

ECOSYSTEEMVISIE VOOR DE VLAAMSE KUST ABIOTISCHE FACTOREN

BODEM **Kennis en kennislacunes**

Carole AMPE

Tussentijds verslag : 8 mei 1995



Uitvoerder

Universiteit Gent
Vakgroep Geologie en Bodemkunde
Eenheid Bodemkunde
Krijgslaan 281, S8, B-9000 Gent
Promotor : Prof. Dr. R. Langohr

Opdrachtgever

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
Departement Leefmilieu en Infrastructuur
AMINAL, Afdeling Natuur
Belliardstraat 14-18, B-1040 Brussel
Leidende ambtenaar : ir. J.-L. Herrier

Coördinator : Sam Provoost (Instituut voor Natuurbehoud, Kliniekstraat 25, B-1070 Brussel)

ECOSYSTEEMVISIE VOOR DE VLAAMSE KUST ABIOTISCHE FACTOREN

BODEM Kennis en kennislacunes

Carole AMPE

Tussentijds verslag : 8 mei 1995



Uitvoerder

Universiteit Gent
Vakgroep Geologie en Bodemkunde
Eenheid Bodemkunde
Krijgslaan 281, S8, B-9000 Gent
Promotor : Prof. Dr. R. Langohr

Opdrachtgever

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
Departement Leefmilieu en Infrastructuur
AMINAL, Afdeling Natuur
Belliardstraat 14-18, B-1040 Brussel
Leidende ambtenaar : ir. J.-L. Herrier

Coördinator : Sam Provoost (Instituut voor Natuurbehoud, Kliniekstraat 25, B-1070 Brussel)

WOORD VOORAF

Dit rapport is een eerste deelrapport van het project "Ecosysteemvisie voor de Vlaamse kust" uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Administratie Milieu, Natuur en Landinrichting, Bestuur Natuurbehoud- en Ontwikkeling, Dienst Natuurontwikkeling (ref. BNO/NO/ICZM.94.54).

Het deelrapport omvat een inventaris van de gekende gegevens in verband met duinbodems.

Hiervoor werden een aantal bibliotheken geraadpleegd zoals :

- Documentatie centrum, eenheid bodemkunde, vakgroep Geologie en Bodemkunde, RUG;
- Bibliotheek Geologisch Instituut, RUG;
- Leeszaal van de Biologische en Biochemische Wetenschappen, RUG;
- Bibliotheek van de vakgroep Morfologie, Systematiek en Ecologie, Laboratorium voor Plantkunde, RUG;
- Bibliotheek van het Instituut voor Natuurbehoud.

Een aantal documenten werden opgevraagd bij diverse instellingen in Nederland. Sommige rapporten bereikten mij vrij laat, zodat niet alle gegevens in dit rapport werden opgenomen.

Geraadpleegde instellingen zijn :

- Gemeentewaterleidingen Amsterdam;
- Universiteit van Amsterdam;
- Bureau Duin en Kust, Leiden;
- N.V. Waterleidingbedrijf van Zuid-Holland;
- N.V. PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland.

Voor elke paragraaf worden de kennislacunes aangegeven en worden voorstellen tot verder onderzoek geformuleerd.

Soms is commentaar gegeven op bepaalde vaststellingen in een publicatie. Dit wordt voorgesteld in cursief.

Op het einde van hoofdstukken 2 en 3 wordt een samenvatting gegeven (roze blaadjes).

Gent, 8 mei 1995.
Carole Ampe.

INHOUD

DUINEN

1. BESTAANDE BODEMKUNDIGE GEGEVENS	1
1.1. BODEMKAARTEN	1
1.2. VERKLARENDE TEKSTEN VAN DE BODEMKAARTEN	1
1.3. SYSTEMATISCH PROFIELONDERZOEK VAN DE BODEMTYPEN	2
2. BODEMKENMERKEN VAN DUINBODEMS : BESCHRIJVING, KENNISLACUNES EN AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK	4
2.1. FYSISCH BODEMKENMERKEN	4
2.1.1. Textuur	4
2.1.1.1. Frans-Belgische Noordzeekust	5
2.1.1.2. Westhoekduinen	9
2.1.1.3. De zuidoostelijke Noordzeekust	11
2.1.2. Biologisch actieve laag	12
2.1.3. Schijnbaar soortelijk gewicht	18
2.1.4. Bodemwater	21
2.1.4.1. Grondwater	21
2.1.4.2. Metingen van de vochtigheidstoestand	21
2.1.4.3. Beschikbaar water, veldcapaciteit en verwelkingspunt	24
2.1.4.4. Capillair water	24
2.1.4.5. Waterverbruik, evapotranspiratie en infiltratie	27
2.1.5. Humusprofielen	28
2.2. CHEMISCHE BODEMKENMERKEN	32
2.2.1. CaCO_3 - Gehalte	32
2.2.2. pH	35
2.2.3. Nutriënten	37
2.2.4. OC%	38
2.2.5. N%	41
2.2.6. C/N verhouding	43
2.2.7. P	44
2.2.8. K	45
2.2.9. Eutrofiëring	45
2.3. BIOLOGISCHE KENMERKEN	47
2.3.1. Fauna	47
2.4. SAMENVATTING	48
2.4.1. Fysische bodemkenmerken	48
2.4.2. Chemische bodemkenmerken	49
2.4.3. Besluit	50
3. PROCESSEN EN BODEMEVOLUTIE : OVERZICHT, KENNISLACUNES EN AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK	51

3.1. BODEMVORMENDE PROCESSEN	52
3.1.1. Productie en alteratie van organisch materiaal	53
3.1.2. Uitloging	55
3.1.3. Podzolizatie	57
3.1.4. Oxido-reductie	59
3.1.5. Hydrofobie en preferente waterstromen	60
3.2. INVLOED BODEMGEBRUIK OP DE BODEMONTWIKKELING	67
3.2.1. Bemesting	67
3.2.2. Verlagen van de grondwaterstand	69
3.2.3. Verhogen grondwaterpeil door stopzetten grondwater extractie	69
3.2.4. Afplaggen en uitgraven	72
3.2.5. Spitten en ploegen	72
3.2.6. Begrazing	73
3.3. ATMOSFERISCHE DEPOSITIE	74
3.3.1. Sea-spray	74
3.3.2. Antropogene pollutie	74
3.4. BEGRAVEN BODEMS	80
3.5. VERSTUIVINGEN	81
3.6. BODEMEVOLUTIE ONDER INVLOED VAN DE MENS	84
3.7. BODEMEVOLUTIE ONDER INVLOED VAN VEGETATIE	85
3.8. BODEMEVOLUTIE ONDER INVLOED VAN FAUNA	93
3.8.1. Het konijn	93
3.8.2. Vee	95
3.8.3. Vogels	95
3.9. SAMENVATTING	97
3.9.1. Bodemvormende processen	97
3.9.2. Invloed van het bodemgebruik op de bodemontwikkeling	99
3.9.3. Atmosferische depositie	100
3.9.4. Begraven bodems	100
3.9.5. Verstuivingen	100
3.9.6. Bodemevolutie onder invloed van de mens	100
3.9.7. Bodemevolutie onder invloed van de vegetatie	101
3.9.8. Bodemevolutie onder invloed van fauna	101
3.9.9. Besluit	102
4. KARTERING	103
4.1. BODEMKARTERING VAN DE BELGISCHE BODEMKAART	103
4.2. GEBRUIKTE KARTERINGSMETHODEN TERUGGEVONDEN IN DE LITERATUUR	104
5. REFERENTIES	107
BIJLAGE 1	
BIJLAGE 2	
BIJLAGE 3	
BIJLAGE 4	

SLIKKEN EN SCHORREN

1. BESTAANDE DOCUMENTEN MET BODEMKUNDIGE GEGEVENS	1
2. BODEMKENMERKEN : OVERZICHT, KENNISLACUNES EN AANBEVELINGEN TOT VERDER ONDERZOEK	2
2.1. Chemische bodemkenmerken	2
2.1.1. Kalkgehalte	2
2.1.2. pH	2
2.1.3. Electriscbe conductiviteit	3
2.1.4. Organiscbe koolstof	3
2.1.5. N en C/N	4
2.2. Fysiscbe bodemkenmerken	4
2.2.1. Penetratieweerstand	4
2.2.2. Rijping	5
2.2.3. Strooisel	5
2.2.4. Wortelsysteem	5
2.2.5. Wortelgehalte	5
2.2.6. Textuur	6
2.2.7. Schijnbaar soortelijk gewicht (SSG) en watergehalte	7
3. PROCESSEN EN BODEMEVOLUTIE	8
3.1. Rijpingsproces	8
3.1.1. Fysiscb	8
3.1.2. Chemiscb	9
3.1.3. Biologisch	10
3.2. Oxido-reductie	10
3.3. Zoutgehalte en desalinizatie	11
3.4. Ontkalking	11
3.5. Het onder water zetten van polders	14
4. TYPOLOGIE VAN DE BODEMS IN FUNCTIE VAN DE VEGETATIE	15
5. SAMENVATTING	16
6. REFERENTIES	18

POLDERS

1. BESTAANDE BODEMKUNDIGE GEGEVENS	1
1.1. BODEMKAARTEN	1
1.2. VERKLARENDE TEKSTEN VAN DE BODEMKAARTEN	1
1.3. SYSTEMATISCH PROFIELONDERZOEK VAN DE BODEMTYPEN	2
2. BEKNOPTTE BODEMTYPERING	4
BIJLAGE 1	
BIJLAGE 2	

Duinen

1. DE BESTAANDE BODEMKUNDIGE GEGEVENS

1.1. BODEMKAARTEN

11,E Westkapelle, opname door J.B. Amerijckx, **M.G.I.**, 1954.
11,W Heist, opname door J.B. Amerijckx, **M.G.I.**, 1954.
10,W De Haan & 10,E Blankenberge, opname door J.B. Amerijckx, **M.G.I.**, 1952.
22,W Bredene, opname door J.B. Amerijckx, **M.G.I.**, 1954.
21,W Middelkerke & 21E Oostende, opname door J.B. Amerijckx, **M.G.I.**, 1952.
36,W Nieuwpoort, opname door F.R. Moormann & J.B. Amerijckx, **M.G.I.**, 1951.
35,E Oostduinkerke, opname door F.R. Moormann, **M.G.I.**, 1950.
35,W De Panne, opname door F.R. Moormann & P. Hubert, **M.G.I.**, 1963.
50,W De Moeren, opname door F.R. Moormann, **M.G.I.**, 1959.
50,E Veurne, opname door G. T'Jonck & F.R. Moormann, **M.G.I.**, 1960.
Het Zwin, opname door J.B. Amerijckx, **M.G.I.**, 1954.

1.2. VERKLARENDE TEKSTEN VAN DE BODEMKAARTEN

Amerijckx, J.B., 1952. Middelkerke 21,W & Oostende 21,E. De Verklarende tekst bodemkaart van België, **I.W.O.N.L.**, pp. 44.

Amerijckx, J.B., 1953. De Haan 10,W & Blankenberge 10,E. De Verklarende tekst bodemkaart van België, **I.W.O.N.L.**, pp. 52.

Amerijckx, J.B., 1954. Westkapelle 11,E & Het Zwin. De Verklarende tekst bodemkaart van België, **I.W.O.N.L.**, pp. 90.

Amerijckx, J.B., 1954. Heist 11,W. De Verklarende tekst bodemkaart van België, **I.W.O.N.L.**, pp. 92.

Amerijckx, J.B., 1954. Bredene 22,W. De Verklarende tekst bodemkaart van België, **I.W.O.N.L.**, pp. 90.

Hubert, P. & Moormann, F.R., 1963. De Panne 35,W. De Verklarende tekst bodemkaart van België, pp. 40.

Moormann, F.R., 1951. Oostduinkerke 35,E. De Verklarende tekst bodemkaart van België, **I.W.O.N.L.**, pp. 40.

Moormann, F.R. & J.B. Amerijckx, 1951. Nieuwpoort 36, W. De Verklarende tekst bodemkaart

van België, I.W.O.N.L., pp. 52.

Moormann, F.R. & G. T'Jonck, 1960. De Moeren 50,W. De Verklarende tekst bodemkaart van België, pp. 74.

T'Jonck, G. & F.R. Moormann, 1962. Veurne 50,E. De Verklarende tekst bodemkaart van België, pp. 100.

Legende van de bodemkaart voor de Duinstreek : zie Bijlage 1

1.3. SYSTEMATISCH PROFIELONDERZOEK VAN DE BODEMTYPEN

De Leenheer, L. & M. Van Ryumbeke¹. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 10,E Blankenberge en 10,W De Haan, I.W.O.N.L., pp. 39.

De Caestecker, K. & M. Van Ruymbeke. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 10,E Blankenberge en 10,W De Haan, Analyse-resultaten en profielbeschrijvingen, I.W.O.N.L., 88 pp.

De Leenheer, L. & F. Appelmans. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 11,W Heist, I.W.O.N.L., 79 pp.

De Caestecker, K. & M. Van Ruymbeke. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 11,W Heist, Analyseresultaten en profielbeschrijvingen, I.W.O.N.L..

De Leenheer, L. & M. Van Ruymbeke. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 11,E Westkapelle, I.W.O.N.L., pp. 166.

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 11,E Westkapelle, Analyseresultaten, I.W.O.N.L..

De Leenheer, L. & M. Van Ryumbeke. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 22,W Bredene, I.W.O.N.L., pp. 191.

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 22,W Bredene, Analyse-resultaten, I.W.O.N.L..

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 35,E Oostduinkerke, I.W.O.N.L., pp. 76.

¹jaartal van publicatie is onbekend

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 35,E Oostduinkerke, Analyse-resultaten, I.W.O.N.L..

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 36,W Nieuwpoort, I.W.O.N.L., pp. 129.

De Leenheer, L. & W. Welvaert. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 21,E Oostende en 21,W Middelkerke, I.W.O.N.L., pp. 96.

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 21,E Oostende en 21,W Middelkerke, Analyse-resultaten, I.W.O.N.L..

De Leenheer, L. & F. Appelmans. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 50,W De Moeren. I.W.O.N.L., pp. 43.

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 50,W De Moeren. Analyse-resultaten, I.W.O.N.L..

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 50,E Veurne. I.W.O.N.L., pp. 139.

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 50,E Veurne. Analyse-resultaten, I.W.O.N.L..

De Leenheer, L. & F. Appelmans. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 22,E Houtave, I.W.O.N.L., pp. 54.

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 22,E. Analyse-resultaten, I.W.O.N.L..

Voor relevante profielen : zie Bijlage 2

2. BODEMKENMERKEN VAN DUINBODEMS : BESCHRIJVING, KENNISLACUNES EN AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK

Literatuur over Belgische duinbodems is schaars.

In de meeste nationale bodemclassificatiesystemen, worden, gezien de geringe landbouwkundige waarde, de duinbodems zeer beknopt beschreven. (Jungerius, 1990, pp. 155-162).

Butler (1958) onderscheidt 3 aspecten in de studie van bodems:

- edafische : ecologie - bodemkenmerken van belang voor plantengroei; is meestal beperkt tot pH, CaCO_3 , Organisch materiaal (OM).
- pedologische : studie van de ontwikkeling van bodemprofielen, bodemmaterialen, bodemvormende processen : ontzilting, ontkalking, podzolizatie en vorming van OM.
- geografische : bodem is een dynamisch en 3-dimensioneel deel van het landschap.

De paragrafen hieronder geven een literatuuroverzicht van de belangrijkste bodemkenmerken. Een samenvatting van de bodemkenmerken wordt gegeven onder § 2.3. Samenvatting.

2.1. FYSISCH BODEMKENMERKEN

2.1.1. Textuur

Depuydt, 1972, pp. 87 voerde een gedetailleerde granulometrische analyse uit van de strand- en duinsedimenten langsheen de ganse ZO-Noordzeekust over een afstand van 940 km kust. Hierbij werden 1100 oppervlaktemonsters genomen en geanalyseerd. Op kaarten in bijlage 3 staan de bemonsteringsplaatsen aangeduid.

Methode van de granulometrische sedimenten-analyse (pp. 88) :

- verwijderen schelpgruis
- 20 gr monster
- ontkalking + notitie kalkgehalte
- zeven in bepaalde klassen; klasse-breedte = 0.25ϕ , met $\phi = -\log_{10} d$ voor momenten 1 tot 4 (Wentworth schaal, d.w.z. diameter is 0.5, 0.25, 0.125 en 0.0625 mm resp.)
- statistische parameters : mediaan (50%), sorteringsgraad (2de moment = variantie), scheefheid (3de moment), kurtosis (4de moment)
- grafische analyse
- vergelijking grafische en statistische analyse

resultaten :

2.1.1.1. Frans-Belgische Noordzeekust

strandzand (146 stalen) : algemeen :

(zie tabel 1, kaarten in bijlage 3)

- het Frans-Belgisch Noordzeestrand bestaat voor meer dan 95% uit grof tot fijn zand 500 tot 125 μ , met een gemiddelde korrelgrootte die voor meer dan 85% uit matig fijn zand bestaat (175-250 μ);
- het zand is goed gesorteerd (sorteringsgraad meestal beneden 0.30 ϕ);
- scheefheid : $\beta 1 = - 0.13$; rekenkundig gemiddelde < mediaan < modus;
- kurtosis : voor 90% van de gevallen is ze licht puntig $\beta 2 = 3.62$.

strandzand (146 stalen) : langsheen de kust :

(zie tabel 1)

- de gemiddelde korrelgrootte ligt tussen 305 en 175 μ . De Belgische Westkust bezit het fijnste materiaal van gemiddeld 195 μ terwijl de Franse Westkust het grofste zand heeft van gemiddeld 230 μ . De Belgische Westkust heeft gemiddelde korrelgroottes < 208 μ , uitgezonderd te Koksijde waar er waarden tot 250 μ bereikt worden. De Belgische Oostkust kenmerkt zich door een langzamer oplopen van de gemiddelde korrelgrootte vanaf Oostende tot de Belgisch-Nederlandse grens;
- de meest centraal gelegen stranden : Frankrijk-oost en België-west hebben een hogere bijmenging in de grofste fracties, waardoor ze een sterkere negatieve scheefheid hebben, doch de fijnere fracties worden ook sterker afgeknot zodat de grafiek iets puntiger wordt.

strandzand : dwars op de kust :

(pp. 114-123)

3 profielen : te Marck (Frankrijk); 1.5 km ten oosten van Gravelines (Frankrijk); te De Panne

- granulometrie : varieert weinig over de breedte van het strand voor Franse profielen; het Belgisch profiel vertoont grovere klassen in de brandingszone en op het hoogstrand;
- met vermindering korrelgrootte, wordt de sortering beter, scheefheid wordt iets meer negatief en kurtosis toont meer puntigheid.

		STRANDZAND					Omschrijving van de granulometrische kenmerken
		Frankrijk		België		TOTAAL Ge- middelde	
parameter		SW (1)	SME (2)	SbW (3)	SbE (4)	S (5)	
$\bar{N}_g$	maximum	2,28	2,50	2,48	2,45	2,50	fijn GEMIDDELTE KORRELGROOTTE grof
	gemiddelde $\left\{ \begin{array}{l} N_g \\ (Mo_g) \\ (Me_g) \end{array} \right.$	2,11 (2,14) (2,12)	2,19 (2,32) (2,25)	2,35 (2,49) (2,42)	2,24 (2,37) (2,28)	2,23 (2,32) (2,27)	
	minimum	1,70	1,88	2,05	2,00	1,70	
σ_{gt}	maximum	0,34	0,39	0,39	0,33	0,39	minder goed SORTERING goed
	gemiddelde $\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{gt} \\ (\sigma_{gs}) \end{array} \right.$	0,27 (0,26)	0,30 (0,31)	0,27 (0,27)	0,26 (0,26)	0,27 (0,27)	
	minimum	0,18	0,20	0,16	0,20	0,16	
β_1	maximum	+ 0,10	+ 0,10	0	+ 0,10	+ 0,10	positief SCHEEFHEID negatief
	gemiddelde	-- 0,12	-- 0,15	-- 0,20	-- 0,10	-- 0,13	
	minimum	-- 0,80	-- 1,20	-- 2,50	-- 0,70	-- 2,5	
β_2	maximum	5,50	4,80	7,00	4,50	7,00	puntig GOLVING plat
	gemiddelde	3,85	3,38	4,05	3,17	3,62	
	minimum	2,70	2,40	2,50	2,50	2,40	

		DUINZAND					Omschrijving van de granulometrische kenmerken
		Frankrijk		België		TOTAAL Ge- middelde	
parameter		DW (6)	DIE (7)	DbW (8)	DbE (9)	D (10)	
$\bar{N}_g$	maximum	2,25	2,70	2,55	2,37	2,70	fijn GEMIDDELTE KORRELGROOTTE grof
	gemiddelde $\left\{ \begin{array}{l} N_g \\ (Mo_g) \\ (Me_g) \end{array} \right.$	1,96 (1,99) (1,99)	2,29 (2,37) (2,31)	2,25 (2,34) (2,28)	2,18 (2,24) (2,18)	2,19 (2,24) (2,20)	
	minimum	1,65	1,87	1,88	1,87	1,65	
σ_{gt}	maximum	0,40	0,39	0,45	0,35	0,45	minder goed SORTERING goed
	gemiddelde $\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{gt} \\ (\sigma_{gs}) \end{array} \right.$	0,27 (0,26)	0,27 (0,27)	0,30 (0,30)	0,27 (0,27)	0,27 (0,27)	
	minimum	0,17	0,16	0,20	0,18	0,16	
β_1	maximum	+ 0,20	+ 0,50	+ 0,20	+ 0,30	+ 0,50	positief SCHEEFHEID negatief
	gemiddelde	-- 0,03	-- 0,07	-- 0,12	-- 0,03	-- 0,07	
	minimum	-- 1,50	-- 0,70	-- 2,00	-- 0,40	-- 2,00	
β_2	maximum	7,00	6,30	5,40	4,45	7,00	puntig GOLVING plat
	gemiddelde	3,36	3,49	3,50	3,39	3,43	
	minimum	2,50	2,50	2,50	2,60	2,50	

Tabel 1: Korrelgrootte voor strand- en duinzand (DEPUYDT, 1972).

duinzand (600 stalen) : algemeen :

(kaarten in bijlage3)(pp. 128 - 131)

- gemiddelde korrelgrootte : voor het duinzand iets lager dan voor het strandzand; variatie is groter voor de duinen : $2.70\phi - 1.65\phi$ versus $2.50\phi - 1.70\phi$ voor het strand (niet duidelijk);
- sortering : buitengewoon goed = 0.27ϕ ;
- scheefheid : zeer laag $\beta_1 = -0.07$ d.w.z. duincurve benadert zeer goed de Gauss-verdeling;
- kurtosis : $\beta_2 = 3.43$: iets puntig.

duinzand (600 stalen) : langsheen de kust :

(pp. 131-133)

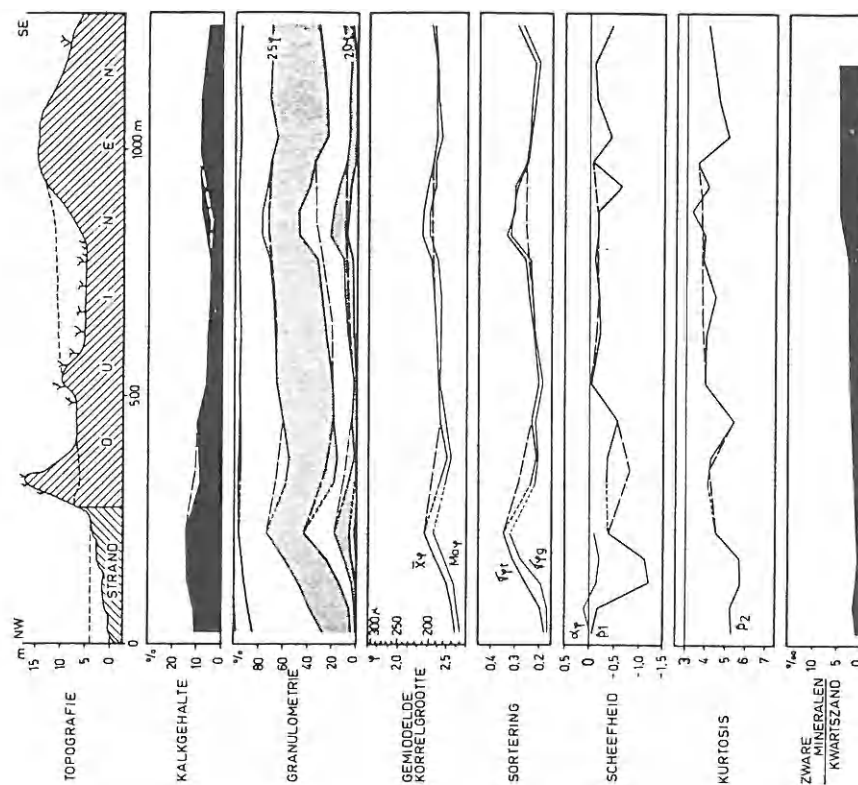
- grofste duinsediment ten westen van Gravelines en ten oosten van Oostende, met kleinste scheefheid.

duinzand dwars op de kust :

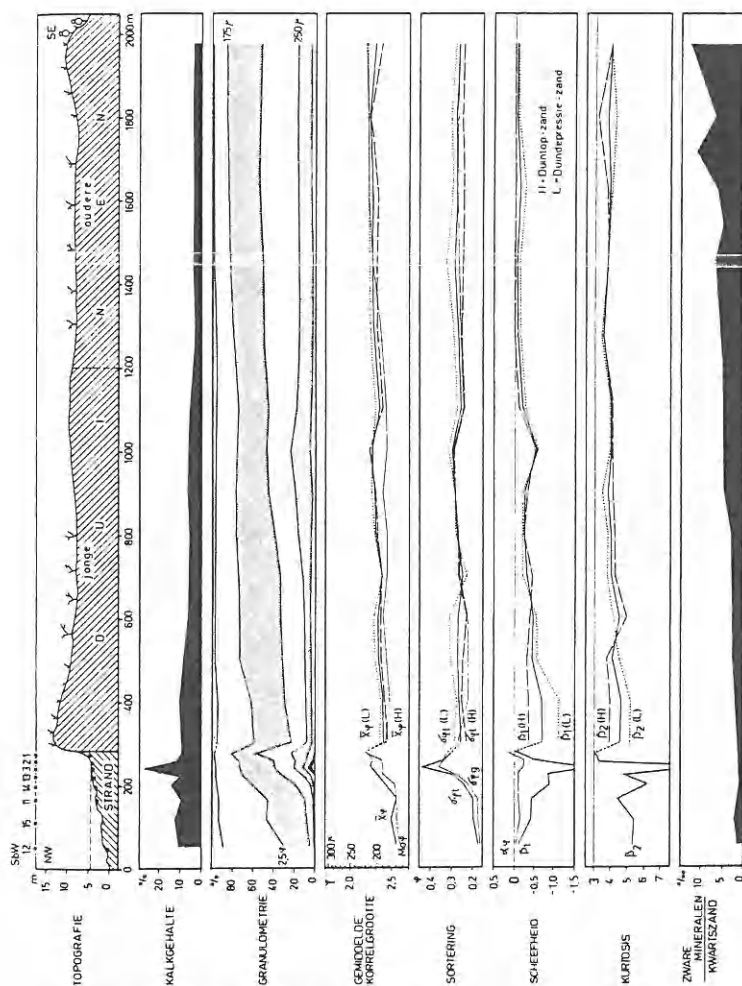
(pp. 133-138) :

detail werd uitgewerkt voor de Westhoekduinen (fig. 1 en 2)

- gemiddelde korrelgrootte : de hoogopgewaaide zeereepzanden bezitten de laagste gemiddelde korrelgrootte van gans het duingebied, de sterk-geërodeerde loefzijde van het wandelduin bezit de grofst korrelgrootte; buiten die 2 hogergenoemde gebieden varieert de gemiddelde korrelgrootte met hoogstens 0.07ϕ wat overeenkomt met 12μ ;
- scheefheid vermindert vanaf de zee landinwaarts.



Figuur 2. Detailprofiel doorheen de recente noordgordel van de Westhoek-duinen. Elke parameterwaarde is het gemiddelde voor alle monsters, gebonden aan de respectieve morfologische eenheden. (DEPUYDT, 1972).



Figuur 1. Veralgemeend dwarsprofiel doorheen het strand en het brede duinmassief van de Westhoek (De Panne). Elke voorgestelde parameterwaarde vertegenwoordigt een gemiddelde waarde, berekend voor een strook van 100 m tot 200 m. (DEPUYDT, 1972).

2.1.1.2. Westhoekduinen : Depuydt (1966).

Twee kaartjes (niet ingesloten) tonen de localisatie van de oppervlakte-monsters van het strand en de duinen en van de fossiele zanden (291 monsters).

De noorderhelft heeft een gemiddelde moduswaarde van 188μ en schommelt tussen 175 en 195μ . De zuiderhelft heeft een gemiddelde moduswaarde van 210μ en schommelt tussen 205 en 215μ . Een gedeelte van de zeereep waar ook de hoogste duintoppen zich bevinden bevat iets fijner materiaal.

Duingordel Ghijvelde-Adinkerke (15 monsters) bevat fijner zand met een gemiddelde modus rond 180μ (zie fig. 3).

Fig. 3

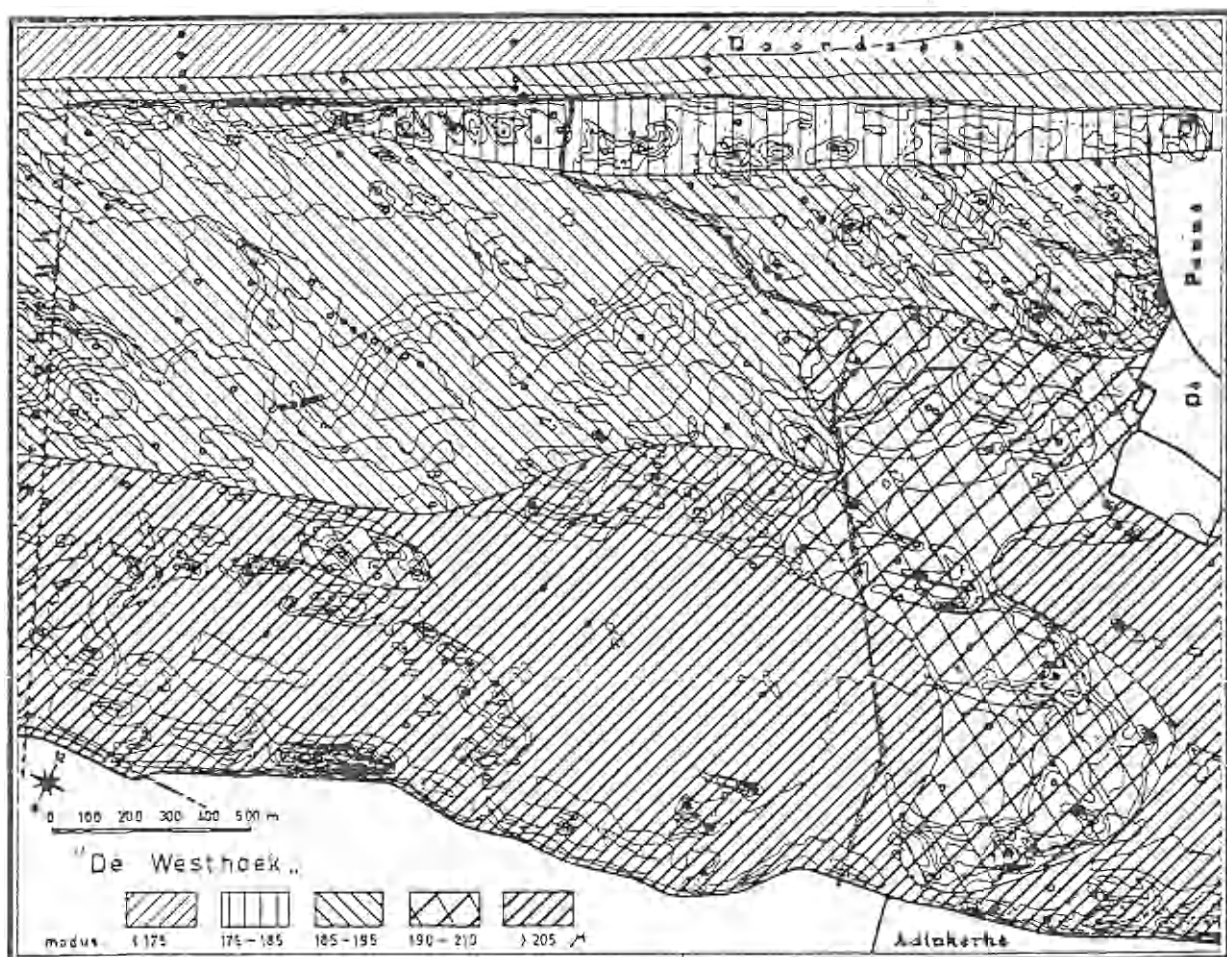


Fig. 3. Moduswaarden van de oppervlakte-zanden in de Westhoek. (DEPUYDT, 1966).

duintop versus duindepressie (Depuydt, 1972)

(4 profielen : 2 duindepressie, 2 duinkam, fossiel duingebied, jong duingebied - 31 tot 52 monsters elk) (pp. 139-)

Het onderling verschil tussen duintop en duindepressie is groter dan tussen de duinformaties onderling.

- gemiddelde korrelgrootte verschilt gemiddeld 0.07ϕ of 10μ met grovere korrels in de depressie, fijnere korrels op de duinrug;
- sorteringsgraad is minder goed;
- scheefheid : schever in negatieve zin.

Hoe lager de topografie, hoe grover de korrels en hoe slechter de sortering.

Een meer gedetailleerde publicatie voor de **Westhoekduinen** is deze van Depuydt (1966) waarbij de granulometrie van duindepressie en duintopzand vergeleken wordt (tabel 2 en 3).

Duintop monsters H	Duindepressie monsters L	H + L
187 μ	190 μ	188 μ
210 μ	211 μ	210 μ
196 μ	201 μ	
TABEL 2		

Noordergordel (N)

Zuidergordel (S)

Totale WESTHOEK duinmassief

Duintop monsters H	Duindepressie monsters L	H + L
187 μ	189 μ	188 μ
210 μ	211 μ	210 μ
196 μ	202 μ	
TABEL 3		

Resulterende moduswaarden van de WESTHOEK-sedimenten (DEPUYDT, 1966).

vergelijking strandzand versus duinzand

Meest karakteristieke onderscheid tussen het strand- en duinzand ligt in de scheefheid pp. 132 : iets meer positief; grofkorrelige bijmenging wordt minder belangrijk met een iets sterkere vertegenwoordiging van het fijn en zeer fijn materiaal; doch de betekenis van dit onderscheid is weinig significant

2.1.1.3. De zuidoostelijke Noordzeekust (Depuydt, 1972, pp. 166-179)

strandzand

dwars op de kust :

profiel te Zuid-Texel :

- gemiddelde korrelgrootte : schommelingen zijn zeer klein;
- sortering : goed;
- scheefheid : licht-negatief, benadert zeer dicht de normale Gauss-verdeling;

profiel te Skallingen :

- gemiddelde korrelgrootte : naar de duinvoet toe, neemt ze toe;
- sorteringsgraad : neemt af naar de duinvoet toe (minder goed gesorteerd);
- scheefheid : blijft dicht bij de normale nullijn, maar wijkt meer af dan Texel;
- kurtosis : meer puntig.

strandzand langsheen de kust :

- gemiddelde korrelgrootte : kuststroken die het verst zeeinwaarts reiken bezitten het grofste zand : bijv. Deense NW-kust hebben waarden van 300μ en meer, de bochten in deze NW kust ver onder de 200μ ; Noord-Holland : grofste zand : $> 250\mu$; Wadden-eilanden : ZW : tussen 200 en 250μ ; O : $\pm 175\mu$;
- sorteringsgraad : grootste schommelingen in Jutland;
- scheefheid : grootste schommelingen langsheen de Belgische en het grootste gedeelte van de Deense kust. de Noord-Hollandse en Friese kust bezitten een zeer symmetrische korrelverdeling;
- kurtosis : laagst : Noord-Hollandse en Friese kust
hoogst aan de West-Belgische kust en Jammerbocht van Noord-Jutland.

duinzand

langsheen de kust :

- gemiddelde korrelgrootte : 90% van het duinzand van de zuidoostelijke Noordzeekust is gemiddeld fijn tot matig grof (125 tot 350μ); fijnste zanden op de kusteilanden van de Waddenzee, rond de Frans-Belgische grens en aan de noordoostelijke randen van de Noord-Deense baaien; grofste duinzand langs de 10km kust ten westen van Calais, gedeeltelijk in Noord-Holland en op het meest vooruitspringend gedeelte van de West-Jutlandse kust;
- sortering : goed tot zeer goed gesorteerd, met uitzondering van het Deens grof zand dat iets-minder-goed gesorteerd is;
- scheefheid : symmetrie van de korrelverdeling is practisch perfect ($\beta_1 = 0$) in Noord-Holland en op de Friese eilanden, doch overal elders is ze licht-negatief, behalve aan de Belgische Westkust waar soms sterk negatieve pieken uitsteken;
- kurtosis : normaal met overwicht tot puntige vorm : voor 90% onder $\beta_2 < 5$.

Kennislacunes :

- omzetting van de granulometrische gegevens naar gebruikelijke textuurklassen in de bodemkunde;
- Depuydt spreekt niet van vernietiging van organisch materiaal bij de bepaling van de granulometrie; werd deze al dan niet uitgevoerd? vooral omdat de cijfers meestal verwijzen naar oppervlaktemonsters; of werden alleen blootgestoven gedeelten bemonsterd en niet de begroeide plaatsen;
- textuur analyses van diepere lagen? in hoeverre relevant?

Aanbevelingen voor verder onderzoek :

- de studie van Depuydt geeft een vrij goed overzicht van de korrelgrootteverdeling van de strand- en duinbodems langsheen de Belgische kust. In detailstudies, en dan vooral buiten het Natuureservaat de Westhoek is het nodig enkele analyses uit te voeren ter bevestiging van de grote tendensen vermeld in Depuydts studie.

2.1.2. Biologisch actieve laag

Met de biologische actieve laag wordt bedoeld : een horizont van variërende dikte, met los gestapelde zanden, meestal structuurloos, humeus en goed doorworteld.

Alle ondervermelde studies werden uitgevoerd in Westhoek Natuureservaat in jongere pannesystemen.

Baes, 1989, pp. 27-89.

In 7 jonge pannedepressies werden er 10 transecten uitgezet, waarlangs 180 handboringen en 220 penetrografische metingen werden verricht. Deze penetrografische metingen tonen tot een diepte van ongeveer 80 cm het verloop van de indringingsweerstand. De indringingsweerstand van de bodem is een maat voor de compactie van de bodem.

Een minder dichte en/of ontwikkelde plantengroei komt vaak overeen met een beduidend grotere weerstand. Op sommige plaatsen langsheen het transect wordt al vanaf 20-30 cm diepte een weerstand van meer dan 500 N/cm² bereikt.

Metingen met de penetrograaf stuiten op moeilijkheden in de jonge pannedepressies. Er bestaat immers een relatie tussen vochtigheidstoestand van de bodem en penetratieweerstand d.w.z. hoe vochtiger hoe minder de weerstand. In deze jonge pannedepressies is de vochtigheidstoestand niet uniform en geeft de penetrograaf in de vochtige pannedepressie niet altijd een correct beeld weer. Daardoor werd door Baes in de diepere gedeelten van de

pannedepressie lagere penetratieweerstanden gemeten, en kwamen de meer compacte zones meestal voor aan de iets hoger gelegen randen van de pannedepressie.

Verder werd de penetratieweerstand beïnvloed door het al dan niet voorkomen van humeuze en venige lagen.

Humeuze lagen veroorzaakten een afname van de penetratieweerstand, terwijl de venige laag duidelijk een grotere penetratieweerstand vertoont.

De microruggetjes op de rand van de pannevloer waar wilg en helm meegroeien met het duin, vertonen dan weer een lagere penetratieweerstand.

Vermoortel, 1990, pp. 33-54.

Heeft een gedetailleerde studie uitgevoerd langsheen een transect doorheen een jonge panne (gestabiliseerd tussen 1973 en 1988)(fig. 4).

De metingen met de penetrograaf vertonen grote overeenkomst met deze van Baes (1989). De zones zonder vegetatie (zone 1 en 6) zijn reeds compact vanaf geringe diepte. In de sterk begroeide zones (zone 7) zijn ook hogere penetratieweerstanden aanwezig maar op grotere diepte. De zones gesitueerd aan de rand van de panne (zone 2 en 5) worden gekenmerkt door een dikke A1 horizont met een lage penetratieweerstand. In de diepte is de compacte bodem terug aanwezig. In de panne zelf worden twee zones onderscheiden : de natte (zone 4) en de droge (zone 3) panne. Voor de droge panne is de penetratieweerstand aan het oppervlak en op grote diepte gering, in een middenzone is de penetratieweerstand hoog. In de natte panne is de penetratieweerstand relatief laag.

Wat betreft de consequenties voor plantengroei is de penetratieweerstand een limiterende factor voor plantengroei in zone 1,2,5 en 6. In de panne zelf (zone 3 en 4) werden geen compacte lagen gevonden binnen een diepte van 70 cm, in zone 7 is de losse bovengrond iets dikker (zie fig. 4).

Langsheen het transect werden 6 profielputten gegraven. Metingen van penetratieweerstand (handpenetrometer) werden uitgevoerd op de horizontale secties maar de resultaten werden niet verder besproken.

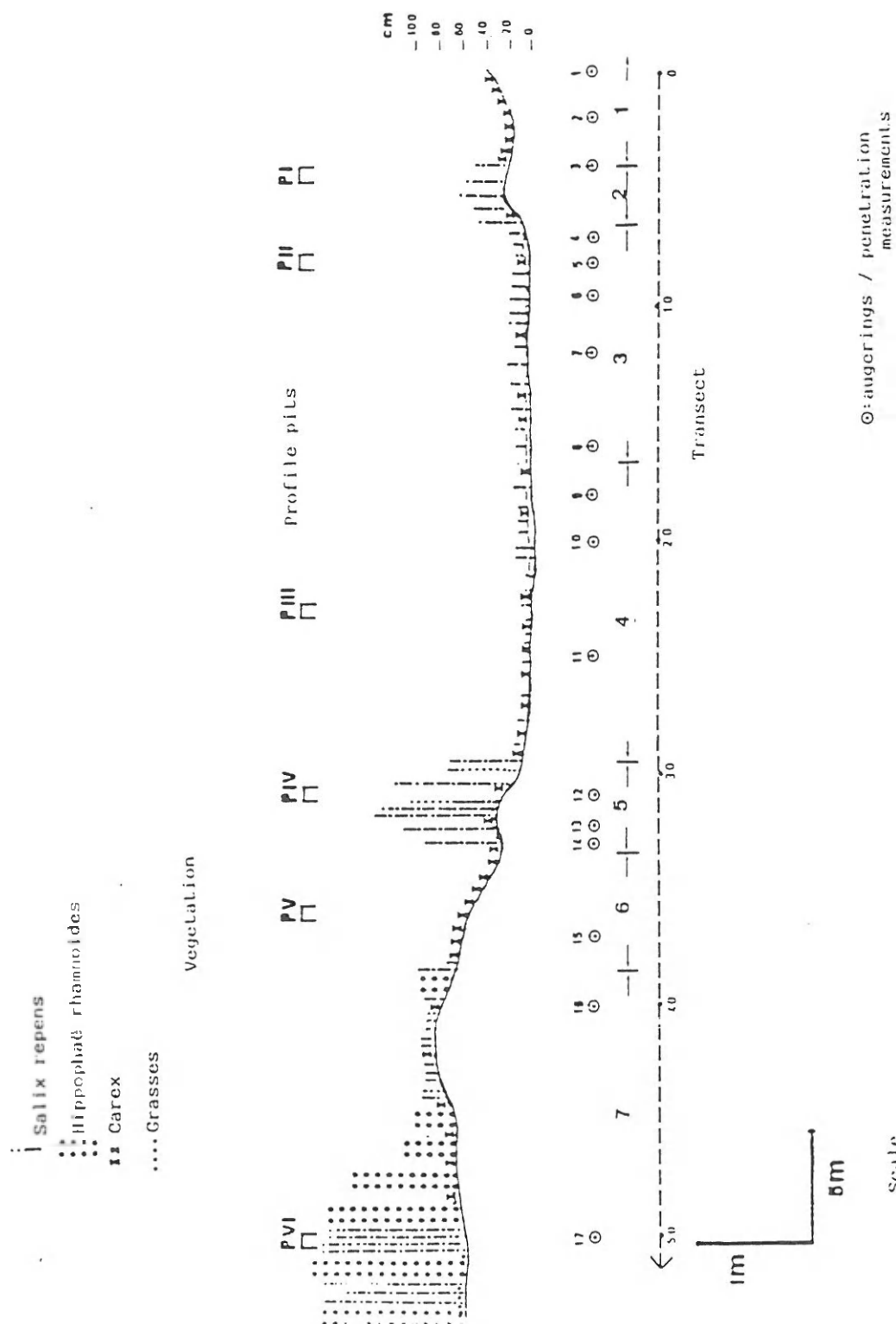


Fig. 4 : Transect doorheen terminaal actief panne-paraboolduin systeem. Vermoortel, 1990.

Ampe en Langohr, 1993, pp. 37-55.

Studie in een iets langer gestabiliseerd systeem onder struweel : tussen de 20 en 60 jaar.

(4 profielputten werden geanalyseerd door N.M. Maseki, 5 door C. Ampe)

Langsheen het transect werd de dikte van de biologisch actieve laag gemeten door middel van :

- 1) een visiteerijzer (penetration rod);
- 2) de worteldiepte op een verticale wand.

Tabel 4 geeft de resultaten weer.

De dikte van de biologische laag varieert van 16 tot 56 cm.

Variatie treedt op in functie van de microtopografie : microruggen zoals P12H, P4H en P6H vertonen een dikkere biologische actieve laag met een dikte van 56, 46 en 41 cm respectievelijk, in de depressies begint de compacte laag tussen 16 en 35 cm diepte.

Tabel 4

Upper limit of the consolidated sands measured with a penetration rod, thickness of the A1bi+Bbi measured on the vertical sections of the profiles, relative height of the soil surface above the reference level of the study site, air-dry weight of litter and humus (AMPE & LANGOHR, 1993) .

Site ^a	Penetration rod		Vertical sections A1bi+Bbi thickness (cm)	Relative height of soil surface (cm)	Air-dry weight (g)			
	Upper limit dense subs. hor. depth ^b (cm)	S.D. ^c			Litter ^d	S.D. ^c	Humus ^d	S.D. ^c
P00	23	3.30	20	108	32.4	13.07	83.3	12.74
P01	16	4.80	—	135	118.8	19.01	125.9	6.06
P02	22	3.61	—	137	93.6	9.00	100.0	21.00
P1L	24	6.71	25	169	76.4	19.60	85.6	26.27
P12H	56	13.91	65, 71 in pockets	206	77.4	11.90	39.4	5.72
P2L	22	4.43	29	124	127.0	7.19	132.5	25.12
P3Hip	18	3.34	23	95	138.1	35.61	172.5	27.69
P3Sal	21	4.84	23	94	178.5	9.22	184.8	15.88
P4L	23	3.00	25	103	172.4	21.78	224.3	20.25
P4M	35	7.30	46	129	110.9	39.80	144.2	0.85
P4H	46	10.58	44, 66 in pockets	185	102.0	18.70	91.1	7.20
P5L	35	3.15	20	152	105.9	24.84	191.1	42.14
P56	37	9.39	40	185	82.1	23.10	72.9	16.69
P6H	41	14.88	25, 55 in pockets	223	92.2	19.09	77.5	3.72
P7L	27	1.93	20	117	139.3	22.49	216.8	57.48
P7H	27	7.40	20	164	114.4	28.64	190.9	43.73
P9	27	7.21	22, 28 in pockets	157	90.1	14.05	231.9	25.02

^aL: Low, M: Middle, H: High. Hip: Hippophae, Sal: Salix.

