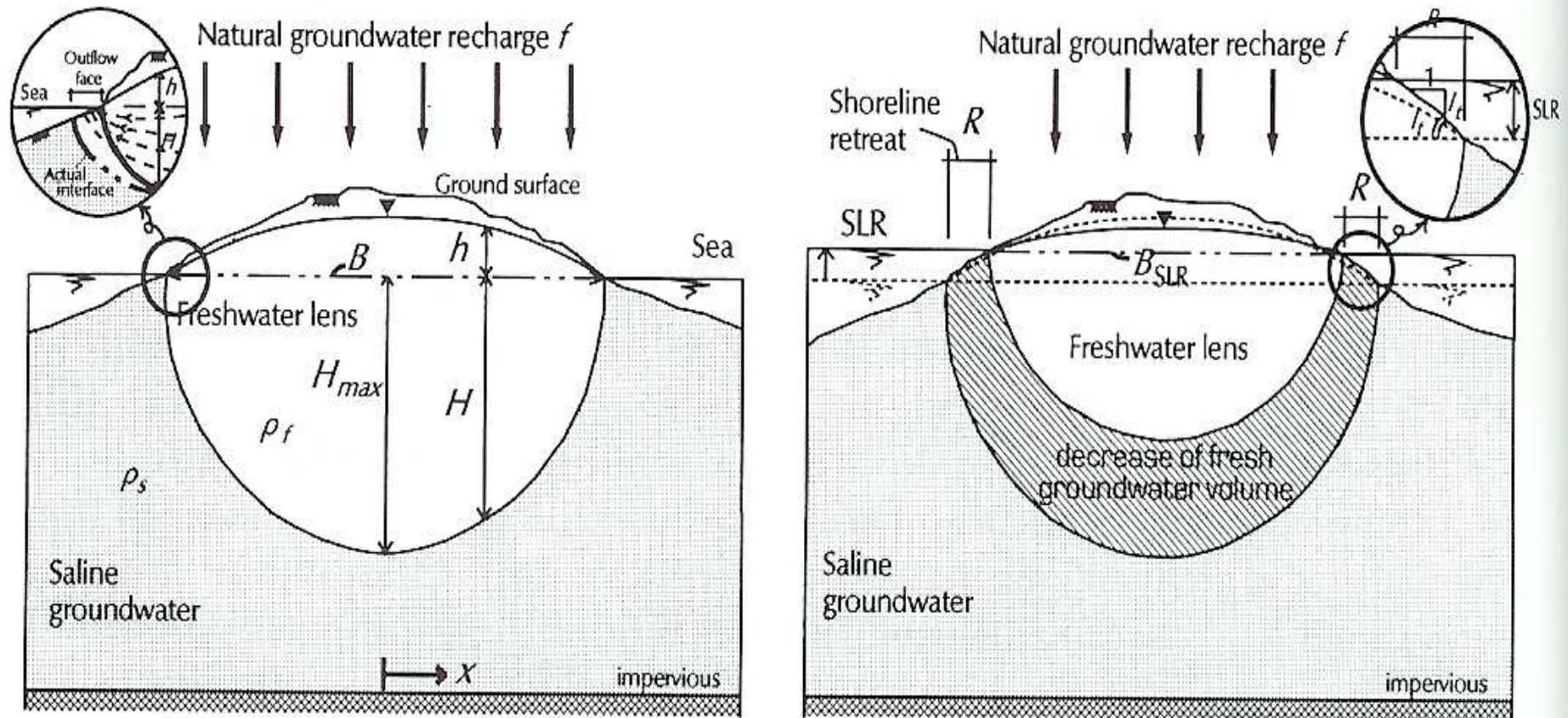
Onderwaterslibverwijdering door een robot (Van Duijvenbode & Olsthoorn, ISAR-4 2002)

Mobiele robot



Effecten zeespiegelstijging op zoet-zout grensvlak freatische kustaquifer

Oude Essink 1996 p44



$$H = \sqrt{N (0.25 B^2 - x^2) / [K_H (1 + \gamma) \gamma]} \quad \text{met } \gamma = (\rho_s - \rho_f) / \rho_f$$

Duinwater heeft een bijzondere èn goede kwaliteit: ook bekend bij bierbrouwers

1761



GEZIGT AAN DE NIEUWE BROUWERS-KOLK.

1810



DE NIEUWE BROUWERSKOLK.

1804





Echter ... Duinrel Overveen (Stuyfzand 2003) 40



**Duinrel met kwelzones
(Stuyfzand, 2003)**

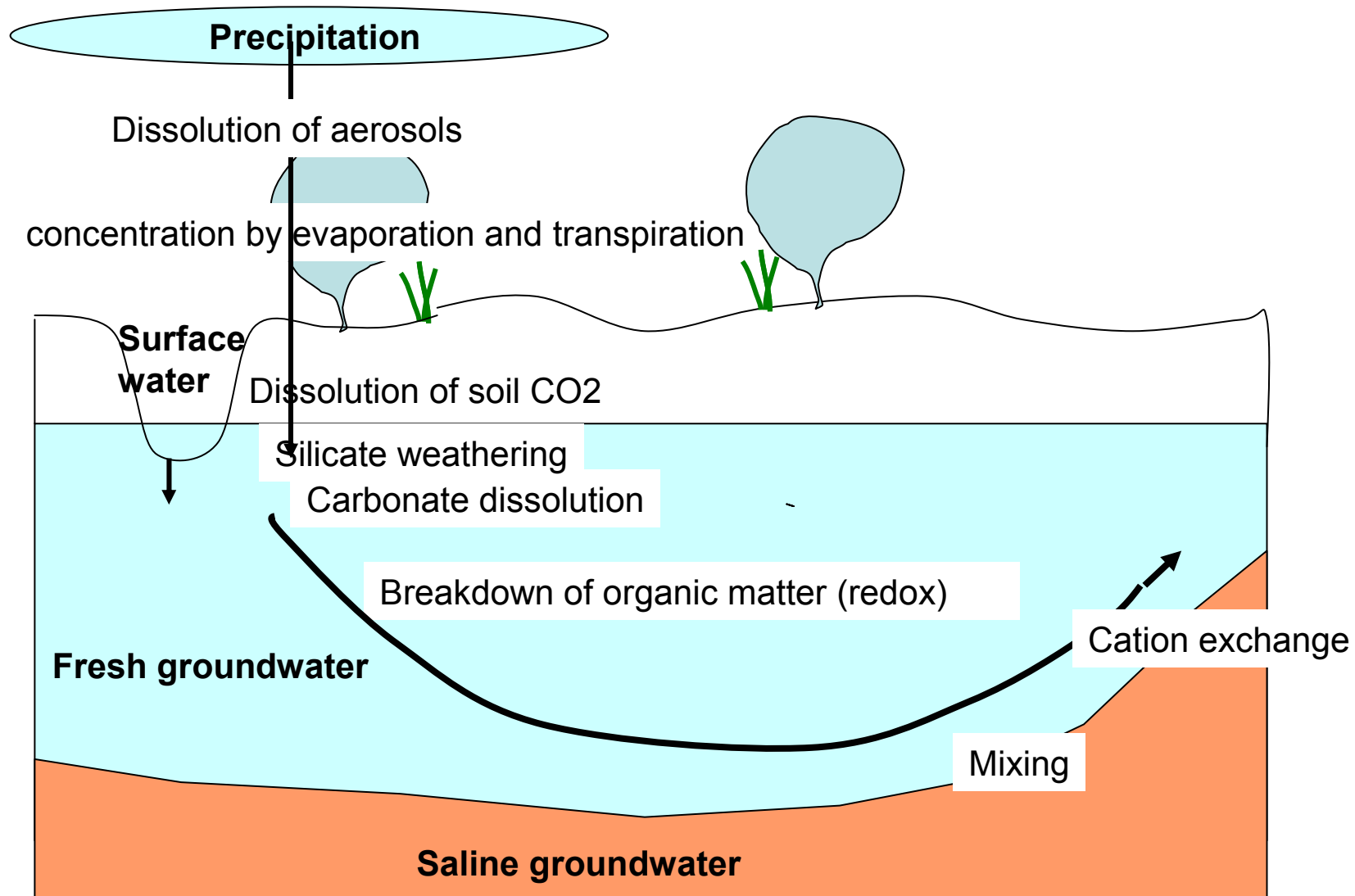


Ca. 1 jaar na plaggen
alweer een welige
vegetatie in duinrel bij
Overveen

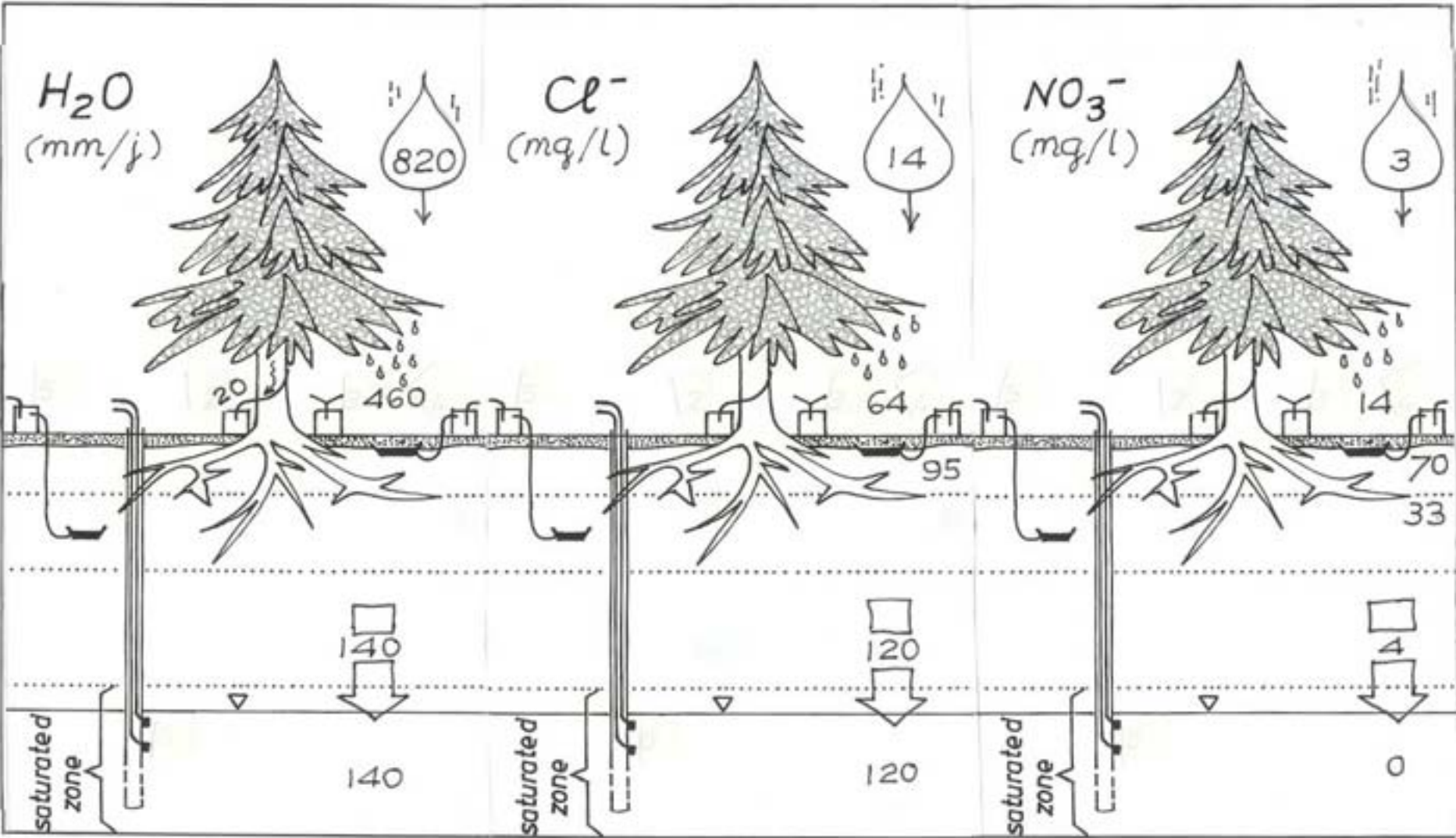
(Stuyfzand, 2003)



