

Hydro-ecologische systeemtypen met natte schraallanden in Pleistoceen Nederland

M.H. Jalink
J. Grijpstra
A.C. Zuidhoff



landbouw, natuurbeheer
en visserij

© 2003 Expertisecentrum LNV, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

Rapport EC-LNV nr. 2003/225 O
Ede, 2003

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij het Expertisecentrum LNV onder vermelding van code 2003/225 O en het aantal exemplaren.

Oplage	350 exemplaren
Samenstelling	M.H. Jalink, J. Grijpstra, A.C. Zuidhoff (Kiwa N.V.)
Ontwerp omslag	Grafisch Atelier Wageningen
Druk omslag	Van Eck en Oosterink, Dodewaard
Druk	Ministerie van LNV, directie IFA/Bedrijfsuitgeverij
Productie	Expertisecentrum LNV Bedrijfsvoering/Vormgeving en Presentatie Bezoekadres : Horapark, Bennekomseweg 41 Postadres : Postbus 482, 6710 BL Ede Telefoon : 0318 822500 Fax : 0318 822550 E-mail : Balie@eclnv.agro.nl

Voorwoord

Natte en vochtige schraallanden omvatten een scala aan plantengemeenschappen met ieder eigen standplaatseisen. Deze standplaatseisen kunnen door meerdere combinaties van hydrologische en hydrochemische processen worden gerealiseerd. Voor het vaststellen van de juiste maatregelen voor het behoud en herstel van een bepaald schraallandtype is het daarom nodig te weten welke processen en geologische factoren op een gegeven locatie moeten worden gestuurd om het gewenste standplaatstype mogelijk maken.

Om voldoende inzicht in deze sturende processen te verwerven, is er een behoefte aan een methodiek waarmee zonder intensief, kostbaar veldonderzoek, voor een natuurgebied snel een eerste inzicht wordt verkregen welke processen hier sturend zijn en welke herstelmaatregelen hieruit kunnen worden afgeleid

In het kader van het Overlevingsplan voor Bos en Natuur is door KIWA, onder begeleiding van het Deskundigenteam Natte Schraallanden, op landschap-schaal geïnventariseerd in welk deel van een landschap, welke specifieke combinaties van factoren tot bijbehorende plantengemeenschappen leiden.

Het voorliggende rapport waarin de resultaten zijn beschreven in de vorm van hydro-ecologische systeemtypen met varianten daarbinnen, vormt de weergave hiervan.

Terreinbeheerders kunnen hiermee vaststellen met welke maatregelen standplaatseisen het meest effectief kunnen worden gerealiseerd.

Deze publicatie draagt daarmee bij aan een kosten-effectieve uitvoering van herstelmaatregelen in natte schraallanden in het kader van de regeling EGM en is opgesteld in opdracht van de directie Natuurbeheer.

Drs. R.P. van Brouwershaven
Directeur Expertisecentrum LNV

Inhoudsopgave

Samenvatting	7	
1	Systeemtypen: wat, waartoe en voor wie	9
1.1	Aanleiding	9
1.2	Hydro-ecologische systeemtypen, wat zijn het	10
1.3	Doel van dit rapport	11
1.4	Doelgroep en toepassingsmogelijkheden	12
1.5	Kader en begeleiding	12
2	Sturende processen en systeemtypen	13
2.1	Standplaatsfactoren en sturende processen	13
2.2	Hydrologische processen en grondwater-standverloop	17
2.3	Sturing van pH/basenverzadiging door bodem, hydrochemie en hydrologie	18
2.4	Sturing van de voedselrijkdom	21
3	Aanpak en presentatie	23
3.1	Aanpak onderzoek	23
3.2	Gebruikte bronnen	24
3.3	Presentatie in tekst en profielen	24
4	Hoofdindeling	29
5	Infiltratiegebieden met lokale kwel	31
5.1	Variant op vochtige, zure bodems	33
5.2	Variant op matig zure (lemige) bodems	34
5.3	Variant op vochtige, kalkhoudende/ basenrijke bodems	35
6	Afvoerloze laagten in de hogere gronden	37
6.1	Met in- of doorstroming beekwater	39

6.2	Met basenrijke lokale kwel	40
6.2.1	Door lokale geologie bepaald	40
6.2.2	Met kanaalkwel	41
7	Beekdalsystemen met lokale kwel	43
7.1	Variant met zure lokale kwel	45
7.2	Variant met licht aangerijkte lokale kwel	46
7.3	Variant met basenrijke lokale kwel door kalk in de stroombaan	47
7.4	Variant met basenrijke lokale kwel uit oppervlaktewater (kanaalkwel)	50
7.5	Variant met overstroming van slibrijk beekwater	51
7.6	Variant met sterke kwel in reliëfrijk gebied (bronnen, bronweiden)	52
7.6.1	Basenarme - matig basenrijke subvariant	52
7.6.2	Basenrijke subvariant	54
8	Beekdalsystemen met regionale kwel	55
8.1	Variant met sterke basenrijke kwel	56
8.2	Variant met zwakke basenrijke kwel	57
8.3	Variant met overstroming en sterke (middel)diepe kwel	59
9	Benedenlopen en andere overgangen naar het Holocene deel van Nederland	61
9.1	Variant met periodieke overstroming van slibrijk water (benedenlopen)	63
9.1.1	Met (sterke) regionale kwel	63
9.1.2	Hydrologisch neutraal, alleen lokale kwel aan de dalrand	64
9.2	(Kalk)rijke kleigronden	65
9.3	Zonder overstroming, met (sterke) regionale kwel (veenbodems)	66
10	Literatuur	69

Samenvatting

Systeemtypen met hun sturende processen als basis voor natuurherstel

De verschillende vegetatietypen van natte schraallanden zijn ieder gebonden aan een eigen combinatie van de standplaatsfactoren grondwaterstandsverloop, zuurgraad en voedselrijkdom. Het zelfde vegetatietype –dus met min of meer dezelfde standplaatsseisen- blijkt op verschillende plekken in het landschap onder sterk verschillende omstandigheden qua grond- en oppervlaktewaterstroming, grondwaterkwaliteit en bodemsamenstelling te kunnen voorkomen. Voor het behoud en herstel van natte schraallanden is het daarom niet alleen nodig de standplaatsseisen van plantengemeenschappen te kennen, maar ook om te weten hoe op een bepaalde locatie die gewenste toestand is ontstaan of bereikt kan worden.

De belangrijkste factoren of processen, die op landschapschaal het voorkomen van een standplaatstype bepalen zijn:

- de stroming van grond- en oppervlaktewater;
- de geomorfologie en de positie van een schraalland daarbinnen;
- de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater als resultante van de samenstelling van de doorstroomde pakketten;
- de samenstelling van de bovenste bodemlagen.

In natuurlijke landschappen bepalen deze factoren samen grondwaterstandverloop, vochtbeschikbaarheid, redoxtoestand, zuurbuffering, mineralisatie en aan- of afvoer van nutriënten en mineralen.

Via lokale ingrepen, zoals lichte ontwatering, afvoeren van zuur water of het bevoeien met beekwater bracht de mens op lokale schaal variatie in de natuurlijke patronen en ontstond het typische halfnatuurlijke landschap met kenmerkende gradiënten in plantengemeenschappen.

In de afgelopen eeuw zijn de menselijke ingrepen zo dominant geworden, dat op veel plekken de natuurlijke processen niet meer optreden of teruggedrongen zijn naar marginale plekken, zoals bijvoorbeeld kwel die alleen nog in diepe sloten optreedt of voedselarme standplaatsen, die alleen nog in kwelgebied voorkomen.

Duurzaam herstel van natte schraallanden vergt herstel van de natuurlijke watersystemen en waterkwaliteit in combinatie met een zekere mate van lokaal hydrologisch beheer en vegetatiebeheer. Het lokale beheer is pas effectief als de sturende factoren vanuit het landschap goed functioneren: dit zijn dus de knoppen waaraan allereerst gedraaid moet worden voor natuurherstel. Daarom is het van belang te kunnen herkennen wat de sturende factoren in een gebied (geweest) zijn en tot welke gradiënt in standplaatstypen en plantengemeenschappen die geleid hebben.

Overzicht van hydro-ecologische systeemtypen en varianten

Om die herkenning te vereenvoudigen hebben we in dit rapport de kennis vanuit vele tientallen locatieonderzoeken samengevat tot een stelsel van hydro-ecologische systeemtypen. Hieronder verstaan we geomorfologisch herkenbare eenheden met een eigen hydrologie:

- inzigggebieden, waar het optreden van ondiepe laterale stroming en de mate van buffering door het moedermateriaal bepalen of en welke schraallandtypen voorkomen;

- lokale afvoerloze laagten in inziggebied, waar onder bepaalde omstandigheden (instroom beekwater, basenrijke lokale kwel) schraallanden kunnen voorkomen;
- betrekkelijk smalle beekdalen met in het hele dal kwel vanuit lokale grondwatersystemen: oorsprong-, bovenloop-, en delen van middenlopen; hier zijn de mate van aanrijking van het lokale grondwater (afhankelijk van de kalkrijkdom, verweerbaarheid en rijkdom aan organische stof van het freatisch pakket), de kwelflux en het eventueel optreden van overstromingen bepalend voor welke schraallandtypen voorkomen;
- betrekkelijk smalle beekdalen met naast lokale ook regionale kwel: middenlopen en lage delen van bovenlopen; hier komt in ieder geval in het lage deel een geringe waterstandfluctuatie en basenrijk grondwater voor; de variatie in dit systeemtype wordt bepaald door de sterkte van de regionale kwel (als resultante daarvan ook de zone tot waar lokale systemen in het dal van invloed kunnen zijn) en het eventueel optreden van overstromingen met beekwater;
- brede, vlakke benedenlopen van beekdalen en vergelijkbare overgangen van het zandgebied naar Holocene gebieden; van nature is het Holocene deel van de gradiënt hydrologisch neutraal of er treedt een regionale kweldruk op; door het vlakke karakter is de ontwatering van nature matig en kunnen regenwaterlenzen een belangrijke rol spelen; meestal speelt daarnaast (vroegere) overstroming een rol en als gevolg daarvan de aanwezigheid van kleiige of kalkhoudende bodems; in geïsoleerde laagten kan deze invloed ontbreken en liggen puur venige bodems; de invloed van lokale kwelsystemen vanuit de hogere zandgronden is beperkt tot de overgang naar de lager gelegen klei- of veengronden.

De variatie binnen de systeemtypen wordt bepaald door de mate van aanrijking van het grondwater, de sterkte van kwelfluxen, de slibrijkdom of verdunning van inunderend beekwater. Deze variatie is betrekkelijk gradueel. Kenmerkende “ijkpunten” hebben we als variant van een systeemtype beschreven. Daarbij beschrijven we vegetatiegradiënten en standplaatstypen als resultante van waterstroming en waterkwaliteit, kenmerkende bodems, regio’s of landschapstypen waar een variant kan voorkomen, enkele concrete voorbeeldgebieden en tot slot specifieke bedreigingen en herstelmogelijkheden.

Toepassing voor natuurherstel

De systeemtypen en varianten vormen een “stalenset” met mogelijke combinaties van sturende factoren en bijbehorende standplaats- en vegetatiegradiënt. Zodoende kunnen ze dienen als streefbeeld met de elementen, die in een beekdal zouden moeten voorkomen. Met vegetatie en bodem of hydrologie en geochemie als ingang kunnen de mogelijke systeemtypen en varianten worden geselecteerd. Daarmee wordt richting gegeven aan verder veldonderzoek. Voor het definitief vaststellen van een systeemtype en variant op een bepaalde locatie is veelal hydrologisch en hydrochemisch onderzoek nodig.

1 Systeemtypen: wat, waartoe en voor wie

1.1 Aanleiding

Natte en vochtige schraallanden omvatten een scala aan plantengemeenschappen met ieder eigen standplaatseisen. De standplaatseisen van plantengemeenschappen zijn inmiddels in diverse publicaties beschreven [o.a. Aggenbach et al., 1998; Blokland en Kleiberg, 1997; Wamelink en Runhaar, 2001]. De wijze waarop een bepaald standplaatstype tot stand komt als resultante van hydrologische en hydrochemische processen blijkt van plek tot plek in het landschap te kunnen verschillen. Blauwgraslanden, bijvoorbeeld, worden niet alleen aangetroffen op standplaatsen, die worden gevoed door kwel uit regionale grondwatersystemen, maar ook op plekken waar kwel van basenrijk lokaal grondwater of van oppervlaktewater optreedt en op plekken waar basenarm lokaal grondwater zich mengt met basenrijk overstromingswater [Grootjans, 1985; Everts en De Vries, 1991; Jansen et al., 2000a; Jalink et al., 2001]. Voor het vaststellen van de juiste maatregelen voor het behoud en herstel van een bepaald schraallandtype is het dus nodig te weten wat de sturende hydrologische en hydrochemische processen en geologische factoren zijn die het voorkomen van het gewenste standplaatstype terplekke mogelijk maken. Bij verdroging van een standplaats die wordt gestuurd door een lokaal systeem zijn lokale maatregelen (maatregelen binnen of in de directe omgeving van het terrein) vaak afdoende voor herstel van het grondwaterregime [Jalink et al., 1994; Project-groep Goed Water Centraal, 1998; Jansen et al., 2000a; Runhaar et al., 2000]. Is voeding door een regionaal grondwatersysteem essentieel, dan zijn naast lokale maatregelen vaak ook maatregelen nodig die leiden tot het herstel van stijghoogten en kwelstromen [Jalink en Meeuwissen, 1998]. Inzicht in de sturende watersystemen is bijvoorbeeld ook nodig voor het formuleren van maatregelen om eutrofiëring of verzwaveling via het grondwater tegen te gaan [Olde Venterink, 1999; Lucassen et al., 2002; Van Beek et al., 2001].

Om voldoende inzicht in de sturende processen te verwerven, is vaak gedegen veldonderzoek nodig. Dat is kostbaar en heeft een lange doorlooptijd. Bovendien is het aantal verdroogde natuurgebieden zeer groot, het gaat om vele honderden terreinen. Daarom is er behoefte aan methoden om, zonder zeer intensief veldonderzoek, snel een eerste inzicht te krijgen in de sturende processen en mogelijke herstelmaatregelen in een natuurgebied.

In Pleistoceen Nederland zijn sinds circa 1980 vele tientallen hydro-ecologische systeemanalyses uitgevoerd van (delen van) natuurgebieden. Het gaat onder andere om onderzoek ter onderbouwing van gebiedsgerichte natuurherstelplannen, van ecologische effectvoorspellingen (o.a. winplaatsonderzoek voor de waterleidingbedrijven, milieueffectrapportage) en beleidsondersteunend onderzoek (o.a. voor het provinciaal verdrogingsbeleid). In deze veelheid aan natuurgebieden met hun specifieke lokale omstandigheden zijn vaak duidelijke overeenkomsten tussen terreinen te herkennen, die voortkomen uit sturing door vergelijkbare hydrologische en hydrochemische processen en er leiden tot de specifieke (steeds terugkerende) gradiënten in plantengroei en standplaatsfactoren [o.a. Grootjans, 1985; Everts en De Vries, 1991; Aggenbach et al., 1995a; Jalink et al., 2001; Kiwa, 2000]. Die specifieke

combinaties van factoren en het deel van het landschap waarin ze voorkomen met de bijbehorende gradiënt in bodem, standplaatsfactoren en plantengemeenschappen hebben we in dit rapport herkenbaar gemaakt door ze te beschrijven als stelsel van hydro-ecologische systeemtypen met daar binnen varianten.

Classificatie van (delen van) natuurgebieden in een aantal hydro-ecologische systeemtypen (en -varianten) maakt het mogelijk voor groepen terreinen tegelijk systeemspecifieke maatregelpakketten op te stellen [Jalink, 1994; Bot, 1996; Jalink en Meeuwissen, 1998; Jansen et al., 2000a; Runhaar et al., 2000]. Zo blijken terreinen van hetzelfde systeemtype vaak door vergelijkbare ingrepen te zijn beïnvloed, zodat onderzoek aan enkele representatieve kernen volstaat voor uitspraken over andere terreinen [o.a. Jansen en Hoogendoorn, 1993; Jalink en Meeuwissen, 1998; Grijpstra et al., 2002]. Een methode om terreinen in te delen in hydro-ecologische systeemtypen geeft water- en natuurbeheerders een instrument in handen, waarmee meer complexe situaties eenvoudig kunnen worden geanalyseerd en effectieve maatregelen kunnen worden voorbereid. De laatste jaren is ervaring opgedaan met deze aanpak [Jalink en Meeuwissen, 1998; Jalink et al., 2001; Jansen et al., 2000a; Runhaar et al., 2000; Grijpstra et al., 2002].

Het opstellen van een overzicht van systeemtypen sluit ook aan op de Onderzoeksvisie OBN, waar onderzoek op landschapsschaal prioritair wordt genoemd.

1.2 Hydro-ecologische systeemtypen, wat zijn het

Definities

Onder een **systeemtype** verstaan we in dit rapport:

- een geomorfologisch begrensbaar deel van het landschap (boven/middenloop beekdal, dalflank, lokale laagte, benedenloop e.d.);
- dat door zijn positie in het regionale hydrologische systeem een karakteristieke combinatie en gradiënt kent in voedende watersystemen (inzijging, kwel uit lokale of regionale systemen, overstroming).

Binnen een systeemtype kunnen concrete terreinen sterk verschillen wat betreft standplaatscondities als gevolg van de variatie in bodem (zand, leem, veen, klei, kalkrijk/kalkarm), grondwaterkwaliteit (basen- en nutriëntenrijkdom), de flux van de verschillende waterstromen (sterke/zwakke kwel), het al dan niet optreden van overstroming en de kwaliteit van het oppervlaktewater (basen- en nutriëntenrijkdom, slibrijkdom) en natuurlijk het terreinbeheer (ontwatering, bemesting, vegetatiebeheer). Deze verschillen zijn vaak gradueel en er zijn dan ook geen scherpe grenzen te trekken. Als ijkpunten binnen deze geleidelijke variatie onderscheiden we daarom “varianten”.

Een **variant** beschrijft de gradiënt in plantengemeenschappen, standplaatscondities en bodemtypen bij een specifieke situatie wat betreft:

- bodemmateriaal,
- kwaliteit van de voedende watersystemen,
- sterkte van kwelfluxen,
- overstromingsinvloed.

Aangezien het rapport gericht is op schraallanden, worden alleen vegetatietypen genoemd, die bij graslandbeheer voorkomen. Bij een ander beheer –bijvoorbeeld bosbeheer– zal een bepaalde variant een gradiënt in bostypen gaan vertonen, maar de invloed van de sturende hydrologische, hydrochemische en bodemkundige processen op standplaatscondities zullen in grote lijnen hetzelfde blijven. Ook de variant is dus vooral bepaald door het abiotisch deel van het systeem.

Begrenzing en genestheid van systeemtypen en varianten

De ruimtelijke omvang van een systeemtype of variant ervan wordt bepaald door dat deel van de gradiënt, waar een bepaalde combinatie van sturende factoren zich manifesteert. In een gradiënt van droge zandgrond naar een beekdal met regionale kwel of overstroming spelen verschillende sturende processen -ieder in zijn eigen zone of met overlap- een rol. Bij het benoemen van systeemtypen binnen zo'n gradiënt is een grens gelegd tussen de gradiëntdelen die door verschillende combinaties van sturende factoren worden beïnvloed. Infiltratie van regenwater en zeer lokale kwel van pas geïnfiltreerd grondwater in een droge tot natte heide op dekzandrug wordt beschouwd als apart systeem, naast het beekdal waarin een geleidelijke gradiënt optreedt van overheersen van de invloed van lokale kwel naar die van overstroming of regionale kwel. Grofweg is dit de scheiding tussen infiltratiegebied en exfiltratiegebied.

Door de variatie in omvang van (grond)watersystemen en geomorfologische eenheden verschilt de schaal van de onderscheiden systeemtypen. Systeemtypen gestuurd door zeer lokale grondwatersystemen (heidevennen, laagten op beekdalflanken) zijn per definitie gering van omvang, terwijl een systeemtype gestuurd door overstroming en kwel in de praktijk een zeer brede benedenloop kan omvatten.

Ook doordat systemen die op lokale schaal functioneren, altijd genest zijn in grotere systemen, is er een verschil in schaalgrootte. Daardoor kan enige overlap bestaan tussen systeemtypen, afhankelijk van het abstractieniveau van waaruit men het landschap beschouwt. Binnen systemen in regionale infiltratiegebieden kunnen individuele laagten als aparte (zeer lokale) systemen worden beschouwd. Binnen uitgestrekte vlakke laagveen- en kleipolderlandschappen in benedenlopen worden verschillen in standplaats voornamelijk bepaald door gradiënten binnen percelen. In dat geval zijn vooral de processen op perceelschaal kenmerkend voor het systeemtype.