^bValues are an average over 15 readings.

^cS.D. = standard deviation.

^dValues are an average over 3 readings, each over a 20 × 20 cm² surface and for the whole thickness of horizons O+A1.

Wat betreft de ouderdom van het systeem treedt er geen differentiatie op zodat de dikte van de biologisch actieve laag even dik is, zolang men rekening houdt met dezelfde landschapspositie.

De studie van de verticale wanden toonde aan dat de meeste horizontaal groeiende wortels geconcentreerd zijn in de bovenste 20 cm in de depressies en tot 65 cm diepte op de ruggen. Op sommige plaatsen ging de beworteling nog iets dieper zoals in zakvormige structuren die geïnterpreteerd werden als voormalige fauna galerijen. In de onderliggende Cd horizont groeien de meeste wortels vertikaal en door middel van horizontale secties kon tot kwantificatie overgegaan worden. Op 5 geselecteerde sites werden voor 77 tot 100 % levende wortels in een dode aangetroffen (tabel 5). Op deze diepte varieerde ook het schijnbaar soortelijk gewicht tussen 1.58 tot 1.61 g/cm³ (zie ook § 2.1.3.).

Tabel 5

Bulk density (BD) (g cm⁻³), number of live roots, live roots within dead roots and dead roots in all horizontal sections (H.S.) (surface area 80×80 cm²) (AMPE & LANGOHR, 1993)

Horizontal section				Bulk density					Roots						%live roots in dead roots versus all live roots		No. of H.S. with live roots in dead roots
Horizon name	No. of H.S.	Depth (cm)		Min.	Max.	No. of samples	Mean	S.D.	Live		Live in dead		Dead		Min.	Max.	
		Min.	Max.						Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.			
Albi	12	0	10	1.02	1.46	29	1.33	0.145	11	84	0	0	0	30	0	0	
Bbi	23	2	42	1.08	1.62	100	1.48	0.098	17	208	0	43	0	39	0	52	
Cd	45	21	128	1.45	1.72	221	1.57	0.037	0	163	0	156	0	193	0	39	
bA1	11	21	88	1.27	1.63	50	1.49	0.096	18	55	0	18	0	65	0	100	

Van Haesebroeck, 1994, pp. 18-62.

Studiegebied : Het centrale, venige gedeelte van het Hannecart bos.

Voor de 3 profielen is de meeste beworteling geconcentreerd in de bovenste 30cm. Met toenemende diepte, steeds in de venige horizonten, neemt het aantal wortels af, maar ze zijn nog steeds aanwezig, wat ook het geval is voor de overgangszone tussen de venige en zandige C horizonten. De zandige C horizont is quasi wortelloos. Ook hier is het beschikbare bodemvolume voor plantengroei uitermate beperkt.

Ampe, niet gepubliceerde gegevens.**Studiegebied : Hannecart bos**

Zes profielen werden onderzocht buiten het venige gedeelte.

In vijf van de zes profielen is de beworteling geconcentreerd in de bovenste 30 tot 48 cm. Slechts in één profiel nabij een duinrug begroeid met populier zijn de wortels geconcentreerd in de bovenste 53 cm maar komen er ook nog wortels voor op grotere diepte. De iets diepere beworteling die gevonden werd in het Hannecart bos vergeleken met de situatie in de Westhoek kunnen verklaard worden door het voormalig bodemgebruik. Spitsporen werden geobserveerd in verschillende profielen tussen 35 en 48 cm diepte. De biologische activiteit is dus beperkt tot deze vroeger bewerkte horizonten. De onderliggende en niet gestoorde (door landbouwactiviteit) C horizont bevat meestal geen enkele wortel.

Maas, Van den Berg & Oosterbaan, 1993, pp. 46.**Studiegebied : Eikopstanden in duingebieden Castricum PWN en Meyendel, Nederland.**

Onderzoek werd uitgevoerd naar de vitaliteit van eik waarbij naast het bepalen van insektenvraat en aantasting door honingzwam, wortelonderzoek werd uitgevoerd. Hierbij werd de beworteling (aantal levende en dode wortels, diameter van de wortels, wortelverdeling in relatie tot de bodem en het grondwater) nagegaan voor 3 gezonde en 3 zieke bomen. Voor de eerste site te Castricum zijn de meeste wortels geconcentreerd in de bovenste 80-90 cm, een tweede piek komt voor op 1.6 m diepte en valt samen met de gemiddelde grondwaterstand in het voorjaar. De wortels staan gedurende het gehele groeiseizoen in contact met het grondwater en de bomen hebben geen vochttekort. Op de tweede site te Castricum zijn de wortels geconcentreerd in de bovenste 70 cm van het profiel. Hier is de bodem bewerkt en bemest geweest en het oorspronkelijk kalkrijk afgezette duinzand is tot op 80 cm ontkalkt. Er wordt melding gemaakt van een te hoge indringingsweerstand van de Cgc-horizont voor de wortels (*jammer genoeg ontbreken in deze publicatie voor de 3 sites alle bodemgegevens*). Het grondwater fluctueert hier op een diepte beneden het wortelstelsel.

Op een derde site te Meyendel zijn de wortels voor de ongezonde boom geconcentreerd in de bovenste 1 m, voor de gezonde boom komen er zeer veel wortels voor in de bovenste 50 cm. De ongezonde boom staat met zijn wortels niet in contact met het grondwater, de gezonde boom wel.

Kennislacunes :

- een aantal studies werden uitgevoerd in het Natuurreservaat de Westhoek en het Hannecartbos. Voor een beperkt aantal sites in deze reservaten werd op een grondige wijze gegevens verzameld over de biologische laag. Daarbuiten echter ontbreekt alse informatie.

Aanbevelingen voor verder onderzoek :

- gezien het grote belang in de dynamiek van het ecosysteem is een systematisch onderzoek naar

de dikte van de biologische laag noodzakelijk.

2.1.3. Schijnbaar soortelijk gewicht (SSG)

Depuydt, 1967, pp. 75, 79.

p. 75 : Het sedimentatiemateriaal wordt bij afzetting nooit perfect gestapeld : het materiaal neemt nooit het kleinst mogelijke volume in. Het is slechts bij regenval dat de massa , na total bevochtiging, veel compacter wordt. Verder wordt er melding gemaakt dat het bevochtigen van het losse zand, na een typische onweersnacht op sommige plaatsen niet dieper dan 10 cm bevochtigd wordt. Dit wordt verklaard door de aanwezigheid van gevangen lucht die het dieper indringen van het water bemoeilijkt (*misschien speelt de hydrofobie ook hier weer een rol? zie § 3.1.5. vooral omdat Depuydt verder in zijn tekst spreekt van fijn-geskulpeerde structuren na erosie, wat ook door Dekker & Ritsema (1994b) beschreven werd*). Een laboratoriumproef toonde aan dat de zandkorrels zich herschikken na het toevoegen van water. Het totale volume van de ganse massa verminderde met 8 tot 12%, waardoor het geheel veel compacter wordt.

p. 79 : in de zuidelijke gordel van het natuurreservaat zou de huidige pannebodem compacter zijn dan in de noordelijke gordel.

Baes, 1989, pp. 113.

Studiegebied : Westhoek natuurreservaat, transect doorheen jong gestabiliseerde panne.
De waarden van het SSG variëren tussen 0.95 en 1.59 g/cm³. Laagste waarde van 0.95 g/cm³ werd gevonden in een begraven organische horizont. (*Profielbeschrijvingen ontbreken, zodat de cijfers niet verder geïnterpreteerd kunnen worden*).

Ampe, 1991, pp. 68-83, Ampe en Langohr, 1993, pp. 37-55.

Studiegebied : Westhoek natuurreservaat
(cijfermateriaal van Maseki (1991) is in deze analyse opgenomen)
Studie in iets langer gestabiliseerd systeem onder struweel : tussen de 20 en 60 jaar.

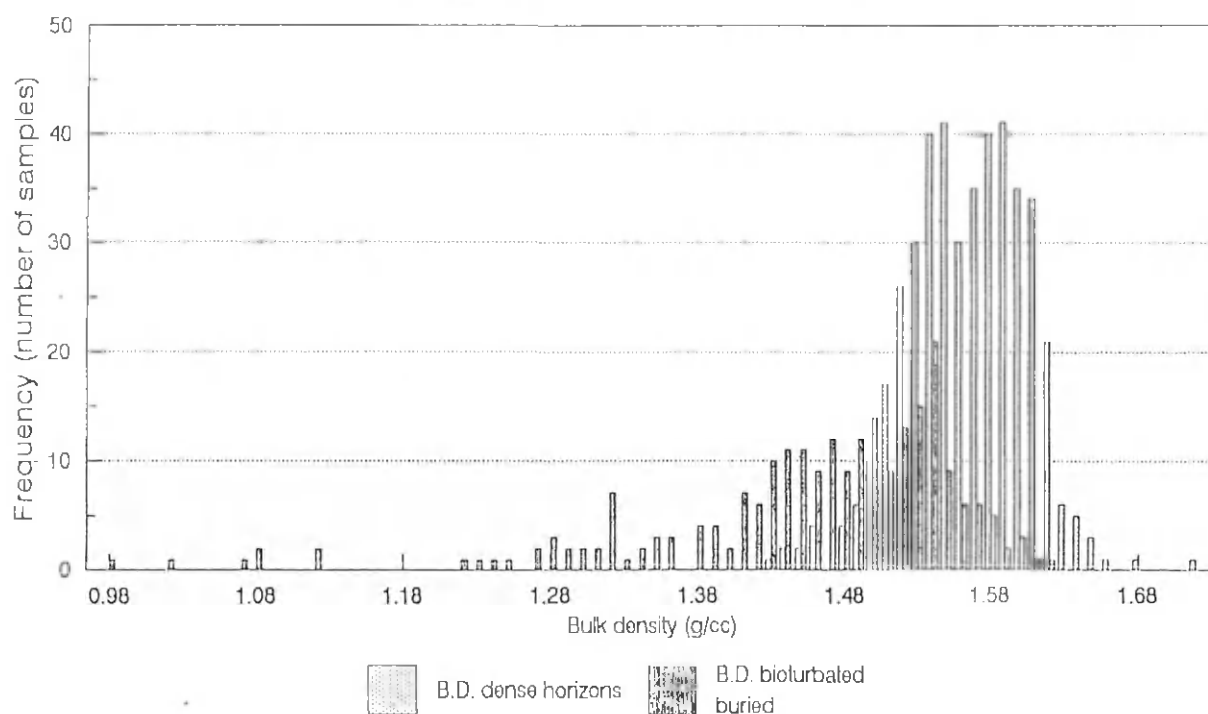
De laagste waarden voor SSG werden gemeten in de A1bi horizont, gevolgd door de begraven organische horizonten (bA1) en de biologisch actieve B horizonten (Bbi). In de Cd horizonten was het SSG het hoogst (tabel 6, fig. 5).

	B.D.	%W.V.	%W.W.	%POR
n = 677	All horizons			
mean	1.53	11.4	7.5	42.4
st.dev.	0.0879	12.597	8.456	3.309
n = 436	All horizons except Al.bi, Bbi, bAl			
mean	1.56	12.2	7.2	41.0
st.dev.	0.041	11.533	7.27	1.531
n = 241	All Al.bi, Bbi, bAl horizons			
mean	1.46	9.9	7.0	45.0
st.dev.	0.106	14.210	10.249	4.003

Tabel 6: AMPE, 1991.

B.D. : bulk density g/cc
 %W.V. : water volume %
 %W.W. : water weight %
 %POR : % porosity

Fig. 5 - Histogram showing bulk density for "dense" and bioturbated or buried horizons



Horizons except Al.bi, Bbi and bAl, the so-called "dense" horizons have a higher average bulk density, but a lower standard deviation than the bioturbated and buried Al.bi, Bbi and bAl horizons. (AMPE, 1991).

Vermoortel, 1990.**Studiegebied :** Westhoek natuurreervaat

Heeft een gedetailleerde studie uitgevoerd langs een transect doorheen een jonge panne (gestabiliseerd tussen 1973 en 1988) (*gegevens voor profiel 2 ontbreken, hoeveel waarnemingen per observatie?*).

De waarden voor SSG varieerden tussen 0.74 en 1.57 g/cm³. In de biologisch actieve laag bedroeg deze tussen 0.74 en 1.52 g/cm³, in de onderliggende compacte horizonten varieerde ze tussen 1.48 en 1.57 g/cm³.

Van Haesebroeck, 1994.**Studiegebied :** Hannecart bos

Drie profielen werden bemonsterd in het centrale, venige gedeelte van het Hannecart bos (ieder cijfer is een gemiddelde van 5 waarnemingen).

De venige lagen vertonen een zeer laag SSG : het bereikt waarden gelegen tussen 0.38 en 0.72 g/cm³. De zandige C horizonten hebben een veel hoger SSG variërend van 1.41 tot 1.56 g/cm³.

Ampe, niet gepubliceerde gegevens.**Studiegebied :** Hannecart bos

Zes profielen werden onderzocht buiten het venige gedeelte. Het SSG voor de biologische actieve laag ligt tussen 0.51 en 1.54 g/cm³, de onderliggende C horizonten hebben een SSG tussen 1.47 en 1.62 g/cm³. De horizonten die geïnterpreteerd werden als zijnde bedolven ploeglagen hebben een SSG tussen 1.28 en 1.58 g/cm³.

Dekker en Ritsema, 1994a, pp. 153-164.**Studiegebied :** Terschelling op het strand; stuifkuil te Ouddorp, Nederland.

De oppervlakte horizont van de bodem te Terschelling vertoonde reeds een zeer hoog SSG van 1.65 g/cm³ vanaf 0-5 cm diepte. De andere horizonten en de horizonten van de bodem te Ouddorp hebben SSG tussen de 1.55 en 1.58 g/cm³.

Ritsema en Dekker, 1994a, pp. 107-131.

Studiegebied : 9 sites werden onderzocht : 5 in een arid klimaat in New Mexico, USA en N. Mexico; 4 in een gematigd vochtig klimaat, waarvan 3 in Nederland en 1 te De Panne. De bemonsterde sites zijn niet begroeid.

De gemiddelde resultaten (n= 50 per bemonsterde diepte) voor De Panne liggen tussen 1.53 en 1.56 g/cm³.

Kennislacunes :

- Bovengenoemde gegevens zijn, tot zover gekende, de enige beschikbare gegevens voor SSG, d.w.z. cijfermateriaal is enkel beschikbaar voor de jonge systemen in de Westhoek Natuurreservaat en voor het Hannecart bos.
- In de meeste Nederlandse literatuur worden geen metingen verricht van het SSG uitgezonderd in de studies van Dekker en Ritsema (1994a) en Ritsema en Dekker (1994a). Het doel van hun studie was echter onderzoek naar hydrofobie en preferente waterbanen in zandige bodems. Hun resultaten komen overeen met de gevonden waarden voor de Vlaamse kust.

Aanbevelingen voor verder onderzoek :

- Uitvoering van metingen voor andere representatieve sites langs de Vlaamse kust; nagaan van het verband tussen de beworteling en het SSG.

2.1.4. Bodemwater

Klijn, 1981, pp. 142-148.

Watervoorziening : duinbodems hebben een zeer gering vochthoudend vermogen. Het vochthoudend vermogen verbetert enkel door toename humusgehalte. Verdere aanvulling vochtvoorziening gebeurt door interne dauw; fysiologische en andere aanpassingsmechanismen van de planten tegen de droogte.

Vocht- en luchtvoorziening :

- natte bodems : water opname via wortels in de capillaire zone, luchtvoorziening kan een probleem leveren;
- droge bodems : luchtvoorziening OK, watervoorziening is ontoereikend.

2.1.4.1. Grondwater

zie lijk hydrogeologie

2.1.4.2. Metingen van de vochtigheidstoestand

Baes, 1989, pp. 113.

Studiegebied : Westhoek natuurreservaat, transect doorheen jong gestabiliseerde panne, 3 profielen.

Het watergehalte varieert tussen 4 en 54% in volumepercent (VW), tussen 3 en 57% in gewichtpercent (GW). De hoogste waarden voor het watergehalte werden gevonden in een

bedolven organische horizont, voor de minerale horizonten bedroegen de hoogste waarden 46 en 34% respectievelijk voor VW% en GW%.

Ampe, 1991, pp. 68-83, 1993, pp. 37-55.

Studiegebied : Westhoek natuurreserveaat (tabel 6).

(cijfermateriaal van Maseki (1991) is in deze analyse opgenomen)

Studie in iets langer gestabiliseerd systeem onder struweel : tussen de 20 en 60 jaar.

Het watergehalte varieert tussen 0.4 GW% of 0.5 VW% en 37.5 GW% of 49.9 VW%.

Van Haesebroeck, 1994, tabel 7.

Studiegebied : Hannecart bos

Drie profielen werden bemonsterd in het centrale, venige gedeelte van het Hannecart bos.

De venige horizonten bevatten zeer veel water op het moment van de monsternamen (eind augustus, begin september 1993). De grondwaterstand bedroeg toen voor P1, P2 en P3 respectievelijk 55, 79 en 70 cm van het oppervlak. Het watergehalte varieert tussen 53 en 80% in VW%, tussen 89 en 208% GW%.

De zandige C horizont bevatte veel minder water maar toch nog relatief hoog (nabijheid van het grondwater) tussen 39 en 41% VW% en 25 tot 29 GW%.

Eerste deel Tabel 7

	Depth (cm)	BD (g/cc)	Vol % water	Weight % water	pH-H2O (1:2)	reaction with HCl (legend see table 4.2.2.2.1.)
Horizon 1	4	0,41	72	176	6,6	-
Horizon 2	11	0,53	71	133	7,0	-
Horizon 2	21	0,63	65	104	7,2	(+)
Horizon 3	35	0,41	79	190	6,9	-
Horizon 4	51	0,43	78	181	6,4	-
Horizon 5	58	0,38	79	208	6,2	-
Horizon 6	65,5	1,49	39	26	8,3	++/+++

	#mg N / 100g (air dry soil)	#mg N / 100g (wet soil)	% OC	C/N (air dry soil)	C/N (wet soil)
Horizon 1	997	1154	14,1	14,1	12,2
Horizon 2	590	915	11,3	19,2	12,3
Horizon 2	535	735	7,2	13,5	9,8
Horizon 3	1350	1278	19,2	14,2	15,0
Horizon 4	1546	1574	11,8	7,6	7,5
Horizon 5	1098	1245	17,3	15,8	13,9
Horizon 6	80	117	0,3	3,8	2,6

Results laboratory analyses of profile P1.

	Depth (cm)	BD (g/cc)	Vol % water	Weight % water	pH-H2O (1:2)	reaction with HCl (legend see table 4.2.2.2.1.)
Horizon 0	3,5	0,41	53	127	5,5	-
Horizon 1	16,5	0,53	66	124	7,7	(+)
Horizon 1	26,5	0,66	63	95	7,9	+
Horizon 2	39,5	0,41	80	197	7,6	-
Horizon 3	50,5	1,41	41	29	7,8	(+)
Horizon 4	56,5	1,55	41	26	8,7	++

	#mg N / 100g (air dry soil)	#mg N / 100g (wet soil)	% OC	C/N (air dry soil)	C/N (wet soil)
Horizon 0	1274	1169	20,8	16,3	17,8
Horizon 1	1002	1211	13,3	13,3	11,0
Horizon 1	512	681	11,0	21,5	16,2
Horizon 2	1043	1234	18,9	18,1	15,3
Horizon 3	106	209	0,9	8,5	4,3
Horizon 4	24	15	0,3	12,5	20,0

Results laboratory analyses of profile P2.

	Depth (cm)	BD (g/cc)	Vol % water	Weight % water	pH-H ₂ O (1:2)	reaction with HCl (legend see table 4.2.2.2.1.)
Horizon 1	7,5	0,49	62	126	7,7	++/+++
Horizon 2	14,5	0,72	64	89	7,9	++
Horizon 3	26,5	0,63	72	114	7,8	+++
Horizon 4	39,5	0,72	66	91	7,6	(+)
Horizon 5	46,5	1,56	39	25	8,5	++

	#mg N / 100g (air dry soil)	#mg N / 100g (wet soil)	% OC	C/N (air dry soil)	C/N (wet soil)
Horizon 1	835	814	15,5	18,6	19,0
Horizon 2	552	636	6,1	11,1	9,6
Horizon 3	622	712	9,2	14,8	12,9
Horizon 4	372	457	6,6	17,7	14,4
Horizon 5	25	56	0,3	12,0	5,4

Results laboratory analyses of profile P3.

Tabel 7: Analyseresultaten voor profielen P1, P2, P3 in het venige gedeelte van het Hannecart bos (VAN HAESEBROECK, 1994).

2.1.4.3. Beschikbaar water, veldcapaciteit en verwelkingspunt

Salter & Williams, 1965, pp. 310-317.

Het beschikbare water voor planten wordt in de eerste plaats bepaald door de textuur (tabel 8).

Tabel 8: *Available-water Data for the Top 12 in. of soil summarized as Means per Textural Class* (SALTER & WILLIAMS, 1965).

Textural class	Soil number(s)	FC (%H ₂ O)	PWP (%H ₂ O)	ASC (g/cc)	AWC (in.)
Sand	8	6.7	1.8	1.34	0.79
Sand/loamy sand	27	8.8	2.5	1.56	1.16
Loamy sand	13	17.9	5.1	1.40	2.15

2.1.4.4. Capillair water

Maseki, 1991, pp. 100, Ampe, 1991, pp. 83.

Studiegebied : Westhoek natuurreserveaat : jonge panne systeem, onder struweel gestabiliseerd tussen de 20 en 60 jaar.

Tabel 9 toont de resultaten van de metingen van de capillaire stijgingshoogte.

Tabel 9:

Average physical soil properties of 5 samples with groundwater table at 155 cm depth, profile pit P5

Depth from surface (cm)	BD (g cm ⁻³)	S.D.	%WV	S.D.	%WW	S.D.	%POR	S.D.
65	1.56	0.026	0.9	0.72	0.5	0.46	41.1	0.97
75	1.58	0.007	1.5	0.64	0.9	0.42	40.3	0.30
85	1.58	0.012	3.2	0.52	2.0	0.33	40.3	0.43
95	1.60	0.018	6.9	0.79	4.3	0.48	39.6	0.68
105	1.61	0.023	15.4	0.79	9.6	0.70	39.3	0.89
115	1.63	0.010	30.7	1.51	18.8	0.84	38.6	0.38
125	1.59	0.016	36.7	2.69	23.0	1.63	39.8	0.65
135	1.60	0.007	38.9	1.01	24.4	0.57	39.7	0.30
145	1.49*	0.038	40.3	4.10	27.1	3.13	43.8	1.41
155	1.43*	0.010	46.3	0.83	32.3	0.48	45.9	0.37

*Buried organic horizons.

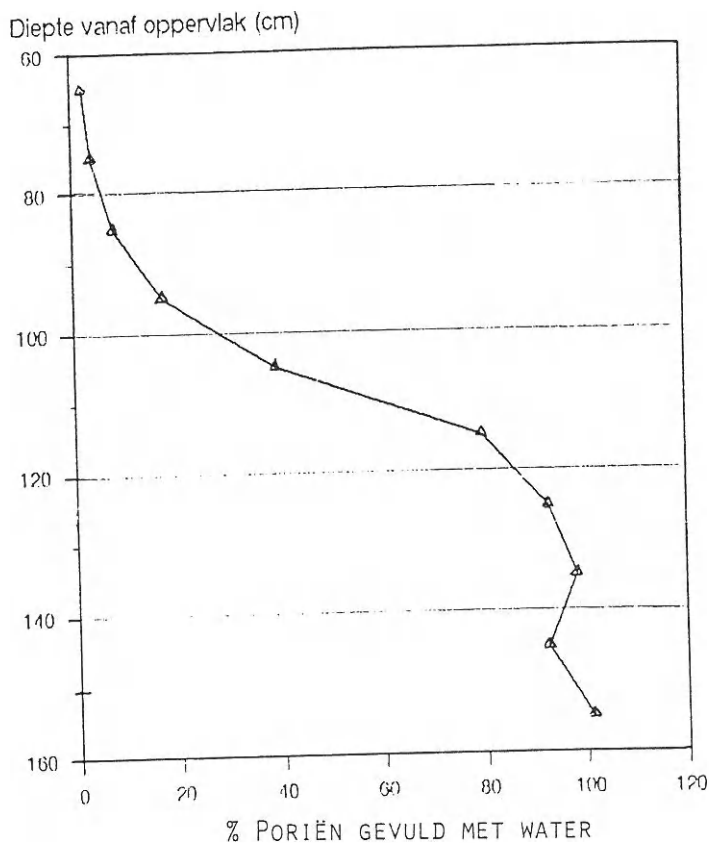
Abbreviations: BD, bulk density; %WV, % water by volume; % WW, % water by weight; %POR, % porosity; S.D., standard deviation.

(AMPE & LANGOHR, 1993).

Boven de grondwatertafel ligt de capillaire zone waar capillair water opstijgt. De stijgingshoogte van het capillair water is afhankelijk van de diameter van de poriën wat op zijn beurt bepaald wordt door de textuur. Door compactie is de fractie van de microporiën toegenomen en zullen deze duinbodems een bredere capillaire zone vertonen dan te verwachten is voor zandige bodems. Vanaf Fig. 6 kan een capillaire stijgingshoogte van ± 37 cm afgeleid worden.

Het is duidelijk dat de aanwezigheid van capillair water zeer belangrijke gevolgen heeft voor de waterbevoorrading van de planten. Vermits de beworteling van de planten grotendeels beperkt is tot de biologisch actieve laag (§ 2.2.) zal watervoorziening een acuut probleem vormen indien het grondwater zakt tot een diepte die groter is dan de som van de biologisch actieve laag en de capillaire opstijgingszone.

Fig. 6: Verband tussen % poriën gevuld met water en bodemdiepte. (AMPE, 1991).



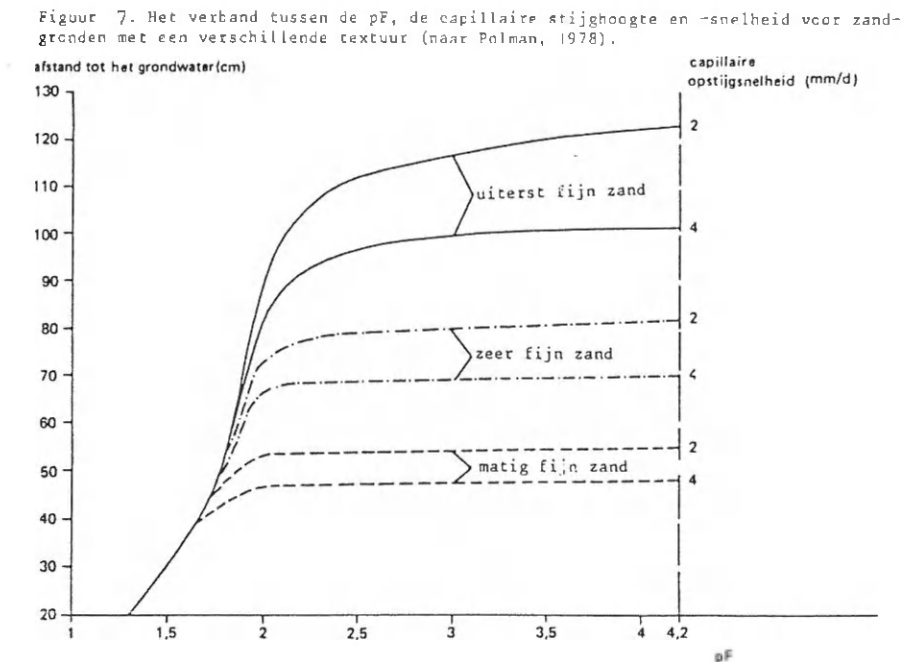
Michiels, Hartmann & De Strooper, 1989, pp. 299-304.

Studiegebied : niet duidelijk vermeld waar de studie uitgevoerd werd : "coastal dune area, België". Bodem bevat 96.4% zand, 0.7% silt en 2.9% klei op 15 cm diepte. De capillaire stijghoogte bedraagt 42 cm.

Van Soesbergen G.A., C. Van Wallenburg, K.R. Van Lynden & H.A.J. Van Lanen, 1986 in : Maas et al., 1993.

Capillaire opstijging bedraagt in duinzand 40 cm.

Polman, 1978 in : Klijn, 1981.



Noch in de publicatie van Klijn, noch in die van Bakker - die de grafiek van Polman overgenomen hebben - staat vermeld welke korrelgroottefractie bedoeld wordt met uiterst fijn zand, zeer fijn zand en matig fijn zand.

2.1.4.5. Waterverbruik, evapotranspiratie en infiltratie

zie ook luik hydrogeologie

Wright, 1955, pp. 270-283.

Studiegebied : Culbin Forest, Morayshire

Het vochtigheidsgehalte van de bodem werd nagegaan onder verschillende vegetatietypes en bosbestanden van verschillende ouderdom tussen april en augustus 1952.

Het aanplanten van bomen verandert drastisch de vochtigheidstoestand van de bodem : grote hoeveelheden water worden verbruikt in de bewortelingszone, alhoewel onder de bewortelingszone de bodem meestal op veldcapaciteit is. Door de geringe capillaire oprijzing is dit water niet beschikbaar voor de bomen. Een droge periode komt voor in april en mei en valt samen met het begin van de groeiperiode, zodat transpiratie de neerslag overschrijdt en de bodem uitdroogt tot VWP, tot een diepte afhankelijk van de ouderdom en beworteling van de vegetatie. Meestal was de bodem droger naargelang het bestand ouder was. Gedurende het verdere groeiseizoen waren de uitgedroogde bodemlagen nog steeds niet volledig bevochtigd. De incorporatie van humus in de bovenste bodemhorizonten verbeterde aanzienlijk de bodemvochtigheids capaciteit maar is meestal niet beschikbaar voor de vegetatie daar de spanning waarmee het water vastgehouden wordt te hoog is.

Bakker, T.M.W., 1981.

De verdampingsfactor in de waterbalans vergelijking wordt door Bakker als volgt voorgesteld:
Totale verdamping = evaporatie + interceptie + transpiratie

Verdampingsverschillen tussen begroeiingstypen zijn terug te brengen tot verschillen in de drie bovengenoemde componenten van de totale verdamping. Gegevens omtrent deze componenten is slechts beschikbaar voor een zeer grove onderverdeling van de begroeiing zoals onbegroeid, grasland en bos, of , naaldbos versus loofbos.

Bakker onderscheidt op grond van literatuurgegevens, 7 begroeiingstypes. Richtcijfers voor totale verdamping op het Nederlandse duingebied met P (neerslag) = 725 mm/j en E_o = 770 mm/j (potentiële evapotranspiratie voor open water) staan hieronder vermeld :

onbegroeid duinterrein	180 mm/jaar
vochtige valleivegetatie	550
droge duinvegetatie	360
vochtig loofbos	550
droog loofbos	400
vochtig naaldbos	700
droog naaldbos	550

Deze gegevens zijn gesteund op verschillende soorten bronnen :

- lysimeter metingen te Castricum, Leiduin, Wageningen (Nederland);
- literatuurgegevens.

Preciese definiëring van bovenvermelde vegetatietypes werd niet gegeven.

Kennislacunes :

- Gegevens in verband met veldcapaciteit, verwelkingspunt, capillaire stijghoogte zijn schaars voor het studiegebied.
- Indien metingen voorhanden zijn - voor zowel Vlaanderen als Nederland - is het niet altijd duidelijk tot welke korrelgroottefractie het zand behoort. Deze laatste is een noodzakelijk gegeven omdat de hoeveelheid beschikbaar water, de capillaire stijghoogte, afhankelijk is van de korrelgrootte.
- Hoeveelheid beschikbaar water, capillaire stijghoogte is afhankelijk van de hoeveelheid organisch materiaal in de bodem. Geen cijfers werden tot nu toe hierover gevonden.
- Waterverbruik in functie van de verschillende vegetatietypes werd nog niet onderzocht voor het Vlaamse duingebied. Enkel de cijfers van Bakker (1981) zijn voorhanden.

Aanbevelingen voor verder onderzoek :

- Gedetailleerde metingen, zowel op het terrein als in het labo, voor de bepaling van veldcapaciteit, verwelkingspunt, capillaire stijghoogte in functie van de korrelgrootte, in functie van de hoeveelheid organisch materiaal in de bodem.
- Studie naar de evapotranspiratie per vegetatietype en het effect op de waterbalans (zie hydrogeologie).

2.1.5. Humusprofielen

Voor de beschrijving van de humusprofielen (humus form profile) is een veel gebruikt systeem, door voornamelijk Nederlandse onderzoekers, dit van **Klinka, Green, Trowbridge en Lowe (1981)**.

De classificatie is gesteund op een beschrijving van de organische en minerale horizonten in een humusprofiel. Vier belangrijke organische (L, F, H en O) en één minerale horizont (A) wordt onderscheiden. In de hiërarchie worden orden, groepen, subgroepen onderscheiden. De nomenclatuur gebruikt op het hoogste niveau van de taxa de internationaal erkende termen mull, moder en mor. Op lagere niveaus in de hiërarchie wordt gewerkt met prefixen (zie tabel 10).

De gebruikte criteria om orden en groepen te onderscheiden zijn : de aan- of afwezigheid van de diagnostische organische en minerale horizonten, de relatieve dikte van de horizonten, en kenmerken van de humusvormen die een aanduiding geven omtrent de humusvormende processen (bijv. vochtigheidsregime). Op het niveau van de subgroepen worden drie soorten onderscheiden : de subgroepen die conform zijn aan het concept van de subgroep, subgroepen die afwijken van dat centrale concept door ondergeschikte kenmerken; subgroepen die eigenschappen hebben kenmerkend voor andere groepen of subgroepen (overgangsvormen).

Synopsis of Taxa of the Mor Order

Synopsis of Taxa of the Moder Order

Synopsis of Taxa of the Mull Order

Group	Subgroup	Group	Subgroup	Group	Subgroup
11. Velomor	111. Orthivelomor 112. Neovelomor 113. Amphivelomor	21. Velomoder	211. Orthivelomoder 212. Minervelomoder 213. Amphivelomoder	31. Rhizomull	311. Orthirhizomull 312. Crustorhizomull 313. Vermirhizomull 314. Xerorhizomull
12. Xeromor	121. Orthixeromor 122. Lignoxeromor 123. Amphixeromor	22. Xeromoder	221. Orthixeromoder 222. Minervoxeromoder 223. Amphixeromoder	32. Vermimull	321. Orthivermimull 322. Microvermimull 323. Macrovermimull
13. Hemimor	131. Orthihemimor 132. Mycohemimor 133. Lignohehmmor 134. Amphihemimor	23. Normoder	231. Orthimormoder 232. Humimormoder 233. Mineromormoder 234. Amphimormoder	33. Hydromull	331. Orthihydromull 332. Humihydromull 333. Saprihydromull
14. Hemihumimor	141. Orthihemihumimor 142. Mycohemihumimor 143. Lignohehmmimor 144. Granulohemihumimor 145. Residuohemihumimor 146. Amphihemihumimor	24. Leptomoder	241. Orthileptomoder 242. Hemileptomoder 243. Mineroleptomoder 244. Amphileptomoder	34. Saprimum	341. Orthisaprimum 342. Parasaprimum 343. Histosaaprimum 344. Humisaaprimum 345. Hydrosaprimum
15. Humimor	151. Orthihumimor 152. Mycohumimor 153. Lignohumimor 154. Granulohumimor 155. Residuohumimor 156. Amphihumimor	25. Mullmoder	251. Orthimullmoder 252. Vermimullmoder 253. Rhizomullmoder		
16. Hydromor	161. Orthihydromor 162. Residuohydromor 163. Hemihydromor 164. Saprihydromor	26. Hydromoder	261. Orthihydromoder 262. Ectohydromoder 263. Saprihydromoder		
17. Histomor	171. Orthihistomor 172. Fertilistomor 173. Saprihistomor 174. Hydrohistomor	27. Histomoder	271. Orthihistomoder 272. Fibrhistomoder 273. Saprihistomoder 274. Hydrohistomoder		

Tabel 10: Classificatiesysteem voor humusprofielen volgens KLINKA, GREEN, TROWBRIDGE en LOWE (1981).

Een tweede relatief recent systeem werd teruggevonden in de literatuur. Het is het systeem van **Delecour (1980)**.

Het is een beschrijvend, hiërarchisch systeem waarbij 7 niveaus onderscheiden worden.

Volgende hiërarchische niveaus worden onderscheiden : Klasse, orde, suborde, familie, vorm. Twee klassen worden gebruikt, gesteund op het al dan niet onder water zijn van het OM; op het orde niveau wordt voor de humusprofielen boven het water, de verlandingsgraad gebruikt. De suborden worden onderverdeeld naargelang de vegetatiebedekking van de bodem; op familie niveau worden de diagnostische organische en humeuze horizonten gebruikt; voor de humusvorm zijn de criteria : bodemreactie (pH), reactie met HCl, oorsprong van het OM, dikte en structuur van de horizonten, aard van de overgang tussen de organische en minerale horizonten (zie tabel 11). Verder kunnen ook nog een fase en een variëteit onderscheiden worden.

CLASSE	ORDRE	SOUS-ORDRE	FAMILIE	FORME
Humus submergés			Humus brut submergé	
			Tourbe submergée	
			Vases	Dy Gytja Sapropèle
Humus émergés	Humus semi-terrestres		Anmoor	Anmoor oligotrophe Anmoor mésotrophe
			Tourbe	Tourbe acide Tourbe forestière Tourbe neutre
	Humus terrestres	Humus forestier	Humus brut	
			Mor	Fibrimor Mésimor Humimor
			Moder	Dysmoder (Eu) moder Moder mulleux Moder calcique Moder carbonaté
			Mull	Mull dystrophe Mull oligotrophe Mull mésotrophe Mull eutrophe Mull calcique Mull carbonaté
		Humus des végétations herbacées	Mor	Mor granuleux Mor massif Mor feutré Mor feuilleté Mor rubané Mor mulleux
			Mull-mor	
			Mull	Mull grenu Mull massif Mull fin Mull feutré Mull feuilleté Mull lentiforme

Tabel 11 : Classificatiesysteem voor humusprofielen volgens DELECOUR (1980).

Aanbevelingen voor verder onderzoek :

- Voor de duinbodems aan de Belgische kust werd nooit tot een beschrijving van de humusprofielen uitgevoerd.
- Onderzoek is noodzakelijk naar de bruikbaarheid van de bestaande systemen (bijvoorbeeld Klinka of Delecour).
- Kartering van de humusprofielen.

2.2. CHEMISCHE BODEMKENMERKEN

2.2.1. CaCO_3 - Gehalte

Barnes, pp. 172

aanvoer van kalk :

- aanvoer van schelpfragmenten door de wind
- recyclage van Ca via plantenwortels en bladeren : zo kunnen bepaalde plantensoorten Ca in hun bladeren opslaan zoals *Cynoglossum officinale* (**Freijsen, 1975**)
- graaactiviteiten van konijnen die schelprijk zand van de diepere kalkrijke bodem terug naar het oppervlak brengen.

Depuydt, 1972, pp. 124

1100 oppervlaktemonsters langsheen 964 km kust
diepte van de bemonstering? methode van bepaling?

Frans-Belgische kust (zie bijlage 3)

- strandzand : langsheen strandprofiel van Gravelines (Frankrijk) en De Panne is het sediment relatief kalkrijk : nergens daalt ze onder de 10% en rond de hoogwaterlijn bedraagt ze zelfs tot boven de 20% (schelpgruis in de vloedzone); het strandprofiel van Marck (Frankrijk) : het kalkgehalte schommelt er tussen 5 en 10%;
- kustzone : tussen Nieuwpoort en Gravelines is het kalkgehalte tussen 6-8% of meer dan 8%. Verder westwaarts neemt het iets af (4 tot 6%) doch de rest van de Belgische kust, en vooral de Oostkust, kent een veel lagere waarde (rond 2%). De stranden met het laagste kalkgehalte zijn deze van De Haan en Knokke.

- duinzand

Detailstudie voor de Westhoek : duinprofiel loodrecht op de kust waarvoor granulometrie en kalkgehalte bepaald werd (zie fig. 1 en 2). Het duinzand heeft een geringer kalkgehalte : 10% wordt bereikt in de lang-uitgeschuurde windgeulen die een dikke schelpenvloer bevatten. Verder landinwaarts bereikt het niet eens meer 7% en daalt in de oudere zuidoostelijke duingordel voor gemiddeld tot onder 4%.

Verdere detail werd uitgewerkt voor de Westhoekduinen (Depuydt, 1966)(zie fig. 8) : het strand kent cijfers van meer dan 10% CaCO_3 , alsook de windgeulen in de zeereep. Vanaf de zeereep tot halfweg het gebied schommelt het kalkgehalte tussen 6 en 10%. Het oostelijk deel van het centrale wandelduin en de paraboolkernen in het noordelijk en zuidelijk deel van het reservaat hebben een kalkgehalte van 4 tot 6%. In de zuidelijke pannenrij ligt het kalkgehalte beneden de 4%. In de duinengordel van Ghijvelde-Adinkerke daalt het kalkgehalte tot beneden de 2%.

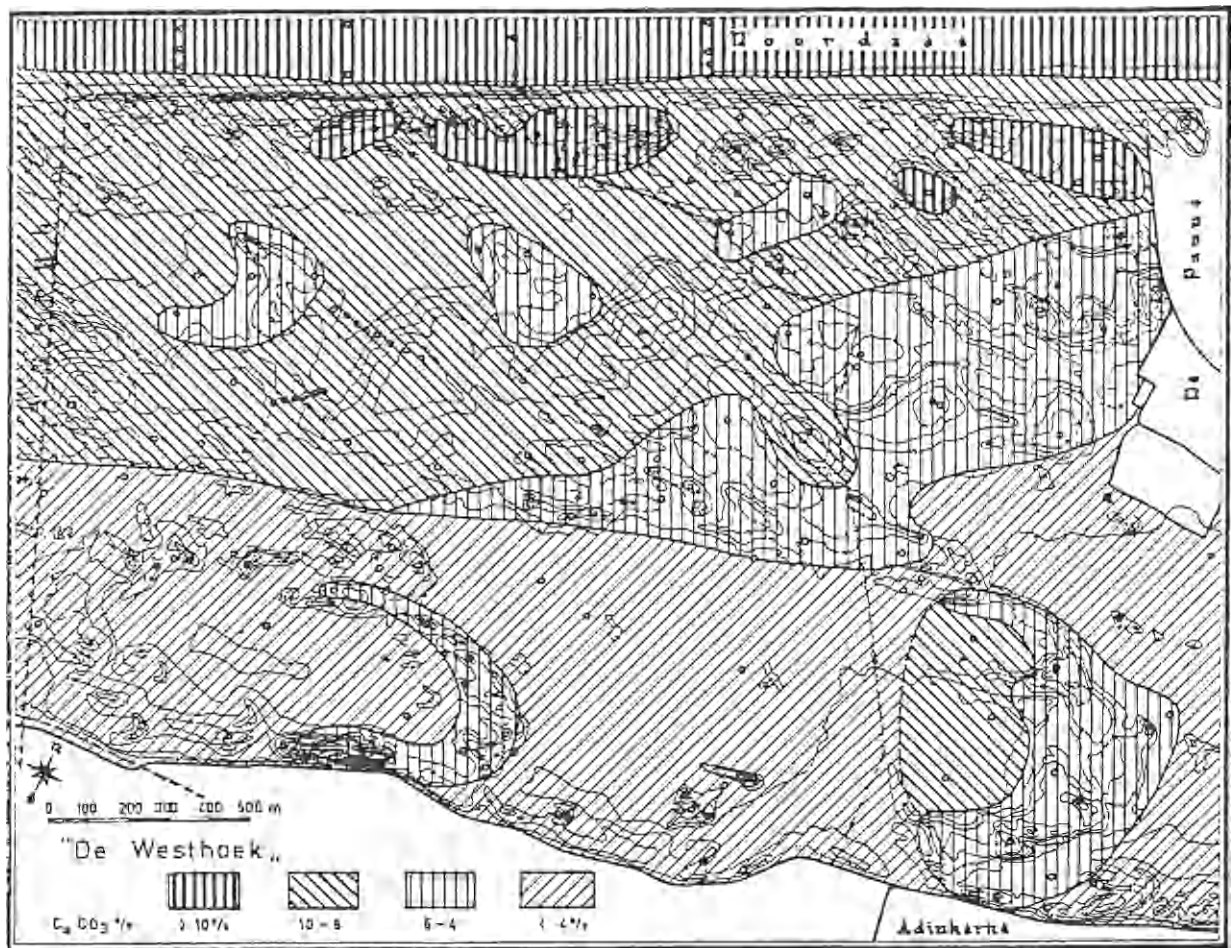


Fig. 8: Kalkgehaltebepaling van de Westhoeksedimenten, die zich voordoen aan het huidig evoluerend oppervlak. (DEPUYDT, 1966).

de zuidoostelijke Noordzeekust pp. 166-179

- strandzand
- dwars op de kust : profiel te Zuid-Texel
schommelingen van het kalkgehalte over gans de breedte van het strand is gering; gehalte zelf is gering;
- langsheen de kust : hoogste kalkgehalte tussen Cap Blanc-Nez en Oostende, verder oostwaarts neemt het geleidelijk af tot juist boven 2% op Goeree. Zuid-Holland bereikt nog waarden van 6%,

de rest van Nederland, Duitsland en Denemarken hebben minder dan 2% kalk.

- duinzand

- dwars op de kust : profielen te Texel, te Skallingen

kalkgehalte in de duinen ligt lager dan op het strand

- langsheen de kust :

Kalkgehalte is meestal zeer laag, uitgezonderd voor de Frans-Belgische kustsedimenten, in 80% van de gevallen lager dan 3%.

Van Haesebroeck, 1994, tabel 7.

Studiegebied : Hannecart bos

Drie profielen werden bemonsterd in het centrale, venige gedeelte van het Hannecart bos.

methode : relatieve bepalingen, graad van bruisen bij toevoegen van HCl

In P1 en P2 zijn de venige horizonten licht tot niet kalkrijk. In P3 is het gehele profiel kalkrijk.

De zandige C horizonten zijn sterk tot zeer sterk kalkrijk

Kennislacunes :

- voor kalkgehalte is de benadering van Depuydt een zeer ruwe benadering;

- Depuydt gebruikte oppervlakte monsters, de diepte tot waar de bemonstering gebeurde werd niet vermeld (is dit 0-1 cm, 0-5 cm diepte?);

- het soort bodem dat bemonsterd werd, is niet vermeld : is het niet humeus zand, of is er al een zekere bodemontwikkeling met een A1-horizont. De ontwikkeling van een A1-horizont wijst op een zekere stabilisatie en brengt ontkalking van de oppervlakte horizont met zich mee. Het is dus veel interessanter om gegevens van de C-horizont te verzamelen zodat men dan een idee heeft van het oorspronkelijke kalkgehalte. Vergelijkingen zijn slechts dan mogelijk. Vervolgens kunnen metingen van diepte van ontkalking uitgevoerd worden om een idee te krijgen van de verzuringstoestand van de bodem;

- het noodzakelijke kalkgehalte noodzakelijk om een kalkgrasland te onderhouden is niet gekend;

- kalkdynamiek in duinecosystemen is zowat ongekend buiten enkele publicaties (Slings (1994) zie § 3.6.).

Aanbevelingen voor verder onderzoek :

- systematische bepaling van het kalkgehalte van de C horizont;

- om een idee te krijgen over processen zoals verzuring moet er veel gedetailleerder bemonsterd worden : op verschillende diepten in het profiel, op veel verschillende plaatsen (ruimtelijke variabiliteit);

2.2.2. pH

Landon (1991, pp. 113-117)

vermeldt dat bij hoge pH (>8.0)

- fosfaten in de aanwezigheid van calcium omgezet kunnen worden tot calciumfosfaat zodat de beschikbaarheid van P voor de planten verminderd is;
- Boor toxiciteit kan optreden;
- natrium : bij pH > 8.6, wordt ESP > 15% (exchangeable sodium percentage);
- nitrificatie : bacterie activiteit vermindert, dus ook de nitrificatie van het OM;
- micronutriënten : beschikbaarheid vermindert uitgezonderd voor Molybdeen.