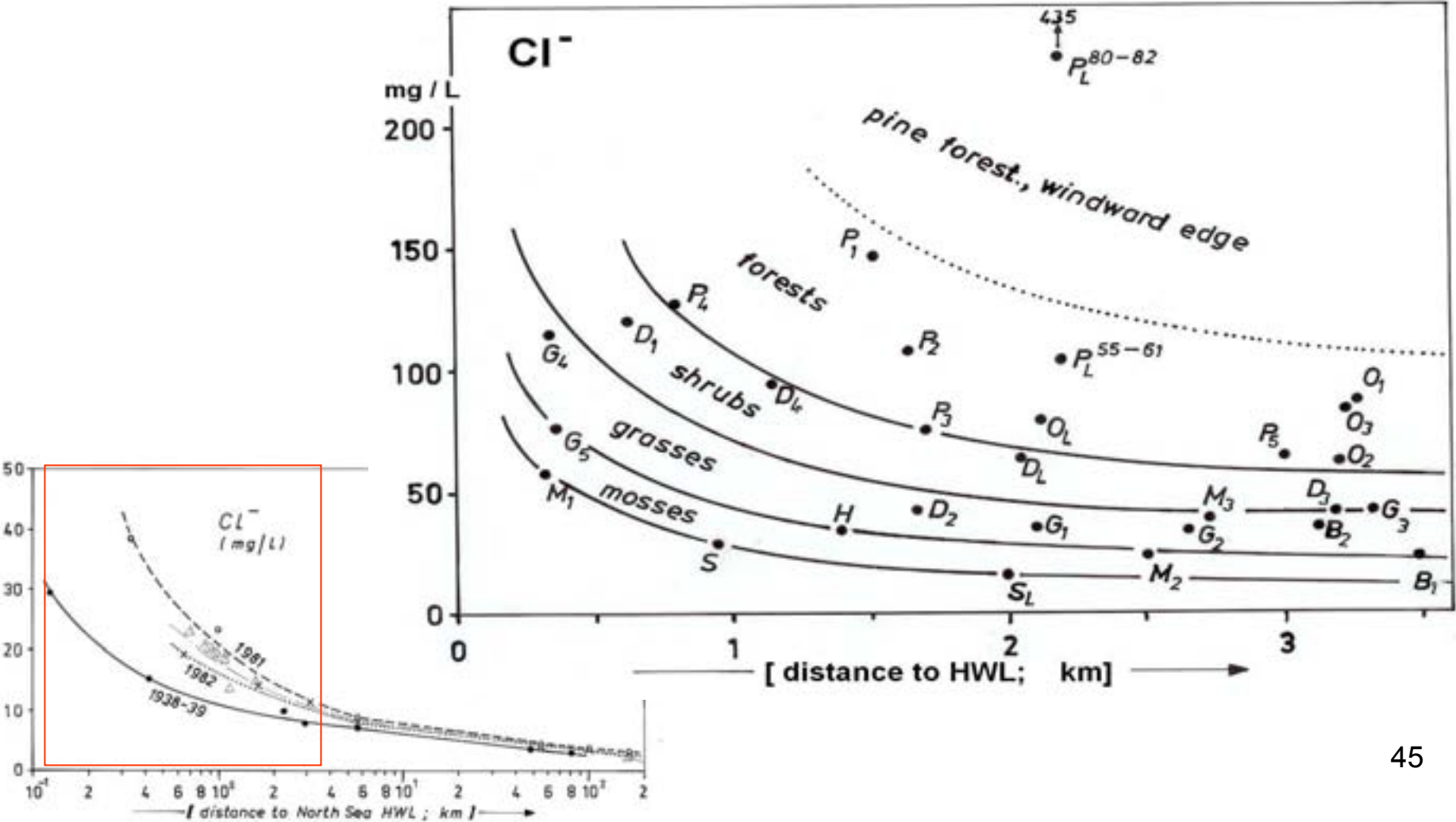
Typische opeenvolging hydro(geo)chemische processen



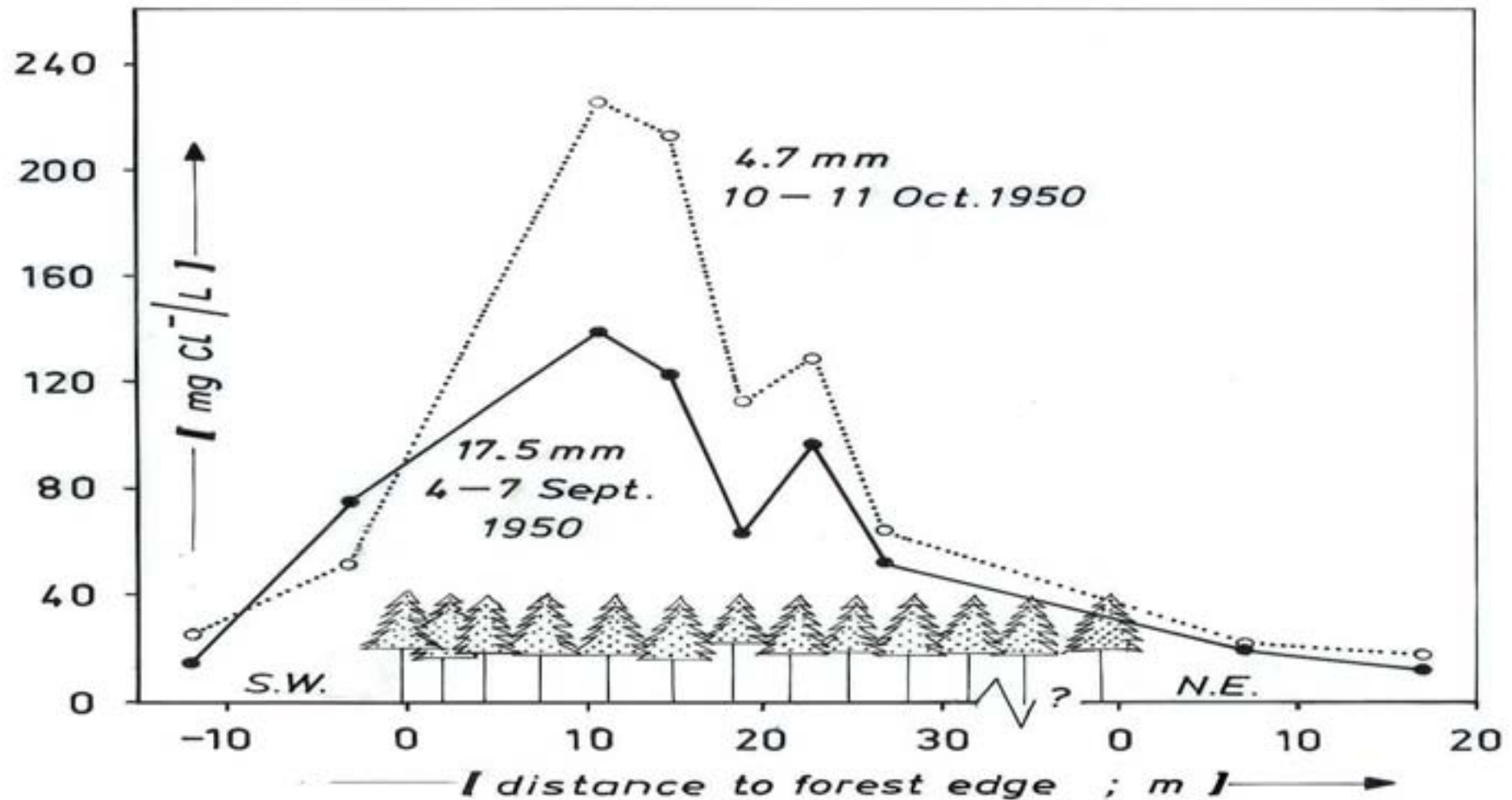
Invloed dennen op aanvulling en concentraties Cl^- en NO_3^-



Invloed van atmosferisch 'zee zout' en evapo(transpi)ratie op chloride in duinwater