Deze flexibele aanpak is gekozen vanuit pragmatische overwegingen. Voor het behoud en herstel van natuurwaarden is het nodig de meest kritische processen ter plekke van het natuurreservaat te kennen. In het beekdal zelf is het bijvoorbeeld vooral van belang dat voldoende kwel van een goede kwaliteit optreedt en dat het overstromende beekwater niet te voedselrijk wordt. Is het beekdal in agrarisch beheer en ligt er alleen nog een hooggelegen heidereservaat, dan is de kwel naar het dal in eerste instantie van minder belang en gaat het erom te weten of de natte heiden en vennen gehandhaafd worden door schijnspiegelsystemen of dat een voldoende hoge regionale grondwaterstand noodzakelijk is. Beslaat een natuurreservaat de complete gradiënt, dan moet natuurlijk aan beide voorwaarden worden voldaan en is kennis van de interactie tussen hoog- en laaggelegen delen van het terrein van groter belang.

1.3 Doel van dit rapport

Doel van dit rapport is om voor het Pleistocene deel van Nederland de hydro-ecologische systemen waarin vochtige en natte schraallanden voorkomen te beschrijven en herkenbaar te maken. Per systeemtype beschrijven we in welk type landschap het voorkomt, wat de sturende hydrologische processen zijn en tot welke gradiënten in bodem, standplaatscondities en plantengemeenschappen die kunnen leiden, afhankelijk van bodemmateriaal en waterkwaliteit. Verder wordt kort ingegaan op de bedreigingen en op kansrijke herstelmaatregelen. De verspreiding wordt verklaard vanuit de regionale hydrogeologische variatie binnen Nederland en geïllustreerd aan de hand van enkele voorbeeldterreinen.

De beschrijving van systeemtypen in dit rapport levert een methode gericht op:

- terugkerende patronen (in vegetatie of bodem) herkenbaar maken als manifestatie van een stelsel sturende processen;
- snelle herkenning van relevante (hydrologische, geohydrochemische en bodemvormende) processen op basis van een beperkte set gegevens;

- een eerste inzicht geven voorafgaand aan uitgebreid hydro-ecologisch onderzoek naar sturende processen; op basis van dat inzicht kunnen meetinspanningen worden gestroomlijnd of beperkt;
- een kwalitatieve inschatting van de effectiviteit van diverse herstelmaatregelen;
- quick scan voor de gevoeligheid van natuurgebieden voor ingrepen in de waterhuishouding;
- het scheppen van een referentiekader waarover men kan communiceren.

De geologische opbouw van een regio wordt daarbij gebruikt als "kapstok" waarbinnen de systeemtypen gelokaliseerd kunnen worden. Op deze wijze krijgt men niet alleen inzicht in waar bepaalde systeemtypen voorkomen, maar ook waarom ze daar voorkomen. Het gaat te ver de regionale geologie in dit rapport te beschrijven. Daarvoor verwijzen we naar bronnen zoals de "Landelijke Hydrologische Systeemanalyse" (diverse delen, NITG-TNO), Regionale systeemanalyses van diverse regio's (uitgaven van provincies, NITG-TNO, waterleidingbedrijven) en naar de basisgegevens in de databanken REGIS en DINO [NITG-TNO].

1.4 Doelgroep en toepassingsmogelijkheden

Het rapport is vooral bedoeld voor mensen die met het beheer en herstel van concrete terreinen bezig zijn: medewerkers van natuur beherende instanties, waterschappen, Dienst Landelijk Gebied, provincies en waterleidingbedrijven. Voor hen dient het als leidraad voor het herkennen van de belangrijkste sturende processen en voor een eerste inschatting van de effectiviteit van diverse maatregelen.

Inzicht in systeemtypen en hun plaats in het landschap kan ook worden gebruikt bij het voorbereiden van streek- en gebiedsplannen, het formuleren van natuurdoelen en het beoordelen van de haalbaarheid ervan. Inzicht in het hydro-ecologisch functioneren van terreinen kan worden toegepast voor het formuleren van gebiedsgerichte anti-verdrogingsmaatregelen en bij de optimalisatie van meetnetten [Aggenbach et al., 1996; Zuidhoff et al., 2002; Stuurman et al., 2002]. Daarnaast geeft het inzicht in de gevoeligheid van terreinen voor bepaalde ingrepen in de waterhuishouding. Water- en natuurbeheerders kunnen daardoor extra alert zijn om dergelijke ingrepen te voorkomen.

1.5 Kader en begeleiding

Het rapport is opgesteld door Kiwa Water Research in opdracht van het Expertisecentrum LNV van het ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (EC-LNV). Deze opdracht werd verleend in het kader van het Overlevingsplan Bos en Natuur (OBN). De inhoudelijke begeleiding en kwaliteitsborging is verzorgd door het OBN-Deskundigenteam Natte Schraallanden.

2 Sturende processen en systeemtypen

2.1 Standplaatsfactoren en sturende processen

De meest gebruikelijke abiotische kenmerken om de standplaats van vegetatietypen te beschrijven zijn het bodemtype, grondwaterstandverloop, de pH/basenverzadiging en de voedselrijkdom. Van de meeste plantengemeenschappen van Pleistoceen Nederland zijn deze standplaatseisen samengevat in overzichten [Aggenbach et al., 2000; Wamelink en Runhaar, 2001]. Deze factoren zijn bovendien redelijk tot goed meetbaar in het veld. Ze vormen daardoor een universele ingang voor het bepalen van potenties van natuurterreinen of het bepalen van de mate waarin een standplaats afwijkt van de gewenste situatie.

Dat wil niet zeggen dat de genoemde factoren ook de voor de plant direct werkzame factoren zijn. Via een complex van (micro)biologische, bodemchemische en bodemfysische processen bepalen ze aspecten als vochtbeschikbaarheid, zuurstofbeschikbaarheid, aanwezigheid van toxische stoffen, beschikbaarheid van macro- en micronutriënten, of onderlinge verdringing van plantensoorten. Die zijn echter veel moeilijker meetbaar en blijken binnen een standplaats van een plantengemeenschap ook sterk te kunnen variëren. Voor de praktijk van het bepalen van potenties en het plannen van beheer- en herstelmaatregelen zijn ze daardoor (vooral nog) minder toepasbaar.

Grondwaterstandverloop, pH/basenverzadiging en voedselrijkdom worden op hun beurt bepaald door de hydrologie, (grond)waterkwaliteit, textuur en chemische gesteldheid van de bodem. Deze factoren zijn gebonden aan een bepaalde plek in het landschap. Samen vormen ze het systeem dat de standplaatscondities voor de vegetatie bepaalt. Voor het vaststellen van hydro-ecologische systeemtypen en -varianten zijn dit daarom de meest relevante processen en factoren.

In de volgende paragraaf wordt kort ingegaan op de invloed van hydrologie, waterkwaliteit en bodem op de standplaatsfactoren grondwaterstandverloop, pH/basenverzadiging en voedselrijkdom. Tekstkader 1 geeft een meer theoretisch inzicht in de hiërarchie in sturende factoren, die in de hydro-ecologische systeembenadering wordt gebruikt.

Kader 1

Standplaatsfactoren

Een standplaats is een ruimtelijke eenheid, die homogeen is voor de belangrijkste standplaatsfactoren (Kemmers, 1993). Standplaatsfactoren zijn die factoren, die van invloed zijn op de kieming, groei, bloei en zaadvorming van plantensoorten. Als belangrijkste standplaatsfactoren beschouwen we hier:

- het (grond)waterstandregime (o.a. direct van invloed op de beschikbaarheid van vocht en zuurstof in de bodem, indirect van invloed op diverse andere factoren);
- de zuurgraad (en de buffering daarvan);
- de voedselrijkdom (beschikbaarheid van nutriënten voor de vegetatie).

Eveneens van invloed, maar niet specifiek als systeemkenmerk zijn:

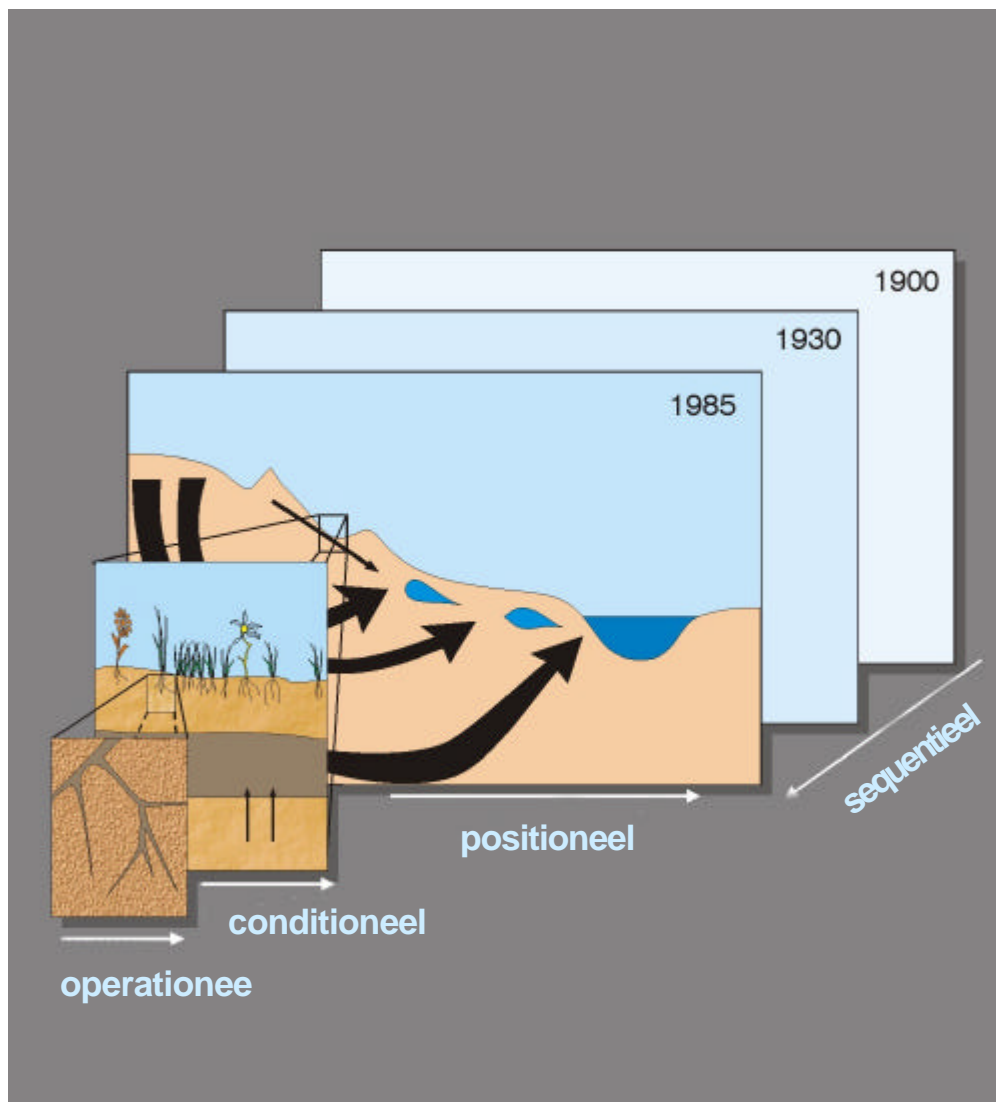
- lichtintensiteit (afhankelijk van vegetatiestructuur);
- vegetatiebeheer (maaien, begrazen, niets doen e.d.).

Sturing van standplaatsfactoren

De standplaats van een plantensoort of vegetatietype is geen geïsoleerde bloempot, maar onderdeel van zijn ruimere omgeving. In natuurlijke en halfnatuurlijke landschappen worden zuurgraad en voedselrijkdom vooral bepaald door de aan- en afvoer van stoffen via neerslag, grondwaterstromen (soms over grote afstand) of overstromingen. Ontwatering van de omgeving kan leiden tot lagere grondwaterstanden en daarmee tot het vrijkomen van voedingsstoffen door mineralisatie van organische stof in de bodem. Allerlei processen op heel verschillende schaal beïnvloeden zo de standplaats van een soort.

In klimatologisch en geologisch homogene gebieden is de hydrologie vaak de meest sturende factor voor de variatie in standplaatsfactoren en vegetatie. De hydrologie bepaalt het grondwaterstandverloop en mede door de aan- of afvoer van basen of nutriënten ook de pH en voedselrijkdom van standplaatsen. Grondwaterstroming en -kwaliteit worden bepaald door reliëf en geologische gesteldheid. Grondwaterstroming bepaalt daardoor vaak de positie van plantengemeenschappen en plantensoorten in het landschap.

Om meer orde te scheppen in de wijze waarop standplaatsfactoren worden gestuurd, wordt in de landschapsecologie onderscheid gemaakt in een viertal schaalniveaus [Van Wirdum, 1979].



Sturende factoren in het landschap [naar Den Hoed, 1985 en Van Wirdum 1979].

Kader 2

Operationele factoren

Onder operationele factoren worden standplaatsfactoren verstaan, die direct inwerken op de plant. In het wortelmilieu zijn dat de voedselrijkdom (stikstof, fosforbeschikbaarheid e.d.), de beschikbaarheid van vocht en zuurstof in de bodem, de aanwezigheid van essentiële sporenelementen of van toxische stoffen. Ook boven de grond moet de standplaats aan bepaalde voorwaarden voldoen. De plant moet voldoende licht krijgen voor de fotosynthese en de luchtvochtigheid en temperatuur moeten zodanig zijn dat de plant niet uitdroogt. Voor planten die onder water groeien, is de beschikbaarheid van koolstof in de waterlaag een belangrijke standplaatsfactor. Verder kan mechanische beschadiging, bijvoorbeeld door overstuiving, overstroming of harde wind, een rol spelen. De schaal waarop operationele factoren spelen is die van de plant en zijn directe omgeving: het doorwortelde deel van de bodem en de lucht of waterlaag waarin de plant groeit.

Conditionele factoren

Conditionele factoren werken direct of indirect sturend op de operationele factoren. Zo bepaalt de zuurgraad mede de oplosbaarheid van fosfaat en is het zuurstofgehalte in de bodem van invloed op het vrijkomen van voedingsstoffen door mineralisatie, maar ook op de vorm waarin elementen voorkomen (NH_4^+ of NO_3^- ; Fe-II of Fe-III e.d.). Het grondwaterregime beïnvloedt het zuurstofgehalte in de bodem, maar ook de basenverzadiging van het adsorptiecomplex en daarmee de zuurgraad. Bovengronds is bijvoorbeeld de vegetatiestructuur (bos, ruigte, heide e.d.) van invloed op de beschikbaarheid van licht voor kleine planten en op de luchtvochtigheid binnen de vegetatie. Zoals het voorbeeld van het zuurstofgehalte laat zien, is de scheiding tussen conditionele en operationele factoren niet altijd even duidelijk. Dit komt door de onderlinge interacties, maar ook doordat verschillende plantensoorten soms op verschillende factoren reageren. Conditionele factoren werken op een schaal van enkele vierkante meters in de omgeving van de plant.

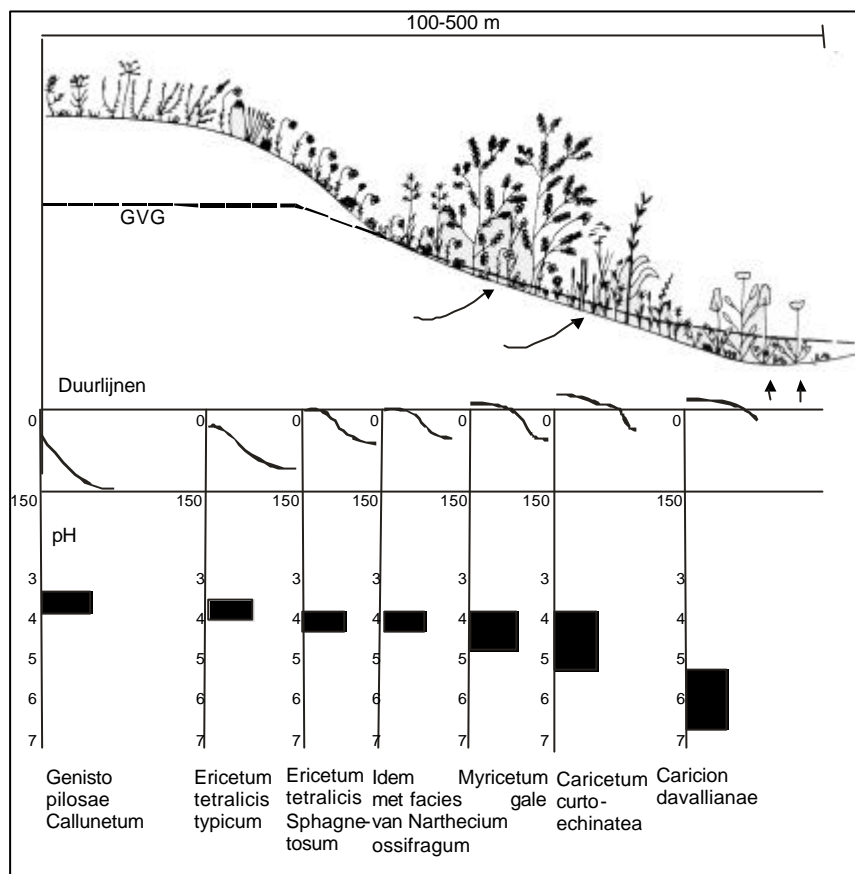
Positionele factoren

De werking van de conditionele factoren wordt op zijn beurt weer gestuurd door de werking van het landschap als systeem. De factoren die vanuit de omgeving op de standplaats inwerken worden positionele factoren genoemd, omdat ze samenhangen met de positie van de standplaats in het landschap. Toestroming van grondwater, kwel, kan alleen optreden als dit water elders is geïnfiltreerd en daar grotere stijghoogten optreden dan in het kwelgebied. Het toestromende grondwater kan alleen kalkrijk zijn als het tijdens zijn weg door de sedimenten ook kalk heeft kunnen opnemen of al kalkrijk was toen het infiltreerde (oppervlaktewater). Stofftransport via grondwaterstromingstelsels is dus een belangrijk mechanisme voor de sturing van de standplaats. Daarnaast werkt het reliëf en de aanwezigheid van ontwateringmiddelen in de omgeving sturend op het (grond)waterstandverloop. Bovengrondse positionele factoren zijn bijvoorbeeld het klimaat, aanvoer van zand en zout door de wind of zure en stikstofrijke regen. De schaal waarop deze factoren werken is variabel. Grondwaterstromingen kunnen zowel worden gestuurd op perceelschaal als hele beekdalstelsels omvatten. Invloeden via de neerslag vinden hun oorsprong vaak nog veel verder weg.

Sequentiële factoren

Hoewel vaak vergeten, speelt ook het verleden een belangrijke rol. De invloed van het verleden wordt samengevat onder de noemer sequentiële factoren. Bemesting of overstroming in het verleden kan tientallen jaren later nog doorwerken in de nutriënten- en basenhuishouding van de standplaats. Bodemvorming in het verleden heeft geleid tot de bodem die er nu ligt. Het grondwater, dat nu opkwelt is tientallen of honderden jaren geleden elders geïnfiltreerd. De omstandigheden in de toenmalige inrijgebieden (zuurgraad, infiltratie-intensiteit) zijn natuurlijk van invloed geweest op kwaliteit en hoeveelheid van het in de pakketten aanwezige water. Ook het vroegere beheer kan nog steeds van invloed zijn op de huidige vegetatie. Verder moet men hierbij niet alleen denken aan regelmatig opgetreden processen, maar ook aan incidentele gebeurtenissen, zoals overstroming tijdens een stormvloed, vergraving van de bodem of het verdwijnen van populaties door brand, extreme droogte of extreem lange inundaties.

2.2 Hydrologische processen en grondwaterstandverloop



Figuur 2 Voorbeeld van de relatie tussen hydrologische processen (inzijging, lokale of regionale kwel) en de standplaatsfactoren grondwaterstandverloop (weergegeven als duurlijnen) en zuurgraad (pH) [naar Jansen, 1991]

Het grondwaterstandverloop wordt sterk bepaald door de hydrologie van de standplaats. In inzigggebieden treedt alleen voeding door regenwater op. Door het grillige verloop van neerslag en verdamping en door de verschillen tussen droge en natte seizoenen treden snelle en grote fluctuaties in de grondwaterstand op. In natte perioden kan de grondwaterstand snel stijgen, in droge perioden diep wegzakken. Bij aanwezigheid van ondiepe slecht doorlatende lagen stagneert het water, wat leidt tot langduriger hoge standen.

