

Waterplanten in relatie tot waterkwaliteit en bodemgesteldheid

Deel 1

**M.J.H. de Lyon
J.G.M. Roelofs**

Mei 1986

**Laboratorium voor Aquatische Oecologie
Katholieke Universiteit, Toernooiveld
6525 ED Nijmegen**

**In opdracht van de Landinrichtingsdienst
Ministerie van Landbouw en Visserij**

VOORWOORD

Autoecologische kennis van waterplanten in de Nederlandse wateren is nogal fragmentarisch. Veelal zijn de onderzoeken beperkt tot lokale gebieden en heeft het beperkte aantal metingen dat verricht is vrijwel uitsluitend betrekking op de waterlaag. Bodemfactoren zijn slechts sporadisch gemeten. Het is daarom moeilijk om uit deze resultaten tot indicatiewaarden te komen voor de Nederlandse situatie.

Om een beter inzicht te krijgen omtrent het voorkomen van de waterplanten in Nederland in relatie tot het abiotische milieu is in de periode 1978-1983 door J. Roelofs van de afdeling Aquatische Oecologie van de Katholieke Universiteit te Nijmegen een uitgebreid verspreidingsonderzoek uitgevoerd. In dit onderzoek zijn zo'n 600 oppervlakte-wateren verspreid over geheel Nederland bemonsterd en ongeveer 50 fysisch-chemische parameters van water, bodem en omgeving zijn daarbij bepaald. Bij de Landinrichtingsdienst bleek sterke belangstelling te bestaan voor de resultaten van dit onderzoek. Deze belangstelling vloeide vooral voort uit de mogelijkheid de resultaten te gebruiken bij de planvorming van landinrichtingsprojecten en ten behoeve van de effectbeschrijvingen in het kader van HELP (Herziening Evaluatie LandinrichtingsPlannen). De resultaten van het verspreidingsonderzoek geven een gedetailleerde kennis omtrent de responsies van waterplanten voor een groot aantal milieu-variabelen en hierdoor wordt een betere effectvoorspelling mogelijk in termen van dosis-effect relaties.

Dit rapport, dat in opdracht van de Landinrichtingsdienst tot stand is gekomen, is opgesplitst in twee delen. In deel 1 worden de responsies van de waterplanten voor de meest belangrijke fysisch-chemische variabelen behandeld en tevens komen er algemenere aspecten over het voorkomen van waterplanten aan de orde. Ook worden in dit deel materiaal en methoden beschreven en onder het hoofdstuk Toepassing wordt beschreven hoe met de indicatiewaarden gewerkt kan worden. Deel 2 bevat de tabellen van alle gemeten fysisch-chemische factoren en een beschrijving daarbij.

De uitwerking van de resultaten van het verspreidingsonderzoek is uitgevoerd door drs. M. de Lyon en begeleid door J. Roelofs. Tevens is er een begeleidingscommissie gevormd bestaande uit drs. F. van Wijland en drs. J. van

de Laar van de Landinrichtingsdienst, ir. T. van Gelder van Staatsbosbeheer en drs. M. Reijnen en drs. C. ter Braak van het R.I.N..

Tijdens het verwerken van de gegevens en de rapportage heeft regelmatig overleg plaatsgevonden met F. Bloemendaal, onder andere over de indelingen van de tabellen. F. Bloemendaal heeft zich beziggehouden met het schrijven van een boek over waterplanten met de voorlopige titel "Waterkwaliteit en waterplanten" (Bloemendaal en Roelofs, 1986).

INHOUD

Voorwoord	ii
Hoofdstuk 1: Inleiding	1
1.1 Verspreiding van waterplanten	1
1.2 Waterplanten en limiterende factoren	2
1.3 Indicatiewaarden	3
Hoofdstuk 2: Materiaal en methoden	4
2.1 Onderzoeksgebied	4
2.2 Monsternamen in het veld	7
2.3 Behandeling en verwerking van de bodemonsters	8
2.4 Chemische analyses	10
2.5 Gegevensopslag en computergebruik	10
2.6 Opmerkingen over bemonstering en verwerkingsmethoden	11
2.6.1 Bemonstering	11
2.6.2 Bepaling van de indicatie	11
Hoofdstuk 3: Correlaties en responsies	13
3.1 Onderlinge correlatie van de chemische factoren	13
3.2 Relatie van waterplanten met chemische factoren	14
3.3 Responsietabellen	15
Hoofdstuk 4: Watersamenstelling en waterkwaliteit	21
4.1 PH en geleidbaarheid	21
4.2 Saliniteit	28
4.3 Relatieve aandelen van de dominante anionen in de waterlaag	34
4.4 Anorganische koolstof	39
Hoofdstuk 5: Onderwaterbodem	48
5.1 Granulaire samenstelling	49
5.2 Organische stof gehalte	54
5.3 Redoxpotentiaal van de bodem	59
5.4 Anorganische koolstof in de bodem	65
Hoofdstuk 6: Relaties tussen waterkwaliteit en bodemsamenstelling	71
6.1 Waterverharding	71
6.1.1 Waterinlaat in veengebieden	71
6.1.2 Waterkwaliteit vroeger en nu	72
6.1.3 Veranderingen bij waterinlaat	72
6.1.4 Bicarbonaat verantwoordelijk	73
6.1.5 Gevolgen voor waterplanten	74
6.1.6 Maatregelen	75
6.1.7 Waterzuivering met behulp van vloeï- of percolatievelden	75
6.2 Waterverzuring	76
6.2.1 Gevoelige wateren	76
6.2.2 Verzurende stoffen	76

6.2.3 Vegetatieveranderingen	76
6.2.4 Herstel verzuurde systemen	77
 Hoofdstuk 7: Voedselrijkdom en productiviteit	 79
7.1 Inleiding	79
7.2 Een indeling naar voedselrijkdom	80
7.2.1 Voedselarme wateren	81
7.2.2 Voedselrijkere wateren	82
7.2.3 Eutrofe wateren	82
7.2.4 Effecten van hoge voedselrijkdom en kroosdekken op de waterkwaliteit	86
 Hoofdstuk 8: Waterplanten en schadelijke stoffen	 87
 Hoofdstuk 9: Toepassing	 93
 Geraadpleegde literatuur.	 103

FIGUREN.

1. Verspreiding van de monsterpunten in Nederland. 6

TABELLEN.

1. Frequentieverdeling van de onderscheiden watertypen. 5
2. Lijst van Latijnse en Nederlandse plantennamen. 19
3. pH van de waterlaag. 25
4. Saliniteit van de waterlaag (mmol/l). 31
5. Relatieve aandelen van de dominante anionen. 36
6. Alkaliniteit van de waterlaag (meq/l). 45
7. Granulaire samenstelling van de bodem. 52
8. Organisch stofgehalte van de bodem (%). 57
9. Redoxpotentiaal van de bodem (mvolt). 62
10. Carbonaat-gehalte van de bodem ($\mu\text{mol/g DW}$). 68
11. Effect van veranderde ionsamenstelling op de waterkwaliteit van kunstmatige veensystemen. 74
12. Voedselarme wateren. 84
13. Voedselrijke wateren. 85
14. Ammoniakgehalte van de waterlaag ($\mu\text{mol/l}$). 90
15. Floristische en chemische gegevens van plas bij Staphorst. 94
16. Chemische gegevens van het voorbeeld verzoeting. 96
17. Floristische gegevens Mariapeel. 98
18. Chemische gegevens Mariapeel. 100
19. Floristische gegevens Veluwemeer. 101

Hoofdstuk 1

INLEIDING

1.1 VERSPREIDING VAN WATERPLANTEN

Zeer veel Nederlandse oppervlakte-wateren zijn ondiepe wateren. De waterdiepte beperkt zich veelal tot hoogstens enkele meters. In zulke ondiepe wateren zijn waterplanten vaak een belangrijke component in het gehele aquatische oecosysteem. De planten kunnen een hoge biomassa bereiken en hierdoor een flink deel van de waterlaag opvullen waardoor de doorstroming in bijvoorbeeld sloten beïnvloed wordt. Ook de voedingsstoffenkringloop wordt voor een deel door de waterplanten bepaald omdat afgestorven plantenmateriaal afgebroken wordt en uiteindelijk weer beschikbaar komt als voedingsstof voor waterplanten. Waterplanten vervullen een belangrijke rol als aanhechtingsplaats voor andere organismen en als voedselbron. De belangrijkheid van waterplanten blijkt ook uit het beheer van wateren. Veelal is dit er op gericht de plantengroei in de wateren te reguleren door het nemen van allerlei maatregelen.

Het voorkomen en de verspreiding van waterplanten hangt naast historische factoren vooral samen met abiotische factoren. Milieu-invloeden zoals periodieke uitdroging, stroming, golfslag, waterdiepte en licht vereisen vaak speciale aanpassingen van planten om te kunnen overleven. Deze aanpassingen kunnen onder andere bestaan uit een verschuiving van de groei- en bloeiperiode of een andere morfologie (vorm) van de plant. Daarnaast is ook de fysisch-chemische samenstelling van water en bodem van groot belang. Onder andere de factoren biologische waterhardheid, zoutgehalte, voedselrijkdom en bodemtype zijn veelal regulerende factoren voor het voorkomen van waterplanten. De resultaten die in dit rapport gepresenteerd worden beperken zich tot het voorkomen van waterplanten in relatie tot de fysisch-chemische samenstelling van water en bodem.

1.2 WATERPLANTEN EN LIMITERENDE FACTOREN

Waterplanten hebben stoffen uit hun milieu (water, bodem en eventueel lucht) nodig om te kunnen groeien en zich voort te planten. Wanneer de omstandigheden min of meer stabiel zijn ("steady state") dan zal een stof die in zulke lage beschikbare hoeveelheden voorkomt, dat het kritisch minimum voor de plant benaderd wordt, veelal de factor zijn die de plant limiteert in zijn groei. Dit wordt wel Liebig's wet van het minimum genoemd (Odum, 1971). Anderzijds kan ook een teveel van een stof limiterend zijn (Shelford's wet van tolerantie).

De tolerantiegrenzen die een soort bezit voor een stof worden het oecologisch minimum en maximum genoemd. Voor de ene stof kan de tolerantie smal zijn en voor een andere breed. Soorten met een brede tolerantie voor alle factoren hebben veelal een brede geografische verspreiding terwijl die met één of meerdere smalle toleranties meer beperkt zijn in hun verspreiding.

De tolerantie kan wisselen met de levenscyclus van soorten, met de vitaliteit en met extreme waarden van andere factoren. Meestal zijn de toleranties gedurende bijvoorbeeld de kieming beduidend smaller dan tijdens het volwassen stadium. Een voorbeeld hiervan is de witte waterlelie waarvan de volwassen planten wel in zeer voedselrijk water voorkomen maar de kiemplanten niet.

Onder omstandigheden waar meerdere factoren variëren gedurende kortere of langere tijd (geen "steady state") kunnen enkele factoren elkaar afwisselen als limiterende factor. Onder deze omstandigheden is er dan sprake van een complex van limiterende factoren. Combinatie van het voorgaande leidt tot het volgende concept: de groei en de overlevingskans van waterplanten wordt bepaald door een complex van omstandigheden. Elke omstandigheid die de tolerantiegrenzen nadert is een limiterende factor.

Uitgaande van het principe dat specifieke factoren het voorkomen en de groei van planten bepalen kan men nagaan of een specifiek milieu in potentie geschikt is voor een bepaalde soort, vooropgesteld dat men over de nodige autoecologische informatie van deze soort beschikt. Omgekeerd kan men een milieu fysisch en chemisch beoordelen aan de hand van de aanwezige planten. Niet alle soorten zijn goede indicatoren; de beste zijn die met een smalle tolerantie. Ook kan autoecologische kennis inzicht verschaffen over de gevolgen van milieuveranderingen (bijvoorbeeld verandering van watersamenstelling) op de aanwezige plantengroei.

1.3 INDICATIEWAARDEN

Onderzoek naar het voorkomen van waterplanten in relatie tot fysisch-chemische factoren verschaft belangrijke basisgegevens voor oecologisch onderzoek. Men kan bijvoorbeeld de oecologische amplitudo nagaan in een bepaald geografisch gebied voor chemische karakteristieken van de wateren waarin de soorten groeien (Wiegleb, 1978; Hellquist, 1980).

De gegevens kunnen ook gebruikt worden voor het bepalen van indicatorsoorten met hun indicaties voor de waterkwaliteit (Pietsch, 1972; Seddon, 1972; Kohler, 1975; Krause 1981; Köck, 1981; Arendt, 1981) of voor veranderingen in waterkwaliteit (Roelofs, 1983).

Tevens kunnen de gevonden correlaties als een basis dienen voor experimenteel onderzoek naar de factoren die de groei en verspreiding van plantesoorten bepalen (Glänzer et al., 1977; Roelofs, 1984).

Tot nu toe hebben de meeste onderzoekers zich beperkt tot de correlaties tussen het voorkomen van waterplanten en de waterchemie (Seddon, 1972; Pietsch, 1972; Kadono, 1982, Hellquist, 1980). Slechts weinigen betrokken ook de bodem erbij (Haslam et al., 1975; Pip, 1979; de Lange, 1972; Roelofs, 1983).

De meeste gegevens over de verspreiding van waterplanten zijn afkomstig uit het buitenland. De onderzoeken die in Nederland zijn uitgevoerd beperken zich tot een deelgebied of tot één of enkele watertypen (de Lange, 1972). Voor de terrestrische situatie is er wel een zeer uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar het voorkomen van plantesoorten in graslanden (Kruyne en de Vries, 1967).

Ellenberg (1979) geeft voor zo'n 2000 Europese plantesoorten indicatiewaarden. Hij onderscheidt daarbij het lichtgetal, temperatuurgetal, vochtgetal, reactiegetal, stikstofgetal en zoutgetal. Deze indelingen berusten voor het merendeel op praktijkervaring. De indicatiewaarden zijn uitgedrukt in relatieve schalen, er kan geen absolute waarde aan toegekend worden.

In Nederland worden de cijfers van Ellenberg regelmatig gebruikt. Strikt genomen is dit niet juist omdat de cijfers betrekking hebben op de standplaatsfactoren in Midden-Europa en niet op die in Nederland. Ook ontbreken indicatiewaarden voor enkele factoren die voor waterplanten van wezenlijk belang zijn, zoals de alkaliniteit en het fosfaatgehalte.

De resultaten die in dit onderhavige rapport gepresenteerd worden zijn afkomstig van een zeer uitgebreid verspreidingsonderzoek naar waterplanten dat in Nederland is uitgevoerd. Het onderzoek omvatte geheel Nederland en vrijwel alle watertypen. Van het water, de bodem en de omgeving zijn zo'n 50 factoren bepaald.

Hoofdstuk 2

MATERIAAL EN METHODEN

2.1 ONDERZOEKSGBIED

Tijdens het verspreidingsonderzoek zijn ongeveer 600 oppervlakte-wateren bemonsterd. De keuze van deze monsterpunten gebeurde veelal op grond van aanwijzingen van derden, op grond van eigen kennis en ervaring of aan de hand van literatuurgegevens. Bij de selectie van de monsterpunten is niet de nadruk gelegd op de, biologisch gezien, meest zeldzame situaties. Er is getracht om bij deze selectie voor iedere soort minimaal 20 groeiplaatsen te monstern, waarbij de monsterpunten zo goed mogelijk over geheel Nederland verspreid gekozen zijn. Voor enkele zeldzame soorten is het aantal van 20 monsterplaatsen niet bereikt. Alleen wateren waarin waterplanten groeiden zijn bemonsterd, wateren zonder waterplanten zijn wel bezocht maar buiten beschouwing gelaten.

De naamgeving van de vaatplanten is volgens Heukels en van der Meijden (1983). Er zijn echter twee uitzonderingen. Bij de familie van de waterlelies is naast de witte waterlelie (*Nymphaea alba* L.) ook de kantige waterlelie (*Nymphaea candida* Presl.) onderscheiden (Casper & Krausch, 1981). Deze soort wordt door Heukels en van der Meijden (1983) niet als een aparte soort onderscheiden omdat er nog te weinig onderzoek aan verricht is.

Heukels en van der Meijden (1983) onderscheidt de zoutwaterzannichellia (*Zannichellia palustris* var. *pedicellata* Wahlenb. & Rosen) als een ondersoort van *Zannichellia palustris* L.. Door ons wordt deze ondersoort echter als een aparte soort beschouwd (*Zannichellia pedunculata* Rchb.) (zie van Vierssen, 1982).

De naamgeving van de kranswieren (*Chara* en *Nitella*) is volgens Wood & Imahori (1965), voor de mossen (*Riccia*) is Margadant en During (1982) gebruikt en voor de groenwieren (*Hydrodictyon reticulatum*) Streble & Krauter (1974).

Het totale aantal soorten dat tijdens het onderzoek bemonsterd is bedraagt ongeveer 250. De helft hiervan bestaat echter uit soorten die het zwaartepunt van hun verspreiding op drogere standplaatsen hebben. De omstandigheden waaronder deze soorten bemonsterd zijn behoeven daarom niet representatief te zijn voor de milieu-eisen van deze soorten. Uiteindelijk is een selectie

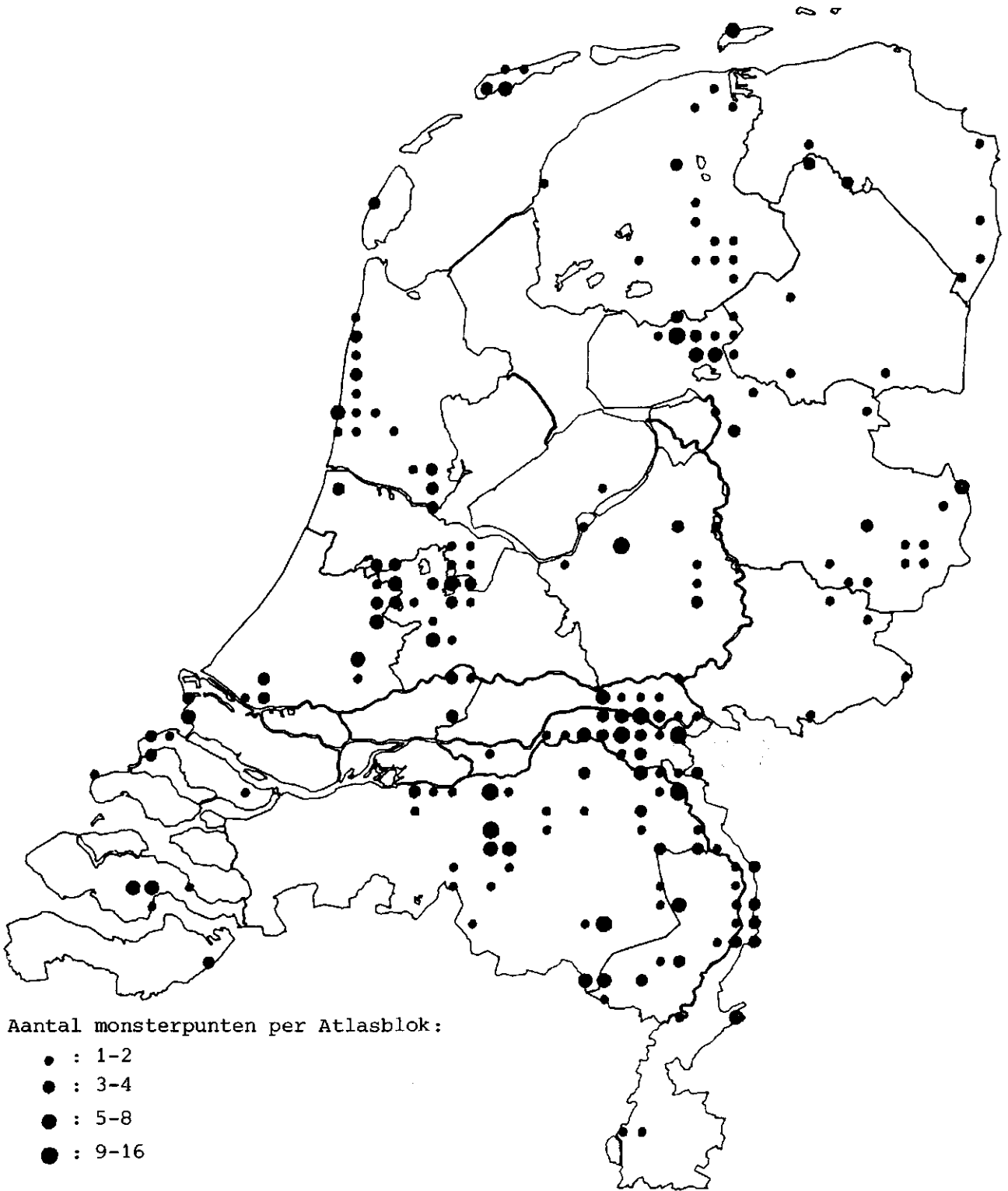
gemaakt van 121 soorten. Hieronder vallen zowel ondergedoken waterplanten en waterplanten met drijfbladeren alsook een aantal soorten waarvan de bladeren boven het wateroppervlak uitstijgen (emergent).

De ligging van de monsterplaatsen is weergegeven in Figuur 1. De figuur laat zien dat de monsterpunten over geheel Nederland verspreid gekozen zijn. Er bevinden zich concentraties van monsterplaatsen in waterrijke gebieden. De frequentieverdeling van de onderscheiden watertypen is gegeven in Tabel 1. Hieruit blijkt dat vrijwel alle typen minimaal meer dan 10 maal bemonsterd zijn. Veel typen zijn echter meer dan 20 maal bemonsterd en enkele meer dan 50 maal (vennen en sloten). De gegevens van het onderzoek kunnen als representatief beschouwd worden voor de Nederlandse situatie omdat de bemonstering over geheel Nederland heeft plaatsgevonden en veel verschillende watertypen omvatte.

Tabel 1: Frequentieverdeling van de onderscheiden watertypen.

watertype	N	percentage
sloot	278	47.3
ven	59	10.0
beek	47	8.0
afwateringskanaal	31	5.3
duinplas	30	5.1
drinkpoel of poel	29	4.9
laagveenplas, petgat, veenafgraving	21	3.5
rivier of rivierarm	17	2.9
zand- of grindafgraving	16	2.7
plas of meer	16	2.7
wiel of kolk	14	2.4
kanaal	12	2.0
kleiafgraving	12	2.0
overig	6	1.0

Figuur 1: Verspreiding van de monsterpunten in Nederland.



2.2 MONSTERNAME IN HET VELD

De gegevens voor dit verspreidingsonderzoek zijn verzameld tijdens drie deelonderzoeken die in de periode 1978-1983 uitgevoerd zijn (Allebes en Thissen, 1982; Bloemendaal en Schuurkes, 1982; Cortenraad en Driessen, 1984). Tevens zijn de gegevens van 43 wateren toegevoegd die verzameld zijn tijdens een verspreidingsonderzoek dat speciaal gericht was op het voorkomen van nymphaeide waterplanten (Custers, 1985).

Ieder geselecteerd water werd één of tweemaal bezocht gedurende de zomer (mei - oktober) en één of tweemaal tijdens de winter (november - april). Op ieder monsterpunt werd de floristische samenstelling onderzocht. Voor het maken van een vegetatieopname van het water (wateropname) werd als volgt te werk gegaan: per soort werd een schatting in % gemaakt van de maximale bedekking in een oppervlakte die gevormd werd door een rechthoek met een lengte van 5 m en een breedte van maximaal 5 m. In wateren die smaller waren dan 5 m werd dus de bedekking van een soort over een oeverlengte van 5 m genomen. De situering op het water van deze fictieve rechthoek kon per soort verschillen. De wateropname is dus een synthese van de maximale bedekkingen binnen een bepaald oppervlak van alle in het desbetreffende water voorkomende soorten.

Tevens werden er vegetatieopnamen gemaakt voor de bodemanalysen (bodemopnamen). Dit gebeurde echter alleen tijdens het groeiseizoen. Voor de bodemopnamen is een andere werkwijze gevolgd dan voor de wateropnamen. Er werden, afhankelijk van de vegetatie, één of meerdere vegetatieopnamen gemaakt van mikrohabitats die een gemiddelde oppervlakte innamen van 0.25 m². In deze mikrohabitats werden de bodemonsters genomen.

De pH van het water werd bepaald met een Metrohm model E 488 pH-meter en een model EA 152 gecombineerde elektrode. De alkaliniteit werd bepaald door titratie van 100 ml gemonsterd water met 0.1 M HCl tot pH 4.2. Watermonsters werden genomen in 200 ml gejodeerde polyethyleen flessen, direkt gefilterd over een Whatman GF/C filter en verzameld in twee gejodeerde polyethyleen potjes van 100 ml. Aan beide potjes werd ter fixatie 0.5 ml van een 200 mg/l HgCl₂-oplossing toegevoegd. Bovendien werden aan één potje enige korrels citroenzuur toegevoegd om precipitatie van metalen te voorkomen.

De bodemonsters werden genomen op de plaats waar ook de bodemopname gemaakt was. De monstername gebeurde met een roestvrij stalen steekbuis (lengte 10 cm, diameter 5.6 cm) waarbij minimaal 3 steken per mikrohabitat genomen werden en gemengd tot één monster. Alle monsters werden in een koelbox naar het laboratorium vervoerd.

Daarnaast zijn van ieder monsterpunt enkele fysische gegevens genoteerd zoals: type (sloot, beek, kanaal, grindaafgraving, etc.), waterdiepte en waterbreedte, expositie (beschut, overschaduwde) en directe omgeving (weiland, bos, weg + berm, etc.).

Na aankomst op het laboratorium werden de watermonsters onmiddellijk ingevroren bij $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ en de bodemonsters werden één nacht bij $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ bewaard.

2.3 BEHANDELING EN VERWERKING VAN DE BODEMONSTERS

Na één dag werd de redoxpotentiaal gemeten met een Metrohm E 488 pH/mV-meter en een model EA 217 platina elektrode. Vervolgens werd de bodem goed gemengd. Het vochtgehalte werd bepaald na droging van een submonster gedurende 24 uur bij $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ en gebruikt voor verdere analyse.

Voor het bepalen van de chemische samenstelling van het interstitieel bodemwater werden bodemextracties uitgevoerd. Hierbij werd $2 \times 20\text{ g}$ van de gemengde veldverse bodem afgewogen in twee geïsoleerde polyethyleen potjes van 250 cc . Aan beide potten werd 200 ml aqua bidest toegevoegd en de potjes werden gedurende 1 uur bij kamertemperatuur geschud op een Gerhardt LS 20 schudmachine (stand 10). Hierna werden de dubbele monsters gemengd, overgegoten in centrifugebuizen en gedurende 5 min. bij 5000 rpm gecentrifugeerd in een Heraeus Crist model 111 Labofuge om bodem en vloeistof te scheiden. Het supernatant werd, wanneer het troebel was, gefilterd over een Whatman GF/C filter en in 2 geïsoleerde 100 ml polyethyleen potjes gedaan.

Na fixatie met 0.5 ml van een 200 mg/l HgCl_2 -oplossing en na toevoeging aan één van de twee potjes van enige korrels citroenzuur werden deze ingevroren bij $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ en bewaard tot aan de analyse.

De rest van de oplossing werd gebruikt om pH, alkaliniteit en aciditeit te bepalen. De alkaliniteit werd bepaald door 50 ml te titreren met 0.1 N HCl tot pH 4.2 en de aciditeit door 50 ml te titreren met 0.01 n NaOH tot pH 8.2. Uit de aciditeit werd na correctie voor de pH het CO_2 -gehalte bepaald.

Na het bepalen van het vochtgehalte werd de gedroogde bodem fijn gemalen in een mortier. De fractie groter dan 2 mm (grind, grof zand en organisch materiaal) werd met behulp van een zeef gescheiden van de rest. De overblijvende fractie ($< 2\text{ mm}$) werd gebruikt voor onderstaande bewerkingen en analyses. Van de fractie $> 2\text{ mm}$ wordt algemeen aangenomen dat deze niet van belang is voor de fysische en chemische eigenschappen van de bodem.

Voor het bepalen van het gloeiverlies, hetgeen een maat is voor het organische stofgehalte, werd de bodem eerst gedurende 1 uur bij 105°C gedroogd. Daarna werd ongeveer 10 g afgewogen en gedurende 4 uur bij 550 °C uitgegloeid. Na afkoeling in een exsiccator werd de bodem opnieuw gewogen en werd de gewichtsafname in procenten (=gloeiverlies) berekend.

De granulaire samenstelling werd bepaald nadat de bodem voorbehandeld was om de bindende en kittende substanties op te lossen. Hiervoor werd 1 of 2 gram bodem gedestruueerd met 5 tot 10 ml H_2O_2 , totdat er geen organische stof meer zichtbaar was. Na toevoeging van 0.1 ml NH_4OH (gec.) werd met behulp van 3 ml HCl (1 N) de eventueel aanwezige kalk opgelost. Zowel de grofzand (200-2000 μm) als de fijnzand (50-200 μm) fractie werden van het destructiemengsel gescheiden met behulp van een zeef, gedroogd en gewogen. Het resterende destructiemengsel waarin de fractie < 50 μm werd daarna zo vaak "gewassen" met aqua bidest en gecentrifugeerd totdat er een colloïdale, disperse oplossing ontstond. Dit was nodig om de klei-fractie (colloïden) te kunnen bepalen. Met behulp van een Sartorius sedimentatie balans type 4610 werden later de silt-(2-50 μm) en de klei-(<2 μm) fracties bepaald.