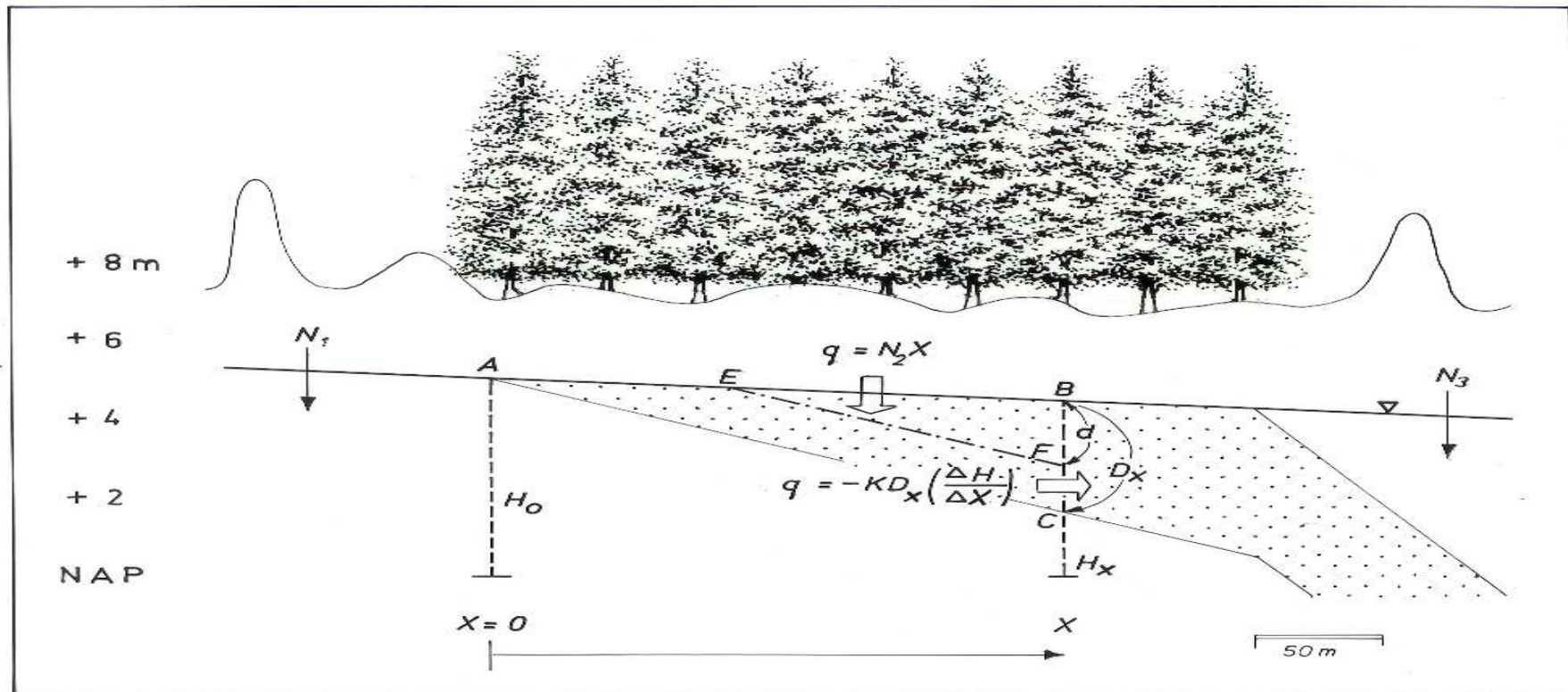


Filtratie van zeezout door een dennenbos



Een vegetatie waterlens op een hellende grondwaterspiegel, met dikteberekening

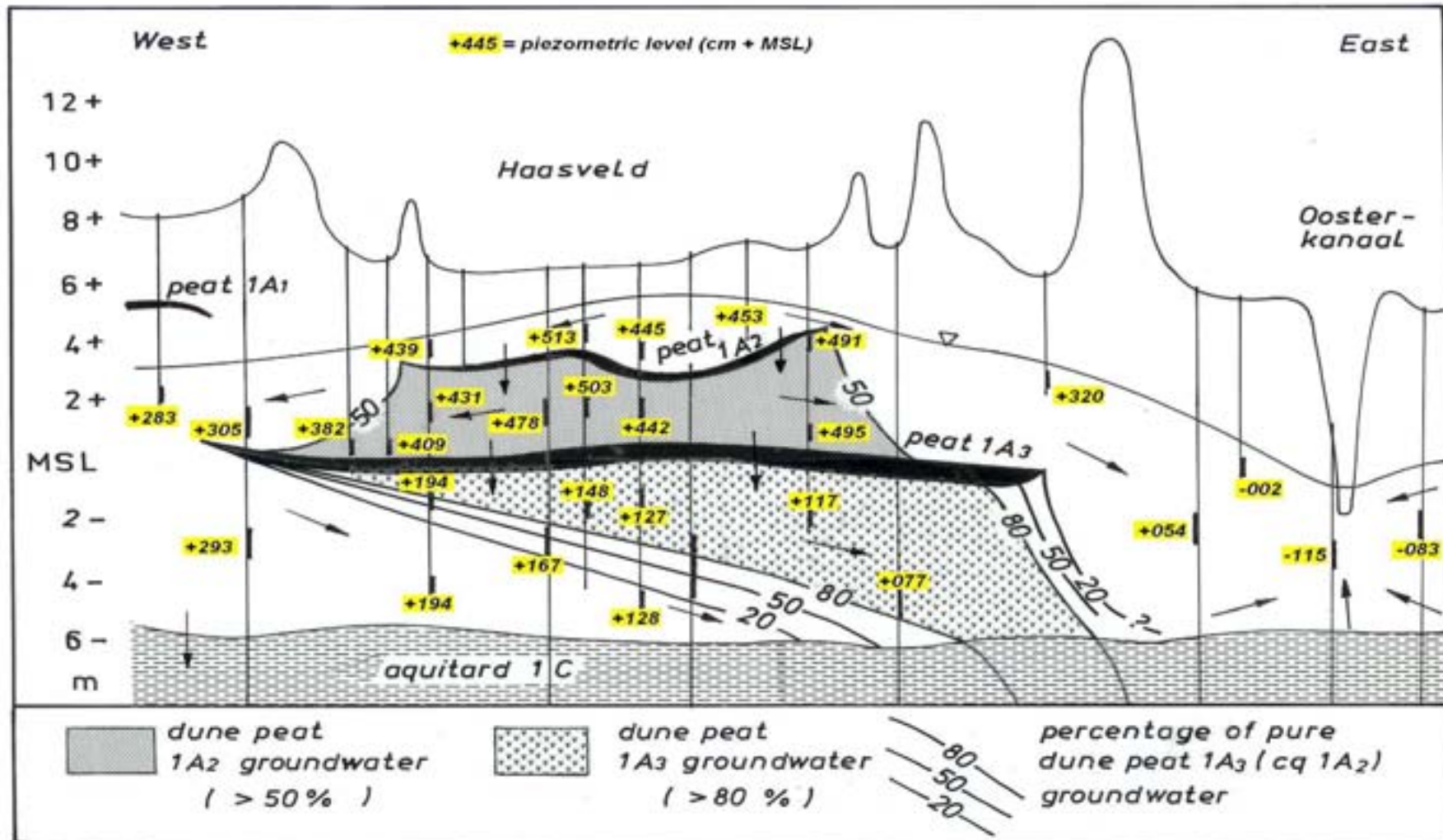
(Stuyfzand 1993, p.195-196)



$$D_x = -N X dX / (K_H dH) \text{ [m];}$$

$$t_d = n d / N \text{ [days; if } d < D_x \text{ and } d \ll D_{\text{AQUIFER}})$$

Duinveen-waterlenzen: verbreding en stijghoogten, mei 1990 (Stuyfzand & Luers, 1991)



Invloed begroeiing op chem samenstelling duinwater: drainagewater lysimeters Castricum 1980-1983

Para- meter	Eenheid	Bulk Neerslag	Lysimeters 1-4			
			Kaal	Ddoorn	Eiken	Dennen
D of P	mm/j	829	653	311	289	119
Temp	oC		9.9	8.8	8.3	8.2
EC 20oC	uS/cm	69	272	692	682	2161
pH	-	4.66	7.96	7.42	7.38	7.41
Cl	mg/L	11.5	16.1	63.3	79.1	435
SO4	mg/L	7	16.5	50.8	47.4	304
HCO3	mg/L	<1	116	270	276	388
NO3	mg/L	3.6	16.7	35.3	0.5	0.6
Ca	mg/L	1.3	47.4	119	110	252
SiO2	mg/L	0.5	4.4	8.7	10.8	13

Veranderingen in chem samenstelling ondiep duingrondwater (bovenste 5 m), laatste 100 jaar

	KALKRIJK				Verandering tov 1980
mg/L	1910	1980	1987	2007	Hoofdoorzaken
Cl	52	83	68.3	44.5	Minder zeezout, meer regen
SO4	25	69	46.8	18.6	Minder SO2-emissie
NO3	1	26	11.2	6.2	Meer uptake , Hogere grw-spiegel
Ca	100	121	98.9	94.3	Minder atm. zuur
HCO3	244	250	250	253	
pH	7.45	7.3	7.12	7.38	

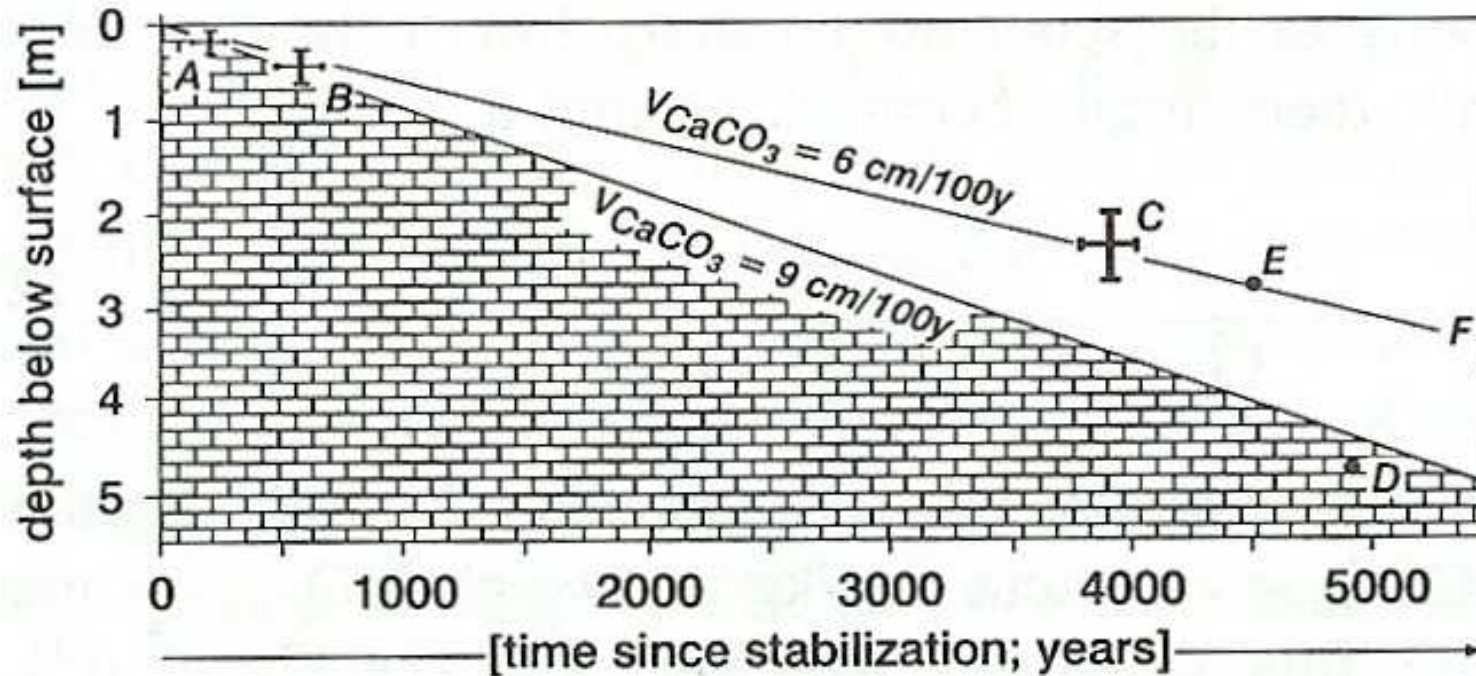
	KALKARM				Verandering tov 1980
mg/L	1910	1980	1987	2007	Hoofdoorzaken
Cl	33	55	74	63	Meer begroeiing , minder zeezout
SO4	14	39	32.9	19.3	Minder SO2-emissie
NO3	1	16	1.2	0.6	Meer uptake , Hogere grw-spiegel
Ca	9	17	11.7	10.5	Minder atm. zuur
HCO3	44	24	19	22	
pH	7.0	5.9	5.8	6.0	

Ontkalking is meest belangrijke hydrogeochemische proces

- Als voltooid, dan treedt verzuring op
- Waterkwaliteit achteruit door toename conc's H, Al, zware metalen
- Vegetatie zal veranderen: eerst eutrofiering door mobilisatie PO_4 , dan van kalk- naar zuurminnend
- Landoppervlak zal iets zakken tgv oplossen kalk (ca. 0.1 m in 4000 j)

Snelheid van ontkalking in kustduinen Ned.