Wordt de standplaats gevoed door toestromend grondwater, dan zullen de grondwaterstanden langer hoog blijven en pas wegzakken als de toestroming van kwelwater afneemt. Naarmate de voedende grondwatersystemen groter zijn, zal de grondwaterstand ook langduriger op een hoog niveau worden gebufferd en korter en minder diep wegzakken. Grofweg wordt onderscheid gemaakt in lokale grondwatersystemen en (sub)regionale grondwatersystemen. Lokale systemen doorstromen alleen het freatisch pakket. Ze worden gevoed door regenwater dat in aanliggende (dek)zandruggen infiltreert en zijdelings afstroomt. De aanwezigheid van ondiep gelegen leemlagen bevordert de zijdelingse afstroming en daarmee de invloed van lokale kwelsystemen. De stijghoogte van lokale systemen varieert sterk met het seizoen. (Sub)Regionale systemen hebben een groot voedingsgebied. Het water doorstroomt diepere pakketten en kan door de aanwezigheid van scheidende lagen een verticaal gerichte kweldruk opbouwen. De

stijghoogten zijn veel minder weersafhankelijk dan bij lokale systemen. Daardoor kan langdurig, tot zelfs jaarrond kwel optreden.

In vlakke gebieden met vast oppervlaktewaterpeil, wordt het grondwaterstandverloop bepaald door processen op perceelsniveau: neerslag en verdamping, toestroming of wegzijging van perceel naar sloot of ondergrond. Is in een gebied een watergang aanwezig met een hoger peil, dan zijn omgeving, dan kan oppervlaktewater inrijgen en in lagere delen van het gebied weer als kwel aan de oppervlakte komen. Zulke “kanaalkwel” of “peilkwel” komt voor in zandgebieden waar kanalen door waterinlaat op een vast hoog peil worden gehouden of waar wateraanvoersloten relatief hoog door het landschap geleid worden. In benedenlopen en polders kan ook peilkwel optreden op de grens van peilvakken met verschillend polderpeil. Qua schaal en doorstroomde pakketten gaat het om een lokaal grondwatersysteem. Door het vaste peil ontstaat een constante kweldruk, die het systeem meer op een (sub)regionaal kwelsysteem doet lijken.

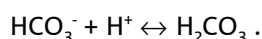
Overstroming kan leiden tot een plotselinge stijging van de(grond)waterstand, als een laagte “volloopt”. In de meeste situaties is het voorafgaand aan een overstroming al enige tijd nat weer geweest en zal de grondwaterstand al dicht aan maaiveld staan. Het opkwellende grondwater en het instromende beekwater mengen zich dan boven maaiveld.

2.3 Sturing van pH/basenverzadiging door bodem, hydrochemie en hydrologie

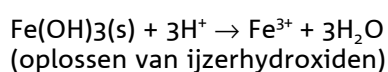
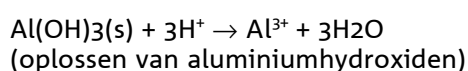
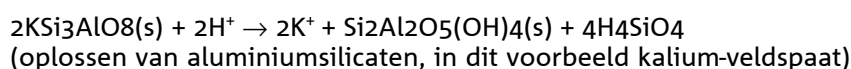
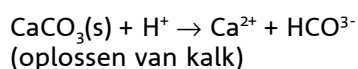
Bufferprocessen

Onder buffering van de zuurgraad verstaan we het vermogen van het grondwater of de bodem om veranderingen in pH door toevoer van zuur of basen te neutraliseren. Er treden verschillende buffermechanismen op, die afhankelijk zijn van bodemchemische gesteldheid, hydrologie en hydrochemie van de standplaats. We kunnen onderscheid maken in buffering door in het grondwater of bodemvocht aanwezig bicarbonaat (HCO_3^-), door verwerking van mineralen (kalk, veldspaten, aluminium- of ijzerhydroxiden) of door uitwisseling van H^+ -ionen tegen Ca^- , Mg^- , Na^- , of K^- -ionen die aan het kationadsorptiecomplex in de bodem gebonden zijn. Deze buffermechanismen bufferen de pH op verschillend niveau (tabel 1).

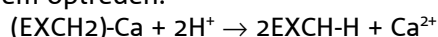
Buffering door in het grondwater of bodemvocht aanwezig bicarbonaat verloopt als volgt:



Buffering door verwerking van mineralen verloopt, in volgorde van dalende pH volgens de volgende reacties:



Bij pH-waarden beneden 6,5 kan ook kationomwisseling met het adsorptiecomplex in de bodem optreden:



Capaciteit, snelheid en pH-traject van zuurbufferprocessen in kenmerkende Nederlandse bosgronden (naar van Breemen et al; 1996)

Bufferproces Dimensie	pH-traject	buffercapaciteit kmolc/ha.cm	buffersnelheid kmolc/ha.a
Oplossen van kalk	> 6,5 à 7,0	26 per gew% kalk	zeer hoog
Waterstofcarbonaat-vrij koolzuur evenwicht in wegzijggebied	5 à 6,5	zeer klein	zeer hoog
Waterstofcarbonaat-vrij koolzuur evenwicht in kwelgebied	5,5 à 7,0	klein tot groot (afhankelijk van HCO ₃ -flux)	zeer hoog
Verwerking van silicaten	< 6,5	45 – 70	0,1 – 1
Kationomwisseling	4,0 – 6,5	1,95 per gew% organisch materi- aal	hoog
Verwerking van alumini- umhydroxiden	< 4,0	0,65 per gew% klei 5 – 45	hoog

Processen en plaats in het landschap

Het optreden van deze mechanismen op verschillende plekken in het systeem wordt hieronder kort besproken, globaal in een volgorde van hoog naar laag in het landschap.

Op plaatsen waar permanent wegzijging optreedt, wordt de pH bepaald door de verweerbaarheid van de minerale bodem. Op sterk uitgeloopte dekzandgronden ligt de pH op 4,5 of lager. Op sterk lemige of kleiige bodems kunnen wat hogere pH-waarden optreden. Zulke bodems komen voor in gebieden waar löss, keileem of lemig dekzand aan of zeer dicht onder maaiveld ligt en in op de overgangen naar lager gelegen gebieden, waar dekzanden bij incidentele overstromingen zijn bedekt met klei of beekleem. Op kalkrijke bodem (krijt, zeeklei, kalkrijke rivierklei en kalkrijke löss) kunnen neutrale of basische pH-waarden bereikt worden.

Op vochtige tot natte bodems waar (periodiek) kwel of overstroming optreedt, speelt naast de aanwezigheid van verweerbare mineralen de aanvoer van bufferstoffen via grond- of oppervlaktewater en kationomwisseling met het adsorptiecomplex.

Is de bodem kalkrijk, dan wordt de pH in het neutrale of basische bereik gebufferd. Kalkrijke bodems komen o.a. voor in het zuid-Limburgse Krijtgebied, de omgeving van Winterswijk, daarnaast op de overgangen naar zee- en rivierkleigebieden en in gebieden waar niet ontkalkte löss dagzoomt (Limburg, plaatselijk in midden en west-Brabant).

Bij regelmatige overstroming met slib- en basenrijk oppervlaktewater heeft de bodem een kationadsorptiecomplex met hoge adsorptiecapaciteit (CEC) dat periodiek wordt verzadigd met basen. Buiten de inundatieperiode ligt de pH dan in het zwak zure bereik, doordat bij hoge basenverzadiging de uitwisseling van H⁺ tegen basische kationen snel verloopt. Vervalt de periodieke aanvoer van basen via overstroming of worden de tussenliggende perioden langer, dan zal de basenverzadiging verder dalen en de kationuitwisseling minder snel verlopen. De pH wordt dan op een lager niveau gebufferd. Beneden pH 4 speelt kationomwisseling geen rol meer.

Bij aanwezigheid van bicarbonaatrijk grondwater in de wortelzone wordt de pH gebufferd in het neutrale tot zwak zure bereik. (Sub)Regionaal grondwater is veelal bicarbonaatrijk, doordat het dieper gelegen kalkhoudende lagen doorstroomd heeft en gereduceerd is. Het is daarbij ook verrijkt met kationen, zodat in perioden met kwel of capillaire opstijging het adsorptiecomplex met basen verzadigd wordt [Jansen

en Kemmers, 1995]. In perioden waarin geen kwel optreedt, wordt het aanwezige bicarbonaat opgebruikt en neemt kationomwisseling met het adsorptiecomplex de bufferende werking over.

Ook het "lokale" kwelwater afkomstig uit kanalen, wateraanvoersloten of polders met hoger peil is meestal bicarbonaatrijk- en kationenrijk en lijkt daarin op (sub)regionaal grondwater. Meestal is het ook sterk menselijk beïnvloed, wat zich bijvoorbeeld uit in verhoogde Cl-, K- en Na-gehalten.

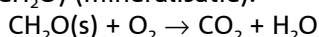
Waar het freatisch pakket op enige diepte kalkhoudend materiaal bevat komen ook lokale grondwatersystemen met bicarbonaat- en calciumrijk grondwater voor. Afhankelijk van de diepte waarop de kalk zich bevindt, kunnen zulke systemen hard tot extreem hard grondwater leveren [Van Beek, 1997]. Standplaatsen die door dit basenrijke lokale water gevoed worden, worden in het neutrale tot zwak zure bereik gebufferd. Plaatsen waar het freatisch pakket kalkrijk materiaal bevat komen o.a. voor in zuidelijk Limburg, midden en west Brabant, de Gelderse Achterhoek, Twente en Salland.

Ontbreekt kalk in de doorstroomde pakketten, dan zal de pH in lokale kwelgebieden op een lager niveau gebufferd worden. In lemige bodems zal de pH in het zwak tot matig zure bereik liggen, in uitgeloopte zandbodems tot in het zure bereik.

Buffering en redoxprocessen

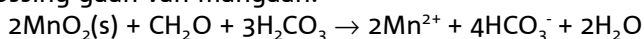
Naast buffering door in de bodem aanwezige of door het grond- of oppervlaktewater aangevoerde buffercapaciteit speelt ook de redoxtoestand van de bodem een belangrijke rol. Bij diverse reductieprocessen wordt namelijk bicarbonaat gevormd [Jalink en Van Beek, 2000]. De motor voor deze reductieprocessen is organisch materiaal in de bodem. Naarmate de redoxpotential daalt, treden achtereenvolgens de volgende reacties op.

Het verbruik van zuurstof door oxidatie van organisch materiaal (hier weergegeven als CH₂O) (mineralisatie):

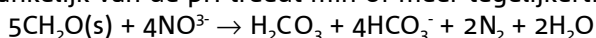


Bij hoge grondwaterstanden is de beschikbaarheid van atmosferische zuurstof als oxidator zeer beperkt. Andere oxidatoren worden dan gereduceerd.

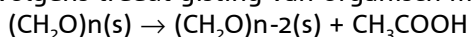
De oxidatie van organisch materiaal door zuurstof wordt gevolgd door het in oplossing gaan van mangaan:



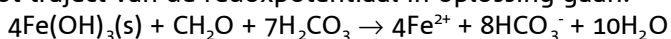
Afhankelijk van de pH treedt min of meer tegelijkertijd denitrificatie op:



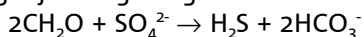
Vervolgens treedt gisting van organisch materiaal op:



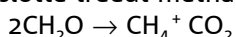
Vervolgens zal ijzer in oplossing gaan. IJzerhydroxiden komen in vele vormen in de bodem voor, die grote verschillen in stabiliteit bezitten. IJzer kan daarom over een groot traject van de redoxpotential in oplossing gaan:



Vervolgens zal sulfaatreductie optreden. Gezien de reactieproducten bij sulfaatreductie ligt de redoxpotential bij dit proces nagenoeg vast. Enige "speling" is mogelijk ten gevolge van concentratieniveaus:



Tenslotte treedt methaanproductie op:



Bij het in oplossing gaan van mangaan en ijzer wordt het zwakke zuur vrij koolzuur verbruikt en bicarbonaat gevormd. Bij denitrificatie en sulfaatreductie wordt alleen bicarbonaat gevormd.

Doordat minerale bodems en kleiige veenbodems meestal rijk zijn aan ijzerhydroxiden, vertegenwoordigt reductie van ijzerhydroxide hier een grote capaciteit aan zuurbuffering. In klei- of leemarme veenbodems is het ijzerhydroxidegehalte meestal lager, dit afhankelijk van de kwaliteit van het grondwater waarin het veen gevormd is.

In (periodiek) vernatte bodems met ijzerhydroxiden en veel organische stof wordt door reductie van Fe(III) naar Fe(II) veel bicarbonaat gevormd, wat bufferend werkt tegen verzuring [Kemmers et al., 2000; 2002]. Het Fe(II) verdwijnt via wegstromend grondwater of afstromend oppervlaktewater uit het systeem. Als geen (periodieke) aanvoer optreedt via kwel of overstroming, zal het gehalte aan ijzerhydroxiden in de bodem afnemen en kan uiteindelijk complete ontijzering optreden [Kemmers et al., 2002]. Bij reductieprocessen wordt dan geen bicarbonaat meer gevormd en de bodem zal volledig verzuren [Kemmers et al., 2002]. Aangezien ijzer ook een belangrijke rol speelt bij het vastleggen van fosfaten en sulfiden, zijn zulke ontijzerde bodems ook zeer gevoelig voor fosfaateutrofiëring en sulfide-toxiciteit [Lamers, 2001; Lucassen et al., 2002].

Ook in lokale kwelgebieden kan het water rijk zijn aan bicarbonaat als gevolg van reductie van Fe(III) onder invloed van opgelost organisch materiaal in het grondwater. Het grondwater kan oplosbaar organisch materiaal opnemen bij doorstroming van bodemlagen met een hoog gehalte aan organisch materiaal. Dit kan het geval zijn bij doorstroming van een aan organische stof rijk freatisch pakket, zoals de Nuenen Groep in Noord-Brabant [Jalink en Van Beek, 2000] of bij infiltratie door een venige toplaag, zoals op de Peelhorst [Lekahena, 1972; Van de Munckhoff, 2000]. Soms kan ook in zeer lokale systemen al gereduceerd water aanwezig zijn, bijvoorbeeld na inzijging door een venbodem. Het lokale grondwater is in dit geval anaëroob en ijzerhoudend, wat te zien is aan het voorkomen van ijzerbacterievliesjes in de lokale kwelgebieden.

2.4 Sturing van de voedselrijkdom

De beschikbaarheid aan voedingsstoffen is afhankelijk van een aantal processen:

- aanvoer, via atmosferische depositie, stikstoffixatie en (grond)wateraanvoer;
- afvoer, via denitrificatie, maaibeheer en waterafvoer;
- kringloopprocessen, zoals het ophopen of de afbraak van organisch materiaal en adsorptie/desorptie van fosfaat.

Aan- en afvoer worden –behoudens atmosferische depositie, beheerseffecten en stikstoffixatie- vooral door de hydrologie van de standplaats bepaald. Ook de kringloopprocessen worden –gegeven de bodemgesteldheid- in sterke mate bepaald door grondwaterstandverloop (redoxtoestand en vochtbeschikbaarheid) en door de pH¹. We beschouwen de voedselrijkdom in (half)natuurlijke systemen daarom als afgeleid van hydrologie en hydrochemie. Doordat de voedselrijkdom direct sterk beïnvloed kan worden door grondwaterstanddynamiek en ontwatering is ze in veel gevallen ook weinig systeemspecifiek. Bij de indeling in systeemtypen en varianten is voedselrijkdom daarom niet als criterium gebruikt.

In een aantal varianten is de voedselrijkdom wel direct gekoppeld aan de herkomst van het toestromende grond- of oppervlaktewater:

¹ In sommige gevallen kunnen reacties waarbij nutriënten betrokken zijn, zelf van invloed zijn op pH-buffering, zoals oxidatie van organisch materiaal door zuurstof, waarbij het zwak zuur H₂CO₃ wordt gevormd of nitrificatie van ammonium, waarbij H⁺ wordt gevormd.

- Overstroming met slibrijk beekwater zal leiden tot bezinking en daardoor aanvoer van fosfaatrijk en stikstofrijk materiaal. Treedt alleen inundatie met grondwater op, dan zal hooguit wat verspoelde humus worden aangevoerd.
- Lokale kwel vanuit kanalen zal meestal leiden tot een verhoogde flux aan K, PO₄ en NH₄. Door het anaërobe karakter van de kanaalbodem zal NO₃ van minder invloed zijn. Tijdens de bodempassage kunnen door sorptie- en redoxprocessen de gehalten van deze nutriënten sterk veranderen. Over het algemeen komen basenrijke, mesotrofe tot eutrofe standplaatsen tot ontwikkeling.
- Lokale kwel vanuit dekzandgronden zal van nature een zeer geringe aanvoer van nutriënten leveren. Bij agrarisch gebruik van de inzigtgebieden kunnen met name K-, NO₃- en NH₄-fluxen sterk toenemen.

3 Aanpak en presentatie

3.1 Aanpak onderzoek

Voor het opstellen van een overzicht van systeemtypen is het nodig de informatie over processen en kenmerken uit individuele natuurterreinen te aggregeren naar een hoger abstractieniveau. Het gaat erom de overeenkomsten tussen terreinen naar voren te halen en te vertalen naar een algemeen kenmerk. Verschillen die voortkomen uit bijvoorbeeld beheer of toevalligheden in de geschiedenis van een terrein moeten juist naar de achtergrond verdwijnen.

Het aggregeren van individuele terreinen tot systeemtypen is een proces dat bij Kiwa (en anderen) geleidelijk aan heeft plaatsgevonden, tijdens het zelf uitvoeren van systeemanalyses en bij het lezen van terreinbeschrijvingen van anderen. In de periode 1994-2000 hebben we voor enkele regionale hydrologische scenario studies in Utrecht, Gelderland, Flevoland en een deel van Noord-Holland indelingen in vooral hydrologisch gedefinieerde systeemtypen opgesteld [Jalink en Meeuwissen, 1998; Grijpstra et al., 2002; Kiwa, 2000]. Voor de bepaling van het gewenste grond- en oppervlaktewaterregime in natuurgebieden in de provincie Limburg stelden we een overzicht van kenmerkende gradiënttypen en hun verspreiding op [Aggenbach et al., 1995]. In 1999 en 2000 ontstond een overzicht van de meeste hydro-ecologische systeemtypen (met uitzondering van slikken en uiterwaarden) in de provincie Noord-Brabant [Jalink et al., 2001]. In dat overzicht staat het verklaren van de gradiënt in plantengemeenschappen en standplaatstypen vanuit een stelsel sturende hydrologische, hydrochemische en bodemkundige factoren centraal. De systeemtypen zijn er gevisualiseerd als gradiënt in sturende processen en als afgeleide daarvan plantengemeenschappen, bodem- en standplaatstypen. Min of meer tegelijkertijd stelden we een strikt op blauwgrasland gericht overzicht van systeemtypen op [Jansen et al., 2000]. Aangezien dat overzicht gericht was op één type -natte, basenrijke en voedselarme- standplaats, waren alleen de verschillen in hydrologie terplekke van het blauwgrasland relevant. Dit maakte het mogelijk de informatie in de systeemdoorsneden te beperken tot hydrologische kenmerken.

Het voorliggend overzicht is gericht op de plantengemeenschappen (zie hoofdstuk 4) van vochtige en natte schraallanden en bestrijkt daarmee een brede range aan standplaatstypen, variërend van zuur tot basisch, van voedselarm tot (matig) voedselrijk en van (periodiek) vochtig tot (permanent) nat. Het beperkt zich tot Pleistocene delen van Nederland en de overgangen naar Holocene delen. Omdat binnen een terrein verschillende graslandtypen een eigen positie innemen, hebben we de gradiënt daarin gevisualiseerd als resultante van sturende processen. In eerste instantie is een aantal typen (ca. 25) op het huidige variant-niveau onderscheiden en beschreven. De verschillen tussen deze varianten blijken deels gradueel (b.v. sterke versus zwakke kwel, basenarm tot basenrijk).

Bij het indelen wordt gezocht naar een hiërarchie. Daarbij zijn de dominantieverhoudingen van abiotische factoren en processen als voornaamste criterium gebruikt. In grote lijnen is de volgorde daarin geologie/geomorfologie – hydrologie – hydrochemie – bodem [Bakker et al., 1981]. Vanuit deze insteek was het mogelijk vooral hydrochemisch of bodemkundig onderscheiden varianten samen te voegen onder geomorfologisch/hydrologisch bepaalde systeemtypen.