Maseki, 1991, pp. 79. tabel 12

Studiegebied : Twee profielen werden bemonsterd langsheen het transect in de Westhoek natuurreservaat. Profiel 1, ± 20 jaar gestabiliseerd, profiel 3, ± 40 jaar gestabiliseerd.

Methode : pH H₂O, 1:1, pH KCl, 1:1

Voor P1 varieert de pH tussen 8.01 en 8.82, dit is hoog tot zeer hoog; de horizonten met een pH > 8.5 worden alkalische bodems genoemd. Voor P3 is de pH iets lager, ze varieert tussen 6.85 en 8.20. In beide profielen is de pH nabij het oppervlak het laagst en neemt ze toe met de diepte; dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het vrijkomen van organische zuren gedurende de humificatie van het organisch materiaal. De tabel vertoont verder de evolutie van pH in tijd, die niet significant verandert (*test*)(Wild, pp. 845-846 vindt voor kalkrijke gronden wel een verandering in pH met tijd) zodat hier de oplossing van schelpfragmenten binnen een tijdspanne van 48 uur niet significant bijdraagt tot een verandering van pH.

Tabel 12: pH-metingen voor P1 en P3 in de Westhoek natuurreservaat (MASEKI, 1991).

Profile	Horizon and depth	pH H2O 1:1				pH KCl 1:1			
		1hr	4hrs	24hrs	48hrs	1hr	16hrs	17hrs	48hrs
P3North	1	7.00	7.00	6.96	6.93	6.44	6.49	6.67	6.44
	2cm								
P3North	2	6.85	7.06	7.23	7.11	6.25	6.78	6.94	7.07
	8cm								
P3North	3	7.71	7.71	7.75	7.51	6.79	7.03	7.17	7.23
	22cm								
P3North	4	8.14	8.14	8.09	7.77	7.30	7.65	7.75	7.80
	39cm								
P3North	5	8.20	8.25	8.15	7.78	7.50	7.80	7.89	7.86
	67cm								
P1Ridge	1	8.03	8.01	7.63	7.57	7.20	7.52	7.51	7.31
	6cm								
P1Ridge	3	8.61	8.63	8.00	7.82	8.11	7.95	7.96	7.92
	24cm								
P1Depr	3	8.25	8.17	7.69	7.62	7.71	7.60	7.61	7.58
	20cm								
P1Ridge	4	8.80	8.71	8.17	7.80	8.28	8.00	8.01	7.95
	44cm								
P1Ridge	6	8.82	8.66	8.23	7.86	8.43	8.03	8.02	7.97
	50cm								
P1Ridge	7	8.75	8.65	8.21	7.84	8.13	7.90	7.95	7.98
	64cm								
P1Depr	7	8.75	8.66	8.35	7.96	8.07	7.92	7.92	7.88
	70cm								
P1Ridge	9	8.77	8.68	8.34	8.03	8.04	7.88	7.94	7.92
	100cm								

Van Haesebroeck, 1994, tabel 7.

3 profielen werden bemonsterd in het centrale, venige gedeelte van het Hannecart bos.

pH H2O (1:2)

Voor de venige horizonten varieert de pH tussen 5.5 en 7.9; de zandige C horizont heeft pH waarden tussen 8.3 en 8.7. Profiel P2 toonde aan het oppervlak de laagst gemeten pH = 5.5. Dit profiel kende de laagste grondwaterstanden, zodat hier misschien het afbraakproces verder gevorderd was en meer humuszuren zijn vrijgekomen.

Kennislacunes :

- Bovenstaande gegevens zijn tot zover bekend de enige beschikbare pH gegevens voor de duinbodems van de Vlaamse kust.

Aanbevelingen voor verder onderzoek :

- Een systematische bemonstering en bepaling van pH langsheen de Belgische kust en dan vooral in de ontkalkte systemen.

2.2.3. Nutriënten

Klijn, 1981, pp. 142-148.

voedingsstoffen :

macro-nutriënten : H, C, O, N, P, K, Mg, S, Ca

micro-nutriënten : sporenelementen : Zn, Mb, Fe, Cu, B, Mn.

Willis & Yemm, 1961, pp. 377-390.

Studiegebied : Braunton Burrows, North Devon, Engeland.

Proeven met tomaten werden uitgevoerd op duinbodems in serres. Het gebruikte materiaal komt van een recente stuifkuil begroeid met *Ammophila*, van een duingrasland begroeid met *Festuca rubra* en *Tortula ruraliformis*, van een mosduinvegetatie met mossen en korstmossen.

Verschillende voedingsoplossingen werden toegevoegd aan de duinbodems. De experimenten toonden geen symptomen van deficiëntie door micro-elementen. Wat betreft N, P, K, was het duidelijk dat de tomatengroei beïnvloed werd door N en P, in mindere mate door K.

In een tweede experiment werd de originele bodem met vegetatie naar de serre overgebracht en verschillende voedingsoplossingen werden toegevoegd. Dit resulteerde in een toename van de hoogte en van het vers gewicht van de planten. Ook was er een grote verschuiving in het relatieve aandeel van de aanwezige plantensoorten. Zo begint *Carex flacca* te domineren na het toevoegen van enkel N, zodat het er op lijkt dat de P-vereiste voor deze plantensoort gering is. *Agrostis stolonifera*, *Poa pratensis* ssp. *subcaerulea* en *Festuca rubra* doen het heel goed na toevoegen van N en P, zodat de meeste andere plantensoorten verdrongen worden. Volgens Willis en Yemm is de povere groei van grassen in het studiegebied te wijten aan het tekort van N en P. De rol van konijnen bij het kort houden van de vegetatie zou een zeer geringe rol spelen (*contrasteert met de bevindingen van Heil et al. §3.2.1, 3.3.2. & 3.8.1.*).

Adriani & Terwindt (1974)

Maasvlakte, duinpioniers, + invloed door bemesting van N, P en K minder effect

In primair mineraalarme duinzanden of in uitgeloogde bodems, andere soorten dan pionierssoorten : geen gegevens

Barnes pp. 172

In een duingebied is er grote ruimtelijke variabiliteit in nutriënten (veroorzaakt bijv. door konijnen, aan- en afwezigheid van vegetatie (+ soort), relatie planten-eolische activiteit, microrelief : uitloging op de duinruggen, aanrijking in de pannen, ...).

Sommige planten kunnen met hun wortels de grondwatertafel bereiken die niet noodzakelijk dezelfde samenstelling heeft als de duinbodem; dit kan leiden tot een mozaïek van vegetatie met

ondiep wortelende planten die zuurminnend zijn en diep wortelende planten die baseminnend zijn.

Willis, 1963, pp. 353-374.

Studiegebied : Braunton Burrows, North Devon, Engeland.

Experiment waarbij verschillende voedingsoplossingen rechtstreeks op het terrein werden aangebracht op experimentele veldjes. Zes sites werden opgenomen in het experiment : 1) droog duingrasland met relictten van *Ammophila*, 2) droog duingrasland met *Festuca rubra*, 3) droog duingrasland met korstmossen, 4) een transect gaande van een droog duingrasland tot een natte panne vegetatie, 5) en 6) natte vegetaties. Opnieuw werd na het toevoegen van de voedingsoplossingen met vooral N en in iets mindere mate P een grote toename gevonden in de hoogte en het vers gewicht van de planten. Ook waren er duidelijke veranderingen in de floristische samenstelling van de vegetatie. In de drogere gebieden namen vooral *Festuca rubra* en *Poa pratensis* ssp. *subcaerulea* een grote uitbreiding ten koste van de mossen en korstmossen, in de natte gebieden werd *Agrostis stolonifera* dikwijls de dominant.

2.2.4. OC%

Organische koolstof (OC) wordt gebruikt om de hoeveelheid organisch materiaal te bepalen (Landon, 1991, pp. 139) ($OM = 1.724 \times OC$).

Maseki, pp. 78, 1991

Studiegebied : Westhoek natuurreservaat. Twee profielen werden bemonsterd langs een transect doorheen een pannesysteem gestabiliseerd tussen de 20 en 60 jaar. Profiel 1, ± 20 jaar gestabiliseerd, profiel 3, ± 40 jaar gestabiliseerd.

Methode : Walkley & Black (tabel 13) OC-gehalte.

Voor profiel 1 bedraagt het OC gehalte op 6 cm diepte 0.3%, wat zeer laag is, en wordt 0 vanaf 44 cm diepte. De cijfers voor profiel 3 zijn vergelijkbaar.

Tabel 13: Analyseresultaten voor P1 en P3 in de Westhoek
Natuurreservaat (MASEKI, 1991).

Profile	Horizon	Depth (cm)	C (%)	N (%)	C/N
P1	1R*	6	0.30	0.03	9
P1	2R	12	0.02	0.01	2
P1	3D*	24	0.34	0.02	17
P1	4R	44	0.00	-	-
P1	6R	50	0.00	-	-
P1	7R	64	0.14	-	-
P1	9D	100	0.00	-	-
P3	2N*	10	0.24	0.02	12
P3	2S*	10	0.11	-	-
P3	3N	22	0.14	0.02	7
P3	3S	24	0.12	0.02	6
P3	4N	39	0.04	-	-
P3	4S	32	0.00	-	-

* : R : ridge
D : depression
N : north
S : south

Van Haesebroeck, 1994, tabel 7.

Studiegebied : Hannecart bos

Drie profielen werden bemonsterd in het centrale, venige gedeelte van het Hannecart bos.

Methode : branden, bepaling van organisch materiaal **OM**-gehalte, resultaat werd omgezet naar OC-gehalte.

De 3 profielen vertonen in de venige horizonten een hoog gehalte aan OC variërend tussen 20.8 en 6.1. Volgens Landon (1991, pp. 140) is dit matig tot zeer hoog. Het OC gehalte in de venige horizonten daalt niet noodzakelijkerwijze met de diepte. De onderliggende zandige C horizont heeft een zeer laag gehalte van 0.3% tot 0.9%.

Boerboom, 1963, pp. 120-155.

Studiegebied : Wassenaar, Nederland.

Methode : gloeiverlies, OM-gehalte.

0.4% op eerste duinrug met Elymus en Ammophila;

0.8% op tweede duinrug met Hippophaë;

0.8% in mos- en korstmosbegroeiingen voor 0-6 cm diepte, 0.6% voor 6-15 cm diepte;

3.3% in duingrasland voor top horizont, 0.9% tot ± 25 cm diepte;

1.5% in duindoornstruweel voor 0-10 cm diepte, 0.6% voor 10-25 cm diepte;

4.0% in kruipwilgstruweel voor 0-8 cm diepte, 1.0% voor 8-23 cm diepte;

4.9% in droog berkenbos 0-15 cm diepte;

5.6% in nat berkenbos 0-15 cm diepte.

Ball & Williams, 1974.

Studiegebied : Holkham, Engeland

Methode : gloeiverlies, OM-gehalte.

0.2% Ammophila zeereep, 1 jaar gestabiliseerd;

0.5% aangeplante dennen, 30 jaar gestabiliseerd;

0.9% aangeplante dennen, 70 jaar gestabiliseerd;

1.9% gerooide dennen, strooisel van dennen, 100 jaar gestabiliseerd.

Gedurende de meetperiode van 100 jaar, is de gemiddelde jaarlijkse toename van OM gehalte

0.15%. Tussen 15 en 30 jaar van stabilisatie was er een licht afname in het OM-gehalte, wat in

verband gebracht werd met een gesloten Agrostis-kruiden gemeenschap.

Ampe, niet gepubliceerde gegevens.

Studiegebied : Hannecart bos

Zes profielen werden onderzocht buiten het venige gedeelte.

Methode : branden, OM-gehalte

Het gehalte aan OM bereikt waarden tussen 3.7 en 24.5% in de bovenste 10 cm; vanaf 10 cm diepte tot aan de C-horizont varieert het OM-gehalte tussen 0.6% en 3.8 %. In de C-horizonten werden OM-gehalten gemeten tussen 0.3 en 0.6%; waarschijnlijk zijn deze waarden voor de C-horizont niet te wijten aan het organisch materiaal maar aan andere omzettingen in het monster die gepaard gaan gewichtsverlies.

Kennislacunes :

- voor het Vlaamse duingebied zijn slechts enkele sites bemonsterd en geanalyseerd in de Westhoek en in het Hannecartbos.

Aanbevelingen voor verder onderzoek :

- Systematische bemonstering en analyse voor organische koolstof voor representatieve sites langs de Vlaamse kust;

- vergelijking van resultaten voor OC en OM bepaald door branden en door de Walkley & Black methode.

2.2.5. N%

Bronnen van N :

1. **Hassouna & Wareing** (in Barnes, pp. 171)(1964) veronderstelden dat stikstof fixatie door bacteriën een rol speelde in de voeding van *Ammophila* (zie verder Fay & Jeffrey, 1992 - weerleggen dit).

In veel duingebieden gebeurt stikstoffixatie door de wortelknolletjes op *Hippophaë* en *Alnus*. De aanrijking van N in de bodem onder deze vegetatie heeft voor gevolg dat indien deze vegetatie gekapt wordt, er een snelle verspreiding optreedt van *Urtica* en *Cirsium* dit ten koste van de soortenrijke gras- en kruidengemeenschap die in de eerste plaats beoogd werd.

2. aanvoer door de lucht (Allen et al., 1968 in Barnes, pp. 171) : de hoeveelheden moeten niet echt groot zijn maar kunnen een significant effect hebben in voedselarme milieus (zie verder § 3.3.2.).

De jaarlijkse input wordt geschat op 9-19 kg/ha. (waar?)

Barnes, pp. 174

Hippophaë bezit wortelnodules die atmosferische stikstof kunnen fixeren, daarvoor is deze plant grotendeels onafhankelijk van stikstof in de bodem

Willis & Yemm, 1961, pp. 377-390.

zie § 2.2.3.

Willis, 1963, pp. 353-373.

zie § 2.2.3.

Boerboom, 1963, pp. 120-155.

Studiegebied : Wassenaar, Nederland.

Methode : N-totaal

0.01% op eerste duinrug met *Elymus* en *Ammophila*;

0.02% op tweede duinrug met *Hippophaë*;

0.04% in mos- en korstmosbegroeiingen voor 0-6 cm diepte, 0.01% voor 6-15 cm diepte;

0.13% in duingrasland voor top horizont, 0.04% tot ± 25 cm diepte;

0.04% in duindoornstruweel voor 0-10 cm diepte, 0.02% voor 10-25 cm diepte;

0.15% in kruipwilgstruweel voor 0-8 cm diepte, 0.04% voor 8-23 cm diepte;

0.15% in droog berkenbos 0-15 cm diepte;

0.17% in nat berkenbos 0-15 cm diepte.

Maseki, pp. 78, 1991, tabel 13

Studiegebied : Twee profielen werden bemonsterd langsheen het transect in de Westhoek natuurreservaat. Profiel 1, ± 20 jaar gestabiliseerd, profiel 3, ± 40 jaar gestabiliseerd.

Methode : Kjeldahl

Voor beide profielen zijn N gehalten zeer laag : tussen de 0.01 en 0.03%.

Van Haesebroeck, 1994, tabel 7.

Studiegebied : 3 profielen werden bemonsterd in het centrale, venige gedeelte van het Hannecart bos.

Methode : micro-Kjeldahl. N gehalte werd bepaald op luchtdroge en natte monsters (veldconditie).

Voor de venige horizonten varieert het N gehalte (luchtdroog) tussen 0.4 en 1.5% wat volgens Landon (1991, pp. 138) matig tot zeer hoog is. Voor de onderliggende zandige C horizont is het N gehalte veel lager tussen 0.1 en 0.02 wat zeer laag is.

Het N-gehalte neemt niet af met de diepte uitgezonderd voor P3.

In de meeste gevallen is het N-gehalte van het natte monster hoger dan dat van het luchtdroge monster.

(effect van luchtdroog versus veldconditie?)

Klijn, 1981, pp. 142-148.

stuiwend of recent afgezet zand bevat vrij weinig N

gedurende bodemvormingsproces neemt het N-gehalte toe en vrijwel lineair met koolstofgehalte : in organische of humeuze lagen kan een aanzienlijke hoeveelheid stikstof opgeslagen liggen
verrijking door N : invloed atmosfeer : aanvoer nitraten en ammoniumverbindingen, luchtpollutie, opname N uit atmosfeer door stikstofbindende organismen zoals bacteriën die in symbiose leven met duindorn, els, gagel, vlinderbloemigen

verlies van N : opname door plant, denitrificatie, uitspoeling

Fay & Jeffrey, 1992, pp. 177-188.

Studiegebied : NO van North Bull Island, Dublin Bay, Ireland.

Een aantal sites werden geanalyseerd voor N; het gemiddeld gehalte voor N is voor alle monsters laag. De hoeveelheid N die vrijkomt door mineralisatie neemt toe vanaf het duinzand, het zand van de zeereep, vers opgewaaid zand tot intertidaal zand. Op de meeste sites wordt een belangrijk deel van de totale N gemakkelijk gemineraliseerd. De auteurs stellen dat de N-vereisten gemakkelijk voldaan worden door de mineralisatie van de organische N, aanwezig in het duinzand. De sterke groei van *Ammophila* in dynamische systemen moet dus niet verklaard worden aan de hand

van N-fixatie in de rhizosfeer van de plant.

Kennislacunes :

- Voor de Vlaamse kust zijn slechts sporadisch gegevens beschikbaar over het N-gehalte van de bodem.

Aanbevelingen voor verder onderzoek :

- Systematische bemonstering en analyse voor stikstof voor representatieve sites langsheen de Vlaamse kust.

2.2.6. C/N verhouding

geeft een indicatie voor het type organisch materiaal en de graad van humificatie (Landon, 1991, pp. 140)

Boerboom, 1963, pp. 120-155.

Studiegebied : Wassenaar, Nederland.

Boerboom heeft de verhouding 100N/humus uitgewerkt; omgerekend wordt dit voor de C/N verhouding ($OM = OC \times 1.724$) :

23 op eerste duinrug met *Elymus* en *Ammophila*;

23 op tweede duinrug met *Hippophae*;

12 in mos- en korstmosbegroeiingen voor 0-6 cm diepte, 35 voor 6-15 cm diepte;

15 in duingrasland voor top horizont, 13 tot ± 25 cm diepte;

22 in duindoornstruweel voor 0-10 cm diepte, 17 voor 10-25 cm diepte;

15 in kruipwilgstruweel voor 0-8 cm diepte, 15 voor 8-23 cm diepte;

19 in droog berkenbos 0-15 cm diepte;

19 in nat berkenbos 0-15 cm diepte.

Maseki, pp. 78, 1991.

Studiegebied : Twee profielen werden bemonsterd langsheen het transect in de Westhoek natuurreservaat. Profiel 1, ± 20 jaar gestabiliseerd, profiel 3, ± 40 jaar gestabiliseerd.

C/N verhouding is relatief goed (<10) uitgezonderd voor P1,3D. Daar de analyse gebaseerd is op slechts 1 monster is het misschien een eerder toevallig resultaat (zie tabel 13).

Van Haesebroeck, 1994, zie tabel 7.

Studiegebied : 3 profielen werden bemonsterd in het centrale, venige gedeelte van het Hannecart bos.

Voor de venige horizonten varieert de C/N verhouding tussen 21.5 en 7.6. Volgens Wild (1988,

pp. 567) toont een C/N verhouding van > 14 voor topsoil, dat de bodem veel gedeeltelijk verteerd plantenmateriaal bevat. Humus afbraak wordt vertraagd in zure (*hier niet het geval*) en anaerobe condities zoals slecht gedraineerde gronden (*hier wel het geval*). Verder neemt de C/N verhouding af met de diepte wat hier niet echt het geval is (Wild, 1988, pp.568). Voor de zandige C horizont is de C/N verhouding zeer laag voor P1, matig? voor P2 en P3.

2.2.7. P

Willis & Yemm, 1961, pp. 377-390.

zie § 2.2.3.

Willis, 1963, pp. 353-374.

zie § 2.2.3.

Klijn, 1981, pp. 146.

P is in duinzand nabij het strand relatief hoog. Het grootste deel ligt vast in slecht verweerbare anorganische verbindingen, zodat het percentage min of meer "vrij" voor de planten opneembaar fosfaat laag is.

Volgens sommige auteurs toename van fosforgehalte met toename organische stof; volgens Boerboom (1963) is er een afname van het fosforgehalte bij het ouder worden van de ecosystemen; ook voor de vroegere landbouwgronden werden geen bijzonder hoge P-cijfers gevonden.

Fosfaten worden gevonden in schelpen (Ca-fosfaat), of ook verbonden aan Fe en Al (amorf). Aanvoer vanuit de atmosfeer is relatief klein, het verlies door uitspoeling is ook relatief klein.

Atkinson, 1973, pp. 117-133.

Studiegebied : Ross, Northumberland.

Het gehalte aan anorganische P was in deze bodems zeer laag. Weefseltesten van vers bladmateriaal toonde aan dat de meeste plantensoorten een P- tekort hebben.

Toevoeging van fosfaatmeststoffen veroorzaakte een kleine toename in de bodem van de totale anorganische P. Het toevoegen van de fosfaatmeststoffen leidde tot een hoger gehalte aan P in het blad alhoewel het resultaat plantspecies afhankelijk is : *Carex arenaria* toonde een goede geleidelijke toename in P concentratie na de toevoeging van de meststof, *Hieracium pilosella* nam eerst sterk toe en bleef erna constant. De kleinste toename werd gevonden in *Achillea millefolium* en *Calluna vulgaris*, de hoogste toename in *Anthoxanthum odoratum*.

Kennislacunes :

- geen cijfergegevens beschikbaar voor het studiegebied

2.2.8. K

Klijn, 1981, pp.

aanvoer : neerslag, sea-spray

 verwering van kali-veldspaten

verrijking van de bodems met K naarmate ze ouder worden

uitspoeling : in diepere lagen van K niet gebonden aan humus

Allen et al. (1968, in Barnes, pp. 171) : aanvoer in regenwater : 2.8-5.4 kg/ha (waar?)

Willis & Yemm, 1961, pp.377-390.

zie § 2.2.3.

Willis, 1963, pp. 353-374.

zie § 2.2.3.

K zou niet limiterend zijn.

Kennislacunes :

- geen cijfergegevens beschikbaar voor het studiegebied.

2.2.9. Eutrofiëring

Koerselman, 1992, pp. 189-199.

kan veroorzaakt worden door :

- 1) artificiële hervulling van het grondwaterreservoir door geëutrofiëerd rivierwater;
- 2) verlaging van de grondwatertafel wat resulteert in een versnelde mineralisatie
- 3) atmosferische N depositie

Bemestingsproeven tonen aan dat in meeste ecosystemen, plantengroei gecontroleerd wordt door N of P. Indien bemestingsproeven ontbreken, kan het voedingsgehalte in de bovengrondse plantendelen een indicatie geven van de limiterende voedingsstoffen. Kritische waarden werden voor het al dan niet limiterend zijn van de voedingsstof, vastgelegd door De Wit et al.(1963). In deze publicatie wordt een snelle en eenvoudige methode voorgesteld om na te gaan welke

voedingsstoffen limiterend zijn aan de hand van de N/P verhouding. In oorspronkelijke duinvalleien is de N/P verhouding rond de 20, de vegetatie kan gelimiteerd worden door P of N, of meer waarschijnlijk door beide elementen. Deze situatie bestendigt een zekere stabiliteit : jaarlijkse variatie in beschikbaarheid van ofwel N of P veroorzaakt weinig verandering in biomassa productie. Sites die beïnvloed worden door kunstmatige hervulling met rivierwater zijn ofwel sterk gelimiteerd door N of door P. Jaarlijkse fluctuaties in de biomassa productie volgt de aanvoer van de meest limiterende voedingsstof en kan dus grotere schommelingen met zich meebrengen.

Natte duinvalleien die gevoed worden door regenwater of grondwater, en onderhevig zijn aan atmosferische pollutie door N, zal leiden naar een systeem met een P limitatie.

Natte duinvalleien, waar grondwaterwinning een verlaging van de grondwaterstand veroorzaakt, zal meest waarschijnlijk ook door P gelimiteerd worden.

Voorgestelde methoden om nutriëntentoevoer te verminderen zijn voor N, het behouden van hoge grondwaterstanden om de mineralizatie van de bodem te vertragen. Ook kan men overgaan tot maaien met verwijdering van het maaisel. Indien de N voorraad heel hoog blijkt te zijn, moet het verwijderen van de top horizont overwogen worden.

Voor P wordt maaien voorgesteld. Kennis van de biochemische cyclus is noodzakelijk daar de ortho-P beschikbaarheid sterk gecontroleerd wordt door de chemisorptie van Ca- en Fe-hydroxiden, zodat hydrologische maatregelen, waarbij grondwater rijk aan Fe en Ca de P vastlegt.

Kennislacunes :

- Veranderingen in de samenstelling van de vegetatie na eutrofiëring van duin pannen en duininfiltratieplassen zijn gekend in Nederland (grote toename van nitrofiële plantenspecies); veranderingen in de bodemkenmerken, in de snelheid van mineralizatie van organische horizonten, echter niet.

Aanbevelingen voor verder onderzoek :

- bemestingsproeven waarbij verschillende nutriënten getest worden zoals N, P, K.
- Analyses van bodemonsters voor N en P, genomen in functie van plantensoort, rekening houdend met de ruimtelijke variabiliteit binnen eenzelfde bemonsteringsplaats.
- Monitoring van de externe toevoer van nutriënten.

2.3. BIOLOGISCHE KENMERKEN (zie ook § 3.8.)

2.3.1. Fauna

Depuydt 1967, pp. 55

Konijnen : plantengroei sterft dikwijls af in de omgeving van konijnepijpen veroorzaakt door konijnevraat.

Vermoortel 1990, Ampe, 1991, Maseki, 1991

sporadische observaties van fauna

Van Haesebroeck, 1994

3 profielen werden bemonsterd in het centrale, venige gedeelte van het Hannecart bos.
observatie van regenworm, rups en slakje - niet gekwantificeerd.

Kennislacunes :

- er bestaan quasi geen gegevens vanuit bodemkundige hoek

2.4. SAMENVATTING

2.4.1. Fysische bodemkenmerken

De studie van Depuydt (1966, 1967, 1972) geeft een goed overzicht van de korrelgrootte van het strand- en duinsediment langs de Vlaamse kust. Voor het strandzand ligt de gemiddelde korrelgrootte tussen 175 en 305 μ , het is goed gesorteerd. De Westkust heeft gemiddelde korrelgroottes kleiner dan 208 μ , terwijl vanaf Oostende tot aan de Belgisch-Nederlandse grens de gemiddelde korrelgrootte langzaam oploopt tot groter dan 295 μ . De gemiddelde korrelgrootte van het duinzand is iets lager dan voor het strandzand. Ook het duinzand is goed gesorteerd. De grofste duinsedimenten worden teruggevonden vanaf Knokke tot aan de Belgisch-Nederlandse grens (> 295 μ).

Voor het natuurreservaat de Westhoek bestaat een detailstudie : de noordergordel heeft een gemiddelde moduswaarde tussen 175 en 195 μ , in de zuidelijke gordel bedraagt deze waarde tussen 205 en 215 μ . De duingordel van Ghijvelde-Adinkerke heeft iets fijner zand met een gemiddelde moduswaarde van 180 μ voor de korrelgrootte.

De dikte van de biologisch actieve laag werd bepaald door middel van :

- 1) penetrograaf : meten van de penetratieweerstand;
- 2) visteerijzer (penetration rod - een relatieve bepaling van de penetratieweerstand);
- 3) worteldiepte op een verticale wand.

In de jonge systemen van de Westhoek worden penetratieweerstande van meer dan 500 N/cm² gemeten vanaf een diepte van 20 - 30 cm (Baes, 1989; Vermoortel, 1990). In een iets langer gestabiliseerd systeem onders struweel varieert de dikte van de biologisch actieve laag tussen 16 en 56 cm diepte. Op de ruggen is de biologisch actieve laag iets dikker (41-56 cm) dan in de depressies (16-35 cm). De opbouwgeschiedenis van het duin (meegroeien van de vegetatie) of de grotere biologische activiteit van de konijnen kunnen de diepere biologisch actieve laag veroorzaken op de duinruggen.

In het Hannecartbos is voor de profielen gesitueerd in het venige gedeelte van het bos, de beworteling beperkt tot het venige deel van het profiel (Van Haesebroeck, 1994). Voor de andere profielen van het bos is de biologisch actieve laag beperkt tot 30 à 48 cm diepte. Deze biologisch actieve laag komt overeen met de bodem die vroeger omgespit is geweest.

Op slechts één site, namelijk op een kleine duinrug is er iets diepere beworteling : ook hier zal de opbouwgeschiedenis een rol gespeeld hebben.

De beschikbare cijfergegevens van het schijnbaar soortelijk gewicht (SSG)(Baes, 1989; Vermoortel, 1990, Ampe, 1991, Maseki, 1991) voor de biologisch actieve en niet actieve laag zijn sterk gelijklopend in de Westhoek en het niet venige gedeelte van het Hannecart bos. Voor de Westhoek was de gemiddelde SSG voor 121 monsters van de biologisch actieve laag 1.50 g/cm³, voor de geconsolideerde C-horizont was het gemiddelde SSG (436 monsters) 1.56 g/cm³ (Ampe

& Langohr, 1993). De venige horizonten in het Hannecart bos hebben een zeer lage SSG met waarden tussen de 0.38 en 0.72 g/cm³. de onderliggende zandige C-horizont heeft een SSG tussen de 1.41 en 1.56 g/cm³.

Het watergehalte in de duinbodems kan zeer uiteenlopende waarden bereiken : van 0 volume% (volledig droog) tot 54 volume% (cijfer afhankelijk van de porositeit)(volledig verzadigd)(Baes, 1989; Ampe, 1991). De capillaire stijgingshoogte bereikt in de duinzanden ongeveer 40 cm (Michiels, 1988; Ampe, 1991; Maseki, 1991).

In het venige gebied in het Hannecart bos bereikt het watergehalte waarden tot 80 volume%, gezien de hoge porositeit van de bodem en de nabijheid van de grondwatertafel (Van Haesebroeck, 1994).

Het beschrijven van humusprofielen werd tot nu toe nog niet uitgevoerd op duinbodems van de Vlaamse kust. Twee systemen worden voorgesteld voor het beschrijven van humusprofielen : het systeem van Klinka et al. (1981) en het systeem van Delecour (1980). Eerstgenoemde wordt regelmatig vermeld in de Nederlandse literatuur. Verder onderzoek moet uitwijzen welke van de twee systemen het beste bruikbaar is in duingebieden.

2.4.2. Chemische bodemkenmerken

Een groot aantal kalkgehalte bepalingen werden uitgevoerd door Depuydt (1966,1972). In grove trekken neemt het kalkgehalte langsheen de kust af van W naar O. Een detailstudie voor de Westhoek toont aan dat het kalkgehalte van het strandzand hoger is dan voor het duinzand. In de duinengordel zelf is het kalkgehalte het hoogst in de noordergordel met waarden van 6 tot 8% . In de zuidelijke gordel is het kalkgehalte veelal beneden de 4%. In de duinengordel van Ghijvelde-Adinkerke ligt het kalkgehalte beneden de 2%.

PH gegevens zijn voor de Vlaamse kust schaars. Slechts enkele metingen werden uitgevoerd in de Westhoek en in het venige gedeelte van het Hannecart bos. In iets een langer gestabiliseerd systeem onder struweel is in één profiel de pH nabij het oppervlak 6.85, met de diepte nam de pH toe tot 8.2. In een ander nabijgelegen profiel bedroeg de pH vanaf het oppervlak boven de 8.0 (Maseki, 1991). In het venige gedeelte van het Hannecart bos (Van Haesebroeck, 1994) werden pH-waarden van rond de 5.5 gemeten nabij het oppervlak. Met de diepte nam de pH toe, en onder de venige horizonten ligt de kalkrijke zandige C-horizont met pH-waarden tussen 8.3 en 8.7.

Het cijfermateriaal voor organische koolstof voor het studiegebied is schaars. Een aantal analyses werden uitgevoerd in de Westhoek en in het Hannecart bos. De Geanalyseerde profielen in de Westhoek vertonen een zeer laag gehalte (0.3% en minder) aan organische koolstof (Maseki, 1991). Het venige gedeelte in het Hannecart bos vertoont een zeer hoog gehalte aan OC

en ligt tussen de 20.1 en 6.8%. De onderliggende zandige C horizont heeft terug zeer lage waarden (Van Haesebroeck, 1994). In de andere onderzochte profielen van het Hannecart bos is het gehalte aan organisch materiaal matig hoog : tussen 3.7 en 24.5% (=2.1 en 14.2% OC)(Ampe, niet gepubliceerde gegevens).

Bemestingsproeven werden tot zover bekend niet uitgevoerd op duinbodems van de Vlaamse kust. Willis & Yemm (1961) en Willis (1963) voerden experimenten uit in Noord-Devon, Engeland en kwamen tot de conclusie dat vooral N en P limiterende factoren zijn in duinecosystemen, K is van veel minder belang. De verschillende sporenelementen zijn niet limiterend.

Slechts enkele analyses werden uitgevoerd voor N. In de Westhoek waren de gevonden N-gehalten zeer laag (Maseki, 1991). In het venige gedeelte van het Hannecart bos zijn gevonden waarden zeer hoog (Van Haesebroeck, 1994).

Voor P en K werden tot zover bekend geen enkele meting uitgevoerd in het studiegebied.

2.4.3. Besluit

Bovenstaand literatuuroverzicht heeft duidelijk aangetoond dat zeer weinig gegevens betreffende bodemkenmerken voor de Vlaamse kust beschikbaar zijn. De studie van Depuydt (1966, 1972) geeft enkel een overzicht voor gemiddelde korrelgrootte en CaCO₃ langsheen de Vlaamse kust. Het bodemkundig onderzoek, uitgevoerd door de Vakgroep Geologie en Bodemkunde, Eenheid Bodemkunde, heeft zich tot nu toe beperkt tot de jongere systemen in het Natuurreservaat de Westhoek en in het Hannecart bos. Hierbij zijn een aantal profielen vrij volledig onderzocht (25) en geanalyseerd (5). De aandacht van het onderzoek ging in de eerste plaats meer naar de fysische bodemkenmerken, slechts op de tweede plaats kwamen chemische kenmerken aan bod.

3. PROCESSEN EN BODEMEVOLUTIE : OVERZICHT, KENNISLACUNES EN AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK

Een samenvatting van dit hoofdstuk wordt voorgesteld onder § 3.9.

De belangrijkste bodemvormende factoren in een duingebied zijn relief en vegetatie (**Jungerius, 1990, pp. 155-162**)(*en fauna?*).

De duintopografie beïnvloedt op veel manieren de bodemvorming:

- duinvormen controleren de windregimes en hierbij erosie en sedimentatie;
- watererosie is afhankelijk van expositie en helling;
- microklimaat (N versus Z helling);
- vegetatie en fauna (N versus Z helling);
- grondwaterniveau.

De topografie beïnvloedt de geomorfologische dynamiek zodat de bodemprofielen (tabel 14) beter ontwikkeld zijn op landschapsposities met afnemende hellingshoek, en met afnemende hoogte .

	n	S1	S2	S3	O1	O2	O3	H1	H2	H3
AC or C horizon at surface	15	40	13	47	7	27	66	13	47	40
buried A horizon in profile	21	76	14	10	38	42	20	52	24	24
solum > 20 cm thick	64	61	23	16	35	26	39	41	42	17
organic horizon at surface	23	74	13	13	52	13	35	61	30	9
B horizon present	19	74	26	0	63	16	21	53	47	0

S = Slope angle: S1 0-5°; S2 5-15°; S3 >15°
O = Orientation: O1 none; O2 315-135° (NE); O3 135-315° (SE)
H = Height: H1 0-5 m; H2 5-15 m; H3 >15 m

Tab. 14: *The relationship between topographic variables and soil profile properties in the dune north of Haarlem (from DUIJN 1988). Frequencies are shown in horizontal percentage per group of topographic variables.*

De vegetatie levert organisch materiaal (OM) aan de bodem, maar de actuele hoeveelheid is afhankelijk van de balans tussen de hoeveelheid biomassa geproduceerd en de afbraaksnelheid van het OM. Limiterende factoren voor deze processen zijn : tekort aan zuurstof, lage temperatuur, lage pH (*althoewel zure mull bestaat*).

De studie van de relaties tussen vegetatie en bodem is complex: op eenzelfde bodemtype kunnen verschillende plantensoorten voorkomen met verschillende edafische behoeften.

3.1. BODEMVORMENDE PROCESSEN

Jungerius, 1990, pp. 155-162

Twee groepen processen zijn belangrijk in de bodemvorming in de duinen :

- 1) geomorfologische processen : vormen het onstabiele element in de landschapsontwikkeling en veroorzaken een verjonging van het profiel;
- 2) biologische processen (hier is vooral bedoeld de vegetatieontwikkeling) : brengen stabilisatie van het duin met zich mee en de ontwikkeling van bodemprofielen (*turbatie door fauna activiteit zoals konijn,..?*).

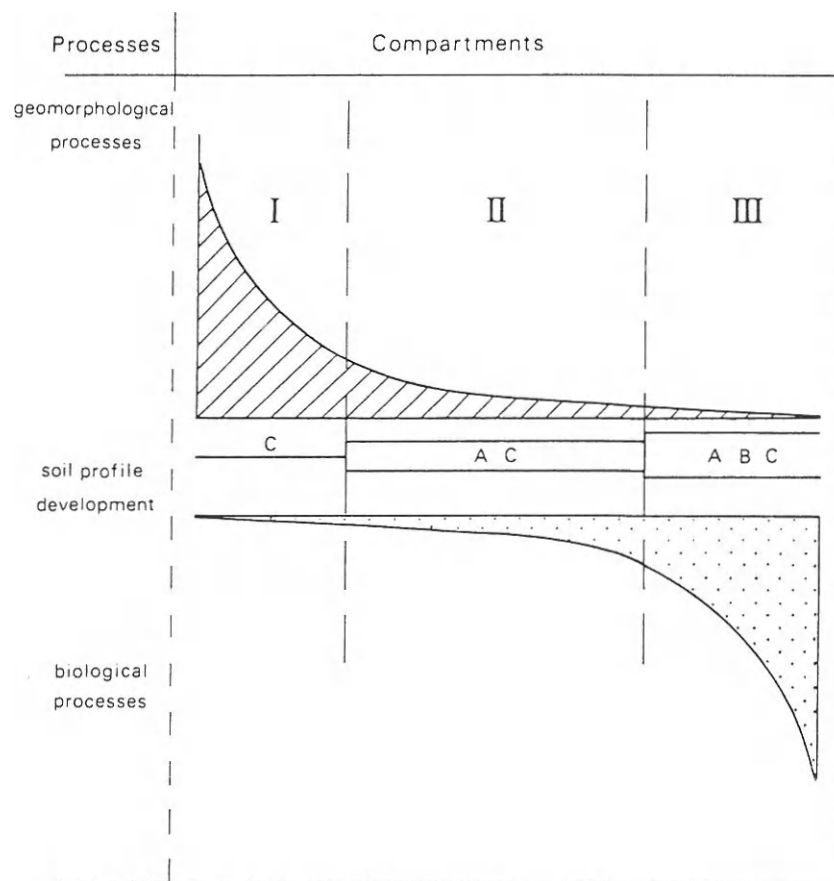


Fig. 9: Schematic representation of the dune ecosystem (from: Jungerius and Van der Meulen, 1988)

Afhankelijk van de balans tussen deze twee processen kunnen 3 situaties in een duinlandschap onderscheiden worden (fig. 9):

1. geomorfologische processen hebben de overhand, vegetatieontwikkeling is gering :
- geen organische of A horizonen;

- grote aanvoer van NaCl door sea-spray;
- meestal enkel pioniervegetatie : *Ammophila*, *Carex*, *Elymus* (= gele duinen).

2. geomorfologische en biologische processen komen voor, de intensiteit van elk varieert sterk, zowel in ruimte als in tijd. Dit leidt tot een sterke afwisseling van volledig gestabiliseerde en volledig naakte bodems (= grijze duinen).

- op stabiele bodems kan een B horizont voorkomen;
- waar erosie een actief proces is, komen getrunceerde bodems voor; aan de voet van de helling hebben de bodemprofielen dikke A1 horizonten door geleidelijke accumulatie met zand of werd de bodem bedolven door snelle accumulatie.

3. biologische processen hebben de overhand :

de volledige bodem is gestabiliseerd; de vegetatie is gekenmerkt door loofbomen zoals *Quercus*, *Betula*, *Populus* (= bruine bodems *op lange termijn*).

Bij aanplanting van coniferen vertoont het bodemprofiel een dikke organische horizont van het mor type, en een min of meer ontwikkelde micropodzol, weinig nutriënten, lage pH.

Humusafbraak is traag en bioturbatie is minimaal.

Onder loofbos is de afbraak van het OM sneller, de organische horizonten zijn minder dik met een lagere C/N verhouding, de begrenzing tussen de O en A horizonten is geleidelijker. De organische horizont is van het mull type. Bioturbatie is veel belangrijker, de A horizont is dikker.

Binnen elke groep kan een catena voorkomen met eventueel de kenmerken van een andere groep, bijvoorbeeld binnen de grijze duinen kan op de duinrug een actieve stuifkuil voorkomen waar geel zand aan de oppervlakte komt (groep 1) en aan de voet van de duinrug kan een dicht begroeid bosje voorkomen (groep 3).

McBride & Wilson, 1991, pp. 367-378.

Met toenemende ouderdom, vertonen duinbodems een toename in organisch materiaal, een afname in CaCO_3 -gehalte en een afname in pH. De snelheid waarmee deze veranderingen gepaard gaan is afhankelijk van het oorspronkelijke gehalte aan CaCO_3 , de diepte van de grondwatertafel, de natuur van de vegetatie successie en variaties in de lokale klimatologische parameters, voornamelijk de effectieve neerslag.

3.1.1. Productie en alteratie van organisch materiaal

Klijn, 1981, pp. 130-132.

Het belang van OM ligt in de vocht- en voedingsvoorziening.

De processen in de productie en alteratie van OM zijn : aanvoer van organische stof en omzetting ervan door humificatie en mineralisatie. Verder kan accumulatie van OM optreden.

De aanvoer van organische stof bestaat uit afgestorven plantendelen, in mindere mate van de

macrofauna (*aanvoer door meso- en microfauna?*):

- * hoeveelheid aanvoer OM is afhankelijk van de productiviteit van het ecosysteem;
- * weinig is bekend voor duinecosystemen omtrent de jaarlijkse productie van dode organische stof; wel bestaan er grote verschillen in produktiviteit als gevolg van verschillen in vocht- en voedingstoffentoestand; bijv. lage productie van korstmosvegetaties, vegetaties in vochtige valleien hebben grote productie (*geen cijfergegevens voor duinecosystemen worden voorgesteld*).

Omzetting van de organische stof :

Humificatie : omzetting van organisch materiaal tot complexe organische verbindingen zoals onoplosbare humine, zwak zure en in geringe mate oplosbare humus- en fulvozuren

Mineralisatie : opneembare anorganische verbindingen, vorming van H_2CO_3 , HNO_3 , H_2SO_4 , H_3PO_4

- * optimale condities voor biologische afbraak : hoge pH, aërobe condities met een goede gasuitwisseling, hoge vochtigheidsgraad, vrij hoge bodemtemperatuur ($30^\circ C$), lage C/N;
- * samenstelling van de organische stof : $C/N > 30$: moeilijke afbraak;
- * voor duinen vormen zowel zure als natte condities de belangrijkste belemmeringen voor een snelle biologische afbraak;
- * weinig gegevens kwantitatief naar de verhouding tussen aanvoer en omzetting; grote variaties in organische stofhuishouding door de sterk variabele vochtsituatie en pH-verschillen.

Voorbeelden :

droog : lage productie, hoge omzetting

droog en zuur : lage productie en lage omzetting

zeer nat : matige productie, lage omzetting (veenachtig)

matig vochtig, zwak zuur tot zwak alkalisch : hoge productie en snelle omzetting

Geen cijfergegevens worden voorgesteld.

Accumulatie van OM :

- * accumulatie vooral in de bovenste 1-2 dm, op grotere diepte nauwelijks aanrijking waarneembaar;
- * dikkere accumulatie van OM te vinden bij agrarisch landgebruik, langdurig lichte overstuiving, hellingsprocessen.

Ampe, pp. 90-124, 1991; Ampe & Langohr, pp. 37-55, 1993.

Studiegebied : Westhoek natuurreservaat, topo-chronosequentie in centrale noordelijke panne.

Doelstelling : analyse van de structuur van de O1, O2, A11, A12 en Bbi langs de topo-chronosequentie in duinvallei met secundaire duinruggen (tabel 4).

Voor het strooisel is er geen toename naargelang het systeem ouder wordt, voor het humus en wortelgehalte is er een lichte toename met stijgende ouderdom.

Variatie in strooisel en humusgehalte is belangrijker langs de topo-hydrosequenties dan langs de chronosequentie. Op de secundaire duinruggen is de hoeveelheid strooisel lager

tegenover hoeveelheid strooisel in de depressies. Ook het humusgehalte kan in verband gebracht worden met de topografie : hoogste waarden werden gevonden in de depressies en op de voormalige begraasde systemen, laagste waarden op de secundaire duinruggen.

Kennislacunes :

- geen informatie omtrent biomassa van verschillende duinvegetatietypes;
- geen informatie omtrent jaarlijkse productie van dode organische stof;
- geen informatie omtrent aanvoer en omzetting van organische stof, snelheid afbraak enz.

Aanbevelingen voor verder onderzoek :

- onderzoek naar kwantificatie van de jaarlijkse productie van OM, snelheid van afbraak van OM, in functie van vegetatietypes en landschapspositie.

3.1.2. Uitloging

Klijn, 1981, pp. 132

- "uitspoeling" van zout uit recent afgezet sediment, recent van de zee afgesloten terreindelen of van sea-spray (zie §3.3.1)
- uitspoelen van CaCO_3 : ontkalking
- uitspoelen van sesquioxiden en humus : "podzolering" (zie §3.1.3.)
- uitspoelen van Fe en Mn door reductie en laterale en/of verticale waterbewegingen (zie §3.1.4.).

a. van de kalk

Boerboom, 1963, pp. 132-133.

Er is een verband tussen de diepte van ontkalking en de bewortelingsdiepte van de plant. Indien de kalk uit de bovenste 7 cm verdwenen is, zijn niet alleen de basifiele en een goed deel van de neutrofiele cryptogamen verdwenen, maar evenzeer enige zeer ondiep wortelende fanerogamen.

Bij een diepere ontkalking en verdere daling van de pH neemt het aandeel van acidofielen toe, totdat fakkkelgras, waarvan de wortels tot 50 cm diep reiken, de enige nog aanwezige kalkminnende soort is.

Klijn, 1981, pp. 133-138

Ontkalking is een proces dat vanwege de richting van het percolerende regenwater en de herkomst van de H^+ -ionen in de bovenste lagen plaatsvindt.

Regenwater is van nature uit lichtjes zuur door $\text{H}_2\text{O} (\text{g}) + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$.

Verdere beïnvloeding van de pH van het percolerend water wordt bepaald door :

- a. luchtverontreiniging : SO_2 , NO_x . Deze stoffen vormen in regenwater relatief sterke zuren H_2SO_4 en HNO_3
- b. H_2CO_3 door oplossing van in de bodem gevormde CO_2
- c. humificatie en mineralisatie : vrijkomen van zuren : HNO_3 , humus- of fulvozuren.

Factor a is $\pm$ homogeen voor het gehele duingebied, factor b en c zijn sterk afhankelijk van lokale factoren.

Neutralisatie van de H^+ -ionen treedt op bij kalkgehalten boven de $> 0.3\%$. Indien het kalkgehalte beneden 0.3% bedraagt, treedt een scherpe daling in pH op; het ontkalkingsfront is scherp afgebakend mits de kalk in voldoende fijn verdeelde toestand voorkomt (*en indien geen bioturbatie optreedt*).