Stuyfzand 1993 p259



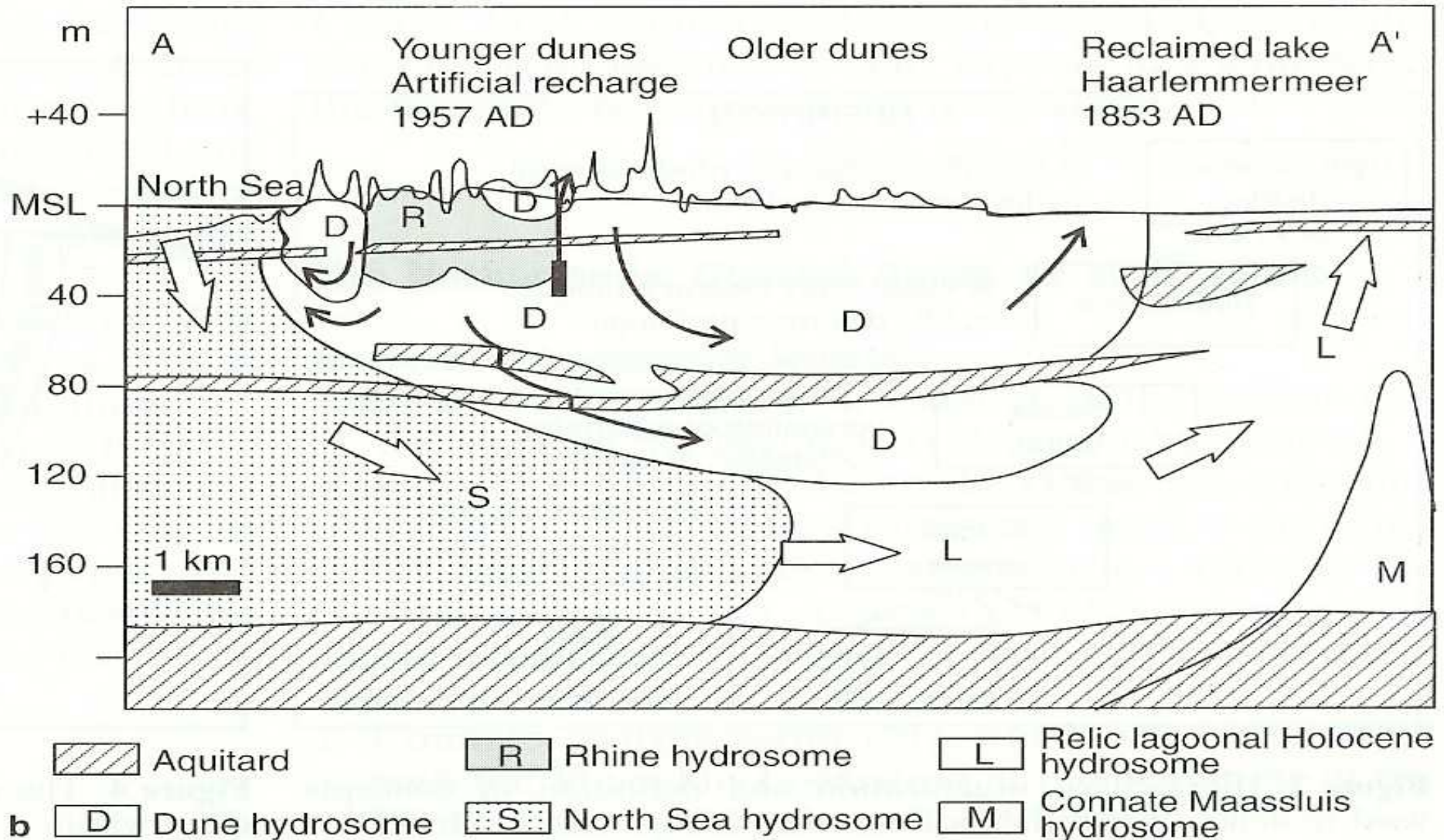
$$v_{CaCO_3} = \frac{Q_{CaCO_3}}{\{(1 - n) \rho_s (CaCO_3)_{solid}\}} \quad [\text{mm/d}]$$

$$Q_{CaCO_3} = 2.5 \text{ Ca}^\# \text{ N} \quad [\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}]$$

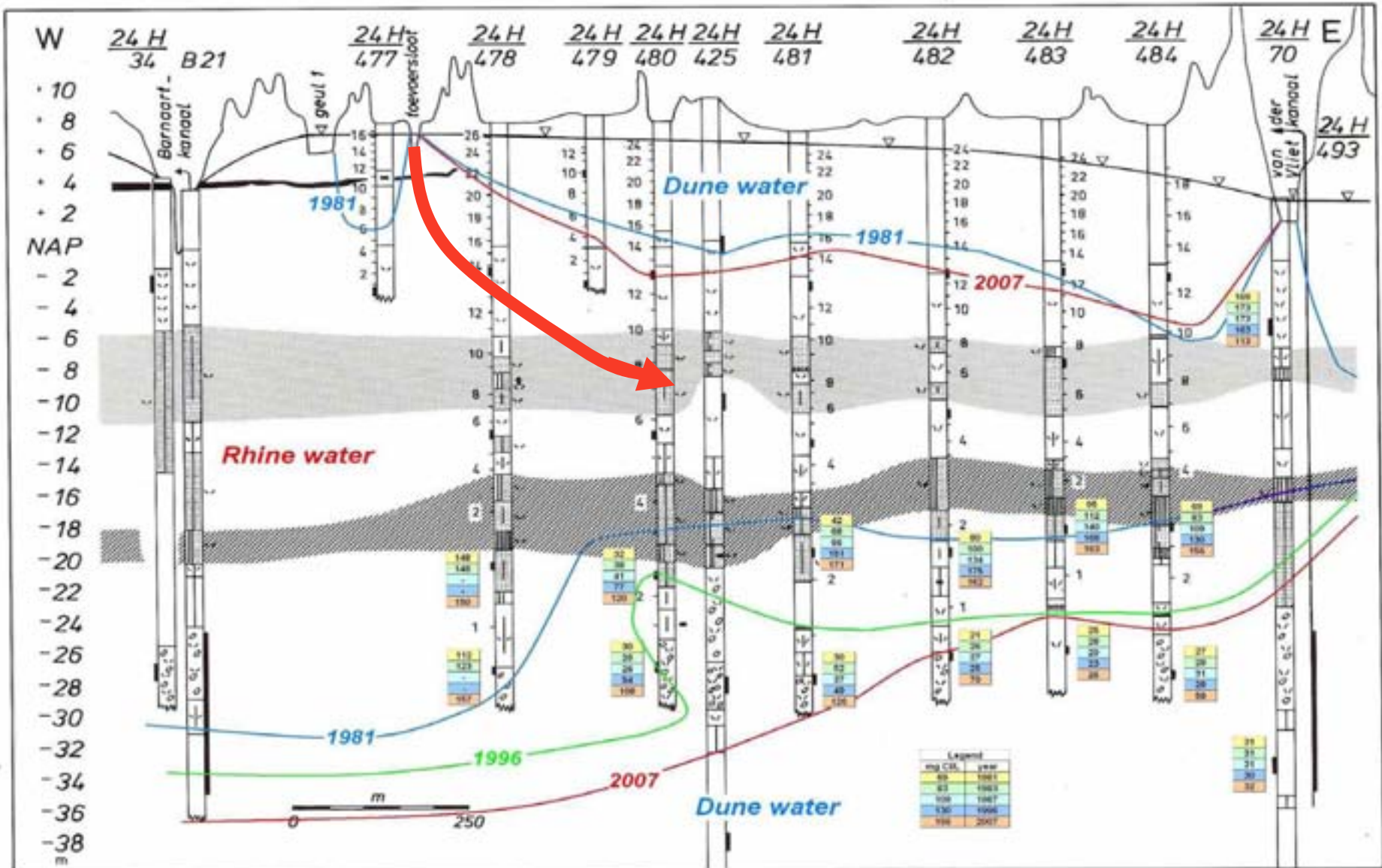
$$\text{Ca}^\# = \text{Ca} - 0.021\text{Cl} - \text{SiO}_2/6 \quad [\text{mg/L}]$$