3.2 Gebruikte bronnen

De indeling in hydrologische systeemtypen en varianten volgt de systeembenadering van Toth [1963]. Bij het uitvoeren van de systeemanalyses is naast hydrologische methoden veel gebruik gemaakt van hydrochemische analysetechnieken zoals faciesanalyse [Stuyfzand, 1993] en tracers om de herkomst van watertypen te onderzoeken [Jalink en van Beek, 2000]. Verder werd veel gebruik gemaakt van kennis van de indicatiewaarden van plantensoorten en vegetatietypen [o.a. Aggenbach et al, 2000; Jalink en Jansen, 1995; Jalink 1996; Aggenbach et al, 1998a,b] en van kennis over de genese van bodemtypen [Bakker en De Schelling, 1976].

Bij de indeling is gebruik gemaakt van inzichten uit bestaande overzichten met indelingen in beekdaltypen, gradiënttypen of andere systeemindelingen [Grootjans, 1985; Everts et al., 1991; Jalink, 1994; Bot, 1996; Jansen en Schipper, 1997; Jansen et al., 2000; Kiwa, 2000; Aggenbach et al., 1997; 1998; Jalink en Meeuwissen, 1998; Jalink et al., 2001). De basis voor het overzicht van varianten en systeemtypen wordt gevormd door een groot aantal zelf uitgevoerde of in de literatuur beschreven lokale systeemanalyses. In de literatuurlijst is zeker wat betreft terreinbeschrijvingen een beperkte selectie opgenomen. Een volledig overzicht van deze bronnen zou te omvangrijk worden voor dit rapport.

3.3 Presentatie in tekst en profielen

Opzet doorsneden en tekst

Per systeemtype is een profiel gepresenteerd, waarin reliëf en de positie van sturende waterstromen zijn aangegeven. Door middel van een lijn voor de gemiddeld hoogste grondwaterstand (ghg) en een lijn voor de gemiddeld laagste grondwaterstand (glg) wordt een beeld gegeven van waar natte en droge delen liggen, of het water aan of boven maaiveld komt en of er binnen een gradiënt grote verschillen in waterstandfluctuatie zijn. Deze ghg- en glg-lijnen kunnen niet in absolute grondwaterstanden worden vertaald, daarvoor zijn de verschillen binnen een systeemtype (b.v. door verschillen in bodemopbouw, kwelflux en ontwateringstoestand) immers te groot. De gewenste grondwatersituatie kan op variant-niveau worden afgeleid uit de standplaatsseisen van de erin aan te treffen plantengemeenschappen.

Met pijlen is de stroming van grond- of oppervlaktewater aangegeven. Verder zijn watertypen aangegeven middels een code (zie legenda) en voor specifieke verwijzing vanuit de tekst zijn posities in het grondwatersysteem soms aangeduid met de letters a t/m f, die dan in de doorsneden zijn aangegeven.

In de tekst wordt een korte beschrijving gegeven van het landschap, de sturende processen, kenmerken, bedreigingen en herstelmogelijkheden. Bij de sturende processen en kenmerken wordt ook de variatie daarin binnen het systeemtype genoemd.

Die variatie is gevisualiseerd in profielen van de varianten. Deze geven een beeld van de gradiënt in vegetatietypen in relatie tot de dominantie en kwaliteit van de verschillende waterstromen en de bodem. In de tekst wordt de vegetatie beschreven in relatie tot verschillen in standplaatsfactoren. Verder wordt ingegaan op de specifieke processen en bodemtypen en worden verspreiding (regionaal) en enkele voorbeeldterreinen genoemd. Tenslotte worden de voor deze variant specifieke bedreigingen en herstelmogelijkheden aangegeven. Meer algemeen voor het gehele systeemtype geldende kenmerken zijn daar al beschreven, dit om terugkerende informatie te beperken.

Grootteorde kwelflux en waterstandregime

Onder sterke kwel verstaan we een situatie, waarbij het gehele jaar door kwel naar het freatisch vlak kan optreden en waar in de winter kwel naar maaiveld kan

optreden. In de literatuur worden hieraan voor de flux naar het freatisch pakket waarden in de grootteorde van 1 tot 2 mm/dag of meer gekoppeld. In de figuren wordt het onderscheid globaal gemaakt door gestippelde pijlen (alleen periodiek kwel mogelijk), doorgetrokken pijlen (permanent kwel mogelijk) en worden verschillen in flux door de dikte van de pijlen aangegeven.

Bij de beschrijvingen van standplaatscondities is voor het grondwaterstandregime gebruik gemaakt de indeling, die door Staatsbosbeheer en Kiwa wordt gehanteerd in het Indicatorenproject.

Klasse	waterstandregime
diep water	permanent water, water dieper dan 50 cm
ondiep water	permanent water, 10-50 cm diep
zeer nat	gemiddelde waterstand in 0 tot 10 cm boven maaiveld, waterstand voor een deel van de periode onder maaiveld
nat	gemiddelde waterstand 0 tot 20 cm onder maaiveld
matig nat	gemiddelde waterstand 20 tot 40 cm onder maaiveld
vochtig	gemiddelde waterstand 40 tot 60 cm onder maaiveld
iets vochtig	gemiddelde waterstand 60 tot 80 cm onder maaiveld
droog	gemiddelde waterstand 80 tot 120 cm onder maaiveld
zeer droog	gemiddelde waterstand dieper dan 120 cm onder maaiveld

Basenrijkdom

De basenrijkdom van grond- en oppervlaktewater kan worden weergegeven in termen van hardheid, alkaliteit en pH.

Hardheid van het grond- of oppervlaktewater: concentratie $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ in mmol/l

Alkaliteit van het grond- of oppervlaktewater: concentratie $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ in meq/l (meestal gelijk aan meq HCO_3^- /l)

In navolging van Stuyfzand (1993) kunnen voor de hardheid en alkaliteit de volgende klassen gehanteerd worden:

hardheid:	(Ca+Mg in mmol/l)
-1 zeer zacht	0 - 0,5 zeer basenarm
0 zacht	0,5- 1 basenarm
1 matig hard	1 - 2 matig basenrijk
2 hard	2 - 4 basenrijk
3 zeer hard	4 - 8 zeer basenrijk
4 extreem hard	8 - 16 zeer basenrijk, kalkhoudend

alkaliteit	(voornamelijk HCO_3^- en CO_3^{2-} in meq/l)
-1 zeer laag	0 - 0,5
0 laag	0,5- 1
1 matig laag	1 - 2
2 middelmatig	2 - 4
3 matig hoog	4 - 8
4 hoog	8 - 16

Zuurgraad van het grondwater en oppervlaktewater: pH

Bij de indeling van standplaatstypen wat betreft zuurgraad en basenrijkdom is gebruik gemaakt van onderstaande indeling, die o.a. wordt gehanteerd door Staatsbosbeheer en Kiwa in het indicatorenproject. De klassen betreffen de pH van het grondwater of oppervlaktewater, dan wel de pH (H_2O) van de bodem.

pH	
zuur	< 4.5
matig zuur	4.5 - 5.5
zwak zuur	5.5 - 6.5
neutraal	6.5 - 7.5
basisch	> 7.5

Voedselrijkdom

De terminologie rond trofie is gekoppeld aan jaarlijkse biomassa-productie. Bij de indeling in trofieklassen is aangesloten bij de indeling volgens Koerselman en Meuleman [1996], die ook in het voorspellingsmodel NICHE [Meuleman et al., 1996] is gebruikt. In deze indeling is de biomassa-productie uitgedrukt in termen van bovengrondse "peak standing crop", ofwel de jaarlijks maximaal bovengronds aanwezige biomassa. De toekenning van trofieklassen is gebaseerd op deskundigen-oordeel en getoetst aan de beperkte set beschikbare metingen.


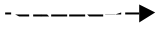




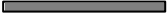


Trofieklassen [naar Koerselman en Meuleman, 1996]

	productie biomassa in korte vegetaties	
	g/m²	ton/ha
oligotroof	< 100	< 1
oligomesotroof	100-250	1.0-2.5
mesotroof	250-450	2.5-4.5
zwak eutroof	450-750	4.5-7.5
matig eutroof	750-1100	7.5-11.0
eutroof	1100-1500	11.0-15.0
zeer eutroof	> 1500	> 15.0

Legenda bij de doorsneden

- N: neerslagwater
- L: lokaal grondwater
 - Lz: zuur, nauwelijks aangerijkt
 - Lm: licht aangerijkt
 - Lb: basenrijk
 - Lo: door oppervlaktewater gevoed
- R: regionaal grondwater
- Rk: in kalkrijke deklaag sterk aangerijkt regionaal grondwater of perceelwater (kwaliteit kan sterk overeenkomen)
- O: oppervlaktewater
- Om: mengwater met regen- of grondwater
- L/R: overgang tussen watertypen, b.v. bij een pendelende grens
- (L): watertype kan voorkomen

Legenda doorsneden systeemtypen en -varianten

	Stroming (vrijwel) permanent
	Stroming periodiek
	Stroming binnen deklaag
	Stroming in een van de varianten
	Veenbodem
	Beekloop
	Kenmerkende zone (plantensoorten en -gemeenschappen, bodemtypen)
	Kan voorkomen (plantensoorten en -gemeenschappen, bodemtypen)
	Mate van invloed diverse watertypen

4 Hoofdindeling

Bij de omgrenzing van het begrip vochtige en natte schraallanden zijn we uitgegaan van de volgende groepen van plantengemeenschappen:

- Klasse der Kleine zeggen;
- Verbond van Scherpe zegge;
- Verbond van Stijve zegge;
- Biezenknoppen-Pijpestrootjesverbond;
- Dotterbloemverbond;
- Verbond van Grote vossenstaart;
- Verbond van Frans raaigras;
- Kamgrasverbond;
- Borstelgrasverbond;
- Moerasspiraea-verbond.

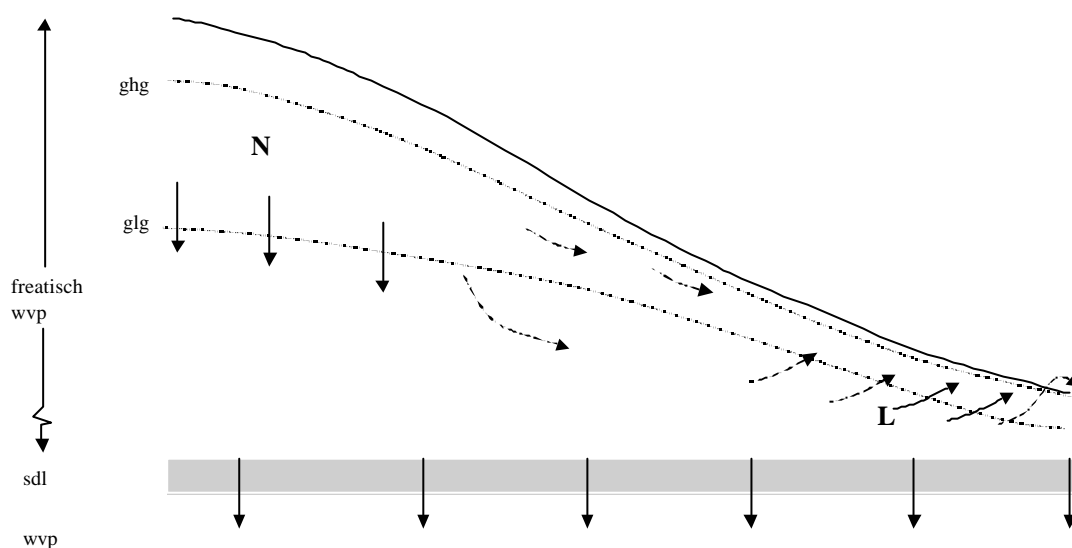
Hieronder geven we een opsomming van de onderscheiden systeemtypen (vet) en daarbinnen varianten, waarin één of meer van deze plantengemeenschappen kunnen voorkomen. De systeemtypen en genoemde varianten worden in de hierna volgende hoofdstukken behandeld.

- **Infiltratiegebieden met lokale kwel** (regenwatervoeding, hooguit zeer lokale kwel in natte perioden uit direct aanliggende ruggen):
 - vochtige, zure bodems,
 - vochtige, matig zure (lemige) bodems,
 - vochtige, kalkhoudende/basenrijke bodems.
- **Afvoerloze laagten** (periodiek watervoerend) in oorspronggebied of op beekdalflanken:
 - met in- of doorstroming van beekwater,
 - met basenrijke lokale kwel,
 - door lokale geologie bepaald,
 - door kanaalkwel.
- **(Smalle) Beekdalen in zandlandschap met lokale kwel** (boven- en middenlopen):
 - zure lokale kwel,
 - licht aangerijkte lokale kwel (lemige zand- en leemgronden),
 - overstroming met slibrijk beekwater,
 - basenrijke lokale kwel,
 - met kalk in topsysteem,
 - met kanaalkwel,
 - sterke kwel in reliëfrijk gebied (stuwwallen, heuvelland).
- **Beekdalen in zandlandschap met bovenlokale/regionale kwel** (artesisch water) ((boven) middenlopen):
 - sterke, basenrijke kwel,
 - zwakke, basenrijke kwel,
 - overstroming met slibrijk beekwater.

- **Brede, vlakke beekdalen op overgangen naar Holoceen (benedenlopen) en overgangen Pleistoceen-Holoceen zonder duidelijk beekdal**
 - met periodieke overstrooming van slibrijk water (benedenlopen),
 - met (sterke) bovenlokale/regionale kwel,
 - alleen stagnatie en wat lokale kwel,
 - overgangen naar (kalk)rijke kleigronden,
 - met (sterke) bovenlokale/regionale kwel (veenbodems).

5 Infiltratiegebieden met lokale kwel

Infiltratiegebieden met lokale kwel



Landschap

- Lagere delen van dekzand- en stuifzandruggen die liggen aan de oorsprong van beekdalen (slenken en stroeten) of die tussen beekdalen in liggen.
- Lagere delen van oude rivierduincomplexen.
- Hellingen met lössbodems.

Processen

- Het hele gebied wordt gevoed door regenwater, wegzijging van regenwater naar de (diepere) ondergrond overheerst.
- De grondwaterspiegel komt plaatselijk een deel van het jaar binnen het bereik van de wortelzone (zandgronden) en/of de bodem heeft een goed vochtleverend vermogen (leemgronden).
- Per saldo overheerst uitspoeling van nutriënten en basen. Hierdoor ontstaan op zure zandbodems (zeer) zwak gebufferde, zure, oligotrofe tot oligomesotrofe bodems. Op lemige of kalkhoudende bodems wordt de zuurgraad op enige diepte gebufferd door vertering van de leem of kalk.
- Bij geringe doorlatendheid van de bovengrond (leem, fijn zand) of bij aanwezigheid van minder doorlatende lagen nabij maaiveld zal in natte perioden een deel van het regenwater stagneren op maaiveld of daarover afstromen.
- Door opbolling van het grondwatervlak ontstaat laterale grondwaterstroming. Laterale stroming wordt bevorderd door ondiep gelegen slecht doorlatende

lagen, zoals leemlagen, oerlagen en overstoven veenlagen; alleen in de laagste delen van dit systeemtype en in lokale laagten treedt in natte perioden lokale kwel naar maaiveld op.

- Het lateraal afstromend lokaal grondwater is in sommige gebieden door contact met lemige of kalkhoudende lagen min of meer aangerijkt en zorgt dan in de vochtige delen voor een hogere basenrijkdom.

Ingebed binnen dit systeemtype kunnen afvoerloze laagten voorkomen (zie hoofdstuk 6).

Kenmerken

Hydrologie

- De freatische standen zijn hoger dan de stijghoogten in het onderliggende watervoerend pakket.
- Van nature komt de grondwaterspiegel in het lage deel van de gradiënt tenminste een deel van het jaar tot in de wortelzone, in de natste delen ook tot vlak onder of op maaiveld.
- Grondwaterstanden zakken in droge perioden relatief snel weg.

Hydrochemie

- Het grondwater is meestal aëroob (O_2 , eventueel ook NO_3^- of SO_4 -houdend).
- Het grondwater is nauwelijks aangerijkt (op uitgeloopte zandbodems), licht aangerijkt (op lemige bodems) tot kalkhoudend (op kalkhoudende bodems) (*zie varianten*).
- Vaak relatief hoge gehalten aan Cl ($>15\text{mg/l}$), maar in uitgestrekte heide/schraallandgebieden ook wel $<10\text{ mg/l}$.

Bodemtypen

- Veldpodzolgronden, vlakvaaggronden.
- Gooreerdgronden (in slenken met lokale kwel en grondwaterstanden aan of op maaiveld).
- Leemgronden.

Plantensoorten/plantengemeenschappen

- Natte heide, Heischraal grasland, vochtig Glanshaverhooiland, vochtige Kamgrasweide, Veldrusassociatie.

Bedreigingen

Verdroging

- Gebieden vaak drooggelegd met enkele diepe sloten (dus zeer lokaal).
- Ontwatering in lage delen beïnvloedt ook de hogere delen.
- Toename van de verdamping door aanplant van naaldbos, waardoor de grondwaterstand in het voorjaar sneller daalt en in de zomer dieper wegzakt.
- Grondwaterwinning of het verlagen van de regionale drainagebasis kan leiden tot het dieper wegzakken van met name zomergrondwaterstanden.

Verzuring

- Als gevolg van atmosferische depositie verdwijnen op zwak gebufferde zandgronden soorten van matig zure omstandigheden (Klokjesgentiaan, Gevlekte orchis).

Eutrofiëring

- Door stikstofdepositie treedt vergrassing op.

Herstelmogelijkheden

Herstel van de opbolling van het grondwatervlak en als gevolg daarvan periodiek hoge grondwaterstanden en laterale grondwaterstroming door:

- In hoge delen (ruggen) dempen van diepe sloten.

Voorkomen: gebieden met een sterk lemige bovengrond of dunne zandlaag (enkele decimeters) op leem (keileem, löss).

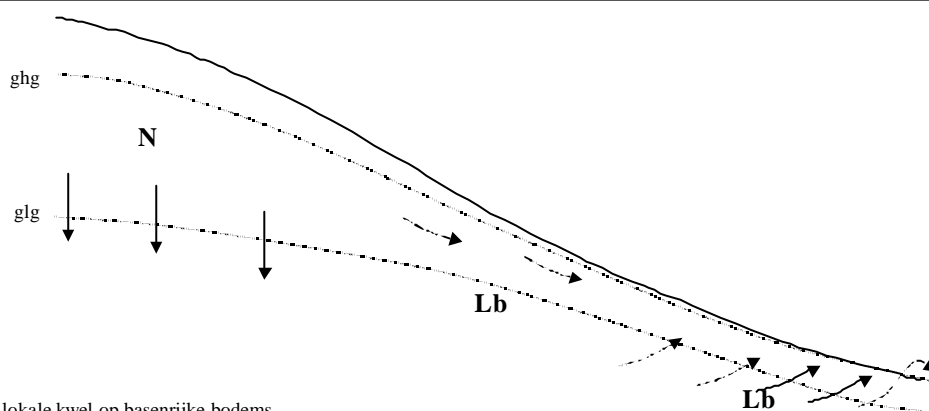
Voorbeelden: vliegveld Havelterberg, heischrale graslanden op ondiepe keileem bij de Barten (Frl), Brunssumse Heide.

Specifieke bedreigingen: de van nature zwakke buffering en het lage trofieniveau maken dit systeem zeer gevoelig voor verzuring (irreversibele uitloging) en eutrofiëring als gevolg van atmosferische depositie.

Specifieke herstelmaatregelen: plaggen van de verzuurde bovenste bodemlaag is op lemige bodems een kansrijke maatregel; lichte bekalking in het inzigggebied kan leiden tot herstel van de toevoer van aangerijkt water naar de lagere delen.

5.3 Variant op vochtige, kalkhoudende/ basenrijke bodems

Glanshaverhooiland/ Kamgrasweide droog	██████████
Heischraal grasland	██████████
Glanshaverhooiland of Kamgrasweide vochtig	██████████
Veldrus-associatie	██████████
Grote vossenstaart	██████████
Knolsteenbreek	██████████
Regenwater	██████████
Lokale kwel	██████████
Leem- en vochtig-natte podzolgronden	██████████
Gooreerd- of beekerdgronden	██████████



Inzigggebieden met lokale kwel op basenrijke bodems

Vegetatiegradiënt: In het lage deel van de gradiënt komen basenminnende, vochtige Glanshaverhooilanden, Natte Kamgrasweiden, Veldrusschraallanden en eventueel Blauwgrasland voor, met soorten als Knolsteenbreek en Grote keverorchis. De basenrijke gradiënt loopt door tot in aangrenzende beekdalen, zodat de overgang vrij geleidelijk kan zijn. Is de bodem boven op de ruggen ook basenrijk, dan komen daar (matig) droge Glanshaverhooilanden of Kamgrasweiden voor. Plantensoorten als Trilgras, Beemdkroon en Kleine pimpernel geven uitdrukking aan de basenrijke standplaatscondities. Wanneer de leem schuilgaat onder een dunne laag dekzand of als de bovenste bodemlaag uitgelopen is, komen heischrale graslanden (Associatie van Klokjesgentiaan en Borstelgras) of heidegemeenschappen bovenop de rug voor.