Voordat onderstaande bepalingen konden worden uitgevoerd werd de fractie < 2 mm in een koffiemolen met een widia-stalen mes fijn gemalen om een zo homogeen mogelijke bodem te krijgen.

Het anorganisch koolstofgehalte (een maat voor het carbonaatgehalte) werd bepaald door 0.1-1.0 g bodem te laten reageren met 1 N fosforzuur. Het ontwijkende CO_2 werd gemeten met behulp van een infrarood koolstof analysator (Oceanography International).

Om de chemische samenstelling van de bodem te bepalen werd de bodem gedestruueerd. Hiervoor werd 150 of 250 mg homogene bodem met 5 ml gec. H_2SO_4 en 5 ml H_2O_2 p.a. gedestruueerd bij 160 °C totdat alle organische stof en H_2O_2 verdwenen was. Na afkoeling werd dit zure mengsel aangevuld tot 100 ml met aqua bidest. Vervolgens vond neutralisatie plaats met NaOH en werd de destructievloeistof in gejodeerde polyethyleen potjes gedaan en tot aan de analyse bij 4 °C bewaard.

2.4 CHEMISCHE ANALYSES

Voor het analyseren van de water-, bodemextract- en destructiemonsters werd gebruikt gemaakt van het Gemeenschappelijk Instrumentarium van de Faculteit Wiskunde en Natuurwetenschappen.

De chemische analyses werden op de volgende manier uitgevoerd: Ijzer, Mangaan, Calcium en Magnesium werden spectrofotometrisch bepaald met een Beckman Atomic Absorption Spectrofotometer (De Galan, 1969; Ramírez-Munóz, 1968); Kalium en Natrium vlamfotometrisch met een Technicon Flame Photometer IV Control (Technicon Auto-Analyser Methodology, 1966); chloride en sulfaat colorimetrisch met een Technicon Auto-Analyser I, chloride volgens O'Brien (1962) en sulfaat volgens Technicon Auto Analyser Methodology (1981); nitraat (+ nitriet), ammonium en ortho-fosfaat colorimetrisch met een Technicon Auto Analyser II, nitraat (+ nitriet) met behulp van hydrazine-sulfaat (Technicon Auto Analyser Methodology, 1969), ammonium met behulp van isocyaanzuur (Reardon et al., 1966), ortho-fosfaat met behulp van ammonium-molybdaat en isobutanol (Hendriksen, 1965; Golterman, 1978); detergenten colorimetrisch met behulp van methyleenblauw en een Technicon Auto Analyser I. Slechts de watermonsters waarbij de aanwezigheid van detergenten aannemelijk was werden geanalyseerd.

De verwijzingen van de analyse-methoden geven de methodieken die gebruikt zijn als basis voor de analyses. Inmiddels zijn er in de gevolgde procedures meer of minder wijzigingen aangebracht.

De gemeten concentraties in de extractievloeistof zijn omgerekend naar de concentratie per liter bodemwater en de gemeten concentraties van de destructievloeistof zijn omgerekend naar hoeveelheid per gram droge bodem.

2.5 GEGEVENSOPSLAG EN COMPUTERGEBRUIK

De verzamelde gegevens zijn ingevoerd in de computer en opgeslagen in een zestal data-bestanden; respectievelijk voor de watervegetatie, voor de wateranalyse, voor de bodemvegetatie, voor de analyse van het bodemwater, voor de destructie van de bodem en voor de fysische omgevingsfactoren.

De invoer van de gegevens geschiedde met behulp van invoerprogrammatuur uit het S.A.S. pakket en tevens werd programmatuur die benodigd was voor de gegevensverwerking voornamelijk samengesteld uit de S.A.S. programmatuur (SAS

Institute Inc., 1981, 1982). De bewerkingen werden uitgevoerd op een IBM 4341 computer van het Universitair Rekencentrum te Nijmegen.

2.6 OPMERKINGEN OVER BEMONSTERING EN VERWERKINGSMETHODEN

2.6.1 Bemonstering

Om een juiste indruk te verkrijgen van de waarden van standplaatsfactoren en het voorkomen van plantesoorten dienen de waarnemingen afkomstig te zijn van terreinen waar recentelijk geen veranderingen hebben plaatsgevonden. Er moet een evenwichtssituatie bestaan tussen de soorten en het milieu (Barendrecht et al., 1985).

Belangrijk hierbij is de mate waarin de milieu-omstandigheden veranderen (dynamiek) in een aquatisch systeem. Wanneer de veranderingen zich geleidelijk aan voltrekken dan zal de begroeiing daarop reageren en langzaam van soortensamenstelling veranderen. Metingen geven dan een goede afspiegeling van de standplaatsfactoren van die soorten. Is er echter sprake van snelle veranderingen in het fysisch-chemische milieu dan is het waarschijnlijk dat milieu-metingen niet representatief zijn voor de milieu-eisen van de soorten.

Bij een aantal monsterpunten van wateren die verzuren is er geen sprake van een evenwichtstoestand. In deze wateren zijn soorten bemonsterd onder zure condities terwijl deze soorten van nature niet in zure wateren voorkomen.

Van de overige bemonsterde wateren kan gesteld worden dat er min of meer sprake is van een evenwichtssituatie tussen de plantengroei en de milieu-omstandigheden. Het merendeel van de wateren in Nederland wordt beïnvloed door menselijke activiteiten. Deze activiteiten kunnen bijvoorbeeld bestaan uit maaien of schonen van sloten of uit een verandering van de hydrologie in een gebied. Ongestoorde situaties die alleen onderhevig zijn aan natuurlijke dynamiek en successie komen in Nederland niet meer voor.

2.6.2 Bepaling van de indicatie

Bij veel onderzoek naar de verspreiding van waterplanten worden van een plantesoort gemiddelden, minima en maxima gepresenteerd van de factoren in de

wateren waarin deze soort voorkomt (Pip, 1979; Hellquist, 1980; Kadono, 1982). De resultaten hiervan kunnen echter sterk beïnvloed zijn door de wijze van bemonstering. Wanneer naar verhouding veel meer zachte wateren dan harde bemonsterd zijn, dan zullen de gevonden gemiddelde waarden voor de alkaliniteit lager zijn dan wanneer de harde wateren oververtegenwoordigd waren.

De resultaten gepresenteerd als gemiddelde, minimum en maximum geven geen inzicht over hoe een soort verdeeld is over een factor. Liggen de meeste meetwaarden dicht bij elkaar met slechts enkele extreme waarden of zijn ze over een groot traject verdeeld?

Methoden die meer inzicht geven in het voorkomen van soorten in relatie tot een factor zijn verdeling van een factor in klassen en logistische regressie (ter Braak, 1983). Beide methoden zijn in een vergadering van de begeleidingscommissie besproken, de laatste aan de hand van een notitie van C. Looman. Logistische regressie is een analysetechniek waarbij een unimodale responsiecurve, namelijk de Gaussische responsiecurve, wordt aangepast aan presentie-absentie gegevens. De responsiecurve geeft de verwachte waarde van de responsie bij een gegeven waarde van een milieufactor (ter Braak, 1983). Er is gekozen voor de eenvoudige uitwerking van de gegevens met behulp van klassen. Bij de uitwerking dienen enige kanttekeningen geplaatst te worden:

- er is geen objectieve keuze mogelijk van de klassegrenzen,
- het is zeer moeilijk om combinaties van factoren na te gaan omdat het aantal klassen daardoor sterk stijgt,
- het gewogen gemiddelde en het indicatiegewicht worden enigzins door de keuze van het aantal klassen en de klassegrenzen beïnvloed.

De consequenties van deze kanttekeningen zijn voor het gebruik van de indicatiewaarden van weinig belang. De variatie van de indicatiewaarden en -gewichten is slechts gering en voor gebruik in praktijksituaties te verwaarlozen.

Hoofdstuk 3

CORRELATIES EN RESPONSIES

3.1 ONDERLINGE CORRELATIE VAN DE CHEMISCHE FACTOREN

In tabel 1 van deel 2 zijn de Spearman correlatie-coëfficiënten weergegeven tussen alle chemische factoren van water en bodem. Als ondergrens voor de correlatie is een waarde van 0.2 genomen, dit betekent dat er een significante correlatie is bij $\alpha = 0.01$ en ongeveer 150 waarnemingen. Deze ondergrens van 150 waarnemingen wordt slechts door enkele combinaties bereikt, veelal liggen het aantal waarnemingen van een combinatie veel hoger, namelijk tussen 400 en 600. Bij deze hogere aantallen ligt de overschrijdingskans veel lager. Positieve correlaties tussen 0.2 en 0.4 zijn met +, die tussen 0.4 en 0.7 met ++ en die tussen 0.7 en 1.0 met +++ weergegeven. De negatieve correlaties zijn op gelijke wijze met min-tekens aangegeven. Voor de berekening van de correlaties zijn alleen de gemiddelde waarden van de zomerperiode gebruikt.

In de tabel zijn de factoren gegroepeerd naar drie subsets: water, bodemwater en bodem. De tabel laat zien dat veel factoren een hoge correlatie bezitten met andere factoren, zowel met die uit dezelfde subset als met factoren uit andere subsets.

In de subset water zijn een aantal factoren onderling sterk tot zeer sterk gecorreleerd. Deze factoren zijn alkaliniteit, pH, chloride, totale saliniteit, calcium, magnesium, natrium en in mindere mate fosfaat. Tevens bezitten de factoren uit deze groep ook hoge correlaties met zowel factoren uit de subset bodemwater als met die uit de subset bodem. De groep factoren bestaande uit nitraat, ammonium, ijzer, sulfaat en mangaan is onderling veel minder sterk gecorreleerd. Ook blijkt dat de factoren uit deze laatste groep geen of zeer lage correlaties bezitten met factoren uit de voorgaande groep van de subset water en ook dat de correlaties met de factoren uit de subsets bodemwater en bodem afwezig of zeer laag zijn.

In de subset bodemwater zijn alkaliniteit, pH, chloride, calcium, magnesium, natrium en kalium sterk tot zeer sterk gecorreleerd. Fosfaat en ammonium bezitten minder sterke correlaties met factoren uit deze groep. De factoren aciditeit, sulfaat, nitraat, ijzer en mangaan hebben zowel onderling als met de overige factoren uit het bodemwater geen of lage correlaties. De

redoxpotentiaal bezit licht negatieve correlaties met alkaliniteit, pH, magnesium en natrium in het bodemwater. Ook vertoont de redoxpotentiaal licht negatieve correlaties met de alkaliniteit, pH, chloride, totale ionensom, calcium, magnesium, natrium en fosfaat in de waterlaag. Bij een verlaging van de redoxpotentiaal nemen dus de concentraties van deze stoffen toe in de waterlaag. Tevens blijkt dat een afname van de redoxpotentiaal min of meer samengaat met een toename van het carbonaatgehalte en de gehalten van de meeste kationen in het sediment.

Tussen de factoren van de subset bodem bestaan onderling veel en hoge correlaties. Er zijn twee groepen van factoren te onderscheiden. De eerste groep die bestaat uit de totaalgehalten van calcium, magnesium, kalium, fosfaat, stikstof, ijzer, mangaan en carbonaat, uit het asvrijdrooggewicht en de silt- en klei-fractie zijn onderling sterk tot zeer sterk positief gecorreleerd. De tweede groep die gevormd wordt door de fracties voor grof- en fijn-zand zijn onderling niet gecorreleerd maar bezitten wel negatieve correlaties met de factoren uit de vorige groep. Deze laatste correlaties tonen duidelijk aan dat naarmate de bodemsamenstelling fijner wordt (minder zand en meer silt en klei), het potentiële aanbod van voedingsstoffen sterk toeneemt.

Tevens suggereren de resultaten dat de correlaties tussen de subsets water en bodem over het algemeen hoger zijn dan de correlaties tussen de subsets bodemwater en bodem. Een mogelijke oorzaak hiervan kan zijn dat de bepaling van gehalten in het interstitieel water vaak moeilijk is en door de werkwijze relatief grote fouten kan opleveren.

3.2 RELATIE VAN WATERPLANTEN MET CHEMISCHE FACTOREN

Om een globaal overzicht te verkrijgen omtrent het voorkomen van de waterplanten in relatie tot de gemeten chemische factoren, is een nonparametrische toets uitgevoerd op voorkomen van deze soorten. Met behulp van deze toets (nonparametrische Wilcoxon toets voor ongepaarde waarnemingen) is nagegaan of er verschil bestaat voor wat betreft de waarden van een afzonderlijke chemische factor tussen de wateren waarin een soort voorkomt en de wateren waarin deze soort niet voorkomt. Met deze toets worden soorten onderscheiden die of bij hogere of bij lagere waarden van een factor voorkomen. Op deze wijze worden echter soorten die tot het middengebied van

een factor beperkt zijn niet onderscheiden. In de toetsingstabel kan snel en op eenvoudige wijze worden nagegaan of er factoren zijn op de groeiplaatsen van een soort die duidelijk hogere of lagere waarden bezitten dan in de wateren waarin deze soort niet voorkomt en zo ja, welke factoren.

De resultaten van de toetsing zijn in tabel 2 van deel 2 weergegeven. In deze tabel is met de tekens + en - weergegeven of de waarden van een factor in de wateren waarin een soort voorkomt respectievelijk significant hoger of lager zijn dan in de wateren waarin deze soort niet voorkomt. Om de tabel overzichtelijk te maken zijn de soorten achtereenvolgens gesorteerd naar de scores voor de alkaliniteit, het fosfaatgehalte en het ammoniumgehalte in de waterlaag. De tabel wordt slechts in grove lijnen besproken. Allereerst is in de tabel duidelijk waarneembaar dat een groot aantal factoren sterk gecorreleerd zijn en dat er veel en sterke correlaties zijn tussen het voorkomen van de soorten afzonderlijk en de chemische factoren. Sommige chemische factoren blijken vaker en sterker gecorreleerd met het voorkomen van soorten dan andere factoren (bijvoorbeeld de alkaliniteit in de waterlaag en de aciditeit in van het bodemwater). Deze tabel geeft een indruk welke factoren belangrijk zijn voor het voorkomen van waterplanten en welke minder belangrijk.

De groep van soorten die bij een lagere alkaliniteit in de waterlaag voorkomen hebben veelal hogere percentages grof- en fijnzand in de bodem en een hogere redoxpotentiaal. Soorten voorkomend bij hogere alkaliniteiten hebben daarentegen hogere percentages klei en silt in de bodem en een lagere redoxpotentiaal.

3.3 RESPONSITABELLEN

In het nu volgende onderdeel worden relaties van soorten met belangrijke fysisch-chemische factoren gepresenteerd. Hierbij wordt het voorkomen van soorten nagegaan met betrekking tot fysisch-chemische factoren afzonderlijk. Op deze manier kan de oecologische respons bepaald worden ten opzichte van deze factoren. De meer complexe relaties, gebaseerd op interacties tussen factoren, worden op deze manier niet duidelijk.

Voor de bepaling van de respons van een soort is de volgende werkwijze gevolgd. Allereerst is een bepaalde chemische factor in een aantal klassen verdeeld. Vervolgens werd bepaald hoeveel wateren tot elke klasse behoorden en

van iedere soort afzonderlijk werd berekend hoe vaak deze soort in iedere klasse voorkwam. Hierna werd het relatieve voorkomen berekend (dit is het aantal waarnemingen van een soort in een klasse gedeeld door het totaal aantal wateren in die klasse). Deze percentages werden vervolgens per soort gestandaardiseerd naar 100 %.

De op deze manier verkregen responsiegetallen hebben het voordeel dat zij onafhankelijk zijn van de wijze van bemonstering, dit in tegenstelling tot het weergeven van de absolute aantallen in iedere klasse. Als gevolg van een bepaalde opzet van monsternamen kunnen er onevenredig veel of weinig wateren in een bepaalde klasse bemonsterd zijn waardoor het aantal waarnemingen van een soort in die klasse beïnvloed wordt. De keuze van de klassegrenzen is wel enigzins van invloed op de responsiegetallen omdat door verandering van de grenzen het aantal wateren in een klasse verandert en niet noodzakelijkerwijs het aantal waarnemingen van een soort in die klasse. De keuze van de grenzen is daardoor ook enigzins van invloed op het hierna te bespreken gewogen gemiddelde (gg).

Deze manier van uitwerken geeft echter een beter beeld van de ecologische respons van een soort ten opzichte van een afzonderlijke factor dan bijvoorbeeld de presentatie van gemiddelde waarden en minima en maxima.

Bij alle factoren zijn bij de bepaling van de responsie niet alle waarnemingen van een soort gebruikt maar is een benadering van een 90 % interval toegepast. Dit is gedaan door afhankelijk van het aantal waarnemingen van een soort een bepaald aantal waarnemingen aan onder- en bovengrens te verwijderen. Bij een $n < 10$ werden geen waarnemingen verwijderd, bij $11 \leq n \leq 29$ werd de laagste en de hoogste waarneming verwijderd, bij $30 \leq n \leq 49$ werden de laagste en de hoogste twee waarnemingen verwijderd, etc. Dit 90 % interval is toegepast om eventueel sterk afwijkende waarnemingen, bijvoorbeeld als gevolg van éénmalige piekbelastingen, uit te sluiten.

Het gewogen gemiddelde werd op de volgende manier bepaald. Per klasse werd per soort het gemiddelde bepaald van de waarnemingen in die klasse. Met behulp van deze klassegemiddelden werd vervolgens een gewogen gemiddelde bepaald door ieder klassegemiddelde te wegen met het responsiegetal van de betreffende soort in die klasse.

hogere klasse
 lagere klasse

De formule is als volgt:

$$\sum_{k=1}^{k=n} g_k \times \text{resp}$$

gewogen gemiddelde (gg) = $\frac{\sum_{k=1}^{k=n} g_k \times \text{resp}}{100}$

waarbij g_k het gemiddelde in een klasse is, k het klassennummer, n het aantal klassen en resp het responsiegetal.

De essentie van deze berekening is dat het klassegemiddelde in een klasse waar een soort een hoog responsiegetal heeft, zwaarder weegt dan het klassegemiddelde van een klasse waarin een soort slechts een zeer laag responsiegetal heeft.

Om een kwantitatieve maat te verkrijgen van de mate waarin de respons van een soort afwijkt van een respons die onafhankelijk is van een factor, is de formule voor de bepaling van de chi-kwadraat waarde toegepast op de responsiegetallen.

In formulevorm:

$$\sum_{k=1}^{k=n} \frac{(\text{obs} - \text{exp})^2}{\text{exp}^2}$$

gemodificeerde chi-waarde (m_x) = $\frac{\sum_{k=1}^{k=n} \frac{(\text{obs} - \text{exp})^2}{\text{exp}^2}}{n}$

waarbij obs het waargenomen responsiegetal in een klasse is en exp het verwachte responsiegetal is.

De absolute waarde van dit getal (m_x) heeft geen enkele betekenis voor de chi-kwadraat toets omdat deze toets alleen op absolute aantallen mag worden toegepast en niet op relatieve getallen zoals de responsiewaarden. Het getal geeft echter wel een goede indicatie voor de mate waarin de respons van een soort afwijkt van een onafhankelijke verdeling.

In de tabellen wordt de mate van indicatie (indicatiegewicht) weergegeven met een aantal sterren (ind) op basis van de waarde van m_x volgens:

- $0 \leq m_x < 0.5$: geen ster
- $0.5 \leq m_x < 1.0$: *
- $1.0 \leq m_x < 2.0$: **
- $2.0 \leq m_x$: ***

Op deze manier worden indicerende en indifferente soorten onderscheiden. Indicerende soorten zijn soorten die in één of enkele opeenvolgende klassen maximale responsiegetallen bezitten. Indifferente soorten hebben een min of meer homogene verdeling over de klassen. Soorten die meerdere maximale responsiegetallen hebben in elkaar niet opvolgende klassen (twee- of meer-toppig) bezitten wel een relatief hoog indicatiegetal maar kunnen desondanks niet als indicator aangemerkt worden. Bij de interpretatie van de tabellen dient hiermee rekening te worden gehouden.

In de tabellen is allereerst een onderverdeling gemaakt in een groep bestaande uit ondergedoken (submerse) waterplanten en waterplanten met drijfbladeren en in een groep bestaande uit waterplanten die in volwassen stadium boven het wateroppervlak uitstijgen (emergente waterplanten of helofyten). Binnen deze groepen zijn de soorten verdeeld in indicerend en indifferent en daarbinnen weer gerangschikt naar opklimmend gewogen gemiddelde. In de groep van indicatorsoorten is waar mogelijk een onderverdeling gemaakt op basis van gewogen gemiddelde en responsiegetallen. In de tabellen zijn de soorten met hun Latijnse naam weergegeven. Tabel 2 bevat een lijst waarmee de Nederlandse naam teruggezocht kan worden.

Keuze factoren.

In deel 1 worden de resultaten gepresenteerd van een geselecteerd aantal factoren van water en bodem. Op basis van de factoren verkrijgt men een goede indruk omtrent het voorkomen van waterplanten in relatie tot het abiotisch milieu. De geselecteerde factoren van de waterlaag zijn de pH, de saliniteit en de alkaliniteit, van de bodem de bodemsamenstelling (bodems soort), het organisch stofgehalte, de redoxpotentiaal en het organische stofgehalte, en een gecombineerde uitwerking van het fosfaatgehalte in water en bodem bij niet-limiterende stikstofgehalten. Tevens is aan ammoniak aandacht besteed als giftige stof.

Tabel 2: Lijst van Latijnse en Nederlandse plantennamen.

Latijnse naam	Nederlandse naam
<i>Acorus calamus</i> L.	Kalmoes
<i>Alisma lanceolatum</i> With.	Middelste waterweegbree
<i>Alisma plantago-aquatica</i> L.	Grote waterweegbree
<i>Apium inundatum</i> (L.) Rchb.f.	Ondergedoken moerasscherm
<i>Azolla filiculoides</i> Lamk.	Grote kroosvaren
<i>Butomus umbellatus</i> L.	Zwanebloem
<i>Callitriche hamulata</i> Kutz. ex Koch	Haaksterrekroos
<i>Callitriche obtusangula</i> Le Gall	Stomphoekig sterrekroos
<i>Callitriche platycarpa</i> Kutz.	Gewoon sterrekroos
<i>Carex lasiocarpa</i> Ehrh.	Draadzegge
<i>Carex rostrata</i> Stokes	Snavelzegge
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	Gedoornd hoornblad
<i>Ceratophyllum submersum</i> L.	Ongedoornd hoornblad
<i>Chara globularis</i> Thuill.	Kranswier
<i>Chara hispida</i> L.	Kranswier
<i>Chara vulgaris</i> L.	Kranswier
<i>Cicuta virosa</i> L.	Waterscheerling
<i>Cladium mariscus</i> (L.) Pohl	Galigaan
<i>Echinodorus ranunculoides</i> (L.) Engelmann	Kleine waterweegbree
<i>Echinodorus repens</i> (Lamk.) Kern et Reichg.	Kruipende waterweegbree
<i>Elatine hexandra</i> (Lampierre) DC	Gesteeld glaskroos
<i>Eleocharis acicularis</i> (L.) R. et Sch.	Naaldwaterbies
<i>Eleocharis multicaulis</i> (Smith) Smith	Veelstengelige waterbies
<i>Eleocharis palustris</i> (L.) R. et Sch.	Gewone waterbies
<i>Elodea canadensis</i> Michx	Brede waterpest
<i>Elodea nuttallii</i> (Planch.) St. John	Smalle waterpest
<i>Enteromorpha species</i>	Darmwier
<i>Equisetum fluviatile</i> L.	Holpijp
<i>Eriophorum angustifolium</i> Honck.	Veenpluis
<i>Fontinalis antipyretica</i> L.	Bronmos
<i>Glyceria fluitans</i> (L.) R. Br.	Mannagras
<i>Glyceria maxima</i> (Hartman) Holmberg	Liesgras
<i>Hippuris vulgaris</i> L.	Lidsteng
<i>Hottonia palustris</i> L.	Watervioler
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i> L.	Kikkerbeet
<i>Hydrodictyon reticulatum</i> (L.) Lagerheim	Waternetje
<i>Hydrocotyle vulgaris</i> L.	Waternavel
<i>Hypericum elodes</i> L.	Moerashertshooi
<i>Iris pseudacoris</i> L.	Gele lis
<i>Juncus articulatus</i> L.	Zomprus
<i>Juncus bulbosus</i> L.	Knolrus
<i>Juncus effusus</i> L.	Pitrus
<i>Lemna gibba</i> L.	Bultkroos
<i>Lemna minor</i> L.	Klein kroos
<i>Lemna trisulca</i> L.	Puntkroos
<i>Littorella uniflora</i> (L.) Aschers.	Oeverkruid
<i>Lobelia dortmanna</i> L.	Waterlobelia
<i>Luronium natans</i> (L.) Raf.	Drijvende waterweegbree
<i>Mentha aquatica</i> L.	Watermunt
<i>Menyanthes trifoliata</i> L.	Waterdrieblad
<i>Myriophyllum alterniflorum</i> DC	Teer vederkruid
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Aarvederkruid
<i>Myriophyllum verticillatum</i> L.	Kransvederkruid
<i>Nasturtium microphyllum</i> (Boenn) Airy Shaw	Slanke waterkers
<i>Nitella flexilis</i> Agardh	Kranswier
<i>Nuphar lutea</i> (L.) Sm.	Gele plomp
<i>Nymphaea alba</i> L.	Witte waterlelie
* <i>Nymphaea candida</i> Presl	Kantige waterlelie

<i>Nymphoides peltata</i> (Gmel.) O. Kuntze	Watergentiaan
<i>Oenanthe aquatica</i> (L.) Poiret	Watertorkruid
<i>Oenanthe fistulosa</i> L.	Pijptorkruid
<i>Peplis portula</i> L.	Waterpostelein
<i>Phalaris arundinacea</i> L.	Rietgras
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex St	Riet
<i>Pilularia globulifera</i> L.	Pilvaren
<i>Polygonum amphibium</i> L.	Veenwortel
<i>Potamogeton acutifolius</i> Link	Spitsbladig fonteinkruid
<i>Potamogeton alpinus</i> Balb.	Rosig fonteinkruid
<i>Potamogeton berchtoldii</i> Fieb.	Klein fonteinkruid
<i>Potamogeton coloratus</i> Hornem.	Doorschijnend fonteinkruid
<i>Potamogeton compressus</i> L.	Plat fonteinkruid
<i>Potamogeton crispus</i> L.	Gekroesd fonteinkruid
<i>Potamogeton densus</i> L.	Dichtbladig fonteinkruid
<i>Potamogeton gramineus</i> L.	Ongelijkbladig fonteinkruid
<i>Potamogeton lucens</i> L.	Glanzig fonteinkruid
<i>Potamogeton mucronatus</i> Schrader ex Sonder	Puntig fonteinkruid
<i>Potamogeton natans</i> L.	Drijvend fonteinkruid
<i>Potamogeton obtusifolius</i> Mert. et Koch	Stompbladig fonteinkruid
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	Schedefonteinkruid
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	Doorgroeid fonteinkruid
<i>Potamogeton polygonifolius</i> Pourr.	Duizendknoopfonteinkruid
<i>Potamogeton pusillus</i> L.	Tenger fonteinkruid
<i>Potamogeton trichoides</i> Cham. et Schld.	Haarfonteinkruid
<i>Potentilla palustris</i> (L.) Scop.	Wateraardbei
<i>Ranunculus aquatilis</i> L.	Fijne waterranonkel
<i>Ranunculus baudotii</i> Godr.	Zilte waterranonkel
<i>Ranunculus circinatus</i> Sibth.	Stijve waterranonkel
<i>Ranunculus flammula</i> L.	Egelboterbloem
<i>Ranunculus ololeucos</i> Lloyd	Witbloemige waterranonkel
<i>Ranunculus peltatus</i> Schrank	Gewone waterranonkel
<i>Ranunculus sceleratus</i> L.	Blaartrekkende boterbloem
<i>Ranunculus trichophyllus</i> Chaix	Haarblad waterranonkel
<i>Riccia fluitans</i> L.	Watervorkje
<i>Rorippa amphibia</i> (L.) Besser	Gele waterkers
<i>Rumex hydrolapathum</i> Hudson	Waterzuring
<i>Sagittaria sagittifolia</i> L.	Pijlkruid
<i>Scirpus fluitans</i> L.	Vlottende bies
<i>Scirpus lacustris</i> L.	Mattenbies
<i>Scirpus maritimus</i> L.	Zeebies
# <i>Scirpus lacustris</i> subsp.	
<i>tabernaemontani</i> . (C. C. Gmelin) Syme	Ruwe bies
<i>Berula erecta</i> (Hudson) Coville	Kleine watereppe
<i>Sium latifolium</i> L.	Grote watereppe
<i>Sparganium emersum</i> Rehmann	Kleine egelskop
<i>Sparganium erectum</i> L.	Grote egelskop
<i>Sparganium minimum</i> Wallr.	Kleinste egelskop
<i>Sphagnum species</i>	Veenmos
<i>Spirodela polyrhiza</i> (L.) Schleiden	Veelwortelig kroos
<i>Stratiotes aloides</i> L.	Krabbescheer
<i>Typha angustifolia</i> L.	Kleine lisdodde
<i>Typha latifolia</i> L.	Grote lisdodde
<i>Utricularia australis</i> R. Brown	Citroengeel blaasjeskruid
<i>Utricularia minor</i> L.	Klein blaasjeskruid
<i>Utricularia vulgaris</i> L.	Gewoon blaasjeskruid
<i>Veronica catenata</i> Pennell	Rode water-ereprijs
<i>Wolffia arrhiza</i> (L.) Hork. ex Wimm.	Wortelloos kroos
<i>Zannichellia palustris</i> L.	Zoetwaterzannichellia
* <i>Zannichellia pedunculata</i> Rchb.	Zoutwaterzannichellia

* : afwijkend van Heukels en van der Meijden (1983).