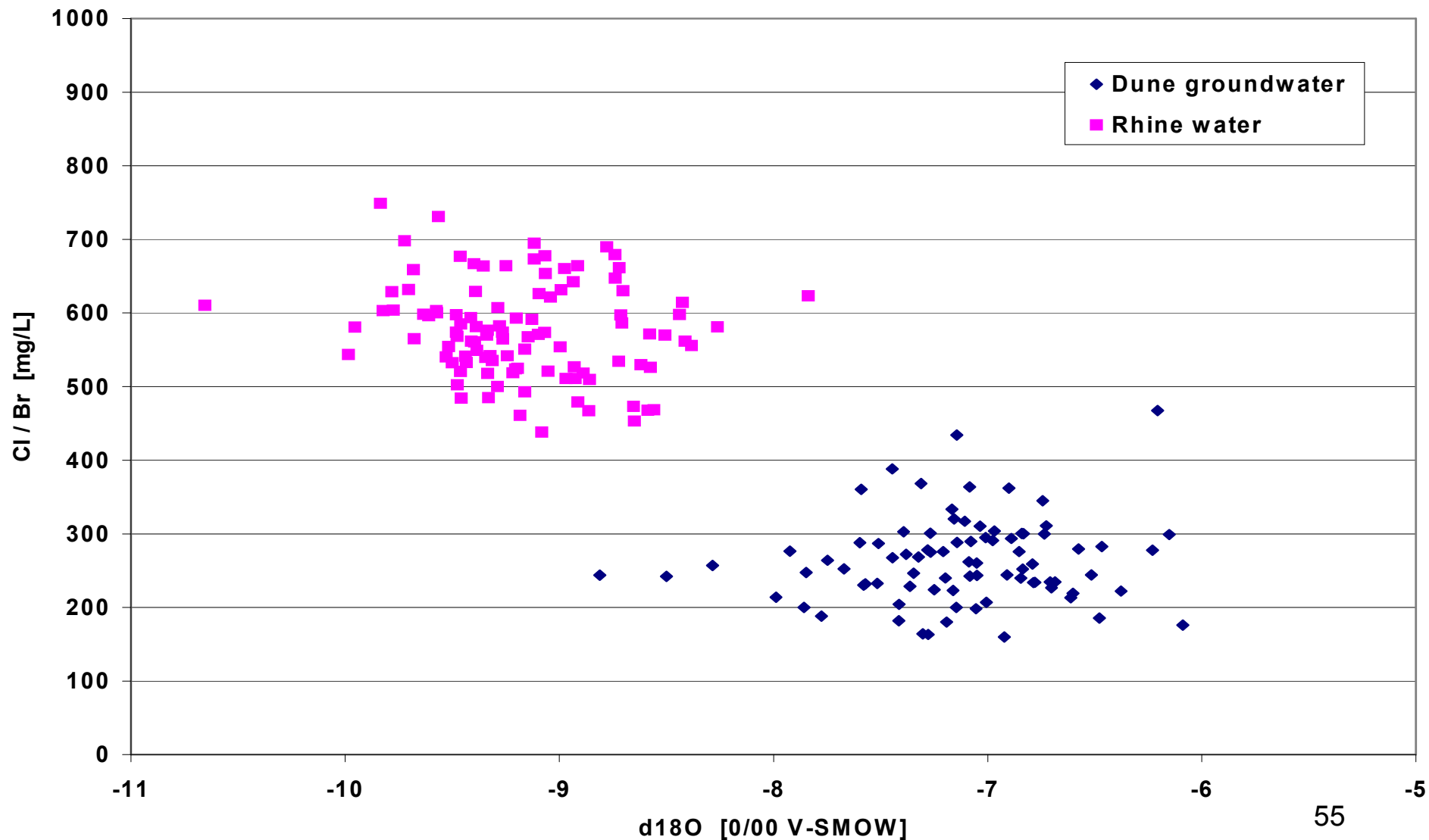
Ruimtelijke verspreiding Rijn-waterlichaam nog zeer beperkt in AWD (situatie 1990)



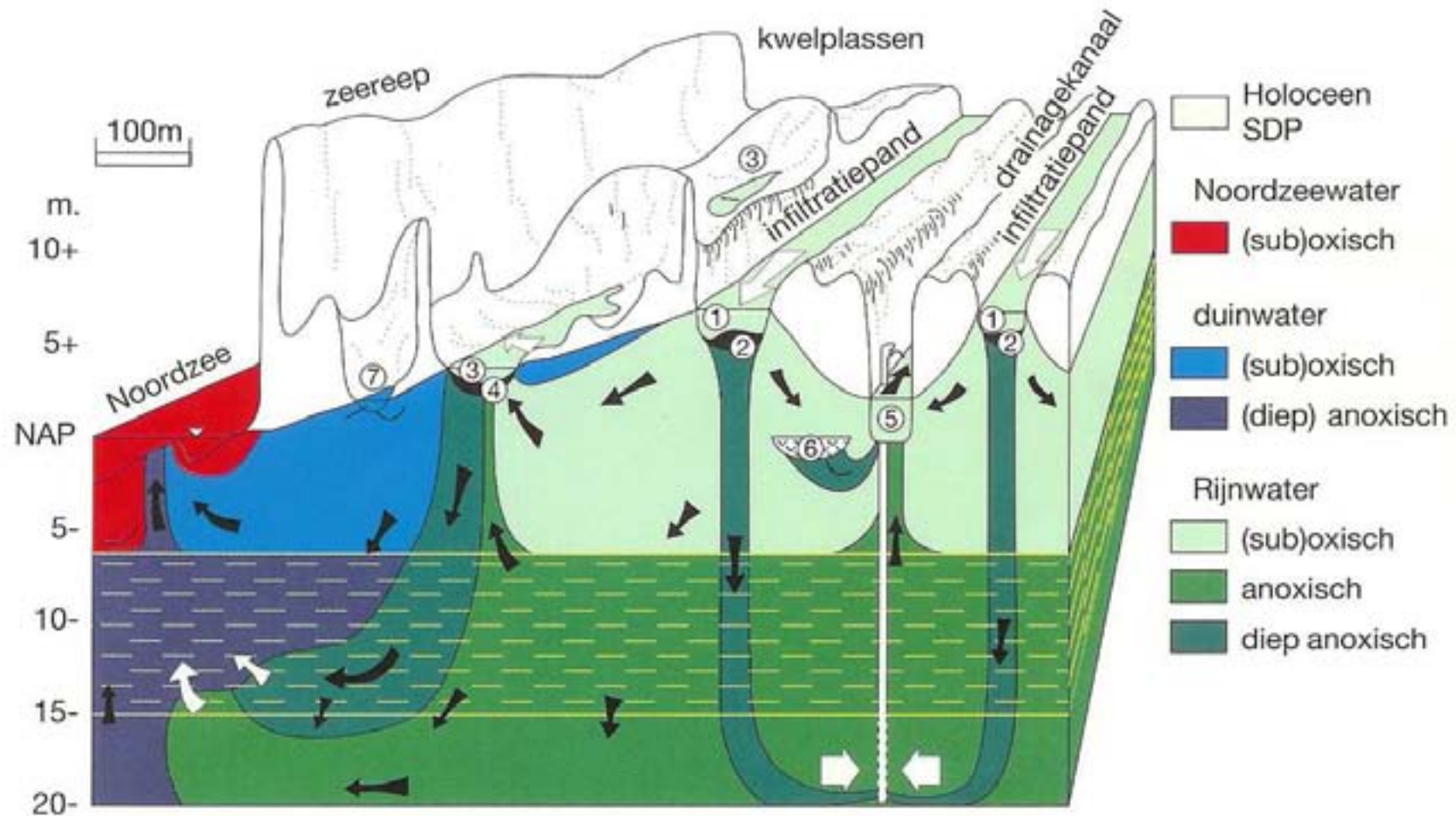
Verbreiding van Rijnwater in de AWD via tracers gevisualiseerd



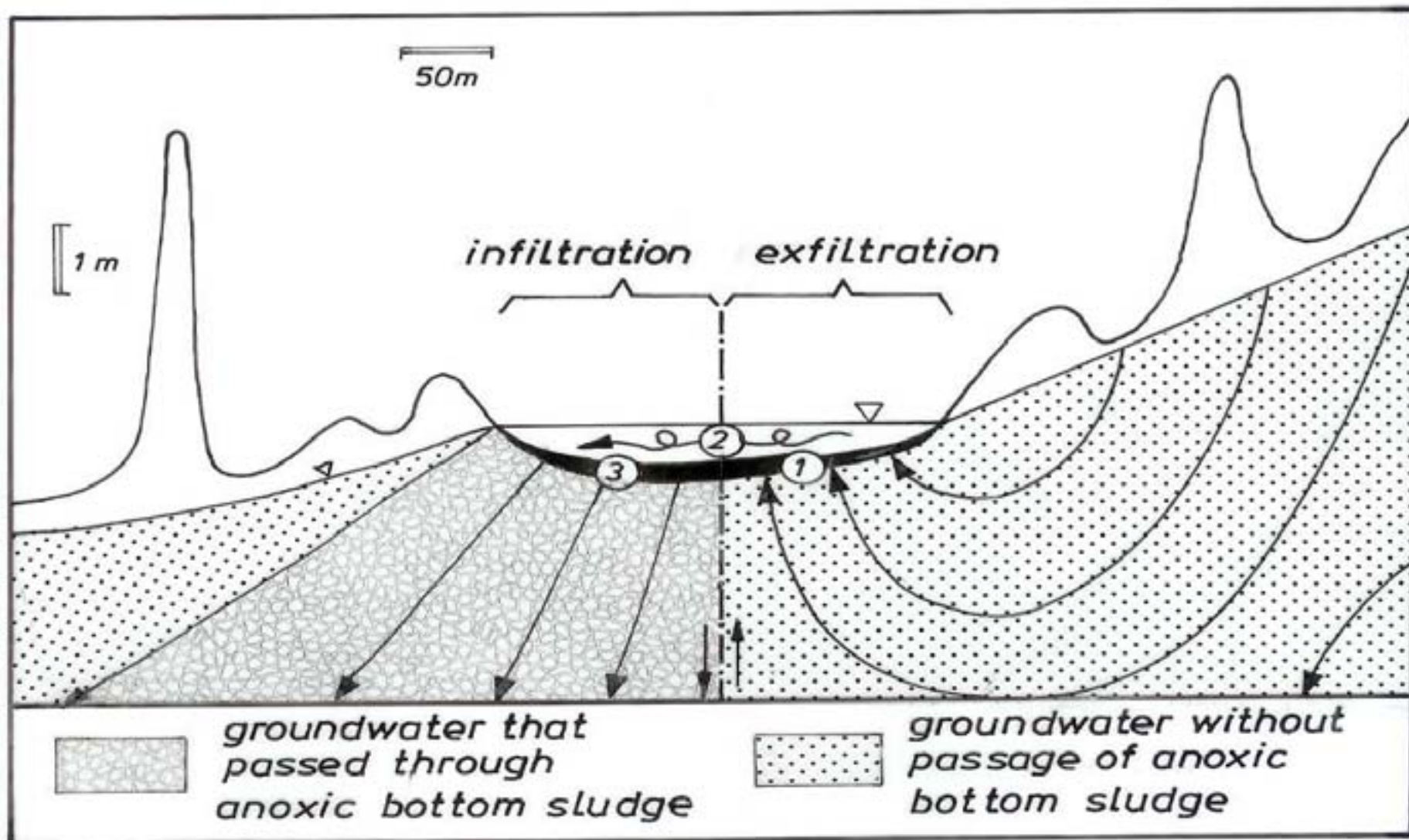
Cl/Br + ¹⁸O vormt beste tracercombinatie !