Processen: buffering van de zuurgraad door verwerking van kalk of lemig materiaal, waardoor ter plekke gevallen regenwater verandert in min of meer basenrijk of zelfs kalkverzadigd (lokaal) grondwater.

Standplaats: zwak zuur tot basisch, zwak eutroof tot eutroof.

Bodem: leemgronden (*Ln en pLn*), vaak ook gekarteerd als veldpodzolgronden (*Hn*) en gooreerdgronden (*pZg*) en op zeer vochtige, kalkhoudende lemige ondergrond ook bekeerddgronden (*pZg*).

Grondwaterkwaliteit: zwak zuur (lemige bodems) tot neutraal (kalkrijke bodems) (pH 5,5-7,5), matig hard tot zeer hard.

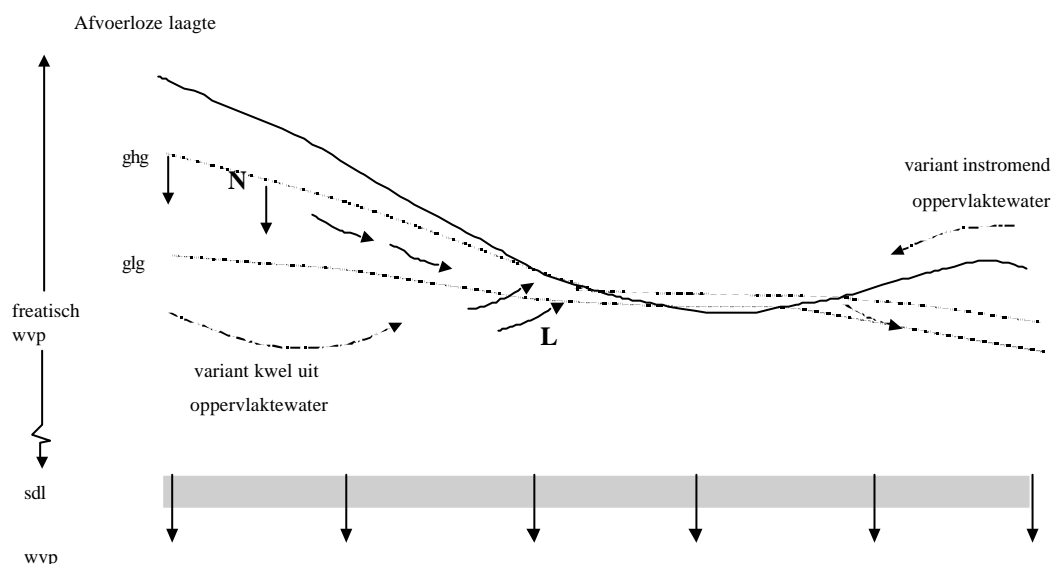
Voorkomen: heuvelland met lössdek, dekzandgebieden met hooguit een dunne dekzandlaag op basenrijk of kalkhoudend, lemig materiaal.

Voorbeelden: Savelsbos, Elsenerbos, flanken Geul-, Gulp- en Jekerdal (Limburg en aangrenzend België), Willinks Weust (Gelderland), als bos op hoge delen van Ruweeuwsels, Mortelen, Wijboschbroek, Ulvenhoutse Voorbos, Liesbos (Brabant).

Specifieke bedreigingen: uitloging van de bovengrond treedt van nature geleidelijk op, maar kan versneld zijn door zure regen of door langdurige verdroging (lagere delen); de snelheid waarmee uitloging optreedt is sterk afhankelijk van de wegzijging; op meters dikke leemlagen in de omgeving van Lieshout (NBr) zijn diverse locaties aanwezig, waar ook op hogere gronden de in de laatste ijstijd afgezette kalkrijke lagen in de wortelzone niet diep ontkalkt zijn.

Specifieke herstelmaatregelen: hydrologisch herstel via dempen van diepe ontwatering is vrij goed mogelijk vanwege de slecht doorlatende ondergrond, maar of dit ook leidt tot herstel van de basenrijkdom is afhankelijk van de mate (diepte) van uitloging.

6 Afvoerloze laagten in de hogere gronden



Op tal van plaatsen komen relatief hoog in het landschap afvoerloze laagten voor met een schraallandvegetatie, soms tot zelfs nabij de waterscheiding, en daardoor buiten het bereik van wat grotere lokale of (sub)regionale kwelsystemen. Ze onderscheiden zich van vennen, die deels in dezelfde zone liggen, maar vaak ook hoger in het landschap, door hogere basenrijkdom en een vegetatie van Kleine zeggenmoeras of Blauwgrasland. De laagste delen kunnen permanent water blijven voeren, maar in veel gevallen valt de laagte ook langdurig droog en kunnen de grondwaterstanden diep wegzakken.

Landschap

- Laagten in het lage deel van de hogere zandgronden, vaak achter een “drempel” (lage dekzandrug of oude opgehoogde zandweg) en zonder beek.
- Vaak zijn in deze laagten later wel beken of andere afvoeren gegraven, waardoor het geïsoleerde, afvoerloze karakter verloren is gegaan; ze zijn dan onderdeel van een bovenloop geworden.

Processen

- Hydrologisch gezien zijn het inzijsgebieden, dus overheerst inzijing naar de ondergrond.
- Doordat ze onder aan hogere gronden liggen, treedt tijdens inundaties aan de randen van het watervlak lokale kwel vanuit omliggende ruggen op.
- Deze laagten danken hun basenrijkdom aan zeer lokale processen (zie varianten): instroom van beekwater of basenrijke lokale kwel door een specifieke geologie of door kwel vanuit oppervlaktewater (kanaalkwel).

Kenmerken

Hydrologie

- De grondwaterstanden zijn (het grootste deel van het jaar) lager dan de stijghoogten in het onderliggende watervoerend pakket.
- De grondwaterstanden kunnen (voor basenminnende gemeenschappen) relatief diep wegzakken (ca. 1,2 m-mv).
- In natte perioden loopt de laagte onder; hooguit bij zeer hoge standen stroomt het water oppervlakkig af, maar het meeste verdampt of zijgt uiteindelijk in.
- Het voedende lokale systeem heeft periodiek hogere stijghoogten dan de laagte:
 - hoogste beekstanden overstijgen het niveau van de drempel;
 - opbolling van het freatisch vlak in aanliggende dekzandgronden perst wat dieper in de bodem stromend water omhoog of levert door aanrijking in basenrijke lagen basenrijk lokaal grondwater;
 - er is een kanaal met (vrijwel permanent) hoog peil aanwezig.

Hydrochemie

- Het ondiepe grondwater in de laagte of een deel daarvan is beduidend rijker aan basen, dan dat in de aangrenzende wat hoger gelegen vochtige gronden.
- Vanuit de laagte inzijgend water zorgt ervoor dat benedenstreams van de laagte ook basenrijk water of mengwater in het freatisch pakket voorkomt.
- Varianten met basenrijke lokale kwel zijn herkenbaar aan hogere Ca- en HCO_3^- -gehalten, vooral aan de randen van de laagte, maar vaak ook onder de hogere gronden.

Bodemtypen

- Relatief hoog in het landschap gelegen moerige gronden, beekerdgronden of veengronden die naar het beekdal toe weer overgaan in podzol- of gooreerdgronden.
- Veldpodzolgronden.
- Gooreerdgronden.

Plantensoorten en plantengemeenschappen

Afhankelijk van de basen- en voedselrijkdom van het voedende water:

- Knobbiesverbond en Blauwgrasland (basenrijk, voedselarm lokaal grondwater, kanaalkwel of beekwater).
- Stijve zegge-ass. , Rietland en eutrafente waterplanten (instroom voedselrijk beekwater).

Bedreigingen

- afname van de lokale kwel tijdens inundaties:
 - door drooglegging van de laagte of
 - door verminderde opbolling in de aanliggende hogere gronden als gevolg van lokale ontwatering, bebossing, beekpeilverlaging of grondwaterwinning;
- stoppen van de inlaat of instroming van oppervlaktewater; er treedt dan geleidelijk verzuring op;
- verzuring en verdroging door het wegvangen van de kanaalkwel (b.v. door diepe ontwatering rond de laagte);
- uitloging van het zandpakket waarin de laagten liggen.

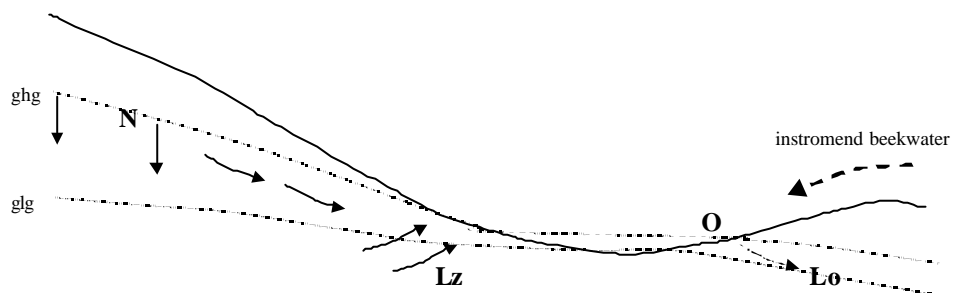
Herstelmaatregelen

- herstel instroom schoon beekwater;
- herstel kanaalkwel door tegengaan drainage in/rond het terrein;
- herstel oppersing basenrijk lokaal water door herstel opbolling grondwatervlak in dekzandruggen en herstel inundatie in de laagte (mits nog basenrijk water in de ondiepe ondergrond voorkomt).

Hydrologisch herstel is eenvoudiger bij ondiep gelegen slecht doorlatende lagen en verloopt dan snel. Naarmate zandpakketten dikker zijn zullen maatregelen in een wijdere omgeving nodig zijn.

6.1 Met in- of doorstroming beekwater

Dopheide-ass. veenmosrijk	██████████				
Blauwgrasland	██████████				
Ass. Stijve zegge/RG Riet	██████████				
Pilvaren-ass.	██████████				
RG Naaldwaterbies/Gesteeld glaskroos/ Oeverkruid/Ass. Veelstengelige waterbies	██████████				
Zones	terrestrisch	amfibisch	aquatisch	amfibisch	terrestrisch
lokale kwel	██████████				
regenwater	██████████				
beekwater	██████████				
Vochtig-natte podzolgronden	██████████				
Gooreerd, moerige podzol, beekerdgronden	██████████				



Afvoerlose laagte met instromend beekwater

Vegetatiegradiënt: In het lage deel van de amfibische zone en in permanent water (indien aanwezig) komen rompgemeenschappen uit de Oeverkruidklasse voor. Kenmerkende soorten daarin zijn in deze variant o.a. Oeverkruid, Gesteeld glaskroos en Naaldwaterbies. Dichtbij het instroompunt is door slibafzetting de bodem het meest voedselrijk. Hier komt ook nog de Pilvarenassociatie voor. Daarnaast komen hier gemeenschappen uit de Rietklasse voor (associatie van Stijve zegge, Rompgemeenschap met Riet) soms b.v. met Grote boterbloem maar ook met Schorpioenmos (*Winkelsven*).

Wat hoger in de het meest door beekwater beïnvloede randzone kan ook Blauwgrasland voorkomen. Naarmate de inundatieduur toeneemt is dit Blauwgrasland gekenmerkt door een inslag van soorten van oeverkruidgemeenschappen, zoals Oeverkruid, Moerassmele en Veelstengelige waterbies. Hogerop gaat het om de heischrale subassociatie van het Blauwgrasland (*nardetosum*). Valt de laagte als geheel langdurig droog, dan nemen deze graslanden het grootste deel van de oppervlakte in.

In delen, waar nauwelijks beekwater binnendringt en kwel van basenarm lokaal grondwater overheerst, treden de meest oligotrafente plantengemeenschappen naar

voren, de Associatie van Veelstengelige waterbies en de Waterlobelia-associatie. Aan de bovenzijde gaan deze over in natte en droge heide.

Processen: in natte perioden aanvoer van basen en nutriënten door (sterk verdund) instromend beekwater; in drogere perioden blijven regenwater en (meestal ook) lokaal grondwater als voeding over.

Standplaats: gaande vanaf het instroompunt van beekwater naar het intreepunt van lokaal grondwater is er een gradiënt van zwak tot matig zuur, matig eutroof tot mesotroof naar zuur, mesotroof tot oligotroof.

Bodem: moerige podzolgrond, veldpodzol, gooreerdgronden.

Grondwaterkwaliteit: in de door beekwater beïnvloede zone is het bovenste grondwater relatief rijk aan Ca, Na, K en Cl in vergelijking met het toestromende lokale grondwater; ook de alkaliteit (HCO₃) kan hier hoger zijn, maar dit hoeft niet het geval te zijn.

Voorkomen: laagten onder aan de beekdalflank, die periodiek door beekwater bereikt worden.

Voorbeelden: Winkelsven en Belversven (Br.; vroeger), Ijsbaan Sellingen (Gr), Vetpot (westelijk deel) (Ov.).

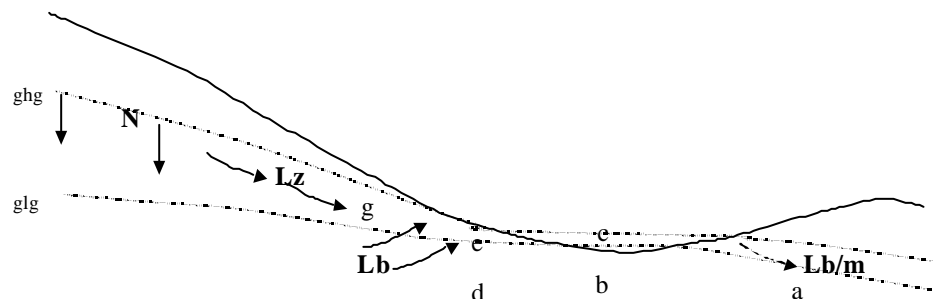
Specifieke bedreigingen: eutrofiëring van het beekwater; verzuring door wegvallen voeding met beekwater; wegvallen van of eutrofiëring lokale kwel.

Specifieke herstelmaatregelen: afplaggen voedselrijke sliblaag gevolgd door herstel inlaat schoon beekwater; maatregelen voor herstel lokale kwelstroom.

6.2 Met basenrijke lokale kwel

6.2.1 Door lokale geologie bepaald

Dopheide-ass. Typische SA	—————				
Dopheide-ass. veenmosrijk	—————				
RG Gagel	—————				
Blauwgrasland basenrijke variant	—————				
Blauwgrasland typische variant	—————				
RG Veelstengelige waterbies/ Veenmos/Kleine zeggen	—————				
zones	terrestrisch	amfibisch	aquatisch	amfibisch	terrestrisch
basenrijk lokaal water	—————				
zuur lokaal water	—————				
Vochtig-natte podzolgronden	—————				
Gooreerd, beekerdgronden	—————				



Afvoerloze laagte met basenrijke lokale kwel

Vegetatiegradiën: In de randen van de laagte (de amfibische- en randzone) treedt het lokale kwelwater uit en komt Blauwgrasland voor. In ondiepe laagten met een brede amfibische zone, kan dit vegetatietype een groot deel van de laagte in beslag nemen. Bij langere inundatieduur wordt deze zone ingenomen door de Draadgentiaan-associatie. In het centrum treden langere inundaties op met mengwater, waardoor

ook zuurdere omstandigheden kunnen optreden. Dan komen de Associatie van Veelstengelige waterbies, de Pilvaren-associatie of Kleine zeggengemeenschappen voor. Overheerst de invloed van het basenrijke water ook in de laagste delen, dan komen meer basenminnende plantengemeenschappen voor, zoals Ass. van Stijve zegge of Galigaan-ass.

Net boven de hoogwaterlijn treedt 's-winters veel, zeer zwak tot zwak gebufferd grondwater uit. Hier komt de rompgemeenschap met Gagel voor. Naar boven toe gaat dit over in een heidegradiënt.

Processen: basenrijk lokaal grondwater kwelt op aan de randen van plassen die in natte perioden in de laagte ontstaan, de kwelzone schuift mee bij veranderend peil; in de laagste delen kan stagnatie en inzigging van regenwater overheersen.

Standplaats: van vochtig/nat en zuur (hoger dan de hoogwaterlijn) naar nat en neutraal tot zwak zuur (amfibische zone); het laagste natte deel is vaak minder gebufferd door aanwezigheid van mengwater (basenrijk grondwater en regenwater).

Bodem: moerige podzolgronden, gooreerdgronden, beekerdgronden

Grondwaterkwaliteit: in systemen waar periodiek wat dieper onder de laagte stromend basenrijk water wordt opgeperst, is vooral de kwelzone aan de rand van het amfibische deel van de laagte basenrijk (d,e: zwak zuur tot neutraal), terwijl het centrale deel basenarmer is doordat hier menging optreedt van stagnerend regenwater met opkwellend basenrijk grondwater (b, c: eventueel zuur tot matig zuur); boven de basenrijke kwelzone ligt nog een basenarme met nauwelijks aangerijkt grondwater (g); in systemen waar het inziggende regenwater in kalkhoudende lagen wordt aangerijkt, wordt de gehele laagte gevoed door basenrijk lokaal grondwater; ook in het laagste deel (b,c) komt dan basenrijk grondwater tot in de wortelzone; vanuit de plas inziggend water (a) heeft een min of meer basenrijk karakter.

Voorkomen: in laagten in hooggelegen gebieden, waar op enkele meters diepte basenrijk grondwater onderdoor stroomt of een kalkhoudende laag aanwezig is.

Voorbeelden: Punthuizen (Tw.), Stelkampsveld (Gld.), Mortelven (Br.).

Specifieke bedreigingen: Wegvallen plasvorming door ontwatering laagte; afname van de opbolling van het grondwatervlak door lokale ontwatering, bebossing, daling van de regionale opbolling van het grondwatervlak als gevolg van beekpeilverlaging, grondwaterwinning etc.; uitloging van kalkhoudende lagen.

Specifieke herstelmaatregelen: herstel van het onderlopen van laagten en herstel van de opbolling van het freatisch vlak door omzetten van bos in heide en het dempen van diepe sloten in hogere delen van de omgeving.

6.2.2 Met kanaalkwel

Vegetatiegradiënt: in de kanaalkwelzone komen basenrijke (zwak zure tot neutrale), mesotrofe tot matig eutrofe standplaatsen voor. Hier komen soorten voor uit het Blauwgrasland of Knopbiesverbond (mesotroof) of Grote zeggengemeenschappen en Rietland (eutroof). Is er permanent open water, dan komen hierin o.a. de Ass. van Gele Plomp en Drijvend fonteinkruid voor. Vanuit hogere zandkopjes binnen de laagten kunnen zeer lokale systemen met nauwelijks aangerijkt regenwater optreden, waardoor een fijn mozaïek van zuur- en basenminnende plantensoorten en vegetatietypen kan voorkomen.

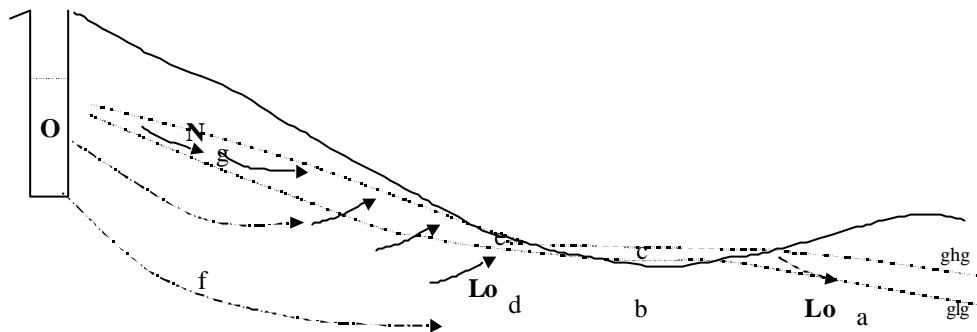
Boven in de hoog-laag gradiënt ligt een normale heidegradiënt van niet tot zwak gebufferde, oligotrofe tot oligomesotrofe standplaatsen. Hier komt de typische subassociatie van de Dopheide-associatie voor. Waar het natter wordt gaat deze over in de Veenmosrijke subassociatie en de rompgemeenschap met Gagel.

Processen: door het vaste peilverschil is er een continue kwel van geïnfilterd kanaalwater. Stroomafwaarts van de laagte infiltreert dit water weer of stroomt oppervlakkig af. Het kanaalwater is basen- en bicarbonaatrijk en van oorsprong ook veelal PO_4^- , SO_4^- , en NO_3^- of NH_4^- -rijk. Als gevolg van adsorptie (fosfaat) en sulfaat- en nitraatreductie tijdens de bodempassage kan de waterkwaliteit veranderen. Het kwelwater varieert hierdoor van mesotroof tot eutroof. Genest in het kanaalkwelsysteem kunnen nog lokalere, zure systemen voorkomen.