: in de tabellen aangegeven als *Scirpus tabernaemontani*

Hoofdstuk 4

WATERSAMENSTELLING EN WATERKWALITEIT

4.1 PH EN GELEIDBAARHEID

De pH en de geleidbaarheid zijn belangrijke grootheden van een water. Bovendien zijn deze eenvoudig te meten. De pH geeft informatie over de zuurgraad van een water en de geleidbaarheid over de totale hoeveelheid aanwezige ionen.

Veel meetgegevens van wateren zijn beperkt tot deze twee factoren. De pH van een water kan gedurende een etmaal sterk variëren als gevolg van hoge fotosynthese activiteit van de waterplanten. Deze variatie is het meest uitgesproken in voedselrijke wateren en kan enkele pH-eenheden bedragen. Door deze variatie is de pH-meting in die situaties slechts een momentopname.

In Tabel 3 zijn de waterplanten gerangschikt naar het voorkomen met betrekking tot de pH in het water. De pH is in een aantal klassen ingedeeld en per klasse is het voorkomen (de respons) en het gewogen gemiddelde (gg) van een soort berekend. Voor een gedetailleerde beschrijving van de berekening van de respons en het gewogen gemiddelde zie hoofdstuk 3, paragraaf 3. Hoe hoger de respons is hoe meer "voorkeur" een soort heeft voor een bepaalde klasse. Op basis van dit voorkomen ten opzichte van de pH is in de tabel een indeling gemaakt in verschillende groepen. Allereerst is een splitsing gemaakt in soorten met ondergedoken bladeren of drijfbladeren en in soorten die met de bladeren boven het wateroppervlak uitstijgen (emergente waterplanten). Vervolgens zijn de soorten ingedeeld naar hun gewogen gemiddelde.

Een aantal soorten die volgens de meetgegevens een optimum in zuur of zwak zuur water hebben komen onder natuurlijke omstandigheden bij hogere pH-waarden voor. Echter als gevolg van verzuring van zwak-gebufferde wateren zijn deze soorten opgeschoven naar lagere pH-waarden. Bij de waterplanten met ondergedoken of drijvende bladeren is er een indeling in zes groepen gemaakt.

1. Soorten van zuur water ($gg < 5.0$).
Deze soorten hebben een optimum beneden pH 5.0 en komen veelvuldig voor beneden pH 4.0. Veenmos soorten (*Sphagnum species*) en klein blaasjeskruid (*Utricularia minor*) komen van nature veel voor in zuur water, terwijl knolrus (*Juncus bulbosus*) en witbloemige waterranonkel (*Ranunculus ololeucos*) hoge responsiewaarden hebben bij $pH \leq 4.0$ als gevolg van de verzuring.
2. Soorten van overwegend zwak zuur water ($5.0 \leq gg < 6.0$).
Deze soorten komen niet voor beneden pH 4.0, dit in tegenstelling tot de vorige groep en ze bezitten een bredere range die loopt tot circumneutrale pH-waarden. Tot deze groep behoren onder andere moerashertshooi (*Hypericum elodes*), oeverkruid (*Littorella uniflora*) en drijvende waterweegbree (*Luronium natans*).
3. Soorten van zwak zuur tot circumneutraal water ($6.0 \leq gg < 7.3$).
Deze soorten komen niet voor beneden pH 5.0 en bezitten veelal ook een brede range. Een aantal soorten komt voor boven pH 8.0. Deze groep is beduidend groter dan de voorgaande twee en bevat onder andere haaksterrekroos (*Callitriche hamulata*), pilvaren (*Pilularia globulifera*), watervorkje (*Riccia fluitans*) en gewone waterranonkel (*Ranunculus peltatus*).
4. Soorten van circumneutraal tot alkalisch water ($7.3 \leq gg < 8.5$).
Deze soorten komen niet of weinig voor beneden pH 6.5. Veel van de soorten komen regelmatig tot zeer regelmatig voor bij waarden boven pH 8.5. Deze groep omvat ongeveer de helft van het totaal aantal soorten.
5. Soorten van alkalisch water ($gg \geq 8.5$).
De vier soorten waaruit deze groep bestaat, aarvederkruid (*Myriophyllum spicatum*), ongedoornd hoornblad (*Ceratophyllum submersum*), zoutwaterzannichellia (*Zannichellia pedunculata*) en zilte waterranonkel (*Ranunculus baudotii*), komen vrijwel uitsluitend voor boven pH 8.0. De laatste drie zijn soorten van brakke wateren, die sterk met bicarbonaat gebufferd zijn.
6. Indifferente soorten.

In deze zeer kleine groep bevinden zich dezelfde soorten (witte waterlelie (*Nymphaea alba*) en mannagras (*Glyceria fluitans*)) die ook bij de alkaliniteit (Tabel 6) indifferent zijn.

Bij de helofyten worden ook zes groepen onderscheiden.

1. Soorten van zuur water ($gg < 5.0$).
Veenpluis (*Eriophorum angustifolium*) is beperkt tot pH-waarden lager dan 6.0, terwijl veelstengelige waterbies (*Eleocharis multicaulis*) en snavelzegge (*Carex rostrata*) af en toe ook bij hogere pH-waarden voorkomen.
2. Soorten van overwegend zwak zuur water ($5.0 \leq gg < 6.0$).
Deze soorten bezitten allen een brede range, ze komen nog voor beneden pH 4.0 en boven pH 7.0. De hoogste responsiewaarden worden evenwel bereikt in het pH-traject 4.0-5.0. Waternavel (*Hydrocotyle vulgaris*) en mattenbies (*Scirpus lacustris*) zijn soorten die hiertoe behoren.
3. Soorten van zwak zuur tot circumneutraal water ($6.0 \leq gg < 7.3$).
Deze soorten komen niet voor beneden pH 5.0 en veelal weinig of niet beneden pH 6.0. In de range 6.0-8.0 zijn ze vrij homogeen verdeeld; boven pH 8.0 komen ze weinig voor. Tot deze groep worden onder andere kalmoes (*Acorus calamus*) en kleine egelskop (*Sparganium emersum*) gerekend.
4. Soorten van circumneutraal tot zwak alkalisch water ($7.3 \leq gg < 8.2$).
Deze soorten komen vrijwel niet voor beneden pH 6.0, slechts weinig of niet beneden pH 6.5. en regelmatig boven 8.0. Pijlkruid (*Sagittaria sagittifolia*) en liesgras (*Glyceria maxima*) zijn soorten die hiertoe behoren.
5. Soorten van alkalisch water ($gg \geq 8.2$).
Deze soorten komen niet voor beneden pH 7.0. Beide biessoorten (*Scirpus*) zijn echter wel bimodaal verdeeld.
6. Indifferente soorten.
Deze soorten hebben een zeer brede range maar komen niet voor beneden pH-waarden van 4.0.

De geleidbaarheid is in het verspreidingsonderzoek niet gemeten. Een wellicht betere grootheid echter voor de totale ionrijkdom van het water is de saliniteit. Deze kon wel worden bepaald en wordt in de volgende paragraaf besproken.

Tabel 3: pH van de waterlaag.

n = aantal waarnemingen, gg = gewogen gemiddelde,
ind = indicatiegewicht : * = zwak , ** = matig , *** = sterk.
voor uitleg zie "Responsietabellen"

Ondergedoken waterplanten en waterplanten met drijfbladeren

	n	ind	gg
Soorten van zuur water:			
Sphagnum species	29	***	4.1
Utricularia minor	16	**	4.4
Juncus bulbosus	73	**	4.8
Ranunculus ololeucos	6	**	4.9

Soorten van overwegend zwak
zuur water:

Hypericum elodes	19	***	5.6
Littorella uniflora	17	**	5.8
Luronium natans	31	*	5.8
Sparganium minimum	9	**	5.8
Utricularia australis	16	*	5.8

Soorten van zwak zuur tot
circumneutraal water:

Peplis portula	23	**	6.2
Pilularia globulifera	10	**	6.3
Callitriche hamulata	25	**	6.4
Potamogeton polygonifolius	26	***	6.4
Scirpus fluitans	27	**	6.4
Echinodorus repens	8	***	6.5
Myriophyllum alterniflorum	18	***	6.8
Nymphaea candida	19	**	6.8
Ranunculus flammula	48	*	6.8
Ranunculus peltatus	28	**	6.8
Riccia fluitans	36	*	6.8
Apium inundatum	15	**	6.9
Nitella flexilis	12	**	6.9
Potamogeton natans	128	*	6.9
Hottonia palustris	52	*	7.1
Nuphar lutea	108	*	7.1
Callitriche platycarpa	52	*	7.2
Eleocharis acicularis	42	*	7.2
Potamogeton obtusifolius	24	*	7.2

Soorten van circumneutraal tot
alkalisch water:

Azolla filiculoides	24	*	7.3
Echinodorus ranunculoides	10	**	7.3
Elatine hexandra	7	**	7.3
Elodea canadensis	52	*	7.4
Potamogeton compressus	22	**	7.4
Hydrocharis morsus-ranae	83	*	7.5
Lemna minor	175	*	7.5
Utricularia vulgaris	24	**	7.5
Wolffia arrhiza	11	**	7.5
Chara globularis	20	**	7.6
Elodea nuttallii	156	*	7.6
Myriophyllum verticillatum	19	**	7.6
Potamogeton acutifolius	21	*	7.6
Potamogeton alpinus	17	*	7.6
Potamogeton gramineus	22	**	7.6

<i>Spirodela polyrhiza</i>	101	**	7.6
<i>Stratiotes aloides</i>	52	*	7.6
<i>Potamogeton densus</i>	29	***	7.7
<i>Lemna gibba</i>	77	*	7.7
<i>Potamogeton crispus</i>	59	*	7.7
<i>Potamogeton lucens</i>	35	**	7.7
<i>Potamogeton trichoides</i>	58	*	7.7
<i>Ceratophyllum demersum</i>	76	*	7.8
<i>Hippuris vulgaris</i>	22	**	7.8
<i>Lemna trisulca</i>	127	*	7.8
<i>Nymphoides peltata</i>	36	**	7.8
<i>Potamogeton berchtoldii</i>	15	**	7.8
<i>Potamogeton mucronatus</i>	22	*	7.8
<i>Fontinalis antipyretica</i>	5	***	7.9
<i>Ranunculus aquatilis</i>	37	**	7.9
<i>Callitriche obtusangula</i>	29	**	8.0
<i>Chara hispida</i>	12	***	8.0
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	26	**	8.0
<i>Potamogeton pusillus</i>	75	**	8.0
<i>Chara vulgaris</i>	40	**	8.1
<i>Draadwier</i>	68	**	8.2
<i>Ranunculus circinatus</i>	58	**	8.2
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	18	**	8.2
<i>Zannichellia palustris</i>	26	***	8.2
<i>Potamogeton pectinatus</i>	62	**	8.3
<i>Enteromorpha species</i>	20	***	8.4
Soorten van alkalisch water:			
<i>Myriophyllum spicatum</i>	40	***	8.5
<i>Ceratophyllum submersum</i>	16	***	8.8
<i>Zannichellia pedunculata</i>	29	***	9.0
<i>Ranunculus baudotii</i>	14	***	9.1
Indifferente soorten:			
<i>Nymphaea alba</i>	75		6.3
<i>Glyceria fluitans</i>	168		7.1

Helofyten

	n	ind	gg
Soorten van zuur water:			
<i>Eriophorum angustifolium</i>	18	***	4.1
<i>Eleocharis multicaulis</i>	18	**	4.5
<i>Carex rostrata</i>	41	**	4.9

Soorten van overwegend zwak
zuur water:

<i>Potentilla palustris</i>	23	**	5.2
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	60	*	5.5
<i>Juncus effusus</i>	90	*	5.6
<i>Menyanthes trifoliata</i>	12	**	5.7
<i>Scirpus lacustris</i>	40	**	5.7

Soorten van zwak zuur tot
circumneutraal water:

<i>Cladium mariscus</i>	10	**	6.1
<i>Typha angustifolia</i>	31	*	6.7
<i>Iris pseudacoris</i>	42	*	6.9
<i>Acorus calamus</i>	25	**	7.0
<i>Sparganium emersum</i>	62	**	7.0
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	147	*	7.1
<i>Cicuta virosa</i>	25	**	7.2

Soorten van circumneutraal tot
alkalisch water:

<i>Eleocharis palustris</i>	89	*	7.3
<i>Equisetum fluviatile</i>	62	*	7.3
<i>Rumex hydrolapathum</i>	42	*	7.3
<i>Mentha aquatica</i>	66	*	7.4
<i>Oenanthe aquatica</i>	30	*	7.4
<i>Phalaris arundinacea</i>	33	**	7.4
<i>Rorippa amphibia</i>	58	**	7.5
<i>Sium erectum</i>	64	*	7.5
<i>Glyceria maxima</i>	145	**	7.6
<i>Sium latifolium</i>	9	***	7.6
<i>Butomus umbellatus</i>	55	**	7.7
<i>Sagittaria sagittifolia</i>	81	**	7.7
<i>Sparganium erectum</i>	105	**	7.7
<i>Nasturtium microphyllum</i>	38	**	7.8
<i>Oenanthe fistulosa</i>	26	**	7.8
<i>Polygonum amphibium</i>	92	**	7.8
<i>Ranunculus sceleratus</i>	31	**	7.9
<i>Alisma lanceolatum</i>	20	**	8.0

Soorten van alkalisch water:

<i>Veronica catenata</i>	20	**	8.2
<i>Scirpus tabernaemontani</i>	8	***	8.5
<i>Scirpus maritimus</i>	18	***	8.6

Indifferente soorten:

<i>Juncus articulatus</i>	54		6.8
<i>Typha latifolia</i>	63		7.0
<i>Phragmites australis</i>	122		7.1

4.2 SALINITEIT

De saliniteit is bepaald door de hoeveelheden van de zeven dominante ionen in de waterlaag bij elkaar te tellen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} en Cl^-). De saliniteit is dus een maat voor de totale ionconcentratie in de waterlaag. In brakke systemen kan eventueel de chloriniteit (het chloride-gehalte) genomen worden als maat voor de totale ionsom omdat chloride in deze systemen een zeer constant deel (± 0.5) uitmaakt van de totale ionsom. In zoete systemen kunnen de verhoudingen tussen de ionen echter sterk verschillen (zie paragraaf over de relatieve aandelen van de dominante anionen). Oppervlakte-wateren kunnen ingedeeld worden naar het zoutgehalte (saliniteit) en er worden onderscheiden:

zoet water ≤ 16 mmol/l (≤ 8 mmol Cl^- /l)
brak water > 16 mmol/l (> 8 mmol Cl^- /l)
zout water > 850 mmol/l (> 425 mmol Cl^- /l)

Zoet en zout water worden gekenmerkt door relatief stabiele lage en respectievelijk hoge zoutconcentraties. Brak water daarentegen wordt gekenmerkt door een sterke wisseling van het zoutgehalte waardoor dit een zeer extreem milieu is voor planten en dieren. Er worden zeer hoge eisen aan de osmoregulatie gesteld.

Binnen het zoete water zijn er duidelijke relaties tussen het voorkomen van waterplanten en de saliniteit van het water. In Tabel 4 is het voorkomen van de waterplanten weergegeven ten opzichte van de saliniteit. Er worden vijf groepen onderscheiden bij de waterplanten met ondergedoken of drijvende bladeren:

1. Soorten van zeer ionenarme wateren ($\text{gg} < 2$ mmol/l).
Deze soorten komen zelden voor bij een saliniteit boven 2 mmol/l. Slechts enkele taxa behoren tot deze groep, veenmos soorten (*Sphagnum* species) en klein blaasjeskruid (*U. minor*).
2. Soorten van ionenarme wateren ($2.0 \leq \text{gg} < 4.0$ mmol/l).
Het optimum ligt beneden 4.0 mmol/l, maar ze komen regelmatig voor bij hogere concentraties, echter zelden boven 8 mmol/l. Soorten van deze groep zijn onder andere knolrus (*Juncus bulbosus*) en citroengeel blaasjeskruid (*Utricularia australis*).

3. Soorten van matig ionenrijke wateren ($4.0 \leq \text{gg} < 9 \text{ mmol/l}$).
Deze groep, die vrij veel soorten omvat, komt voor tussen 2.0 en 15 mmol/l. Eventueel kan een onderscheid gemaakt worden in twee subgroepen:
- a. Soorten die overwegend tussen 2 en 8 mmol/l en zelden boven 10 mmol/l voorkomen ($4.0 \leq \text{gg} < 6.5 \text{ mmol/l}$), onder andere vlottende bies (*Scirpus fluitans*) en het kranswier *Chara globularis*.
 - b. Soorten die zelden voorkomen beneden 4 mmol/l en regelmatig tussen 10 en 15 mmol/l ($6.5 \leq \text{gg} < 9 \text{ mmol/l}$), onder andere rossig fonteinkruid (*Potamogeton alpinus*) en gewoon blaasjeskruid (*Utricularia vulgaris*).
4. Soorten van ionrijke wateren ($9 \leq \text{gg} < 15 \text{ mmol/l}$).
Deze soorten komen zelden voor beneden 4.0 mmol/l en regelmatig boven 15 mmol/l, echter nooit boven 30 mmol/l. Hiertoe behoren het kranswier *Chara hispida* en watergentiaan (*Nymphoides peltata*).
5. Soorten van zeer ionrijke wateren ($\text{gg} \geq 15 \text{ mmol/l}$).
Ook bij deze groep kan een onderverdeling in twee subgroepen gemaakt worden:
- a. Soorten overwegend boven 10 mmol/l en regelmatig boven 30 mmol/l, echter zelden boven 50 mmol/l ($15 \leq \text{gg} < 30 \text{ mmol/l}$), onder andere grote kroosvaren (*Azolla filiculoides*) en aarvederkruid (*Myriophyllum spicatum*).
 - b. Soorten die overwegend boven 15 en vaak boven 50 mmol/l voorkomen ($\text{gg} \geq 30 \text{ mmol/l}$), onder andere zilte waterranonkel (*Ranunculus baudotii*) en zoutwaterzannichellia (*Zannichellia pedunculata*).

Deze groep bevat soorten die regelmatig in brakke wateren worden aangetroffen. Ze bezitten een hoge zout-tolerantie.

Het is overigens niet zeker dat alle individuen van deze soorten dezelfde tolerantie bezitten. Schedefonteinkruid (*Potamogeton pectinatus*) bijvoorbeeld kan populaties met verschillende saliniteits-optima ontwikkelen. Het gaat hierbij om populaties die onderling genetisch verschillen, ook wel oecotypen genaamd. Van andere soorten is echter nog niet bekend in hoeverre deze oecotypen ontwikkeld hebben.

Bij de helofyten worden op dezelfde manier als bij de submerse waterplanten en planten met drijfbladeren ook vijf groepen onderscheiden. Deze zijn in de tabel aangegeven en worden hier niet besproken.

Tabel 4: Saliniteit van de waterlaag (mmol/l).

n = aantal waarnemingen, gg = gewogen gemiddelde,
ind = indicatiegewicht ; * = zwak , ** = matig , *** = sterk.
voor uitleg zie "Responsietabellen"

Ondergedoken waterplanten en waterplanten met drijfbladeren

	n	ind	gg
Soorten van zeer ionenarme wateren:			
Sphagnum species	8	***	1.6
Utricularia minor	8	***	2.0
Soorten van ionenarme wateren:			
Callitriche hamulata	21	**	3.0
Juncus bulbosus	29	***	3.1
Ranunculus peltatus	10	**	3.1
Myriophyllum alterniflorum	11	**	3.3
Sparganium minimum	8	***	3.3
Utricularia australis	10	**	3.4
Hypericum elodes	6	***	3.5
Luronium natans	7	**	3.6
Potamogeton polygonifolius	15	**	3.6
Soorten van matig ionenrijke wateren:			
Nitella flexilis	10	***	4.3
Apium inundatum	9	***	4.4
Littorella uniflora	9	*	4.7
Potamogeton compressus	22	***	4.7
Scirpus fluitans	15	***	4.8
Echinodorus repens	6	***	5.2
Eleocharis acicularis	26	**	5.2
Chara globularis	19	***	5.5
Ranunculus flammula	26	**	5.5
Potamogeton gramineus	21	**	5.8
Potamogeton obtusifolius	21	**	6.0
Riccia fluitans	26	**	6.2
Elodea canadensis	48	**	6.3
Potamogeton natans	97	**	6.3
Echinodorus ranunculoides	9	**	6.4
Hottonia palustris	41	**	6.7
Potamogeton acutifolius	21	**	6.8
Potamogeton alpinus	17	***	6.9
Utricularia vulgaris	23	**	6.9
Fontinalis antipyretica	5	***	7.1
Hydrocharis morsus-ranae	79	*	7.2
Stratiotes aloides	48	**	7.3
Potamogeton berchtoldii	15	**	7.5
Potamogeton perfoliatus	26	**	7.8
Myriophyllum verticillatum	16	**	8.1
Nuphar lutea	96	*	8.1
Nymphaea candida	19	***	8.1
Nymphaea alba	59	*	8.2
Potamogeton lucens	34	**	8.2
Glyceria fluitans	117	*	8.6
Potamogeton crispus	55	**	8.7

Soorten van ionenrijke
wateren:

<i>Chara hispida</i>	12	*	9.1
<i>Potamogeton trichoides</i>	55	**	9.2
<i>Potamogeton densus</i>	29	**	9.4
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	17	**	9.5
<i>Lemna minor</i>	140	*	9.6
<i>Spirodela polyrhiza</i>	98	**	9.8
<i>Callitriche platycarpa</i>	43	**	10.1
<i>Elodea nuttallii</i>	140	*	10.1
<i>Nymphoides peltata</i>	34	**	10.6
<i>Wolffia arrhiza</i>	11	**	10.8
<i>Zannichellia palustris</i>	23	*	10.9
<i>Ranunculus circinatus</i>	56	**	11.0
<i>Potamogeton pusillus</i>	67	*	11.1
<i>Lemna trisulca</i>	119	*	11.7
<i>Chara vulgaris</i>	39	**	12.1
<i>Potamogeton mucronatus</i>	21	**	12.3
<i>Ranunculus aquatilis</i>	37	**	13.1
<i>Ceratophyllum demersum</i>	73	**	13.8
<i>Callitriche obtusangula</i>	28	**	14.5

Soorten van zeer ionenrijke
wateren:

<i>Lemna gibba</i>	75	*	17.2
<i>Azolla filiculoides</i>	23	**	17.5
<i>Myriophyllum spicatum</i>	35	**	17.7
<i>Potamogeton pectinatus</i>	59	*	25.0
<i>Hippuris vulgaris</i>	22	**	26.0
<i>Ceratophyllum submersum</i>	16	***	26.6
<i>Ranunculus baudotii</i>	14	**	35.7
<i>Zannichellia pedunculata</i>	29	***	53.0
<i>Enteromorpha species</i>	20	***	54.9

Helofyten

	n	ind	gg
Soorten van zeer ionenarme wateren:			
<i>Eriophorum angustifolium</i>	7	***	1.0
<i>Eleocharis multicaulis</i>	9	***	1.6
Soorten van ionenarme wateren:			
<i>Potentilla palustris</i>	12	***	2.9
<i>Carex rostrata</i>	13	***	3.7
Soorten van matig ionenrijke wateren:			
<i>Juncus effusus</i>	40	**	4.1
<i>Cladium mariscus</i>	9	**	4.6
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	24	***	5.1
<i>Menyanthes trifoliata</i>	8	***	6.1
<i>Typha angustifolia</i>	26	*	6.5
<i>Cicuta virosa</i>	24	**	6.6
<i>Typha latifolia</i>	51	**	6.6
<i>Equisetum fluviatile</i>	49	*	6.7
<i>Alisma lanceolatum</i>	16	**	7.0
<i>Sium latifolium</i>	8	***	7.1
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	101	*	7.2
<i>Sparganium emersum</i>	45	**	7.4
<i>Juncus articulatus</i>	37	*	7.6
<i>Iris pseudacoris</i>	36	*	7.7
<i>Sagittaria sagittifolia</i>	76	**	7.7
<i>Mentha aquatica</i>	59	*	8.5
<i>Rorippa amphibia</i>	48	*	8.7
Soorten van ionenrijke wateren:			
<i>Oenanthe aquatica</i>	23	*	9.0
<i>Rumex hydrolapathum</i>	41	**	9.1
<i>Sparganium erectum</i>	97	*	9.1
<i>Phalaris arundinacea</i>	24	**	9.2
<i>Eleocharis palustris</i>	66	*	9.3
<i>Acorus calamus</i>	25	**	9.4
<i>Polygonum amphibium</i>	80	*	9.4
<i>Glyceria maxima</i>	131	**	9.5
<i>Butomus umbellatus</i>	52	*	9.6
<i>Nasturtium microphyllum</i>	36	*	10.0
<i>Sium erectum</i>	62	*	10.1
<i>Oenanthe fistulosa</i>	24	*	10.5
<i>Phragmites australis</i>	99	*	11.3
<i>Veronica catenata</i>	20	**	12.3
<i>Scirpus lacustris</i>	24	*	14.3
Soorten van zeer ionenrijke wateren:			
<i>Ranunculus sceleratus</i>	29	***	15.0
<i>Scirpus tabernaemontani</i>	8	**	19.0
<i>Scirpus maritimus</i>	18	*	34.8

4.3 RELATIEVE AANDELEN VAN DE DOMINANTE ANIONEN IN DE WATERLAAG

Naast indelingen van wateren op basis van de absolute concentraties van verschillende factoren, zoals het zoutgehalte, de pH en het bicarbonaatgehalte, worden er ook indelingen gemaakt die gebaseerd zijn op de relatieve aandelen van de ionen (berekend in equivalenten).

Alekin (1962) deelt wateren allereerst in op basis van dominantie van de anionen in sulfaat-, chloride- en bicarbonaat-type wateren. Vervolgens deelt hij ieder type verder in op basis van de dominantie van de kationen. Maucha (1932) deelt wateren in op basis van de relatieve aandelen van zowel de kationen als de anionen. Pietsch (1972) beperkt zich bij de indeling in bicarbonaat- en sulfaat-type wateren en relateert het voorkomen van waterplanten hieraan.

Een voordeel van deze indelingen is dat er geen beïnvloeding plaatsvindt door uitwendige processen zoals bijvoorbeeld verdunning door neerslag. Ook schijnt dat oecologische betrekkingen meer met relatieve concentraties van de chemische bestanddelen verband houden dan met absolute concentraties (Maucha, 1932).

Een eenvoudige indeling van het voorkomen van waterplanten is die volgens de relatieve aandelen van de dominante anionen (sulfaat, bicarbonaat en chloride). Deze indeling is in Tabel 5 weergegeven. Hierbij is de "voorkeur" van een soort nagegaan voor hoge of lage aandelen van respectievelijk bicarbonaat, chloride en sulfaat. Binnen de groep waterplanten met ondergedoken of drijvende bladeren laten zich enige groepen onderscheiden. Soorten met een "voorkeur" voor bicarbonaat-type wateren zijn bijvoorbeeld beide waterpest soorten (*Elodea nuttallii* en *E. canadensis*), dichtbladig fonteinkruid (*Potamogeton densus*) en enkele andere fonteinkruiden (*Potamogeton crispus*, *P. mucronatus*, *P. trichoides*, *P. berchtoldii*, *P. compressus* en *P. lucens*).

Een "chloride voorkeur" hebben onder andere gedoornd hoornblad (*Ceratophyllum demersum*), bultkroos (*Lemna gibba*), grote kroosvaren (*Azolla filiculoides*), aarvederkruid (*Myriophyllum spicatum*) en schedefonteinkruid (*P. pectinatus*). Soorten met een "voorkeur" voor hogere aandelen van sulfaat zijn onder andere egelboterbloem (*Ranunculus flammula*), gesteeld glaskroos (*Elatine hexandra*) en de meeste soorten uit het oeverkruidverbond (Littorellion). Als laatste is er ook een groep die geen "voorkeur" bezit; onder andere zijn dit ondergedoken moerasscherm (*Apium inundatum*), de drie kranswiersoorten *Chara globularis*, *C.*

hispidata en *C. vulgaris*, waterviolier (*Hottonia palustris*, witte waterlelie (*Nymphaea alba*), stompbladig fonteinkruid (*Potamogeton obtusifolius*) en tenger fonteinkruid (*P. pusillus*).

Bij de emergente waterplanten bestaan soortgelijke "voorkeuren" en is er eenzelfde indeling gemaakt als bij de voorgaande groep waterplanten. Soorten met een "voorkeur" voor bicarbonaat zijn onder andere holpijp (*Equisetum fluviatile*), zwanebloem (*Butomus umbellatus*), kalmoes (*Acorus calamus*), pijlkruid (*Sagittaria sagittifolia*), grote egelskop (*Sparganium erectum*) en liesgras (*Glyceria maxima*).