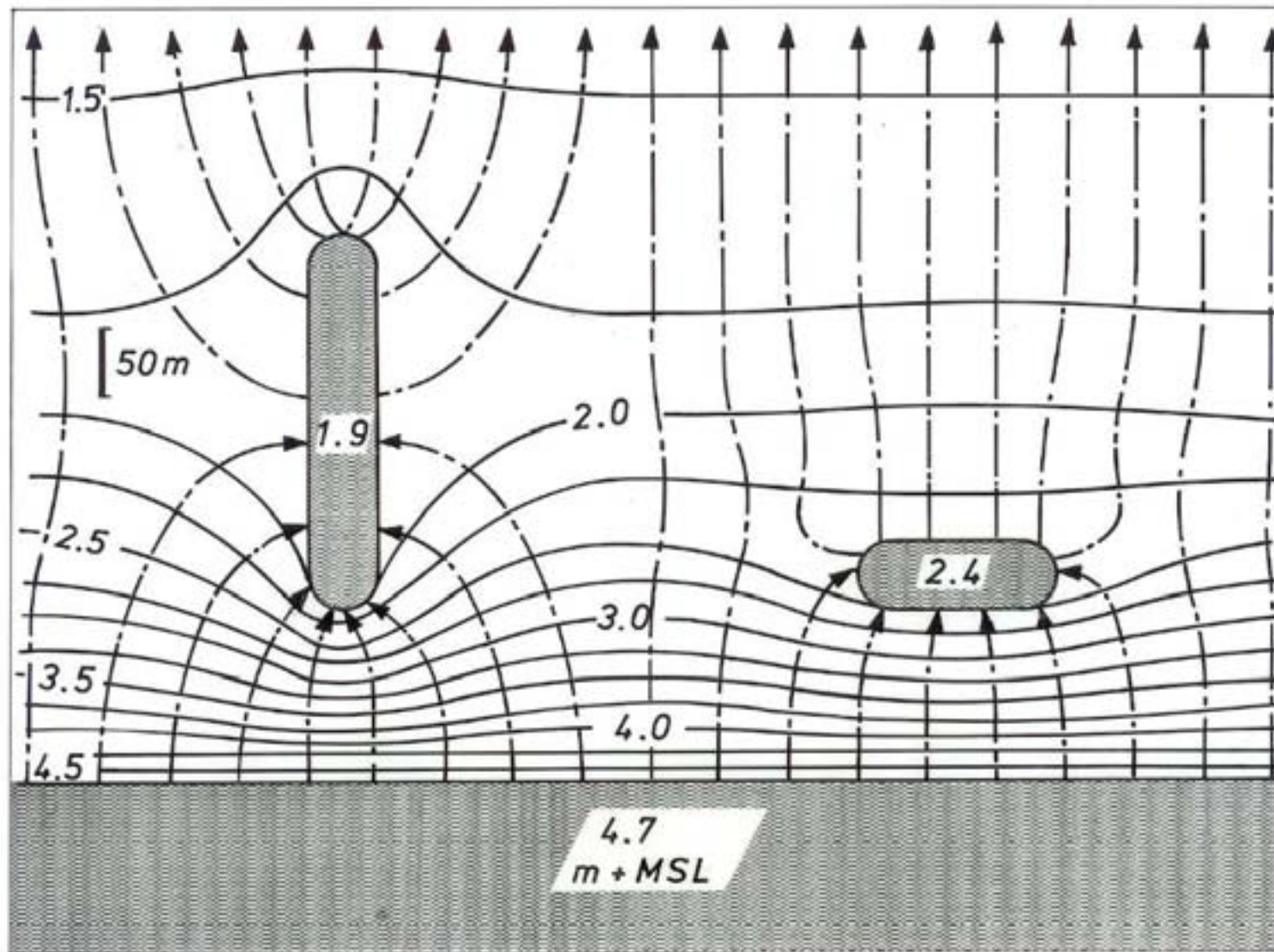
Kwelplassen tussen infiltratiebekkens en Noordzee (Stuyfzand & Luers, 1996)



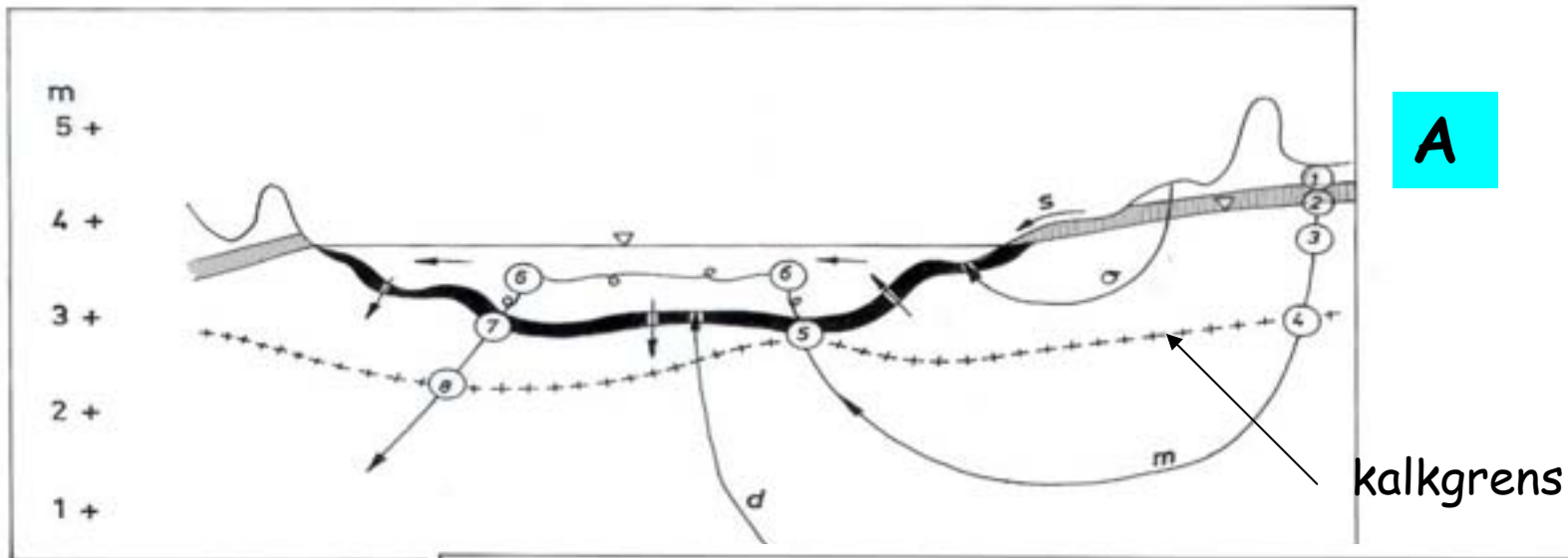
Principe kwelplas in duinen (Stuyfzand, 1993)



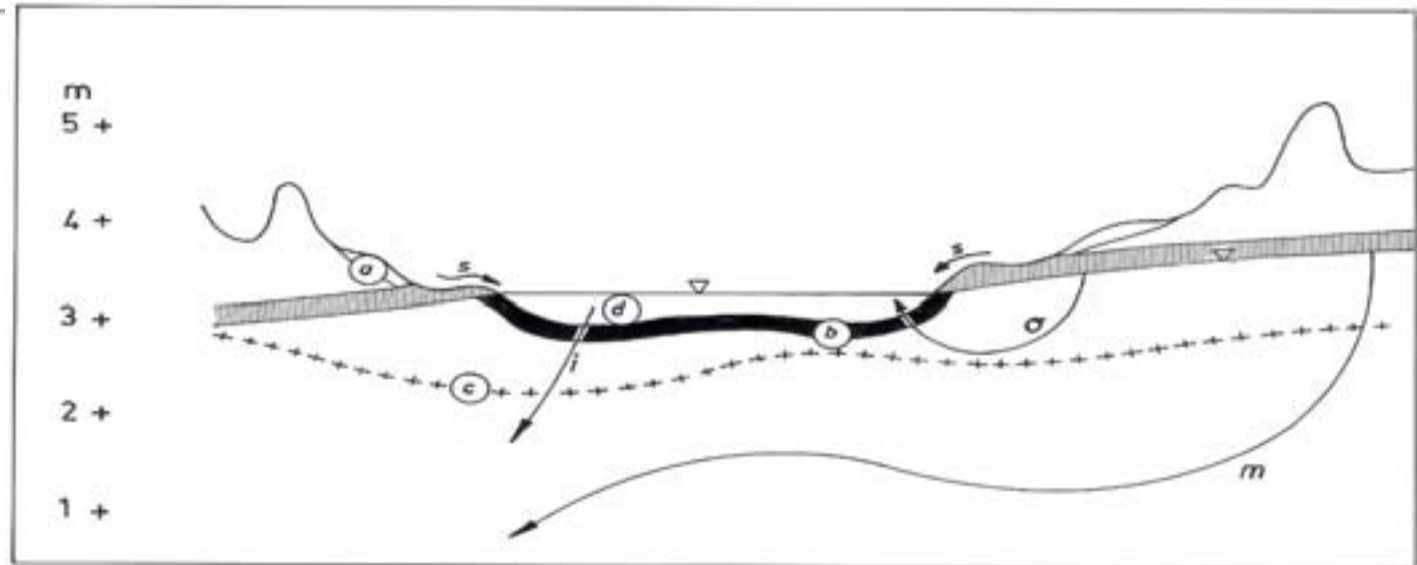
Kwelplassen trekken de grondwaterstroming naar zich toe, afhankelijk van orientatie



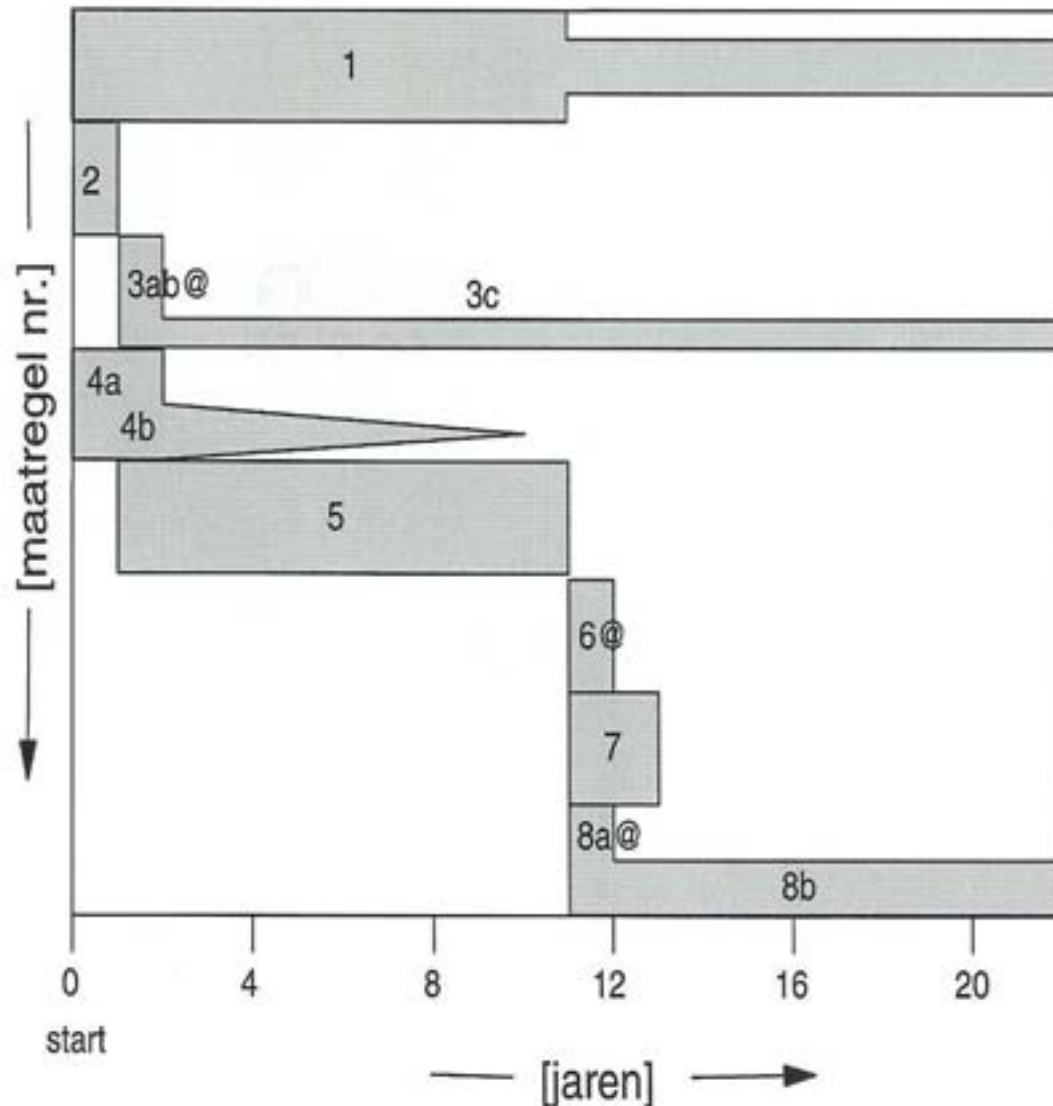
Sterke (A) en zwakke kwel (B) in een periodiek duinmeer, met resp. hoge en lage Ca toevoer (Stuyfzand et al., 1992)