Standplaats: basenrijk (zwak zuur tot neutraal) en mesotroof tot matig eutroof in de kwelzone, matig zuur tot zuur, oligotroof tot oligomesotroof boven in de gradiënt.

Bodem: moerige podzolgrond, gooreerdgrond, veldpodzol.

Dopheide-ass. typische SA						
		Dopheide-ass. Veenmosrijk				
RG Gagel						
Blauwgrasland, Knopbieverbond						
Fonteinkruiden, Gele plomp e.d.						
zones	terrestrisch		amfibisch	aquatisch	amfibisch	terrestrisch
regenwater	[Diagram showing water flow from left to right]					
zuur lokaal water	[Diagram showing acidic water flow from left to right]					
baserijk lokaal water	[Diagram showing basic water flow from left to right]					
Vochtig-natte podzolgronden	[Diagram showing moist-wet podzol soils]					
Gooreerd, beekerdgronden	[Diagram showing peaty, stream soils]					



Afvoerloze laagte met kanaalkwel

Grondwaterkwaliteit: kanaalwaterkwaliteit traceerbaar (verhoogde Na, Cl, K, Ca) onder de dekzandrug en in de kwelzone aan de rand van de plas (f, d, c) en vaak ook onder de laagte (b), genest in het kanaalwatersysteem (bij g) nauwelijks aangerijkt ionenarm grondwater, dat in natte perioden opkwelt boven in de randzone (e). Aan stroomafwaartse zijde infiltreert het water uit de plas en vormt daarmee een lokaal grondwatersysteem dat nog duidelijk door de oppervlaktewaterkwaliteit beïnvloed is.

Voorkomen: afvoerloze laagten met in de nabije omgeving een kanaal of wateraanvoersloot met relatief hoog peil.

Voorbeelden: Grote Moost, Kleine Moost (L.), Buitengoor (Vlaanderen), Heitje van Overstegen (vroeger)(Br.).

Specifieke bedreigingen: diepe drainage van het achterland kan de kanaalkwel onder de laagte doortrekken, waardoor het bovengelegen zure systeem weer gaat domineren; mogelijk treedt op termijn doorslag van fosfaat op.

Specifieke herstelmaatregelen: het systeem is peilgestuurd en de hydrologie daardoor goed herstelbaar.

- de grondwaterstand staat in winter en vroege voorjaar aan of boven maaiveld;
- in het voorjaar zakt de grondwaterstand vrij snel en vrij diep weg;
- naarmate het voedingsgebied (de tussen beekdalen gelegen zandruggen) groter is, duurt het langer voordat het lokale systeem uitgestroomd is en de grondwaterstand wegzakt; (het onderscheid in grondwaterstandverloop t.o.v. beekdalen met regionale kwel wordt dan minder duidelijk);
- er treedt geen overdruk op vanuit het onderliggende pakket, of –indien wel overdruk optreedt- de invloed van het lokale systeem is zo dominant, dat het diepere water in het gehele dal (ook onder en nabij de beek (punten a en b) vele meters onder maaiveld blijft en wordt afgedekt door lokaal grondwater.

Kenmerken

hydrologie

- freatische standen zijn (het overgrote deel van het jaar) hoger of gelijk aan de stijghoogten in het watervoerend pakket;
- of de stijghoogten zijn wel hoger, maar het freatisch pakket is tot op vele meters diepte permanent gevuld met lokaal water, doordat het diepere water binnen het freatisch pakket door het dominante lokale systeem wordt afgedekt (in dat geval is er een scheidende laag met hoge weerstand aanwezig).

hydrochemie

- aëroob water (O₂,- NO₃⁻ of SO₄⁻-houdend) bij alle locaties in het freatisch pakket; eventueel kan in venige bodems (c) gereduceerd water ontstaan of bij aanwezigheid van veel organische stof langs de stroombaan kan reductie optreden en het lokale grondwater anaëroob en ijzerrijk zijn. Onder de beek (a) komt eventueel basenrijker geïnfiltreerd beekwater voor met (hogere concentraties Cl, Ca, Na en K dan elders in het beekdal (c, d, e en f);
- Cl-gehalte meestal >15 mg/l, behalve bij beekdalen in heidegebied, waar Cl-arm water inzigt.

bodemtypen

- gooreerdgronden (matig zure tot zure lokale kwel);
- lage enkeerdgronden (duidend op geen al te grote wateroverlast in het verleden);
- beekerdgronden (bij basenrijke lokale kwel of bij combinatie met overstroming);
- in lokale, afvoerloze laagten binnen het beekdal kunnen door langdurige stagnatie ook venige gronden zijn ontstaan.

plantensoorten/plantengemeenschappen

- Veldrusschraalland, Ass. van Zompzegge en Moerasstruisgras, in basenrijke varianten ook Blauwgrasland, Dotterbloemhooilanden en Grote zeggenmoeras;
- Veldrus, Duizendknoopfonteinkruid tot in centrum beekdal.

Bedreigingen

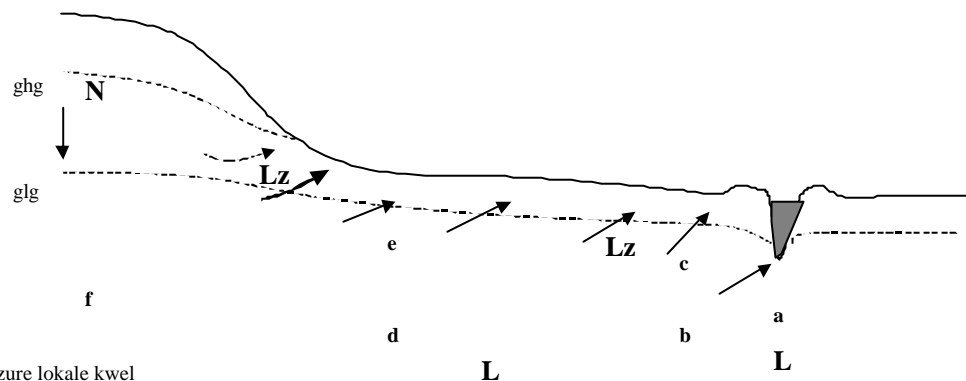
- gemakkelijk te ontwateren/verdrogen:
 - o uitdiepen van de beek en ontwatering in het beekdal trekt lokale systeem onder natuurgebied weg;
 - o diepe sloot op overgang beekdal/flank vangt lokaal systeem bovenstrooms af;
 - o wegvallen voeding lokaal systeem door verharding van het intrekgebied;
- eutrofiëring van het lokale systeem onder invloed van bemesting op de hogere gronden;
- eutrofiëring via beekwater (in overstroomde beekdalen).

Herstelmaatregelen

- verondiepen beek en sloten in beekdal, onderaan of op de beekdalflank:
 - zeer effectief boven ondiep gelegen slecht doorlatende laag;
 - zeer effectief indien enige overdruk vanuit watervoerend pakket;
 - weinig effectief in dikke, grofzandige pakketten vanwege uitstraling van verder weg gelegen drainage;
- herstel inundatie (bij variant met overstroming):
 - indien beekwater van voldoende kwaliteit;
 - indien freatische standen voor inundatie al dicht onder maaiveld (voorkomen eutrofiering).

7.1 Variant met zure lokale kwel

Veenmosrijke Dopheide-ass.	▬
RG Gagel [Hoogveenbulten]	▬
Ass. Moerasstruisgras & Zompzegge	▬
Beenbreek, Klokjesgentiaan	▬
Veldrus	▬
Snavelzegge, Draadzegge, Wateraardbei	▬
Regenwater	▬
Zuur lokaal kwelwater	▬
Vochtig-natte podzolgronden	▬
Gooreerd/lage enkeerdgronden	▬



Vegetatiegradiënt: Van de flank tot aan de beek komen alleen zuurminnende plantengemeenschappen voor. Onder aan de flank, waar de grondwaterstanden relatief sterk fluctueren en de invloed van regenwater overheerst, komen veenmosrijke Dopheidegemeenschappen voor, de invloed van lokale kwel uit zich daarin door o.a. Beenbreek, Klokjesgentiaan en Veldrus. Het grootste deel van de beekdalgronden wordt bedekt door de Associatie van Zompzegge en Moerasstruisgras met meestal een aspect van Veldrus. In laagtes, bijvoorbeeld dicht achter de beekoever treedt wat stagnatie op met langduriger hoge standen. Hier komen in de vegetatie soorten als Draadzegge, Snavelzegge en Wateraardbei voor. Wordt door oppervlakkig afstromend lokaal kwelwater wat slibbig materiaal afgezet dan treden soorten als Naaldwaterbies, Draadrus en Blaaszegge naar de voorgrond.

Processen: alleen voeding door nauwelijks aangerijkt lokaal grondwater en regenwater; in lage delen treedt stagnatie van terrein-eigen water op.

Standplaats: zuur tot matig zuur, voedselarm.

Bodem: gooreerdgronden, lage enkeerdgronden, soms veldpodzolgronden.

Grondwaterkwaliteit: zuur (pH 4-5), ionenarm (EGV < 100µS/cm), zeer zacht in het hele beekdal (a-e). Onder de beek (a) eventueel geïnfiltreerd beekwater als het beekpeil wordt gestuwd en de grondwaterstanden terplekke dieper wegzakken dan het beekpeil (zie hoofdtype).

Voorkomen: bovenlopen in uitgeloogde dekzandgebieden.

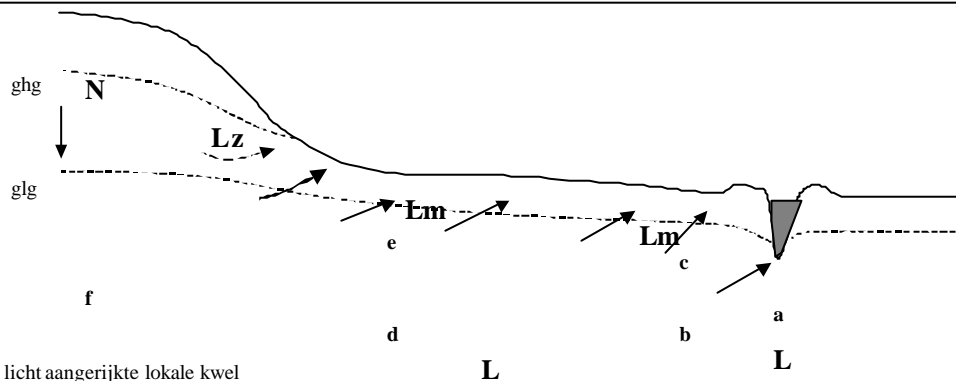
Voorbeelden: Broekloopdal (Ulvenhout), bovenloop Zwarte Beek (B), delen Springendal.

Specifieke bedreigingen: alkalisering van het grondwater door bekalking of bemesting: hierdoor neemt de pH toe, evenals de trofie.

Specifieke herstelmaatregelen: stoppen bemesting en bekalking, ook in het intrekgebied.

7.2 Variant met licht aangerijkte lokale kwel

Veenmosrijke Dopheide-ass.	—————
RG Gagel [Hoogveenbulten]	—————
Orchideerijke Dopheide-ass	—————
Ass. Moerasstruisgras & Zompzegge	—————
Veldrusass.	—————
Beenbreek, Klokjesgentiaan	—————
Draadzegge, Snavelzegge, Waterdrieblad	—————
Regenwater	—————
Lokale kwel	—————
Vochtig-natte podzolgronden	—————
Gooreerd/lage enkeerdgronden	—————



Vegetatiegradiënt: Er is een gradiënt van zuurminnende plantengemeenschappen naar plantengemeenschappen van matig tot zwak zure milieus. Onder aan de flank, waar de grondwaterstanden relatief sterk fluctueren en de invloed van regenwater overheerst, komen zuurminnende vegetatietypen als Dopheidegemeenschappen voor. Bij toenemende invloed van licht aangerijkte lokale kwel betreft het de Orchideerijke subassociatie met soorten als Gevlekte Orchis en Welriekende nachtorchis. Ook komen Beenbreek, Klokjesgentiaan en Veldrus voor. Verder het beekdal in overheerst de invloed van lokale kwel. Het grootste deel van de beekdalgronden wordt hier bedekt door de Veldrus-associatie en de zwak zure variant van de associatie van Zompzegge en Moerasstruisgras met soorten als Waterdrieblad, Draadzegge en Wateraardbei. Deze laatste associatie komt dicht naar de beek toe niet voor, als het grondwater daar iets meer aangerijkt is. In laagtes dicht achter de beekoever treedt wat meer stagnatie op met langduriger hoge standen. Hier kunnen soorten als Draadzegge, Waterdrieblad of Stijve zegge domineren, of bij opervlakkige afstroming waarbij wat slib op de laagste plekken wordt afgezet ook Draadrus en Blaaszegge.

Processen: alleen voeding door licht aangerijkt of door reductie HCO₃-rijk lokaal grondwater en regenwater; door de lemigheid zal de bodem snel waterverzadigd raken en stroomt lokaal grondwater over maaiveld af; in lage delen treedt stagnatie op.

Standplaats: matig - tot zwak zuur, oligo-mesotroof (beekdalrand) tot zwak eutroof (beekdal).

Bodem: lemige zandgronden en leemgronden: gooreerdgrond, lage enkeerdgrond, soms veldpodzolgrond, soms beekeerdgrond.

Grondwaterkwaliteit: zuur tot zwak zuur (pH 4-6), matig ionenarm (EGV < 200µS/cm), (zeer) zacht in het hele dal (a-e), maar eventueel wel vrij HCO₃-rijk. Onder de beek (a) kan eventueel geïnfiltreerd beekwater voorkomen, dat een hogere hardheid en ionenrijkdom heeft dan het lokale grondwater.

Voorkomen: bovenlopen in gebieden met leemhoudende dekzanden of op ondiep liggende klei/leemlagen, of een aan organische stof rijk freatisch pakket.

Voorbeelden: Banisveld (Kampina), Risten (Budel), Stramproyerbroek, Drentse Aa: Burgvullen, Eexterveld, Gasterse Holt en Smalbroekerloopje (Dr), Ingeborg (Den Treek, U.).

Specifieke bedreigingen: alkalisering van het grondwater door bekalking of bemesting: hierdoor neemt de pH toe, evenals de trofie.

Specifieke herstelmaatregelen: stoppen van bemesting en bekalking, ook in het intrekgebied.

7.3 Variant met basenrijke lokale kwel door kalk in de stroombaan

Vegetatiegradiënt: In het hele dal komen basenminnende plantengemeenschappen voor, tegen de beekdalflank gaan die over in gemeenschappen van minder basenrijke of zure standplaatsen, tenzij ook de hogere gronden basenrijk zijn, dan komen langs de gehele gradiënt basenminnende vegetatietypen voor. Bij een zandige/moerige toplaag komen op mesotrofe standplaatsen Veldrusrijk Blauwgrasland of Veldrus-schraalland voor. Op rijkere lemige/kleiige gronden worden vooral de RG van Tweerijge zegge [Dotterbloemverbond] of de Associatie van Gewone Engelwortel en Moeraszegge aangetroffen. Is in de gradiënt een venige stroomgeulopvulling aanwezig, dan ziet de gradiënt er nog wat gevarieerder uit. Aan de randen van het veen is de toestroming van basenrijk grondwater het sterkste en komen soorten uit de Associatie van Schorpioenmos en Ronde zegge voor. Op het veen kunnen door mineralisatie wat voedselrijkere standplaatsen voorkomen met bijvoorbeeld de Associatie van Stijve zegge, of door stagnatie van regenwater kunnen zuurdere standplaatsen optreden met de Associatie van Zompzegge en Moerasstruisgras.

Processen: voeding door kalkhoudend lokaal grondwater. Zijn de aanliggende hogere gronden (systemen van vochtige inziggebieden) basenarm, dan zal onder aan de flank basenarm lokaal grondwater over het basenrijke uitwigen. Als een **veenbodem aanwezig is**, zal de invloed van basenrijk grondwater zich vooral aan de rand van deze opvulling manifesteren, terwijl op het veen stagnatie van neerslagwater kan optreden.

Standplaats: mesotrofe tot matig eutrofe, zwak zure tot neutrale standplaatsen in grote delen van het beekdal; mogelijk zuurdere standplaatsen aan de flank (zie varianten 'zure en licht aangerijkte lokale kwel'). Op eventueel aanwezige **venige beekdalopvullingen** kunnen ook relatief zure standplaatsen voorkomen.

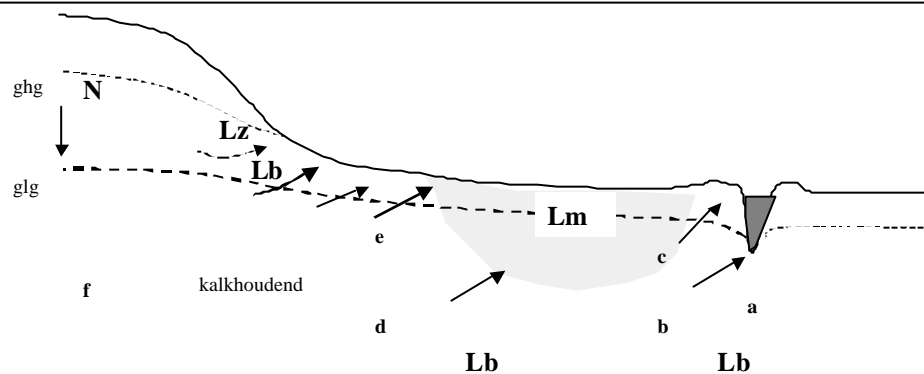
Bodem: beekeerdgronden en leek-/woudeerdgronden eventueel met een **venige beekdalopvulling**: venige beekdalgronden (Abv) of Vlierveen (Vz).

Grondwaterkwaliteit: in het beekdal is het freatische grondwater meestal min of meer aëroob, matig hard tot zeer hard en (m.n. op enige diepte: d en b) kalkverzadigde, bij **venige beekdalopvullingen** komt ook anaëroob (O₂-, NO₃- of SO₄-arm/-loos) water voor.

Voorkomen: boven- en middenlopen in gebieden met ondiep kalkhoudende afzettingen, o.a. in Noord-Brabant, Gelderse Achterhoek, Twente, Friesland en Zuid Limburg.

Voorbeelden: Moorselaar, Spekt, Helsbroek, Nuenens Broek, Breugels Broek, Rullen (N.Br), Mosbeek (Tw), Stelkampsveld (Gld), Stuttebos (aanrijking aan glimmerrijke zanden en keileem)(Frl) , Cottesserbeek.

Veenmosrijke Dopheide-ass./RG Gagel	
Orchideënrijke Dopheide-ass.	
Veldrus-ass.	
Blauwgrasland met Veldrus	
Ass. van Schorpijmos en Ronde zegge	
Ass. van Moerasstruisgras en Zompzegge	
Ass. van Stijve zegge	
Moerasspirea Ass.	
Regenwater	
Basenrijk lokaal kwelwater	
Zuur lokaal kwelwater	
Beekeerdgrond	
Veengrond	



Beekdal met kalkhoudende lokale kwel (venige dalopvulling)

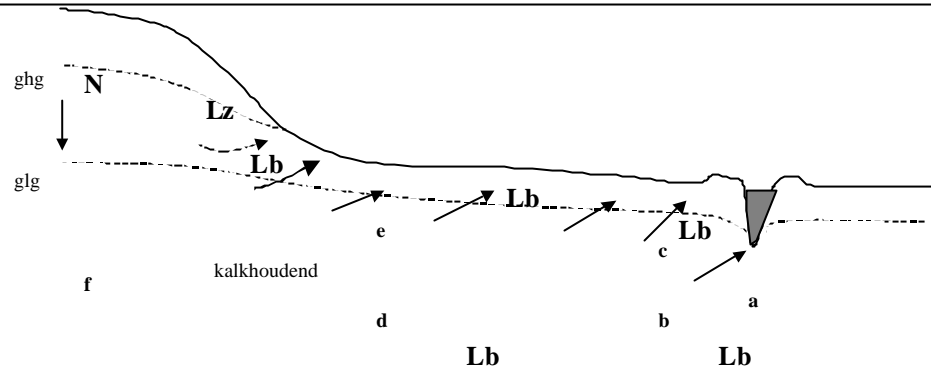
Specifieke bedreigingen:

- lichte ontwatering leidt al snel tot eutrofiering (vanwege de hoge pH);
- uitloging door een toenemende wegzijging naar de ondergrond of naar ontwateringsmiddelen leidt tot versnelde uitspoeling van kalk uit het lokale systeem; in het uiterste geval verandert dit systeemtype dan in een basenarmer lokale kweltype.