Een lichte "chloride voorkeur" heeft alleen zeebies (*Scirpus maritimus*).

"Sulfaat voorkeur" hebben zompkruid (*Juncus articulatus*), mattenbies (*Scirpus lacustris*), wateraardbei (*Potentilla palustris*), snavelzegge (*Carex rostrata*), veenpluis (*Eriophorum angustifolium*), waternavel (*Hydrocotyle vulgaris*), pitrus (*Juncus effusus*) en grote waterweegbree (*Alisma plantago-aquatica*).

In de indifferente groep bevinden zich galigaan (*Cladium mariscus*), gewone waterbies (*Eleocharis palustris*), rietgras (*Phalaris arundinacea*), riet (*Phragmites australis*), kleine egelskop (*Sparganium emersum*), kleine lisdodde (*Typha angustifolia*) en grote lisdodde (*Typha latifolia*).

Tabel 5: Relatieve aandelen van de dominante anionen.

In de tabel is weergegeven of er significante verschillen bestaan tussen de monsterplaatsen waar een soort aanwezig was en de plaatsen waar deze niet waargenomen was. De verschillen zijn berekend voor de relatieve aandelen van bicarbonaat, chloride en sulfaat.

De symbolen + en - geven aan dat de waarden op de monsterplaatsen waar een soort aanwezig was hoger (+) of lager (-) waren dan op de plaatsen waar de soort afwezig was.

Overschrijdingskans (tweezijdig):

+ / - = $0.1 \geq p > 0.05$, ++ / -- = $0.05 \geq p > 0.01$, +++ / --- = $p \leq 0.01$.

Ondergedoken waterplanten en waterplanten met drijfbladeren

Soort	N	% bicar- bonaat	% chloride	% sulfaat
Bicarbonaat-type "voorkeur"				
<i>Elodea nuttallii</i>	171	+++		
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	30	+++	--	
<i>Elodea canadensis</i>	59	+++	---	
<i>Potamogeton densus</i>	33	+++	---	
<i>Potamogeton crispus</i>	64	+++	---	
<i>Potamogeton mucronatus</i>	23	+++		--
<i>Potamogeton trichoides</i>	62	+++		--
<i>Lemna trisulca</i>	141	+++	++	---
<i>Spirodela polyrhiza</i>	113	+++	++	---
<i>Ceratophyllum submersum</i>	18	+++		---
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	92	+++		---
<i>Nuphar lutea</i>	120	+++		---
<i>Nymphaea candida</i>	22	+++		---
<i>Potamogeton berchtoldii</i>	17	+++		---
<i>Potamogeton compressus</i>	24	+++		---
<i>Potamogeton lucens</i>	39	+++		---
<i>Ranunculus aquatilis</i>	41	+++		---
<i>Stratiotes aloides</i>	59	+++		---
<i>Utricularia vulgaris</i>	29	+++		---
<i>Lemna minor</i>	196	++		
<i>Potamogeton alpinus</i>	19	++	--	
<i>Fontinalis antipyretica</i>	5	++		-
<i>Nymphoides peltata</i>	39	++		-
<i>Wolffia arrhiza</i>	13	++		-
<i>Callitriche obtusangula</i>	32	++		--
<i>Potamogeton acutifolius</i>	23	++		--
<i>Ranunculus circinatus</i>	62	++		---
<i>Potamogeton gramineus</i>	24	+		
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	20	+	--	
<i>Callitriche platycarpa</i>	57	+	---	
Chloride-type "voorkeur"				
<i>Ceratophyllum demersum</i>	87	+	+++	--
<i>Lemna gibba</i>	85	+	+++	---
<i>Azolla filiculoides</i>	26		+++	
<i>Myriophyllum spicatum</i>	42		+++	
<i>Potamogeton pectinatus</i>	65		++	
<i>Nitella flexilis</i>	14		+	
<i>Draadwier</i>	74		+++	-
<i>Enteromorpha species</i>	23		+++	--
<i>Zannichellia pedunculata</i>	33		+++	---
<i>Hippuris vulgaris</i>	24		++	---

Sulfaat-type "voorkeur"

Myriophyllum alterniflorum	19	-		+
Glyceria fluitans	182		---	+++
Ranunculus flammula	52		---	+++
Elatine hexandra	7	--		+++
Potamogeton polygonifolius	28	--	--	+++
Lobelia dortmanna	2	--		++
Utricularia minor	18	---	+	+++
Callitriche hamulata	27	---		+++
Littorella uniflora	18	---		+++
Luronium natans	34	---		+++
Peplis portula	24	---		+++
Ranunculus ololeucos	5	---		+++
Scirpus fluitans	31	---		+++
Sphagnum species	32	---		+++
Hypericum elodes	20	---	-	+++
Ranunculus peltatus	31	---	--	+++
Juncus bulbosus	80	---	---	+++
Pilularia globulifera	12	---	---	+++

Indifferent:

Eleocharis acicularis	46		-	
Sparganium minimum	11		-	
Potamogeton natans	143		--	
Ranunculus baudotii	16			--
Apium inundatum	16			
Chara globularis	21			
Chara hispida	14			
Chara vulgaris	43			
Echinodorus ranunculoides	11			
Echinodorus repens	8			
Hottonia palustris	57			
Hydrodictium reticulatum	3			
Myriophyllum verticillatum	21			
Nymphaea alba	84			
Potamogeton coloratus	2			
Potamogeton obtusifolius	26			
Potamogeton pusillus	81			
Riccia fluitans	41			
Utricularia australis	18			
Zannichellia palustris	25			

Helofyten:

Soort	N	% bicar- bonaat	% chloride	% sulfaat
Bicarbonaat-type "voorkeur"				
<i>Equisetum fluviatile</i>	66	+++	-	
<i>Nasturtium microphyllum</i>	40	+++	---	
<i>Rorippa amphibia</i>	60	+++		
<i>Butomus umbellatus</i>	59	+++		--
<i>Sium erectum</i>	70	+++		--
<i>Acorus calamus</i>	27	+++		---
<i>Polygonum amphibium</i>	99	+++		---
<i>Rumex hydrolapathum</i>	46	+++		---
<i>Sagittaria sagittifolia</i>	89	+++		---
<i>Sparganium erectum</i>	114	+++		---
<i>Veronica catenata</i>	22	+++	-	---
<i>Glyceria maxima</i>	158	+++	--	---
<i>Mentha aquatica</i>	72	+++	---	---
<i>Alisma lanceolatum</i>	21	++		
<i>Ranunculus sceleratus</i>	35	++		-
<i>Cicuta virosa</i>	28	++		---
<i>Sium latifolium</i>	10	+		
<i>Iris pseudacoris</i>	47	+		-
Chloride-type "voorkeur"				
<i>Scirpus maritimus</i>	20		++	-
Sulfaat-type "voorkeur"				
<i>Juncus articulatus</i>	58	-	-	+++
<i>Scirpus lacustris</i>	44	-		+
<i>Potentilla palustris</i>	25	--		+++
<i>Carex rostrata</i>	44	---		+++
<i>Eriophorum angustifolium</i>	19	---		+++
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	64	---	-	+++
<i>Juncus effusus</i>	98	---	---	+++
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	160		---	+++
Indifferent:				
<i>Eleocharis multicaulis</i>	19	---		
<i>Scirpus tabernaemontani</i>	10			-
<i>Carex lasiocarpa</i>	2			
<i>Cladium mariscus</i>	12			
<i>Eleocharis palustris</i>	96			
<i>Menyanthes trifoliata</i>	14			
<i>Oenanthe fistulosa</i>	27			
<i>Phalaris arundinacea</i>	36			
<i>Phragmites australis</i>	136			
<i>Sparganium emersum</i>	70			
<i>Typha angustifolia</i>	35			
<i>Typha latifolia</i>	69			
<i>Oenanthe aquatica</i>	33		--	

4.4 ANORGANISCHE KOOLSTOF

De belangrijkste bronnen van anorganische koolstof in het oppervlaktewater zijn kooldioxide uit de lucht en carbonaten uit de bodem. Atmosferisch kooldioxide komt in het oppervlaktewater terecht via diffusie of opgelost in de neerslag. De mate waarin de atmosfeer anorganische koolstof kan leveren aan het water is echter relatief klein als gevolg van de lage diffusiesnelheid in water.

De meeste binnenwateren ontvangen een belangrijk deel van het anorganische koolstof uit bodems die in meer of mindere mate carbonaten bevatten. Deze carbonaten lossen op onder vorming van bicarbonaat. Er stelt zich een evenwicht in tussen de concentraties van vrij CO_2 , HCO_3^- en CO_3^{2-} ; het carbonaat-evenwicht. Dit evenwicht is pH afhankelijk, hetgeen betekent dat de onderlinge verhoudingen tussen deze drie koolstofverbindingen door de pH bepaald wordt. Bij lage pH waarden (< 5) is er voornamelijk CO_2 aanwezig, bij pH 8 voornamelijk HCO_3^- en boven pH 11 vooral CO_3^{2-} . Dit bicarbonaat-evenwicht heeft de neiging pH veranderingen tegen te gaan; het werkt als bufferstof. Het is dus in staat om in bepaalde mate toevoegingen van zuur of base te neutraliseren.

De buffercapaciteit van een water wordt bepaald door aan een bepaalde hoeveelheid zoveel van een sterk zuur toe te voegen dat de pH 4.2 wordt. Uit de toegevoegde hoeveelheid sterk zuur berekent men de alkaliniteit of biologische waterhardheid, die veelal gelijk is aan het bicarbonaatgehalte. Bij zwak gebufferde wateren, zoals de meeste wateren op pleistocene zandgronden is de buffercapaciteit gering, waardoor als gevolg van de neerslag van zuurvormende componenten veel van deze wateren de afgelopen decennia verzuurd zijn.

De aanwezigheid van bicarbonaat als bufferstof kan grote invloed hebben op de beschikbaarheid van andere stoffen. In de meeste sterk gebufferde ondiepe wateren stimuleert bicarbonaat de afbraak van organisch materiaal in het sediment doordat de zuren die gevormd worden bij de afbraak geneutraliseerd worden. Het sediment wordt hierdoor zuurstofloos en reducerend, waardoor de redoxpotentiaal daalt en onder andere fosfaat in oplossing kan komen. Tevens vindt onder deze omstandigheden een verhoogde reductie plaats van sulfaat waardoor het giftige waterstofsulfide gevormd kan worden. Mogelijk is deze sulfide-vorming een oorzaak van het voorkomen van een relatief gering aantal wortelende waterplanten bij lage redoxpotentialen.

In zwak gebufferde systemen neemt de bodem pH af door afwezigheid van voldoende bufferstof. De activiteit van de bodemorganismen neemt hierdoor af waardoor de afbraak van organisch materiaal vertraagd wordt. In geheel zure systemen treedt er een ophoping op van organisch materiaal doordat er vrijwel geen afbraak meer plaatsvindt.

Anorganische koolstof als voedingsstof voor waterplanten.

Anorganische koolstof is onmisbaar voor de fotosynthese van groene waterplanten. De beschikbare hoeveelheid is veelal beperkt waardoor deze factor een belangrijke produktie-limiterende factor kan zijn. Deze limitatie behoeft niet alleen op te treden in wateren waarin anorganische koolstof relatief weinig voorhanden is, ook in systemen met veel anorganische koolstof (alkaliniteit > 2 meq/l) kan er limitatie optreden.

Anorganische koolstof kan voorhanden zijn als CO_2 en als HCO_3^- . Waarschijnlijk kunnen alle waterplanten CO_2 uit de waterlaag opnemen. Daarnaast zijn er soorten die ook HCO_3^- in meer of mindere mate kunnen gebruiken. Dit stelt deze planten in staat om bij hogere pH's en bicarbonaatgehalten van het water toch over een koolstofbron te beschikken. Daarnaast zijn er soorten die CO_2 uit het sediment kunnen opnemen, zoals *Littorella uniflora*. Deze laatste aanpassing is van belang wanneer er in de waterlaag niet voldoende anorganische koolstof aanwezig is zoals het geval is in zwak gebufferde wateren.

Uit de bicarbonaat-tabel (Tabel 6) blijkt duidelijk dat de meeste soorten beperkt zijn tot een bepaald traject van waterhardheid. Voor een groot deel worden deze beperkingen bepaald door de verschillen die er zijn tussen wateren met verschillende waterhardheid. Deze beperking van soorten tot een bepaald traject blijkt zowel op te treden bij ondergedoken waterplanten en planten met drijfbladeren alsook bij emergente soorten. Van deze laatste twee groepen kan verondersteld worden dat zij in het volwassen stadium anorganische koolstof uit de atmosfeer kunnen vastleggen en zouden daarom minder direct afhankelijk kunnen zijn van het anorganische koolstofaanbod in het water.

Het anorganische koolstofgehalte in het water kan echter op andere manieren invloed uitoefenen. Tijdens de kieming en de fase waarin de planten ondergedoken zijn moet anorganische koolstof uit de waterlaag of het sediment gebruikt worden. Ook via de invloed die het bicarbonaatgehalte op allerlei mineralisatieprocessen in de bodem heeft kan kieming en vestiging beïnvloed worden. Het is dus niet verwonderlijk dat ook planten met drijfbladeren en emergente waterplanten relaties met het bicarbonaat-gehalte vertonen.

Hieronder volgt een indeling naar bicarbonaatgehalte. In Tabel 6 zijn de waterplanten ingedeeld naar de alkaliniteit van het water. Er worden bij de waterplanten met ondergedoken en drijvende bladeren zeven groepen onderscheiden.

1. Soorten van ongebufferde (zure) wateren ($gg \leq 0.1$ meq/l). Deze soorten komen overwegend bij 0 meq/l voor en zelden boven 0.2 meq/l.

In van nature zure wateren is het anorganische koolstofgehalte zeer laag en alleen als CO_2 voorhanden. De atmosfeer is de enige bron van anorganische koolstof dat via diffusie in het water terecht komt. Onder deze extreme omstandigheden kunnen slechts enkele soorten leven. Klein blaasjeskruid (*Utricularia minor*) kan hier groeien, hoewel het CO_2 -gehalte te laag is, omdat het CO_2 verkrijgt uit organisch materiaal dat door de blaasjes uit het water gevangen wordt. Veenmos (*Sphagnum*) kan onder deze omstandigheden ook groeien omdat het zich beperkt tot de oeverzone en de CO_2 uit de atmosfeer fixeert. Veenmos groeit vanuit de oever naar het midden en zo groeit uiteindelijk het gehele water dicht; er ontstaat een hoogveentje.

2. Soorten van zeer zachte wateren ($0.1 < gg < 0.5$ meq/l).

Ook in zwak gebufferde wateren is anorganische koolstof nog zeer schaars; de bodem bevat echter meer anorganische koolstof, gemiddeld zo'n 10-100 maal, als gevolg van licht kalkhoudend sediment en afbraakprocessen in de bodem. Onder deze omstandigheden komen soorten voor die gespecialiseerd zijn om CO_2 uit de bodem op te nemen. Het zijn vaak soorten met een zogenaamde isoëtide groeivorm; planten met een uitgebreid wortelstelsel om CO_2 op te nemen en grote luchtholten om de diffusie weerstand van ondergronds opgenomen CO_2 te verlagen. Naast waterbiesvaren (*Isoëtes*) gaat het om soorten als oeverkruid (*Littorella uniflora*) en waterlobelia (*Lobelia dortmanna*). Ook soorten als gesteeld glaskroos (*Elatine hexandra*), Drijvende waterweegbree (*Luronium natans*) en waterpostelein (*Peplis portula*) vinden hier hun optimum.

3. Soorten van zachte wateren ($0.5 \leq gg < 1.0$ meq/l).

In het minder extreem carbonaat-arme zachte water, waar de CO_2 condities van de waterlaag minder extreem zijn, treffen we soorten aan welke zeer efficiënt CO_2 uit de waterlaag kunnen benutten. Het zijn soorten of groeivormen met een hoge oppervlakte/volume ratio, waardoor de

diffusieweg van water naar fotosynthetiserend weefsel klein is. Het zijn soorten met haarvormig vertakte bladeren, zoals teer vederkruid (*Myriophyllum alterniflorum*), ondergedoken moerasscherm (*Apium inundatum*) of planten met draadvormige bladeren, zoals pilvaren (*Pilularia globulifera*), of planten met zeer dunne bladeren, zoals haaksterrekroos (*Callitriche hamulata*) of de submerse bladeren van kleinste egelskop (*Sparganium minimum*), of kruipende waterweegbree (*Echinodorus repens*).

4. Soorten van zachte en matig harde wateren ($1.0 \leq \text{gg} < 2.0 \text{ meq/l}$).
Deze wateren worden gekenmerkt door soorten die efficiënt CO_2 kunnen benutten. Meestal bezitten deze planten een groeivorm die een groot deel van de waterkolom in beslag neemt. Het bicarbonaatgehalte in deze wateren is te laag voor bicarbonaat-gebruikende waterplanten om succesvol te kunnen concurreren met efficiënt CO_2 -gebruikende waterplanten. Vandaar dat in deze categorie hoofdzakelijk CO_2 -gebruikers voorkomen zoals de kranswieren *Nitella flexilis* en *Chara globularis*, naaldwaterbies (*Eleocharis acicularis*), stompbladig fonteinkruid (*Potamogeton obtusifolius*) en kleine waterweegbree (*Echinodorus ranunculoides*).

5. Soorten van harde wateren ($2.0 \leq \text{gg} < 4.0 \text{ meq/l}$).
Harde (en ook zeer harde) wateren worden gekarakteriseerd door hoge gehalten van anorganische koolstof en bezitten een relatief hoge pH. Hierdoor is vrijwel alle anorganische koolstof als HCO_3^- aanwezig en is het gehalte aan CO_2 erg laag. Onder deze omstandigheden zijn planten die naast CO_2 ook bicarbonaat kunnen fixeren sterk in het voordeel. Dit voordeel vergroot doordat bij de opname van bicarbonaat OH^- -ionen worden afgescheiden waardoor de pH verder toeneemt en het evenwicht nog verder in de richting van het bicarbonaat verschuift.
Bicarbonaatgebruik kan gezien worden als een aanpassing van soorten aan een milieu met relatief veel bicarbonaat en weinig kooldioxide. Er zijn veel soorten die vrijwel uitsluitend beperkt zijn tot hard water, hetgeen niet verwonderlijk is daar het merendeel van de wateren in Nederland een hoge waterhardheid bezit. Van de onderzochte wateren heeft 56 % een alkaliniteit groter dan 2 meq/l. Deze groep omvat ongeveer een derde deel van de waterplanten en hiertoe behoren onder andere beide soorten waterpest (*Elodea*), glanzig fonteinkruid (*Potamogeton lucens*), klein kroos (*Lemna minor*) en puntkroos (*Lemna trisulca*).

6. Soorten van zeer harde wateren ($gg \geq 4.0$ meq/l).
Voor deze wateren geldt hetzelfde wat reeds op de voorgaande groep van harde wateren van toepassing was, alleen is hier het bicarbonaat-gehalte nog hoger. De soorten die hiertoe behoren komen zelden voor onder 2 meq/l en regelmatig boven 6 meq/l. Het zijn onder andere schedefonteinkruid (*Potamogeton pectinatus*) en puntig fonteinkruid (*P. mucronatus*), bultkroos (*Lemna gibba*) en ongedoornd hoornblad (*Ceratophyllum submersum*).
7. Indifferente soorten.
Er zijn slechts twee soorten die hiertoe gerekend worden namelijk witte waterlelie (*Nymphaea alba*) en mannagrass (*Glyceria fluitans*).

Bij de helofyten is een soortgelijke indeling gemaakt. De karakterisering van de wateren is reeds in het bovenstaande deel behandeld.

De volgende zeven groepen zijn onderscheiden:

1. Soorten van ongebufferd water ($0.0 \leq gg < 0.1$ meq/l).
Er is slechts één soort, veenpluis (*Eriophorum angustifolium*), die tot deze groep gerekend wordt. Deze soort is vrijwel uitsluitend beperkt tot wateren met minder dan 0.2 meq/l. Soorten die in zure wateren voorkomen, zoals snavelzegge (*Carex rostrata*) en veenpluis (*Eriophorum angustifolium*), kunnen waarschijnlijk alleen kiemen en opgroeien op plaatsen die tijdelijk droogvallen.
2. Soorten van zeer zachte wateren ($0.1 < gg < 0.5$ meq/l).
Deze soorten hebben een optimum tussen 0.0 en 0.2 meq/l, maar komen ook veelvuldig voor in wateren zonder buffercapaciteit en in die met een alkaliniteit boven 0.5 meq/l. De breedte van de responsie is beduidend groter dan die van de vergelijkbare groep van de submerse waterplanten en waterplanten met drijfbladeren. Hiertoe behoren onder andere snavelzegge (*Carex rostrata*) en waternavel (*Hydrocotyle vulgaris*).
3. Soorten van zacht water ($0.5 \leq gg < 1.0$ meq/l)
Tot deze groep worden Galigaan (*Cladium mariscus*) en waterdrieblad (*Menyanthes trifoliata*) gerekend. Beide soorten hebben echter een tweetoppige respons en komen zowel voor tussen 0.0 en 0.2 meq/l en in mindere mate tussen 1 en 3 meq/l.

4. Soorten van zacht en matig hard water ($1.0 \leq \text{gg} < 2.0 \text{ meq/l}$).
Deze soorten komen vrijwel nooit voor bij 0 meq/l of boven 6 meq/l. Hun optimum ligt tussen 0.5 en 3.0 meq/l. De meeste soorten uit deze groep hebben een relatief brede range en daardoor een lage indicatiegewicht. Hiertoe behoren beide lisdodde-soorten (*Typha angustifolia* en *T. latifolia*) en waterscheerling (*Cicuta virosa*).
5. Soorten van hard water ($2.0 \leq \text{gg} < 4.0 \text{ meq/l}$).
Deze soorten komen weinig voor beneden 1.0 meq/l en niet boven 6.0 meq/l. Het optimum ligt tussen 2.0 en 4.0 meq/l. De indicatiegewichten van soorten uit deze groep zijn veelal hoger dan die van de vorige groep. Tot deze groep worden onder andere gerekend pijlkruid (*Sagittaria sagittifolia*), kalmoes (*Acorus calamus*) en zwanebloem (*Butomus umbellatus*).
6. Soorten van zeer hard water ($\text{gg} \geq 4.0 \text{ meq/l}$).
Deze soorten komen vrijwel nooit voor beneden 2.0 meq/l en hebben hun optimum boven 4.0 meq/l. Hiertoe worden gerekend rode water-ereprijs (*Veronica catenata*) en zeebies (*Scirpus maritimus*).
7. Indifferente soorten.
Tot deze groep behoren twee soorten met een zeer brede range, namelijk gewone waterbies (*Eleocharis palustris*) en riet (*Phragmites australis*).

Tabel 6: Alkaliniteit van de waterlaag (meq/l).

n = aantal waarnemingen, gg = gewogen gemiddelde,
ind = indicatiegewicht : * = zwak , ** = matig , *** = sterk.
voor uitleg zie "Responsietabellen"

Ondergedoken waterplanten en waterplanten met drijfbladeren

	n	ind	gg
Soorten van ongebufferd (zure) wateren ($gg \leq 0.1$):			
Sphagnum species	29	***	0.0
Utricularia minor	16	***	0.1
Soorten van zeer zachte wateren ($0.1 < gg < 0.5$):			
Hypericum elodes	18	***	0.3
Juncus bulbosus	73	**	0.3
Ranunculus ololeucos	5	***	0.3
Elatine hexandra	7	**	0.4
Littorella uniflora	17	**	0.4
Luronium natans	31	**	0.4
Peplis portula	23	**	0.4
Soorten van zachte wateren ($0.5 \leq gg < 1.0$):			
Callitriche hamulata	25	***	0.6
Pilularia globulifera	10	***	0.6
Utricularia australis	16	*	0.6
Myriophyllum alterniflorum	18	***	0.7
Potamogeton polygonifolius	26	***	0.7
Ranunculus peltatus	27	***	0.7
Scirpus fluitans	27	**	0.7
Echinodorus repens	8	***	0.8
Sparganium minimum	9	***	0.8
Apium inundatum	15	***	0.9
Soorten van zachte en matig harde wateren ($1.0 \leq gg < 2.0$):			
Ranunculus flammula	47	**	1.0
Eleocharis acicularis	43	**	1.1
Nitella flexilis	12	***	1.1
Riccia fluitans	37	*	1.2
Potamogeton natans	129	*	1.3
Potamogeton obtusifolius	25	**	1.4
Potamogeton compressus	22	***	1.6
Chara globularis	20	**	1.7
Echinodorus ranunculoides	10	***	1.8
Hottonia palustris	51	*	1.8
Potamogeton gramineus	22	***	1.8
Soorten van harde wateren ($2.0 \leq gg < 4.0$):			
Elodea canadensis	53	*	2.3
Potamogeton acutifolius	21	**	2.3
Stratiotes aloides	54	***	2.3
Hydrocharis morsus-ranae	84	**	2.4
Nuphar lutea	110	*	2.4
Lemna minor	178	*	2.5
Myriophyllum verticillatum	19	**	2.5
Utricularia vulgaris	27	**	2.5
Potamogeton alpinus	17	**	2.6

Chara hispida	12	***	2.7
Nymphaea candida	20	**	2.7
Elodea nuttallii	156	*	2.8
Potamogeton perfoliatus	26	**	2.9
Chara vulgaris	40	**	3.0
Potamogeton lucens	35	***	3.0
Potamogeton pusillus	75	**	3.0
Spirodela polyrhiza	103	**	3.0
Lemna trisulca	129	*	3.1
Nymphoides peltata	36	**	3.2
Potamogeton trichoides	57	**	3.2
Ranunculus circinatus	58	**	3.2
Ranunculus trichophyllus	18	**	3.3
Zannichellia palustris	26	**	3.3
Callitriche platycarpa	51	*	3.4
Ceratophyllum demersum	79	**	3.4
Fontinalis antipyretica	5	***	3.4
Potamogeton berchtoldii	15	**	3.4
Azolla filiculoides	25	**	3.5
Myriophyllum spicatum	40	**	3.5
Potamogeton crispus	59	*	3.5
Wolffia arrhiza	11	***	3.7
Draadwier	68	*	3.7

Soorten van zeer harde
wateren (gg \geq 4.0):

Potamogeton densus	29	**	4.2
Lemna gibba	77	**	4.2
Potamogeton pectinatus	62	**	4.3
Callitriche obtusangula	29	**	4.5
Ranunculus aquatilis	37	**	4.5
Potamogeton mucronatus	22	**	4.9
Ranunculus baudotii	14	**	5.2
Hippuris vulgaris	22	**	5.3
Enteromorpha species	21	**	5.4
Ceratophyllum submersum	16	***	6.6
Zannichellia pedunculata	29	***	7.0

Indifferente soorten:

Nymphaea alba	76		1.6
Glyceria fluitans	167		1.8

Helofyten

Soorten van ongebufferd (zure) wateren ($gg \leq 0.1$):

<i>Eriophorum angustifolium</i>	18	***	0.0
---------------------------------	----	-----	-----

Soorten van zeer zachte wateren ($0.1 < gg < 0.5$):

<i>Eleocharis multicaulis</i>	17	***	0.2
<i>Carex rostrata</i>	41	**	0.3
<i>Potentilla palustris</i>	23	**	0.4
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	59	*	0.5
<i>Juncus effusus</i>	89	*	0.5

Soorten van zachte wateren ($0.5 \leq gg < 1.0$):

<i>Cladium mariscus</i>	10	***	0.6
<i>Menyanthes trifoliata</i>	12	***	0.7

Soorten van zachte en matig hard wateren ($1.0 \leq gg < 2.0$):

<i>Scirpus lacustris</i>	40	*	1.0
<i>Juncus articulatus</i>	53	*	1.5
<i>Typha angustifolia</i>	31	*	1.5
<i>Typha latifolia</i>	63	*	1.5
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	147	*	1.6
<i>Sparganium emersum</i>	62	*	1.6
<i>Iris pseudacoris</i>	43	*	1.8
<i>Cicuta virosa</i>	26	***	1.9

Soorten van harde wateren ($2.0 \leq gg < 4.0$):

<i>Equisetum fluviatile</i>	62	*	2.0
<i>Alisma lanceolatum</i>	20	***	2.3
<i>Sium latifolium</i>	8	***	2.3
<i>Oenanthe aquatica</i>	29	*	2.5
<i>Rorippa amphibia</i>	57	*	2.5
<i>Phalaris arundinacea</i>	32	*	2.6
<i>Sagittaria sagittifolia</i>	81	**	2.6
<i>Sparganium erectum</i>	106	**	2.7
<i>Oenanthe fistulosa</i>	26	**	2.8
<i>Butomus umbellatus</i>	55	**	2.9
<i>Mentha aquatica</i>	66	**	2.9
<i>Polygonum amphibium</i>	92	*	2.9
<i>Acorus calamus</i>	25	***	3.0
<i>Rumex hydrolapathum</i>	43	**	3.0
<i>Sium erectum</i>	64	**	3.2
<i>Glyceria maxima</i>	143	**	3.3
<i>Nasturtium microphyllum</i>	38	**	3.9

Soorten van zeer harde wateren ($gg \geq 4.0$):

<i>Scirpus tabernaemontani</i>	8	**	4.3
<i>Veronica catenata</i>	20	**	4.8
<i>Ranunculus sceleratus</i>	31	**	5.0
<i>Scirpus maritimus</i>	18	**	6.4

Indifferente soorten:

<i>Eleocharis palustris</i>	88		1.9
<i>Phragmites australis</i>	122		2.3

Hoofdstuk 5

ONDERWATERBODEM

De onderwaterbodem is een essentiële onderdeel van een aquatisch systeem en vervult een belangrijke rol in het functioneren hiervan. Vaak wordt de belangrijkheid van de bodem onderschat. In veel onderzoek beperkt men zich tot het bepalen van de watersamenstelling.