B



Recept duinherstel na KIO met hypertroof polderwater (Stuyfzand & Koerselman, 1995)



1= instandhouding 'refugia'

2= verdere voorzuivering infiltratiewater

3= slibruiming uit infiltratieplas ^a, plaggen ^b en maaien ^c van oevers

4= kappen dennenbos ^a en actief stuifbeheer ^b

5= doorspoeling zandpakket met schoner infiltratiewater

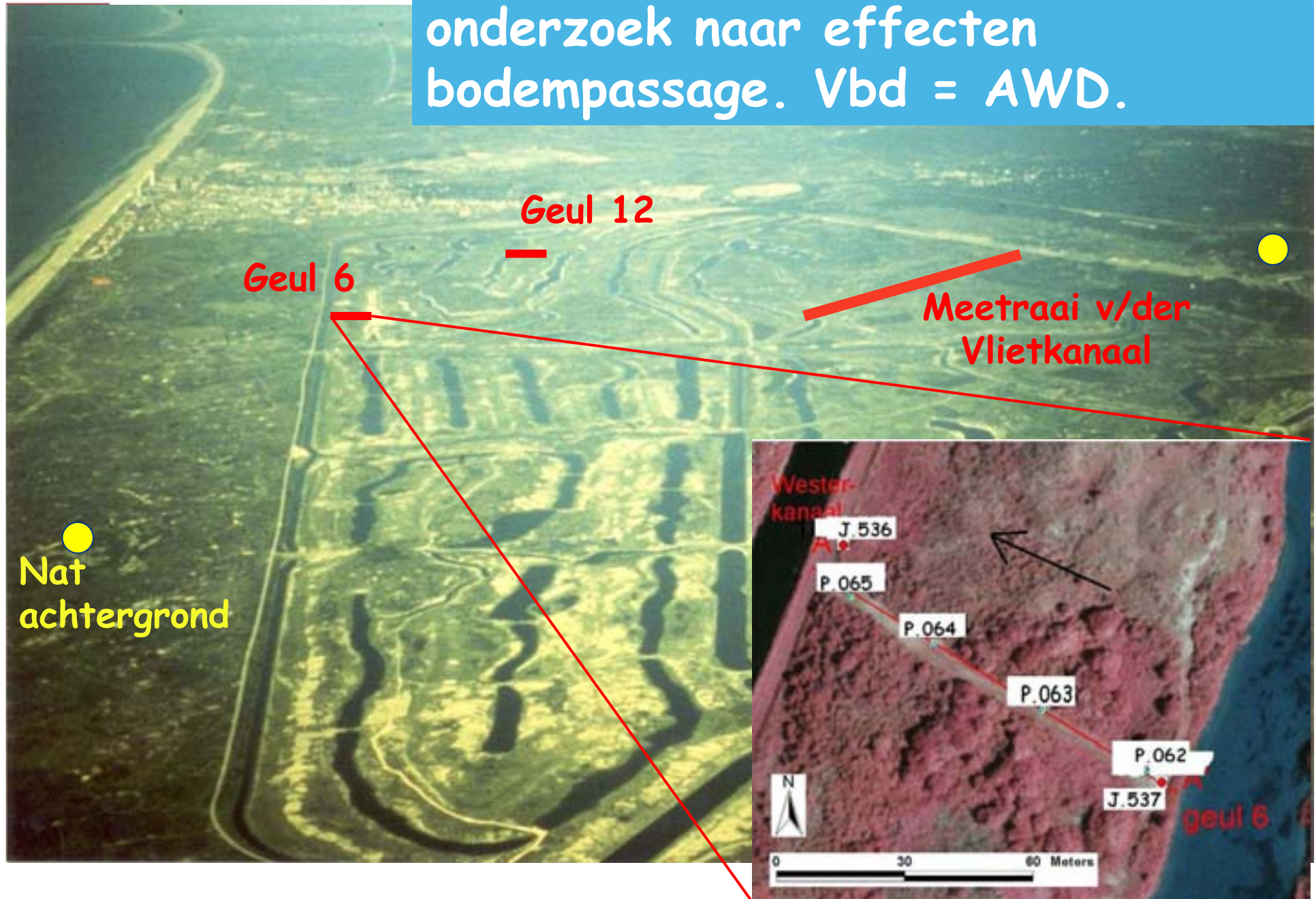
6= verwijdering bodemslib uit kwelplassen en plaggen van oevers

7= reductie grondwaterverhang, herstel natuurlijk fluctuatiepatroon en hydrologische afgrenzing

8= verruigen duinvalleien binnen infiltratiegebied of zijn invloedssfeer

@= eventueel na 10-30 jaar herhalen

In DPW-verband uitgevoerd
onderzoek naar effecten
bodempassage. Vbd = AWD.



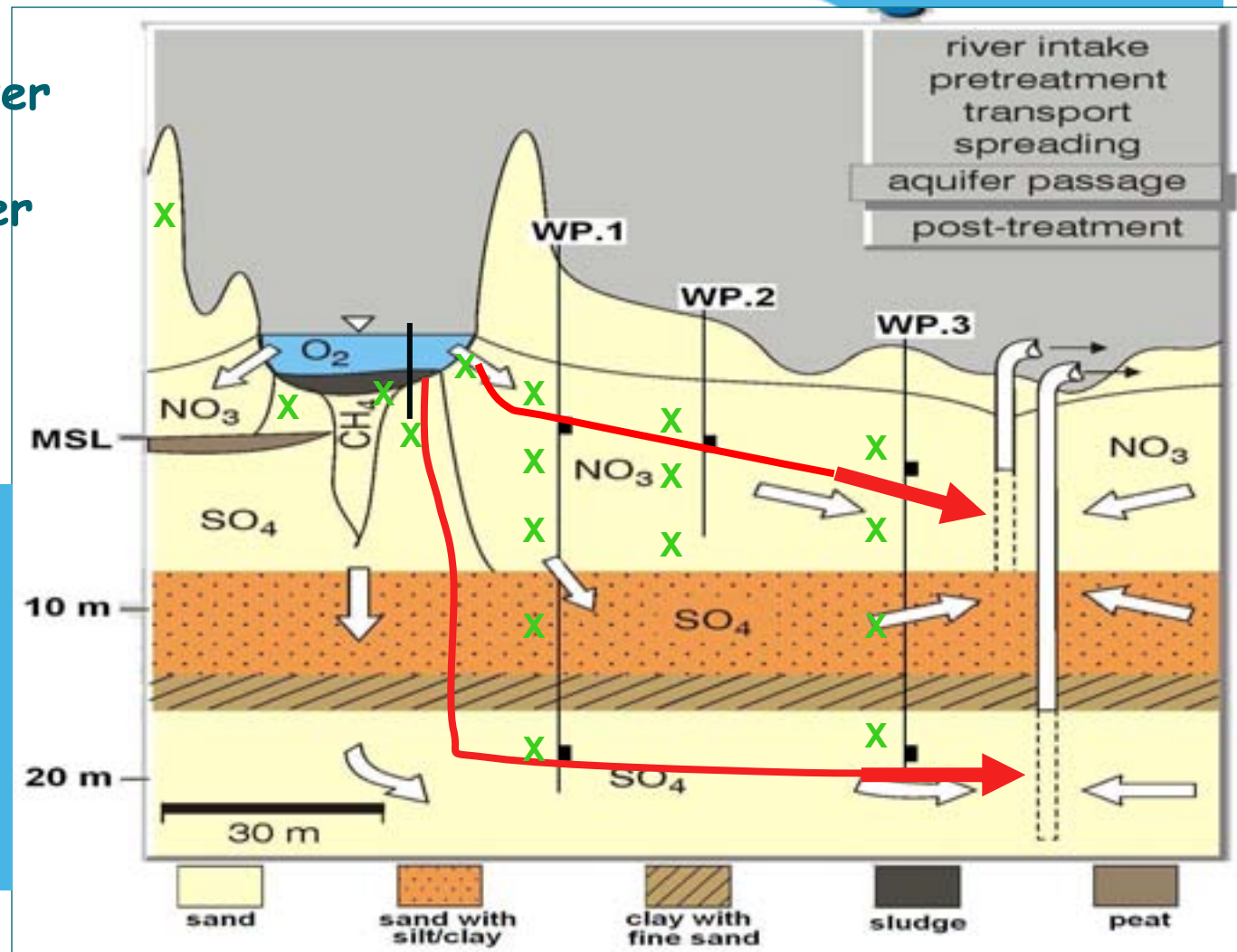
Voorbeeld van een typische meetraai bodempassage, met redox zonering