Specifieke herstelmaatregelen:

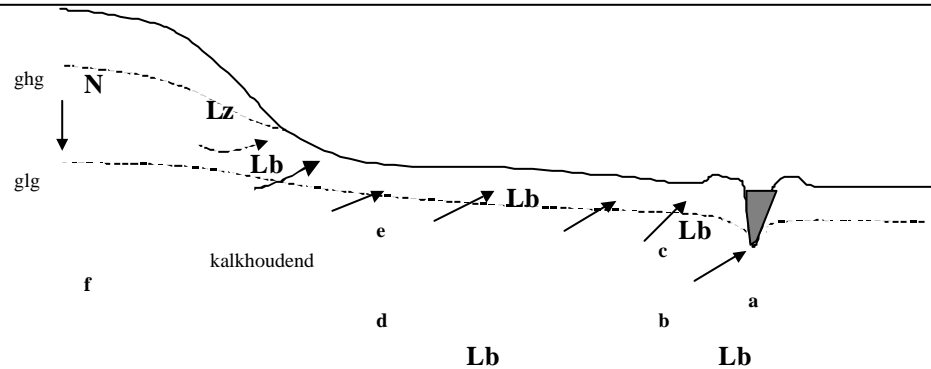
- herstel van hoge grondwaterstanden in hele gradiënt leidt snel tot herstel van de basenrijkdom en vastlegging van fosfaten aan calcium; doordat vaak ondiep slecht doorlatende lagen voorkomen, zijn lokale maatregelen veelal afdoende;
- wegzijging tegengaan door het verondiepen van sloten of (bij sterke wegzijging naar de diepere ondergrond) door het reduceren van grondwaterwinningen.

Veenmosrijke Dopheide-ass./RG Gagel	█
Orchideënrijke Dopheide-ass.	█
Veldrus-ass.	█
Blauwgrasland met Veldrus	█
Moerasspirea-ass.	█
Draadzegge, Waterdrieblad, Moeraskartelblad	█
Regenwater	█
Basenrijk lokaal kwelwater	█
Zuur lokaal kwelwater	█
Vochtig-natte podzolgronden	█
Beekerdgrond	█



Beekdal met kalkhoudende lokale kwel (op zandbodem)

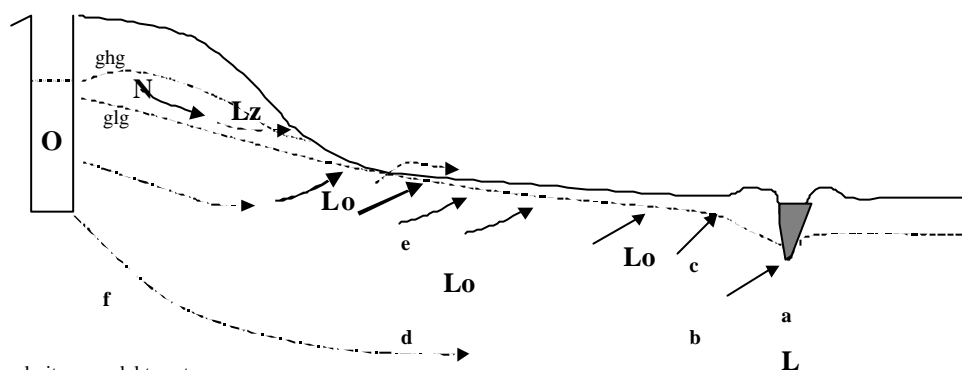
Veenmosrijke Dopheide-ass./RG Gagel	█
Orchideënrijke Dopheide-ass.	█
Veldrus-ass.	█
Ass. Engelwortel en Moeraszegge	█
Moerasspirea-ass.	█
Ass. Van Scherpe zegge	█
Regenwater	█
Basenrijk lokaal kwelwater	█
Zuur lokaal kwelwater	█
Vochtig-natte podzolgronden	█
Leek/woud- of beekerd met klei/leemdek	█



Beekdal met kalkhoudende lokale kwel (op leembodem)

7.4 Variant met basenrijke lokale kwel uit oppervlaktewater (kanaalkwel)

Veenmosrijke Dopheide-ass.	█
As. Van Moerasstruisgras en Zompzegge	█
Blauwgrasland/Knopbiesverbond	█
Ass. Stijve zegge; Ass. Boterbloemen en Waterkruiskruid	█
Moerasspiraea-ass.	█
Regenwater	█
Invloed kwel uit oppervlaktewater	█
Zuur lokaal kwelwater	█
Vochtig-natte podzolgronden	█
Gooreerdgrond	█
Beekerdgrond	█



Beekdal met kwel uit oppervlaktewater

Vegetatiegradiënt: Afhankelijk van natheid en voedselrijkdom komen plantengemeenschappen zoals Blauwgrasland, Knopbiesverbond, de Associatie van Boterbloemen en Waterkruiskruid of de Stijve zegge-associatie voor. Loopt het infiltrerend kanaal dwars door het beekdal, dan komen direct aan de voet van de kanaaldijk al basenminnende plantengemeenschappen voor. Ligt de infiltrerende watergang hoger op de beekdalflank, dan kan tussen de watergang en de “kanaalkwelzone” ook nog een gradiënt met de natuurlijke, (meestal) zuurminnende plantengemeenschappen voorkomen.

Processen: voeding door kwel van basenrijk- en veelal vrij voedselrijk kanaalwater; door bodempassage is het water meestal anaëroob geworden; ligt het kanaal in de hogere zandgronden langs het beekdal, dan is er in de beekdalflank een genest systeem van lokaal grondwater aanwezig, dat een waterkwaliteit heeft, die van nature zou voorkomen. Het kanaalkwelsysteem zelf is weer genest in grotere lokale of regionale systemen.

Standplaats: Zwak eutroof tot eutroof en zwak zuur tot basisch.

Bodem: beekerdgronden, lage enkeerdgronden, venige beekdalgronden.

Grondwaterkwaliteit (in de kanaalkwelzone): matig tot zeer hard, anaëroob water, met net als het kanaalwater relatief hoge Cl-, Na-, en K-gehalten

Voorkomen: Vaak zeer lokaal aan de voet van kanaalkaden e.d. (soms alleen kwelsloot aanwezig), maar bij hoger op de dalflank gelegen kanalen kan de kwelzone ook een groter oppervlak beslaan (vergelijkbaar met de situatie in het Buitengoor (België)).

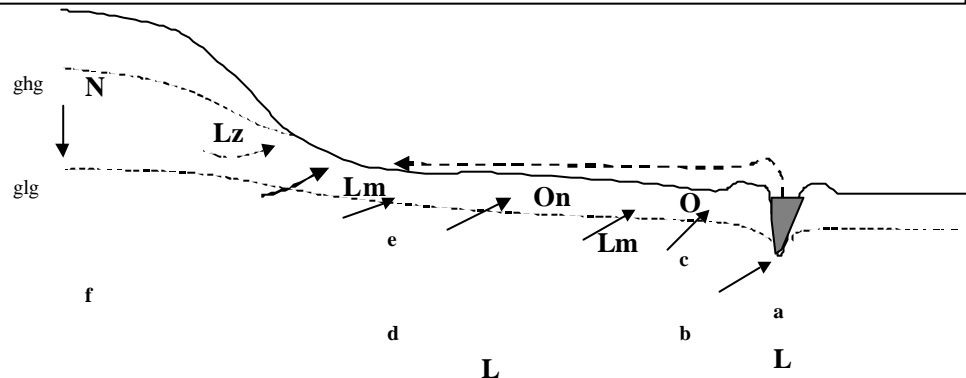
Voorbeelden: Kanaaldijk Den Opslag, Otterdijk, Kwelsloot Ruweeuwsels (N.Br), Buitengoor (B).

Specifieke bedreigingen: Doorslaan nutriënten (P) waardoor eutrofiëring optreedt; afvangen van de kwelstroom door diepe ontwateringsloten (vaak aan de voet van de kanaaldijk).

Specifieke herstelmaatregelen: het kwelsysteem kan eenvoudig worden hersteld door verhoging van de drainagebasis in/rond het terrein.

7.5 Variant met overstroming van slibrijk beekwater

Dopheide-ass./RG Gagel	—————
Blauwgrasland/Veldrus-ass.	—————
Ass. Moerasstruisgras & Zompzegge	—————
Ass. van Boterbloem en Waterkruiskruid	—————
Ass. van Stijve zegge	—————
Blaaszegge-ass.	—————
Scherpe zegge Ass./ RG Liesgras	—————
Moerasspirea-ass.	—————
Overstroming	—————
Lokale kwel	—————
Regenwater	—————
Vochtig-natte podzolgronden	—————
Beekeerd met klei/leemdek	—————



Beekdal met lokale kwel en overstroming

Vegetatiegradiënt: De vegetatie weerspiegelt een gradiënt van eutrofe en basenrijke standplaatsen dichtbij de beek naar mesotrofe tot matig eutrofe, matig basenrijke standplaatsen bij de beekdalflank. Dichtbij de beek komen (zeer) eutrafente overstromingsgemeenschappen voor, zoals de RG Liesgras en de Associatie van Scherpe zegge. Wat verder van de beek, waar meer verdunning van het beekwater door regenwater en lokaal grondwater optreedt, komen de Blaaszegge-associatie of de Associatie van Stijve zegge voor. Naar de beekdalflank toe wordt de invloed van lokaal grondwater steeds sterker. In combinatie met de zwakke overstromingsinvloed kan dit leiden tot een smalle zone met zwak tot matig zure mesotrofe standplaatsen waar een Blauwgrasland-achtige vegetatie voorkomt. Op nattere plaatsen kunnen matig zure, mesotrofe standplaatsen met de Associatie van Zompzegge en Moerasstruisgras of mesotrofe vormen van de Associatie van Stijve zegge of Blaaszegge aangetroffen worden. In de zone met Blauwgrasland en Associatie van Zompzegge en Moerasstruisgras kan veel Veldrus voorkomen. Waar de overstromingsinvloed afwezig is, gaat de vegetatie snel over in zuurminnende Dopheidegemeenschappen en/of de RG Gagel.

Bij lichte ontwatering veranderen de Grote zeggengemeenschappen in Dotterbloemhooilanden of Kamgrasweiden, veelal met aspect van Grote zeggensorten.

Naast natuurlijke overstroming was het in het verleden op veel plaatsen gebruikelijk dat madelanden werden bevoeid vanuit een langs de beekdalflank opgeleide beek. In dat geval komen al relatief hoog in de gradiënt basenminnende plantengemeenschappen voor.

Processen: tijdens overstromingen ontstaat een gradiënt in de mengverhouding van slibrijk beekwater naar lokaal grondwater, daardoor is de beekinvloed (aanvoer van slib en basen) het grootste nabij de beek en nevengeulen; na inundaties treedt in het hele dal nog voeding op door (basenarm) lokaal grondwater.

Standplaats: gradiënt van (zeer) voedselrijk en neutraal/basisch bij de beek naar mesotroof en matig-zwak zuur onder aan de beekdalflank.

Bodem: beekerdgronden en leek-/woudeerdgronden met lemige of kleiïge deklaag.

Grondwaterkwaliteit: Nabij de beek boven in het profiel (c) matig hard tot hard grondwater met relatief hoge gehalten aan Cl, K, Na e.d. ; daaronder is vaak het basenarme lokale grondwater herkenbaar; naar de beekdalflank toe ziet men een, al dan niet geleidelijke, gradiënt in waterkwaliteit.

Voorkomen: middenlopen, beekdaldelen stroomopwaarts van dalversmallingen en watermolens, (voormalige) vloeivelden.

Voorbeelden: Smalbroeken, Logtse Veld, Nemelaerbroek, groot deel Dommelbeemden (Br), delen Springendal (Tw).

Specifieke bedreigingen:

- het stoppen van de overstroming met beekwater leidt tot verzuring;
- vervuiling van het beekwater leidt tot sterke eutrofiëring van een groot deel van de gradiënt.
- vervuiling van het lokale systeem of vermindering van de toestroming uit dit systeem (b.v. door afvangen onderaan de flank) leiden ertoe, dat de gehele gradient eutroof wordt.

Specifieke herstelmaatregelen:

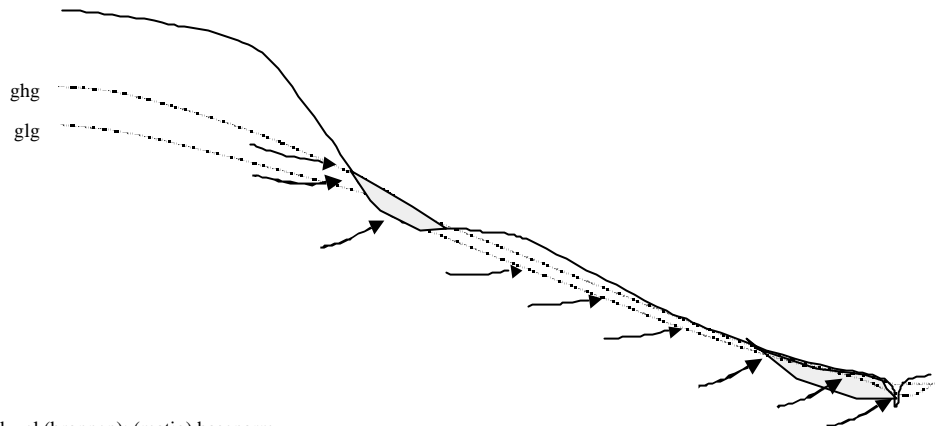
- herstel overstroming met schoon, basenrijk beekwater; eventueel door voorbezinking/langere aanvoerweg of het afkoppelen vervuilde beektakken;
- herstel van het lokale kwelsysteem, dat noodzakelijk is voor het mesotrofe tot zwak eutrofe deel van de gradiënt.

7.6 Variant met sterke kwel in reliëfrijk gebied (bronnen, bronweiden)

7.6.1 Basenarme - matig basenrijke subvariant

Vegetatiegradiënt: De vegetatie wijkt vooral op bronnen en bronweiden duidelijk af van die van minder reliëfrijke systemen met lokale kwel. Op bronkoppen of in weidebronnen kunnen de Ass. van Paarbladig goudveil (vaak licht beschadwd) of de Bosbies-ass. voorkomen. In de meestal sterk hellende bronweiden (of hellingveentjes) komen zeer natte vormen van de Veldrusassociatie of in basenarmer milieu de Subass. van Draadzegge van de Ass. van Moerasstruisgras en Zompzegge voor. Verder komen soorten als Snavelzegge, Draadzegge, Holpijp, Waterdrieblad vaak dominant voor. In weidebronnen en in en langs beekjes komen soorten als Kleine watereppe en Bronkruid voor. Onder zeer basen- en nutriëntenarme omstandigheden kan een groot deel van de gradiënt bedekt zijn door Veenmosrijke Dopheidegemeenschappen of Gagelstruweel, met o.a. veel Beenbreek en Veldrus.

Veenmosrijke Dopheide-ass./RG Gagel	—	—
Veldrus-ass.		—
Ass. Paarbladig goudveil	—	—
Bosbies-ass.	—	—
Ass. Zompzegge & Moerasst. SA Draadzegge		—
Bronkruid, Kleine watereppe		—
Basenarm lokaal kwelwater	—	
Droge-vochtige podzolgronden	—	
Venige beekdalgronden	—	



Sterke lokale kwel (bronnen): (matig) basenarm

Processen: plaatselijk een constante (sterke) kwel van basenarm water tot matig basenrijk lokaal grondwater doordat het sterk hellende grondwatervlak wordt aangesneden; in bronweiden over grotere oppervlakte sterke laterale doorstroming.

Standplaats: (oligo-)mesotroof tot matig eutroof en matig tot zwak zuur.

Bodem: venige bronkoppen, hellingen met een dunne veenlaag.

Grondwaterkwaliteit: pH 4-6. EGV < 200µS/cm, aëroob grondwatersysteem.

Voorkomen: in plateaulandschappen of heuvelland in diep ingesneden beekdalen en hoger op de beekdalflank op plekken met waterstagnerende bodemlagen (leem, klei) ondiep in de ondergrond (stuwwallen, Limburgs heuvelland, Kempisch Plateau).

Voorbeelden: Asbroek, Zutendaalbeek, Roelerbeek (Belgisch Limburg), Filosofendal e.o., bronweiden bij de St. Jansberg, omgeving Oosterbeek (Nijmeegse en Arnhemse stuwwallen), Springendal (Ov), Leubeekdal (Lb).

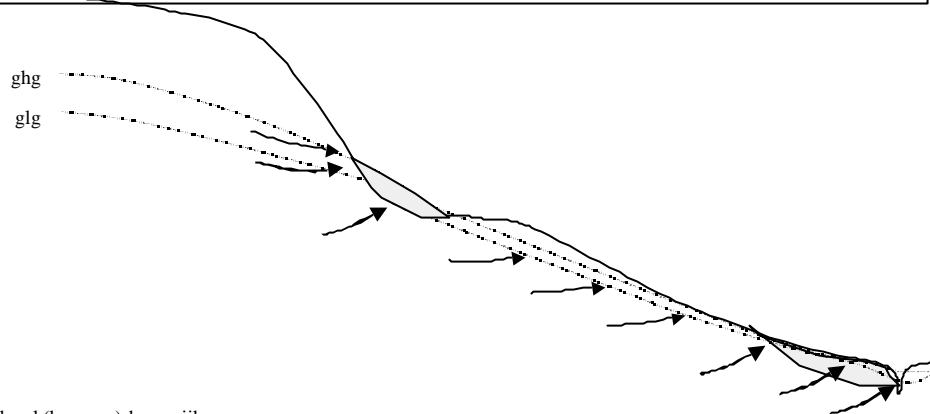
Specifieke bedreigingen: bemesting op de hoger gelegen inziggebieden; drainage doordat de beek zich door terugschrijdende erosie te diep heeft ingesneden, beschadiging van het veen (door vertrapping of te zwaar materieel).

Specifieke herstelmaatregelen:

- tegengaan bemesting infiltratiegebied;
- ophogen beekbodems van diep ingesneden beken en dempen eventuele greppels en sloten.

7.6.2 Basenrijke subvariant

Veldrus-ass.	
Bosbies-ass.	
Ass. Moesdistel en Moeraszegge	
Ass. Paarbladig goudveil SA van Diknerfmos	
Beekpunge, Bittere veldkers	
Basenrijk lokaal kwelwater	
Basenrijk regionaal grondwater	
Droge-vochtige gronden	
Venige beekdalgronden	



Sterke lokale kwel (bronnen): basenrijk
e.v.t. ook sterke regionale kwel

Vegetatiegradiënt: De vegetatie wijkt vooral op bronnen en bronweiden duidelijk af van die van minder reliëfrijke systemen met basenrijke lokale kwel. Op bronkoppes of in weidebronnen kunnen de Bosbies-ass. of bronnen met Verspreidbladig goudveil e.d. (Ass. van Paarbladig goudveil, Subass. van Diknerfmos) voorkomen. In de meestal sterk hellende bronweiden komt de Ass. van Moesdistel en Moeraszegge voor en basenrijke varianten van de Veldrus-ass.. In weidebronnen en in en langs beekjes komen soorten als Beekpunge en Bittere Veldkers voor.

Processen: plaatselijk een constante (sterke) kwel van zeer basenrijk water doordat het sterk hellende grondwatervlak wordt aangesneden; in bronweiden over grotere oppervlakte sterke laterale doorstroming.

Standplaats: matig eutroof tot eutroof en neutraal tot basisch.

Bodem: Vlierveen op leem, kalkrijke hellinggronden en onderin de dalen ooivaaggronden.

Grondwaterkwaliteit: pH 6-8, EGV > 200.

Voorkomen: beekdalen in het Krijtdistrict.

Voorbeelden: graslanden Elsenerbos (Bunderboscomplex), graslanden bij Heimansgroeve (Geuldal), kwelweiden Hohndal, omgeving 's-Gravenvoeren (België).