De onderwaterbodem vervult een aantal belangrijke functies voor de waterplanten. Wortelende waterplanten hechten zich vast in de bodem waardoor zij in bepaalde mate weerstand kunnen bieden aan waterbeweging en golfslag. De onderwaterbodem kan door de relatief grote opslagcapaciteit fungeren als leverancier van voedingsstoffen. Dit kan direct gebeuren via de wortels van wortelende waterplanten of indirect via uitwisseling met de waterlaag aan niet-wortelende soorten. Ook is de onderwaterbodem een zeer belangrijke voedselbron voor dierlijke organismen die erin leven.

Aan de onderwaterbodem zijn verschillende belangrijke karakteristieken te onderscheiden. Allereerst kan een onderscheid gemaakt worden in verschillende bodemtypen, afhankelijk van het aandeel van organisch materiaal (humus) en de granulaire samenstelling (klei-, silt- en zand-fractie). Daarnaast is het voedingsstoffenaanbod in de bodem van groot belang, vooral van stikstof, fosfaat en anorganische koolstof. Ook de structuur van de bodem en de redoxpotentiaal is van wezenlijk belang voor allerlei biologische processen.

Het organisch materiaal vormt in veel ondiepe wateren de belangrijkste voedselbron voor de dierlijke aquatische levensgemeenschap. Door afbraak (mineralisatie) van het organische materiaal door micro-organismen en macro-evertebraten komen voedingsstoffen beschikbaar voor andere organismen. Deze voedingsstoffen kunnen ook geadsorbeerd worden aan het organische materiaal. De snelheid van afbraak en de biologische processen die optreden in de bodem worden beïnvloed door de chemische samenstelling van het interstitiële water en het bovenstaande water. Bij een lage buffercapaciteit (lage alkaliniteit) zal de afbraak relatief langzaam verlopen als gevolg van afbraakremming door zuurcomplexen die tijdens de afbraak gevormd worden.

Ook de granulaire samenstelling van de bodem is van belang voor de voedingsstoffenhuishouding en de structuur van de bodem. Met name het kleigehalte heeft een grote invloed op de beschikbaarheid van voedingsstoffen

omdat de klei-deeltjes een groot adsorptievermogen bezitten voor veel ionen. Kleibodems zijn daardoor meestal rijker aan voedingsstoffen dan zandbodems. De structuur van de bodem heeft onder andere invloed op de zuurstofvoorziening in de bodem. In compacte kleibodems kan zuurstof moeilijk doordringen en er zullen reeds op geringe dieptes zuurstofloze condities ontstaan waardoor ook de redoxpotentiaal daalt. In grofkorrelige bodems daarentegen is de zuurstofvoorziening veel beter en kunnen bodemorganismen dieper voorkomen (Higler, 1985).

5.1 GRANULAIRE SAMENSTELLING

In Tabel 7 is het voorkomen van de waterplanten weergegeven in relatie tot verschillende bodemtypen. Op basis van het relatieve aandeel (in procenten) van drie verschillende fracties van korrelgrootten zijn de volgende bodemtypen onderscheiden:

	zandfractie(%) (> 50 μ m)	siltfractie(%) (> 2 en < 50 μ m)	kleifractie(%) (< 2 μ m)
zand	≥ 70		
zandige leem	$50 \leq < 70$		< 25
silthoudende leem		$50 \leq < 80$	< 40
zandige klei	$50 \leq < 70$		$25 \leq < 40$
silt		≥ 80	
leem	< 50	< 50	< 25
kleiige leem	< 50	< 50	$25 \leq < 40$
klei			≥ 40

Een meer volledige indeling wordt verkregen wanneer ook het organische stofgehalte bij de type-indeling betrokken wordt. Praktisch gezien is dit echter moeilijker, omdat er dan veel bodemklassen onderscheiden moeten worden. In Tabel 7 is een indeling gemaakt naar de granulaire samenstelling. De waterplanten met ondergedoken of drijvende bladeren worden als volgt ingedeeld:

1. Soorten die uitsluitend op zandige bodems voorkomen.

Dit zijn onder andere haaksterrekroos (*Callitriche hamulata*), gesteeld glaskroos (*Elatine hexandra*) en oevertkruud (*Littorella uniflora*).

2. Soorten die uitsluitend op zandige bodems en zandige leem voorkomen.
Hiertoe behoren onder andere ongelijkbladig fonteinkruud (*Potamogeton gramineus*), waterpostelein (*Peplis portula*), ondergedoken moerasscherm (*Apium inundatum*) en pilvaren (*Pilularia globulifera*).
3. Soorten op zandige bodems en zand- en silt houdende bodems.
Tot deze groep behoren vlottende bies (*Scirpus fluitans*), drijvende waterweegbree (*Luronium natans*), moerashertshooi (*Hypericum elodes*), egelboterbloem (*Ranunculus flammula*) en gewone waterranonkel (*Ranunculus peltatus*).
4. Soorten op zandige bodems, zand- en silt houdende leem en zandige klei.
Deze groep bevat het kranswier *Chara globularis* en knolrus (*Juncus bulbosus*).
5. Soorten op voornamelijk klei en leem, soms op zandige bodems.
Hiertoe behoren watergentiaan (*Nymphoides peltata*) en haarfonteinkruud (*Potamogeton trichoides*).
6. Soorten van alle typen bodems, behalve silt en leem.
Deze groep omvat plat fonteinkruud (*Potamogeton compressus*), glanzig fonteinkruud (*P. lucens*), drijvend fonteinkruud (*P. natans*), waterviolier (*Hottonia palustris*) en kikkerbeet (*Hydrocharis morsus-ranae*).
7. Soorten van alle typen bodems behalve leem.
Twee soorten worden hiertoe gerekend: tenger fonteinkruud (*P. pusillus*) en mannagrass (*Glyceria fluitans*).
8. Soorten op alle typen bodems, behalve silt.
Hiertoe behoren puntkroos (*Lemna trisulca*), veelwortelig kroos (*Spirodela polyrhiza*), gedoornd hoornblad (*Ceratophyllum demersum*), spitsbladig fonteinkruud (*P. acutifolius*), schedefonteinkruud (*P. pectinatus*) en gele plomp (*Nuphar lutea*).
9. Soorten op alle typen bodems.

Tot deze groep van indifferente soorten behoren witte waterlelie (*Nympaea alba*), bultkroos (*Lemna gibba*), smalle waterpest (*Elodea nuttallii*) en klein kroos (*Lemna minor*).

Bij de helofyten is een wat grovere indeling gebruikt.

1. Soorten uitsluitend op zandige bodems.
Deze groep bevat onder andere galigaan (*Cladium mariscus*) en veenpluis (*Eriophorum angustifolium*).
2. Soorten uitsluitend op zandige bodems en zandige leem.
Alleen waternavel (*Hydrocotyle vulgaris*) en znavelzegge (*Carex rostrata*) behoren hiertoe.
3. Soorten op zand, zandige leem en klei, weinig op siltige bodems.
Hiertoe behoren watertorkruid (*Oenanthe aquatica*), veenwortel (*Polygonum amphibium*), grote lisdodde (*Typha latifolia*) en pijlkruid (*Sagittaria sagittifolia*).
4. Soorten op alle bodems behalve leem.
Tot deze groep worden gerekend holpijp (*Equisetum fluviatile*), kleine egelskop (*Sparganium emersum*), grote egelskop (*S. erectum*), liesgras (*Glyceria maxima*) en grote waterweegbree (*Alisma plantago-aquatica*).
5. Soorten op alle typen bodems.
Hiertoe behoort alleen riet (*Phragmites australis*).

Tabel 7: Granulaire samenstelling van de bodem.

n = aantal waarnemingen,
ind = indicatiegewicht : * = zwak , ** = matig , *** = sterk.
voor uitleg zie "Responsietabellen"

	n	ind
Soorten op zandbodems:		
<i>Callitriche hamulata</i>	24	***
<i>Echinodorus repens</i>	5	***
<i>Elatine hexandra</i>	12	***
<i>Littorella uniflora</i>	24	***
<i>Sparganium minimum</i>	5	***
Soorten op zandige bodems en zandige leem:		
<i>Potamogeton gramineus</i>	23	***
<i>Peplis portula</i>	29	***
<i>Ranunculus ololeucos</i>	12	***
<i>Apium inundatum</i>	14	***
<i>Pilularia globulifera</i>	23	***
<i>Echinodorus ranunculoides</i>	14	***
<i>Myriophyllum alterniflorum</i>	14	**
<i>Eleocharis acicularis</i>	40	***
Soorten op zandige bodems en zand- en silt houdende bodems:		
<i>Scirpus fluitans</i>	32	***
<i>Luronium natans</i>	58	***
<i>Hypericum elodes</i>	24	***
<i>Ranunculus flammula</i>	44	**
<i>Ranunculus peltatus</i>	34	**
<i>Sphagnum species</i>	35	***
<i>Utricularia australis</i>	9	***
Soorten op zandige bodems, zand- en silt houdende leem en zandige klei:		
<i>Chara globularis</i>	16	**
<i>Juncus bulbosus</i>	77	**
Soorten op voornamelijk klei en leem, soms op zandige bodems:		
<i>Nymphoides peltata</i>	25	*
<i>Potamogeton trichoides</i>	27	*
Soorten op alle typen bodems, behalve silt en leem:		
Draadwier	22	*
<i>Potamogeton compressus</i>	11	**
<i>Hottonia palustris</i>	39	*
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	44	*
<i>Potamogeton natans</i>	99	*
<i>Potamogeton lucens</i>	23	
<i>Riccia fluitans</i>	38	
<i>Ranunculus circinatus</i>	42	*
Soorten op alle typen bodems, behalve leem:		
<i>Potamogeton pusillus</i>	33	*
<i>Glyceria fluitans</i>	113	
Soorten op alle typen bodems, behalve silt:		
<i>Lemna trisulca</i>	93	*
<i>Callitriche platycarpa</i>	48	*

Ceratophyllum demersum	52	*
Potamogeton acutifolius	20	
Stratiotes aloides	38	
Potamogeton pectinatus	39	
Nuphar lutea	39	
Spirodela polyrhiza	52	
Myriophyllum spicatum	28	*

Soorten op alle typen bodems:

Nymphaea alba	52
Lemna gibba	48
Elodea nuttallii	119
Lemna minor	137

Helofyten

	n	ind
Soorten op zandbodems:		
<i>Alisma lanceolatum</i>	6	***
<i>Cladium mariscus</i>	9	***
<i>Eriophorum angustifolium</i>	14	***
<i>Oenanthe fistulosa</i>	6	***
Soorten op zandige bodems en zandige leem:		
<i>Eleocharis multicaulis</i>	16	***
Soorten op zandige bodems en zand- en silt houdende bodems:		
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	66	***
<i>Carex rostrata</i>	30	***
Soorten op zand, zandige leem en klei, weinig op siltige bodem:		
<i>Scirpus lacustris</i>	15	***
<i>Oenanthe aquatica</i>	17	**
<i>Phalaris arundinacea</i>	15	*
<i>Polygonum amphibium</i>	43	*
<i>Butomus umbellatus</i>	16	**
<i>Typha latifolia</i>	25	**
<i>Eleocharis palustris</i>	60	*
<i>Sagittaria sagittifolia</i>	33	*
<i>Rorippa amphibia</i>	19	*
Soorten op alle typen bodems, behalve leem:		
<i>Juncus articulatus</i>	34	**
<i>Equisetum fluviatile</i>	39	**
<i>Mentha aquatica</i>	26	**
<i>Sparganium emersum</i>	54	**
<i>Sium erectum</i>	20	*
<i>Sparganium erectum</i>	41	*
<i>Glyceria maxima</i>	47	*
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	124	
Soorten op alle typen bodems:		
<i>Phragmites australis</i>	53	

5.2 ORGANISCHE STOF GEHALTE

In Tabel 8 zijn de waterplanten ingedeeld naar het organisch stofgehalte in de bodem. Mineraal worden de bodems genoemd met een organisch stof percentage tot 10 %, licht organisch die bodems met een organisch stof percentage tussen 10 en 25 %, matig organisch die met een percentage tussen 25 en 60 % en organisch die met een percentage groter dan 60 %.

Bij de indeling van de waterplanten met ondergedoken en drijvende bladeren worden zes groepen onderscheiden.

1. Soorten op minerale bodem.
 Hiertoe behoren haaksterrekroos (*Callitriche hamulata*), oeverkruid (*Littorella uniflora*), naaldwaterbies (*Eleocharis acicularis*), doorgroeid fonteinkruid (*Potamogeton perfoliatus*) en gekroesd fonteinkruid (*P. crispus*).

2. Soorten van mineraal en licht organische bodem.
 Deze groep omvat vrij veel soorten waaronder drijvende waterweegbree (*Luronium natans*), gewoon sterrekroos (*Callitriche platycarpa*), gedoornd hoornblad (*Ceratophyllum demersum*), egelboterbloem (*Ranunculus flammula*), gewone waterranonkel (*R. peltatus*), zilte waterranonkel (*R. baudotii*) en witbloemige waterranonkel (*R. ololeucos*).

3. Soorten op mineraal tot matig organische bodem.
 Hiertoe behoren onder andere ondergedoken moerasscherm (*Apium inundatum*), glanzig fonteinkruid (*Potamogeton lucens*), rossig fonteinkruid (*P. alpinus*), drijvend fonteinkruid (*P. natans*), duizendknoopfonteinkruid (*P. polygonifolius*), smalle waterpest (*Elodea nuttallii*) en waterviolier (*Hottonia palustris*).

4. Soorten op licht organische tot matig organische bodem.
 Hiertoe behoren lidsteng (*Hippurus vulgaris*), watergentiaan (*Nymphoides peltata*), fijne waterranonkel (*Ranunculus aquatilis*) en puntig fonteinkruid (*P. mucronatus*).

5. Soorten op mineraal tot organische bodem.
 Tot deze groep behoren het kranswier *Chara globularis*, stomphoekig sterrekroos (*C. obtusangula*), watervorkje (*Riccia fluitans*) en grote kroosvaren (*Azolla filiculoides*).

6. Soorten op licht organische tot organische bodems.
 Hiertoe behoren onder andere schedefonteinkruid (*P. pectinatus*), spitsbladig fonteinkruid (*P. acutifolius*), plat fonteinkruid (*P. compressus*), klein kroos (*Lemna minor*), bultkroos (*L. gibba*), veelwortelig kroos (*Spirodela polyrhiza*) en puntkroos (*L. trisulca*).

Bij de helofyten worden vier groepen onderscheiden.

1. Soorten van mineraal en licht organische bodem.
Tot deze groep behoren waternavel (*Hydrocotyle vulgaris*), pijlkruid (*Sagittaria sagittifolia*), grote waterweegbree (*Alisma plantago-aquatica*) en holpijp (*Equisetum fluviatile*).
2. Soorten op mineraal tot matig organische bodem.
Hiertoe worden gerekend soorten als gewone waterbies (*Eleocharis palustris*), kleine egelskop (*Sparganium emersum*), liesgras (*Glyceria maxima*) en zwanebloem (*Butomus umbellatus*).
3. Soorten op mineraal tot organische bodem.
Deze groep omvat grote egelskop (*Sparganium erectum*) en riet (*Phragmites australis*).
4. Soorten op licht organische tot organische bodems.
Hiertoe worden gerekend grote lisdodde (*Typha latifolia*), veelstengelige waterbies (*E. multicaulis*) en snavelzegge (*Carex rostrata*).

Tabel 8: Organisch stofgehalte van de bodem (%).

n = aantal waarnemingen, gg = gewogen gemiddelde,
ind = indicatiegewicht : * = zwak , ** = matig , *** = sterk.
voor uitleg zie "Responsietabellen"

Ondergedoken waterplanten en waterplanten met drijfbladeren

	n	ind	gg
Soorten van minerale bodems:			
Callitriche hamulata	22	***	2
Elatine hexandra	6	***	2
Littorella uniflora	17	***	2
Eleocharis acicularis	26	***	3
Nitella flexilis	10	***	3
Potamogeton perfoliatus	18	**	3
Potamogeton crispus	27	**	4

	n	ind	gg
Soorten van mineraal en licht organische bodems:			
Luronium natans	28	**	5
Elodea canadensis	38	**	6
Potamogeton densus	23	**	6
Myriophyllum verticillatum	16	**	6
Callitriche platycarpa	44	*	7
Ceratophyllum submersum	16	***	7
Echinodorus ranunculoides	12	*	7
Peplis portula	18	**	7
Pilularia globulifera	13	**	7
Potamogeton trichoides	25	**	7
Ranunculus flammula	29	**	7
Ranunculus peltatus	20	**	7
Ranunculus baudotii	12	*	8
Ranunculus trichophyllum	17	**	8
Myriophyllum alterniflorum	11	**	9
Zannichellia palustris	18	*	9
Potamogeton gramineus	26	**	12
Ranunculus ololeucos	6	*	12

	n	ind	gg
Soorten op mineraal tot matig organische bodems:			
Apium inundatum	19		11
Glyceria fluitans	81		11
Potamogeton lucens	21		11
Potamogeton alpinus	19		14
Chara vulgaris	26		15
Scirpus fluitans	25		15
Chara hispida	11		16
Potamogeton natans	79		16
Elodea nuttallii	103		17
Potamogeton polygonifolius	25		18
Myriophyllum spicatum	27		19
Hottonia palustris	28		20
Juncus bulbosus	54		20

	n	ind	gg
Soorten op licht organische tot matig organische bodem:			
Hippuris vulgaris	18	*	18
Nymphoides peltata	23	*	18
Potamogeton berchtoldii	9	**	18
Ranunculus aquatilis	25	*	18
Utricularia australis	12	**	19

Potamogeton mucronatus	15	**	20
Hypericum elodes	19	**	22

Soorten op mineraal tot organische bodem:

Chara globularis	22	*	21
Callitriche obtusangula	25	*	23
Potamogeton pusillus	40	*	23
Riccia fluitans	27	*	26
Azolla filiculoides	17	*	29
Potamogeton obtusifolius	15	*	29
Sparganium minimum	10	**	32

Soorten op licht organische tot organische bodems:

Potamogeton pectinatus	44		20
Lemna minor	113		21
Zannichellia pedunculata	27		21
Ranunculus circinatus	41		24
Ceratophyllum demersum	50		25
Nuphar lutea	32		25
Potamogeton acutifolius	20		25
Potamogeton compressus	12		25
Lemna gibba	52		27
Spirodela polyrhiza	58		28
Hydrocharis morsus-ranae	43		29
Lemna trisulca	94		30
Stratiotes aloides	35		30
Sphagnum species	22		31
Draadwier	25		32
Nymphaea candida	19		32
Utricularia vulgaris	20		33
Enteromorpha species	8	*	35
Nymphaea alba	39	*	35
Echinodorus repens	9	**	36
Utricularia minor	14	**	49

Helofyten

	n	ind	gg
Soorten van mineraal en licht organische bodems:			
<i>Oenanthe fistulosa</i>	7	***	4
<i>Nasturtium microphyllum</i>	9	**	6
<i>Phalaris arundinacea</i>	9	**	8
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	43	*	9
<i>Sagittaria sagittifolia</i>	29	*	9
<i>Alisma lanceolatum</i>	6	***	10
<i>Veronica catenata</i>	8	***	10
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	89	*	11
<i>Equisetum fluviatile</i>	32	*	11
<i>Oenanthe aquatica</i>	11	**	11

Soorten op mineraal tot matig organische bodems:

<i>Eleocharis palustris</i>	49		11
<i>Sparganium emersum</i>	41		12
<i>Juncus articulatus</i>	25	*	14
<i>Mentha aquatica</i>	22	*	14
<i>Glyceria maxima</i>	41	*	15
<i>Juncus effusus</i>	30	*	15
<i>Polygonum amphibium</i>	42	*	16
<i>Butomus umbellatus</i>	13	**	17
<i>Sium erectum</i>	22	*	17
<i>Potentilla palustris</i>	12	*	20

Soorten op mineraal tot organische bodem:

<i>Sparganium erectum</i>	39		25
<i>Phragmites australis</i>	49		26
<i>Cladium mariscus</i>	9		29

Soorten op licht organische tot organische bodems:

<i>Ranunculus sceleratus</i>	9	**	21
<i>Typha latifolia</i>	24	*	21
<i>Rorippa amphibia</i>	16	*	24
<i>Scirpus maritimus</i>	7	*	24
<i>Eleocharis multicaulis</i>	17	*	25
<i>Eriophorum angustifolium</i>	10	**	26
<i>Menyanthes trifoliata</i>	7	***	26
<i>Iris pseudacoris</i>	6	**	27
<i>Carex rostrata</i>	21	**	28
<i>Scirpus lacustris</i>	9	**	33
<i>Typha angustifolia</i>	11	***	54

5.3 REDOXPOTENTIALAAL VAN DE BODEM

De redoxpotentiaal is een maat voor het reducerende vermogen van de bodem. In het algemeen zijn bodems van aquatische systemen reducerend omdat het zuurstofgehalte snel afneemt wanneer er organische stof in de bodem aanwezig is. De microbiële processen verbruiken meer zuurstof dan dat er via de afsluitende waterlaag aangevoerd kan worden. Alleen de dunne bovenste

bodemlaag kan toch regelmatig oxiderend zijn. Vooral in minerale bodems zal de redoxpotentiaal positief en de bodem dus oxiderend zijn. Sterk organische bodems zijn echter zeer reducerend en door het gebrek aan zuurstof treden voornamelijk anaerobe processen op waarbij schadelijke gassen zoals waterstofsulfide kunnen ontstaan. De invloed van de redoxpotentiaal op de nutriëntenhuishouding van aquatische systemen betreft vooral de beschikbaarheid van kooldioxide, fosfaat en mineraal stikstof.

In Tabel 9 zijn de waterplanten ingedeeld naar de redoxpotentiaal van de bodem. Er worden een zestal groepen onderscheiden. De waterplanten met ondergedoken en drijvende bladeren zijn als volgt ingedeeld:

1. Soorten van zeer reductieve bodems ($gg < -175$ mvolt).
Tot deze groep behoren soorten zoals darmwier (*Enteromorpha*), grote kroosvaren (*Azolla filiculoides*), zoutwaterzannichellia (*Zannichellia pedunculata*), bultkroos (*Lemna gibba*), punkroos (*Lemna trisulca*), ongedoornd hoornblad (*Ceratophyllum submersum*) en gedoornd hoornblad (*Ceratophyllum demersum*).
2. Soorten van reductieve bodems ($-175 \leq gg < 100$ mvolt).
Deze groep is het grootste en bevat soorten zoals gewoon blaasjeskruid (*Utricularia vulgaris*), spitsbladig fonteinkruid (*Potamogeton acutifolius*), plat fonteinkruid (*Potamogeton compressus*), watergentiaan (*Nymphoides peltata*), witte waterlelie (*Nymphaea alba*) en gele plomp (*Nuphar lutea*).
3. Soorten van matig reductieve bodems ($-100 \leq gg < 0$ mvolt).
Tot deze groep behoren drijvend fonteinkruid (*Potamogeton natans*), waterviolier (*Hottonia palustris*), teer vederkruid (*Myriophyllum alterniflorum*), het kranswier *Chara globularis* en moerashertshooi (*Hypericum elodes*).
4. Soorten van matig oxiderende bodems ($0 \leq gg < 100$ mvolt).
In deze groep zitten haaksterrekroos (*Callitriche hamulata*), naaldwaterbies (*Eleocharis acicularis*), waternavel (*Hydrocotyle vulgaris*), ondergedoken moerasscherm (*Apium inundatum*) en drijvende waterweegbree (*Luronium natans*).
5. Soorten van oxiderende bodems ($gg \geq 100$ mvolt).

Hiertoe behoren knolrus (*Juncus bulbosus*), gewone waterranonkel (*Ranunculus peltatus*), gesteeld glaskroos (*Elatine hexandra*), waterpostelein (*Peplis portula*) en oeverkruid (*Littorella uniflora*).

6. Soorten die min of meer indifferent zijn.

Deze groep omvat enkele soorten waaronder smalle waterpest (*Elodea nuttallii*) en klein kroos (*Lemna minor*).

Tabel 9: Redoxpotentiaal van de bodem (mvolt).

n = aantal waarnemingen, gg = gewogen gemiddelde,
ind = indicatiegewicht : * = zwak , ** = matig , *** = sterk.
voor uitleg zie "Responsietabellen"

Ondergedoken waterplanten en waterplanten met drijfbladeren

Soorten van zeer reductieve bodems:

	n	ind	gg
Enteromorpha species	8	***	-232.9
Azolla filiculoides	17	***	-218.5
Zannichellia pedunculata	27	**	-217.0
Lemna gibba	50	**	-209.3
Ceratophyllum demersum	50	*	-199.1
Myriophyllum spicatum	27	*	-196.1
Ceratophyllum submersum	16	**	-194.3
Lemna trisulca	93	*	-186.8
Spirodela polyrhiza	57	*	-179.0
Potamogeton mucronatus	15	**	-178.7
Potamogeton pectinatus	45	*	-176.0
Stratiotes aloides	35	*	-175.2

Soorten van reductieve bodems:

Hydrocharis morsus-ranae	43	*	-171.2
Nymphoides peltata	23	*	-170.3
Utricularia vulgaris	20	*	-167.6
Potamogeton acutifolius	19	**	-167.4
Ranunculus circinatus	41	*	-166.3
Potamogeton compressus	12	*	-159.4
Nasturtium microphyllum	9	**	-157.0
Potamogeton lucens	21	**	-156.1
Myriophyllum verticillatum	16	**	-155.0
Nuphar lutea	32	*	-153.5
Ranunculus baudotii	12	**	-151.9
Nymphaea alba	39	*	-149.4
Draadwier	25	*	-148.2
Chara hispida	11	*	-145.3
Potamogeton trichoides	24	**	-143.1
Callitriche obtusangula	25	**	-139.4
Veronica catenata	8	***	-139.1
Potamogeton berchtoldii	9	***	-136.7
Potamogeton alpinus	18	**	-134.2
Hippuris vulgaris	18	**	-128.5
Ranunculus aquatilis	25	**	-124.5
Chara vulgaris	25	*	-119.9
Zannichellia palustris	18	**	-119.7
Nymphaea candida	19	**	-117.4
Potamogeton obtusifolius	15	**	-115.1
Elodea canadensis	37	*	-109.8
Potamogeton crispus	27	**	-109.1
Riccia fluitans	27	*	-105.9
Potamogeton perfoliatus	18	*	-102.8

Soorten van matig reductieve bodems:

Utricularia australis	11	***	-99.5
Potamogeton densus	23	*	-92.0

Polygonum amphibium	40	*	-76.5
Potamogeton natans	78	*	-73.2
Hottonia palustris	26	*	-68.2
Callitriche platycarpa	44	*	-64.0
Myriophyllum alterniflorum	11	**	-50.2
Ranunculus ololeucos	6	**	-28.5
Chara globularis	22	*	-15.6
Hypericum elodes	18	*	-10.9
Nitella flexilis	10	***	-9.2
Potamogeton gramineus	26	*	-3.8

Soorten van matig oxiderende bodems:

Pilularia globulifera	13	*	1.5
Callitriche hamulata	22	***	24.1
Ranunculus trichophyllus	17	*	32.9
Potamogeton polygonifolius	24	**	45.9
Echinodorus ranunculoides	12	**	50.3
Eleocharis acicularis	26	**	58.7
Sparganium minimum	10	**	63.1
Hydrocotyle vulgaris	41	*	67.2
Luronium natans	28	**	76.2
Apium inundatum	19	**	76.8
Echinodorus repens	9	**	80.5
Utricularia minor	12	**	84.5

Soorten van oxiderende bodems:

Scirpus fluitans	25	**	105.4
Juncus bulbosus	52	*	110.3
Ranunculus flammula	28	**	116.4
Ranunculus peltatus	16	**	139.3
Elatine hexandra	6	***	147.6
Peplis portula	18	**	153.3
Littorella uniflora	17	**	167.4
Sphagnum species	20	**	182.5

Indifferente soorten:

Elodea nuttallii	101		-136.7
Potamogeton pusillus	40		-133.0
Lemna minor	110		-122.4
Glyceria fluitans	77		11.4

Helofyten

	n	ind	gg
Soorten van zeer reductieve bodems:			
<i>Oenanthe fistulosa</i>	7	***	-199.2
<i>Butomus umbellatus</i>	13	*	-197.3
<i>Sparganium erectum</i>	36	**	-183.7
Soorten van reductieve bodems:			
<i>Typha angustifolia</i>	11	*	-158.1
<i>Alisma lanceolatum</i>	6	**	-151.3
<i>Glyceria maxima</i>	39	**	-138.3
<i>Equisetum fluviatile</i>	30	*	-113.9
<i>Ranunculus sceleratus</i>	9	**	-100.9
Soorten van matig reductieve bodems:			
<i>Sium erectum</i>	21	*	-95.7
<i>Potentilla palustris</i>	10	***	-89.9
<i>Rorippa amphibia</i>	16	**	-84.9
<i>Scirpus maritimus</i>	7	**	-65.6
<i>Menyanthes trifoliata</i>	6	**	-62.1
<i>Mentha aquatica</i>	20	*	-49.3
<i>Sparganium emersum</i>	39	*	-44.0
<i>Oenanthe aquatica</i>	8	**	-30.6
Soorten van matig oxiderende bodems:			
<i>Juncus articulatus</i>	24	**	8.7
<i>Eleocharis palustris</i>	46	*	28.8
<i>Cladium mariscus</i>	9	**	54.4
<i>Scirpus lacustris</i>	9	***	66.1
<i>Phalaris arundinacea</i>	7	**	80.2
Soorten van oxiderende bodems:			
<i>Juncus effusus</i>	26	**	117.4
<i>Carex rostrata</i>	18	**	134.9
<i>Eleocharis multicaulis</i>	16	**	164.8
<i>Eriophorum angustifolium</i>	8	**	181.7
Indifferente soorten:			
<i>Sagittaria sagittifolia</i>	28		-115.2
<i>Typha latifolia</i>	23		-106.8
<i>Phragmites australis</i>	48		-61.2
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	83		-39.8

5.4 ANORGANISCHE KOOLSTOF IN DE BODEM

Waterplanten kunnen ook ingedeeld worden naar hun voorkomen in relatie tot het carbonaatgehalte van de bodem (Tabel 10) Deze indeling komt sterk overeen met die volgens het bicarbonaatgehalte (Tabel 6) hetgeen niet verwonderlijk is omdat het bicarbonaatgehalte in veel wateren door het carbonaatgehalte van de bodem bepaald wordt.