X = bodem-monster

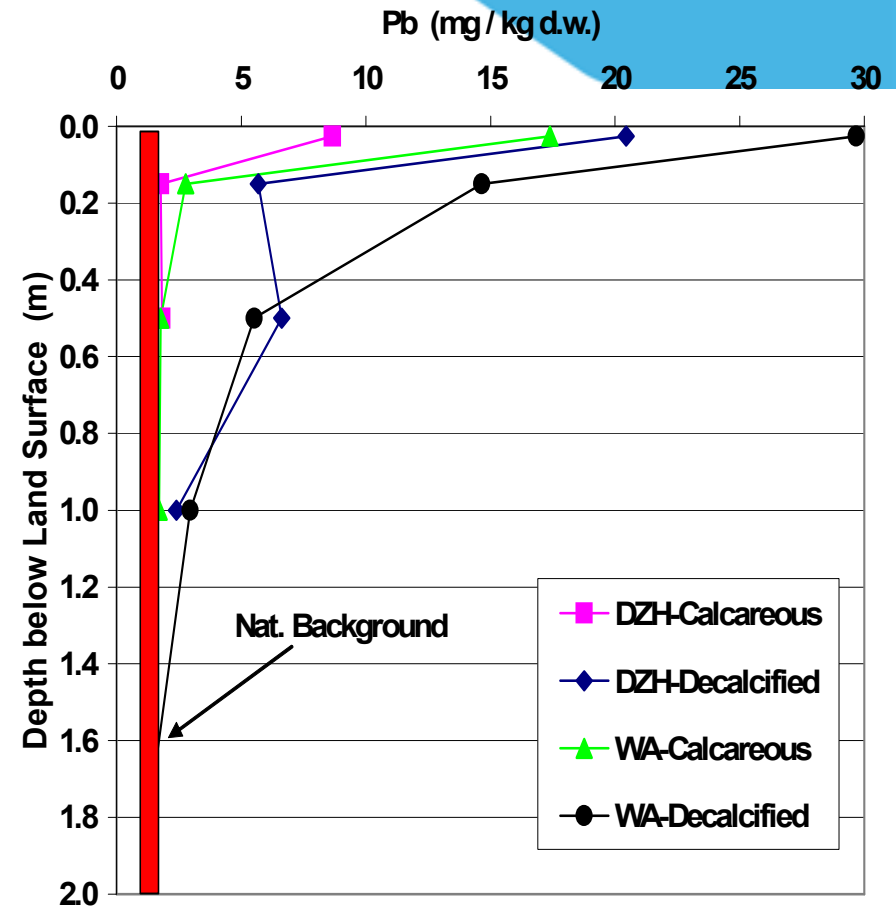
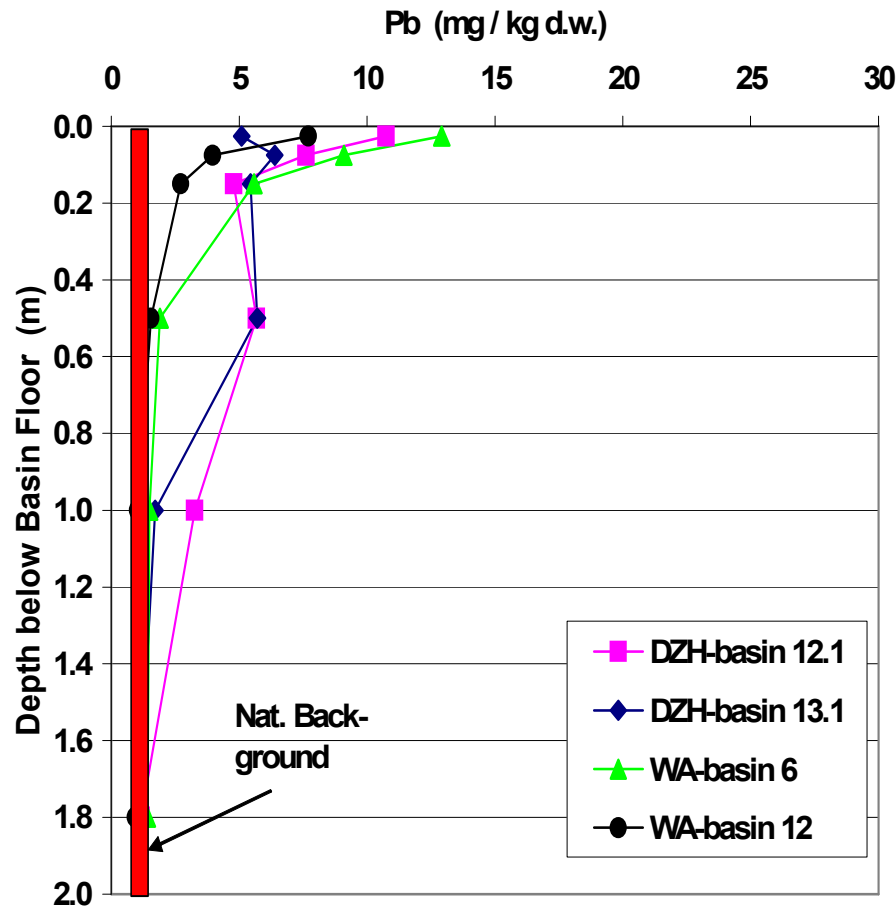
┆ = water-monster

Zonering:

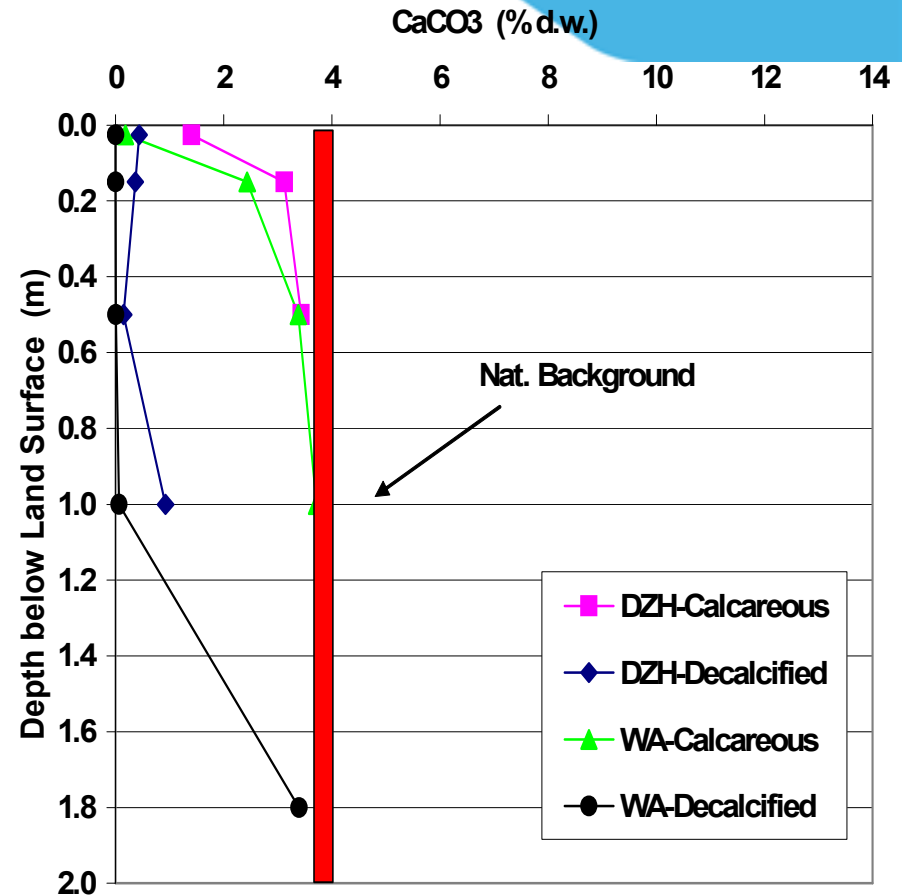
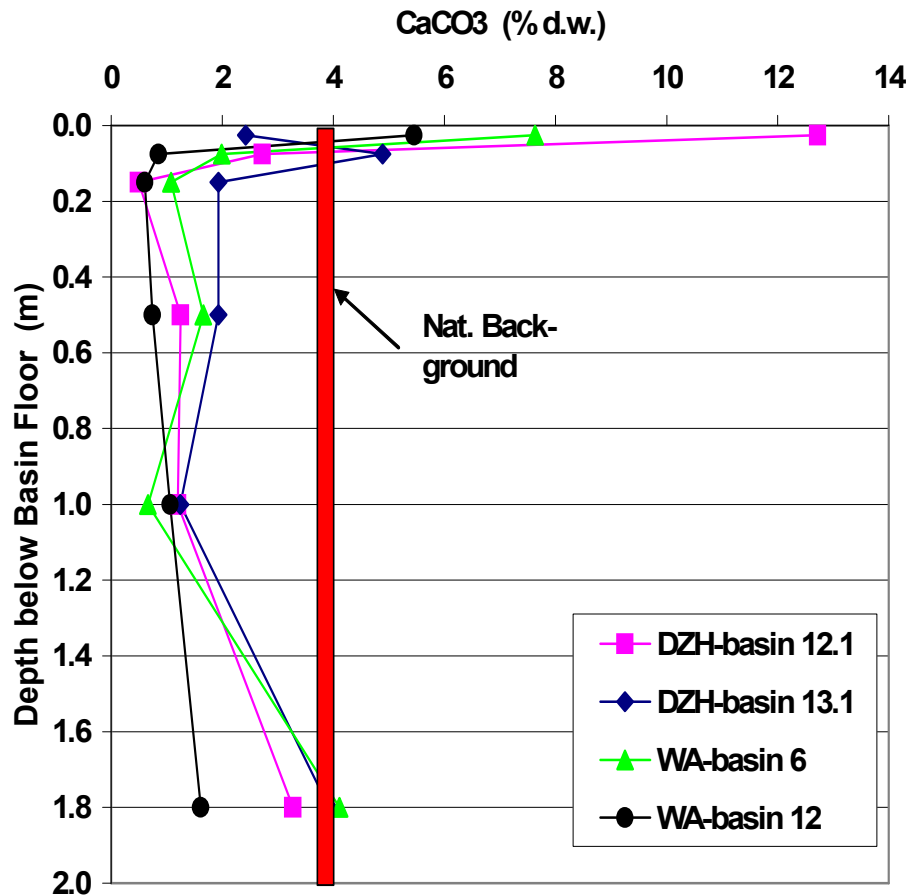
O_2 = oxisch
 NO_3 = suboxisch
 SO_4 = anoxisch
 CH_4 = diep
 anoxisch



Ophoping van lood in duingrond met en zonder KIO



Uitloging van kalk (CaCO_3) met en zonder KIO, resp. 4 en 0.06 cm/j



Gedrag van 11 PEPs + 3 pesticiden in 7 KIO-systemen



PEP		Removal process				T _{1/2} [d] †	
		Basin##	Filtration	Sorption	Biodegr	(Sub)oxic	Anoxic
Phac	Carbamazepine	?	no	R=2.2 \$	<10	9999	>7300
	Phenazone	?	no	no	0-100	2	>> 730
	Sulfamethoxazole	?	no	no	0-70	9999	30
X-ray	Amidotrizoic acid	45	no	no	0-70	9999	25 - 55
	Iohexol	0-40	no	no	>90	<1 - <7	no data
	Iomeprol	0-20	no	no	>90	<0.5 - <6	no data
	Iopamidol	30	no	no	0-90	25 - 85	140 - 9999
	Iopromide	20-40	no	no	>90	0.7 - <7	no data
Var	1,4-Dioxane	prob	no	no		9999	9999
	Diglyme	?	no	no	<20	9999	9999
	MTBE	prob	no	no	0-70	9999?	9999?
Pest	Bentazone	?	no	no	<20	?	>2200
	Carbendazim	?	no	no	0-90	9999	25
	MCPPP	?	no	no	<20	?	>2200