Ontkalkingsproces in de tijd :

Gegevens met betrekking tot ontkalkingssnelheid van duinbodems zijn schaars. Problemen rijzen bij :

1. de analysegegevens van kalk;
2. het schatten van de werkelijke ouderdom van de duinbodem.

Het kalkverlies wordt berekend door theoretische gegevens van zandgronden onder cultuur te relateren aan profielgegevens uit enkele duingebieden met min of meer bekende ouderdom.

Een aantal beperkingen worden vooropgesteld zoals : een bodem met een volumegewicht van 1.34 kg/dm^3 , gewichtsprocent van 1% voor CaCO_3 , optimale percolatie en een gesloten, goed ontwikkeld vegetatiedek, neerslagoverschot = 350 mm/jaar , Ca^{2+} -ionenaanvoer uit de atmosfeer wordt buiten beschouwing gelaten, OM is 1% , C/N is 15 . CO_2 -spanning in de bodem wordt op $5 \cdot 10^{-3} \text{ atm}$ gesteld. Dit geeft een verlies van 45 g/dm^3 en voor een gewichtspercentage van CaCO_3 van 1 , een ontkalkingssnelheid van 3.5 dm/eeuw . Deze waarde is een theoretische benadering omdat wordt uitgegaan van een totale ontkalking van deze laag en van gelijkblijvende condities van pH, humusgehalte, enz.

Andere auteurs vinden op landbouwgronden op zand ontkalkingssnelheden van 9.7 dm/eeuw en 2.7 dm/eeuw , afhankelijk van de oorspronkelijke pH van de bodem.

Ranwell (1972) : duinen met een initiële hoeveelheid van 5% zullen, in gematigde klimaten, vrij calcium carbonaat verliezen in de bovenste 10 cm in ongeveer 300 jaar.

(in Barnes, ed., pp. 164)(*waar juist, hoeveel is de neerslag, en de evapotranspiratie?*)

Ten Harkel, 1992, pp. 223.

zie § 3.1.2.b.

Kennislacunes :

- Voor de Vlaamse kust zijn voor het kalkgehalte van het duin- en strandzand enkel de

cijfergegevens van F. Depuydt voorhanden (zie § 2.2.1.).

- Er bestaan geen gegevens over de ontkalkingsdiepte en ontkalkingssnelheid.

Aanbevelingen voor verder onderzoek :

- gedetailleerde bepalingen van kalkgehalte in representatieve bodemprofielen, waarvan de ouderdom minstens bij benadering kan bepaald worden, (elke cm en met voldoende herhalingen) geselecteerd in functie van vegetatie en bodemgebruik karakteristieken. Bepalingen moeten langsheen de Vlaamse kust, en langsheen transecten dwars op de kust gebeuren.

b. andere voedingsstoffen

Klijn, 1981, pp. 138.

* uitspoeling van Ca^{2+} en Mg^{2+} ,

Ten Harkel, 1992, pp. 92-95.

Studiegebied : Meijndel, Nederland.

Doelstelling is een stoffenbalans op te stellen voor de verschillende duinvegetatietypen. Deze stoffenbalans bestaat uit een hydrologische-, een chemische- en een zandbalans. De drie balansen beschrijven de grootte en richting van de fluxen van water, chemische componenten en zand.

Analysen van het bodemwater omvatten pH, alkaliniteit, elektrische conductiviteit, ionenbalans, chloride, sulfaat, Na, K, Ca, Mg, ammonium, nitraat en orthofosfaat en kunnen na vergelijking met de input (direct geïnfiltreerd regenwater en indirect geïnfiltreerd regenwater, na oppervlakkige afstroming) een idee geven van de uitloging.

Analyseperiode liep van februari 1990 tot en met december 1990. Een vergelijking van de samenstelling van het bodemwater met deze van het regenwater en van de oppervlakkige afvoer van het hellingwater toont in de bodem een hoge concentratie van de sea-spray ionen (Cl^- , Na^+ , SO_4^{2-}), K concentraties liggen tussen de waarden van het regenwater en de oppervlakkige afvoer; een gedeelte van het K is waarschijnlijk door de vegetatie opgenomen. Ca en Mg zijn het hoogst in het bodemwater door het oplossen van kalk in de bodem. Ook ammonium en nitraat concentraties zijn in het bodemwater het hoogst.

Kennislacunes :

- Enkel de gegevens van Ten Harkel (1992) werden teruggevonden voor Meijndel, Nederland. Het experiment loopt nu in een volgende fase maar er is nog geen rapport beschikbaar.

- Dit type onderzoek waarbij de samenstelling van regenwater, bodemwater en oppervlakkige afvloeï gedetailleerd gemeten wordt staat in een beginstadium in Nederland, voor de Vlaamse kust is ze onbestaande.

3.1.3. Podzolizatie

Klijn, 1981, pp. 138.

Na het ontkalkingsproces kan neerwaarts transport van stoffen zoals ijzer, aluminium en organische verbindingen optreden onder de vorm van chelatie complexen, wat kan leiden tot podzolvorming.

In Jonge Duin- en Strandafzettingen in Nederland heeft het podzolproces nog te kort geduurd om te kunnen leiden tot duidelijke podzolprofielen, in de Oude Duin- en Strandafzettingen werden wel goed ontwikkelde podzolbodems geobserveerd.

Depuydt, 1967, pp. 51-55, p. 78.**Studiegebied :** Westhoek natuurreserveaat

pp. 51-55. In het westelijk paraboolcomplex van de zuidelijke gordel in het natuurreserveaat werden fossiele bodemhorizonten aangetroffen op 140, 260 en 350 cm van het oppervlak.

Volgens Depuydt wijzen ze op een zekere podzolizatie (*of is het een gewone begraven A1 horizont?*) die niet steeds even duidelijk of intens is geweest. Door deflatie wordt het losse uitgeloopte zand van deze podzolbodems heel dikwijls volledig of gedeeltelijk weggeërodeerd. In het eerste geval wordt verwaaiing tegengegaan door de meer compacte humusrijke en ingeloopte horizont, die aldus soms een geskulpteerd uitzicht verkrijgt.

p. 78. Het paraboolduin verplaatst zich in oostelijke richting en bedekt de naburige pannebodem, waardoor de plantengroei stilaan verstikt. Bij het verderschuiven van de paraboolkern komt dit verstikte gebied weer vrij, alsook zijn "gevormde podzolachtige bodem" (?).

Er lijkt verwarring te zijn tussen de begrippen podzolbodem, podzolachtige bodem en fossiele bodem!

Wardenaar & Sevink, 1992, pp. 190-210.

Studiegebied : Wassenaar, Nederland

Onder aan aanplanting van *Pinus sylvestris* (1907) werd de ontwikkeling van een micropodzol waargenomen. De profielontwikkeling is gekenmerkt door een L-Faq-Hd-E-B-C horizontensequentie, met een mor-humustype als resultaat van een trage humusafbraak door de afwezigheid van bodemfauna.

Kennislacunes :

- Tot nu toe werden geen podzolprofielen beschreven op duinbodems langs de Vlaamse kust.

Aanbevelingen voor verder onderzoek :

- Een grondige bodemkartering zou moeten de aanwezigheid van podzolbodems in duinen aan het licht brengen. Het podzolizatieproces is waarschijnlijk waarneembaar in de langer gestabiliseerde systemen en beïnvloedt door het vegetatietype (coniferen). Verder onderzoek kan een morfologische, fysische en chemische bodemkarakterisatie omvatten.

3.1.4. Oxido-reductie

Boerboom, 1963, pp. 121

Studiegebied : Wassenaar, Nederland.

Gley-verschijnselen die soms in duinpannen aangetroffen worden, wijzen op een hogere grondwaterstand dan de huidige. Sedert midden vorige eeuw is het freatisch niveau in de duinen van Nederland sterk gedaald en is de gley van **fossiele** aard.

Klijn, 1981, pp. 138-140

Bodemprofielen van de natte of vochtige duinvalleien bezitten een permanent verzadigd en voortdurend anaëroob gedeelte. Deze horizont is licht- tot donkergrijs en vrij egaal van kleur, veroorzaakt door de grondkleur van het moedermateriaal. Boven de permanent gereduceerde horizont is de zone van het fluctuerend grondwater : het milieu is afwisselend oxiderend en reducerend: roestvlekken en grijze vlekken. De zone die permanent aëroob is vertoont geen grijze vlekken.

De intensiteit van de roestvlekken is afhankelijk van het oorspronkelijke gehalte aan ijzer, de ouderdom van het profiel, de diepte van het grondwaterniveau.

De bodems vertonen soms fossiele roestverschijnselen door (sub)-recente grondwaterstandsval.

Vermoortel, 1990, pp. 195-198.

Studiegebied : Westhoek natuurreservaat, transect doorheen jonge panne, gestabiliseerd tussen 1973 en 1988)

Vermoortel onderscheidt 3 types van roestvlekken :

1) wortelroest :

Wortelroest blijkt vooral geassocieerd te zijn met de verticale wortels van *Carex*. In de meeste van de profielen (6 onderzocht) komt wortelroest voor vanaf het oppervlak tot een humeuze laag op 80 cm diepte. Deze neerslag van ijzeroxiden wordt gevormd langsheen de wortelgangen van *Carex*, waar een hoog redox-potentiaal aanwezig is in de bodem : gedurende lage grondwaterstanden beweegt zuurstofrijk water preferentieel langsheen deze wortelgangen. Op verticale doorsnede zijn er verticale roestkleurige strepen te zien langsheen een wortel. Op een horizontale doorsnede zijn deze roestvlekken te zien als zeer duidelijke roestkleurige concentrische cirkels met in het centrum de wortel.

Deze wortelroest bleek niet voor te komen rond *Hippophaë* en graswortels.

2) U-type roestvlekken :

Deze roestvlekken werden vooral waargenomen op een horizontale sectie met orientatie N 3-8 W. Op verticale sectie ziet men deze roestvlekken als 2 evenwijdige vertikale roestkleurige lijnen. Het voorkomen van deze roestvlekken is afhankelijk van de positie van de sectie langsheen het transect en van de bodemdiepte : het noordelijk deel van het transect d.w.z. gesitueerd nabij een hoge paraboolarm vertoonde minder van deze U-type roestvlekken dan het zuidelijke deel van het transect. De vorming van deze roestvlekken is geassocieerd met een laterale grondwaterstroming gericht naar de natte panne. Door deze beweging krijgen de oorspronkelijke concentrische roestvlekken rond een levende wortel, na het afsterven van die wortel, een uitgerokken U-vormig uitzicht.

3) roestkleurige bodemmatrix :

Binnen de roestkleurige bodemmatrix komen de twee bovengenoemde roestvlekken voor. De bodemmatrix zelf heeft een gevlekt uitzicht en blijkt geassocieerd te zijn met de meer compacte horizonten, waar weinig levende en veel dode wortels in voorkomen.

Baes, 1989, pp. 91.

Studiegebied : Westhoek natuurreservaat, transect doorheen jonge panne, gestabiliseerd sedert ± 1974-1975.

Onderscheidt bovengenoemde types roestvlekken 1) en 2) van Vermoortel, 1990.

Maseki, 1991, pp. 31, 52, 75.

Studiegebied : Westhoek natuurreservaat, transect door panne, gestabiliseerd tussen de 25 tot 45 jaar geleden.

In de vier onderzochte profielen werden op de horizontale secties U-vormige roestvlekken werden geobserveerd op variërende diepte met een NW tot NO orientatie.

Kennislacunes :

- soms is het niet gemakkelijk een onderscheid te maken tussen de actieve en fossiele roestverschijnselen

Aanbevelingen voor verder onderzoek :

- onderzoek naar reductieomstandigheden bij hoge waterstanden;
- onderzoek naar Fe en Mn toxiciteit bij hoge waterstanden.

3.1.5. Hydrofobie en preferente waterstromen

Voor een literatuuroverzicht over waterafstotende gronden, raadpleeg : **L.F. DeBano, 1981. Water Repellent Soils : a state-of-the-art.**

In een groot deel van het Nederlandse duingebied werd waterafstoting opgemerkt, gemeten en beschreven :

duingebied van Voorne : Vos, 1984;

tussen Noordwijk en Zandvoort : van Wallenburg & Vos, 1989;

Meijndel : Witter, Jungerius & Ten Harkel, 1991; Jungerius & De Jong, 1989;

Ouddorp - Goedereede : Ritsema, Dekker, Hendrickx & Hamminga, 1993; Dekkers, Dekker & Van Holst, 1986; Bisdom, Dekker & Schoute, 1993; Dekker & Ritsema, 1994a; Ritsema & Dekker, 1994b;

Castricum : Brand, Mucher en Jungerius, 1989.

tussen Den Helder en IJmuiden : Dekker & Jungerius, 1990

Rutin, 1983, pp. 53.

Studiegebied : De Blik, Nederland.

Wit zand (OM = zeer laag) is niet waterafstotend;

Humeus zand (OM = tot 4%) is waterafstotend.

Gevolgen : door hydrofobie van de bodem - in afwezigheid van bioturbatie - neemt de run-off toe, soms leidend tot kleine mudflows. Na een regenbui met 12-18 mm neerslag op 14-8-1980, was op het witte zand het bevochtigheidsfront gedaald tot een diepte van 20 cm, op het humeuze zand was het water slechts maximaal 13 mm ingedrongen in de bodem.

Van Wallenburg & Vos, 1989, pp. 27.

Studiegebied : tussen Noordwijk en Zandvoort, Nederland.

De meeste duinzandgronden zijn in min of meerdere mate hydrofoob. Niet waterafstotende duinzandgronden bestaan uit kalkrijk duinzand met zeer weinig organisch materiaal in de bovengrond; ze komen voornamelijk voor in de zeereep. Zodra het organische-stofgehalte hoger wordt dan 0.8% wordt de bovengrond waterafstotend. De directe oorzaak van waterafstoting in duinzandgebied is nog niet volledig achterhaald, wel heeft het te maken met de organische stof en treedt het vooral op in de bovenste horizonten. In de literatuur wordt vaak melding gemaakt van schimmelwerking en productie van humuszuren bij de omzetting van verse organische stof.

Bisdom, Dekker & Schoute, 1993, pp. 105-118.

Studiegebied : Ouddorp, Nederland

Het voorkomen van waterafstoting wordt veroorzaakt door OM. Microaggregaten (<53µ) bestaande uit fijn OM en mineralen, veroorzaken reeds een hoge waterafstoting. Ook plantenfragmenten, al dan niet met een huidje van fijn bodemmateriaal, humushuidjes op

zandkorrels van stipjes en vlekjes en platte fragmentjes van OM tussen de zandkorrels veroorzaken waterafstoting. Verder kwamen bovenstaande auteurs tot de bevinding dat vers en gedeeltelijk afgebroken OM een hogere hydrofobie vertonen dan volledig gehumificeerde fragmenten.

Brand, Mucher & Jungerius, 1989, pp. 30-38.

Studiegebied : Castricum, Nederland

Er werd gezocht naar een verband tussen het vegetatietype, de onderscheiden bodemkundige eenheden, het humusgetal.

Binnen de profielen onder hoge kruiden en open kruidenvegetatie is een grote variatie van hydrofobie gevonden tussen de verschillende monsters. De mosvegetatie vertoont al zeer ondiep geen waterafstoting meer, laag struweel vertoont een opvallende hogere hydrofobie dan de andere vegetatietypes. Een trend lijkt zich af te tekenen waarbij de recent gestabiliseerde en gestabiliseerde profielen met verbleking en verbruining meer waterafstotend zijn nabij het oppervlak dan bijvoorbeeld de getrunceerde, recent overstoven en colluviale profielen. De totale hoeveelheid humus blijkt geen al te grote rol te spelen bij de hydrofobie. De WDPT (Water drop penetration time) wordt niet hoger bij een hoger organische stof gehalte van het profiel, maar de leeftijd van het organisch materiaal is belangrijk.

Dekker & Jungerius, 1990, pp. 173-183.

Studiegebied : duingebied tussen Den Helder en IJmuiden.

Doelstelling : onderzoek naar hydrofobie in duinbodems in functie van het vegetatietype, OM- en CaCO_3 gehalte.

- CaCO_3 gehalte : blijkt geen invloed te hebben op de hydrofobie (fig. 10);
 - vegetatietype : onderzochte vegetatietypes zijn *Ammophila arenaria*, *Corynephorus canescens*, *Calluna vulgaris* en *Empetrum nigrum*, *Hippophaë rhamnoides*. De bovenste 20 cm onder *Corynephorus*, *Calluna* en *Hippophaë* zijn sterk tot zeer sterk water afstotend. Lokaal kan de sterke tot zeer sterke waterafstoting tot 50 cm diep optreden onder de *Calluna* en de *Hippophaë*. De dikte van de waterafstotende laag onder de *Corynephorus* is over het algemeen iets minder. Onder de *Ammophila* is meer dan 50% van de bovenste horizonten niet waterafstotend (fig. 11);
 - invloed OM gehalte : met toenemende diepte neemt de waterafstoting af, waarschijnlijk te wijten aan een afname van het OM gehalte;
 - de ruimtelijke variabiliteit in waterafstoting is heel groot. Een voorbeeld : juli 1988, over een afstand van 5.5 m : de indringstijd van een waterdruppel, gemeten op een diepte van 45-50 cm, varieerde van minder dan 1 seconde tot meer dan 600 seconden.
- Gevolgen : vorming van preferente waterbanen, grote variabiliteit in vochtigheidstoestand van de bodem.



Fig. 10: Depth of calcareous sand and degree of water repellency at 0–5 cm depth and at 40–50 cm depth in dune sands north and south of Bergen.
(DEKKER & JUNGRIUS, 1990)

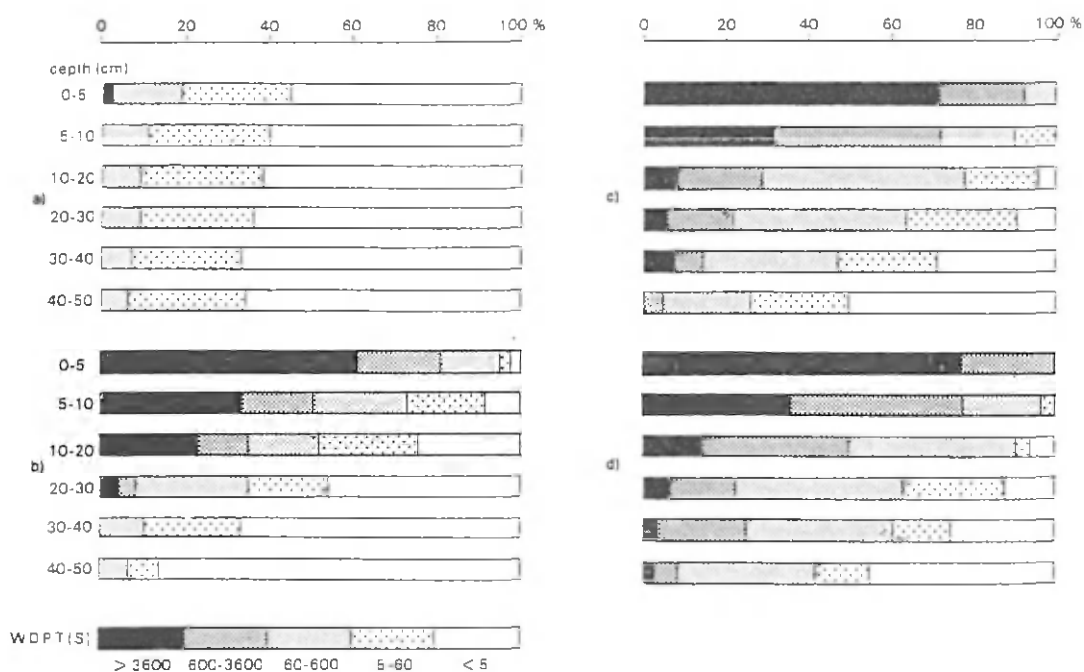


Fig. 11: Relative frequency of the WDPT of samples at six depths in dune sands with a vegetation of a) marram-grass, b) grey hair-grass, c) heather and d) hawthorn.
(DEKKER & JUNGRIUS, 1990).

Jungerius, 1994, , pp. 9-13.

Studiegebied : Meijndel, Nederland

Door hydrofoob zand, dringt het water niet in de bodem en loopt het langs de oppervlakte af en kan de helling eroderen. Rills gaan over in zandtongen, waarbij zand en organisch materiaal langs de helling vloeien en aan de voet van de helling worden afgezet. Hydrofobie heeft ook belangrijke geomorfologische gevolgen via de ecologie. Zaai van de hogere planten komt niet tot ontkieming, daardoor wordt de normale plantensuccessie onderbroken en blijven de zuidhellingen schaars met mos en algen bedekt en daarmee gevoelig voor erosie.

Dekker & Ritsema, 1994a , pp. 2507-2517.

Oorzaak hydrofobie :

- reeks hydrofobe organische substanties;
- hyphae van Fungi;
- humuszuren;
- ontbindend organisch materiaal of strooisel.

Gevolgen hydrofobie :

- lagere infiltratiesnelheid;
- bevochtigingsfront is onregelmatig en onvolledig;
- variatie in run-off afhankelijk van de initiële vochtigheidstoestand van de bodem;
- toename run-off en erosie, afname van ophoudingsvermogen;
- vorming van preferente waterstromen in de bodem : "tongen" en "vingers" : het water beweegt langs nauwe banen en de tussenliggende bodem blijft droog wat een grote variabiliteit in vochtigheidstoestand van de bodem veroorzaakt (zie ook Dekker & Ritsema, 1994b);
- water en opgeloste stoffen bewegen door deze preferente waterstromen en verkort de tijd om het grondwater te bereiken van opgeloste stoffen inclusief risico voor pollutie!
- een deel van het bodemvolume maakt geen deel uit van het transport van water en opgeloste stoffen; dit bodemgedeelte varieert in tijd en in ruimte!

Studiegebied : Ouddorp, kustduingebied, ZW-Nederland

zandige textuur, grasvegetatie

- potentiële waterafstoting is nauw verbonden met het gehalte aan organisch materiaal;
- er is geen significant verband tussen de aanhoudendheid van de potentiële waterafstoting en het gehalte aan organisch materiaal;
- de hoogste potentiële waterafstoting wordt gevonden in de top 5-10 cm;
- de hoogste aanhoudendheid van de potentiële waterafstoting wordt gevonden in de horizont op 25-30 cm diepte;
- kritisch watergehalte (= watergehalte waarbij bodem al dan niet waterafstotend wordt) werd bepaald en ligt tussen 1.75 en 4.75 vol %;
- variabiliteit van waterafstoting in tijd : april 1988, februari 1989 : bodem is volledig

bevochtigbaar, grootste waterafstotendheid werd genoteerd op mei, juni en augustus 1988.

Ritsema & Dekker, 1994b, pp. 2519-2531

Studiegebied : Ouddorp, kustduingebied, ZW-Nederland

Zandige textuur, grasvegetatie.

- het volume % water van de monsters vertoonde een grote ruimtelijke variabiliteit : het midden van het profiel was relatief droog vergeleken met de bovenste en de onderste lagen. De grootste variaties werden gevonden in de top laag;
- vertikaal georiënteerde "vingers" ontwikkelden zich tussen 21 juni en 12 juli. Deze "vingers" zijn nat bovenaan het profiel en worden droger met toenemende diepte;
- de ruimtelijke positie van de vingers wordt vastgelegd in de top horizont en groeien naar beneden toe;
- het profiel van 12 juli vertoont een verband tussen de graad van potentiële waterafstoting en het gemiddelde watergehalte van de monsters. Dit verband is het duidelijkst in de top horizont; de relatie wordt zwakker met toenemende diepte, zodat het water wel degelijk herverdeeld wordt in de bovenste horizont naar specifieke plaatsen waar "vingers" aanwezig zijn of zullen gevormd worden. Hieruit kan men besluiten dat de natste plaatsen d.w.z. beginpunten van de "vingers", de plaatsen met de geringste potentiële waterafstoting zijn. Vermits de graad van potentiële waterafstoting een min of meer constant gegeven is wil dit zeggen dat de "vingers" min of meer zullen optreden op dezelfde plaatsen.

Het permanente of semipermanente karakter van deze "vingers" wordt bevestigd op horizontale coupe waar ijzer neerslaat op de grens van de natte "vingers" en de omgevende droge bodem.

Microrelief zou hier een belangrijke rol kunnen spelen;

- grote ruimtelijke verschillen in de actuele onverzadigde hydraulische conductiviteit;
- ruimtelijke verdeling van schijnbaar soortelijk gewicht : in het bovenste deel van de bodem een min of meer horizontale gelaagdheid, eronder een min of meer vertikaal patroon;
- correlatie tussen schijnbaar soortelijk gewicht en water gehalte : meestal laag, d.w.z. zwak of geen correlatie tussen de parameters;
- aan het oppervlak of binnen de eerste mm tot cm is er een ruimtelijke verdeling van het water en de opgeloste stoffen;
- diameter van de initiële "vingers" varieert tussen 5 en 15 cm (mediaan van de korrelgrootte 170 μm);
- vochtigheidsverdeling in de "vinger" : de natste zone wordt gevonden nabij de top, en het vochtigheidsgehalte neemt af met toenemende diepte. Dit patroon komt niet overeen met de bevindingen van laboratorium experimenten waarbij de top van de "vinger" de natste plaats is, en achter de kop neemt het watergehalte af. Dit verschil zou te wijten zijn aan het tijdsvershil tussen de regenbui en monsternamen en de vertraging tussen de monsternamen en de bepalingen in het labo;
- laboratoriumexperimenten tonen aan dat het samensmelten van "vingers" een belangrijk proces is, op het terrein werd dit niet waargenomen.

Khedr, 1993, pp. 143.

Studiegebied : Westhoek Staatsnatuurreservaat langsheen dezelfde topo-chronosequentie in centrale noordelijke panne onderzocht door Ampe (1991).

- de graad van hydrofobie werd bepaald in het labo door het meten van de bodem-water contact hoek door horizontale infiltratie, hoogte en snelheid van de capillaire stijging (*het is niet duidelijk vanaf welke contact hoek de bodem als hydrofoob beschouwd wordt*);
- verband hydrofobie en stabilisatieouderdom van de bodem : matige correlatie werd gevonden; contact hoek voor profielen 1 (op het wandelduin) en 2 (in de actieve panne aan de voet van het wandelduin) zijn laag, vanaf profiel 3 (begroeide panne met kruipwilg, gestabiliseerd in de begin jaren '80) tot en met profiel 13 (meer dan 60 jaar gestabiliseerd en waarschijnlijk begraasd) is de contact hoek hoog. De contact hoek blijft min of meer constant vanaf profiel 5 (gestabiliseerd 70-iger jaren) tot profiel 13;
- verband hydrofobie en OM gehalte : correlatie tussen beide factoren was laag, de graad van decompositie werd als reden naar voor geschoven (*geen duidelijke verklaring werd hiervoor gegeven, misschien is er bepaalde hoeveelheid OM nodig om hydrofobie te veroorzaken*).

Kennislacunes :

- Voor de Vlaamse kust is het verschijnsel van de hydrofobie nauwelijks onderzocht.
- Vanaf welk ogenblik in de kolonisatie wordt het zand reeds hydrofoob? Wat is de rol van de hydrofobie in de zeer trage kolonisatie (die nu enkel van de buitenkant naar binnen gebeurt) van de mosvegetatie?
- Wat is de invloed van de hydrofobie op de waterhuishouding in een duingebied? In welke mate wordt het beschikbare water voor de plantengroei gereduceerd?
- Wat is de invloed van recente overstuivingen op de hydrofobie?

Aanbevelingen voor verder onderzoek :

- Een gedetailleerd onderzoek naar hydrofobie onder *Ammophila* en verschillende mosvegetaties.
- Een gedetailleerd onderzoek naar hydrofobie onder verschillende vegetatietypes, waarvan de ouderdom van stabilisatie gekend is.

3.2. INVLOED BODEMGEBRUIK OP DE BODEMONTWIKKELING

Jungerius, 1990, pp. 155-162.

- beschadiging van de oppervlaktehorizonten door betreding - recreatie;
- aanplanten van bossen;
- afplaggen;
- pollutie; etc.

3.2.1. Bemesting

Willis & Yemm, 1961, pp. 377-390.

zie § 2.2.3.

Willis, 1963, pp. 353-374.

zie § 2.2.3.

Heil, Van der Meulen, Ten Harkel, 1990, pp. 427-432.

Studiegebied : Meijndel, Nederland.

In drie vegetatietypes, het Festuco-Galietum, het Violo-Corynephoretum en een Calamagrostis weide werd een bemestingsproef uitgevoerd, waarbij een proefvlak bemest werd met een equivalent 50kg N/ha en een proefvlak niet bemest werd. De atmosferische input op het Festuco-Galietum en het Violo-Corynephoretum wordt op 14 kg N/ha geschat; op de Calamagrostis weide op 25 kg N/ha. Uit de proefneming blijkt dat na 1 jaar de bemesting geen significant effect heeft op de toename van grassen en de hiermee gepaard gaande afname van bodem. Enkel in het jongste systeem (Festuca-Galietum) is er een trend van toename van grassen waar te nemen na bemesting. Waarschijnlijk moeten de experimenten over een langere termijn gevolgd worden (fig. 12, tabel 15).

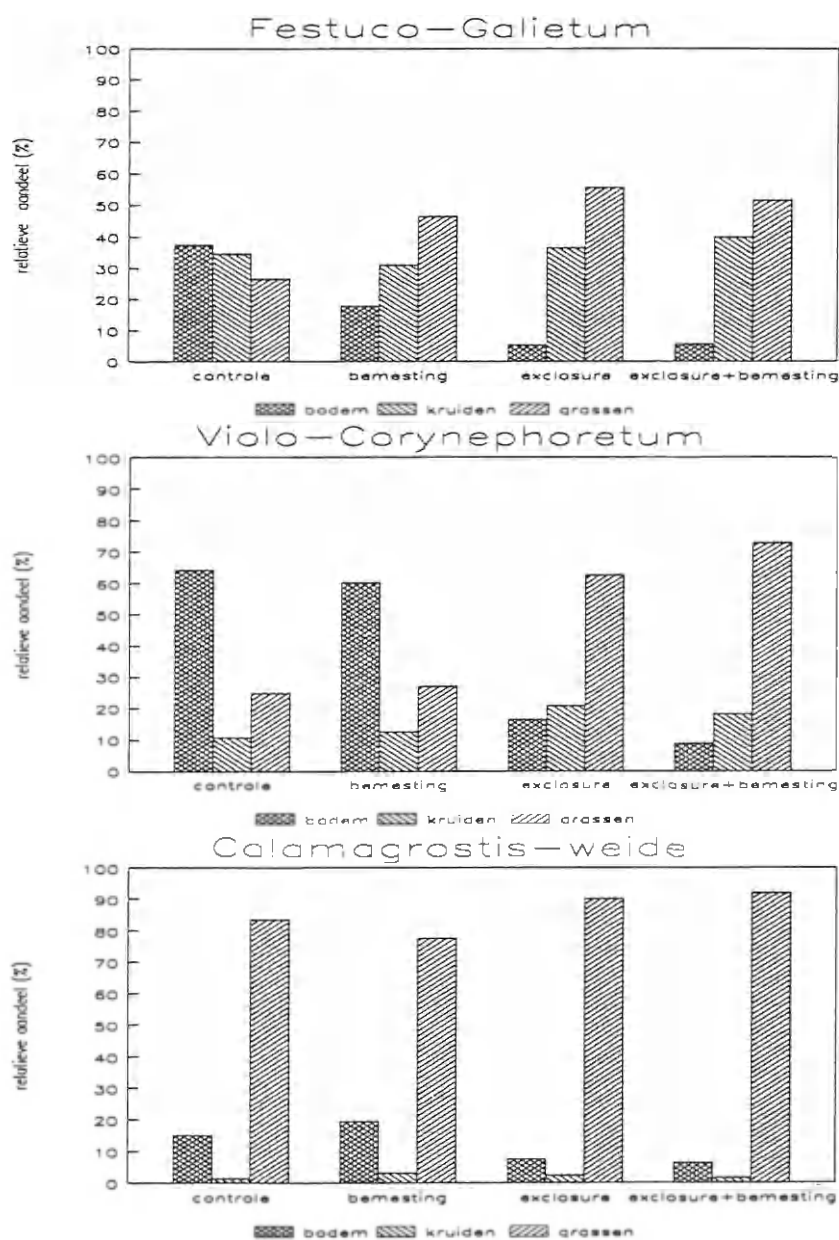


Fig. 12: Relatieve aandeel van bodem, kruiden en grassen in drie typen droge duingraslanden onder verschillende behandelingen (zie tabel 1). (HEIL, VAN DER MEULEN, TEN HARKEL, 1990).

Tabel 15: Resultaten van de General Linear Models procedure type III SS voor de verschillende behandelingen en hun onderlinge interacties (P is de overschrijdingskans dat een behandeling geen effect heeft; n.s. = niet significant).

	bodem	kruiden	grassen
bemesting	n.s.	n.s.	n.s.
omrastering (exclosure)	P<0.001	n.s.	P<0.001
bemesting*	n.s.	n.s.	n.s.
omrastering type (vegetatie)	P<0.001	P<0.001	P<0.001
bemesting*type	n.s.	n.s.	n.s.
omrastering* type	P<0.001	n.s.	P<0.001
bemesting* omrastering* type	n.s.	n.s.	n.s.

(HEIL, VAN DER MEULEN, TEN HARKEL, 1990).

Kennislacunes :

- bemestingsproeven werden tot zover niet uitgevoerd in het studiegebied;
- cijfergegevens omtrent hoeveelheden meststoffen die aan akkers en weilanden toegevoegd werden/worden.

Aanbevelingen voor verder onderzoek :

- vooraleer van start kan gegaan worden met bemestingsexperimenten, moet er eerst een grondige chemische karakterisatie van de duinbodems uitgevoerd worden;
- onderzoek naar de bemestingshistoriek van voormalig bemeste akkers, weiden.

3.2.2. Verlagen van de grondwaterstand

Klijn, 1981, pp. 150-151.

Oorzaken :

- waterwinning
- ontwatering vanuit agrarische motieven
- verstruweling, bebossing

Het bodemkundig effect geldt vooral in de vochtige of natte valleien en leidt tot een verminderde vochtvoorziening van de plant, een versnelde omzetting van organische stof en daarmee tevens een versnelde ontkalking. Het effect is relatief sterk en vermoedelijk langdurig in bodems met een hoog gehalte organische stof (*geen cijfergegevens*).

3.2.3. Verhogen grondwaterpeil door stopzetten grondwater extractie

Veer, 1991, pp. 18.

Studiegebied : zuidelijk duingebied van de Amsterdamse waterleidingduinen.

Doel van het onderzoek :

- inzicht in bodemeigenschappen en ruimtelijke variabiliteit
- potentiële effecten van veranderingen in het hydrologisch regime.

Bodemkartering werd uitgevoerd op enkele proefvlakken op 1:5000; de legende is gesteund op diepte van het grondwater, ontkalkingsdiepte, al dan niet oude bouwgrond en het voorkomen van een sterk kalkhoudende laag in de bovengrond; terreinwaarnemingen en bodembemonstering op 141 punten, aanvullende terreinwaarnemingen op 154 punten.

Met een aantal factoren moet rekening gehouden worden :

- a. kwaliteit van het water : kalkrijk of kalkarm;
- b. afbraakcondities onder vernatting veranderen; van belang zijn de hoeveelheden geaccumuleerd materiaal in het profiel, kwaliteit van het materiaal afhankelijk van de vegetatie, opbouw van het

- organisch stof profiel;
 c. kalkhoeveelheid in de bodem;
 d. beheersmaatregelen die de input in het systeem beïnvloeden;

Uitgangssituatie	Effect	Mogelijk nieuwe situatie
1. droog arm	1 —————> 2 —————> 3 —————> 4 <————	1.A. vochtig rijk
1. droog arm	1 —————> 2 —————> 3 —————> 4 <————	1.B. vochtig arm
2. droog rijk	1 —————> 2 —————> 3 —————> 4 <————	2.A. vochtig rijk
2. droog rijk	1 —————> 2 —————> 3 —————> 4 <————	2.B. vochtig arm
3. vochtig arm	1 —————> 2 —————> 3 —————> 4 —————>	3.A. nat rijk
4. vochtig rijk	1 —————> 2 —————> 3 —————> 4 —————>	4.A. nat rijk

Figuur 13: Schematische voorstelling van de ontwikkelingen bij vernatting (VEER, 1991).

Figuur 13 toont schematisch (theoretisch) een model voor de ontwikkelingen bij vernatting. De uitgangssituatie en de mogelijke nieuwe situatie worden beschreven in termen van vochttoestand en kalkgehalte. Er werd geen rekening gehouden met het effect van specifieke vegetatie op de humusprofielontwikkeling en de daarmee samenhangende trofie.

De effecten op vier factoren worden nagegaan. Deze factoren zijn:

1. de grootte van de strooiselinput;
2. de mineralisatie en de C/N verhouding;

3. de totale hoeveelheid organische stof;
 4. de verhouding ectorganisch/endorganisch als maat voor de opbouw van het profiel.
- De grootte en de richting van de pijlen geeft de verandering van deze vier factoren weer.

Bij de overgang van een droog/arme situatie naar een vochtig rijk milieu is er een grotere input van strooisel en een sterke toename van de mineralisatie. Toename van N in de organische stof leidt tot een mogelijke tijdelijke verlaging van N. Op langere termijn wordt een lagere C/N verhouding bereikt. Het effect op de totale hoeveelheid organische stof is gering en de verhouding ectorganisch/endorganisch neemt af.

Bij de overgang van een droog/arme situatie naar een vochtig arm milieu zijn de effecten minder uitgesproken. De input van strooisel en mineralisatie neemt iets toe, de totale hoeveelheid organische stof verandert nauwelijks, de C/N verhouding wordt lager, de verhouding ectorganisch/endorganisch neemt af door toenemende mineralisatie.

De overgang van een droog/rijk naar een vochtig/rijk milieu wordt gekenmerkt door een hogere input van strooisel en neemt de C/N verhouding toe. Bij de overgang van een droog/rijk naar een vochtig/arm milieu zal het netto effect gering zijn : de hogere input van strooisel wordt vastgelegd in de organische stof.

Bij de overgang van een vochtig/arm naar een nat/rijk milieu treedt er versnelde mineralisatie op, gevolgd door een remming van de afbraak; later zal de C/N verhouding toenemen.

Bij de overgang van een vochtig/rijk naar een nat/rijk milieu zal de mineralisatie geremd worden. Accumulatie van ectorganisch materiaal treedt op, de totale hoeveelheid organische stof neemt toe, alsook de C/N verhouding.

Kennislacunes :

- geen enkel gelijkaardig onderzoek werd uitgevoerd aan de Vlaamse kust;

Deze studie is vooral gesteund op theoretische deductie, rekening houdend met een beperkt aantal bodemkenmerken. De rol van de vegetatie op het humusprofiel en op de nutriëntentoestand werd niet in beschouwing genomen.

Aanbevelingen voor verder onderzoek :

- gedetailleerde bodemkartering (grotere schaal dan 1:5 000), gesteund op een aantal relevante bodemkenmerken, is noodzakelijk als referentiebasis voor de gebieden die in aanmerking komen voor grondwaterstandverhoging en voor gebieden die nu een hoge grondwaterstand hebben;
- zeer gedetailleerde studie van het bodemprofiel (Veer, 1991, stelt een schaal van 1:100 voor) in functie van de vegetatie met de nadruk op de organische O en minerale A horizonten, en de verhouding ervan, rekening houdend met de grote bestaande ruimtelijke variabiliteit;
- bepalingen van C/N verhoudingen om tot beter inzicht te krijgen in de nutriëntencycli.

3.2.4. Afplaggen en uitgraven

Klijn, 1981, pp. 149.

Afplaggen veroorzaakt een verschraling op bodemkundig gebied, omdat de opgeslagen voedingsstoffen in de levende biomassa en in het dode organische bodemmateriaal aan de lokale kringloop van de voedingsstoffen wordt onttrokken.

Uitgraven betekent in de meeste gevallen het volledig verwijderen van voordien gevormde bodems en aldus een nieuwe start van bodemontwikkeling. Door de verlaging van het maaiveld is de vochtigheidstoestand anders dan voorheen.

Slings, 1990, pp. 57-63.

Studiegebied : Noordhollands duinreservaat : Reggers Sandervlak (kalkrijk duinvallei? onder invloed van grondwater).

Enkel vegetatiekundige gegevens worden voorgesteld en besproken.

Door het plaggen wordt een soortenarme, verruigde begroeiing langdurig vervangen door een soortenrijkere, meer natuurlijke vegetatie.

De duur van de gewenste effecten van plaggen lijkt te verschillen naargelang de uitgangssituatie kalkrijk of kalkarm is (*kwantitatieve bodemkundige gegevens omtrent uitgangssituatie ontbreken*). Onderzoek op Terschelling (Kapteyn, 1988)(kalkarm) wijst uit dat het gewenste effect daar slechts relatief korte tijd (10-20 jaar) aanhoudt. de waardevolle pionierssoorten zijn dan weer verdrongen door de soorten van latere successiestadia.

3.2.5. Spitten en ploegen

Klijn, 1981, pp. 149.

In het verleden werden duinvalleien gebruikt als akkerland en werden daartoe gespit of geploegd. Dit brengt een homogenisatie met zich mee van de humeuze bovenlaag en de minerale ondergrond. Deze menging van grond heeft vrijwel steeds een sterke mineralisatie tot resultaat, omdat de humeuze bovengrond met kalkrijk materiaal wordt gemengd en de afbraak van de organische stof onder de nieuwe pH-condities sneller verloopt. Een tijdelijk verhoogd voedingsstoffen aanbod en een versnelde ontkalking is het gevolg (Boerboom, 1963, pp. ; Bakker et al., 1979, pp.).

Ampe, niet gepubliceerde gegevens.

In het Hannecart bos werden in de niet venige profielen duidelijke spitsporen genoteerd tussen 35 en 48 cm diepte.

Hewett, 1985, pp. 441-447.

Maaien : voordeel is dat kleinere oppervlakten kunnen behandeld worden en dat er selectiever kan gewerkt worden. Indien het maaisel afgevoerd wordt, leidt dit tot verarming van de bodem; indien het gemaaide opgestapeld wordt kan dit resulteren tot verzuring van de bodem (*geen kwantitatieve gegevens van bijv. pH worden voorgesteld; bij afbraak, vrijkomen van voedingsstoffen?*).

Kennislacunes :

- Het effect van maaien op de vegetatie wordt nagagaan, zonder echter de bodemfactor te onderzoeken.

Aanbevelingen voor verder onderzoek :

- In een experimentele benadering, waarbij gemaaide en niet gemaaide proefvlakken opgezet worden, moeten een aantal relevante bodemparameters **van voor het opstarten van het experiment** opgevolgd worden.

3.2.6. Begrazing

Hewett, 1985, pp. 441-447.

Studiegebied : Anglesey, Wales, Great Britain

Begrazingsexperiment werd opgezet, waarbij een vegetatiekundig onderzoek werd uitgevoerd. Geen bodemkundige gegevens werden vermeld.

Kennislacunes :

- Het effect van begrazing op de vegetatie wordt nagegaan, zonder echter de bodemfactor te onderzoeken.

Aanbevelingen voor verder onderzoek :

- In een experimentele benadering, waarbij begraasde en niet begraasde proefvlakken opgezet worden, moeten een aantal relevante bodemparameters **van voor het opstarten van het experiment** opgevolgd worden.

3.3. ATMOSFERISCHE DEPOSITIE

3.3.1. Sea-spray

Klijn, 1981, pp. 133

In Noordhollandse kustgebieden meet Vermeulen (1977) dicht bij zee een aanvoer van 241 kg/ha jaar chloride en 128 kg/ha jaar natrium.

Deze grote hoeveelheden worden door het neerslagoverschot uitgespoeld, hoewel het zoutgehalte in humusrijke bodems door absorptie van kationen aan humusdeeltjes relatief hoog kan zijn (Doing, 1966).

Dopheide & Verstraten, 1994, pp. 43-47.

Sea-spray ionen zijn : Na^+ , Cl^- , Mg^{++}

Bakker, 1990, pp. 109-119.

De zoutconcentratie van sea-spray neemt snel af landinwaarts : van 200 kg Cl/ha/jaar onmiddellijk achter de kustlijn tot 60 kg Cl/ha/jaar op twee kilometer landinwaarts. Verder daalt het zoutgehalte tot 40 kg Cl/ha/jaar geleidelijk tot 50 km landinwaarts. Andere ionen die aangebracht worden met de sea-spray zijn : K^+ , Na^+ , Mg^{++} en SO_4^{2-} .

Ten Harkel, 1992, pp. 37-41, 73-78, 84-89.

zie § 3.3.2.

Kennislacunes :

- Er werden geen kwantitatieve gegevens omtrent aanvoer van kationen en anionen gevonden voor de Vlaamse kust.

Aanbevelingen voor verder onderzoek :

- Opstellen van een gedetailleerd meetnet in een transect dwars op de kust waarbij atmosferische aanvoer van anionen en cationen gemeten wordt met terzelfdertijd een opname van meteorologische gegevens en monitoring van een aantal bodemkenmerken. Probleem : hoe kan er onderscheid gemaakt worden tussen de antropogene en natuurlijke aanvoer?

3.3.2. Antropogene pollutie

Bakker, 1990, pp. 109-119.

Tabel 16 vergelijkt de concentratie van een aantal ionen in de neerslag in Nederland met deze van

een onverstoorde (niet vervuilde ?) site. Vertegaal et al. (1989) wijten de snelle toename van vergrassing en verstruweling aan de luchtvervuiling.

	"natural" conditions (VERMEULEN 1977) (kg/ha · year)	Terschelling 1984-1985 (SCHUURKENS 1987) (kg/ha · year)
Chloride	75-250	90
Sulphate	50-100	50
Sodium	40-150	50
Potassium	2- 5	9
Calcium	2- 10	10
Magnesium	5- 20	9
Ammonia	5- 15	10
Nitrate	20- 40	25
Ortho-phosphate	2.5	—

Tab.16: Amount of supplied components per unit of time and per unit of groundarea in "natural" circumstances according to VERMEULEN (1977) and on the Frisian island of Terschelling during the years 1984 and 1985 according to SCHUURKENS (1987).

Heil, Van der meulen, Ten Harkel, 1990, pp. 427-438.

Studiegebied : Meijndel, Nederland

Extra toevoer van N door zure regen, maakt duingraslandssystemen voedselrijker. Het zijn vnl. grassen en grasachtigen die profiteren van die voedseltoevoer. In de duinen wordt vooral duinriet (*Calamagrostis epigejos*) bevoordeeld.

Bulkdepositiemetingen : ± 14 kg N/ha. Bijdrage aan droge depositie (aerosolen en gassen) additioneel aan de bulkdeposities zal zeer gering zijn in deze korte vegetaties. De structuur van *Calamagrostis* is echter hoger dan voor *Festuca-Galietum* en *Violo-Corynephorum*. LAI (leaf area index = hoeveelheid bladopp/bodemopp) = ± 4 ; de extra droge depositie wordt geschat op 25 kg N/ha (x2 als bij de korte graslanden). Hetgeen betekent dat *Calamagrostis* in deze vegetatie zichzelf kan versterken door meer N op te vangen. Extra toevoer N ---> sterke verschuivingen in de soortensamenstelling van de vegetatie

Van Dam (1990) heeft aangetoond dat in voedselarme ecosystemen, zoals duingraslanden, N het systeem niet verlaat en dat er accumulatie optreedt : in de bodem en in de ondergrondse delen van de vegetatie.

Ten Harkel, 1992, pp. 37-41, 73-78, 84-89.

Studiegebied : Meijndel, Nederland.

Regenwaterkwaliteit werd nagegaan vanaf april 1988 tot en met september 1990. Een groot aantal anorganische macro- en microparameters, organische microparameters en

bestrijdingsmiddelen werden gemeten.