Opvallend echter in de carbonaat-tabel is dat er beneden de grenswaarde tussen kalkloos en kalkarm, die door de Stichting Bodemkartering (STIBOKA) gegeven wordt ($0.5 \% \text{CaCO}_3 = 5 \text{ mmol/g DW}$), kleine verschillen in het carbonaatgehalte duidelijk gecorreleerd zijn met het voorkomen van soorten. Het is duidelijk dat de indeling volgens STIBOKA veel te grof is om uitspraken te doen over het voorkomen van waterplanten.

De waterplanten met ondergedoken en drijvende bladeren zijn als volgt ingedeeld:

1. Soorten van zeer carbonaatarme bodems.

Tot deze groep behoren onder andere drie waterranonkels, namelijk egelboterbloem (*Ranunculus flammula*), gewone waterranonkel (*R. peltatus*) en witbloemige waterranonkel (*R. ololeucos*), en ook gesteeld glaskroos (*Elatine hexandra*), waterpostelein (*Peplis portula*), veenmos (*Sphagnum*), knolrus (*Juncus bulbosus*), teer vederkruid (*Myriophyllum alterniflorum*) en pilvaren (*Pilularia globulifera*).

2. Soorten van carbonaatarme bodems.

Hieronder vallen een aantal fonteinkruiden namelijk duizendknoopfonteinkruid (*Potamogeton polygonifolius*), drijvend fonteinkruid (*P. natans*), rossig fonteinkruid (*P. alpinus*), plat fonteinkruid (*P. compressus*) en klein fonteinkruid (*P. berchtoldii*), en ook haaksterrekroos (*Callitriche hamulata*), moerashertshooi (*Hypericum elodes*), ondergedoken moerasscherm (*Apium inundatum*) en waterviolier (*Hottonia palustris*).

3. Soorten van matig carbonaatrijke bodems.

Hieronder vallen oeverkruid (*Littorella uniflora*), krabbescheer (*Stratiotes aloides*), kikkerbeet (*Hydrocharis morsus-ranae*) en brede waterpest (*Elodea canadensis*).

4. Soorten van carbonaatrijke bodems.

Hiertoe behoren het kranswier *Chara globularis*, grote kroosvaren (*Azolla filiculoides*), bultkroos (*Lemna gibba*), watergentiaan (*Nymphoides peltata*), gedoornd hoornblad (*Ceratophyllum demersum*) en de drie fonteinkruiden gekroesd fonteinkruid (*P. crispus*), glanzig fonteinkruid (*P. lucens*) en puntig fonteinkruid (*P. mucronatus*).

5. Soorten van zeer carbonaatrijke bodems.

Hieronder vallen de kranswieren *Chara vulgaris* en *C. hispida*, zilte waterranonkel (*R. baudotii*), sedefonteinkruid (*P. pectinatus*) en ongedoornd hoornblad (*C. submersum*).

6. Indifferente soorten.

Hieronder vallen de niet-wortelende waterplanten klein kroos (*L. minor*), puntkroos (*L. trisulca*) en veelwortelig kroos (*Spirodela polyrhiza*), witte waterlelie (*Nymphaea alba*), gele plomp (*Nuphar lutea*) en smalle waterpest (*E. nuttallii*).

Bij de helofyten ontbreekt de groep van de carbonaatrijke bodems.

1. Soorten van zeer carbonaatarms bodems.

Hieronder vallen pitrus (*Juncus effusus*) en veelstengelige waterbies (*Eleocharis multicaulis*).

2. Soorten van carbonaatarms bodems.

Tot deze groep worden gerekend snavelzegge (*Carex rostrata*), wateraardbei (*Potentilla palustris*), veenpluis (*Eriophorum angustifolium*) en rietgras (*Phalaris arundinacea*).

3. Soorten van matig carbonaatrijke bodems. De soorten uit deze groep zijn weinig indicatief. Enkele soorten hieruit zijn holpijp (*Equisetum fluviatile*), liesgras (*Glyceria maxima*) en zwanebloem (*Butomus umbellatus*).

4. Soorten van zeer carbonaatrijke bodems. Deze groep omvat twee soorten die beiden slechts enkele malen bemonsterd zijn. Het zijn zeebies (*Scirpus maritimus*) en middelste waterweegbree (*Alisma lanceolatum*),

5. Indifferente soorten. Hieronder vallen de soorten grote waterweegbree (*Alisma plantago-aquatica*), riet (*Phragmites australis*) en gewone waterbies (*Eleocharis palustris*).

Tabel 10: Carbonaat-gehalte van de bodem ($\mu\text{mol/g DW}$).

n = aantal waarnemingen, gg = gewogen gemiddelde,
ind = indicatiegewicht : * = zwak , ** = matig , *** = sterk.
voor uitleg zie "Responsietabellen"

Ondergedoken waterplanten en waterplanten met drijfbladeren

	n	ind	gg
Soorten van zeer carbonaataarme bodems:			
<i>Elatine hexandra</i>	10	***	0.1
<i>Peplis portula</i>	29	***	0.3
<i>Sphagnum species</i>	36	**	0.4
<i>Juncus bulbosus</i>	81	**	0.5
<i>Luronium natans</i>	51	**	0.5
<i>Ranunculus flammula</i>	43	**	0.5
<i>Ranunculus ololeucos</i>	8	***	0.5
<i>Ranunculus peltatus</i>	34	**	0.5
<i>Echinodorus repens</i>	8	**	0.7
<i>Myriophyllum alterniflorum</i>	15	***	0.8
<i>Pilularia globulifera</i>	18	**	0.8
<i>Potamogeton obtusifolius</i>	18	**	0.8
<i>Nitella flexilis</i>	11	***	0.9

Soorten van carbonaataarme bodems:			
<i>Callitriche hamulata</i>	26	*	1.5
<i>Sparganium minimum</i>	10	***	1.5
<i>Scirpus fluitans</i>	31	**	1.7
<i>Hypericum elodes</i>	26	**	1.8
<i>Utricularia australis</i>	13	**	2.7
<i>Potamogeton polygonifolius</i>	28	**	2.9
<i>Apium inundatum</i>	23	*	4.9
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	64	*	5.1
<i>Utricularia minor</i>	17	**	6.1
<i>Potamogeton natans</i>	98	*	6.4
<i>Potamogeton alpinus</i>	19	***	8.4
<i>Hottonia palustris</i>	38	*	9.8
<i>Potamogeton compressus</i>	12	*	12.4
<i>Riccia fluitans</i>	36	*	15.2
<i>Potamogeton acutifolius</i>	20	**	15.5
<i>Potamogeton berchtoldii</i>	9	***	18.7

Soorten van matig carbonaatrijke bodems:			
<i>Littorella uniflora</i>	25	***	21.6
<i>Utricularia vulgaris</i>	20	**	25.7
<i>Stratiotes aloides</i>	36	*	35.1
<i>Eleocharis acicularis</i>	36	*	42.5
<i>Elodea canadensis</i>	41	*	58.7
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	44	*	73.1
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	18	**	77.1
<i>Nymphaea candida</i>	19	*	109.7
<i>Nasturtium microphyllum</i>	9	**	113.5
<i>Potamogeton trichoides</i>	26	*	117.8

Soorten van carbonaatrijke bodems:			
<i>Chara globularis</i>	22	*	203.0
<i>Hippuris vulgaris</i>	18	*	215.4
<i>Azolla filiculoides</i>	17	**	217.6
<i>Lemna gibba</i>	52	*	223.5
<i>Nymphoides peltata</i>	23	**	237.5
<i>Ceratophyllum demersum</i>	50	*	247.7
<i>Potamogeton densus</i>	23	**	264.9

Ranunculus circinatus	41	*	272.2
Myriophyllum spicatum	28	**	288.1
Zannichellia pedunculata	27	**	304.9
Ranunculus aquatilis	25	**	339.9
Potamogeton crispus	29	*	342.4
Potamogeton lucens	21	**	348.3
Potamogeton mucronatus	14	**	352.0
Echinodorus ranunculoides	14	*	359.7

Soorten van zeer carbonaatrijke bodems:

Enteromorpha species	8	**	374.9
Ranunculus baudotii	12	**	382.4
Chara vulgaris	26	**	388.0
Chara hispida	11	***	390.1
Veronica catenata	8	**	412.8
Zannichellia palustris	17	***	436.7
Ranunculus trichophyllus	18	**	454.6
Potamogeton pectinatus	44	**	479.8
Ceratophyllum submersum	16	**	487.7
Callitriche obtusangula	25	**	511.9

Indifferente soorten:

Glyceria fluitans	116		24.7
Lemna minor	134		68.6
Nymphaea alba	48		76.3
Lemna trisulca	98		108.5
Nuphar lutea	36		112.9
Polygonum amphibium	46		116.3
Spirodela polyrhiza	57		130.9
Potamogeton gramineus	27		194.7
Elodea nuttallii	115		206.0
Potamogeton pusillus	42		217.7
Myriophyllum verticillatum	18		223.8
Callitriche platycarpa	45		245.1
Draadwier	27		288.0

Helofyten

	n	ind	gg
Soorten van zeer carbonaatarme bodems:			
<i>Juncus effusus</i>	53	***	0.3
<i>Eleocharis multicaulis</i>	23	**	0.4
<i>Cladium mariscus</i>	13	**	0.5
<i>Iris pseudacoris</i>	8	***	1.1
<i>Menyanthes trifoliata</i>	9	***	1.5
Soorten van carbonaatarme bodems:			
<i>Carex rostrata</i>	33	*	2.1
<i>Potentilla palustris</i>	19	**	2.1
<i>Scirpus lacustris</i>	13	**	4.9
<i>Eriophorum angustifolium</i>	17	**	6.0
<i>Phalaris arundinacea</i>	13	**	12.7
Soorten van matig carbonaatrijke bodems:			
<i>Sparganium emersum</i>	50	*	27.7
<i>Sagittaria sagittifolia</i>	31	*	30.0
<i>Oenanthe aquatica</i>	18	*	32.2
<i>Equisetum fluviatile</i>	40	*	36.9
<i>Juncus articulatus</i>	33	*	48.0
<i>Typha latifolia</i>	27	*	75.1
<i>Typha angustifolia</i>	13	**	79.9
<i>Ranunculus sceleratus</i>	11	*	89.6
<i>Glyceria maxima</i>	45	*	97.2
<i>Butomus umbellatus</i>	14	**	105.2
<i>Sparganium erectum</i>	42	*	107.4
<i>Rorippa amphibia</i>	19	*	128.6
Soorten van zeer carbonaatrijke bodems:			
<i>Scirpus maritimus</i>	7	*	438.0
<i>Alisma lanceolatum</i>	7	**	581.1
Indifferente soorten:			
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	116		22.3
<i>Phragmites australis</i>	63		86.1
<i>Eleocharis palustris</i>	63		96.0
<i>Mentha aquatica</i>	27		119.3
<i>Sium erectum</i>	23		137.7
<i>Oenanthe fistulosa</i>	8		319.4

Hoofdstuk 6

RELATIES TUSSEN WATERKWALITEIT EN BODEMSAMENSTELLING

In de Nederlandse situatie zijn voor aquatische systemen doorgaans zowel de bodem als de waterlaag en de atmosfeer daarboven belangrijk. Deze drie compartimenten dienen als één geheel beschouwd te worden. Wortelende ondergedoken waterplanten hebben zowel met het bodem- als het watercompartiment te maken, terwijl emergente waterplanten ook de atmosfeer daarboven bereiken. Uit het oogpunt van eenvoud en praktische hanteerbaarheid zijn in het voorgaande deel de factoren in water en bodem echter afzonderlijk besproken.

De waterkwaliteit kan in meer of mindere mate de bodemsamenstelling beïnvloeden en omgekeerd kan de bodemsamenstelling de waterkwaliteit weer beïnvloeden. Er kan dus een sterke wisselwerking tussen beide compartimenten optreden. Deze wisselwerking tussen water en bodem wordt met twee voorbeelden verduidelijkt. Het eerste voorbeeld handelt over waterverharding in veengebieden en het tweede over de verzuringsproblematiek.

6.1 WATERVERHARDING

6.1.1 Waterinlaat in veengebieden

Het waterpeil in veengebieden is gedurende de laatste decennia sterk gedaald als gevolg van wateronttrekking voor de landbouw en voor de drinkwatervoorziening. Hierdoor droogt het veen uit en klinkt in. Het resultaat is dat de veenbodem van structuur verandert en dat kenmerkende planten en dieren verdwijnen (Bloemendaal en Roelofs, 1986). Tegenwoordig houdt men het water op peil door water uit andere gebieden aan te voeren. Dit inlaatwater is meestal afkomstig uit de Grote Rivieren of het IJsselmeer. Van oorsprong bevatten veengebieden zwak gebufferd of zuur water. Door deze waterkwaliteit wordt de afbraak van het dode organische materiaal geremd. Het

water bevat te weinig bufferstof om de bij afbraak vrijkomende zuren te neutraliseren. Hierdoor hoopt het organische materiaal zich op waardoor er dikke veenpakketten ontstaan.

In zure venen worden de veenpakketten door veenmos (Sphagnum) gevormd terwijl in zwak gebufferde venen andere soorten zoals krabbescheer en witte waterlelie verantwoordelijk zijn voor de vorming van het veenmateriaal (Westhoff et al., 1974).

6.1.2 Waterkwaliteit vroeger en nu

*Agrostis en Carex
waterlelie niet wortelende*

Het oorspronkelijke water in zwak gebufferde veengebieden was helder en licht dystroof (gekleurd door humuszuren). Er kwamen veel wortelende waterplanten voor, met name krabbescheer kon zeer uitgebreide vegetaties vormen (Horssen & Henskens, 1983).

De huidige waterkwaliteit verschilt in de meeste veengebieden sterk van de oorspronkelijke. De wateren zijn sterk geëutrofiëerd, het water is troebeler en regelmatig zuurstofarm. Gelijkertijd verdwenen veel wortelende waterplanten of gingen sterk achteruit. Zij werden vervangen door niet-wortelende waterplanten zoals gedoornd hoornblad en gewoon blaasjeskruid en tevens trad een sterke toename van algen op (Bloemendaal en Roelofs, 1986). Deze eutrofiëring wordt vaak toegeschreven aan hoge N- en P-concentraties in het inlaatwater. Dit is echter niet altijd terecht; de N- en P-concentraties zijn niet altijd hoger dan in het oorspronkelijke veenwater (bijvoorbeeld bij de waterinlaat met IJsselmeerwater in de Weerribben).

6.1.3 Veranderingen bij waterinlaat

Onderzoek heeft aangetoond dat in veengebieden waar waterinlaat plaatsvindt de veenbodem in een versneld tempo wordt afgebroken (Horssen & Henskens, 1983). Bij dit onderzoek zijn een geïsoleerd en een niet-geïsoleerd petgat met elkaar vergeleken.

Als gevolg van waterinlaat met bicarbonaatrijk water neemt de redoxpotentiaal in de bodem af en komen er meer organische verbindingen vrij. Ook nemen de voedingsstoffen concentraties in het bodemwater toe en diffunderen deels naar de waterlaag waardoor algen zich sterker kunnen ontwikkelen. In de zomerperiode zijn de meeste voedingsstoffen opgeslagen in de algen waardoor de

toename vaak nauwelijks meetbaar is. In de winter is deze voedselverrijking wel meetbaar.

6.1.4 Bicarbonaat verantwoordelijk

Uit laboratoriumexperimenten (Houdijk, 1983) blijkt dat de verhoogde bicarbonaatconcentratie verantwoordelijk is voor de water- en bodemkwaliteitsveranderingen. Tabel 11(a) laat zien dat een toename van het bicarbonaatgehalte een verhoging van de troebelheid en het fosfaat- en stikstofgehalte veroorzaakt.

Bicarbonaat stimuleert de afbraak van de veenbodem doordat het de natuurlijke afbraakremming door de lage pH opheft; bicarbonaat neutraliseert de lage bodem-pH. Het dode organische materiaal wordt nu versneld afgebroken waardoor de redoxpotentiaal daalt en sulfaat omgezet kan worden in het giftige sulfide. Ook blijkt dat de onderlinge verhouding van de anionen belangrijk is voor de processen die zich in water en bodem voltrekken. Bij een gelijkblijvende hoeveelheid bicarbonaat heeft een verhoging van sulfaat of chloride een verbetering van de waterkwaliteit tot gevolg (Tabel 11 (b en c)). Kennelijk werken hoge sulfaat- en chlorideconcentraties remmend op de afbraak in de bodem. Tevens blijkt (Tabel 11 (d)) dat een verhoogd bicarbonaatgehalte de zwavelreductie verhoogd met als gevolg een toename van het sulfidegehalte. De veranderingen van de anionsamenstelling bij (d) geeft een afspiegeling van de veranderingen die in veel praktijksituaties plaatsvinden.

Tabel 11: Effect van veranderde ionsamenstelling op de waterkwaliteit van kunstmatige veensystemen.

DOC = opgelost organisch koolstof

anionsamenstelling van het water			waterkwaliteit							
bicar- bonaat ($\mu\text{eq/l}$)	sul- faat ($\mu\text{mol/l}$)	chlo- ride ($\mu\text{mol/l}$)	pH	zuur- stof (mg/l)	DOC (mg/l)	Tur- bidi- teit (ppm)	totaal P ($\mu\text{mol/l}$)	totaal N ($\mu\text{mol/l}$)	sul- fide ($\mu\text{mol/l}$)	
a *	500	250	1000	5.4	5.6	1.8	8	0.95	86	0.00
	1000	250	1000	6.4	3.5	4.3	40	2.10	220	2.20
	3000	250	1000	7.7	2.4	6.5	70	3.25	257	2.50
b	1000	250	1000	6.4	3.5	4.3	40	2.10	220	2.20
	1000	500	1000	8.1	6.0	2.3	5	0.75	81	0.00
	1000	1000	1000	7.9	6.2	1.7	5	1.45	99	0.00
	1000	2000	1000	7.8	5.7	1.8	4	1.30	86	0.00
c	1000	250	1000	6.4	3.5	4.3	40	2.10	220	2.20
	1000	250	3000	7.5	5.3	2.2	3	0.90	93	0.90
	1000	250	5000	7.6	4.4	1.6	4	2.00	91	1.20
	1000	250	7000	8.0	5.9	1.1	5	1.35	87	1.50
d	500	250	1000	5.4	5.6	1.8	8	0.95	86	0.00
	2000	600	1700	6.5	4.5	4.7	25	2.05	215	3.00
	3300	950	2400	7.2	3.1	5.7	30	1.80	227	9.40

* : verkregen door ontharding van leidingwater met zoutzuur

6.1.5 Gevolgen voor waterplanten

Als gevolg van de waterinlaat met bicarbonaatrijk water treden er processen op die negatief werken op de aanwezige waterplanten. De ammonium- en sulfideconcentraties in de bodem nemen toe waardoor wortelende waterplanten sterk achteruitgaan. Alleen planten die in staat zijn zuurstof via de wortels in de bodem te brengen zoals de witte waterlelie en de gele plomp kunnen overleven. Door verhoogde afbraak wordt de bodem lossier en meer gefragmenteerd; de bodem verliest zijn structuur. De troebelheid van het water wordt hierdoor verhoogd. Vooral voor krabbescheer heeft het weker worden van de bodem nadelige effecten. 's Winters zakken de planten naar de bodem en worden hier overdekt met een dun laagje opgewerveld organisch materiaal. Hierdoor krijgen de planten in het voorjaar slechts weinig licht waardoor ze later of niet aan de oppervlakte verschijnen, kleiner zijn en minder wortels bezitten. Naast bovengenoemde veranderingen neemt als gevolg van de verhoogde afbraak ook regelmatig het zuurstofgehalte af in het water. Hierdoor kan 's zomers het

water zuurstofarm of zelfs zuurstofloos worden. Als gevolg hiervan kunnen allerlei negatieve effecten optreden zoals vissterfte en verhoging van de concentraties van giftige stoffen (sulfide, nitriet) in water en bodemwater.

6.1.6 Maatregelen

Uit het voorgaande blijkt dat een verhoogd bicarbonaatgehalte de belangrijkste oorzaak is van de eutrofiëring van het veensysteem. Fosfaat en stikstof worden gemobiliseerd waardoor er interne eutrofiëring optreedt. Deze concentraties kunnen vaak vele malen hoger zijn dan die in het inlaatwater (externe eutrofiëring).

Van groot belang is daarom om bij waterinlaat de waterhardheid van het inlaatwater te reduceren. Bij keuze uit meerdere bronnen moet de bron met het zachtste water gekozen worden. Wanneer er geen zacht water voorhanden is dan is het zeer wenselijk om het inlaatwater te ontharden (zie 500 $\mu\text{mol/l}$ bicarbonaat in Tabel 11). Het ontharden van hard water met behulp van zoutzuur is eenvoudig en waarschijnlijk makkelijk toepasbaar bij grootschalige ontharding van inlaatwater. Door toediening van de juiste hoeveelheden zoutzuur wordt de buffercapaciteit (alkaliniteit) verlaagd terwijl de pH gelijk blijft of slechts in geringe mate afneemt.

6.1.7 Waterzuivering met behulp van vloeï- of percolatievelden

Tegenwoordig wordt regelmatig gebruik gemaakt van vloeï- of percolatievelden bij de waterzuivering. Bij deze methode wordt vooral de belasting met organische verbindingen verminderd, maar tevens neemt de P- en N-last van het water af. De hoeveelheid anorganische koolstof daarentegen zal nauwelijks afnemen en kan zelfs toenemen door de hoge microbiële activiteit onder aerobe omstandigheden.

Of het gezuiverde water geschikt is als inlaatwater voor veengebieden hangt af van de hardheid van het water dat gezuiverd wordt. Vaak is het te zuiveren water afkomstig van de Grote Rivieren waarvan het water zeer hard is. Dit water is dan ongeschikt om als inlaatwater gebruikt te worden. Wanneer het te zuiveren water zacht is (alkaliniteit $< 1.0 \text{ meq/l}$) dan kan men overwegen dit water als inlaatbron te nemen.

6.2 WATERVERZURING

6.2.1 Gevoelige wateren

De wateren die in Nederland gevoelig zijn voor verzuring zijn de geïsoleerde, zwak gebufferde wateren op zwak gebufferde sedimenten of sedimenten zonder buffercapaciteit. Deze wateren ontvangen hun water geheel of grotendeels uit de neerslag en zijn meestal gesitueerd op de pleistocene zandgronden in het zuiden en oosten en op de kalkarme zeeafzettingen ten noorden van Bergen (N-H) (Bloemendaal en Roelofs, 1986). De gevoelige wateren zijn vennen enkele plassen en duinmeren.

6.2.2 Verzurende stoffen

De stoffen die voor verzuring van het oppervlaktewater via de neerslag verantwoordelijk zijn, zijn zwaveldioxide, stikstofdioxide, hun volgproducten en ammoniak. Ammoniak vormt met zwaveldioxide de neutrale verbinding ammoniumsulfaat. In het oppervlaktewater wordt ammonium via nitrificatie omgezet in nitraat. Bij dit proces komen zuurionen vrij die de verzuring veroorzaken. Het aandeel van ammoniumsulfaat in de verzuring kan regionaal oplopen tot zo'n 80 % (Leuven en Schuurkes, 1984).

Door de vorming van zuurionen wordt bicarbonaat omgezet in koolzuurgas. Hierdoor vermindert geleidelijk de buffercapaciteit en kan uiteindelijk geheel verdwijnen. Het koolzuurgas verdwijnt uit het water in de atmosfeer.

6.2.3 Vegetatieveranderingen

Karakteristiek voor geïsoleerde, zwak gebufferde wateren zijn planten met een zogenaamde isoëtide groeivorm (als van waterbiesvaren, Isoëtes). Het betreft soorten als waterlobelia, oeverkruid, grote biesvaren en stekelbiesvaren. Uit een in 1979/1980 gehouden onderzoek van 68 wateren, waarin rond 1950 oeverkruid één van de dominante soorten was, bleek dat in ongeveer 80 % van de wateren oeverkruid verdwenen of sterk achteruitgegaan was (Roelofs, 1983). Ook een aantal karakteristieke begeleidende soorten was voor een deel of geheel verdwenen. In de meeste gevallen bleek de oorspronkelijke vegetatie verdrongen

door knolrus en/of ondergedoken veenmos. In een aantal gevallen kwamen er in het geheel geen ondergedoken waterplanten meer voor.

De wateren waaruit het oeverkruid was verdwenen en waarin knolrus en veenmos domineerden, bleken sterk verzuurd te zijn ($\text{pH} < 4$). De stikstofgehalten van deze wateren waren hoog met ammonium als dominante stikstofbron. De fosfaatgehalten van de zure wateren waren ongeveer gelijk aan die van de systemen waarin het oeverkruid nog steeds aanwezig was. Opvallend was ook het sterk verhoogde kooldioxidegehalte in het bodemwater en in het diepere oppervlaktewater. Het kooldioxidegehalte van water in evenwicht met de atmosfeer is zeer laag ($\pm 10 \mu\text{mol/l}$).

In door ondergedoken veenmos en knolrus gedomineerde, verzuurde wateren lagen deze waarden tussen 150 en 870 $\mu\text{mol/l}$. Deze sterke oververzadiging kan alleen toegeschreven worden aan diffusie van kooldioxide uit de bodem.

Voor groeiplaatsen van knolrus en ondergedoken veenmos waren deze waarden rond 4000 $\mu\text{mol/l}$. Deze zeer hoge kooldioxidegehalten werden veroorzaakt doordat het zuur inwerkte op het carbonaatbuffersysteem in de bodem waardoor het koolzuurevenwicht in de richting van koolzuur opschuift.

Deze verhoogde kooldioxideconcentratie is waarschijnlijk een tijdelijke situatie. Na korte of langere tijd zal het bufferend vermogen van de bodem uitgeput raken en zal het gehele systeem zeer weinig anorganische koolstof meer bevatten. Het water en de bodem zijn dan verzuurd en op de bodem bevindt zich een meer of minder dik pakket van veenmos.

6.2.4 Herstel verzuurde systemen

Is het mogelijk verzuurde wateren te restaureren? Met andere woorden, zijn de biologische en de fysisch-chemische karakteristieken van een verzuurd water terug te brengen tot de oorspronkelijke situatie?

In Zweden is met succes bekalking toegepast bij verzuurde meren. De oorspronkelijke flora en fauna herstelde zich na bekalking redelijk (Hultberg en Andersson, 1982). In Nederland is deze bekalking waarschijnlijk niet zonder meer mogelijk. Op de bodem heeft een ophoping van organisch materiaal plaatsgevonden. Dit materiaal is rijk aan voedingsstoffen.

Een verhoging van de alkaliniteit van het water door bekalking zal tot gevolg hebben dat er een mobilisatie plaatsvindt van voedingsstoffen vanuit de organische bodemlaag. Hierdoor zal eutrofiëring van het water en de bodem optreden. Om de verzuurde systemen te herstellen zal allereerst de organische

laag verwijderd moeten worden. Vervolgens moet het water zwak gebufferd (alkaliniteit < 0.5 meq/l) worden. Regelmatig zal de buffercapaciteit aangevuld moeten worden omdat bij de huidige depositie van zuurvormende componenten het water binnen een jaar tijd verzuurd zal zijn.

Hoofdstuk 7

VOEDSELRIJKDOM EN PRODUCTIVITEIT

7.1 INLEIDING

De voedselrijkdom en de productiviteit van oppervlaktewateren staat reeds sinds het begin van deze eeuw in de belangstelling van vele onderzoekers.