Er blijkt geen op- of neerwaartse trend aanwezig te zijn in de concentraties van de anorganische macroparameters.

Grote seizoenverschillen zijn er in de concentraties van Cl en Na. Vooral in de stormrijke winter van 1989/1990 zijn de concentraties hoog. De toename is te wijten aan de hogere branding, waardoor meer waterdeeltjes in de lucht gebracht worden (sea-spray). Ook gedurende dezelfde periode, winter 1989/1990, zijn de waarden voor Ca sterk verhoogd. Dit kan verklaard worden door winderosie op kale oppervlakken tijdens stormen waarbij tijdens het zandtransport calcium vrijkomt. Na correctie voor sea-spray treden weinig piekconcentraties van de verschillende ionen op. Alleen de pH fluctueert tussen een waarde van 4 en 7.

Ook de anorganische microparameters vertonen weinig seizoenverschillen. Wel lijkt er een hogere concentratie aan metalen in de eerste helft van het jaar voor te komen. Ook de concentratie van Cu neemt toe, gedurende de meetperiode.

Voor de organische microparameters blijkt dat de concentratie van organische koolstof toeneemt gedurende de meetperiode met daarnaast een seizoenmatig verschil in de concentraties (verhoging in lente en zomer).

Dopheide & Verstraten, 1994, pp. 43-47.

Studiegebieden : Schoorlse Duinen (ontkalkte duinen, pH waarden zijn laag doorheen het profiel zodat Al hier mobiel kan worden) en Meijendel (kalkrijke duinen, pH neemt toe met de diepte); beide proefvlakken liggen zo'n 1.5 km van zee verwijderd.

De depositie van sea-spray ionen is hoog (*hoeveel?*) en heeft een effect op de samenstelling van het bodemvocht. De hoeveelheden potentiële zuur op Schoorlse duinen is 3300 eq/ha/jaar, in Meijendel 4600 eq/ha/jaar (*hoe bepaald?*) en is aanzienlijk hoger dan de kritische waarde van 1800 eq/ha/jaar voorgesteld voor Nederlandse heide- en grasgebieden.

De depositie van totaal-stikstof dat in deze kustgebieden afgezet wordt, bedraagt nog altijd zo'n 20 (Schoorlse duinen) tot 40 (Meijendel) kg N /ha/jaar. Wel dient opgemerkt te worden dat bovengenoemde waarden lager liggen dan die voor soortgelijke gebieden in het zuiden en oosten van Nederland.

De chemische samenstelling van atmosferisch-, doorval-, bodem- en grondwater varieert in de tijd en met de diepte en is afhankelijk van de plaats. Zo is bijvoorbeeld in de Schoorlse duinen de pH van het bodemwater laag (3.3 - 4.5) en loopt het iets op naar het bovenste grondwater (4.0-4.5).

In de gedeeltelijk ontkalkte bodem van Meijendel varieert de pH tussen 5.2 - 6.5 voor de bovenste 10 cm en op 50 cm diepte bedraagt de pH 7.5-8.5. In de Schoorlse duinen wordt de kritische waarde van de Al/Ca ratio (= 1) vaak overschreden op 50 cm diepte.

Wat betreft de stikstofdynamiek zijn de nitraatconcentraties verhoogd in het bovenste grondwater en op 50 cm diepte, hetgeen op het nitrificatieproces zou kunnen wijzen in deze profielen.

(deze publicatie vermeldt niet de gebruikte methodologie van chemische analyses, geeft niet voor alle vaststellingen de cijfergegevens, en heeft geen bibliografie)

Enkele voorlopige conclusies :

1. Aanzienlijke deposities van totaal-stikstof en potentiële zuur treden op in beide

duinecosystemen;

2. Het relatieve aandeel van marinogene elementen (Na, Cl & Mg) in de atmosferische depositie op beide locaties is hoog; 3. Verzuring in de Schoorlse duinen blijkt uit lage waarden voor pH, CEC, V en ZNC (zuur neutraliserende capaciteit). De intensiteit van de verzuring is afhankelijk van de mineralogie van het moedermateriaal en de aanwezige kalk.

Ten Harkel, Heil, Van der Hagen & Witter, 1994, pp. 37-41.

De totale gemiddelde jaarlijkse depositie voor 14 sites in Nederland voor 1987 (R.I.V.M., 1988) bedraagt :

pH : 4.9

N (NH_4^+ , NO_3^- , Organische N) : 13.0 kg/ha/jaar

NH_4^+ , NO_3^- : 10.2 kg N/ha/jaar

Fosfaat : 0.3 kg/ha/jaar

Kalium : 5.0 kg/ha/jaar

Natrium : 43.0 kg/ha/jaar

Calcium : 18.5 kg/ha/jaar

Magnesium : 5.0 kg/ha/jaar

De Vries, Klijn & Kros, 1994, pp. 59-73.

Studiegebied : Nederland.

Doelstelling : simulatie, gedurende een 100-jaar periode beginnend 1987, van verzurende impact van atmosferische depositie op representatieve Nederlandse duinbodems.

Gedurende de laatste decennia vertonen de duinecosystemen in Nederland 1) een afname in zeldzame soorten en bedekking door lichenen 2) toename van nitrofielen en grassen in voormalige oligotrofe milieus 3) een versnelde verspreiding van struiken en mossen. Deze verschuivingen zouden te wijten zijn aan de hogere voedingstoestand in de droge duinen.

Vergelijking van de gegevens voor de atmosferische depositie tonen aan dat :

1) continue toename van NH_4^+ depositie sedert 1935;

2) een toename in SO_4^{2-} en NO_3^- depositie vanaf 1935 tot 1975;

3) afname van SO_4^{2-} sedert 1975 en constante waarden voor NO_3^- sedert 1975.

Andere factoren die van belang zijn : sedert begin 20ste E : verdwijnen van extensieve begrazing van de duinen en bijna volledige fixatie van de duinen wat een uniformisering met zich mee brengt van de bodemvormende processen en plant successie.

De bodemgegevens van het duinecosysteem worden voorgesteld in tabel 17. Inputs van de totale atmosferische depositie van kationen en anionen staan in tabel 18 en werden constant gehouden gedurende de simulatieperiode 1987-2087.

In een **kalkrijk** duinecosysteem trad een decalcificatie van de A1 horizont op. De decalcificatie was geassocieerd met afname van Ca^{2+} en HCO_3^- uitloging, afname van de pH en base verzadiging, gevolgd door een versterkte uitloging van Al^{3+} en NH_4^+ bij lage pH (tabel 19).

Tabel 17: Root distribution data and basic soil characteristics used in the simulation of both dune ecosystems

Soil layer	Horizon	Thickness (cm)	Root* distribution (%)	Bulk* density (kg m ⁻³)	CEC† (mmol _c kg ⁻¹)	Carbonate‡ content (mmol _c kg ⁻¹)	Al ³⁺ hydroxide† content (mmol _c kg ⁻¹)
0	A ₀	2	15	150	1200	100	0
1	A ₁	8	60	1450	30	360	8
2	AC	15	25	1540	10	720	10
3	C	37	0	1540	5	800	12

* Based on Tinhoir & Werger (1988) and Berendse (1988).

† Derived from transfer functions with the organic matter content (Hoekstra & Poelman 1982).

‡ Derived from transfer functions with the organic matter content (Breeuwsma *et al.* 1986). Values for the CEC refer to a determination at pH 6.5. In non-calcareous soils, the CEC measured at the actual pH is lower due to non-exchangeable H⁺ adsorption.

§ Derived from the Netherlands Soil Information System (Bregt *et al.* 1986). Relates only to the calcareous soil (1% CaCO₃ = 200 mmol_c kg⁻¹).

¶ Derived from the Netherlands Soil Information System (Bregt *et al.* 1986). In the model, Al_{ox} is restricted to the amount of oxalate extractable Al³⁺ (mainly organically bound Al³⁺ and amorphous Al hydroxides). It is important to note that the Al hydroxide content of dune soils is extremely low (about 10 times as low) compared with other sandy soils such as podzols (de Vries *et al.* 1989).

Tabel 18: Wet, dry and total deposition values used during the 100-years simulation period

	Deposition (kmol _c ha ⁻¹ year ⁻¹)								
	H ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
Wet	0.3	0.5*	1.0*	0.15*	4.0†	0.5‡	0.4‡	1.05‡	5.0‡
Dry	0.7	1.0	2.0	0.30	8.0	0.5	0.4	2.10	10.0
Total§	1.0	1.5	3.0	0.45	12.0	1.0	0.8	3.15	15.0

* Based on the Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)/National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM) measuring network (KNMI/RIVM 1985). For Na⁺, Mg²⁺ and K⁺, closely similar values are derived when assuming that the input comes only from sea-salt, i.e. by multiplying the Cl inputs by the Na⁺/Cl⁻, Mg²⁺/Cl⁻ and K⁺/Cl⁻ ratios in sea salt (0.86, 0.2 and 0.02 respectively; cf. Cl⁻ deposition).

† Derived from Leeftang (1938), Vermeulen (1977) and Kooistra (1971).

‡ Based on Stuyfzand (1984) and Houdijk (1993).

§ Total deposition was assumed three times as high as wet deposition for Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Cl⁻ and SO₄²⁻ ('seaspray') and twice as high as wet deposition for NH₄⁺ and NO₃⁻. This is based on data from Houdijk (1993) who found a throughfall/bulk deposition ratio of 6 for base cations, Cl⁻ and SO₄²⁻ and of 4 for NH₄⁺ and NO₃⁻ below coniferous forest at two locations near the coast (Terschelling and Schoorl). We halved these values based on data from Stuyfzand's (1984) lysimeter study in calcareous dunes near Castricum. For the relatively inert elements Cl⁻ and SO₄²⁻ he found a ratio of 5 between the leachate from the soil system and bulk (open field) deposition for a coniferous forest and of 2.5 for a dune vegetation. This suggests that coniferous forests are twice as efficient in filtering dry deposition as short vegetation. Similarly in inland sites throughfall/bulk deposition ratios for SO₄²⁻ are approximately 5 for coniferous forests (Kleijn *et al.* 1989), and 2.5 for short vegetation such as grasslands (Heil *et al.* 1988).

Tabel 19: Leaching fluxes of H⁺, Al³⁺, Ca²⁺, NH₄⁺, SO₄²⁻, NO₃⁻ and HCO₃⁻ through the various soil layers of the calcareous dune soil at the beginning and the end of the simulation period

Soil horizon	Simulation period	Leaching fluxes (kmol _c ha ⁻¹ year ⁻¹)								
		H ⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ *	NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻ *	HCO ₃ ⁻
A ₁	Begin (1987)	0.00	0.00	16.66	0.25	3.18	1.68	1.97	1.52	10.34
	End (2087)	3.52	0.22	2.02	0.57	3.18	1.68	1.72	1.27	0.00
AC	Begin (1987)	0.00	0.00	17.15	0.04	3.15	1.68	1.57	1.12	12.07
	End (2087)	0.00	0.00	15.02	0.10	3.15	1.65	1.58	1.13	10.03
C	Begin (1987)	0.00	0.00	15.62	0.04	3.15	1.65	1.11	0.66	12.74
	End (2087)	0.00	0.00	15.60	0.10	3.15	1.65	1.12	0.67	12.75

* Denotes sea-salt-corrected flux.

(DE VRIES, KLIJN & KRÖS, 1994).

In het begin van de simulatieperiode is bijna alle Ca^{2+} gemobiliseerd van de A1 horizont. In ongeveer 50jaar tijd waren de carbonaten in de A1 horizont bijna volledig uitgeput. De AC horizont werd de Ca^{2+} bron op het einde van de simulatieperiode. De pH onderging een sterke daling van 6.5 tot 3 voor periode 2015-2045; dit is mede te wijten aan de lage CEC en Al-hydroxide hoeveelheid. Simulaties tonen een abrupte pH daling bij een carbonaatgehalte van $\pm 0.3\%$.

Een toename van Al^{3+} en NH_4^+ werd gevonden in de A1 horizont.

In de **niet kalkrijke duingronden** trad een uitputting op van Al-hydroxiden op, geassocieerd met een sterke pH daling. In alle horizonten bereikte de pH waarden rond $\text{pH}=3$.

Kennislacunes :

- Voor de Vlaamse kust werden geen gegevens over atmosferische depositie te wijten aan antropogene pollutie gevonden

Aanbevelingen voor verder onderzoek :

- Opstellen van een gedetailleerd meetnet in een transect dwars op de kust waarbij atmosferische aanvoer van anionen en cationen gemeten wordt met terzelfdertijd een opname van meteorologische gegevens en monitoring van een aantal bodemkenmerken. Probleem : hoe kan er onderscheid gemaakt worden tussen de antropogene en natuurlijke aanvoer? Hoe kunnen de effecten van verzuring en van eutroficatie uit elkaar gehaald worden? Stikstofverbindingen spelen in beide processen een rol. Processen van verzuring en eutroficatie zijn interactief.

3.4 BEGRAVEN BODEMS

Jungerius, 1989, pp. 91-98.

Begraven bodems geven informatie over vroegere fasen van landschapsstabiliteit. De bodem geeft dus informatie over erosie- en depositiepatronen in het duingebied.

Voorgestelde methoden voor verder onderzoek zijn micromorfologie en pollen analyse.

Mucher, 1990, pp. 163-171.

Micromorfologische studie van slijpplaatjes kan gebruikt worden in de studie van paleosols.

Kennis van het voorkomen en de spreiding van deze paleobodems kan een belangrijke bijdrage betekenen voor de reconstructie van de paleogeomorfologische geschiedenis van het duin en de dynamica in duinontwikkeling.

Assendorp & Mucher, 1990, pp. 40-45.

Studiegebied : Meijndel

Methodologie : micromorfologie en pollenanalyse (reconstructie van de vegetatie tijdens de verschillende bodemvormende fasen).

In een natuurlijk dynamisch duinlandschap wisselen stabiele en instabiele perioden elkaar af binnen een periode van enkele decennia.

Ampe & Langohr, niet gepubliceerde gegevens.

Naast het bestaan van de duidelijke humeuze begraven bodems, treft men in duinbodems "slibachtige" bandjes aan. deze bandjes zijn een aanduiding voor vrij kalk en wijzen op een vroegere aanwezigheid van vrij water.

Kennislacunes :

- Buiten bovenvermelde referenties werden geen verdere gegevens gevonden omtrent de studie van begraven duinbodems. ook deze studies blijken voorlopig niet veel concreets op te leveren.
- Onderzoek van de begraven bodems staat zowel in Nederland als in België in zijn kinderschoenen.

3.5. VERSTUIVINGEN

Van den Ancker, Jungerius & Mur, 1985, pp. 189-192.

Studiegebied : De Blink (tussen Noordwijk en Zandvoort), Nederland.

Stabilisatie van stuifkuilen wordt bevorderd door planten aangepast aan de lokale dynamische omstandigheden. Aan de lijzijde waar accumulatie optreedt, wordt het zand gefixeerd door Helmgras; de helling aan de windwaartse zijde kan gestabiliseerd worden door kolonisatie van algen na een verlengde periode van kalme en vochtige weercondities. In een tweede stadium werden de algen gevolgd door jaarlijkse planten van het Tortulo-Phleetum.

Ten minste vier species van algen konden herkend worden; drie species behoren tot de cyanobacteria, de vierde soort behoort tot de groene algen. De draderige algen zijn omgeven door een slijmachtige schede dat de zandige korrels samenbindt in de bovenste 3 tot 5 mm zodat een dunne korst gevormd wordt. Deze korst beschermt de bodem tegen verdere winderosie.

Relevantie voor beheer : aanplanten van Helmgras en Duindoorn in een stuifkuil is zeer moeilijk : in dit compacte zand is beworteling uiterst moeilijk en zullen de meeste planten afsterven (d.w.z. geldverspilling).

Pluis & De Winder, 1989, pp. 499-506.

Studiegebied : Meijendel, Den Haag, Nederland.

Twee soorten van kolonisatie door algen kunnen onderscheiden worden :

- initiële vorming van een algenmat in stuifkuilen zonder een algenkorst;
- kolonisatie van bloot zand door uitbreiding van reeds bestaande algenkorst.

De oppervlakkige algenlaag begint te groeien gedurende de natte perioden van het jaar, en is het meest uitgesproken op plaatsen waar het zand plantenafval bevat en waar cellen van algen afgezet wordt in de stuifkuilen.

Cyanobacteriën zijn de eerste kolonisators van de stuifkuilen en worden gevolgd door de groene algen.

De zandkorrels worden door de algen samengehouden door het slijm rond de algen of doordat de korrels door filamenten vervlochten worden.

Kleine stuifkuilen kunnen volledig gekoloniseerd worden (minder erosie en sneller herstel indien geërodeerd) terwijl in grotere stuifkuilen, algen enkel periodisch gevonden worden aan de windopwaartse kant.

Door de ontwikkeling van een mat van algen, verhoogt het gehalte aan organisch materiaal en hoeveelheid biomassa, en neemt de waterhoudingscapaciteit toe. Deze factoren bevorderen verdere kolonisatie door eenjarige planten, grassen en mossen.

Pluis & Lamers, 1990, pp. 406-413.

Studiegebied : Schiermonnikoog

De analyse van luchtfoto's van 1952, 1969 en 1984 liet toe de verandering in oppervlakte aan verstuivingen in 3 studiegebieden te bepalen. De ontwikkelingspatronen van de verstuivingen verschillen per gebied : toename van verstuivingen o.a. door hoge recreatiedruk, afname van verstuivingen o.a. door ontwikkeling van bos. Andere beïnvloedende factoren zijn : hoogte t.o.v. grondwaterniveau, ligging t.o.v. de dominante windrichting en ontwikkelingsstadium van het gebied.

Natuurlijke stabilisatie van verstuivingsgebieden gebeurt door de groei van algen (cyanobacteriën en groenwieren). Een vorming van een korst wordt gevormd en dit verhoogt de weerstand tegen verwaaïen. In het vroegste stadium van verstuiving is met name het groenwier *Klebsormidium* belangrijk. Waar de stuifkuil onder directe invloed komt te staan van de fluctuerende grondwatertafel worden de cyanobacteriën van het geslacht *Microcoleus* de belangrijkste korstvormers. Bij langdurige perioden van waterverzadiging van de bodem krijgt de algenlaag het karakter van een microbiële mat. De bodem onmiddellijk eronder is zwart gekleurd door ijzersulfide. De sulfide van deze verbindingen is het product van sulfaatreducerende bacteriën. In stuifkuilen komen de korsten niet altijd tot volledige ontwikkeling omdat ze vroegtijdig stukgeblazen worden tijdens stormen.

Uit de studie blijkt dat vele stuifkuilen op een natuurlijke wijze kunnen stabiliseren. Door het samengroeien van stuifkuilen ontstaan grotere stuifcomplexen, daar zijn algen meestal niet meer in staat het oppervlak te koloniseren. Veelal wordt echter, gedurende de wintermaanden, in de laagste delen het grondwater bereikt en ontwikkelt zich een pioniersvegetatie al dan niet met algen. Aan de randen van deze vallei gaat de verstuiving door, veelal in de richting van de overheersende wind.

Pluis, Witter & Van Boxel, ?, pp. 1-8.

Studiegebied : De Blink, Nederland

Identificatie van de meteorologische parameters relevant voor de huidige stuifkuilvorming langsheen de Nederlandse kust : windsnelheid en richting.

Winden in de klassen tussen 6.25 en 12.5 m/s komende uit het ZW zijn het meest erosief. Bij hogere windsnelheden worden winden komende uit het NO meer frequent, maar zij zijn niet zo erosief.

Pluis & Van Boxel, 1993, pp. 581-594.

Studiegebied : Meijendel, Den Haag

nagaan of verspreidingspatroon van de algen in de stuifkuilen in verband kan gebracht worden met het verspreidingspatroon van de windsnelheid in de stuifkuilen. In het ZW deel van de stuifkuilen hadden de algen een hoger weerstandsvermogen dan in de rest van de stuifkuil. Dit werd verklaard door de lagere windsnelheden in het ZW deel van de stuifkuil. Het verdwijnen van

hogere windsnelheid.

Jungerius, Van der Meulen, Loedeman & Stuiver, 1992, pp. 129-138.

Studiegebied : Meijendel, Nederland

Evolutie van het aantal stuifkuilen : tussen 1975 en 1980 nam het aantal lichtjes af, tussen 1980 en 1985 bleef het aantal constant, tussen 1985 en 1990 was er een grote toename. Ongeveer de helft van de nieuw gevormde stuifkuilen overleefden de volgende 5 jaarlijkse periode niet.

Het zijn vooral de kleinere stuifkuilen ($< 30 \text{ m}^2$) die door snelle kolonisatie door algen snel verdwijnen.

Evolutie van de afmetingen van de stuifkuil :

toename in oppervlakte van 1% in 1975 tot 4.3% in 1990.

Evolutie van de vorm van de stuifkuil :

De grootste erosiviteit van de wind in de stuifkuil is waar de wind de stuifkuil binnenkomt, dus een verlenging van de stuifkuil aan de windwaartse zijde komt voor bij de meeste stuifkuilen.

Kennislacunes :

- In België werd onderzoek naar de rol van algen bij de stabilisatie van stuifkuilen nog niet uitgevoerd.

- Korstvorming door algen werd in de gedurende de laatste 2 jaren (winters 1993-1994 en 1994-1995) waargenomen in verschillende duingebieden langs de Belgische kust.

Het onderzoek in Nederland legt de nadruk op het voorkomen van algenmatten in stuifkuilen.

Onze observaties tonen aan dat algenmatten niet altijd verbonden aan stuifkuilen en ook op andere sites kunnen voorkomen.

- opname van algen in vegetatiekartering ontbreekt meestal --> luik biotische factoren.

Aanbevelingen voor verder onderzoek :

- Onderzoek naar de vorming van stuifkuilen en hun verdere evolutie;

- Onderzoek naar korstvorming in Vlaamse duinen, ook buiten de stuifkuilen.

- Onderzoek naar de rol die algen spelen in de verdere kolonisatie van het duin.

- In sommige bodemprofielen bestudeerd in het staatsnatuurreservaat de Westhoek door Ampe (1991) en Maseki (1991) werden op variërende diepte groenachtige laagjes van enkele mm dikte geobserveerd, waarvan verwacht wordt dat het relictten zijn van algenkorsten. Verder onderzoek is noodzakelijk om dit te bevestigen en om na te gaan wat het effect is op wortelpenetratie, waterpercolatie, kalkaccumulatie, enz.

3.6. BODEMEVOLUTIE ONDER INVLOED VAN DE MENS

Slings, 1994, pp.120-130.

Studiegebied : Noordhollands duinreservaat

Zeedorpenlandschap : intensief gebruik van het duingebied door beweiding, kappen van struiken, trekken van helmwortels.

Op de intensief gebruikte delen door mens : kalkgrasland karakter; op minder intensief : grasland heischraal.

Invloed mens op de bodem :

1. voortdurende organische verrijking in de vorm van dierlijke mest, plaatselijk ook zeewier, visafval;

2. voortdurende toevoer van schelpgruis bijv. door lokale overbetreding;

3. aanwezigheid van graslandprofielen door beweiding;

4. intensieve vermenging van 1 - 2 - 3 door intrapping, betreding door mens en vee.

Door de menselijke dynamiek ontstaat een mullmoder humus, vermoedelijk relatief fosfaatrijk (voorkomen van vlinderbloemigen)(toevoer N?) .

Bodemkenmerken van het zeedorpenlandschap en van het Duinpaardebloemgrasland (Dauwbraamlandschap) werden met elkaar vergeleken (tabel 20). In het zeedorpenlandschap zou een snellere omzetting van het organisch materiaal optreden.

Slings verklaart de aanwezigheid van mull door de vertrapping van de schelpfragmenten die hierdoor verkleinen en voortdurend vermengd worden met de A horizont door betreding. Door het verkleinen van de schelpfragmenten neemt de beschikbaarheid van de kalk toe. (*indien de beschikbaarheid van de kalk toeneemt, zal de ontkalking dan niet sneller gebeuren?*). Dit zou resulteren in een verschillende bodemevolutie en leiden tot een scherp onderscheid tussen het dauwbraamlandschap en het zeedorpenlandschap.

Fig 20: Enkele relevante bodemkenmerken van twee soorten duingrasland, gebaseerd op gedetailleerde beschrijvingen van 16 bodemprofielen van elk graslandtype (Bij 't Vuur, 1993).

Bodemkenmerk	Zeedorpengrasland (mullmoder)	Duinpaardebloemgrasland (moder)
dikte A-horizont (gem. $\pm$ s.d.)	6,4 $\pm$ 3,0 cm	8,0 $\pm$ 4,3 cm
kleur A-horizont	lichter/bruiner	donkerder/grijzer
kalkgehalte A-hor.	hoger	lager
structuur A-hor.	sterker geaggregeerd	zwakker
zuurgraad A-hor.	basisch - neutraal	neutraal - zuur
uitspoelingshorizont	0%	31%
begraven horizonten	69%	19%
hoeveelheid wortels	meer	minder

3.7. BODEMEVOLUTIE ONDER INVLOED VAN VEGETATIE

Wright, 1955, pp. 270-283.

Studiegebied : Culbin Forest, Morayshire

Metingen van bodemvochtigheid werden verricht onder verschillende vegetatietypes vanaf april tot augustus 1952 :

- natuurlijk gefixeerd duin met *Ammophila*;
- aanplanting van Corsicaanse den (*Pinus laricio*), 12 jaar oud;
- aanplanting van Corsicaanse den, 22 jaar oud;
- aanplanting van Corsicaanse den, 45 jaar oud;
- aanplanting van Schotse den, 80 jaar oud;
- aanplanting van Berk (*Betula pubescens*), 40 jaar oud;
- recent mobiel duin, bedekt met takken van Corsicaanse den.

De permanente watertafel is buiten het wortelbereik van de bomen, zodat water een limiterende factor is voor de vegetatie (*geen gegevens omtrent beworteling en grondwaterdiepte worden voorgesteld*).

Het vochtgehalte van de bodem blijft hoog, gedurende het groeiseizoen voor onbeplante duinen : verwelkingspunt werd bereikt midden augustus. Voor de boomaanplantingen werd op wisselende dieptes van het bodemprofiel, het verwelkingspunt reeds bereikt gedurende april. De groei van bomen droogt de bodem uit, ondanks de hoger vochtophoudingsvermogen van de bovenste horizonten door het hoger gehalte aan OM. Het bedekken van de bodem met takkenbossen is een efficiënte methode voor het behouden van vochtigheid : de bodem bleef op veldcapaciteit gedurende de volledige periode.

Boerboom, 1963, pp. 120-155.

Studiegebied : Wassenaar, Nederland.

Doelstelling : Verband tussen bodem en vegetatie.

De bodems van de voornaamste plantengemeenschappen werden onderzocht.

1. Zeereepbegroeiingen :

Vier subtypes werden onderscheiden gaande van de zeer ijle begroeiing van biestarwegras, helm en zandhaver langs de voet van de zeereep (1), over de open maar viatel helmbegroeiing op de top van de zeereep (2), over een dicht duin doorn-vlier struweel in de beschutting van de eerste duinkam (3) tot de gesloten vegetatie van duindoorn in afbraakfase op de zeewaartse helling van de tweede zeereep (4).

De bodems zijn gekenmerkt door een hoge toevoer van sea-spray ionen, zeer laag OM gehalte, zeer laag N gehalte, snelle omzetting van humus. Door het instuiven komen dunne begraven humeuze bandjes voor. Vanaf subtype 3 en 4 neemt het OM gehalte toe; P-totaal is relatief hoog.

2. Mos- en korstmosbegroeiingen :

Vergeleken met de Helmgemeenschap vertonen de mossen en korstmossen een hoger gehalte aan OM; kalkgehalte neemt af met toenemende afstand tot de duinvoet; bodem vertoont een begin van "humus-inspoeling" (*genese is niet duidelijk*).

De duinsterretjesgemeenschap is gebonden aan een bodem die in de horizont van 0-6 cm kalkhoudend is. Afhankelijk van de dynamiek van het systeem (overstuiven) overheerst de gemeenschap van duinsterretjesmos of duinklauwtjesmos. de pH > 0.3%, onafhankelijk van het kalkgehalte. Vermindert het kalkgehalte tot 0.1% dan veroorzaakt dit een plotse daling van de pH tot waarden rond 6.0. Deze pH daling brengt veranderingen in de botanische samenstelling van de mossen en korstmossen met zich mee. Wanneer de ontkalking tot op bijna 7 cm vrijwel volledig is, zijn niet alleen de basifiele en een zeer goed deel der neutrofiële cryptogamen verdwenen, maar evenzeer enige zeer ondiep wortelende fanerogamen (zie § 3.1.2.a)

3. Duingraslanden :

Een viertal gemeenschappen worden onderscheiden : paardebloem-walstro, wondklaver-nachtsilene, knolboterbloem-gestreepte klaver, kruipend struisgras-zandhaarmos.

Bij de paardebloem-walstro gemeenschap is de A1-horizont nog kalkrijk (1.4%). De bodemreactie is alkalisch, vrij veel humus is vastgelegd (OM = 3.6%). In de wondklaver-nachtsilene gemeenschap is het kalkgehalte van de A1-horizont waarschijnlijk iets hoger, het humusgehalte iets lager dan voor de paardebloem-walstro gemeenschap.

De bodem van de twee overige gemeenschappen heeft uitloging ondergaan. Waarschijnlijk is de krachtige ontkalking een gevolg van de diepe bodembewerking en de langdurige landbouwkultuur die deze terreinen ondergaan hebben. De bodem van de knolboterbloem-gestreepte klaver bruiste (met HCl) slechts vanaf 40 cm diepte, de bodem van de kruipend struisgras-zandhaarmos gemeenschap bleek tot 65 cm diepte nog volledig ontkalkt.

4. Duinstruwelen :

Hierin worden twee types onderscheiden : het duindoornstruweel en het kruipwilgstruweel. De analyses van monsters genomen onder duindoorn en kruipwilg in vergelijkbare landschapsposities brengen markante verschillen aan het licht. In het duindoornstruweel werd in de bovenste horizont meer kalk gemeten dan bij het kruipwilgstruweel (resp. 1.8 tot 2.8% en 0.1-0.7%). Ook de pH-waarden zijn er hoger (7.8 tegenover 6.9). Humusgehalten en de N-totaal % gedragen zich tegengesteld aan de pH.

5. Duinbossen :

Volgende vegetatie-eenheden worden onderscheiden : droog duinberkenbos, vochtig duinberkenbos, nat duinberkenbos, afstervend duinberkenbos, eikenbos.

Het kalkgehalte van de bodem blijkt samen te hangen met het feit of er in het verleden al dan niet landbouw werd bedreven op de bodems. De proefpercelen, vroeger onder landbouw, vertonen volledige ontkalking van de horizont van 0-15 cm diepte. Bodems die niet bewerkt zijn geweest, hebben meestal nog een weinig kalk.

Wat betreft pH werden zeer lage waarden gevonden onder het afstervende berkenbos en het

eikenbos.

Het humusgehalte neemt toe in de volgorde : eikenbos - afstervend berkenbos - droog, vochtig, nat berkenbos. Dezelfde tendens is waarneembaar voor N en P. Humusgehalte, N en P blijken onafhankelijk te zijn van het feit of al dan niet landbouwactiviteit heeft plaatsgehad.

Heil, Van der Meulen, Ten Harkel, 1990, pp. 427-432.

Vergrassen : wanneer begrazing hetzij door vee, hetzij door konijnen wegvalt, groeit de vegetatie verder uit en zijn het voornamelijk de grassen die het meest toenemen. De vraag is waarom konijnen ophouden met grazen. Fluctuaties in de konijnenpopulaties? Wat is de wisselwerking met toenemende N-depositie?

De stabiliteit van de onderzochte duinvegetaties is sterk afhankelijk van de "verstoringen" die erbij horen.

relevantie voor beheer : begrazing blijkt een sleutelfactor te zijn voor het in stand houden van grasduinvegetaties. Het experiment uitgevoerd door bovengenoemden toont aan dat de *Calamagrostis*-rijke grasvegetaties al een soort kritische begrazingsdruk gepasseerd zijn, omdat de veranderingen door het aanbrengen van omrasteringen hier het geringst zijn. Dit soort vegetaties zou eerst moeten aangepakt worden door andere grazers zoals koeien, schapen of paarden.

Ball & Williams, 1974, pp. 380-386.

Studiegebied : Holkham, Norfolk, England.

Profielontwikkeling wordt gerelateerd aan vegetatieontwikkelingen.

Onder het natuurlijk duingrasland treedt oppervlakkige uitloging op, met de opbouw van een mull-humus, eerst in een dunne AC horizont, in een later stadium in een A horizont op een AC op een C horizont. De dikte van A + AC horizont bedraagt 2 cm in 15 jaar, 5 cm in 30 jaar, 9 cm in 70 jaar.

Onder Corsicaanse den (*Pinus nigra* var. *maritima*), aangeplant 1875-1890, neemt door accumulatie van het strooisel, de intensiteit van de uitloging toe en een beginnende podzolisering is waar te nemen met een O, AE, Bs en C profiel.

Van der Putten, Van Dijk & Peters, 1993, pp. 53-56.

Degeneratie van *Ammophila* en *Hippophaë* wordt veroorzaakt door bodem gerelateerde ziekten zoals nematoden en fungi. Indien deze pathogenen van enig belang zijn in de successie van *Ammophila* en *Hippophaë* op het duin, dan betekent dit dat de opvolgers in de successie ongevoelig zijn voor deze pathogenen.

In een eerste experiment werd *Ammophila arenaria* geplant in bodemmaterialen van verschillende oorsprong : al dan niet gesteriliseerde grond van strand, van de wortelzone van *Ammophila arenaria*, van *Festuca rubra* ssp. *arenaria*, van *Carex arenaria* en van *Elymus athericus*. In alle gevallen verhoogde de productiviteit van *A. arenaria* in de gesteriliseerde bodems uitgezonderd voor het strandzand. Dit wijst erop dat in alle bodemmaterialen van verschillende oorsprong met uitzondering van het strandzand er schadelijke bodemorganismen voor de *Ammophila* voorkomen.

In een tweede experiment werden *F. rubra* ssp. *arenaria*, *C. arenaria* en *E. athericus* geplant in hun

eigen al dan niet gesteriliseerde rhizosfeer bodem en in deze van hun opvolger in de successie. In de gesteriliseerde bodems is de productiviteit van de verschillende plantensoorten niet significant verschillend. In de niet gesteriliseerde bodems, is de productie van elke plantensoort sterk afhankelijk van de oorsprong van de rhizosfeer bodem. Zo vertoonde *F. rubra* ssp. *arenaria* een afname in productiviteit naargelang de rhizosfeer bodem afkomstig was van een plantensoort verder in de successie. In de rhizosfeer bodems van *C. arenaria* en *E. athericus* werd de productiviteit van *F. rubra* ssp. *arenaria* sterk verhoogd door sterilisatie (tabel 21, fig. 14). Het algemene besluit uit deze experimenten is dat de biomassa productiviteit van de plantensoorten verminderd wordt door bodemgerelateerde ziekten eigen aan de plantensoort of aan de plantensoorten verder in de successie.

Tabel 21: Total dry matter (mg per pot) of *Festuca rubra* ssp. *arenaria*, *Carex arenaria* and *Elymus athericus* grown in soils collected from their own and alien root zones

Plant species	Sand origin							
	<i>Ammophila arenaria</i> (degenerated)		<i>Festuca rubra</i>		<i>Carex arenaria</i>		<i>Elymus athericus</i>	
	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S
<i>F. rubra</i> ssp. <i>rubra</i>	777 bcd	900 abc	613 cde	997 abc	404 de	1,370 a	218 e	1,128 ab
<i>C. arenaria</i>	714 bc	911 abc	679 c	977 ab	45.4 d	1,174 a	206 d	1,018 a
<i>E. athericus</i> *	1,060 cd	1,765 abc	1,326 bcd	1,511 abc	900 de	2,429 a	613 e	1,814 ab

The soils were either not sterilized (NS) or gamma-sterilized (S). Means of each plant species followed by the same letter do not differ at the $P < 0.05$. As in Fig. 1, except that six replicate samples were collected and half of each of the replicates was gamma-sterilized. Seedlings of *F. rubra* ssp. *arenaria*, *C. arenaria* and *E. athericus* were pregrown for 6 weeks in sterilized sand, after which plants of uniform size were selected and planted at a density of one per pot. The pots contained 1,350 g of sand containing 10% moisture, based on dry weight. The data per plant species were analysed statistically by two-way analysis of variance with factors soil origin and soil sterilization. As there was two-way interaction, treatment means were compared by Tukey's multiple comparison.

(VAN DER PUTTEN, VAN DIJK & PETERS, 1993).

* Statistics applied after ln-transformation.

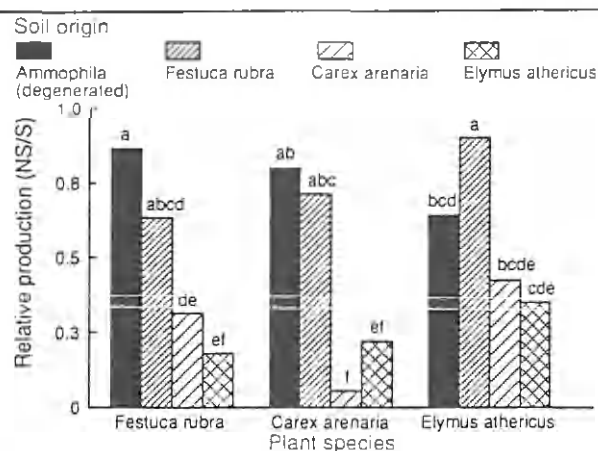


Fig. 14: Production of total biomass of *Festuca rubra* ssp. *arenaria*, *Carex arenaria* and *Elymus athericus* in unsterilized soil relative to that in sterilized soil. The soils originate from sites with pure stands of degenerated *Ammophila arenaria*, *F. rubra* ssp. *arenaria*, *C. arenaria* and *E. athericus*. METHODS. See Table 2. The relative productions were analysed by analysis of variance with factors being soil origin and plant species. As there was two-way interaction, Tukey's multiple comparison was applied to compare means of treatments and significant differences ($P < 0.05$) are indicated by different letters.

Smits, 1989, pp. 34.

Studiegebied : Meijndel, Nederland.

Doelstelling : verband tussen bodem en vegetatie.

In dit onderzoek is uitgegaan van een indeling in vijf vegetatiestructuurtypen waarvoor hieronder een korte beschrijving volgt (tabel 22).

vegetation type:	mosses + lichens	grassland	shrubland <i>Hippophae</i>	shrubland <i>Salix</i>	shrubland <i>Crataegus</i>
n:	36	41	15	10	8
soil property:					
depth F + A hor. (cm)	3.3	6.8	4.1	5.3	11.4
F horizon present (%)	6	29	20	20	63
buried A hor. present (%)	61	29	20	60	30
depth decalcification (cm)	3.8	7.2	3.9	5.7	16
soil fauna present (%)	28	73	73	100	100
root index	43	90	64	78	123

Tabel 22: *The relationship between vegetation types and soil profile properties in Meijndel near The Hague (from SMITS 1989). The root index is a relative measure obtained by multiplying the depth of occurrence with the abundance class number of very fine and fine roots on the scale of the FAO/UNESCO Guidelines (1975).*

1. Pionier vegetatie met mossen en korstmossen.

Vegetatiebedekking is dikwijls onvolledig (tot 15% bloot zand); geomorfologische processen zijn hoog; lage productie van OM (*hoeveel?*); organische horizonten, indien aanwezig, bestaan uit een fermentatie F horizont. A horizonten zijn slecht ontwikkeld met weinig wortels en weinig biologische activiteit. Bedolven A horizonten komen voor op sites met frequente sedimentatie van eolisch zand of colluvium; ondiepe ontkalking door toevoer van vers kalkrijk zand. Uitloging en verbruining komen in kleine mate voor.

De dynamiek van het systeem is gebonden aan verschillende mosvegetaties (pioniersituatie met duinsterretjesmos en muurpeper, buntgras met campylopusvegetaties, bladmossen overheersend) en neemt af is bovengenoemde volgorde.

2. Duingraslanden met Rumex acetosella, Festuca rubra, Calamagrostis epigejos, Rubus caesius, Ononis repens.

Bodems hebben dikwijls een F horizont, een redelijk dikke, donkere A1 met hoog OM gehalte : F en A horizonten zijn beter ontwikkeld. Ontkalking grijpt plaats en is redelijk diep zeker als geen instuiving plaatsgrijpt, bedolven bodems zijn schaars, uitloging en verbruining treedt op,

wortelsystemen zijn goed ontwikkeld.

3. Struweel gedomineerd door *Hippophaë rhamnoides*.

De dikte van de F en A horizonten neemt toe, de diepte van de ontkalking ook. Faunaactiviteit is vrij hoog. Instuiving komt niet zo veel voor. Uitloging en verbruining komt in ongeveer 50% van de profielen voor, soms gepaard gaande met de ontwikkeling van een A2-horizont.

4. Kruipwilgstruwelen

Over het algemeen hebben deze bodems minder kalk en een hoger humusgehalte in de bovenste horizont dan de duindoorn. Faunaactiviteit is altijd hoog. De bodems hebben een vrij dikke A-horizont. Kruipwilgstruwelen hebben een grote weerstand tegen overstuiving en groeien mee met de instuiving, de profielen vertonen dan ook dikwijls een (A+C)_b horizont. F-horizont komt niet zo dikwijls voor. Uitloging en verbruining treedt op maar een echte A2 of B-horizont komt niet voor.

5. Meidoornstruwelen

Onder de meidoornstruwelen komen de best ontwikkelde bodems van de onderzochte vegetatietypen voor. Deze bodems hebben de dikste A-horizonten, het vaakst een F-horizont, ontkalking is het diepst, het wortelgetal is het hoogst en de faunaactiviteit is altijd hoog. Uitloging en verbruining leiden tot de vorming van een A2 en B horizont.

Wardenaar & Sevink, 1992, pp. 190-201.

Studiegebied : Wassenaar (Nederland), bosbestanden van populier (natuurlijke opslag) en Schotse den (aangeplant) elk ongeveer 80 jaar oud.

Verschillen in humustype kunnen geïnterpreteerd worden als verschillen in snelheid van strooiselafbraak, nutriënt cycling en hiermee verbonden bodemkenmerken.

Onder het populierbestand werd een dunne ectorganische horizont gevonden, enkel bestaande uit een L horizont.

Het profieltype wordt beïnvloed door het macro-relief : op de relatief vlakke stukken vindt men een L-Ah1-Ah2-Ah3-C profiel, op de steile hellingen naar het zuiden gericht : (L-)Ah2-Ah3-C. Op de noordelijke hellingen en de vlakke toppen, begroeid met grassen werd de volgende horizontensequentie geobserveerd : L-Ah1-Ah2-Ah3-C; onder *Ligustrum* hebben de bodems een dikker solum en een meer gedifferentieerde ectorganische laag (*verklaring?*). De zuidhellingen zijn relatief steil en het profieltype is opnieuw afhankelijk van de al dan niet aanwezigheid van *Ligustrum*. Plaatsen met *Ligustrum* hebben een L-Faq-Ah1-Ah2-Ah3-C profiel, buiten deze plaatsen ontbreekt meestal de Faq en de Ah1 horizont. Op de concave gedeelten ontbreken de F en Ah1 horizonten, op de convexe gedeelten ontbreekt daarbij ook de ectorganische horizont.

Onder het bos van Schotse den is de bodem gekenmerkt door een scherpe overgang tussen het

organische en minerale gedeelte van de bodem. Ze vertonen een zwakke Bs horizon, met een lichte accumulatie van ijzer. In de depressies met bijna geen ondergroei is het profiel gekenmerkt door een L-F-H-E-B-C horizonatie; de convexe gedeelten van de helling zijn begroeid met *Calamagrostis* en hebben meestal een L-F-H-Ah-B-C horizonatie.

De algemene trend onder deze twee bosbestanden is dus de ontwikkeling van een mull-humustype overgaand tot moder onder de populier en een mor-humustype en een bodem met lichte podzolizatie onder de Schotse den. In deze studie zou een periode van een 80-tal jaar voldoende zijn om een micropodzol te vormen.

Tabel 23 toont de chemische gegevens van de bodems onder den en populier. Onder den werd een lager wortelgehalte gemeten dan onder populier (*althoewel rekening moet gehouden worden met de dikte van de horizonten en er geen gegevens voor de C horizon beschikbaar zijn, ook werd het schijnbaar soortelijk gewicht niet gemeten*). Dit zeer laag wortelgehalte wordt verklaard door een extreme pH gradient tussen de Ah3 en C (4.43 en 9.03 respectievelijk), wat een probleem voor de beworteling zou betekenen (?).

Hoeveelheden van NH_4 zijn veel hoger dan deze van NO_3 , ammonificatie heeft de overhand op nitrificatie. De relatieve hoge concentraties van Na en Cl wijzen op het belang van de atmosferische depositie van sea-spray.

Kennislacunes :

- De bodemkundige studies uitgevoerd in de Westhoek en het Hannecart bos hebben niet zozeer de bodemontwikkeling onder verschillende vegetatietypes onderzocht. De nadruk van deze onderzoeken (Vermoortel, 1990; Maseki, 1991; Ampe, 1991; Van Haesebroeck, 1994) lag op een eerste karakterisatie van de bodem en de rol die de bodem speelt in de dynamiek van het ecosysteem.

Aanbevelingen voor verder onderzoek :

- Systematische karakterisatie van de bodem in functie van de verschillende vegetatietypes.

Tabel 23: Chemical composition of soil horizons and of 1:5 water extracts of these horizons. Samples were taken during autumn

Horizon	pH (1:10)	org. mat. %	org. C %	N %	C/N ratio	EC μS/cm	Water-extractable nutrients in μg/g soil							
							NH ₄	NO ₃	NO ₂	Ca	Mg	Na	K	Cl
<i>Populus nigra</i>														
Autumn														
L	5.82	74.3	47.6	1.32	36	1970	n.d.	0.05	0.50	687	475	520	1265	825
Ah1	6.11	14.0	8.8	0.411	21	340	46.7	0.35	0.20	129	55	80	150	70
Ah2	6.23	9.3	5.8	0.273	21	233	36.9	0.61	0.16	86	36	58	98	52
Ah3	6.34	4.5	2.8	0.136	20	127	27.2	0.87	0.12	43	17	36	45	34
C	9.18	0.2	0.1	0.006	18	50	n.d.	0.75	0.10	31	5	15	9	10
Spring														
L	5.63	75.8	48.6	1.32	37	814	n.d.	0.02	2.00	353	88	92	625	155
Ah1	6.45	14.8	7.8	0.387	20	190	27.2	0.02	2.20	67	22	54	80	20
Ah2	6.51	7.8	4.3	0.204	22	111	12.4	1.24	0.91	42	12	33	48	11
Ah3	6.55	3.1	2.0	0.082	24	58	2.5	2.05	0.05	25	6	20	27	5
C	9.10	0.4	0.1	0.006	18	69	n.d.	3.50	0.10	40	5	17	10	10
<i>Pinus sylvestris</i>														
Autumn														
L	4.17	95.7	61.4	1.24	50	1510	n.d.	0.25	0.10	354	315	570	735	725
Faq1	4.16	93.4	61.2	1.66	37	725	361	0.90	0.10	106	938	242	187	335
Faq2	3.35	82.0	53.6	1.51	36	614	185	0.03	0.10	93	35	177	78	245
Hd	3.45	30.9	18.1	0.448	40	213	63.6	1.00	0.10	34	19	88	31	100
E	3.33	10.8	7.6	0.172	45	151	n.d.	0.05	0.10	31	14	60	14	55
B	4.43	1.3	0.8	0.025	31	76	n.d.	1.20	0.10	32	7	33	7	25
C	9.03	0.4	0.1	0.007	18	64	n.d.	1.05	0.10	45	4	17	5	10
Spring														
L	3.86	86.1	54.5	1.26	43	640	n.d.	0.65	0.03	161	47	115	410	200
Faq1	3.82	94.8	57.2	1.54	37	228	93.4	0.05	0.30	69	21	143	98	130
Faq2	3.48	88.8	52.3	1.33	40	215	72.4	0.05	0.20	63	19	154	74	120
Hd	3.41	34.5	20.1	0.451	45	197	39.8	0.10	0.03	32	10	75	34	50
E	3.55	6.8	3.4	0.094	36	79	n.d.	0.40	0.05	22	5	34	13	20
B	4.71	1.7	0.8	0.027	28	56	n.d.	1.00	0.05	26	5	20	6	5
C	8.98	0.5	0.2	0.007	22	64	n.d.	1.15	0.15	47	5	20	7	5

(WARDENAAR & SEVINK, 1992)

3.8. BODEMEVOLUTIE ONDER INVLOED VAN FAUNA

3.8.1. Het konijn

Rutin, 1983, pp. 74-79

Rutin, 1992, pp. 85-94.

De Blink, Noordwijkerhout, Nederland.

Vier types van konijneactiviteit in de duinen beïnvloeden de erosie processen :

- lopen, meestal langs bepaalde paden;
- begrazen van de vegetatie;
- graven van kleine holletjes voor voedsel; hoeveelheid verplaatst zand, voornamelijk hellingafwaarts, bedroeg tussen 121 en 1129 g.;
- bouwen van holen en pijpen : diameter van de pijpen bedraagt tot 15 cm; hoeveelheid verplaatst zand is veel groter.

De meeste konijneholen werden gevonden op de noordelijke helling, met dichte vegetatie. Hellingopwaarts van het konijnhol wordt het zand door de vegetatie opgehouden, hellingafwaarts wordt het zand opgehoogd. Een verklaring hiervoor is dat de bodem op deze hellingen een hogere bodemvochtigheid zou hebben en dus een betere cohesie. Door de konijneactiviteit op de noordelijke helling van het duin werden kleine terrasjes gevormd.

De invloed van het graven van konijneholen op de stabiliteit van de helling :

- 1) bedekken van de bodem met los zand ---> erodibiliteit verhoogt;
- 2) losmaken van de bodem ---> erodibiliteit verhoogt;
- 3) invallen van het konijnhol ---> veroorzaken van een depressie, beschadigen van de vegetatie --> erodibiliteit verhoogt;
- 4) verhoging van de permeabiliteit van de bodem ---> erodibiliteit van de bodem vermindert;
- 5) doorbreken van waterafstotende lagen door de graaactiviteiten van het konijn, kan infiltratie doen toenemen en runoff doen afnemen ---> erodibiliteit van de bodem vermindert.

De graaactiviteit voor voedselvoorziening toonde een verschillend patroon :

- op de westkant van de zuidelijke helling;
- op de noordoostelijke kant van een stuifkuil gelegen nabij de duinkam.

Er is een grote temporele en ruimtelijke variabiliteit in de graaactiviteiten van het konijn.

Het was niet mogelijk een statistische correlatie te berekenen tussen sand drift en de graaactiviteit, maar de contributie van het konijn tot de instabiliteit van het duin gedurende een lange periode is zeer belangrijk. Vermits de invloed van het konijn op het erosieproces toeneemt met het aantal konijnen, is een artificiële afname van het aantal konijnen noodzakelijk indien een vermindering van de erosie nagestreefd wordt.

Heil, Van der Meulen, Ten Harkel, 1990, pp. 427-432.

Begrazing door konijnen : houdt de duingraslanden kort, waardoor ze min of meer stabiel lijken te zijn. Fluctuaties in de populatiedichtheid van konijnen kan ervoor zorgen dat in jaren met een lage konijndichtheid dit soort graslanden verruigen, d.w.z. op gedeeltes waar de begrazingsdruk laag is kan de natuurlijke vegetatie doorgroeien waardoor de natuurlijke successie doorgaat.

Proefvlakken : uitsluitel van konijnen : significante toename van het aantal grassen, afname van kale bodem. Tevens bestaat er een significant verschil in aandeel bodem, kruiden en grassen voor de 3 graslandtypen. In de jongste vegetatie Festuco-Galietum, de grootste veranderingen
(*veranderingen in de bodem werden niet onderzocht*)

Ten Harkel, Heil, Van der Hagen & Witter, 1994, pp. 37-42.

Proefvlakken : na 2.5 jaar uitsluiting van konijnen bedroeg het drooggewicht van de vegetatie in de afgesloten proefvlakken 1125 gr/m², en slechts 30 gr/m² op de begraasde proefvlakken.

	afgesloten proefvlak	begraasd proefvlak
drooggewicht vegetatie	1125 gr/m ²	30 gr/m ²
opp. kruiden	constant	
opp. kaal	afname van 60 tot 15%	
opp. gras	toename 25 tot 70%	

Invloed van bemesting is niet duidelijk; niet alle N stapelt zich op in de bodem maar een deel wordt uitgelooft; effect van bemesting wordt gemaskeerd door het effect van konijnebegrazing.

Afwezigheid van begrazing leidt tot een hogere vegetatie (30 cm), LAI (leaf area index) neemt toe, dit leidt tot hogere atmosferische depositie van droge stof (25 kg/ha/jaar versus 13 kg/ha/jaar voor lage vegetatie) d.w.z. meer nutriënten , meer grassen, minder kruiden, enz..

Wanneer begrazingsdruk door konijnen terug toeneemt, verdwijnen de gebieden met hoge grassen niet : de konijnen schijnen deze niet te lusten. Grote grazers moeten hiervoor geïntroduceerd worden.

(*veranderingen in de bodem werden niet onderzocht*)

Snater, 1989, pp.110-113.

veranderingen in de bodem werden niet onderzocht

Kennislacunes :

Een aantal publicaties onderzoeken het effect van begrazen door het konijn op de vegetatie, zonder echter de bodemfactor te onderzoeken.

Voorstellen tot verder onderzoek :

In een experimentele benadering, waarbij begraasde en niet begraasde proefvlakken opgezet worden, moeten een aantal relevante bodemparameters van voor de start van het experiment opgevolgd worden.

3.8.2. Vee

Barnes, 19 , pp. 174.

Begrazing van het duin door schapen, vee en ponies kunnen door betreding het grasveld beschadigen en zo erosie veroorzaken, vooral in de eerste stadia van de duinsuccessie

Kennislacunes :

Een aantal publicaties onderzoeken het effect van begrazen door vee op de vegetatie, zonder echter de bodemfactor te onderzoeken.

Aanbevelingen voor verder onderzoek :

In een experimentele benadering, waarbij begraasde en niet begraasde proefvlakken opgezet worden, moeten een aantal relevante bodemparameters opgevolgd worden.

3.8.3. Vogels

Van Dijk & Grootjans, 1993, pp. 281-303.

Tussen '30-iger en '70-iger jaren : eutrofiëring van duinmeren kan optreden door aanwezigheid van grote meeuwenkolonies die geen natuurlijke vijand meer hadden. Nu (relatief recent) herintroductie van de vos verjaagt deze kolonies (pp. 291).

Veer, 1991.

Vermeldt verstoring en omwoeling van het bodemprofiel, waarbij C-materiaal aan de oppervlakte komt te liggen.

3.8.4. Kevers

Brussaard, L. & L.T. Runia, 1984, pp. 229-250.

Studiegebied : Maarheeze (Z. Nederland), Wijster (N. Nederland) - zandige bodem
mestkever : *Typhaeus typhoeus* (Linnaeus, 1758)

Een van de bevindingen was dat in dicht gepakte zandige bodems de plantenwortels niet dieper dan 25 cm groeiden. De verstoring van de bodemstratificatie door kevers zou diepere wortelgroei kunnen bevorderen.

3.9. SAMENVATTING

Twee belangrijke groepen bodemvormende processen worden onderscheiden door Jungerius (1990) met name de geomorfologische en de biologische waarbij de nadruk ligt op de vegetatieontwikkeling. Afhankelijk van het overwicht van de eerst- of laatgenoemde zullen verschillende bodemtypes resulteren. Als belangrijkste bodemvormende factoren vermeldt Jungerius (1990) het reliëf en de vegetatie.

3.9.1. Bodemvormende processen

Bodemvorming in duinbodems gaat gepaard met de **productie en alteratie van organisch materiaal**. Een eerste morfologische karakterisatie van de organische horizonten van een aantal representatieve sites in een systeem onder struweel, gestabiliseerd van 20 tot 60 jaar in de Westhoek, werd beschreven door Ampe (1991) en Ampe & Langohr (1993). In de organische horizonten werd de strooisel-, humus- en wortelfractie onderscheiden. De variatie in strooisel- en humusgehalte is belangrijker langsheen de topo-hydrosequentie dan langsheen de chronosequentie, dit wil zeggen dat op de secundaire duinruggen de laagste waarden gevonden worden voor het strooisel- en humusgehalte, in de depressies de hoogste waarden. Enig onderzoek naar de productie, omzetting en accumulatie van organische stof werd nog niet uitgevoerd in het studiegebied. Ook voor Nederland werden geen cijfergegevens voor de verschillende vegetatietypes in duingebieden gevonden voor de biomassa, de jaarlijkse productie van organische stof, de jaarlijkse omzetting van de organische stof.

Uitloging omvat het uitspoelen van zout, CaCO_3 , sesquioxiden, humus, Fe en Mn ionen.

Een belangrijk proces in het Vlaamse duingebied is de **ontkalking**. Depuydt (1972) heeft langsheen de Belgische kust een 600-tal monsters geanalyseerd voor kalkgehalte; in de Westhoek werd in een detailstudie (Depuydt, 1966) voor nog eens 291 stalen het kalkgehalte bepaald. Deze gegevens geven een eerste idee omtrent het kalkgehalte aan het toenmalige oppervlak. Een studie over de ontkalkingsdiepte en de ontkalkingssnelheid ontbreekt en hierbij kunnen de gegevens van Depuydt moeilijk als referentiebasis gebruikt worden vermits het gegevens zijn van oppervlakte monsters en niet van de C-horizont (moedermateriaal). Klijn (1981) stelt aan de hand van berekeningen dat onder bepaalde omstandigheden van $\text{CaCO}_3\%$, Schijnbaar soortelijk gewicht, neerslag, evapotranspiratie, % organisch materiaal, enz., de ontkalkingssnelheid 3.5 dm/eeuw bedraagt. Een meetexperiment te Meijendel (Nederland) waarbij ionenconcentraties van regenwater, oppervlakkig afvloeiwat en bodemwater met elkaar vergeleken werden, vond de hoogste concentraties van Ca en Mg in het bodemwater, wat wijst op een netto export uit de bodem van deze kationen (Ten Harkel, 1992).

De vorming van **podzolbodems** werd waargenomen in de Oude Duin- en Strandafzettingen in Nederland. Micropodzolvorming werd geobserveerd onder *Pinus sylvestris* in

Meijndel, Nederland (Wardenaar & Sevink, 1992) terwijl onder *Populus nigra* - beide aanplantingen hebben dezelfde ouderdom - de micropodzol afwezig was. Depuydt (1967) vermeldt het voorkomen van "podzolachtige" bodems in de Westhoek. Het is wel niet duidelijk of het om een echte podzolizatie gaat of het een begraven A1-horizont is.

Natte en vochtige duinvalleien staan onder invloed van de grondwatertafel. **Roestvlekken** komen voor in de zone van de fluctuerende watertafel, de permanent verzadigde bodem is gereduceerd en licht- tot donkergrijs van kleur. Vermoortel (1990) onderscheidt 3 types van actieve roestvlekken : 1) wortelroest, dat vooral geassocieerd is met de verticale wortels van *Carex*; U-type roestvlekken, die oorspronkelijk concentrische roestvlekken waren rond een levende wortel, maar die na het afsterven van de wortel een uitgerokken U-vormig uitzicht krijgen door laterale grondwaterstromingen; roestkleurige bodemmatrix. Fossiele roestvlekken werden geobserveerd en geven een indicatie van vroegere hoge waterstanden.

Het **hydrofobieverschijnsel** is goed bestudeerd in de Nederlandse duingebieden. De oorzaak van hydrofobie wordt in de buitenlandse literatuur verklaard door onder meer de aanwezigheid van hydrofobe organische substanties, hyphae van Fungi, humuszuren, ontbindend organisch materiaal en strooisel. Het onderzoek in Nederland is meer toegespitst op :

- het ruimtelijk patroon en variabiliteit van de hydrofobieverschijnselen (Dekker & Jungerius, 1990; Dekker en Ritsema, 1994a);
- variabiliteit in tijd (Dekker & Ritsema, 1994a);
- het verband met het watergehalte in de bodem (Dekker en Ritsema, 1994a, 1994b);
- het verband met het schijnbaar soortelijk gewicht (Dekker & Ritsema, 1994b, Ritsema & Dekker, 1994b)
- het verband met het organisch materiaal (Rutin, 1983; Van Wallenburg & Vos, 1989; Bisdorf, Dekker & Schoute, 1993; Dekker & Ritsema, 1994a);
- het verband met het CaCO_3 (Dekker & Jungerius, 1990);
- het verband met de vegetatie (Dekker & Jungerius, 1990).

De gevolgen van hydrofobie zijn : een lagere infiltratiesnelheid, een onvolledig en onregelmatig bevochtigheidsfront, toename in de evapotranspiratie, toename in run-off en erosie, vorming van preferente waterstromen.

Voor de Vlaamse kust bestaat er één studie uitgevoerd in de Westhoek natuurreservaat (Khedr, 1993). Er werd een verband gevonden tussen de contacthoek (tussen het boloppervlak van de druppel en het bodemoppervlak, = maat voor waterafstoting) en de stabilisatieouderdom van de bodem in zeer jonge systemen (gestabiliseerd sinds begin jaren '80). Voor profielen gestabiliseerd boven deze periode lijkt de contacthoek constant te blijven. Ook het verband tussen hydrofobie en het gehalte organisch materiaal is laag. Hier lijkt de graad van de decompositie van het organisch materiaal een rol te spelen, verdere verklaring ontbreekt.

3.9.2. Invloed van het bodemgebruik op de bodemontwikkeling

Een aantal **bemestingsproeven** in duingebieden in Engeland (Willis & Yemm, 1961; Willis, 1963) toonden aan dat de hoogte en het vers gewicht van planten toeneemt na toevoegen van N en P. Sommige planten, zoals *Carex flacca* beginnen te domineren na het toevoegen van enkel N, en lijken dus minder behoefte te hebben aan P. De groei van de planten wordt veel minder beïnvloed door het toevoegen van K, en verandert niet na het toevoegen van de sporenelementen.

Heil, Van der Meulen en Ten Harkel (1990) vonden dat na 1 jaar proefneming, de bemesting (14 tot 25 kg N/ha atmosferische input en 50 kg N/ha bemesting) geen significant effect had op de toename van grassen.

Voor het studiegebied zijn geen bemestingsproeven bekend.

Het beïnvloeden van de **grondwaterstand** brengt een aantal veranderingen in de bodem teweeg. Het verlagen van de grondwaterstand leidt tot een verminderde vochtvoorziening voor de plant, een versnelde omzetting van de organische stof en een versnelde ontkalking (Klijn, 1980). Onderzoek naar de gevolgen van het verhogen van het grondwaterpeil komt in Nederland onder belangstelling te staan omdat gepoogd wordt, met steun van de overheid, de gronwateronttrekking af te bouwen in duingebieden (Veer, 1991). Veer (1991) heeft een model opgesteld waarbij de effecten van verlaging van de grondwaterstand nagegaan worden op de grootte van de strooiselinput, de mineralisatie en de C/N verhouding, de totale hoeveelheid organische stof en de verhouding ectorganisch/endorganisch als maat voor de opbouw van het profiel. Uitgangssituaties zijn droog en arm en kan leiden tot een vochtig rijke of vochtig arme situatie, droog en rijk wat kan resulteren in een vochtig rijke of vochtig arme situatie, en vochtig arm of rijk, wat in beide gevallen resulteert in een nat rijk systeem.

Gelijkaardig onderzoek werd tot zover bekend niet uitgevoerd aan de Vlaamse kust.

Een beheersmaatregel die dikwijls toegepast wordt om voedselrijke systemen te verarmen is **afplaggen en uitgraven**. Bodemonderzoek naar de gevolgen van afplaggen en uitgraven zijn niet bekend, alsmede de verdere bodemevolutie na het afplaggen of afgraven is niet teruggevonden in de literatuur.

Ook **begrazen** is een veel voorgestelde beheersmaatregel voor duingebieden. Tot nu toe werden geen studies teruggevonden die de gevolgen van begrazing op de bodem onderzoeken.

Sporen van **spitten en ploegen** werd teruggevonden in het niet venige gedeelte van het Hannecart bos tussen een diepte van 35 en 48 cm. Beworteling is geconcentreerd in de laag die vroeger bewerkt is geweest. Andere bewerkte sites werden nog niet onderzocht.

3.9.3. Atmosferische depositie

Natuurlijke aanvoer van ionen zoals Na, Mg, Cl door sea-spray werd in Nederland opgemeten. In de Noordegolllandse kustgebieden bedraagt de aanvoer van chloriden zo'n 241 kg/ha/jaar (Vermeulen, 1977). Een groot meetexperiment in Meijendel (Ten Harkel, 1992) onderzoekt de toevoer van een aantal anorganische macro- en microparameters, organische microparameters en bestrijdingsmiddelen. De studie van Dopheide en Verstraten (1994) wijzen erop dat aanzienlijke deposities van totaal stikstof en potentieel zuur optreden. In niet kalkrijke duinen is de buffercapaciteit van het systeem sterk beperkt en worden pH-waarden van het bodemwater van 3.3 tot 4.5 gemeten zodat Al mobiel kan worden. Een simulatiemodel werd opgesteld door De Vries, Klijn & Kros (1994), waarbij de verzuring van een kalkrijke en een niet kalkrijke duinbodem wordt nagegaan. In het kalkrijke systeem trad na 100 jaar een volledige ontkalking op van de Al horizont, met afname van Ca en HCO_3^- , afname van de pH en baseverzadiging. In de niet kalkrijke bodem trad een uitputting van de Al-hydroxiden op, geassocieerd met een sterke pH daling. In alle horizonten werd na een periode van 100 jaar een pH van rond de 3 gevonden.

3.9.4. Begraven bodems

Onderzoek naar begraven bodems blijkt vrij beperkt te zijn. Een aantal onderzoekers gebruiken micromorfologie bij de studie van de paleobodems maar de resultaten zijn vrij beschrijvend en de interpretatie is beperkt (Mucher, 1990; Assendorp & Mucher, 1990).

In een aantal duinbodems van de jonge systemen van de Westhoek werden fijne groenachtige bandjes (enkele mm dik) geobserveerd. Waarschijnlijk zijn dit slibachtige afzettingen van een panne die onder water heeft gestaan. Dit verschijnsel kon in de natte winters en lentes van 1993 en 1994 opgemerkt worden en lijken algen en/of kalk afzettingen te zijn.

3.9.5. Verstuivingen

Geomorfologische studies (in Nederland) van stuifkuilen door middel van luchtfotoanalyse hebben aangetoond dat stabilisatie van stuifkuilen op natuurlijke wijze gebeurt door kolonisatie van algen. Het zijn vooral de kleinere stuifkuilen die door snelle kolonisatie door algen verdwijnen (Jungerius, Van der Meulen, Loedeman & Stuiver, 1992). Door het vormen van een algenkorst wordt de bodem minder gevoelig voor erosie, zodat uitbreiding van de stuifkuil verhinderd wordt (Pluis & De Winder, 1989). In het ZW deel van de stuifkuil hadden de algen een hoger weerstandsvermogen dan in de rest van de stuifkuil. Dit werd verklaard door de lagere windsnelheden in het ZW deel van de stuifkuil (Pluis & Van Boxel, 1993). Indien het stuiven tot aan het grondwater reikt kan er zich verder een pioniersvegetatie ontwikkelen (Pluis & Lamers, 1990).

3.9.6. Bodemevolutie onder invloed van de mens

De publicatie van Slings (1994) verklaart het bestaan en het in stand houden van het Zeedorpenlandschap met bijzondere vegetaties (associatie Wondklaver en Nachtsilene, Kraailook-associatie, associatie van Kegelsilene en Groot duinsterretje) door intensieve menselijke beïnvloeding van de bodem en het daarop groeiende plantendek. Door vertrapping door vee en mens worden de grove schelpfragmenten verkleind en voortdurend vermengd met de humeuze A-horizont zodat de beschikbaarheid van kalk voor de vegetatie toeneemt. Dit resulteert in een mullmoder humusprofiel. Niet erg duidelijk is in hoeverre het ontkalkingsproces is gevorderd, wat de rol van N en P is in dit systeem.

3.9.7. Bodemevolutie onder invloed van de vegetatie

In het buitenland werden tamelijk veel studies uitgevoerd, waarbij de bodem gekarakteriseerd werd onder verschillende vegetatietypes. Zo is er de studie van Boerboom (1963) die het verband onderzocht tussen bodem en vegetatie in de Wassenaarse duinen (Nederland), Smits (1989) te Meijendel (Nederland), Wardenaar & Sevink (1993) in de Wassenaarse duinen (Nederland). De publicatie van Van der Putten, Van Dijk & Peters (1993) toonden aan dat de degeneratie van *Ammophila* en *Hippophaë* veroorzaakt werd door bodem gerelateerde ziekten zoals nematoden en fungi.

Voor het Vlaamse kustgebied werden een aantal bodemprofielen onderzocht in de jonge systemen onder struweel in de Westhoek, in het venige en niet venige gedeelte van het Hannecart bos, waarbij in de eerste plaats de nadruk gelegd werd op morfologische en fysische bodemkenmerken.

3.9.8. Bodemevolutie onder invloed van fauna

Het is duidelijk dat momenteel het belangrijkste dier in het duinengebied het konijn is. Rutin (1983) (Noordwijkerhout, Nederland) beschreef 4 types van konijneactiviteit die het erosieproces in de duinen beïnvloeden: het lopen langs paden, het begrazen van vegetatie, het graven van kleine holletjes voor voedsel, het graven van holen en pijpen. De erodibiliteit van de bodem verhoogt door het bedekken van de bodem met los zand, door het losmaken van de bodem, door het invallen van een konijnehol, door een verhoging van de permeabiliteit van de bodem, door het doorbreken van waterafstotende lagen.

Ampe & Langohr (1993) toonden aan dat op de secundaire duinruggen zakachtige structuren van los materiaal voorkomen. Deze worden veroorzaakt door de opvulling van oude gallerijen. Ook wortels maken gebruik van deze gallerijen zodat op de duinruggen de biologisch actieve laag dieper reikt dan in de depressies.

Gegevens omtrent de invloed op de bodem van vee, vogels en kevers is uitermate beperkt.

3.9.9. Besluit

Bodemkundig onderzoek naar bodemprocessen en -evolutie in het duingebied langs de Vlaamse kust is uitermate beperkt. De meeste gegevens in dit hoofdstuk vermeld, handelen over onderzoek uitgevoerd in Nederland.

In Nederland zijn een aantal onderwerpen relatief goed onderzocht zoals de kolonisatie door algen in stuifkuilen, de hydrofobie in duingronden, monitoring en modellering van atmosferische depositie op en eutroficatie van duingebieden. Voor andere processen zoals begrazing, beweiding, maaien, afplaggen, enz. werd de invloed op de vegetatie nagegaan. De bodemfactor werd meestal niet of zeer beknopt onderzocht. Om de invloed van een aantal beheersmaatregelen op de bodem te kunnen volgen, moet bodemkundig onderzoek de ingreep voorafgaan.

Een aantal projecten (in Nederland) zijn veelbelovend maar de rapporten hiervan zijn nog niet gepubliceerd.

4. KARTERING

Dit hoofdstuk beperkt zich voorlopig tot een overzicht van de gebruikte karteringsmethoden voor het opstellen van de Belgische Bodemkaart en tot een beperkt overzicht van de gebruikte karteringsmethoden en van de geselecteerde bodemkenmerken voor bodemkarakterisatie in voornamelijk Nederlandse bodemkundige studies.

4.1. BODEMKARTERING VAN DE BELGISCHE BODEMKAART

Kaartblad Westkapelle 11,E & Het Zwin.

De Duinstreek werd voornamelijk gekarteerd aan de hand van oppervlaktewaarnemingen; er werd 1 boring per 5 ha uitgevoerd.

Kartering van het kaartblad nam een aanvang in 1949 en werd beëindigd in 1950. In 1952 werd een deel van het gebied gereviseerd.

De gekarteerde oppervlakte van het kaartblad het Zwin bedraagt 300 ha. Ze wordt ingenomen door de Zwinschor en door duinen.

Kaartblad Heist 11,W.

De Duinstreek werd voornamelijk aan de hand van oppervlakte waarnemingen gekarteerd, terwijl ongeveer 1 boring per 5 ha werd uitgevoerd.

De bodemkartering werd in 1950 begonnen en in 1952 beëindigd.

Kaartblad De Haan 10,W & Blankenberge 10,E.

De Duinstreek werd voornamelijk gekarteerd aan de hand van oppervlaktewaarnemingen (reliëf, vegetatie); er werden slechts enkele boringen uitgevoerd.

De bodemkaart van beide kaartbladen werd opgenomen in de loop van 1950.

Kaartblad Bredene 22,W.

Het kaartblad werd in verschillende perioden gekarteerd in de loop van de jaren 1948, 1949 en 1950; in 1953 werd een laatste gedeeltelijke revisie uitgevoerd.

Kaartblad Middelkerke 21,W & Oostende 21,E.

De Duinstreek werd voornamelijk aan de hand van oppervlakte waarnemingen gekarteerd, terwijl ongeveer 1 boring per 5 ha werd uitgevoerd.

De kartering van beide kaartbladen werd uitgevoerd in het najaar van 1948.

Kaartblad Nieuwpoort 36, W.

De Duinstreek werd voornamelijk aan de hand van oppervlakte waarnemingen gekarteerd; er werden slechts een beperkt aantal waarnemingen uitgevoerd.

De kartering werd uitgevoerd op verschillende tijdstippen gedurende de jaren 1947, 1948 en 1949.

Kaartblad Oostduinkerke 35, E.

gemiddeld werd er 1 boring per 5 ha uitgevoerd, omdat er een duidelijk verband bestaat tussen de aard van de bodem, topografie en natuurlijke plantengroei.

Kaartblad De Panne 35, W.

oppervlakte waarnemingen en een beperkt aantal controleboringen (1 per 5 ha) en aan de hand van de interpretatie van luchtfotos

Kaartblad De Moeren 50, W.

Het kaartblad werd in 1948 en 1949 gekarteerd; een gedeeltelijke revisie en aanvullende kartering werden uitgevoerd in 1957.

Kaartblad Veurne 50, E.

Het kaartblad werd gekarteerd in de periode 1947-1949; 2 boringen per ha tot ca. 1.25 m; grondige revisie en herkartering van het zuidelijk deel werd uitgevoerd in 1956 - 1957, evenals een gedeeltelijke revisie van het gebied rond de agglomeratie van Veurne.

4.2. GEBRUIKTE KARTERINGSMETHODEN TERUGGEVONDEN IN DE LITERATUUR

Duijn, R., 1987.

Studiegebied : Noordhollands duinreservaat nabij Castricum ("De oceaan" en "Het Vogelduin").

Profielen : boringputjes tot 50 cm diepte, uitzonderlijk tot 80 cm diepte.

Profielbeschrijving :

- Humusprofielen : Klinka (1981);
- Bodemprofielen : FAO (1977) + aanpassingen : van de aanwezige horizonten : dikte, kleur, aanwezigheid van schelpfragmenten
- Kwantitatieve bepalingen : kalkgehalte, 2N HCl, op terrein; pH, pH water, pH KCl, op terrein

Laboratoriumwerk :

humusgehalte, geschat in labo gesteund op ijkreeks

Micromorfologisch onderzoek : voor representatieve plaatsen werden slijpplaatjes gemaakt en onderzocht.

Voorstelling van de gegevens :

11 bodem-, 4 vegetatie- en 5 fysiografische variabelen worden gebruikt voor de verdere analyse :
verband bodem-vegetatie
verband fysiografische ligging-bodem enz.

Smits, P., P.D. Jungerius & H.J. Mucher, 1989.

Studiegebied : Meijendel, Nederland.

Profielen : guts en boringputje - 40 cm diepte.

Profielbeschrijving :

- Humusprofielen : Klinka (1981) + aanpassingen;
- aanwezige horizonten (+ symbolen) : dikte (in cm), begrenzing (vorm en duidelijkheid); materiaal/bleking of verbruining/gelaagdheid; kleur Munsell; vochttoestand (kwalitatief); beworteling;
- levende en dode fauna : soort en hoeveelheid; droppings; schimmels;
- dikte van de kluit in cm;
- ontkalkingsdiepte HCl 2N;
- bijzonderheden.

Laboratoriumwerk :

humusgehalte : gloeiverlies, 8 uur, 500°C;

pH : pH H₂O, pH CaCl₂, 10gr soil/25 ml vloeistof;

kalktoestand : bruisen met 2N HCl.

Micromorfologisch onderzoek : slijpplaatjes werden gemaakt en bestudeerd voor representatieve bodems.

Voorstelling van de gegevens :

Duinlandschapskaart 1 : 5000;

Legende gesteund op

geomorfologie : parameters : relief intensiteit, expositie, hoogte, ligging t.o.v. freatisch vlak

vegetatie : parameters : belangrijkste vegetatietype, structuur

Brand, Mucher & Jungerius, 1989.

Studiegebied : Noordhollands Duinreservaat, ten ZW van Castricum

Profielen : langsheen 2 transecten werd om de 5 meter een boringputje gemaakt tot ± 40 cm diep (totaal 110 putjes). Het diepere profiel werd bekeken door middel van een guts.

Profielbeschrijving : FAO (1977) : horizonten, dikte, begrenzing, beworteling, mottles; pH H₂O (1:2.5) bepalingen op terrein (0-5 en 5-10 cm diepte).

Laboratoriumwerk :

humusgehalte, geschat in labo gesteund op ijkreeks;

hydrofobie (0-3, 3-6, 6-10, 10-15, 15-25, 25-35, > 35 cm diepte) (WDPT = Water Drop Penetration Time).

Voorstelling van de gegevens :

- 1) Uitwerken van de relatie bodemparameters en vegetatietype (d.m.v. statistische analyse)
- 2) Komen tot een legende voor een bodemkaart gebaseerd op de geomorfologische en pedogene dynamiek + kartering van het gebied.

eenheden :

stabiele terreindelen :

- jong gestabiliseerde terreindelen
- oude profielen in droge valleien
- oude profielen in natte valleien

Terreindelen waar materiaal verdwijnt :

- enige bodemvorming is nog mogelijk
- snellere erosie
- terreindelen net onder de top van een steile helling

Terreindelen waar materiaal accumuleert :

- accumulatie door wind; overstuiving is geleidelijk
- accumulatie door wind : is sneller of sprongsgewijs : begraven profielen
- accumulatie door colluvatie : traag : ontwikkeling van een dikke A-horizont met hoog OM gehalte
- accumulatie door colluvatie : snel : slecht ontwikkelde A-horizont met laag OM gehalte
- accumulatie door colluvatie : sprongsgewijs : begraven profiel

Bodem- en geomorfologische kaarten : 1 : 1 000

5. REFERENTIES

In deze lijst zijn de referenties van hoofdstukken 2, 3 en 4 opgenomen.

Adriani, M.J. & J.H.J. Terwindt, 1974. Sand stabilisation and dune building. Rijkswaterstaat publ. nr. 19, Staatsuitgeverij, Den Haag.

Ampe, C., 1991. Onderzoek van de bodemfactor in functie van het beheer. Verslag van de 2de fase, partim bodemkunde, van het onderzoeksproject Natuurontwikkelingsplan voor de Belgische kust, in opdracht van Instituut voor Natuurbehoud, pp. 177.

Ampe, C. & R. Langohr, 1993. Distribution and dynamics of shrub roots in recent coastal dune valley ecosystems of Belgium, *Geoderma*, 56, pp. 37-55.

Assendorp, D. & H.J. Mucher, 1990. Dynamiek van de duinen weerspiegeld in een bodemprofiel met begraven bodems in het duingebied Meijendel, Den Haag. *De Levende Natuur*, 2, pp. 40-45.

Atkinson, 1973. Observations on the phosphorus nutrition of two sand dune communities at Ross Links. *J. Ecol.*, 61, pp. 117-133.

Baes, R., 1989. Onderzoek naar de beheersrelevante milieufactoren in enkele sleutelgebieden. Verslag van de 1ste fase, partim bodemkunde, van het onderzoeksproject Natuurontwikkelingsplan voor de Belgische kust, in opdracht van Instituut voor Natuurbehoud, pp. 116.

Bakker, T.M.W., 1981. Nederlandse kustduinen : geohydrologie. Pudoc, Wageningen.

Bakker, T.W.M., 1990. The geohydrology of coastal dunes. *Catena Supplement* 18, pp. 109-119.

Bakker, T.W.M., J.A. Klijn & F.J. Van Zadelhoff, 1979. Duinen en duinvalleien. Een landschapsecologische studie van het Nederlandse duingebied. Pudoc, Wageningen, pp. 201.

Ball, D.F. & W.M. Williams, 1974. Soil development on coastal dunes at Holkham, Norfolk, England. 10th Int. Congress of Soil Science - Moscow. *Transactions*, VI, pp. 380-386.

Barnes, R.S.K. (ed.), 19. The coastline. A contribution to our understanding of its ecology and physiography in relation to land-use and management and pressures to which it is subject. John Wiley & Sons.

Berendse, F., 1988. De nutriëntenbalans van droge zandgrondvegetaties in verband met de eutrofiëring via de lucht. Deel 1 : Een simulatiemodel als hulpmiddel bij het beheer van vochtige

heidevelden. Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek (CABO), Wageningen.

Bisdom, E.B.A., L.W. Dekker & J.F.Th. Schoute, 1993. Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure. *Geoderma*, 56, pp. 105-118.

Boerboom, J.H.A., 1963. Het verband tussen bodem en vegetatie in de Wassenaarse duinen. *Boor en spade*, 13, pp. 120-155.

Brand, M.H., H.J. Mucher & P.D. Jungerius, 1989. Onderzoek naar voor de vegetatie relevante bodemeigenschappen, plus bodemkartering toegespitst op geomorfologische dynamiek. Rapport PWN en UvA/FGBL, pp. 60.

Breeuwsma, A., J.H.M. Wösten, J.J. Vleeshouwer, A.M. Van Slobbe & J. Bouma, 1986. Derivation of land qualities to assess environmental problems from soil surveys. *Soil Science Society of America Journal*, 50, pp. 186-190.

Bregt, A.K., J. Denneboom, J. Stolp & J.J. Vleeshouwer, 1986. BIS, an information system for soil survey and research. Transactions of the XIII Congress of the International Society of Soil Science, Hamburg, August 1986, Volume III, pp. 1064-1065.

Brussaard, L. & L.T. Runia, 1984. Recent and ancient traces of scarab beetle activity in sandy soils of the Netherlands, *Geoderma*, 34, pp. 229-250.

Butler, B.E., 1958. The diversity of concepts about soils. *J. Austr. Inst. Agric. Sci.*, pp. 14-20.

Carter, R.W.G., T.G. F. Curtis & M.J. Sheehy-Skeffington, 1992. Coastal dunes : Geomorphology, Ecology and Management for Conservation. Proceedings of the third European dune congress, Galway, Ireland, 17-21 June. Balkema, Rotterdam, Brookfield.

DeBano, L.F., 1981. Water repellent soils : a state-of-the-art, USDA, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, General technical report PSW-46, pp. 21.

Dekker, L.W. & P.D. Jungerius, 1990. Water repellency in the dunes with special reference to the Netherlands, *Catena Supplement* 18, pp. 173-183.

Dekker, L.W. & C.J. Ritsema, 1994a. How water moves in a water repellent sandy soil. 1. Potential and actual water repellency. *Water Resources Research*, 30, 9, pp. 2507-2517.

Dekker, L.W. & C.J. Ritsema, 1994b. Fingered flow : The creator of sand columns in dune and beach sands. *Earth surface processes and landforms*, 19, pp. 153-164.

- Dekkers, J.M.J., L.W. Dekker & A.F. Van Holst, 1986. Waterwingebied Goedereede (Ouddorp). Onderzoek van uitgemijnde duinzandgronden naar de relatie tussen de bodemkundig-bodemfysische eigenschappen en de mate van hydrofobie. Stichting voor Bodemkartering, rapport nr. 1897, pp. 61.
- Delecour, F., 1980. Essai de classification pratique des humus. *Pédologie*, XXX, pp. 225-241.
- Depuydt, F., 1966. Analyse van de strand- en duinsedimenten in de Belgische Westhoek. *Acta geographica Lovaniense*, IV, pp. 68-82.
- Depuydt, F., 1967. Bijdrage tot de geomorfologische en fyto-geografische studie van het domaniaal natuurreservaat De Westhoek. Publicaties van de dienst domaniale natuurreservaten en natuurbescherming, Werken nr. 3, pp. 101.
- Depuydt, F., 1972. De Belgische strand- en duinformaties in het kader van de geomorfologie der zuidoostelijke Noordzeekust (+ English summary). *Verhandelingen van de Koninklijke Academie voor Wetenschappen, Letteren en Schone Kunsten van België. Klasse der wetenschappen*, XXXIV, 122, pp. 228.
- De Vries, W. & G.J. Heij, 1991. Critical loads and critical levels for the environmental effects of air pollutants. *Acidification Research in the Netherlands : Final Report second phase Dutch Priority Programme on Acidification. Studies in Environmental Science 46* (eds G.J. Heij & T. Schneider), pp. 205-214. Elsevier, Amsterdam.
- De Vries, W., J.A. Klijn & J. Kros, 1994. Simulation of the long-term impact of atmospheric deposition on dune ecosystems in the Netherlands. *Journal of Applied Ecology*, 31, pp. 59-73.
- De Wit, C.T., W. Dijkshoorn & J.C. Noggle, 1963. Ionic balance and growth of plants. *Verslagen Landbouwkundig Onderzoek*, 69.15.
- Dopheide, J.C.R. & J.M. Verstraten, 1994. De invloed van de atmosferische depositie op de bodem en de bodemwatersamenstelling in de droge duinen. *Excursiegids, Meijendel, Nederlandse Bodemkundige Vereniging*, 3-6-1994, pp. 43-47.
- Duijn, R., 1987. Verslag over de relaties tussen bodem, vegetatie en fysiografische ligging in het noordhollands duinreservaat nabij Castricum. Deel 1. Fysisch Geografisch en Bodemkundig Laboratorium, U. v. A., pp. 65.
- FAO/UNESCO, 1975, 1977. Guidelines for profile description. Resources Development and Conservation Service. Land and Water Development Division.

- Fay, P.J. & D.W. Jeffery, 1992. The foreshore as a nitrogen source for marram grass, pp. 177-188. In : Carter, Curtis & Sheehy-Skeffington (eds.), Coastal dunes, Balkema, Rotterdam.
- Hassouna, M.G. & P.F. Wareing, 1964. Possible role of rhizosphere bacteria in the nitrogen nutrition of *Ammophila arenaria*. *Nature*, 202, pp. 467-469.
- Heil, G.W., M.J.A. Werger, W. De Mol, D. Van Dam & B. Heijne, 1988. Capture of atmospheric ammonium by grassland canopies. *Science*, 239, pp. 764-765.
- Heil, G.W., F. Van der Meulen & M.J. Ten Harkel, 1990. Invloed van atmosferische depositie op de ontwikkeling van droge duingrasland vegetaties. *Geografisch Tijdschrift, KNAG, Nieuwe reeks*, XXX, 5, pp. 427-432.
- Hewett, D.G., 1985. Grazing and mowing as management tools on dunes. *Vegetatio*, 62, pp. 441-447.
- Hoekstra, C. & J.N.B. Poelman, 1982. Dichtheid van gronden gemeten aan de meest voorkomende bodemeenheden in Nederland. Stichting voor Bodemkartering, Rapport nr. 1582, Wageningen.
- Houdijk, A.L.F.M., 1993. Atmospheric ammonium deposition and the nutritional balance of terrestrial ecosystems. PhD Dissertation Catholic University, Nijmegen, the Netherlands.
- Jungerius, P.D., 1989. Geomorphology, Soils and Dune Management, pp. 91-98. In : Van der Meulen, Jungerius & Visser (eds.), Perspectives in coastal dune management, SPB Academic publishing bv, The Hague, The Netherlands, pp. 333.
- Jungerius, P.D., 1990. The characteristics of dune soils. In : T.M.W. Bakker, P.D. Jungerius & J.A. Klijn (eds.). Dunes of the European coasts. *Catena Supplement*, 18, pp. 155-162.
- Jungerius, P.D., 1994. Watererosie. *Excursiegids, Meijendel, Nederlandse Bodemkundige Vereniging*, 3-6-1994, pp. 9-14.
- Jungerius, P.D. & F. Van der Meulen, 1988. Erosion processes in a dune landscape along the Dutch coast. *Catena*, 15, 3/4, pp. 217-228.
- Jungerius, P.D. & J.H. De Jong, 1989. Variability of water repellency in the dunes along the Dutch coast. *Catena*, 16, pp. 491-497.
- Jungerius, P.D., J.V. Witter & J. Van Boxel, 1991. The use of standard meteorological data to predict blowout development in the coastal dunes of the Netherlands.

Jungerius, P.D., F. Van der Meulen, J.H. Loedeman & J. Stuiver, 1992. A geometrical approach to monitoring blowout development from aerial photographs using a Geographical Information System (GIS), pp. 129-138. In : Carter, Curtis, Sheehy-Skeffington (eds.), Coastal dunes, Balkema, Rotterdam.

KNMI/RIVM, 1988. Chemische samenstelling van de neerslag over Nederland. Jaarrapport, 127 pp., National Institute of Public Health and Environmental Protection/Royal Netherlands Meteorological Institute, De Bilt.

Kapteyn, K., 1988. Effecten van afplaggen in vochtige duinvalleien, op Terschelling in het bijzonder. Studentenverslag Vakgroep Bijzondere Plantkunde/UvA, Amsterdam.

Khedr, M.M.K.M., 1993. Study of water repellency along a soil chronosequence in the coastal dunes of the Westhoek Nature Reserve (province of West-Flanders, Belgium), M.Sc. Thesis, ITC Eremology, RUG, pp. 143.

Kleijn, C.E., G. Zuidema & W. De Vries, 1980. De indirecte effecten van atmosferische depositie op de vitaliteit van Nederlandse bossen. Deel 2. Depositie, bodemeigenschappen en bodemvochtigheidsamenstelling van acht Douglasopstanden. Stichting voor Bodemkartering, Rapport nr. 2050, Wageningen.

Klijn, J.A., 1981. Nederlandse kustduinen. Geomorfologie en bodems. Pudoc, Wageningen, pp. 188.

Klinka, K., R.N. Green, R.L. Towbridge & L.E. Lowe, 1981. Taxonomic classification of humus forms in ecosystems of British Columbia. First approximation. Land management report, nr. 8, Ministry of forests, Province of British Columbia, Canada, pp. 53.

Koerselman, W., 1992. The nature of nutrient limitation in Dutch dune slacks, pp. 189-199. In : Carter, Curtis & Sheehy-Skeffington (eds.), Coastal dunes, Balkema, Rotterdam.

Kooistra, M.J., 1971. De chemische samenstelling van de neerslag op Terschelling in het algemeen en de invloed hiervan op de vegetatie. Utrecht, Rijksuniversiteit, Berichten Fysisch Geografische Afdeling nr. 4.

Landon, J.R., ed., 1991. Booker Tropical Soil Manual. Longman Scientific & Technical, pp. 474.

Leeftang, K>W>H>, 1938. De chemische samenstelling van den neerslag in Nederland. Chemisch Weekblad, 35, pp. 658-664.

G.J. Maas, C.A. Van den Berg & A. Oosterbaan, 1993. Vervolgonderzoek naar oorzaken van de

- verminderde vitaliteit van zomereik in het duingebied van Nederland. IBN-rapport 046, pp. 46.
- Maseki, N.G.M., 1991. Impact of the edaphic factor on the plant ecology in the Westhoek coastal dune nature reserve, Belgium. M.Sc. Thesis, ITC for post-graduate Soil Scientists, RUG, pp. 193.
- McBride, N. & P. Wilson, 1991. Characteristics and development of soils at Magilligan foreland, Northern Ireland, with emphasis on dune and beach sand soils. *Catena*, 18, pp. 367-378.
- Michiels, P., R. Hartmann & E. De Strooper, 1989. Comparisons of the unsaturated hydraulic conductivity of a coarse-textured soil as determined in the field, in the laboratory, and with mathematical models. *Soil Science*, 147, 4, pp. 299-304.
- Mucher, H.J., 1990. Micromorphology of dune sands and soils. *Catena Supplement* 18, pp. 163-171.
- Pluis, J.L.A. & B. De Winder, 1989. Spatial patterns in algae colonization of dune blowouts. *Catena*, 16, pp. 499-506.
- Pluis, J.L.A. & J. Lamers, 1990. Algen in verstuivingsgebieden op Schiermonnikoog. *Geografisch Tijdschrift, KNAG, Nieuwe reeks*, XXIV, 1990, 5, pp. 406-413.
- Pluis, J.L.A. & J.H. Van Boxel, 1993. Wind velocity and algal crusts in dune blowouts. *Catena*, 20, pp. 581-594.
- Polman, G.K.R., 1978. Duinvalleivegetaties in het Grevelingen bekken? Een raakvlak van vegetatiekunde en cultuurtechniek. *Vakblad Biol.*, 1, 58, 2.
- Ranwell, D.S., 1972. Ecology of salt marshes and sand dunes. London, Chapman and Hall, pp. 251.
- Ritsema, C.J., L.W. Dekker, J.M.H. Hendrickx & W. Hamminga, 1993. Preferential Flow Mechanism in a Water Repellent Sandy Soil. *Water Resources Research*, 29, 7, pp. 2183-2193.
- Ritsema, C.J. & L.W. Dekker, 1994a. Soil moisture and dry bulk density patterns in bare dune sands. *Journal of Hydrology*, 154, pp. 107-131.
- Ritsema, C.J. & L.W. Dekker, 1994b. How water moves in a water repellent sandy soil. 2. Dynamics of fingered flow. *Water Resources Research*, 30, 9, pp. 2519-2531.
- Rutin, J., 1983. Erosional processes on a coastal sand dune, De Blink, Nordwijkerhout, The Netherlands. Doctoraatsthesis, U.v.A., pp. 144.

- Rutin, J., 1992. Geomorphic activity of rabbits on a coastal sand dune, De Blink dunes, the Netherlands. *Earth surface processes and landforms*, 17, pp. 85-94.
- Salter, P.J. & Williams, J.B., 1965. The influence of texture on the moisture characteristics of soils. II. Available-water capacity and moisture release characteristics. *Journal of Soil Science*, 16, 2, pp. 310-317.
- Schuurkens, R.J.J.M., 1987. Acidification of surface waters by atmospheric deposition. Thesis Nijmegen.
- Slings, Q.L., 1990. Plagexperimenten in een kalkrijke vochtige duinvallei. In : Koerselman, W., M.A. den Hoed, A.J.M. Jansen & W.H.O. Ernst (red.). *Natuurwaarden en waterwinning in de duinen; mogelijkheden voor behoud, herstel en ontwikkeling van natuurwaarden*. KIWA Mededelingen 114, KIWA, Nieuwegein, pp. 157-164.
- Slings, Q.L., 1994. De kalkgraslanden van de duinen. *De levende natuur*, pp. 120-130.
- Smits, P., P.D. Jungerius & M.J. Mucher, 1989a. Duinbodems en hun vegetatie. Deel 1. Een onderzoek naar relaties, Rapport Fysisch Geografisch en Bodemkundig Laboratorium, U.v. A., pp. 34.
- Smits, P., P.D. Jungerius & M.J. Mucher, 1989b. Duinbodems en hun vegetatie. Deel 2. Micromorfologisch onderzoek van enkele duinbodems in Meyendel, Rapport Fysisch Geografisch en Bodemkundig Laboratorium, U.v. A., pp. 25.
- Snater, H., 1989. De invloed van konijnen op de bosstructuur en natuurlijke verjonging in het Noordhollandse Duinreservaat. *PWN-Nieuwsbrief* (6), pp. 1-26.
- Stuyfzand, P.J., 1984. Effecten van vegetatie en luchtverontreiniging op de grondwaterkwaliteit in kalkrijke duinen bij Castricum : lysimeter waarnemingen. *H₂O*, 17, pp. 152-159.
- Ten Harkel, M.J., 1992. De ecohydrologische meetopstelling. Studie naar de chemische, fysische en biologische processen op een zuidhelling in de binnenduinen van Meijendel. U.v.A., N.V. Duinwaterbedrijf, Zuid-Holland, pp. 223.
- Ten Harkel, M.J., G.W. Heil, H.G.J.M. Van der Hagen & J.V. Witter, 1994. Abiotic Interactions in dry dune ecosystems. *Excursiegids, Meijendel, Nederlandse Bodemkundige Vereniging*, 3-6-1994, pp. 37-42.
- Tinhout, A. & M.J.A. Werger, 1988. Fine roots in a dry *Calluna* heathland. *Acta Botanica Neerlandica*, 37, pp. 225-230.