Naumann en Thienemann verdeelden wateren in verschillende voedselrijkdomklassen die tegenwoordig nog steeds gebruikt worden. Ze maakten een indeling in oligotroof, eutroof en dystroof water. Oligotroof waren de vrijwel ongekleurde wateren, eutroof de wateren die door fytoplankton gekleurd waren en dystroof de door humuszuren gekleurde wateren. De fytoplanktonproductie bleek bepaald te worden door minimumfactoren en in veel wateren waren deze factoren stikstof en fosfaat. Sommige wateren met hoge stikstof- en fosfaatgehalten bleken echter toch oligotroof te zijn.

De reden hiervoor, zo bleek later, was dat het anorganische koolstof in de wateren niet bij de indeling betrokken was. De fotosynthese van het fytoplankton wordt namelijk in hoge mate bepaald door het aanbod van anorganische koolstof wanneer stikstof en fosfaat in voldoende mate aanwezig zijn.

Bij de indeling van oppervlakte-wateren naar voedselrijkdom moet men dus rekening houden met zowel stikstof, fosfaat als met anorganische koolstof.

In zure of zwak gebufferde wateren is het anorganische koolstofgehalte in de waterlaag de limiterende factor. Onder deze omstandigheden kunnen alleen soorten voorkomen die aangepast zijn aan de situatie. Sommige soorten kunnen door middel van een uitgebreid wortelstelsel kooldioxide uit de bodem opnemen zoals oeverkruid (*Littorella uniflora*) terwijl emergente planten en planten met drijfbladeren met de bladeren kooldioxide uit de lucht kunnen vastleggen.

In wateren, waarin de waterlaag voedselarm is maar de bodem voedselrijk, kunnen wortelende waterplanten goed groeien en een hoge productie bereiken. Zij halen met hun wortels de voedingsstoffen uit de bodem. Deze situatie doet zich onder andere voor wanneer door ijzerrijke kwelstromen het fosfaatgehalte in de waterlaag voortdurend laag gehouden wordt. Door het hoge ijzergehalte slaat fosfaat met ijzer neer op de bodem als moeilijk oplosbaar ijzerfosfaat.

Een ander probleem dat zich voordoet is dat stikstof- en fosfaatmetingen in de zomerperiode geen reëel beeld behoeven te geven van de werkelijke hoeveelheden stikstof en fosfaat in het water. Veel van het aanwezige stikstof en fosfaat kan in het fytoplankton opgeslagen liggen als biomassa omdat deze organismen zeer efficiënt de voedingsstoffen uit de waterlaag kunnen opnemen.

In deze wateren geven metingen in de winterperiode een veel beter beeld van het werkelijke voedingsstoffenaanbod in het water; er worden dan veel hogere concentraties gemeten.

7.2 EEN INDELING NAAR VOEDSELRIJKDOM

Een indeling naar voedselrijkdom is bij waterplanten veel complexer. De indeling gebaseerd op fytoplankton is niet zonder meer toepasbaar op wateren waar waterplanten domineren omdat veel waterplanten in staat zijn voedingsstoffen uit de bodem en de lucht op te nemen. De lucht is een belangrijke leverancier van kooldioxide terwijl de bodem ook stikstof en fosfaat kan leveren.

Voor een goed begrip van de voedselrijkdom van een aquatisch systeem moet het aanbod van fosfaat en stikstof uit de bodem en de waterlaag betrokken worden alsook het aanbod van anorganische koolstof in bodem, water en lucht. Ieder van deze factoren kan de sturende factor zijn voor de voedselrijkdom wanneer de andere factoren in voldoende mate (niet limiterend) beschikbaar zijn. Bijvoorbeeld in een water met een hoog stikstofgehalte kan gelijktijdig het fosfaatgehalte en/of het anorganische koolstofgehalte zeer laag zijn, waardoor het water toch oligotroof (voedselarm) is.

Wanneer de oecologische responsie van de waterplanten voor de factoren stikstof en fosfaat afzonderlijk wordt nagegaan, dan blijken veel soorten een brede range te bezitten voor beide factoren. Slechts bij de extreem lage gehalten van fosfaat en stikstof en bij zeer hoge gehalten van fosfaat zijn er duidelijk smallere ranges waarneembaar.

Om de relaties duidelijk te krijgen moeten alle factoren gelijktijdig geanalyseerd worden. In praktijk is het echter moeilijk om een indeling te maken die gebaseerd is op al deze factoren. Het is ook een probleem om de grenzen vast te stellen waarboven stoffen niet meer limiterend zijn. Het is echter wel mogelijk om een vereenvoudigde indeling te maken naar de voedselrijkdom.

Een bevredigend resultaat wordt verkregen wanneer de relatie met het fosfaatgehalte nagegaan wordt in wateren waarin stikstof hoog is en anorganische koolstof niet extreem laag (zie Tabel 12 en Tabel 13). In deze wateren is fosfaat bepalend voor de voedselrijkdom. In de tabel zijn alleen die waarnemingen van soorten betrokken waar de bedekking groter dan 5 % was. Dit is gedaan om waarnemingen met een geringe biomassa uit te sluiten omdat deze weinig informatie over de productiviteit geven.

7.2.1 Voedselarme wateren

In Tabel 12 wordt allereerst een groep waterplanten onderscheiden die zelden of nooit voorkomen in wateren waarin fosfaat meetbaar aanwezig is, het gemiddelde ligt lager dan $0.5 \mu\text{mol/l}$, het zijn soorten van oligotroof water. Alle soorten zijn wortelend, de belangrijkste fosfaatbron is de bodem van waaruit het fosfaat door de wortels wordt opgenomen.

Binnen deze groep zijn de soorten gerangschikt naar opklimmend fosfaatgehalte van de bodem. Hierin zijn drie subgroepen te onderscheiden.

De eerste subgroep bestaat uit soorten die veelal voorkomen bij zeer lage totaal fosfaatgehalten in de bodem ($< 4 \mu\text{mol/g DW}$) en die een lage produktie en een lage biomassa hebben zoals oeverkruid (*Littorella uniflora*) en gesteeld glaskroos (*Elatine hexandra*). Deze categorie is in het verleden beslist veel groter geweest, maar als gevolg van toenemende eutrofiëring verminderd. De systemen waarin deze soorten voorkomen kunnen gekenmerkt worden als weinig productieve voedselarme systemen. In deze systemen is zowel de waterlaag als de bodem oligotroof.

De tweede subgroep bestaat uit soorten van voedselarm water en een wat rijkere bodem. Het gemiddeld totaal fosfaatgehalte in de bodem variëert tussen 5 en $9 \mu\text{mol/g DW}$. De soorten die onder deze omstandigheden voorkomen vullen een groter deel van de waterkolom op en bereiken daardoor een hogere biomassa. Het zijn soorten zoals onder andere de kranswieren *Chara globularis* en *C. hispida*, pilvaren (*Pilularia globulifera*) en vlottende bies (*Scirpus fluitans*).

De derde subgroep van een voedselarme waterlaag bestaat uit soorten die voorkomen bij nog hogere totaal fosfaatgehalten van het sediment ($> 9 \mu\text{mol/g DW}$). Ze zijn in staat de gehele waterkolom op te vullen en vertonen vaak een

vertikale groeistrategie. Hierdoor zijn ze in staat om optimaal gebruik te maken van de beschikbare hoeveelheid licht. Onder zulke omstandigheden kunnen deze soorten een zeer hoge biomassa bereiken (soms boven 1000 g DW/m²). Deze systemen kunnen gekarakteriseerd worden als productief en eutroof. Het water is oligotroof maar de bodem is veel rijker aan voedingsstoffen.

Soorten die tot deze groep behoren zijn onder andere haarblad waterranonkel (*Ranunculus trichophyllus*), haaksterkroos (*Callitriche hamulata*), duizendknoopfonteinkruid (*Potamogeton polygonifolius*), brede waterpest (*Elodea canadensis*) en teer vederkruid (*Myriophyllum alterniflorum*). Deze situatie kan zich voordoen in gebieden waar door toevoer van ijzerhoudend grondwater het ijzergehalte hoog is en daardoor het fosfaatgehalte laag als gevolg van het neerslaan met ijzer.

7.2.2 Voedselrijkere wateren

In de minder voedselarme wateren (fosfaatgehalten tussen 0.6 en 2.0 µmol/l) zijn de meeste soorten wortelend en vertonen een verticale groeistrategie en hebben een hoge produktie (Tabel 13). Soorten die hiertoe behoren zijn waterviolier (*Hottonia palustris*), kransvederkruid (*Myriophyllum verticillatum*), gewone waterranonkel (*Ranunculus aquatilis*), gewoon sterrekroos (*Callitriche platycarpa*), stomphoekig sterrekroos (*Callitriche obtusangula*) en haarfonteinkruid (*Potamogeton trichoides*).

7.2.3 Eutrofe wateren

In eutrofe wateren met fosfaatgehalten in de waterlaag boven 4.0 µmol/l komen veel niet-wortelende waterplanten voor (Tabel 13). Dit zijn de pleustofyten gewoon blaasjeskruid (*Utricularia vulgaris*), gedoornd hoornblad (*Ceratophyllum demersum*) en ongedoornd hoornblad (*C. submersum*), en de drijvende soorten veelwortelig kroos (*Spirodela polyrhiza*), bultkroos (*Lemna gibba*) en grote kroosvaren (*Azolla filiculoides*). Ook komen er enkele wortelende soorten voor zoals aarvederkruid (*Myriophyllum spicatum*), schedefonteinkruid (*Potamogeton pectinatus*), zoutwaterzannichellia (*Zannichellia pedunculata*), zilte waterranonkel (*Ranunculus baudotii*) en lidsteng (*Hippurus vulgaris*).

Al deze soorten van eutrofe wateren hebben een horizontale groeistrategie. Zij vullen alleen het bovenste deel van de waterlaag op, waarschijnlijk als gevolg

van concurrentie om licht met fytoplankton en epifyten. Alleen de soorten van extreme milieus, zoals de soorten van brakke wateren, zilte waterranonkel en zoutwaterzannichellia, voldoen hier niet aan.

Omdat de soorten van eutrofe wateren alleen de bovenste waterlaag opvullen, is de biomassa-productie vaak veel lager dan in minder voedselrijke wateren.

In aquatische systemen waarbij de waterlaag voedselarm is omdat stikstof, fosfaat of anorganische koolstof limiterend is, bepaalt dus de bodemsamenstelling de soortensamenstelling en de produktie in dat systeem. Naarmate de voedselrijkdom van de bodem toeneemt verandert de soortensamenstelling en neemt de produktiviteit toe in deze systemen en gaan de soorten de waterlaag zo optimaal mogelijk opvullen; er kan uiteindelijk een zeer hoge produktie bereikt worden.

Wanneer de voedselrijkdom van de waterlaag toeneemt, omdat bijvoorbeeld het fosfaatgehalte toeneemt, dan neemt de invloed van de bodemsamenstelling af. De voedselrijkdom van de waterlaag wordt de sturende factor achter de soortensamenstelling en de produktie. Hoe hoger de voedselrijkdom van de waterlaag wordt, hoe meer er soorten verschijnen die de hoogste biomassa in het bovenste deel van de waterlaag hebben; er treedt een verschuiving op van vertikale naar horizontale groeistrategie, veroorzaakt omdat er minder licht in de waterlaag doordringt als gevolg van plankton en epifytengroei. Bij zeer hoge voedselrijkdom treden soorten op die niet in de bodem wortelen en die het wateroppervlak vrijwel volledig afdekken zoals bijvoorbeeld vegetaties gevormd door kroos.

Tabel 12: Voedselarme wateren.

Waterplanten, die alleen voorkomen in fosfaat-vrije wateren of wateren die erg arm zijn aan fosfaat ($O-PO_4$) als het mineraal-N niveau hoog is ($> 10 \mu\text{mol/l}$) en de anorganische koolstofconcentratie niet extreem laag is ($> 100 \mu\text{mol/l}$). Ze zijn gerangschikt naar toenemende totaal-P hoeveelheden in de bodem. Alleen soorten met een bedekking $> 5\%$ zijn in de tabel verwerkt.

soorten	n	mediaan- PO_4 in het water ($\mu\text{mol/l}$)	gemidd. totaal-P concentratie in de bodem ($\mu\text{mol/g DW}$)
<i>Littorella uniflora</i>	14	0.1	2.8
<i>Elatine hexandra</i>	5	0.2	4.0
<i>Echinodorus ranunculoides</i>	3	0.0	5.2
<i>Potamogeton gramineus</i>	17	0.0	5.2
<i>Potamogeton obtusifolius</i>	14	0.2	5.2
<i>Chara globularis</i>	15	0.3	5.4
<i>Chara hispida</i>	11	0.0	5.5
<i>Pilularia globulifera</i>	12	0.2	6.1
<i>Eleocharis acicularis</i>	23	0.4	6.8
<i>Utricularia minor</i>	10	0.3	7.4
<i>Scirpus fluitans</i>	19	0.0	7.6
<i>Utricularia australis</i>	11	0.2	7.7
<i>Luronium natans</i>	14	0.2	8.6
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	12	0.4	9.0
<i>Potamogeton berchtoldii</i>	6	0.0	9.1
<i>Callitriche hamulata</i>	16	0.0	9.2
<i>Sparganium minimum</i>	4	0.0	9.4
<i>Potamogeton polygonifolius</i>	22	0.0	9.7
<i>Elodea canadensis</i>	29	0.0	10.0
<i>Myriophyllum alterniflorum</i>	15	0.0	12.4
<i>Potamogeton acutifolius</i>	11	0.4	15.2
<i>Potamogeton densus</i>	17	0.3	17.0

Tabel 13: Voedselrijke wateren.

De verspreiding van waterplanten in relatie tot het mediaan fosfaat ($0-PO_4$) niveau van de waterlaag in wateren met hoge mineraal-N niveau's ($> 10 \mu\text{mol/l}$) en niet extreem lage anorganische koolstof concentraties ($> 100 \mu\text{mol/l}$).

Alleen soorten met een bedekking $> 5\%$ zijn in de tabel verwerkt.

soorten	n	mediaan- PO_4 in het water ($\mu\text{mol/l}$)	gemidd. totaal-P concentratie in de bodem ($\mu\text{mol/g DW}$)
Peplis portula	5	0.6	4.7
Hottonia palustris	28	0.6	17.7
Myriophyllum verticillatum	12	0.6	10.6
Ranunculus peltatus	18	0.7	17.9
Apium inundatum	7	0.7	4.7
Ranunculus aquatilis	25	0.9	17.6
Zannichellia palustris	16	0.9	21.5
Callitriche platycarpa	42	0.9	15.3
Callitriche obtusangula	23	1.0	16.9
Potamogeton trichoides	32	1.0	14.2
Chara vulgaris	19	1.1	12.5
Lemna minor	52	1.2	12.3
Potamogeton alpinus	13	1.7	12.3
Hydrocharis morsus-ranae	32	1.7	15.4
Potamogeton compressus	11	1.7	11.6
Elodea nuttallii	110	1.7	12.5
Nitella flexilis	9	1.8	4.1
Stratiotes aloides	49	1.8	12.4
Lemna trisulca	37	2.0	13.1
Potamogeton lucens	28	2.4	14.5
Potamogeton mucronatus	7	2.6	14.6
Potamogeton crispus	29	2.7	12.9
Potamogeton perfoliatus	18	2.9	12.6
Potamogeton pusillus	42	2.9	14.4
Utricularia vulgaris	17	4.2	16.8
Myriophyllum spicatum	33	4.2	13.3
Potamogeton pectinatus	46	4.3	13.2
Ranunculus circinatus	40	4.7	14.6
Draadwier	57	4.8	9.9
Ceratophyllum demersum	44	5.3	15.1
Spirodela polyrhiza	41	5.3	17.2
Ranunculus baudotii	10	6.6	12.5
Lemna gibba	51	11.3	16.6
Azolla filiculoides	20	15.9	11.3
Ceratophyllum submersum	15	18.6	15.9
Zannichellia pedunculata	22	26.7	14.4
Hippuris vulgaris	13	49.8	10.4

7.2.4 Effecten van hoge voedselrijkdom en kroosdekken op de waterkwaliteit

Hoge voedselrijkdom in de waterlaag kan tot gevolg hebben dat er zich een kroos-vegetatie ontwikkelt. Deze kroos-vegetaties kunnen zich in kleinere wateren geheel aaneensluiten en daarmee een dichte mat vormen aan het wateroppervlak. Dit is een situatie die een aantal negatieve effecten heeft op de waterkwaliteit.

Allereerst wordt de zuurstofvoorziening beïnvloed. Allerlei biologische afbraakprocessen in de bodem en in de waterlaag (hoge B.O.D.) hebben een verlaging van de hoeveelheid zuurstof tot gevolg. Deze geconsumeerde zuurstof wordt niet of nauwelijks aangevuld door de groene planten omdat de kroosdekken de zuurstof vrijwel volledig aan de atmosfeer afgeven. Tevens vormt de plantenmassa op het wateroppervlak een belemmering voor de diffusie van zuurstof uit de atmosfeer naar de waterlaag.

Het gevolg van deze processen is dat de zuurstofhoeveelheden in de waterlaag afnemen waardoor er zuurstofarme en zuurstofloze omstandigheden gaan optreden. Deze omstandigheden zijn bevorderlijk voor de vorming van toxische componenten zoals sulfiden, nitrieten en ammoniak hetgeen tot gevolg kan hebben dat er sterfte optreedt van dierlijke organismen.

Hoofdstuk 8

WATERPLANTEN EN SCHADELIJKE STOFFEN

In oppervlaktewateren komen van nature stoffen voor die schadelijk kunnen zijn voor waterplanten. Het schadelijk effect is meestal afhankelijk van de concentraties waarin deze stoffen voorkomen. Sommige stoffen zijn in zeer geringe concentraties reeds schadelijk zoals bijvoorbeeld toxinen terwijl andere stoffen pas in relatief hoge concentraties remmend kunnen werken zoals bijvoorbeeld natriumchloride.

Van ammoniak, dat onder natuurlijke omstandigheden voorkomt, is bekend dat het in hogere concentraties schadelijk is voor waterplanten. In water vormt het met ammonium een evenwicht dat afhankelijk is van de pH en de temperatuur. Bij een lage pH komt er zeer weinig ammoniak voor terwijl het percentage ammoniak bij pH 9.5 ongeveer 50 % bedraagt.

In Tabel 14 is het voorkomen van waterplanten voor het ammoniakgehalte weergegeven. De concentratie is berekend uit het ammoniumgehalte, de pH en de temperatuur (zie deel 2). In deze tabel worden vier groepen onderscheiden.

Indeling van de waterplanten met ondergedoken of drijvende bladeren.

1. Soorten van zeer lage ammoniakgehalten, vrijwel altijd beneden 0.1 $\mu\text{mol/l}$.
Soorten die tot deze groep behoren zijn (*Juncus bulbosus*), drijvende waterweegbree (*Luronium natans*), pilvaren (*Pilularia globulifera*), duizendknoopfonteinkruid (*Potamogeton polygonifolius*), witbloemige waterranonkel (*Ranunculus ololeucos*), veenmos (*Sphagnum species*) en klein blaasjeskruid (*Utricularia minor*).
2. Soorten van lage ammoniakgehalten, vrijwel uitsluitend beneden 1.5 $\mu\text{mol/l}$.
Tot deze vrij grote groep behoort het merendeel van de fonteinkruiden (*Potamogeton*).
3. Soorten van hogere ammoniakgehalten, regelmatig boven 1.5 $\mu\text{mol/l}$.

Hiertoe behoren onder andere grote kroosvaren (*Azolla filiculoides*), gedoornd hoornblad (*Ceratophyllum demersum*) en bultkroos (*Lemna gibba*).

4. Soorten van hoge ammoniakgehalten, vaak boven 1.5 $\mu\text{mol/l}$.
Tot deze groep behoren aarvederkruid (*Myriophyllum spicatum*), darmwier (*Enteromorpha* species), zoutwaterzannichellia (*Zannichellia pedunculata*), ongedoornd hoornblad (*Ceratophyllum submersum*) en zilte waterranonkel (*Ranunculus baudotii*).

Bij de emergente waterplanten is een soortgelijke indeling gemaakt.

1. Soorten van zeer lage ammoniakgehalten, vrijwel altijd beneden 0.1 $\mu\text{mol/l}$.
Hiertoe behoren veelstengelige waterbies (*Eleocharis multicaulis*), veenpluis (*Erophorum angustifolium*) en waternavel (*Hydrocotyle vulgaris*).
2. Soorten van lage ammoniakgehalten, vrijwel uitsluitend beneden 1.5 $\mu\text{mol/l}$.
Soorten van deze groep zijn pijlkruid (*Sagittaria sagittifolia*), mattenbies (*Scirpus lacustris*) en beide lisdodde-soorten (*Typha*).
3. Soorten van hogere ammoniakgehalten, regelmatig boven 1.5 $\mu\text{mol/l}$.
Tot deze groep behoren kleine watereppe (*Sium erectum*) en blaartrekkende boterbloem (*Ranunculus sceleratus*).
4. Soorten van hogere ammoniakgehalten, vaak boven 1.5 $\mu\text{mol/l}$.
Tot deze groep behoort de zeebies (*Scirpus maritimus*).

Een andere stof die onder natuurlijke omstandigheden voorkomt en schadelijk kan zijn is waterstofsulfide. De vorming hiervan vindt voornamelijk plaats in organische sedimenten waar micro-organismen sulfaat reduceren tot sulfide. De zwavelreductie kan sterk toenemen wanneer het bovenstaande water sterk gebufferd wordt. De sulfide-concentraties stijgen daardoor en er kan waterstofsulfide gevormd worden. Dit kan in de gasvorm overgaan en de typische "rotte eieren" lucht geven. Bij het verspreidingsonderzoek zijn geen sulfidemetingen verricht waardoor de relatie niet kon worden nagegaan.

Voorts zijn er ook waterplanten die zelf stoffen uitscheiden die remmend werken op de groei van andere soorten (allelopathische stoffen).

Naast deze van nature voorkomende stoffen zijn er ook veel verbindingen die door toedoen van de mens in het water terecht komen. Tot deze groep kan een zeer grote hoeveelheid stoffen gerekend worden waaronder detergents, herbiciden en zware metalen. De schadelijke werking van detergents berust grotendeels op de combinatie met andere schadelijke stoffen. Door de detergents wordt de doorlaatbaarheid van de celmembranen verhoogd waardoor schadelijke stoffen sneller in de cel kunnen doordringen.

Tabel 14: Ammoniakgehalten van de waterlaag ($\mu\text{mol/l}$).

n = aantal waarnemingen, gg = gewogen gemiddelde,
ind = indicatiegewicht : * = zwak , ** = matig , *** = sterk.
voor uitleg zie "Responsietabellen"

Ondergedoken waterplanten en waterplanten met drijfbladeren
n ind gg

Soorten van zeer lage
ammoniakgehalten, vrijwel
altijd beneden $0.1 \mu\text{mol/l}$

Juncus bulbosus	72	**	0.0
Luronium natans	31	**	0.0
Pilularia globulifera	10	**	0.0
Potamogeton polygonifolius	26	**	0.0
Ranunculus ololeucos	6	***	0.0
Sphagnum species	28	***	0.0
Utricularia minor	16	***	0.0

Soorten van lage ammoniak-
gehalten, vrijwel uitsluitend
beneden $1.5 \mu\text{mol/l}$

Apium inundatum	15	*	0.1
Callitriche hamulata	25	*	0.1
Callitriche platycarpa	52	*	0.1
Echinodorus ranunculoides	10	**	0.1
Echinodorus repens	8	**	0.1
Elatine hexandra	7	***	0.1
Fontinalis antipyretica	5	***	0.1
Hottonia palustris	52	*	0.1
Hypericum elodes	19	**	0.1
Littorella uniflora	17	**	0.1
Myriophyllum alterniflorum	18	*	0.1
Nuphar lutea	108	*	0.1
Nymphaea candida	19	**	0.1
Nymphoides peltata	36	*	0.1
Peplis portula	23	*	0.1
Potamogeton acutifolius	21	*	0.1
Potamogeton compressus	22	**	0.1
Potamogeton gramineus	22	*	0.1
Potamogeton lucens	35	*	0.1
Ranunculus flammula	48	*	0.1
Riccia fluitans	36	*	0.1
Scirpus fluitans	27	*	0.1
Sparganium minimum	9	**	0.1
Utricularia australis	16	***	0.1
Utricularia vulgaris	24	**	0.1
Nymphaea alba	75		0.1
Potamogeton natans	128		0.1
Ranunculus peltatus	28		0.1
Chara hispida	12	*	0.2
Eleocharis acicularis	42	*	0.2
Potamogeton densus	29	*	0.2
Myriophyllum verticillatum	19	*	0.2
Potamogeton alpinus	17	**	0.2
Potamogeton obtusifolius	24	*	0.2
Potamogeton perfoliatus	26	*	0.2
Potamogeton trichoides	58	*	0.2
Elodea canadensis	52		0.2
Hydrocharis morsus-ranae	83		0.2
Stratiotes aloides	52		0.2

Potamogeton crispus	59	*	0.3
Elodea nuttallii	155		0.3
Lemna minor	175		0.3
Spirodela polyrhiza	101		0.3
Glyceria fluitans	167		0.4

Soorten van hogere ammoniak-
gehalten, regelmatig boven

1.5 $\mu\text{mol/l}$

Callitriche obtusangula	29	*	0.4
Potamogeton berchtoldii	15	*	0.4
Chara globularis	20	*	0.5
Lemna trisulca	127		0.5
Azolla filiculoides	24	*	0.6
Ceratophyllum demersum	76	*	0.6
Nitella flexilis	12	*	0.6
Ranunculus circinatus	58		0.6
Chara vulgaris	40		0.7
Ranunculus aquatilis	37		0.7
Wolffia arrhiza	11	*	0.7
Lemna gibba	77	*	0.8
Potamogeton pectinatus	60	*	0.8
Potamogeton pusillus	75		0.8
Hippuris vulgaris	22	**	0.9

Soorten van hoge ammoniak-
gehalten, vaak boven

1.5 $\mu\text{mol/l}$

Ranunculus trichophyllus	18	*	0.9
Zannichellia palustris	24	*	0.9
Draadwier	68	*	1.1
Potamogeton mucronatus	21	*	1.3
Myriophyllum spicatum	39	*	1.4
Enteromorpha species	20	*	1.8
Zannichellia pedunculata	29	***	2.6
Ceratophyllum submersum	16	**	3.8
Ranunculus baudotii	14	***	6.2

Helofyten

	n	ind	gg
Soorten van zeer lage ammoniakgehalten, vrijwel altijd beneden 0.1 $\mu\text{mol/l}$			
<i>Cladium mariscus</i>	10	**	0.0
<i>Eleocharis multicaulis</i>	18	***	0.0
<i>Eriophorum angustifolium</i>	17	***	0.0
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	60	**	0.0
<i>Menyanthes trifoliata</i>	12	**	0.0

Soorten van lage ammoniakgehalten, vrijwel uitsluitend beneden 1.5 $\mu\text{mol/l}$

<i>Acorus calamus</i>	25	*	0.1
<i>Butomus umbellatus</i>	55	*	0.1
<i>Carex rostrata</i>	40	**	0.1
<i>Cicuta virosa</i>	25	*	0.1
<i>Equisetum fluviatile</i>	62	*	0.1
<i>Iris pseudacoris</i>	42	*	0.1
<i>Juncus effusus</i>	89	*	0.1
<i>Mentha aquatica</i>	65	*	0.1
<i>Potentilla palustris</i>	23	**	0.1
<i>Rorippa amphibia</i>	58	*	0.1
<i>Rumex hydrolapathum</i>	42	*	0.1
<i>Sagittaria sagittifolia</i>	81	*	0.1
<i>Scirpus lacustris</i>	40	*	0.1
<i>Sium latifolium</i>	9	**	0.1
<i>Sparganium emersum</i>	62	*	0.1
<i>Sparganium erectum</i>	103	*	0.1
<i>Typha angustifolia</i>	31	*	0.1
<i>Typha latifolia</i>	63	*	0.1
<i>Juncus articulatus</i>	54	*	0.2
<i>Oenanthe fistulosa</i>	26	*	0.2
<i>Phalaris arundinacea</i>	33	*	0.2
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	146		0.2
<i>Eleocharis palustris</i>	89		0.2
<i>Polygonum amphibium</i>	92		0.2
<i>Glyceria maxima</i>	145		0.3
<i>Oenanthe aquatica</i>	30		0.3
<i>Phragmites australis</i>	122		0.4

Soorten van hogere ammoniakgehalten, regelmatig boven 1.5 $\mu\text{mol/l}$

<i>Alisma lanceolatum</i>	19	*	0.4
<i>Sium erectum</i>	64	*	0.4
<i>Ranunculus sceleratus</i>	31		0.9
<i>Nasturtium microphyllum</i>	38		1.2

Soorten van hoge ammoniakgehalten, vaak boven 1.5 $\mu\text{mol/l}$

<i>Veronica catenata</i>	20	*	1.1
<i>Scirpus tabernaemontani</i>	8	**	1.9
<i>Scirpus maritimus</i>	18	**	3.6

Hoofdstuk 9

TOEPASSING

In het voorafgaande gedeelte van dit rapport zijn de correlatieve verbanden besproken tussen het voorkomen van waterplanten en fysisch-chemische factoren van water en bodem. Voor een aantal factoren staat vast dat er duidelijk oorzakelijke verbanden zijn met het voorkomen van waterplanten. Voor andere factoren moet dit nog uitgezocht worden.