- Van Dam, D., 1990. Atmospheric deposition and nutrient cycling in chalk grassland. PhD. thesis, University of Utrecht.
- Van den Ancker, J.A.M., P.D. Jungerius & L.R. Mur, 1985. The role of algae in the stabilization of coastal dune blowouts. *Earth Surface Processes and Landforms*, 10, pp. 189-192.
- Van der Meulen, F., P.D. Jungerius & J. Visser, 1989. Perspectives in coastal dune management. *Proceedings of the European Symposium, Leiden, September 7-11, 1987*. SPB Academic Publishing, pp. 333.
- Van der Putten, W.H., C. Van Dijk & B.A.M. Peters, 1993. Plant-specific soil-borne diseases contribute to succession in foredune vegetation, *Nature*, 362, 4 March 1993, pp. 53-55.
- Van Dijk H.W.J. & A.P. Grootjans, 1993. Wet dune slacks : decline and new opportunities. *Hydrobiologia*, 265, pp. 281-304.
- Van Haesebroeck, V., 1994. Study of the peaty and saltmarsh soils in nature reserves along the Belgian Coast : Hannecart forest and The Zwin. M.Sc. Thesis, ITC Soil Science, RUG, pp. 199.
- Van Soesbergen, G.A., C. Van Wallenburg, K.R. Van Lynden & H.A.J. Van Lanen, 1986. De interpretatie van bodemkundige gegevens; systeem voor de geschiktheidsbeoordeling van gronden voor akkerbouw, weidebouw en bosbouw, Wageningen. Stiboka, rapport nr. 1967.
- Van Wallenburg, C. & G.A. Vos, 1989. Waterafstotende duinzandgronden tussen Noordwijk en Zandvoort. Stichting voor Bodemkartering, rapport nr. 2079, pp. 27.
- Veer, M.A.C. , 1991. Oeco-hydrologisch onderzoek, onderdeel bodemkunde. De relatie tussen vegetatie en abiotische (bodem)parameters in vier duinvalleien. Deel I. Inventariserende bodemanalyse, - kartering en -voorspelling.
- Veer, M.A.C., L.H.W.T. Geelen & M. Van Til, 1991. Oeco-hydrologisch onderzoek, onderdeel bodemkunde. De relatie tussen vegetatie en abiotische (bodem)parameters in vier duinvalleien. Deel II. Analyse van gekoppelde bodem- en vegetatie-opnamen met behulp van het computerprogramma CANOCO. Gemeentewaterleidingen Amsterdam.
- Veer, M.A.C., F. Van der Meulen & A.M. Kooijman, 1991. Monitoring van effectgerichtte maatregelen tegen verzuring en eutrofiering in open droge duinen. Tussenrapportage 1991. Vakgroep Fysische Geografie en Bodemkunde/UvA, Amsterdam, pp. 25.
- Vermeulen, A.J., 1977. Emissieonderzoek met behulp van regenvangers; opzet, ervaringen en resultaten. Dienst voor Milieuhygiëne, Provinciale Waterstaat N-Holland, pp. 109.

- Vermoortel, Y., 1990. Soil and plantroot characterization of a coastal dune valley ecosystem in the Westhoek nature reserve. M.Sc. Thesis, ITC for post-graduate Soil Scientists, RUG, pp. 217.
- Vertegaal, C., I.N.C. Van der Salm & M.P.J.M. Jansen, 1989. Omvang en oorzaken van effecten van atmosferische depositie in de duinen. Resultaten van een enquête onder duinkenners langs de Nederlandse kust. Buro Duin & Kust, pp. 47. + bijlagen.
- Vertegaal, C.T.M., E.G.M. Louman, T.M.W. Bakker, J.A. Klijn & F. Van der Meulen, 1991, Monitoring van effectgerichte maatregelen tegen verzuring en eutrofiëring in open droge duinen. Prae-advies., Deskundigenteam Effectgerichte Maatregelen Verzuring Droge Duinen. Bureau, Duin en Kust, Leiden, pp. 151 + bijlagen.
- Vos, G.A., 1984. Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50 000; toelichting bij kaartblad 37 West, Rotterdam. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Wardenaar, C.P. & J. Sevink, 1992. A comparative study of soil formation in primary stands of Scots Pine (planted) and Poplar (natural) on calcareous dune sands in the Netherlands. *Plant and Soil*, 140, pp. 190-210.
- Wild, A. (ed.), 1988. Russell's soil conditions and plant growth. Longman Scientific & Technical, 11th ed., pp. 991.
- Willis, A.J., 1963. Braunton Burrows : the effects on the vegetation of the addition of mineral nutrient to dune soils. *Journal of ecology*, 51, pp. 353-374.
- Willis, A.J. & E.W. Yemm, 1961. Braunton Burrows : mineral nutrient status of the dune soils. *Journal of ecology*, 49, pp. 377-390.
- Witter, J.V., P.D. Jungerius & M.J. Ten Harkel, 1991. Modelling water erosion and the impact of water repellency. *Catena*, 18, pp. 115-124.
- Wright, T.W. 1955. Profile development in the sand dunes of Culbin forest, Morayshire. I. Physical properties. *Journal of Soil Science*, 6, 2, pp. 270-283.

BIJLAGE 1 : LEGENDE VOOR DE DUINEN - BELGISCHE BODEMKAART

Serie A : Duinen : Duingebieden met zeer sterke hoogteverschillen. Zij omvatten de al of niet gefixeerde hoge duinen en de kleine pannen die er tussen liggen.

Profiel : grof duinzand, droog tot zeer droog, behalve in de kleine pannen; onder vegetatie is de bovengrond meestal geelbruin tot lichtbruin ten gevolge van humusaanrijking; in sommige profielen worden humeuze banden aangetroffen, het zijn vermoedelijk oude overstoven begroeiingsoppervlakken.

Serie B : Duingronden : Duingebieden met zwakke hoogteverschillen. Zij omvatten de grotere duinpannen en de lage duintjes (hoogteverschillen maximum 2 meter). De indeling in bodemtypes steunt op de vochtigheidsgraad van de bodems.

- B1 : droge duingrond;
- B2 : middelmatig vochtige duingrond;
- B3 : vochtige duingrond.

Profiel : grof duinzand dat meestal kalkrijk is.

- B1 : De bovenste humeuze laag is zeer lichtbruin; ze zijn kalkrijk; roestvlekken op > 90 cm; vegetatie die tegen droogte bestand is : Duindoorn, grassen en mossen;
- B2 : tussenin B1 en B3; vochtiger dan B1; roestvlekken op > 40 cm;
- B3 : de bovengrond kan ontkalkt zijn; bovenste humeuze laag heeft een donkere bovengrond die soms zelfs lichtelijk verveend is; roestverschijnselen tot in de bovengrond; vegetatie dikwijls moerassig.

Serie C : Geëgaliseerde duingronden : hiertoe behoren de kunstmatig vereffende duingronden, de zandige gronden van de strandvlakte in het NO van de duinen te Oostduinkerke, alsmede die gronden uit het overgangsgebied tussen de Polder- en de Duinstreek waarvan het duinzanddek meer dan 100 cm dik is.

De indeling in bodemtypes steunt op de vochtigheidsgraad van de bodems.

- C1 : geëgaliseerde droge duingrond;
- C2 : geëgaliseerde middelmatig vochtige duingrond;
- C3 : geëgaliseerde vochtige duingrond.

Profiel : homogene zandprofielen; humusgehalte neemt toe met de vochtigheid;

- C1 : weinig humeuze lichtbruine bovengrond; roestverschijnselen op > 90 cm;
- C2 : tussenin C1 en C3; roestverschijnselen op > 40 cm;
- C3 : bovengrond is sterk humeus of soms licht verveend; roestverschijnselen tot in de bouwvoor; zand op geringe diepte is blauwgrijs ten gevolge van de voortdurende hoge waterstand.

Serie D : Overgangsgronden : dit zijn de overstoven poldergronden. Ze worden gekenmerkt door een dek dat bestaat uit zuiver duinzand of ook met polde~~der~~derklei vermengd duinzand dat rust op polderafzettingen. Tot deze serie behoren ook de slibhoudende~~de~~de zandgronden van de strandvlakte in het NO van het blad Oostduinkerke.

Da : zand, op variënde diepte rustend op polderafzettingen

Db : slibhoudend zand, op variërende diepte doorgaans rusten~~de~~nd op polderafzettingen

Profiel : bovengrond is meestal middelmatig tot goed humeus, ~~op~~ op sommige plaatsen zelfs sterk humeus. De dikte van het al of niet slibhoudend dek is zeer ver~~schillend~~ershillend; in de Db profielen bedraagt ze doorgaans meer dan 60 cm. De textuur van het on~~derliggend~~derliggend materiaal gaat van vrij grof strandzand tot zware klei. De bovengrond van deze profie~~len~~elen is soms ontkalkt.

Op sommige kaartbladen worden de series A, B en C onderver~~deeld~~deeld in 4 klassen :

- .0 : zeer droog;
- .1 : droog;
- .2 : middelmatig vochtig;
- .3 : vochtig.

BIJLAGE 2 : RELEVANTE PROFIELEN UIT DE VOORSTUDIES VAN DE BELGISCHE BODEMKAART VOOR DE DUINSTREEK

De Leenheer, L. & M. Van Ruymbeke¹. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 11,E Westkapelle, I.W.O.N.L., pp. 166.

enkel de bodems van de overgangsgronden werden bemonsterd : types S3M, S2M, M3M, M3zK

Type S3M : overgangsgrond, pp. 5-11; profielput nr. 13;
Type S2M : overgangsgrond, pp. 12-17; profielput nr. 14;
Type M3M : overgangsgrond, pp. 18-23; profielput nr. 10;
Type M3zK : overgangsgrond, pp. 24-29bis; profielput nr. 12;
Per profiel : bespreking, profielbeschrijving + analyseresultaten

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 11,E Westkapelle, Analyseresultaten, I.W.O.N.L..

Dezelfde tabel met de analyseresultaten wordt hier getoond als in : De Leenheer, L. & M. Van Ruymbeke. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 11,E Westkapelle, I.W.O.N.L., pp. 166.

De Leenheer, L. & F. Appelmans. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 11,W Heist, I.W.O.N.L., 79 pp.

Enkel een profiel van het type Db werd bemonsterd : overgangsgronden.

type Db (oud symbool M3z) : pp. 5-6; profielput nr. 14
Per profiel : bespreking.

De Caestecker, K. & M. Van Ruymbeke. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 11,W Heist, Analyseresultaten en profielbeschrijvingen, I.W.O.N.L..

type Db (oud symbool M3z) : profielput nr. 14.

Profielbeschrijving + analyseresultaten.

(Dit is hetzelfde profiel besproken in : De Leenheer, L. & F. Appelmans. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 11,W Heist, I.W.O.N.L., 79 pp.)

De Leenheer, L. & M. Van Ruymbeke. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 10,E Blankenberge en 10,W De Haan, I.W.O.N.L., pp. 39.

type D1E : geëgaliseerde duingronden : pp. 2, profielput nr. 1;

¹jaartal van publicatie is onbekend

type S2K : overgangsground : pp. 3, profielput nr. 2;
type M2Z : overgangsground : pp. 4, profielput nr. 3;
Per profiel : bespreking.

De Caestecker, K. & M. Van Ruymbeke. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 10,E Blankenberge en 10,W De Haan, Analyse-resultaten en profielbeschrijvingen, I.W.O.N.L., 88 pp.

type D1E : geëgaliseerde duingronden : pp. 2, profielput nr. 1;
type S2K : overgangsground : pp. 3, profielput nr. 2;
type M2Z : overgangsground : pp. 4, profielput nr. 3;
Per profiel : profielbeschrijving + analyseresultaten.
(Dit zijn dezelfde profielen besproken in "De Leenheer, L. & M. Van Ryumbeke. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 10,E Blankenberge en 10,W De Haan, I.W.O.N.L., pp. 39."

De Leenheer, L. & M. Van Ryumbeke. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 22,W Bredene, I.W.O.N.L., pp. 191.

type D2E : Geëgaliseerde duingrond : pp. 5-11; profielput nr. 54;
type D3E : Geëgaliseerde duingrond : pp. 12-17; profielput nr. 55;
type S2Z : overgangsground : pp. 18-23; profielput nr. 36;
type S2L : overgangsground : pp. 24-29; profielput nr. 34;
type M2L : overgangsground : pp. 30-35; profielput nr. 33;
type M2K : overgangsground : pp. 36-40; profielput nr. 35;

Per profiel : bespreking + profielbeschrijving + analyseresultaten.

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 22,W Bredene, Analyse-resultaten, I.W.O.N.L..

type D2E : Geëgaliseerde duingrond : profielput nr. 54;
type D3E : Geëgaliseerde duingrond : profielput nr. 55;
type S2Z : overgangsground : profielput nr. 36;
type S2L : overgangsground : profielput nr. 34;
type M2L : overgangsground : profielput nr. 33;
type M2K : overgangsground : profielput nr. 35;

Per profiel : analyseresultaten.

(Dit zijn dezelfde profielen besproken in : De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 22,W Bredene, Analyse-resultaten, I.W.O.N.L..)

De Leenheer, L. & W. Welvaert. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 21,E Oostende en 21,W Middelkerke, I.W.O.N.L., pp. 96.

type S2K : overgangsground : pp. 92-96; profielput nr. 31 (21 W/1);

Bespreking + profielbeschrijving + analyseresultaten.

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 21,E Oostende en 21,W Middelkerke, Analyse-resultaten, I.W.O.N.L..

type S2K : overgangsground : profielput nr. 31 (21 W/1).

analyseresultaten.

(Dit is hetzelfde profiel besproken in : De Leenheer, L. & W. Welvaert. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 21,E Oostende en 21,W Middelkerke, I.W.O.N.L., pp. 96.)

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 36,W Nieuwpoort, I.W.O.N.L., pp. 129.

type D3E : geëgaliseerde duingrond : pp. 97-101; profielput nr. 24;

type D1 : duingrond : pp. 102-105; profielput nr. 35;

type M3K : overgangsground : pp. 106-110; profielput nr. 36;

type M2K : overgangsground : pp. 111-115; profielput nr. 67;

type M2Z : overgangsground : pp. 116-119; profielput nr. 64.

Per profiel : bespreking + profielbeschrijving + analyseresultaten.

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 35,E Oostduinkerke, I.W.O.N.L., pp. 76.

type D3 : vochtige duingrond, pp. 50-54; profielput nr. 297, 318, 324;

type S2K : overgangsground, pp. 55-58; profielput nr. 317;

type KD : overgangsground, pp. 59-63; profielput nr. 333, 325 (enkel analyseren);

type S2 : overgangsground, pp. 64-67; profielput nr. 314;

type D1E : geëgaliseerde duingrond; pp. 68-70; profielput 30;

type D2E : geëgaliseerde duingrond; pp. 69,71,72; profielput 29;

type D3E : geëgaliseerde duingrond; pp. 71,73-76; profielput 31.

Per profiel : algemene bespreking + profielbeschrijving + analyseresultaten.

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 35,E Oostduinkerke, Analyse-resultaten, I.W.O.N.L..

type D3 : vochtige duingrond, profielput nr. 297;

type S2K : overgangsground, profielput nr. 317;

type KD : overgangsground, profielput nr. 333;

type S2 : overgangsground, profielput nr. 314;

type D1E : geëgaliseerde duingrond; profielput 30;

type D2E : geëgaliseerde duingrond; profielput 29;

type D3E : geëgaliseerde duingrond; profielput 31;

Per profiel : analyseresultaten.

(Dit zijn dezelfde profielen besproken in : De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 35,E Oostduinkerke, I.W.O.N.L., pp. 76.)

De Leenheer, L. & F. Appelmans. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 50,W De Moeren, I.W.O.N.L., pp. 43.

type D1E : geëgaliseerde duingronden : pp. 4, profielput nr. 8

Type S2K : overgangsground : pp. 5, profielput nr. 6

Per profiel : algemene bespreking

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 50,W De Moeren, Analyse-resultaten en profielbeschrijvingen, I.W.O.N.L..

type D1E : geëgaliseerde duingronden : profielput nr. 8

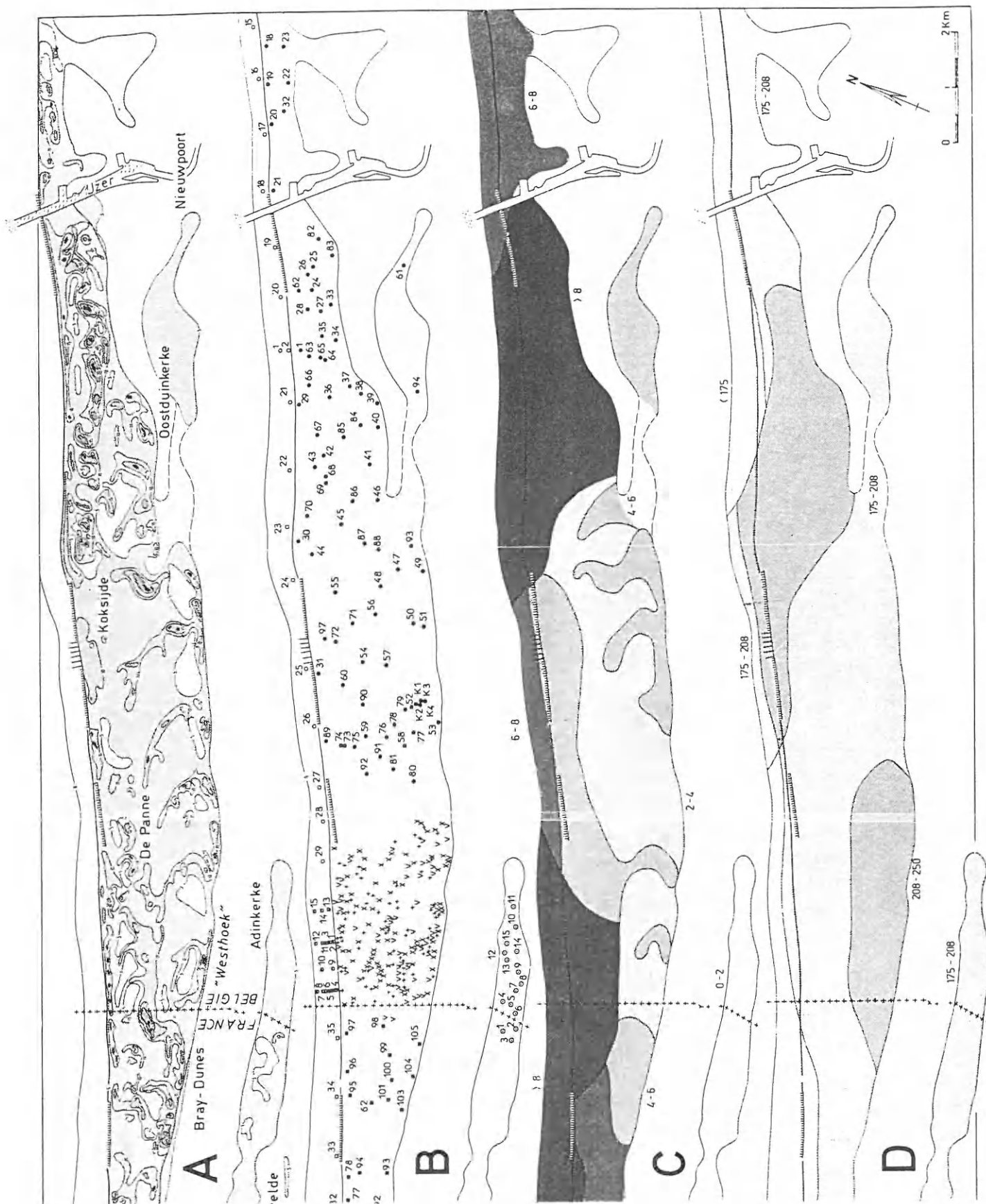
Type S2K : overgangsground : profielput nr. 6

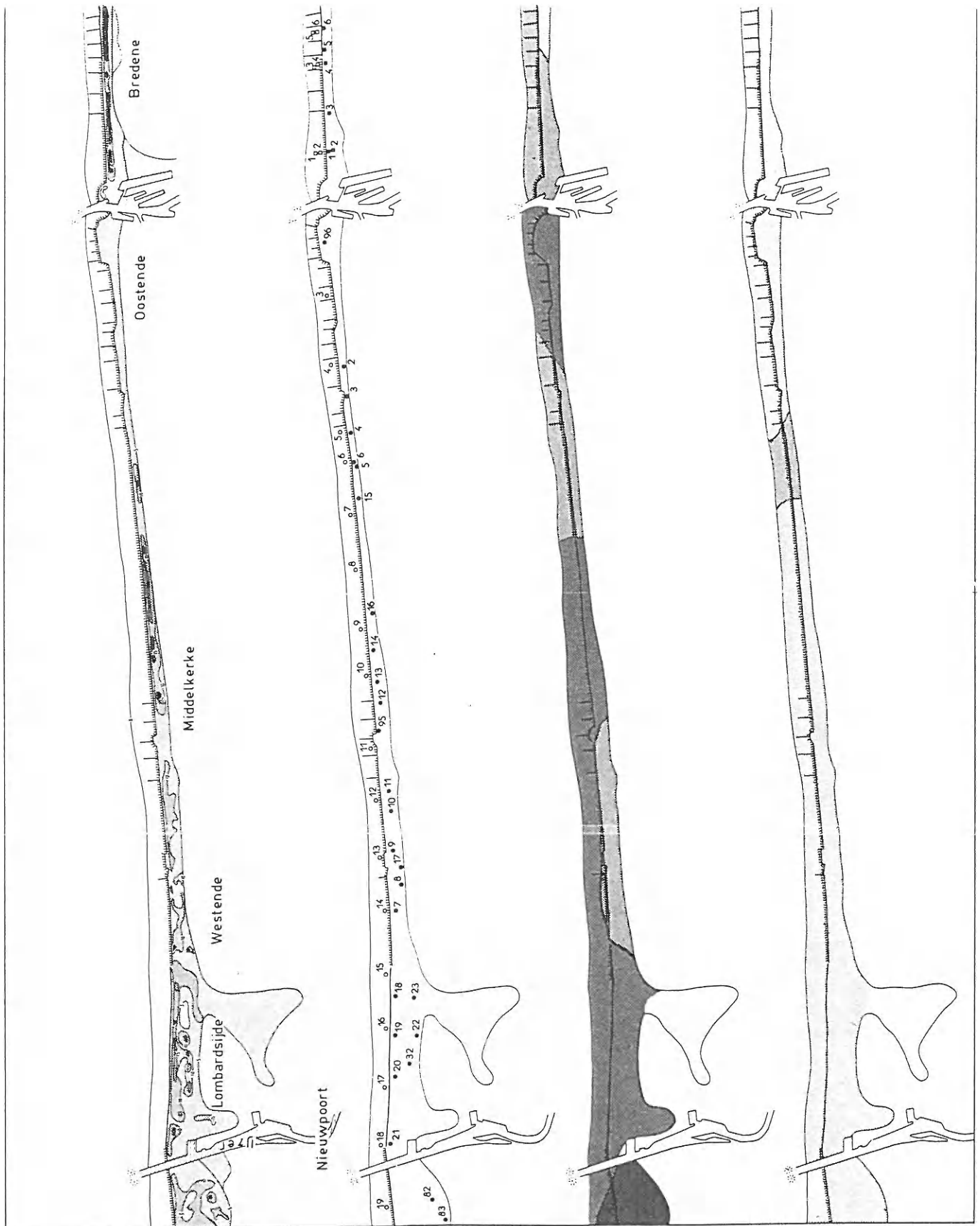
Per profiel : profielbeschrijving + analyseresultaten

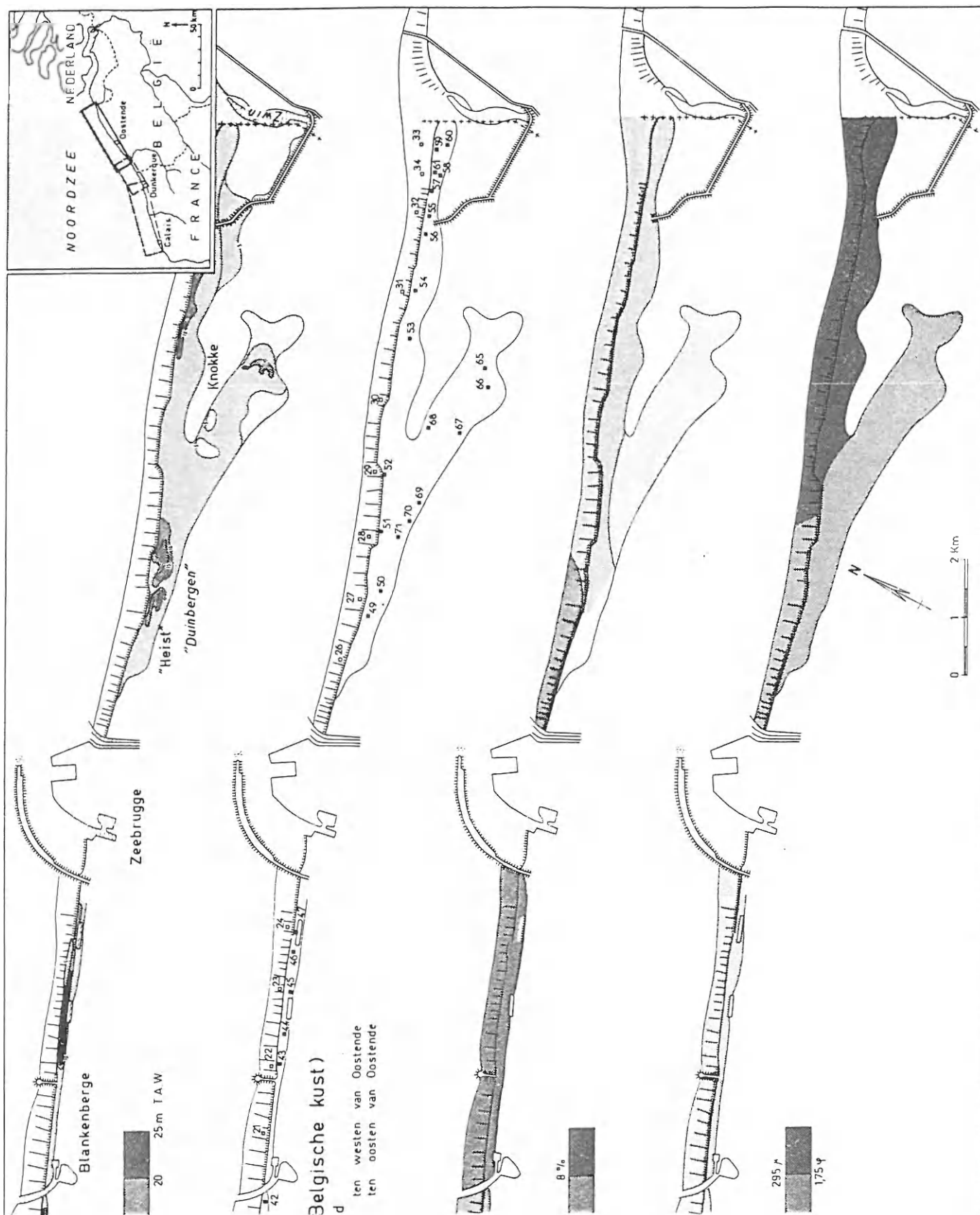
(Dit zijn dezelfde profielen besproken in "De Leenheer, L. & F. Appelmans. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 50,W De Moeren, I.W.O.N.L., pp. 43.)

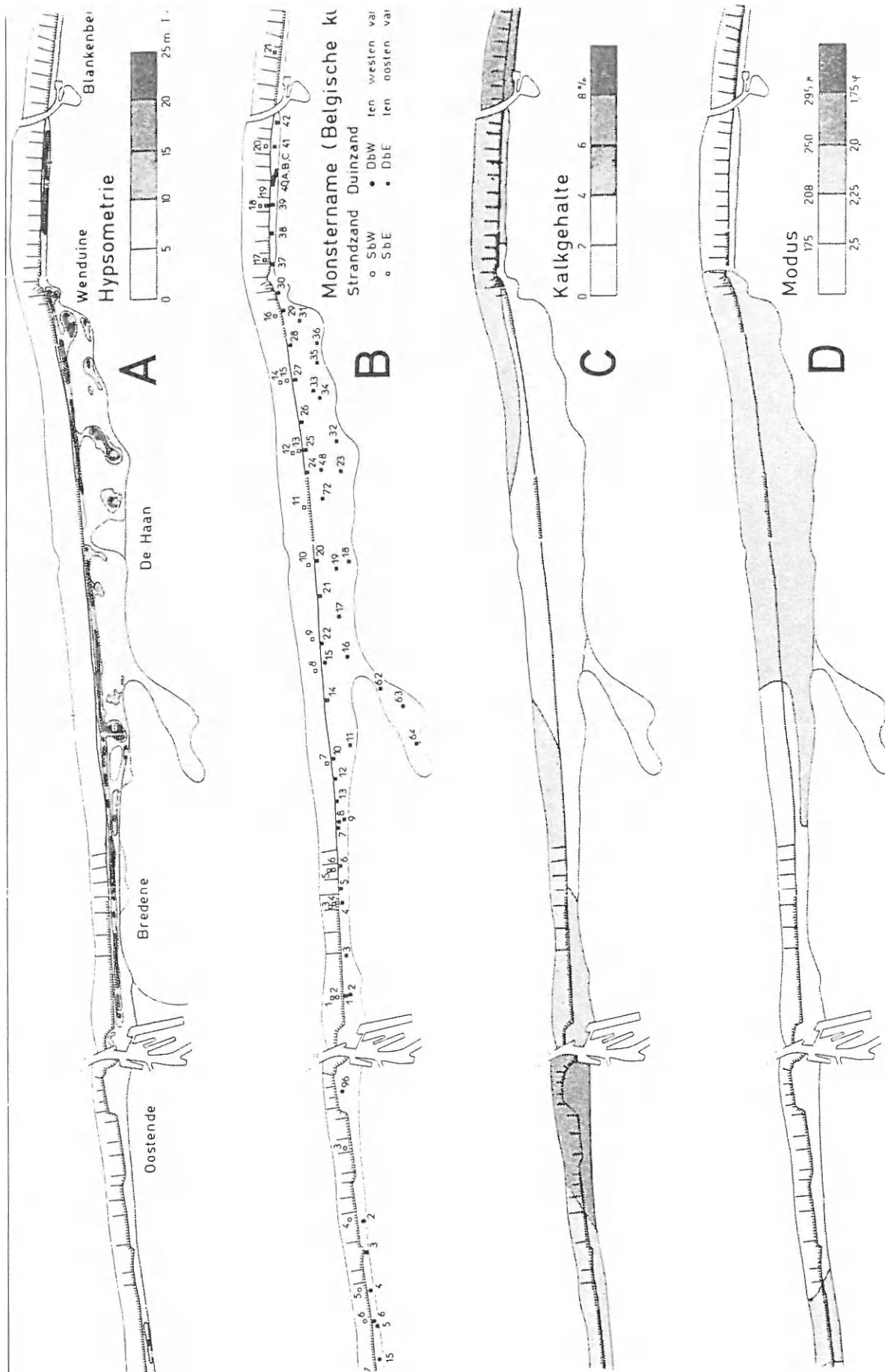
BIJLAGE 3 :

Morfologische en sedimentologische karakteristieken van het Belgisch strand- en duinzand (Depuydt, 1972).









BIJLAGE 4 : WOORDENLIJST

A-horizont : minerale horizont die humushoudend is, aan of nabij het oppervlak.

A"bi" of B"bi" : horizont gekenmerkt door biologische activiteit bijvoorbeeld beworteling.

A"h" : horizont gekenmerkt door een hoge hoeveelheid humus.

B"d" of C"d" : horizont gekenmerkt door verdichting.

B-horizont : minerale horizont meestal onder de A-horizont, waarin bodemprocessen hebben plaatsgegrepen; hierbij kan de bodem veranderd zijn van kleur (verbruind), structuur kan gevormd zijn, kleivorming kan resulteren, illuvatie van ijzer, aluminium, klei, humus.

Bioturbatie : omwoelen van de bodem door biologische activiteit.

C-horizont : een ongeconsolideerde minerale horizont waaruit de A- en B-horizont zich ontwikkeld hebben; het moedermateriaal.

Ectorganische horizonten : de strooisel (L), de gefermenteerde (F) en de gehumificeerde (H) horizonten.

Endorganische horizonten : de A horizonten : minerale horizonten met een bepaald percentage organische stof, die gevormd is aan de bovenkant van het bodemprofiel.

Erodibiliteit : bodemfactor in de Universal soil loss equation, om het jaarlijks bodemverlies door erosie te berekenen; deze factor is afhankelijk van bodemkarakteristieken die enerzijds de infiltratie, de permeabiliteit, het vochtophoudingsvermogen van de bodem bepalen, en anderzijds die weerstand bieden aan dispersie, splash en transport.

F-horizont : een organische horizont gekenmerkt door gedeeltelijk omgezette plantenresten, waarin macroscopisch vegetatie-structuren herkenbaar zijn.

H-Horizont : een organische horizont met een grote biologische activiteit gedomineerd door fijne delen waarin de originele structuren macroscopisch niet herkenbaar zijn.

Humusprofiel : opeenvolging van ectorganische en endorganische horizonten.

Hydrofobie (van de bodem) : de bodem stoot water af d.w.z. indien een druppel water op het bodemoppervlak valt, dringt deze niet in maar blijft ze mooi als een pareltje op het oppervlak liggen.

L-horizont : een organische horizont die bestaat uit relatief vers organisch materiaal, waarin de oorspronkelijke structuren nog herkenbaar zijn.

Moder : humusprofiel dat het overgangstype is tussen mor en mull.

Mor : humusprofiel met een duidelijke L-, F- en H-horizont en duidelijk te onderscheiden van de onderliggende minerale bodem, gekenmerkt door weinig biologische activiteit.

Mull : humusprofiel met totale incorporatie van het organisch materiaal in de minerale horizont (vorming van een Ah-horizont). Dit wordt veroorzaakt door een grote biologische activiteit.

Podzolizatie : bodemproces waarbij uitloging optreedt. De bodem wordt gekenmerkt door een gebleekte, witgrijze (askleurige) horizont.

Schijnbaar Soortelijk Gewicht : verhouding van het gewicht van een oven-droog ongestoord monster tot het volume van het ongestoorde monster.

Solum : het gedeelte van de bodem gelegen boven de C-horizont; het geheel van de A- en B-horizont.

Textuur : korrelgrootteverdeling.

Veldcapaciteit : watergehalte in de bodem, wanneer ze na verzadiging, gedurende 48 uur gedraineerd is.

Verwelkingspunt : Watergehalte in de bodem, waarbij planten permanent verwelkt zijn.

Visiteerijzer : ijzeren staaf die ongeveer 80 cm lang is, met een kegelvormige top met oppervlak van 1 cm².

Slikken en Schorren

1. BESTAANDE DOCUMENTEN MET BODEMKUNDIGE GEGEVENS

Bodemkaart :

11,E Westkapelle, opname door J.B. Amerijckx, **M.G.I.**, 1954.

De schorregronden van Het Zwin zijn gekarteerd als de "open schor" gronden. Deze bodems hebben geen speciaal symbool en werden ook niet beschreven.

36,W Nieuwpoort, opname door F.R. Moormann & J.B. Amerijckx, **M.G.I.**, 1951.

De rechteroever van de ijzermonding werd niet gekarteerd.

Verklarende teksten van de bodemkaarten :

Amerijckx, J.B., 1954. Westkapelle 11,E & Het Zwin. De Verklarende tekst bodemkaart van België, **I.W.O.N.L.**, pp. 90.

Moormann, F.R. & J.B. Amerijckx, 1951. De Verklarende tekst bodemkaart van België, **I.W.O.N.L.**, pp. 52.

Alle ondervermelde gegevens zijn grotendeels ontleend aan volgende documenten :

Van Haesebroeck, V., 1994. Study of Peaty and Saltmarsh Soils in Nature Reserves along the Belgian Coast : Hannecart Forest and The Zwin. M.Sc. Thesis, **I.T.C.** for post-graduate soil scientists, **RUG**, pp. 199.

Van den Balck, E., 1994. Vegetatiekundige en ecologische studie van de slikken en schorren in het Zwin (Knokke-Heist, West-Vlaanderen). Lic. Thesis, **Biologie**, **RUG**, pp. 167.

Een samenvatting van de bestaande bodemkundige gegevens staat onder § 5.

2. BODEMKENMERKEN : OVERZICHT, KENNISLACUNES EN AANBEVELINGEN TOT VERDER ONDERZOEK

2.1. Chemische bodemkenmerken

2.1.1. Kalkgehalte

Van Haesebroeck, 1994, pp. 76.

Een duidelijk verschil in CaCO_3 gehalte werd gevonden tussen de oeverwallen en de komgronden, waarbij de komgronden relatief arm zijn in carbonaten. Is dit een primair verschijnsel of is het secundair? Volgens Zuur (1936) was het afgezette sediment kalkrijk maar zou een verschil in decalcificatie snelheid de oorzaak zijn. In natte en gereduceerde omstandigheden zou het milieu voor decalcificatie gedurende de afzetting in de komgronden meer geschikt zijn dan op de oeverwallen. De sterkere ontkalking in een reducerend milieu vergeleken met een doorlucht milieu werd verklaard door de hogere productie van organische zuren (Bennema, 1953), de hogere CO_2 -spanning (Zuur, 1936), de sulfide cyclus (Van der Spek, 1934, 1952). Ook de aanwezigheid van water zorgt reeds voor ontkalking gedurende het transport.

Twee transecten werden onderzocht : transect 1 heeft een NW-ZO orientatie waarlangs 55 profielen onderzocht werden; transect 2 verloopt quasi ZW-NO en 21 profielen werden hierbij onderzocht.

CaCO_3 -gehalte werd geschat door de intensiteit van opbruisen na te gaan van enkele druppels HCl (1M) op gedroogde monsters.

pp. 125 : Uitgezonderd van enkele oppervlaktemonsters die niet of licht kalkrijk zijn, zijn de profielen matig tot extreem kalkrijk.

2.1.2. pH

Van Haesebroeck, 1994, pp. 127-128.

Methode : pH- H_2O (1:1.8) voor 26 profielen, de bovenste 10 cm.

transect 1 :

- pH varieert tussen 7.4 en 8.7 d.w.z. licht tot matig alkalisch milieu;
- met toenemende relatieve hoogte, neemt de pH lichtjes toe ($r=0.626^{**/+}$) : de antropogene rug en de sites het dichtst bij de duinen hebben de hoogste pH;
- geen correlatie tussen pH en vegetatie.

Van den Balck, 1994, pp. 129.

- een lagere pH-waarde werd gevonden voor de vegetatiegroep *Juncetum gerardii* (*significant?*).

2.1.3. Electriscbe conductiviteit (EC)

Van Haesebroeck, 1994, pp. 128-130.

transect 1 :

- EC varieert voor de bovenste 10 cm tussen 0.2 en 7.1 mS/cm : overgangszone tussen de slikke en schorre en de jonge schorren hebben een EC tussen 4.8 en 7.1. Lagere waarden werden gemeten op de oudere, hoger gelegen schorren, op de oeverwallen en op de internationale dijk. Hogere waarden werden gevonden op de laagste delen met een aanzienlijke klei+leem fractie in de bodem;
- er bestaat een verband tussen invloed van het zeewater (overstromingsfrequentie) en relatieve hoogte ($r=0.807^{***}/-$);
- verband tussen klei en organisch materiaal (OM) gehalte en de EC, indien klei en OM toenemen, stijgt de EC;
- verband tussen vegetatie en zoutgehalte : *Salicornia europaea* en *Suaeda maritima* groeien beter op bodems met hoge zoutgehalten, *Elymus athericus* ontwikkelt zich niet indien het zoutgehalte te hoog is.

Van den Balck, 1994, pp. 24-25, pp. 123-124, pp. 129-131.

Zoutgehalte in de bodem is afhankelijk van (Morss, in Chapman, 1974, pp. 84) :

- hoogte van het getij;
- neerslag : zoutconcentratie zal dalen in de bovenste lagen;
- hoogte van de schorre in relatie tot het getij : hoger minder overstroomd, lager meer;
- textuur van de bodem : klei houdt zout langer vast;
- aanwezigheid van de vegetatie pp. 25 ?? (*daling van de EVP, zoutconcentratie daalt?*)
- diepte van de grondwatertafel : hoe dieper, hoe onstabiel bodemsaliniteit.

In het Zwin is er een verband tussen de gemiddelde waarde van de bodemsaliniteit en de vegetatie : de hoogste waarde werd gevonden voor de vegetatiegroep *Salicornietum stritae*, de laagste voor de groep van *Artemisietum maritimae*.

2.1.4. Organische koolstof (OC)

Van Haesebroeck, 1994, pp. 138-139.

transect 1 (monsters top 10 cm) :

methode : Walkley en Black.

- OC-gehalte varieert tussen 1.32 en 9.83%;
- geen significante relatie tussen relatieve hoogte van de site en OC;
- vermindering in OC voor sommige sites minder beïnvloed door zeewater : beter aeratie, meer afbraak?
- correlatie tussen klei- en OC-gehalte ($r=0.522^{*}/+$) : door kleiafname vermindert het

waterophoudingsvermogen wat resulteert in grotere afbraak;

- geen verband tussen vegetatie type en hoeveelheid OC, te verklaren door afvoer organisch materiaal?

2.1.5. N en C/N

Van Haesebroeck, 1994, pp. 139.

- sterk verband tussen N en OC ($r=0.967^{***}/+$);
- geen significante relatie tussen relatieve hoogte van de site en N; wel een tendens dat hogere sites een lager N gehalte hebben uitgez. voor de Internationale Dijk, bemesting door schapen;
- C/N ligt tussen 8 en 12; alleen de duinvoet heeft een C/N van 18 door relatief laag N gehalte.

Van den Balck, 1994, pp. 28, pp. 129-131..

Aanvoer van N kan via het vloedwater, via atmosfereische depositie, door vogels, door fixatie van atmosferische N door bacteriën en blauwwieren.

Afvoer van N gebeurt door ebwater, denitrificatie door bacteriën en eventueel door begrazen en maaien (Leendertse et al., 1993, pp. 5).

Hoogste waarden voor OC en N gehalte werd gevonden in de vegetatiegroep van *Juncetum gerardii*.

2.2. Fysische bodemkenmerken

2.2.1 Penetratieweerstand

Van Haesebroeck, 1994, pp. 113-115.

In het Zwin werden 2 transecten onderzocht; transect 1 verloopt NW-ZO; transect 2 heeft een NO-ZW orientatie.

Er is een verband tussen de :

- penetratieweerstand (uitgedrukt in diepte tot waar de prikboor in de grond kan geduwd worden, is een relatieve meetschaal) en relatieve hoogte van de site : hoger gelegen, bijv. oeverwallen (natuurlijk of artificieel), meer weerstand; vanaf de lage schorre over de hoge schorre tot de gedesaliniseerde zone neemt de weerstand toe (transect 1 en 2 : $r=0.697^{***}/-$);
- diepte tot waar de prikboor in de grond kan geduwd worden en overstromingsfrequentie (transect 1 en 2 : $r=0.767^{***}/+$);
- hoge penetratieweerstanden werden gemeten op wandelpaden en op de Internationale Dijk : oppervlakte compactie door betreding door recreanten en schapen;
- met toenemende penetratieweerstand verandert de vegetatie van *Salicornia europaea* (geringe

weerstand) tot *Elymus athericus* (hoge weerstand);
- de penetratieweerstand zal verder ook beïnvloed worden door de textuur van de sedimenten, door het schijnbaar soortelijk gewicht en het watergehalte.

2.2.2. Rijping

Van Haesebroeck, 1994, pp. 116.

Er is een verband tussen :

- relatieve hoogte en rijpingsklasse (transect 1 : $r=0.867^{***}/+$; transect 2 : $r=0.666^{**}/+$) : bodems met de laagste rijping worden gevonden op sites met de laagste relatieve hoogtes;
- overstromingsfrequentie en rijpingsklasse (transect 1 : $r=0.867^{***}/-$; transect 2 : $r=0.679^{**}/-$);
- penetratieweerstand en rijpingsklasse : geringe rijping gaat gepaard met geringe weerstand.
- invloed textuur : zie § 3.1.1.;
- invloed SSG en watergehalte : zie § 3.1.1..

2.2.3. Strooisel

Van Haesebroeck, 1994, pp. 117-119.

Er is een verband tussen :

- strooiselbedekking en relatieve hoogte ($r=0.737^{***}/+$);
- dikte van de strooisellaag en relatieve hoogte ($r=0.603^{***}/+$) : hoger gelegen - dikkere strooisellaag;
- vegetatietype beïnvloed de hoeveelheid strooisel die geproduceerd wordt : soorten zoals *Salicornia* produceren weinig strooisel, *Elymus*, *Limonium* en *Puccinellia* produceren veel meer strooisel.

2.2.4. Wortelsysteem

Van Haesebroeck, 1994, pp. 118.

Een aantal soorten zijn kruidachtige monocotyledonen (*Puccinellia*, *Spartina*, *Elymus*). Deze soorten vormen een tamelijk dicht wortelsysteem met vertakte bijwortels, uitlopers verspreiden zich over het ganse oppervlak.

Halimione en de dicotyledonen hebben een meer open groei : het wortelsysteem bestaat uit een hoofdwortel met een aantal vertakkingen zonder uitlopers.

2.2.5. Wortelgehalte

Van Haesebroeck, 1994, pp. 118.

Afhankelijk van het vegetatietype is de bodem al dan niet intens doorworteld : zo is de bodem onder *Salicornia* zwak doorworteld, terwijl onder *Puccinellia* en *Elymus* een dichte wortelmat gevonden wordt.

Het hoogste aantal wortels worden gevonden in de profielen met klei; ook in de zandige oppervlakte lagen dichtbij de duinen of op de natuurlijke oeverwallen worden veel wortels van *Elymus* gevonden. De hoeveelheid wortels vermindert met de diepte. Wanneer de profielen enkel bestaan uit zuiver zand, dan neemt het wortelgehalte veel sneller af, dan wanneer de bodem ook kleiige horizonten bevat.

Verder wordt het voorkomen van wortels nog beïnvloed door het voorkomen van een compacte laag (textuur), van een reducerende laag.

2.2.6. Textuur

Van Haesebroeck, 1994, pp. 120, pp. 131-136.

Een algemene trend is een toename van het zandgehalte in de hoger gelegen profielen. Een hoog zandgehalte werd ook gemeten op de sites in de nabijheid van het duin en op de oeverwallen. Een dikke kleiige horizont aan het oppervlak werd gevonden in de profielen van de lage schorre en de lagere gedeelten van de hogere schorre. Hogerop in de hoge schorre, vermindert de dikte van de kleiige oppervlakte horizont; op de hoogste delen van de hoge schorre en in de desalinizatiezone ontbreekt de kleiige tophorizont volledig.