De correlatieve verbanden van waterplanten met hun omgeving bieden in ieder geval de mogelijkheid voor toepassing in praktijksituaties.

Enkele praktische toepassingsmogelijkheden worden hieronder vermeld en met enkele voorbeelden verduidelijkt.

1. Het gebruik van indicatiewaarden bij het nagaan van waterkwaliteit en bodemsamenstelling.

Toelichting:

Indien bekend is welke waterplanten in een water voorkomen of in het verleden voorkwamen, dan is het mogelijk een schatting te maken van de milieu-omstandigheden waaronder deze plantengroei voorkomt respectievelijk voorkwam.

Deze toepassing biedt mogelijkheden bij meerdere problemen. Van veel wateren en waterrijke gebieden zijn floristische gegevens voorhanden, maar wanneer het gegevens over de waterkwaliteit betreft dan zijn deze gegevens vaak afwezig of zeer fragmentarisch. Over de bodem zijn vaak nog minder gegevens beschikbaar dan over het water.

De floristische gegevens kunnen zowel uit het verleden stammen of betrekking hebben op zeer recente situaties. Deze laatste gegevens zijn vaak afkomstig van inventarisaties.

Voorbeeld:

Als voorbeeld dienen gegevens van een plas bij Staphorst (niet gepubliceerd). Deze is in 1984 bemonsterd door drs. G. Arts van de afdeling Aquatische Oecologie te Nijmegen. De vegetatie in deze plas bestond onder andere uit de volgende soorten:

Juncus bulbosus	knolrus
Littorella uniflora	oeverkruid
Ranunculus flammula	egelboterbloem
Ranunculus peltatus	gewone waterranonkel

In Tabel 15 zijn de indicatiewaarden weergegeven van de soorten voor verschillende factoren. Ook de meetgegevens van de waterlaag zijn vermeld. Het water heeft een laag chloride-gehalte, is zwak-gebufferd en heeft een lage trofiegraad. De gemiddelde indicatiewaarden van de planten blijken een goede schatting te geven van de meeste factoren in de waterlaag.

Tabel 15: Floristische en chemische gegevens van plas bij Staphorst.

	Chlori- niteit	Alkali- niteit	pH	Trofie water (P04)
Junc bul	0.6	0.3	4.8	n.b.
Litt uni	1.2	0.4	5.8	0.1
Ranu fla	1.3	1.0	6.8	n.b.
Ranu pel	0.8	0.7	6.8	0.7
gemiddeld	1.0	0.6	6.1	0.4
metingen	0.3	0.5	6.9	0.0

n.b. = niet verwerkt

2. Voorspelling van veranderingen in de floristische samenstelling bij verandering van waterkwaliteit en/of bodemkwaliteit.

Toelichting:

Een tweede toepassingsmogelijkheid van de indicatiecijfers is om een uitspraak te doen over de mogelijke verandering van de soortensamenstelling wanneer de waterkwaliteit en/of de bodemkwaliteit zich wijzigt. Deze situatie doet zich bijvoorbeeld voor wanneer de hydrologische toestand in een gebied verandert. Dit is het geval wanneer waterinlaat met systeemvreemd water wordt toegepast om verzilting tegen te gaan of doorspoeling met minder voedselrijk water om zeer voedselrijk

water af te voeren. Met behulp van de responsietabellen uit deel 2 kan per factor worden nagegaan hoeveel en eventueel welke soorten in potentie bij de nieuwe waterkwaliteit en/of bodemsamenstelling voor kunnen komen.

Voorbeeld:

Het volgende voorbeeld is van hypothetische aard. In een landbouwgebied in West-Nederland, dat onder invloed staat van zoute kwel, wil men het zoutgehalte verlagen door het water in de watergangen te mengen met zoet water. Men kan kiezen uit verschillende mengverhoudingen.

In Tabel 16 is de waterkwaliteit van het oorspronkelijke en het inlaatwater weergegeven. Ook zijn de varianten met verschillende mengverhoudingen vermeld.

Bij variant 1 met een chloridegehalte van 11 mmol/l kan met behulp van de responsietabel voor chloride uit deel 2 bepaald worden hoeveel soorten bij dit gehalte potentieel voor kunnen komen. Het blijken 13 soorten te zijn. Wanneer vervolgens naar de tabellen van de andere factoren gekeken wordt dan blijkt dat deze factoren geen verdere opsplitsing van de groep van 13 potentieel voorkomende soorten kunnen maken. Het chloridegehalte is dus de factor waarop de selectie van soorten gebaseerd is. Wanneer we in Tabel 6 van deel 1 de "voorkeuren" van soorten beschouwen dan zijn er van de 13 soorten 7 soorten die een "chloride-voorkeur" bezitten en 6 met een "bicarbonaat-voorkeur". De soorten met een "chloride-voorkeur" zullen met een grotere waarschijnlijkheid kunnen voorkomen, maar ook de andere 6 soorten mogen niet uitgesloten worden.

Bij de tweede variant blijven er na selectie op chloride 23 soorten over. Bij de reeds genoemde 13 soorten zijn er nu 10 soorten bijgekomen die allen voor wat betreft watertype een "bicarbonaat-voorkeur" bezitten of indifferent zijn.

Bij de derde variant zijn er na selectie op chloride reeds 54 soorten die potentieel voor kunnen komen. Hierbij zijn echter 8 soorten die niet bij een alkaliniteit van 3.3 meq/l voorkomen zodat het potentieel aantal soorten afneemt tot 46.

Samenvattend zien we dat bij een sterkere verzoeting van het water het potentieel aantal soorten toeneemt. Een meer gedetailleerde opsplitsing van de soortengroep kan gemaakt worden door andere factoren erbij te

betrekken, zoals de voedselrijkdom, de heterogeniteit van de bodem en de waterdiepte. Ook andere factoren zijn belangrijk zoals de dynamiek van een systeem (bijvoorbeeld golfslag en waterstandswisselingen).

Bij dit voorbeeld moet duidelijk zijn dat er soorten geselecteerd kunnen worden die in potentie bij een bepaalde water- en bodemkwaliteit voor kunnen komen. Het hangt ook van andere factoren af of deze soorten er zich in werkelijkheid zullen vestigen, zoals van factoren die het succes van zaadverspreiding en vestiging bepalen en eigenschappen van de soorten zelf, zoals kieming en groeistrategie.

Tabel 16: Chemische gegevens van het voorbeeld verzoeting.

	chloride (mmol/l)	alkaliniteit (meq/l)	sulfaat (mmol/l)
oorspronkelijke water	15	5.0	2.0
inlaatwater	2.0	3.0	1.0
variant 1 (verh. 2 : 1)	11	4.3	1.6
variant 2 (verh. 1 : 2)	6.3	3.7	1.3
variant 3 (verh. 1 : 5)	4.2	3.3	1.2

3. Het geven van een mogelijke verklaring voor floristische veranderingen die in het verleden hebben plaatsgevonden.

Toelichting:

Regelmatig blijkt bij het vergelijken van historische gegevens met de huidige dat er zich bepaalde wijzigingen in de floristische samenstelling hebben voorgedaan. Op basis van de floristische samenstelling vroeger en nu kan een fysisch-chemische karakterisering gemaakt worden van de vroegere en de huidige milieu-omstandigheden. Door deze twee karakteriseringen met elkaar te vergelijken kan een mogelijke verklaring gegeven worden voor wat er veranderd is in de loop der tijd en wat hiervan de oorzaak zou kunnen zijn.

Voorbeeld 1:

Het eerste voorbeeld behandelt de vegetatie-verandering in een veengebied. Hierbij gaat het om een systeem van watergangen (wijken genaamd) in de Mariapeel in Noord-Limburg. Deze wijken zijn ontstaan tijdens de veenafgravingen in dit gebied.

Aan het eind van de jaren zestig kwam er in deze watergangen een begroeiing voor die onder andere bestond uit:

<i>Apium inundatum</i>	ondergedoken moerasscherm
<i>Sparganium minimum</i>	kleinste egelskop
<i>Glyceria fluitans</i>	mannagras
<i>Utricularia minor</i>	klein blaasjeskruid
<i>Scirpus fluitans</i>	vlottende bies
<i>Luronium natans</i>	drijvende waterweegbree

Enige jaren later bleek echter dat in een groot deel van het gebied deze vegetatie vervangen was door andere soorten, namelijk:

<i>Ceratophyllum demersum</i>	gedoornd hoornblad
<i>Myriophyllum spicatum</i>	aarvederkruid
<i>Lemna minor</i>	klein kroos
<i>Utricularia vulgaris</i>	gewoon blaasjeskruid

De vraag was wat er tijdens deze periode veranderd was en wat deze vegetatie-veranderingen teweeg gebracht kon hebben. Hiertoe moeten de oude vegetatie en de nieuwe met elkaar vergeleken worden. De gegevens van de oorspronkelijke vegetatie zijn zeer summier en chemische data ontbreken. Daarom werd voor de oude situatie in 1982 een sterk geïsoleerd deel van het gebied bemonsterd waarvan de vegetatie zoveel mogelijk met de oorspronkelijke overeenkwam. Van de nieuwe situatie waren floristische en chemische gegevens uit 1973 voorhanden. Voor beide begroeiingen zijn indicaties opgesteld voor de belangrijke chemische karakteristieken van water en bodem. Op basis van deze gegevens kon bepaald worden welke veranderingen mogelijk hebben plaatsgevonden en wat daarvan de oorzaak kon zijn.

In Tabel 17 zijn de indicatiewaarden van de soorten gegeven en de gemiddelden per begroeiing.

Duidelijk is dat veel factoren toenemen, zowel de saliniteit, de alkaliniteit, de pH, de trofiegraad van water en bodem nemen toe. Het watertype verandert van een water waarin soorten voorkomen met een "voorkeur" voor sulfaat in een type met soorten die een "voorkeur" voor bicarbonaat en chloride bezitten. De redoxpotentiaal neemt sterk af, deze gaat van positieve (oxiderend) naar negatieve (reducerend) waarden.

Tabel 17: Floristische gegevens Mariapeel.

Alleen soorten die niet in beide vegetaties voorkomen zijn opgenomen.

	Sali- niteit	Chlori- niteit	Alkali- niteit	pH	voorkeur	Trofie water (P04)	Trofie bodem (P-tot)	Redox- poten- tiaal
Oude vegetatie								
Apiu inu	4.4	0.9	0.9	6.9	---	0.7	4.7	+77
Spar min	3.3	0.6	0.8	5.8	---	0.0	9.4	+63
Junc bul	3.1	0.6	0.3	4.8	Sulfaat	n.b	n.b	+110
Utri min	2.0	0.3	0.1	4.4	Sulfaat	0.3	7.4	+85
Glyc flu	8.6	1.7	---	---	Sulfaat	n.b	n.b	---
Luro nat	3.6	1.1	0.4	5.8	Sulfaat	0.2	8.6	+76
Hott pal	6.7	1.5	1.8	7.1	---	0.6	17.7	-68
Scir flu	4.8	1.3	0.7	6.4	Sulfaat	0.0	7.6	+105
gemiddeld	4.6	1.0	0.7	5.9		0.3	9.2	+64
Nieuwe vegetatie								
Cera dem	13.8	4.0	3.4	7.8	Chloride	5.3	15.1	-199
Myri spi	17.7	5.0	3.5	8.5	Chloride	4.2	13.3	-196
Lemn min	9.6	2.5	2.5	7.5	Carbonaat	1.2	12.3	-122
Utri vul	6.9	1.7	2.5	7.5	Carbonaat	4.2	16.8	-168
gemiddeld	12.0	3.3	3.0	7.8		4.0	14.4	-171

n.b. = niet verwerkt

De toename van de saliniteit kan niet veroorzaakt zijn door processen die in het veensysteem zelf plaatsvinden omdat het water en de bodem arm aan zouten zijn. De stijging van de saliniteit duidt op inlaat van water met een hogere saliniteit. Zowel de toename van de alkaliniteit als de pH duiden op een toename van de buffercapaciteit van het water.

De toename van het fosfaatgehalte zowel in het water als in de bodem duidt erop dat het water verandert van voedselarm in voedselrijk en de bodem van matig voedselarm in voedselrijk terwijl de afname van de redoxpotentiaal erop duidt dat de beschikbaarheid van zuurstof in de bodem zeer sterk vermindert en de bodem sterk reducerend wordt.

De verandering van sulfaat-type naar chloride-bicarbonaat-type geeft aan dat sulfaat als dominant ion vervangen wordt door bicarbonaat en chloride.

Samenvattend kan gesteld worden dat het oorspronkelijke veenmilieu met een ionarme, zwakgebufferde, voedselarme waterlaag van het sulfaat-type en een matig voedselrijke bodem veranderd is in een milieu waarin zowel water als bodem voedselrijk geworden is en veranderd in een chloride-bicarbonaat-type water.

De veronderstelling is dat er in het veengebied waterinlaat heeft plaatsgevonden met ionrijker en sterker gebufferd water dan het oorspronkelijke water. Deze hoge buffercapaciteit is noodzakelijk om de hoge voedselrijkdom van de bodem te verklaren (zie hoofdstuk over relatie water en bodem).

Voor wat betreft de toename van de voedselrijkdom van de waterlaag kan er zowel uitsluitend interne eutrofiëring (vrijkomen van voedingsstoffen die reeds in het systeem aanwezig waren) hebben plaatsgevonden alsook interne en externe (invoer van voedingsstoffen van buitenaf) eutrofiëring.

Meetgegevens.

In Tabel 18 zijn gegevens van de wateranalyses vermeld voor de oude en nieuwe situatie. Deze gegevens tonen aan dat er een duidelijke verandering van de waterkwaliteit heeft plaatsgevonden welke zeer goed overeenkomt met de indicaties die door de veranderingen van de soorten is aangegeven.

De oorzaak van de waterkwaliteitsverandering is het inlaten van water dat afkomstig is uit de rivier de Maas. De watersamenstelling van dit inlaatwater is ook in de tabel weergegeven. Het inlaatwater bevat beduidend hogere hoeveelheden bufferstof en chloride. Ook het fosfaatgehalte is hoger (vijf maal) dan het oorspronkelijke veenwater, zodat er hier sprake is van externe eutrofiëring. Daarboven treedt er ook interne eutrofiëring op omdat het fosfaatgehalte in de nieuwe situatie beduidend hoger is dan in het inlaatwater.

Het sulfaatgehalte verschilt weinig met de oude situatie. De verhouding tussen sulfaat en bicarbonaat (S/C-ratio) is echter verschillend. Het inlaatwater is een chloride-bicarbonaat-type water (ratio < 1.0) terwijl het oorspronkelijke veenwater een sulfaat-type is (ratio > 1.0). Bij de twee stikstofverbindingen zijn er ook verschillen. In het oorspronkelijke veenwater is er een sterke dominantie van ammonium terwijl in het inlaatwater nitraat domineert.

Tabel 18: Chemische gegevens Mariapeel.

	sul- faat mmol/l	alkali- niteit meq/l	pH	chlo- ride mmol/l	fos- faat µmol/l	ammo- nium µmol/l	nitraat µmol/l	S/C- ratio
oude situatie	0.4	0.3	5.0	0.6	0.6	98	9	2.7
nieuwe situatie	0.6	2.6	7.3	1.9	10	48	170	0.5
inlaat- water	0.6	2.0		3.0	3.0	8	168	0.6

Voorbeeld 2:

Het tweede voorbeeld handelt over de floristische veranderingen die zich tussen 1960 en 1970 in de randmeren hebben afgespeeld, speciaal wat betreft die in het Veluwemeer. Rond 1960 bestond een groot deel (tot 120 cm diepte) uit een begroeiing met:

Myriophyllum spicatum	aarvederkruid
Kranswieren (vnl. 60 - 80 cm diepte)	
Potamogeton perfoliatus (vnl. 60 - 100 cm diepte)	doorgroeid fonteinkruid
Potamogeton pectinatus (vnl. < 80 cm diepte)	schedefonteinkruid
Potamogeton pusillus	tenger fonteinkruid
Eind zestiger jaren veranderde deze begroeiing geleidelijk aan in een begroeiing van:	

Potamogeton pectinatus	schedefonteinkruid
Potamogeton perfoliatus	doorgroeid fonteinkruid
Myriophyllum spicatum (geringe dichtheid)	aarvederkruid
Potamogeton pusillus (gemengd met P. pectinatus)	tenger fonteinkruid

Vanaf 1970 verdwenen geleidelijk alle ondergedoken waterplanten.
De indicatiewaarden op basis van de vegetatie zijn in Tabel 19 vermeld.

Tabel 19: Floristische gegevens Veluwemeer.

Floristische gegevens afkomstig van Bick & van Schaik (1980).

	salini- teit	alkali- niteit	pH	voorkeur	trofie water	trofie bodem	redox
situatie rond 1960							
Myri spi	17.7	3.5	8.5	Chloride	4.2	13.3	-196
Pota pus	11.1	3.0	8.0	---	2.9	14.4	---
Pota per	7.8	2.9	8.0	Carbonaat	2.9	12.6	-103
Pota pec	25.0	4.3	8.3	Chloride	4.3	13.2	-176
Char vul	12.1	3.0	8.1	---	1.1	12.5	-120
* Char can	indicatiewaarden niet bekend						
# Toly glo	indicatiewaarden niet bekend						
situatie rond 1969							
Myri spi	17.7	3.5	8.5	Chloride	4.2	13.3	-196
Pota per	7.8	2.9	8.0	Carbonaat	2.9	12.6	-103
Pota pec	25.0	4.3	8.3	Chloride	4.3	13.2	-176
Pota pus	11.1	3.0	8.0	---	2.9	14.4	---

* Char can : Chara canescens Desv. & Lois
Toly glo : Tolypella glomerata Leonhardi

In tegenstelling tot het vorige voorbeeld kunnen de veranderingen niet worden toegeschreven aan veranderingen van pH, zoutgehalte of watertype. De enige duidelijke veranderingen zijn het verdwijnen van de kranswieren en de afname van *Myriophyllum spicatum*. De afname van de kranswieren indiceert dat de voedselrijkdom van de waterlaag sterk is toegenomen. Hierdoor treedt er een verhoogde groei op van fytoplankton waardoor de hoeveelheid licht die tot op de bodem doordringt sterk wordt verminderd. De verhoogde voedselrijkdom is vooral toe te schrijven aan de aanvoer van voedingsstoffen door de rivier de IJssel.

De afname van *Myriophyllum spicatum* is niet terug te voeren op veranderingen van chemische factoren. Hier moet de oorzaak gezocht worden in fysische factoren zoals een verhoogde golfslag in de randzone van het meer als gevolg van een meer intensieve recreatie. Door de vertroebeling van het water beperkte de plantengroei zich reeds tot de

ondiepe randzone en hier is *Myriophyllum spicatum* niet in staat zich bij de grotere waterbeweging te handhaven.

GERAADPLEEGDE LITERATUUR.

- Alekin, O.A., 1962. Grundlagen der Wasserchemie. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. Leipzig. 260 pp.
- Allebes, W. A. en P. P. M. Thissen. 1982. Een onderzoek naar de verspreiding van aquatische macrofyten in relatie tot het abiotische milieu in laag-alkaliene wateren in zuid-oost Nederland. Doctoraalverslag no. 133, Laboratorium voor Aquatische Oecologie, K. U. Nijmegen.
- Arendt, K., 1981. Pflanzengesellschaften von Fließgewässern als Indikatoren der Gewässerverschmutzung, dargestellt am Beispiel des Uecker- und Havel-systems. Limnologica (Berlin), 13: 485-500.
- Barendrecht, A., J. T. de Smidt en M. J. Wassen. 1985. Relaties tussen milieufactoren en water- en moerasplanten in de vechtstreek en de omgeving van Groet. Interfacultaire Vakgroep Milieukunde, Rijksuniversiteit Utrecht.
- Bick, H. en A. W. J. van Schaik. 1980. "Oecologische visie randmeren". Advies van de Natuurwetenschappelijke Commissie van de Natuurbeschermingsraad. Utrecht.
- Bloemendaal, F. H. J. L. en J. G. M. Roelofs. 1986 (in voorber.). Waterkwaliteit en waterplanten.
- Bloemendaal, F. en R. Schuurkes. 1982. Een onderzoek naar de verspreiding van waterplanten in relatie tot het abiotische milieu, met name in matig- en hoog-alkaliene wateren. Doctoraalverslag no. 136, Laboratorium voor Aquatische Oecologie, K. U. Nijmegen.
- Braak, C. ter. 1983. Analyse en gebruik van responsiecurven van soorten. PAO-cursus "Numerieke methoden voor de verwerking van ecologische gegevens". IWIS-TNO, Wageningen.
- Casper, S. J. en H.-D. Krausch. 1981. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 24: Pteridophyta und Anthophyta. 2. Teil: Saururaceae bis Asteraceae. 540 pp. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart.
- Cortenraad, J. en O. Driessen. 1984. Een onderzoek naar de verspreiding van waterplanten in relatie tot het abiotische milieu, in laag-, matig- en hoog-alkaliene wateren. Doctoraalverslag no. 166, Laboratorium voor Aquatische Oecologie, K. U. Nijmegen.
- Custers, C. P. C. 1985. Onderzoek naar de verspreiding van vier in Nederland voorkomende Nymphaeiden in het bijzonder in relatie tot het abiotisch

- milieu. Doctoraalverslag no. 189, Laboratorium voor Aquatische Oecologie, K. U. Nijmegen.
- Ellenberg, H. 1979. Zeigerwerte der Gefässpflanzen Mitteleuropas. 2. Aufl. Scripta Geobot., band 9, Göttingen, 122 pp.
- Emerson, K., R. C. Russo, R. E. Lund en R. V. Thurston, 1975. Aqueous ammonia equilibrium calculations: effect of pH and temperature. J. Fish. Res. Board Can., 32: 2379 -2383.
- Galan, L. de. 1969. Analytische spectrometrie. Agon Elsevier, Amsterdam/Brussel, 208 p.
- Glänzer, U., Haber, W. and Kohler, A., 1977. Experimentelle Untersuchungen zur Belastbarkeit submerser Fließgewässer-Makrophyten. Arch. Hydrobiol., 79: 193-232.
- Golterman, H. L. 1978. Methods for physical and chemical analyses of fresh waters. I.B.P. Handbook no. 8. Blackwell Scientific Publications, 2nd ed., Oxford, 214 p.
- Haslam, S.M., Sinker, C.A. and Wolseley, P.A., 1975. British Water Plants. Field Stud., 4: 243-251.
- Hellquist, C.B., 1980. Correlation of alkalinity and the distribution of Potamogeton in New England. Rhodora, 82: 331-344.
- Hendriksen, A. 1965. An automated method for determining low level concentrations of phosphate in fresh and saline waters. The Analyst, 90: 29-34.
- Heukels, H. en R. van der Meijden. 1983. Flora van Nederland. Twintigste druk. Wolters-Noordhoff, Groningen. 583 pp.
- Higler, L. W. C. 1985. Onderwaterbodems en de betekenis ervan voor het aquatisch ecosysteem. In: Proceedings symposium "Onderwaterbodems, Rol en Lot", p. 14-25, Rotterdam.
- Horssen, H. J. M. van, en P. F. T. J. Henskens. 1983. Het effect van waterinlaat op de waterkwaliteit en voedingsstoffen huishouding in het laagveengebied de Weerribben. Doctoraalverslag no. 158, Laboratorium voor Aquatische Oecologie, K. U. Nijmegen.
- Houdijk, A. 1983. Deel A: Het effect van waterverharding op de kwaliteit van het oppervlaktewater en de groei en ontwikkeling van krabbescheer (*Stratiotes aloides* L.) in veengebieden. Doctoraalverslag no. 153, Laboratorium voor Aquatische Oecologie, K. U. Nijmegen.
- Hultberg, H. en I. B. Andersson. 1982. Liming of acidified lakes: induced long-term changes. Water, Air and Soil Pollution, 18: 311-331.

- Kadono, Y., 1982. Occurrence of aquatic macrophytes in relation to pH, alkalinity, Ca^{2+} , Cl^- and conductivity. *Jap. J. Ecol.*, 32: 39-44.
- Köck, U.V., 1981. Fliessgewässer-Makrophyten als Bioindikatoren der Wasserqualität des Flieth-Bachs (Dübener Heide). *Limnologica* (Berlin), 13: 501-510.
- Kohler, A. 1975. Submerse Makrophyten und ihre Gesellschafften als Indikatoren der Gewässerbelastung. *Beitr. natürk. Forsch. Süd.-Dtl.*, 34: 149-159.
- Krause, W. 1981. Characeen als Bioindikatoren für den Gewässerzustand. *Limnologica* (Berlin), 13: 399-418.
- Kruyne, A. A., D. M. de Vries en H. Mooij. 1967. Bijdrage tot de oecologie van de Nederlandse graslandplanten. Pudoc, Wageningen, 65 pp.
- Laar, J. A. J. van de, . 1983. De natuurevaluatie in het kader van HELP. Uitgave no. 149, Landinrichtingsdienst, Afdeling Biologisch Onderzoek, Utrecht.
- Lange, L. de. 1972. An ecological study of ditch vegetation in the Netherlands. Thesis, Amsterdam, 112 pp.
- Leuven, R. S. E. W. en J. A. A. R. Schuurkes. 1984. Effecten van zure, stikstof- en zwavelhoudende neerslag op zwak gebufferde en voedselarme wateren. Interimrapport projecten LB 130 en LB 131, K. U. Nijmegen.
- Lyon, M. J. H. de, J. G. M. Roelofs en F. H. J. L. Bloemendaal. Distribution of aquatic macrophytes in relation to relative proportions of the major ions of the water layer. In voorbereiding.
- Margadant, W. D. en H. During. 1982. Beknopte flora van de Nederlandse Bladen Levermossen. Thieme, Zutphen. 517 pp.
- Maucha, R., 1932. Hydrochemische Methoden in der Limnologie. In: Thienemann, A. (Ed.): Die Binnengewässer. Band 12. Stuttgart. 173 pp.
- O'Brien, J., 1962. Automatic analysis of chlorides in sewage wastes. *Engineering*, 33: 670-672.
- Odum, E. P., 1971. *Fundamentals of Ecology*. third edition, W.B.Saunders Company, Philadelphia, 574 p.
- Pietsch, W., 1972. Ausgewählte Beispiele für Indikatoreigenschaften höherer Wasserpflanzen. *Arch. f. Naturschutz und Landschaftsforschung*, 12, H. 2: 121-151.
- Pip, E., 1979. Survey of the ecology of submerged aquatic macrophytes in central Canada. *Aquat. Bot.*, 7: 339-357.
- Raminez-Munôz, J. 1968. Atomic-absorption spectroscopy and analysis by atomic-absorption flame photometry. Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 493 p.

- Reardon, J., J. A. Foreman en R. L. Searcy, 1966. New reactants for the Colorimetric Determination of Ammonia. *Clinica Chimica Acta* 14: 403-405.
- Roelofs, J. G. M., 1983. Impact of acidification and eutrophication on macrophyte communities in soft waters in the Netherlands. I. Field observations. *Aquat. Bot.*, 17: 139-155.
- Roelofs, J. G. M., Schuurkes, J. A. A. R., and Smits, A. J. M., 1984. Impact of acidification and eutrophication on macrophyte communities in soft waters. II. Experimental studies. *Aquat. Bot.*, 18: 389-411.
- Roelofs J. G. M., M. J. H. de Lyon en F. H. J. L. Bloemendaal. The distribution and growth strategies of aquatic macrophytes in relation to the trophic state of shallow waters in the Netherlands. In voorbereiding.
- SAS Institute Inc., 1981. SAS/GRAPH User's Guide: 1981 Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc., 126 pp.
- SAS Institute Inc., 1982. SAS/User's Guide: Statistics, 1982 Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc., 584 pp.
- Seddon, B., 1972. Aquatic macrophytes as limnological indicators. *Freshwat. Biol.*, 2: 107-130.
- Streble, H. en D. Krauter. 1974. *Das Leben im Wassertropfen*. Kosmos, Stuttgart. 361 pp.
- Stumm, W. en Morgan, J. J., 1970. *Aquatic chemistry*. Wiley-Interscience, New York, 780 pp.
- Technicon Auto Analyzer Methodology, 1966. N-20b, New York.
- Technicon Auto Analyzer Methodology, 1969. Industrial Method 33-69W, New York, 2 pp.
- Technicon Auto Analyzer Methodology, 1981. Industrial Method 635-81W, New York, 8 pp.
- Vierssen, W. van. 1982. The ecology of communities dominated by *Zannichellia* taxa in Western Europe. I. Characterization and autecology of the *Zannichellia* taxa. *Aquat. Bot.*, 12: 103-155.
- Westhoff, V., P. A. Bakker, C. G. van Leeuwen en E. E. van der Voo. 1974. *Wilde planten*. Deel 2: Het lage land. de Lange/van Leer b.v., Deventer, pp 304.
- Wiegand, G. 1978. Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen hydrochemischen Umweltfaktoren und Makrophytenvegetation in stehenden Gewässern. *Arch. Hydrobiol.*, 83: 443-484.
- Wood, R. D. en K. Imahori. 1965. A revision of the Characeae. First part: Monograph of the Characeae. Verlag von J. Cramer, Weinheim. 904 pp.