Er is een verband tussen:

- overstromingsfrequentie en de dikte van de kleiige horizont : hoe meer overstroomd, hoe dikker de kleiafzetting;
- meeste sites hebben een hoog gehalte aan materiaal van $< 50\mu$; sites met zeer hoog zandgehalte is de duinvoet of nabijgelegen (eolische aanvoer) en de natuurlijke oeverwallen (sedimentair) van de Zwingel; sites met een zeer hoog gehalte van materiaal $< 50\mu$ is de lage schorre;
- de grootte van de fractie $< 50\mu$ is negatief gecorreleerd met de relatieve hoogte ($r=0.687^{***}/-$);
- verband fractie $< 50\mu$ en pH H_2O ($r=0.634^{**}/-$);
- verband fractie $< 50\mu$ en EC ($r=0.674^{***}/+$);
- textuur evolutie in de diepte : Het profiel nabij de duinvoet is zeer zandig en met toenemende diepte treedt er weinig verandering op; de profielen in de lage schorre en op de overgang slikke/schorre is zeer kleiig maar met toenemende diepte blijft de verdeling $\pm$ uniform; het profiel gesitueerd op een oeverwal wordt minder zandig in de diepte; het profiel van de hogere schorre heeft twee uitgesproken zandige horizonten;
- de zandfractie behoort voornamelijk tot fracties $100-250\mu$ en $250-500\mu$;
- de drie zandfracties $100-250\mu$, $250-500\mu$, $500-1000\mu$ kunnen positief gecorreleerd worden met de relatieve hoogte van de site ($r=0.697^{***}/+$, $r=0.634^{***}/+$, $r=0.641^{***}/+$).

Van den Balck, 1994, pp. 123, 130.

De textuur varieert van extreem zandig tot extreem kleiig. Het percentage zand varieert van 1.3 tot 97.3%, de klei+leem fractie van 2.7 tot 98.7%.

De vegetatiegroep met *Suaeda maritima* heeft de hoogste kleigehalten in de bovenste bodemlaag, De vegetatiegroep met *Elymus* de hoogste zandgehalten.

2.2.7. Schijnbaar soortelijk gewicht (SSG) en watergehalte

Van Haesebroeck, 1994, transect 1, pp. 136-138.

SSG varieert tussen 0.54 g/cm³ en 1.74 g/cm³.

Watergehalte varieert tussen 0.6 en 168 %WW of 0.8 en 90 %WV.

Evolutie van watergehalte en SSG met de diepte :

watergehalte met de diepte : geen duidelijke tendens;

SSG met de diepte : meestal een toename;

Er is een verband tussen :

- relatieve hoogte van de site en het SSG ($r=0.736^{***}/+$) : bodems van de lage schorre hebben een hoger watergehalte en een lagere SSG; hoger gelegen schorren, oeverwallen en de gedesaliniseerde sites bevatten veel minder water en hebben een hogere SSG;
- rijpingsklasse en SSG : de meest gerijpte bodems hebben een hoge SSG en een laag watergehalte, zeer onrijpe bodems hebben een lage SSG en een hoog watergehalte;
- SSG en fractie $< 50\mu$ ($r=0.701^{***}/-$);
- watergehalte en fractie $< 50\mu$ ($r=0.607^{**}/+$).

Voorkomen van een compacte laag :

- textuur van de compacte horizont varieert van klei tot zandige klei (*lijkt niet overeen te stemmen met heirboven vermelde correlatie tussen SSG en fractie $< 50\mu$*);
- de compacte laag is een hindernis voor de wortelgroei.

Het voorkomen van deze compacte horizonten wordt op twee manieren verklaard. Betreding door mens op paden en door schapen op de Internationale Dijk veroorzaken een verdichting van de bodem. Voor onbetreden bodems met een compacte horizont zou de verdichting te wijten zijn aan een geringere overstromingsfrequentie op vroeger tijdstip zodat de bodem meer gerijpt is. In de bodems met een hoger kleigehalte gaat het rijpingsproces gepaard met een hoger verlies in watergehalte en vermits dit proces onomkeerbaar is gaat het rijpingsproces gepaard met een verdichting van de bodem.

Van den Balck, 1994, pp. 130.

De laagste gemiddelde verdichting komt overeen met vegetatiegroep *Salicornea* en *Suaeda*.

3. PROCESSEN EN BODEMEVOLUTIE

3.1. Rijpingsproces

Het rijpingsproces kan van start gaan vanaf het moment dat de bodem minder dan tweemaal per dag overstroomd wordt.

3.1.1. Fysisch

Van Ranst, 1991, pp. 272-275.

Pons & Van der Molen, 1973.

Fysische rijping is een proces waarbij onomkeerbaar waterverlies optreedt. Dit waterverlies wordt in de eerste plaats veroorzaakt door verdamping of drainage gedurende laagtij en door relatieve ophoging waardoor de overstromingsfrequentie vermindert. In een later stadium zal water opname door de plantenwortels het waterverlies veroorzaken.

Gevolgen van dit waterverlies zijn :

- krimpen van het bodemmateriaal : de mate van krimpen is afhankelijk van het initiële vochtigheidsgehalte, gehalte aan organisch materiaal en klei;
- vormen van barsten;
- toename in permeabiliteit van de bodem;
- bodemcompactie en verbeteren van de bodemstructuur;
- verandering in de consistentie van de bodem van zacht tot bros of hard;
- subsidentie van het bodemoppervlak.

Het fysische rijpingsproces wordt gekarakteriseerd door de rijpingsindex n :

$$n = \frac{A - 0.2R}{L + bH}$$

waarbij

A = vochtigheidsgehalte in gewichtspersent

R = persent zand + silt

L = persent klei

H = persent organisch materiaal

b = verhouding tussen de hoeveelheid water geabsorbeerd door 1 g organisch materiaal tot hoeveelheid water geabsorbeerd door 1 g klei

3.1.2. Chemisch

Van Ranst, 1991, pp. 262-271, 275-278.

Pons & Van der Molen, 1973.

Door het krimpen worden in de bodem barsten gevormd langs waar lucht kan binnendringen.

Belangrijke processen die volgen zijn :

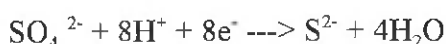
- oxidatie en humificatie van het organisch materiaal;
- oxidatie van een aantal bodemcomponenten die stabiel zijn in gereduceerde milieus. Dit is van zeer groot belang voor een aantal elementen zoals S, Fe en Mn.
- veranderingen in de samenstelling en concentratie van ionen in het interstitiële water en verwerking van min of meer stabiele mineralen;
- veranderingen in de verhoudingen van de geadsorbeerde ionen;
- vorming van nieuwe mineralen.

Morfologische veranderingen in de bodem zijn veranderingen van kleur van zwart of grijs tot lichtere kleuren zoals geelachtig of bruinachtig grijs. Oxidatie treedt op langsheen de barsten en wortels en redoximorfe verschijnselen zijn het resultaat.

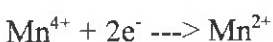
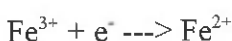
De chemische reacties die kunnen optreden onder de chemische rijping zijn hieronder in het kort vermeld.

Gereduceerde omstandigheden : bijvoorbeeld slikke en lage schorre.

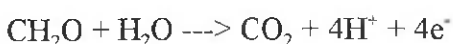
S : is aanwezig in het zeewater onder de vorm van sulfaten; in reducerende milieus, worden sulfaten gereduceerd door *Desulfovibrio* bacteriën.



Fe en Mn worden getransporteerd met het sediment in de vorm van (hydr-)oxiden gefixeerd of geadsorbeerd op de klei of het organisch materiaal. Reductie treedt op in aanwezigheid van OM en anaerobe micro-organismen. Dit resulteert in de vorming van mobiele Fe^{2+} en Mn^{2+} .

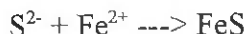


De energie nodig voor deze reactie wordt geleverd door de afbraak van organisch materiaal :



In de aanwezigheid van Fe^{2+} , kan samen met de gereduceerde sulfaten een ijzersulfide gevormd

worden (FeS).



Onder permanente reducerende omstandigheden kan dit amorfe ijzersulfide getransformeerd worden tot pyriet.



Oxiderende omstandigheden : hoge schorre, hoge oeverwallen, inpoldering.

Een verbetering in de drainageomstandigheden door bijvoorbeeld een afname van de overstromingsfrequentie, kan een re-oxidatie van deze gereduceerde Fe en S veroorzaken. Hierbij worden SO_4^{2-} en Fe^{3+} gevormd. Gedurende deze reactie komen H^+ ionen vrij die de pH doen dalen. Gedurende de pH daling kan het Fe^{3+} ion gehydroliseerd worden waarbij het mineraal jarosiet gevormd wordt. Ook gedurende dit proces komen H^+ ionen vrij.

Indien het milieu kalkrijk is, zoals dikwijls het geval is in mariene milieus, zullen de aanwezige carbonaten de H^+ ionen neutralizeren, waarbij gips gevormd wordt. Door deze gipsvorming komt CO_2 vrij. Verder is er toevoer van CO_2 vanuit de atmosfeer, en van decompositie van O.M. wat verdere decalcificatie veroorzaakt. Omtrent de decalcificatie van mariene deposities bestaat er echter nog veel discussie.

(Zie 3.4.)

3.1.3. Biologisch

Het afgezette sediment is meestal duidelijk gelaagd. De biologische activiteit van de flora en meso- en macrofauna zorgt voor homogenizatie van het sediment. Kooistra (1978, pp. 158) onderscheidt volgende veranderingen in de bodem te wijten aan dierlijke activiteit :

- het graven van gangen, bijvoorbeeld door wormen;
- pedotubules : deze gangen zijn compleet opgevuld met materiaal bijvoorbeeld met excrementen;
- passagesporen : dit zijn diffuus begrensde gangachtige zones die herkenbaar zijn aan veranderingen in de pakking, verstoring en afbuiging van de gelaagdheid, de aanwezigheid van excrementen die in de lengterichting van het verschijnsel georiënteerd zijn. Deze sporen worden gevormd door mobiele, niet aan de plaats gebonden dieren. Na passage van de dieren vloeit het slappe, waterrijke sediment terug.

Ook de vegetatie speelt een belangrijke rol : de wortels beïnvloeden een aantal bodemprocessen (toenemende evapotranspiratie, betere drainage, bevorderen van krimpen, betere rijping).

3.2. Oxido-reductie

Van Haesebroeck, 1994, pp. 71-72.

Slikken en schorren zijn onderhevig aan het getij. Deze gebieden worden dan ook regelmatig overstroomd wat de gasuitwisseling beïnvloedt tussen planten en bodem.

Afhankelijk van de hoogte van het getij en de hoogte van de schorre zal overstroming optreden. Na overstroming, draineren vele gedeelten van het schorre traag, voornamelijk doordat de lokale topografie snelle drainage niet bevordert en door de lage hydraulische conductiviteit van het sediment.

De verticale schommelingen van de grondwatertafel zijn zeer belangrijk. Deze schommelingen kunnen veranderen met toenemende afstand tot de kreek en met de hoogte van de schorre. (Chapman, 1974).

Studies van Morss (1927), Purer (1942) en Chapman (1974) hebben aangetoond dat gedurende overstroming van het oppervlak, de grondwatertafel nooit tot aan het oppervlak reikt en dat er een bovenste doorluchte horizont aanwezig is. Sommige auteurs menen dat de aanwezige gassen het resultaat zijn van de afbraak van planten- en dierenresten (Penhallow, 1907; Chapman, 1974). Ook de respiratie activiteiten van fauna en flora zorgen voor gasvorming. De dikte van deze doorluchte laag is verschillend van plaats tot plaats. Het is juist in deze doorluchte horizont dat de verticale wortelgroei voorkomt (Chapman, 1974; Scholand et al., 1991).

Ijzer- en Mangaanaccumulaties komen voor, waar aëratie is opgetreden. Ijzeraccumulaties komen voor in de slikken, de kommen van het middelhoge schor en de oeverwallen.

Mangaanaccumulaties komen voor in combinatie met ijzeraccumulaties langs scheuren en gangen in het slik en de oeverwallen. In bodemmateriaal van de kommen van het middelhoge en hoge schor komen mangaanaccumulaties voor in organisch materiaal zoals wortelresten en veenfragmenten. Rondom deze mangaanaccumulaties kunnen ijzerrijke zones voorkomen (Kooistra, 1978, pp. 159)

3.3. Zoutgehalte en desalinizatie

Pons & Van der Molen, 1973.

Desalinizatie kan traag verlopen indien de interne en externe drainage slecht is.

3.4. Ontkalking

Van Haesebroeck, 1994, pp. 76.

Het CaCO_3 -gehalte kan sterk uiteenlopen van site tot site. Waar de afzetting van het sediment traag gebeurt, kan decalcificatie reeds opgetreden zijn vooraleer het opnieuw door nieuw sediment bedekt is. Ook het water en de aanwezige vegetatie kan gedeeltelijk het CaCO_3 -gehalte beïnvloeden (Van Straaten, 1953).

In goed gedraineerde polders de oplossing van CaCO_3 gebeurt zeer traag en bedraagt ongeveer

1% in 100 jaar (Edelman & De Smet, 1951).

De decalcificatie in niet ingepolderde, half gerijpte schorren kan zeer snel gebeuren indien de sedimentatie traag verloopt (Van der Sluijs, 1970).

Ontkalking treedt op gedurende het transport van het sediment, gedurende de sedimentatie wanneer de bodem onder vegetatie is en rijping ondergaat en na de inpoldering.

Gedurende het transport van het materiaal in water naar de sedimentatieplaats is het mogelijk dat er ontkalking opgetreden is; dit materiaal kan echter niet beschouwd worden als moedermateriaal.

Gedurende het sedimentatieproces wordt CaCO_3 tzt. aangevoerd en uitgeloozd. Secundaire aanrijking van schelpfragmenten en CaCO_3 neerslag is verwaarloosbaar. De hoeveelheid aangevoerde CaCO_3 is afhankelijk van de hoeveelheid CaCO_3 in het sediment en de hoeveelheid van het aangevoerde sediment.

- Het CaCO_3 gehalte in het verse sediment varieert van plaats tot plaats en is afhankelijk van de textuur.

- De hoeveelheid aangevoerde sediment is afhankelijk van :

- hoeveel materiaal er in de eerste plaats in het overstromingswater aanwezig is;
- sedimentatieomstandigheden : snelheid v.h. water, afstand tot de bron : onderweg gebeurt er sortering van het materiaal;

Deze factoren variëren in tijd.

Ontkalking treedt op en wordt beïnvloed door verschillende factoren :

- aanwezigheid van vegetatie en afbraak O.M., productie CO_2 en concentratie CO_2 in bodemoplossing;
- evapotranspiratie veroorzaakt krimpen, verbetering van permeabiliteit en aeratie (discussie over de 2 laatste factoren);
- oxido-reductie condities : met geringe redoxpotential en met vers OM (energie bron), kunnen sulfiden accumuleren door microbiologische reductie van de sulfaten. Door hernieuwde oxidatie kan CaCO_3 terug oplossen;
- bij voortdurende sedimentatie, rijst de relatieve hoogte van het oppervlak en neemt de overstromingsfrequentie af d.w.z. minder aanvoer van vers CaCO_3 .

Experimenten op slikken en schorren in ZW Nederland (1964-1967) toonden aan dat onbegroeide slikken en schorren nog rijk zijn aan CaCO_3 .

Ontkalkte horizonten komen voor waar vegetatie aanwezig is : sterke decalcificatie treedt op, bij ophoging van het oppervlak en waar het sediment begroeid is met vegetatie. De ontkalkte horizont was meestal dunner dan 40 cm. Bovenop de ontkalkte horizont ligt een kalkrijke horizont van enkele mm tot 10 cm dikte. De dikte van die kalkrijke horizont is afhankelijk van de sedimentatiesnelheid (dikker indien snel, dunner indien traag) (Van der Sluijs, 1970)(figuren 1,2,3).

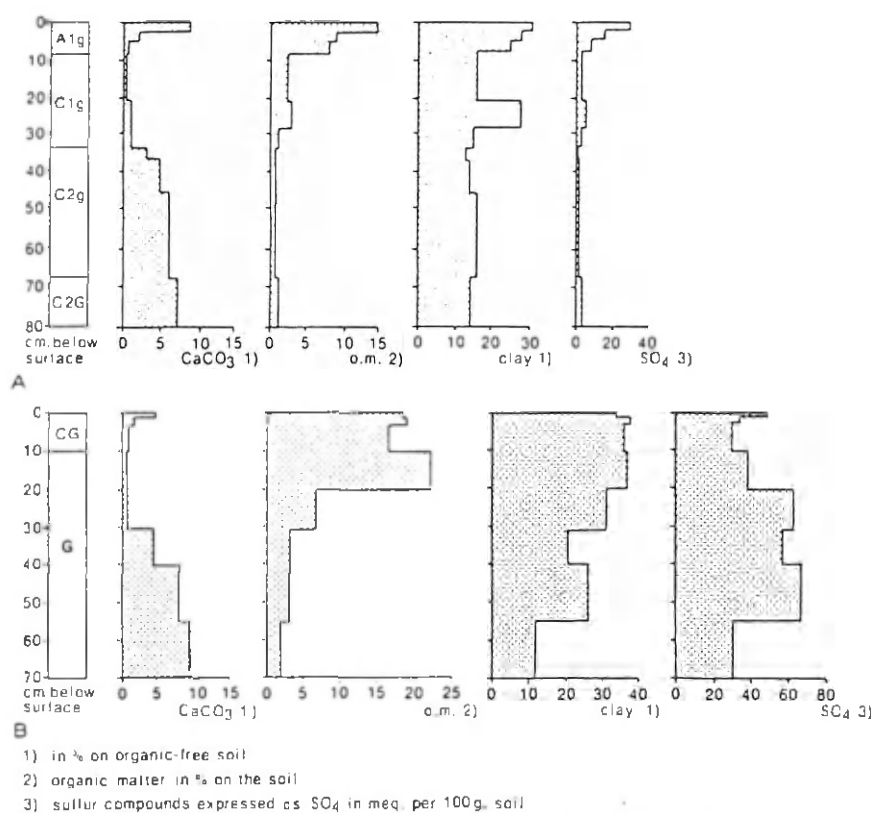


Fig. 1. Changes in CaCO_3 content with depth in profiles of a salt marsh with a slow accretion. A = levee; B = pool. (Van der Sluys, 1970)

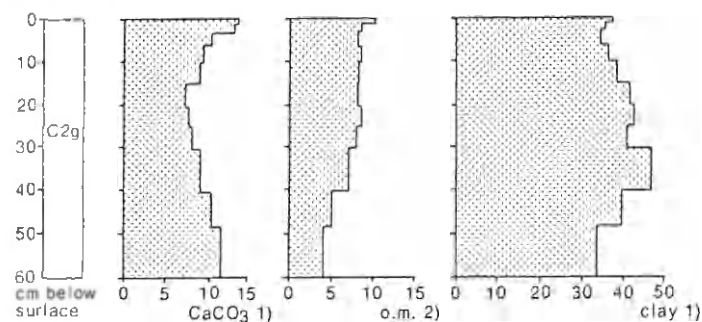


Fig. 2. Changes in CaCO_3 content with depth in a profile of a pool with a rapid accretion. For explanation of 1), 2) and 3) see Fig. 1. (Van der Sluys, 1970)

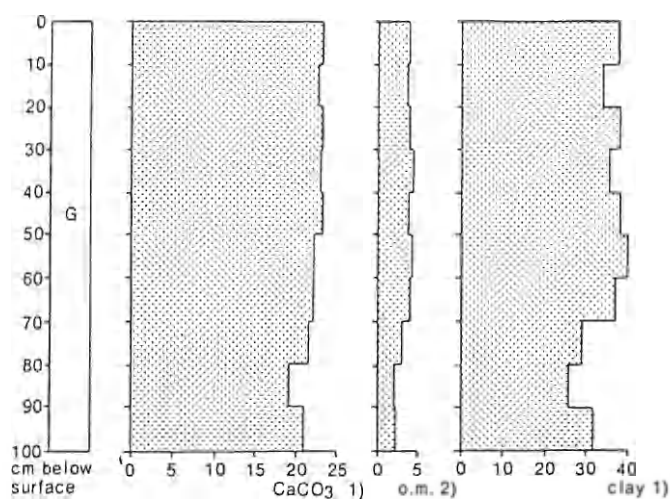


Fig. 3. CaCO_3 profile in a bare mudflat. For explanation of 1) and 2) see Fig. 1. (Van der Sluys, 1970)

Door de initiële bodemvorming ontstaat een prismastuctuur. Ontkalkingsdiepte varieert in ruimte : in de prisma's is de ontkalking minder diep dan langs de prisma. Ontkalking wordt ook groter, verder van het open water; komgronden zijn meer ontkalkt dan de oeverwallen.

Geen duidelijke relatie werd gevonden tussen de aanwezigheid en afwezigheid van een horizont arm in CaCO_3 en de oxido-reductievoorwaarden.

Verhoeven in Van der Sluijs (1970) :

- toonde de aanwezigheid van een gradient in jonge mariene afzettingen langsheen de Noordzeekust;
- fijne fracties tonen een tamelijk constante hoeveelheid CaCO_3 .

3.5. Het onder water zetten van polders

Het onder water zetten van polders met kalkrijke bodems, natuurlijk of kunstmatig, resulteert in de vorming van Na-Mg-Ca bodems, meestal echter zonder hernieuwde accumulatie van pyriet.

Het vervangen van Na door Ca op het complex is een traag proces, dat 10-tallen jaren in beslag neemt (Pons & Van der molen, 1973; Van der Molen, 1957). Ook de vervanging van Mg door Ca verloopt zeer traag en hoge Mg-gehalten kunnen gevonden worden tot meer dan 100 jaar na de overstroming.

4. TYPOLOGIE VAN DE BODEMS IN FUNCTIE VAN DE VEGETATIE

Van den Balck, 1994, pp. 54.

Van den Balck (1994, pp. 57-81) voerde een multivariate verwerking uit. Op basis van de resulterende TWINSPAN tabel werden volgende vegetatietypes onderscheiden. Voor de vegetatietypes gemarkeerd met * werd een typevoorbeeld van het bodemprofiel weergegeven (voorwaarde was dat er voldoende opnamen beschikbaar waren, *hoeveel is voldoende?*)(pp. 111-117).

1. Pionierende slikvegetaties
 - *Salicornietum strictae**
 - *Suaedetum maritimae**
2. Vegetaties op Oeverwallen en komgronden van de lage schorre
 - *Halimionetum portulacoidis**
3. Vegetaties op de middelhoge schorre
 - onbeweid/onbetreden
 - *Plantagini-Limonietum**
 - beweid en betreden
 - *Puccinellietum maritimae**
4. Vegetaties op de hoge schorre met affiniteit tot de middelhoge schorre
 - *Armerion maritimae*
5. Vegetaties op de hoogste schorre
 - *Juncetum gerardii**
6. Vegetaties van de ontziltingsstadia duinen
 - *Sagino maritimae-Cochlearietum danicae*?
Internationale Dijk
 - *Agrostio-Trifolietum fragiferi*
schorren : overgangsvegetatie naar zoet en nat
 - Associatie van *Juncus maritimus* en *Oenanthe lachenalii*
 - *Halo-Scirpetum maritimi*
overgangsvegetatie naar zoet en droog
 - *Attriplici-Agropyretum pungentis**
 - *Artemisietum maritimae*
7. Vegetaties van de vloedmerken
 - *Sagino maritimae-Cochlearietum danicae*
 - *Atriplicetum littoralis*

De profielbeschrijvingen worden voorgesteld op pp. 113-117 in Van den Balck (1994).

5. SAMENVATTING

Bodemkundige kennis over slikken en schorren in België is uitermate beperkt. De zeer interessante studies van Van Haesebroeck (1994) en Van den Balck (1994) uitgevoerd in Het Zwin, zijn een eerste aanzet.

Een zeer belangrijke bodemvormende factor in slikken en schorren is de overstromingsfrequentie.

De bodems van het Zwin zijn gekarakteriseerd door een geringe penetrati weerstand, geringe rijping, hoge saliniteit, een hoog percentage van de sedimenten met een korrelgrootte kleiner dan 50µ.

De penetrati weerstand en dus bodemsterkte is sterk verbonden met de relatieve hoogte en de overstromingsfrequentie. Bodemsterkte neemt toe met het toenemend schijnbaar soortelijk gewicht en neemt af met het toenemend watergehalte.

Op sommige plaatsen komt een compacte horizont voor op variërende diepte. Volgens Van Haesebroeck (1994) is deze verdichting veroorzaakt door betreding of doordat de site in het verleden in mindere mate overstroomd is geweest zodat het rijpingsproces verder gevorderd is en hierdoor de bodem meer geconsolideerd is. Een lagere overstromingsfrequentie beïnvloedt dan ook de rijpingstoestand van de bodem.

Textuur speelt een heel belangrijke rol bij het rijpingsproces en beïnvloedt de penetrati weerstand. De bodems in de nabijheid van het duin zijn zeer zandig. Met dalende hoogte wordt de bovenste horizont meer kleiig en in de lage schorre is de bovenste horizont volledig kleiig met in het profiel soms op grotere diepte een meer zandige horizont.

Een ander belangrijk bodemkenmerk, beïnvloed door textuur, overstromingsfrequentie, rijping is het schijnbaar soortelijk gewicht (SSG) en het watergehalte. De lage schorren vertonen een hoger watergehalte en een kleiner SSG, terwijl voor de hogere schorren het omgekeerde geldt.

Alle bodems van Het Zwin zijn licht tot matig alkalisch en de pH vertoont weinig variatie. De elektrische conductiviteit daarentegen vertoont een duidelijker patroon waarbij een hogere saliniteit gemeten wordt in de profielen met een hogere overstromingsfrequentie. Ook wordt een hogere saliniteit genoteerd in de sedimenten met een hoger kleigehalte.

Wat betreft organische koolstof (OC) werd op hoger gelegen sites een lager OC gevonden. Sterk gerelateerd met het OC-gehalte is het N-gehalte.

Van Haesebroeck (1994) onderscheidt 7 vegetatietypes. Hun verspreiding blijkt sterk verbonden te zijn met de relatieve hoogte (d.w.z. de overstromingsfrequentie). Andere parameters die een rol spelen zijn rijpingstoestand - planten zoals *Salicornia europaea* groeien vooral op ongerijpte

bodems, terwijl *Elymus* vooral op gerijpte bodem voorkomt, penetratieweerstand - *Elymus* groeit op bodems met geringe penetrabiliteit, *Salicornia* op bodems met geringe penetratieweerstand, bodemsaliniteit - *Salicornia* en *Suaeda* groeien beter in omstandigheden met een hogere saliniteit, *Elymus* is op bodems met lagere saliniteit aanwezig.

Wat betreft OC lijkt er geen duidelijk patroon voor te komen tussen vegetatietype en OC-gehalte.

Het onderzoek van Van den Balck (1994) wees uit dat de hoogteligging en het zoutgehalte de grootste correlatie vertonen met de verspreiding van de soorten en bevestigt hiermee de conclusies van Van Haesebroeck (1994). In mindere mate zou de textuur de verspreiding van de soorten bepalen.

6. REFERENTIES

Ameryckx, J., 1954. Westkapelle 11,E & Het Zwin. De Verklarende tekst bodemkaart van België, I.W.O.N.L., pp. 90.

Bennema, J., 1953. De ontkalking tijdens de opslibbing bij Nederlandse alluviale gronden., 30-40.

Chapman, V.J., 1974. Salt marshes and salt deserts of the world, Wiley Interscience, New York.

Edelman, C.H. & L.A.H. De Smet, 1951. Over de ontkalking van de Dollardklei. Boor en Spade, 4, 104-114.

Kooistra, M.J., 1978. Soil development in recent marine sediments of the intertidal zone in de Oosterschelde-The Netherlands, Soil Survey Papers, 14, pp. 183.

Leendertse, P.C., J. Rozema, G. Janssen & J. Bossinade, 1993. Kwelders en waterkwaliteit. Landschap, 10 (2), 3-15.

Moormann, F.R. & J.B. Amerijckx, 1951. De Verklarende tekst bodemkaart van België, I.W.O.N.L., pp. 52.

Morss, W.L., 1927. The plant colonization of merselands in the estuary of the River Nith, Journal of Ecology, 15, 310-343.

Penhallow, D.P., 1907. A contribution to our knowledge of the origin and development of marshlands on the coast of New England. Trans. Royal Society of Canada, Er. III, 1, 20-49.

Pons, L.J. & W.H. Van der Molen, 1973. Soil genesis under dewatering regimes during 1000 years of polder development. Soil Science, 116, 228-235.

Purer, E.A., 1942. Plant ecology of the coastal salt marshlands of San Diego County, California. Ecological Monography, 12, 81-111.

Scholand, M., F.A. Austenfeld & D.J. von Willert, 1991. Underground biomass and its influence on soil shear strength in a grazed and ungrazed German coastal marsh. In : Atkinson, D. (ed.), Blackwell Scientific Publications, 341-348.

Van den Balck, E., 1994. Vegetatiekundige en ecologische studie van de schorren en slikken in het Zwin (Knokke-Heist, West-Vlaanderen). Lic. Verh., RUG, pp. 167.

Van Ranst, E., 1991. Regional Pedology. Soils of the tropics and the suntropics. Geography,

Van Ranst, E., 1991. Regional Pedology. Soils of the tropics and the subtropics. Geography, Classification, Properties and Management, ITC, RUG.

Van Straaten, L.M.J.U., 1953. Biogene textures and the formation of shell beds in the Dutch Wadden sea. Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, serie B, 55, 5, 500-516.

Van der Molen, W.H., 1957. The exchangeable cations in soils flooded with sea water, Verslag Landbouwk. Onderzoek. 63.17.

Van der Sluijs, P., 1970. Decalcification of marine clay soils connected with decalcification during silting, Geoderma, 4, 209-227.

Van der Spek, J., 1934. Bijdrage tot de kennis van de zure gronden in het Nederlandsch Alluvium. Verslag Landbouwkundig Onderzoek, 44, B.

Van der Spek, J., 1952. Over het verdwijnen van koolzure kalk uit zeekleiafzettingen tengevolge van de oxydatie van hierin aanwezige sulfiden, Landbouwk. T., 64, 473-477.

Van Haesebroeck, V., 1994. Study of Peaty and Saltmarsh Soils in nature reserves along the Belgian Coast : Hannecart Forest and The Zwin, M.Sc. Thesis, RUG, ITC for post-graduate soil scientists, pp. 199.

Verhoeven, B., 1962. On the calciumcarbonate content of young marine sediments, Neth. J. Agr. Sci., 10, 58-71.

Zuur, A.J., 1936. Over de bodemkundige gesteldheid van het Wieringermeer. Landsdrukkerij, Den Haag.

Polders

POLDERS

1. BESTAANDE BODEMKUNDIGE GEGEVENS

In het studiegebied zijn een aantal aansluitende poldergebieden opgenomen. Bodemkundige gegevens omtrent deze gebieden worden hieronder voorgesteld.

1.1. BODEMKAARTEN

- 11,E Westkapelle, opname door J.B. Amerijckx, M.G.I., 1954.
10,W De Haan & 10,E Blankenberge, opname door J.B. Amerijckx, M.G.I., 1952.
22,E Houtave, opname door J.B. Amerijckx, M.G.I., 1958.
22,W Bredene, opname door J.B. Amerijckx, M.G.I., 1954.
21,W Middelkerke & 21,E Oostende, opname door J.B. Amerijckx, M.G.I., 1952.
36,W Nieuwpoort, opname door F.R. Moormann & J.B. Amerijckx, M.G.I., 1951.
35,E Oostduinkerke, opname door F.R. Moormann, M.G.I., 1950.
35,W De Panne, opname door F.R. Moormann & P. Hubert, M.G.I., 1963.
50,W De Moeren, opname door F.R. Moormann, M.G.I., 1959.
50,E Veurne, opname door G. T'Jonck & F.R. Moormann, M.G.I., 1960.

1.2. VERKLARENDE TEKSTEN VAN DE BODEMKAARTEN

Amerijckx, J.B., 1952. Middelkerke 21,W & Oostende 21,E. De Verklarende tekst bodemkaart van België, I.W.O.N.L., pp. 44.

Amerijckx, J.B., 1953. De Haan 10,W & Blankenberge 10,E. De Verklarende tekst bodemkaart van België, I.W.O.N.L., pp. 52.

Amerijckx, J.B., 1954. Westkapelle 11,E & Het Zwin. De Verklarende tekst bodemkaart van België, I.W.O.N.L., pp. 90.

Amerijckx, J.B., 1954. Bredene 22,W. De Verklarende tekst bodemkaart van België, I.W.O.N.L., pp. 90.

Amerijckx, J.B., 1958. Houtave 22,E. De Verklarende tekst bodemkaart van België, I.W.O.N.L., pp. 93.

Hubert, P. & Moormann, F.R., 1963. De Panne 35,W. De Verklarende tekst bodemkaart van België, pp. 40.

Moormann, F.R., 1951. Oostduinkerke 35,E. De Verklarende tekst bodemkaart van België, I.W.O.N.L., pp. 40.

Moormann, F.R. & J.B. Amerijckx, 1951. Nieuwpoort 36, W. De Verklarende tekst bodemkaart van België, I.W.O.N.L., pp. 52.

Moormann, F.R. & G. T'Jonck, 1960. De Moeren 50, W. De Verklarende tekst bodemkaart van België, pp. 74.

T'Jonck, G. & F.R. Moormann, 1962. Veurne 50, E. De Verklarende tekst bodemkaart van België, pp. 100.

Legende van de bodemkaart : zie Appendix 1

1.3. SYSTEMATISCH PROFIELONDERZOEK VAN DE BODEMTYPEN

De Leenheer, L. & M. Van Ruymbeke¹. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 10, E Blankenberge en 10, W De Haan, I.W.O.N.L., pp. 39.

De Caestecker, K. & M. Van Ruymbeke. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 10, E Blankenberge en 10, W De Haan, Analyse-resultaten en profielbeschrijvingen, I.W.O.N.L., 88 pp.

De Caestecker, K. & M. Van Ruymbeke. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 22, E Houtave, I.W.O.N.L., pp. 54.

De Caestecker, K. & M. Van Ruymbeke. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 22, E Houtave, Analyse-resultaten en profielbeschrijvingen, I.W.O.N.L..

De Leenheer, L. & M. Van Ruymbeke. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 11, E Westkapelle, I.W.O.N.L., pp. 166.

De Leenheer, L. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 11, E Westkapelle, Analyse-resultaten, I.W.O.N.L..

De Leenheer, L. & M. Van Ruymbeke. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 22, W Bredene, I.W.O.N.L., pp. 191.

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 22, W Bredene, Analyse-resultaten, I.W.O.N.L..

De Leenheer, L. & W. Welvaert. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 21, E Oostende en 21, W Middelkerke, I.W.O.N.L., pp. 96.

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 21, E Oostende en 21, W Middelkerke, Analyse-resultaten, I.W.O.N.L..

¹ jaartal van publicatie is onbekend

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 35,E Oostduinkerke, I.W.O.N.L., pp. 76.

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 35,E Oostduinkerke, Analyse-resultaten, I.W.O.N.L..

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 36,W Nieuwpoort, I.W.O.N.L., pp. 129.

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 50,E Veurne, I.W.O.N.L., pp. 139.

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 50,E Veurne, Analyse-resultaten, I.W.O.N.L..

De Leenheer, L.& F. Appelmans. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 50,W De Moeren, I.W.O.N.L., pp. 43.

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 50,W De Moeren, Analyse-resultaten, I.W.O.N.L..

Voor relevante profielen : zie Bijlage 2.

2. BEKNOPTE BODEMTYPERING

Hieronder volgt een korte beschrijving van de poldergronden voorkomend in het studiegebied. Het bronmateriaal voor deze beschrijving is de bodemkaart van België (bladen 50W, 50E, 35W, 35E, 36W, 21W, 21E, 22W, 10W, 10E, 11W, het Zwin) en de bijhorende verklarende teksten. De symbolen van de bodemkaart worden uitgelegd in Bijlage 1.

De polders gelegen ten zuiden van het natuurreservaat de Westhoek en ten noorden van het Cabourg domein behoren tot de polders van het Oudland. Ten noorden van de baan Adinkerke - Duinkerke komen vooral kreekruggronden (A1z, A2, A4, A5) en overdekte waddengronden (W1) voor, ten zuiden van de baan Adinkerke - Duinkerke komen vooral overdekte waddengronden voor (W1, W2z en W2k).

Langsheen de zuidelijke rand van het Cabourg domein komen poelgronden (B4) en bodems behorend tot het landschap van de Moeren (uSl en Sl) voor.

Ten zuiden van Garzebekeveld liggen overdekte waddengronden (W1, W2z) van het Oudland.

De poldergronden ten zuiden van Oosthoek behoren tot de kreekruggronden (A4 en A5) en de overdekte waddengronden (W1) van het Oudland.

Ten zuiden van Kerkepanne komen kreekruggronden (A4, A5 en A6) van het Oudland voor.

De Lenspolder - in de Verklarende teksten van de bodemkaart aangeduid als de Groenendijkpolder - heeft bodems behorend tot strandruggronden (A1, A2z, A2k) en schorggronden (B1, B2, B3) van het Nieuwland.

Ten zuiden van Littobos komen uitgebrikte gronden (OG1, OG2) en overdekte kreekruggronden (D4) van het Middelland voor.

Het gebied tussen de baan Nieuwpoort -Westende en de IJzermonding heeft strandruggronden (A1, A2) en de schorggronden (B1, B2, B3) van het Nieuwland.

Ten zuiden van de Schuddebeurze liggen schorggronden (B1, B2, B3) van het Nieuwland en overdekte kreekruggronden (D3, D5) van het Middelland.

De polders ter hoogte van Walraversijde zijn overdekte kreekruggronden (D5), dekkleigronden (E1) van het Middelland en vergraven gronden (OT).

De polderbodems gelegen ten zuiden van de Vosseslag zijn kreekruggronden (A2, A5) en oude kleiplaatgronden (C1) van het Oudland, met enkele kleine arealen van uitgezande (OZ) en afgegraven (OA) gronden.

De polders gelegen ten oosten en ten zuidoosten van De Haan zijn kreekruggronden (A4, A5) en oude kleiplaatgronden (C1, C2) van het Oudland.

De strook gelegen ten zuiden van de Oude Hazegraspolder en ten noorden van de Graaf Jansdijk, de Nieuwe Hazegraspolder en de Willem-Leopoldpolder hebben bodems behorend tot het Nieuwland van het Zwin. Het zijn zeer zware schorgronden (Bco, Bc1, Bc2, Bc3), zware schorgronden (Bb1k, Bb1, Bb2 en Bb3), geulgronden (G1z, G2, G3) en kreekwalgronden (H1).

BIJLAGE 1 : LEGENDE VOOR DE POLDERS - BELGISCHE BODEMKAART

Uittreksel van de Legende van de Belgische Bodemkaart voor de Polderstreek (in hoeverre relevant voor het studiegebied)

Oudland**Groep A : Kreekruggronden**

A1z : lichte klei tot zavel , op minder dan 60 cm diepte overgaand tot zand

A2 : lichte klei tot zavel, op meer dan 60 cm diepte veelal overgaand tot zand

A4 : zware klei tot klei, op minder dan 60 cm diepte overgaand tot lichter materiaal; geen zand op minder dan 60 cm

A5 : zware klei tot klei, tussen 60 en 100 cm diepte overgaand tot lichter materiaal

A6 : zware klei tot klei, op meer dan 100 cm diepte overgaand tot lichter materiaal

Groep B : Poelgronden

B4 : weinig materiaal, meer dan 100 cm

Groep C : Kleiplaatgronden

C1 : zware klei, geelgrijs tot bruingrijs, op meer dan 60 cm diepte rustend op klei van Duinkerke I-transgressie

C2 : zware klei, grauwgrijs, op meer dan 60 cm diepte rustend op klei van Duinkerke I-transgressie

Groep W : Overdekte waddengronden

W1 : zware klei tot klei, tussen 60 en 130 cm diepte rustend op atlantische wadden sedimenten

W2z : klei, tussen 20 en 60 cm diepte rustend op zandige atlantische waddensedimenten

W2k : klei, tussen 20 en 60 cm diepte rustend op kleiige atlantische waddensedimenten

Middelland**Groep D : Overdekte kreekruggronden**

D3 : klei, op minder dan 60 cm diepte overgaand tot zand

D4 : zware klei, op minder dan 60 cm overgaand tot lichter materiaal; geen zand op minder dan 60 cm

D5 : zware klei, tussen 60 en 100 cm diepte overgaand tot lichter materiaal

Groep E : Dekkleigronden

E1 : zware klei, meer dan 100 cm

Nieuwland**Groep A : Strandruggronden**

A1 : zand, meer dan 100 cm; droog profiel

A2 : slibhoudend zand, meer dan 100 cm

A2z : slibhoudend zand, tussen 60 en 100 cm diepte overgaand tot zand

A2k : slibhoudend zand, tussen 60 en 100 cm diepte overgaand tot klei

Groep B : Schorgronden

B1 : klei, op minder dan 60 cm diepte overgaand tot lichter materiaal

B2 : klei, tussen 60 en 100 cm diepte overgaand tot lichter materiaal

B3 : klei, meer dan 100 cm

Nieuwland van het Zwin**Groep Bc : Zeer zware schorgronden**

Bco : zeer zware klei, op minder dan 60 cm diepte overgaand tot zand

Bc1 : zeer zware klei, op minder dan 60 cm diepte overgaand tot lichter materiaal; geen zand op minder dan 60 cm

Bc2 : zeer zware klei, op minder dan 60 cm diepte overgaand tot lichter materiaal

Bc3 : zeer zware klei, veelal overgaand tot klei

Groep Bb : Zware schorgronden

Bb1 : zware klei tot klei, op minder dan 60 cm diepte overgaand tot lichter materiaal

Bb1k : zware klei tot klei, op minder dan 60 cm diepte overgaand tot lichter materiaal dat op minder dan 100 cm rust op een oudere kleilaag

Bb2 : zware klei tot klei, tussen 60 en 100 cm diepte overgaand tot lichter materiaal

Bb3 : zware klei tot klei, meer dan 100 cm

Groep G : Geulgronden

G1z : zandig materiaal, meer dan 100 cm, in lage geulen gelegen

G2 : zware klei, doorgaans meer dan 100 cm, in lage geulen gelegen

G3 : heterogeen gereduceerd materiaal, in zeer lage geulen gelegen

Groep H : Kreekwalgronden

H1 : lichte klei tot zavel, op minder dan 100 cm diepte veelal overgaand tot zand

Landschap van de Moeren

gronden op zandig materiaal :

uSl : gronden op zandig materiaal, boven normaal ontwateringspeil, kleisubstraat beginnend op geringe diepte

SI : gronden op zandig materiaal, boven normaal ontwateringspeil, naar beneden toe zwaarder wordend.

Kunstmatige gronden

OG1 : uitgebrikte gronden, licht profiel
OG2 : uitgebrikte gronden, zwaar profiel
OA : afgegraven gronden
OT : sterk vergraven gronden
OZ : uitgezande gronden

BIJLAGE 2 : RELEVANTE PROFIELEN UIT DE VOORSTUDIES VAN DE BELGISCHE BODEMKAART

De Leenheer, L. & M. Van Ruymbeke¹ . Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 10,E Blankenberge en 10,W De Haan, I.W.O.N.L., pp. 39.

Geen profielen binnen het studiegebied.

De Caestecker, K. & M. Van Ruymbeke. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 10,E Blankenberge en 10,W De Haan, Analyse-resultaten en profielbeschrijvingen, I.W.O.N.L., 88 pp.

Geen profielen binnen het studiegebied.

De Caestecker, K. & M. Van Ruymbeke. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 22,E Houtave, I.W.O.N.L., pp. 54.

Geen profielen binnen het studiegebied.

De Caestecker, K. & M. Van Ruymbeke. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 22,E Houtave, Analyse-resultaten en profielbeschrijvingen, I.W.O.N.L..

Geen profielen binnen het studiegebied.

De Leenheer, L. & M. Van Ruymbeke. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 11,E Westkapelle, I.W.O.N.L., pp. 166.

Type (N)B1 (Bb1/Bco) : schorregronden (Nieuwland van het Zwin)(variante met ingestoven duinzand in de bovengrond) : pp. 105-110; profielput nr. 17.

Type (N)B4 (Bb3/ Bc3) : schorregronden (Nieuwland van het Zwin) : pp. 130-135; profielput nr. 18.

Per profiel : bespreking + profielbeschrijving + analyse-resultaten

De Leenheer, L. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 11,E Westkapelle, Analyse-resultaten, I.W.O.N.L..

Type (N)B1 (Bb1/Bco) : schorregronden (Nieuwland van het Zwin); profielput nr. 17, 16, 25, 11. (variante met ingestoven duinzand in de bovengrond zijn profielen 11 en 17)

Type (N)B3 (Bc2/Bb2) : schorregronden (Nieuwland van het Zwin); profielput nr. 15.

Type (N)B4 (Bb3/ Bc3) : schorregronden (Nieuwland van het Zwin); profielput nr. 18.

Per profiel : analyse-resultaten

¹ jaartal van publicatie is onbekend

De Leenheer, L. & M. Van Ruymbeke. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 22,W Bredene, I.W.O.N.L., pp. 191.

Type C2 : oude kleiplaatgronden (Middelland) : pp. 86-91; profielput nr. 47.

Per profiel : bespreking + profielbeschrijving + analyse-resultaten

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 22,W Bredene, Analyse-resultaten, I.W.O.N.L..

Type A1z : kreekruiggronden (Oudland); profielput nr. 48

Type A2 : kreekruiggronden (Oudland); profielput nr. 46.

Type C2 : oude kleiplaatgronden (Oudland); profielput nr. 47.

Per profiel : analyse-resultaten.

De Leenheer, L. & W. Welvaert. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 21,E Oostende en 21,W Middelkerke, I.W.O.N.L., pp. 96.

Geen profielen binnen het studiegebied.

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 21,E Oostende en 21,W Middelkerke, Analyse-resultaten, I.W.O.N.L..

Geen profielen binnen het studiegebied.

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 36,W Nieuwpoort, I.W.O.N.L., pp. 129.

Type N3 : schorgronden (serie B1) : pp. 82-83, 87; profielput nr. 23.

Type Oz : strandruggronden (serie Az2) : pp. 89-92; profielput nr. 19.

Per profiel : bespreking + profielbeschrijving + analyse-resultaten

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 35,E Oostduinkerke, I.W.O.N.L., pp. 76.

Type 6 : komgronden (Oudland), pp. 12-16; profielput nr. 299. Dit bodemtype komt overeen met de poelgronden (serie B).

Per profiel : bespreking + profielbeschrijving + analyseresultaten

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 35,E Oostduinkerke, Analyse-resultaten, I.W.O.N.L..

Type 6 : komgronden (Oudland); profielput nr. 299. Dit bodemtype komt overeen met de poelgronden (serie B).

Per profiel : analyse-resultaten.

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 50,E Veurne, I.W.O.N.L., pp. 139.

Geen profielen binnen het studiegebied.

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 50,E Veurne, Analyse-resultaten, I.W.O.N.L..

Geen profielen binnen het studiegebied.

De Leenheer, L.& F. Appelmans. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 50,W De Moeren, I.W.O.N.L., pp. 43.

Type (W)DC1 : opgespoelde gronden (meerplaatgronden), pp. 24; profielput nr. 7.

Type W1 : overdekte waddengronden (Oudland), pp. 34-36; profielput nr. 9 en 11.

Type (O)W2 : overdekte waddengronden (Oudland), pp. 37; profielput nr. 10.

Per profiel : bespreking

De Leenheer, L.. Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 50,W De Moeren, Analyse-resultaten, I.W.O.N.L..

Type (W)DC1 : opgespoelde gronden (meerplaatgronden); profielput nr. 7.

Type W1 : overdekte waddengronden (Oudland); profielput nr. 9 en 11.

Type (O)W2 : overdekte waddengronden (Oudland); profielput nr. 10.

Profielbeschrijving + analyseresultaten