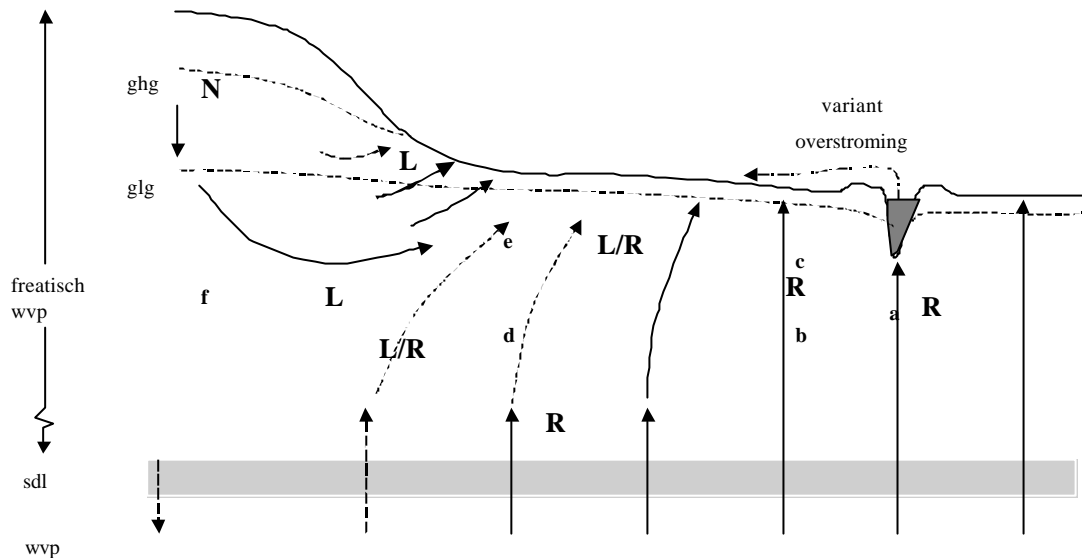
Specifieke bedreigingen: bemesting in het intrekgebied, drainage door diep ingesneden beken.

Specifieke herstelmaatregelen:

- tegengaan bemesting infiltratiegebied;
- ophogen beekbedding, verwijderen sloten en greppels.

8 Beekdalsystemen met regionale kwel

Beekdal met regionale kwel



Landschap

- middenlopen en het lage deel van bovenlopen van beekdalen, gelegen temidden van hogere zandgronden in het dekzandlandschap;
- beekdalen in het heuvelland van Limburg en de stuwwallen.

Processen

- een deel of het gehele dal wordt gevoed door opkwellend grondwater uit diepere pakketten; de beek ontvangt permanent regionaal kwelwater en is daardoor het gehele jaar watervoerend; afhankelijk van de sterkte van de regionale en lokale kwelfluxen kan in de madelanden het hele jaar door kwel vanuit het regionale systeem overheersen of kan in natte perioden lokaal grondwater overheersen en over het diepere heen afstromen;
- in sommige beekdalen treedt 's-winters overstroming met beekwater op; er ontstaat dan een gradiënt in de invloed van (slibrijk, voedselrijk) beekwater en (voedselarm, minder baserijk) regionaal grondwater en meestal (matig) zuur lokaal grondwater en regenwater: *zie varianten*;
- het ondiepe grondwater kan door verschillen in de invloed van deze (grond)waterstromen in kwaliteit variëren (*zie varianten*);
- de grondwaterstand staat in winter en vroege voorjaar aan of boven maaiveld;
- in het voorjaar blijft de grondwaterstand hoog om pas in de zomer dieper weg te zakken; dit systeem is dan ook vaak goed te herkennen aan de (zeer) intensieve ontwatering; vooral gebieden met sterke kwel kennen vaak een zeer intensief ontwateringstelsel (veel sloten en greppels op klein oppervlak).

Kenmerken

hydrologie

- voor minimaal het deel van de het beekdal nabij de beek geldt: freatische standen zijn (het overgrote deel van het jaar) lager dan de stijghoogten in het watervoerend pakket; het diepere water binnen het freatisch pakket wordt niet door dominante lokale systemen afgedekt.

hydrochemie

- de kwaliteit van het regionaal kwelwater (anaëroob, basenrijk, vaak Cl-, Na en K-arm) is herkenbaar in de kwelzone: naarmate de kwelflux sterker is (zie varianten) in een steeds groter deel van het dal en meer constant (naarmate de flux groter wordt in resp. a, b, d, c, e, f);
- lokaal kwelwater (van oorsprong aëroob, meestal basenarm) is herkenbaar in de dalrand en (afhankelijk van variant) meer of minder ver het dal in;
- bij overstromingsinvloed is de beekwaterkwaliteit alleen boven in profiel herkenbaar (ionenrijk, hard water) (c en eventueel e).

bodemtypen

- vlierveengronden soms met bolle veenpakketten (bij sterke regionale kwel);
- beekeerdgronden (bij zwakke tot sterke basenrijke regionale kwel of bij combinatie met overstroming);
- leek- en woudeerdgronden (bij een combinatie van kwel en overstroming).

plantensoorten/plantengemeenschappen

- Dotterbloemhooiland, Blauwgrasland, Ass. van Schorpioenmos en Ronde zegge.

Bedreigingen

- Het dalen van de (middel)diepe stijghoogte en daardoor afnemen of wegvallen van de kwelflux;
- het wegvangen van de kwel naar maaiveld door diepe ontwatering in het beekdal of (bij gebieden met zwakke kwel) door een diepe drainagebasis in de bredere omgeving (dit kan om enkele km gaan);
- stagnerend regenwater drukt (middel)diep kwelwater uit het bodemprofiel weg.

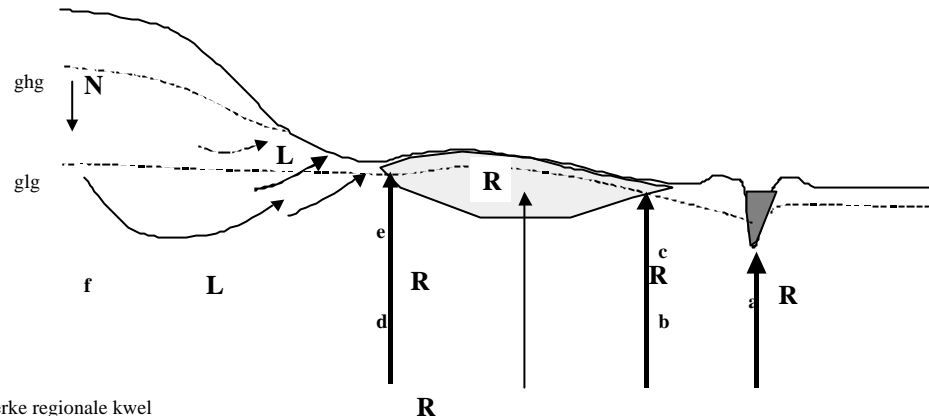
Herstelmaatregelen

- verondiepen van beek en sloten in het beekdal of (zodanig) bredere omgeving;
- ondiep begreppelen om regenwaterlens af te voeren;
- maatregelen voor herstel van de regionale stijghoogten (reallocatie winningen, diepinfiltratie).

8.1 Variant met sterke basenrijke kwel

Vegetatiegradiënt: in het hele dal komen basenminnende platengemeenschappen voor, zoals de associatie van Boterbloemen en Waterkruiskruid. Plaatselijk kan de Associatie van Schorpioenmos en Ronde zegge voorkomen, vooral op de plekken met de sterkste kwel, zoals de randen van het veen of verlandende oude beeklopen. Aan de beekdalflank bevindt zich een korte gradiënt naar vegetatietypen van zuurdere standplaatsen onder invloed van lokale kwel en/of stagnerend regenwater. Op de zuurdere standplaatsen bevindt zich de Associatie van Moerasstruisgras en Zompzegge. Alleen onder aan de dalflank komt ook veel Veldrus voor, in het beekdal zelf komt deze soort weinig of niet voor.

Ass. van Moerasstruisgras & Zompzegge.	█
Ass. van Schorpioenmos en Ronde zegge.	█
Ass. van Boterbloemen en Waterkruiskruid.	█
Veldrus	█
Waterdrieblad, Draadzegge, Moeraskartelblad	█ █
Regenwater	█
Lokale kwel	█
Regionale kwel	█
Beekeerdgrond	█
Veengrond	█



Beekdal met sterke regionale kwel

Processen: voeding door sterke (middel)diepe kwel in het “vlakke” deel van het beekdal; door de zeer constante aanvoer van grondwater blijven de grondwaterstanden stabiel op een hog niveau en kunnen bolle veenpakketten ontstaan; alleen in een smalle zone nabij de beekdalrand treedt lokale kwel op en kan regenwater stagneren.

Standplaats: neutraal tot zwak zuur en zwak tot matig eutroof met een goed gebufferde grondwaterstand. Aan de flank komen zuurdere en voedselarmere standplaatsen voor.

Bodem: veengronden, beekerdgronden.

Grondwaterkwaliteit: in het hele beekdal (a, b, c, d, eventueel ook e) is de kwaliteit van het freatische grondwater ongeveer gelijk aan de kwaliteit van het (middel)diepe grondwater (f).

Voorkomen: In relatief diep ingesneden middenlopen van beekdalen en/of als in het dal de scheidende laag boven het onderliggende watervoerende pakket (deels) is weggeërodeerd.

Voorbeelden: Delen middenloop Drentse Aa, Hel, Blauwe hel, middenloop Lieverense Diep, Heetveld (Leusden).

Specifieke bedreigingen: terplekke vaak zeer intensief en diep ontwaterd, waardoor kwel wordt afgevangen en veengronden (irreversibel) veraarden; grote dalingen van de stijghoogten, waardoor kwelflux sterk afneemt (het systeem verandert dan in een beekdal met zwakke kwel of zelfs alleen lokale kwel).

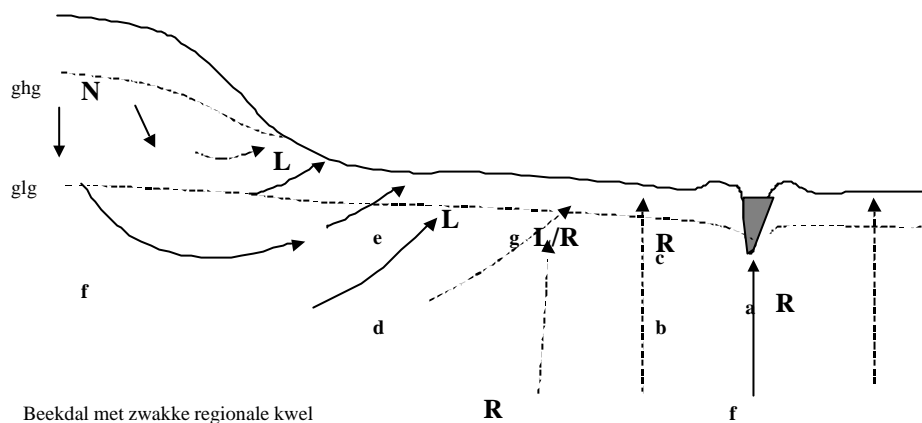
Specifieke herstelmaatregelen: bij voldoende kweldruk: peilverhoging/verondiepen sloten in directe omgeving om kwel weer naar maaiveld te brengen.

8.2 Variant met zwakke basenrijke kwel

Vegetatiegradiënt: Er is een geleidelijke gradiënt van basenrijke standplaatsen nabij de beek naar zuurdere standplaatsen aan de flank. Nabij de beek wordt Blauwgrasland aangetroffen. Verder naar de beekdalrand toe gaat dit vegetatietype

over in Veldrus-schraalland en Veldrusrijke vormen van de Associatie van Moerasstruisgras en Zompzegge.

Ass. van Moerasstruisgras & Zompzegge.	
Veldrus-Ass.	
Blauwgrasland	
Regenwater	
Lokale kwel	
Regionale kwel	
Gooreerdgrond	
Beekerdgrond	
Veengrond	



Processen: delen van het beekdal in de nabijheid van de beek en de beek zelf worden gevoed met baserijk grondwater via zwakke kwel of in de zomer door capillaire nalevering; de rest van het beekdal wordt gevoed door lokale kwel. De grens tussen het lokale en regionale systeem pendelt op en neer: na natte perioden stroomt het lokale systeem uit over het regionale kwelwater, in lange droge perioden verdwijnt deze laag jong water en wordt een groter deel het dal gevoed door regionaal kwelwater.

Standplaats: zwak zuur tot neutraal en mesotroof tot zwak eutroof nabij de beek. Naar de flank toe worden de standplaatsen zuurder en fluctueren de grondwaterstanden sterker.

Bodem: beekerdgronden, lage enkeerdgronden, venige beekdalgronden.

Grondwaterkwaliteit: Onder (a) en nabij de beek (b) is de kwaliteit van het freatische grondwater ongeveer gelijk aan kwaliteit van het regionale grondwater (locatie f). Vanuit de randen van het beekdal overheerst de kwaliteit van het lokale grondwater, veelal aëroob, basenarm water; in de zone die afwisselend door lokale kwel en/of stagnatie van regenwater of door regionale kwel gevoed wordt, is het ondiepe grondwater in natte perioden baserijker dan het lokale door uitwisseling met het adsorptiecomplex, maar veelal nog wel aëroob.

Voorkomen: Lage deel bovenlopen; middenlopen in gebieden met geringe kwelflux (door geringe stijghoogteverschillen of door een grote weerstand van de scheidende laag).

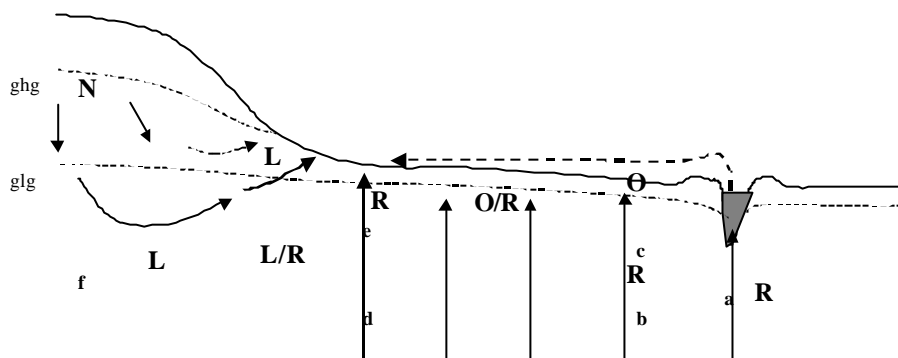
Voorbeelden: Groot Zandbrink, Meeuwenkampje, Bennekomse Meent, schraallanden Korenburgerveen, delen Drentse Aa; Ossebroeken-Scheebroek bij Andersch diep, Hazenmaten bij Peizerdiep (of daar ook overstrooming?), schraalland Agelerbroek, Helvoirts Broek.

Specifieke bedreigingen: wegvallen van kwel naar maaiveld of van capillaire nalevering door te diepe ontwatering in de directe omgeving; wegvallen van de kwel naar de directe omgeving door diep drainerende beeksystemen in de ruimere omgeving; dalen van de stijghoogten, stagnatie van regenwater.

Specifieke herstelmaatregelen: begreppeling om regenwaterlenzen af te voeren; verondiepen van sloten in en rond het terrein; verhogen van de drainagebasis in beeksystemen in de wijdere omgeving; herstel stijghoogten.

8.3 Variant met overstroming en sterke (middel)diepe kwel

Ass. van Moerasstruisgras & Zompzegge.	▬
Veldrus-associatie	▬
Blauwgrasland	▬
Ass. van Schorpioenmos en Ronde zegge	▬
Ass. van Boterbloemen en Waterkruiskruid, RG Moeraszegge	▬
Ass. Van Scherpe zegge	▬
Invloed beekwater	▬
Regionale kwel	▬
Lokale kwel	▬
Beekeerdgrond met kleidek	▬
Veengrond (deels met kleidek)	▬



Beekdal met (sterke) regionale kwel en overstroming

Vegetatiegradiënt: In het dal overheersen vegetatietypen van natte, basenrijke, vrij voedselrijke standplaatsen. Hier bevinden zich Dotterbloemhooilanden met aan overstroming gebonden soorten als Blaaszegge en Scherpe zegge. Bij langdurige stagnatie boven maaiveld komen daar Grote-zeggenmoerassen voor. Op plekken met beperkte invloed van oppervlaktewater en enige invloed van basenrijk grondwater kan de Associatie van Schorpioenmos en Ronde zegge voorkomen. Aan de flank bevindt zich een gradiënt naar minder basenminnende, voedselarmere vegetatietypen van Blauwgrasland naar Veldrusschraalland en de Associatie van Moerasstruisgras en Zompzegge.

Processen: in natte perioden inundeert het beekdal met beekwater; al voor de inundaties is de bodem waterverzadigd. Er ontstaat een verdunningsgradiënt van beekwater met kwel- en regenwater en het beekwater dringt niet direct in het profiel. Regionale kwel treedt in deze periode op in een smalle zone in de knik onder aan de beekdalflank, net buiten het overstromingsgebied. Iets hoger in de gradiënt treedt lokale kwel op. Buiten de overstromingsperioden treedt in het gehele “vlakke” deel van het beekdal (middel)diepe kwel op, daardoor zakken de grondwaterstanden niet diep weg. Kwel naar de beek zorgt voor een permanente afvoer.

Standplaats: In het dal voornamelijk (matig) eutrofe, basenrijke standplaatsen met grondwaterstanden die langdurig op een hoog niveau blijven. Aan de beekdalflank is een korte gradiënt via mesotrofe, neutrale standplaatsen naar zure, mesotrofe standplaatsen met sterker fluctuerende grondwaterstanden.

Bodem: leek-/woudeerdgronden, beekerdgronden met kleidek.

Grondwaterkwaliteit: beekwaterkwaliteit alleen boven in het profiel (c) te herkennen aan verhoogde Cl- en Na-gehalten (in vergelijking met kwelwater); het grootste deel van het profiel (a, b, d, e, eventueel ook c) is gevuld met de waterkwaliteit van het kwelwater.

Voorkomen: In regionaal relatief diep ingesneden middenlopen en in midden en benedenlopen waar de scheidende laag door het beekstelsysteem is weggeërodeerd.

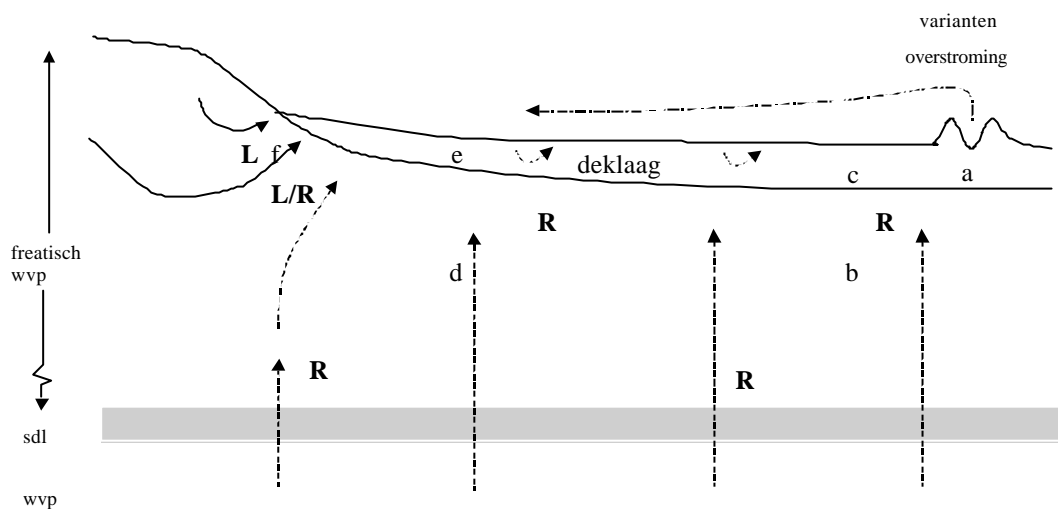
Voorbeelden: delen van het Dommeldal (o.a. deel Dommelbeemden), Tjongerdellen, delen Drentse Aa, Wageningse Hooilanden.

Specifieke bedreigingen: vermesting van het beekwater; wegvallen kwel door grondwaterwinning, wegvangen kwel door terplekke vaak zeer intensieve ontwatering.

Specifieke herstelmaatregelen: verbeteren van de oppervlaktewaterkwaliteit (b.v. via voorbezinking, langere aanvoerweg of afkoppelen vervuilde beektrajecten); verondiepen sloten, herstel diepere stijghoogten.

9 Benedenlopen en andere overgangen naar het Holocene deel van Nederland

Benedenlopen en randen pleistoceen



Landschap

- vlakke, brede beekdalen op de overgang van het zandgebied naar Holocene gronden;
- overgangszone Pleistoceen/Holoceen waar zandgronden onder klei, veen of klei-op-veen duiken.

Processen

- er is een gering hoogteverschil van beekdalrand naar beek en daardoor weinig laterale grondwaterstroming;
- door de gebrekkige afwatering kan ook gemakkelijk regenwater stagneren in percelen;
- vaak treden langdurige inundaties met slibrijk water op, waarbij van beek tot dalrand een menggradiënt van overwegend beekwater naar overwegend regenwater of grondwater ontstaat;
- (middel)diepe kwel (indien aanwezig) concentreert zich op de overgang zand-veen, op randen van zandopduikingen (oeverwallen, donken) en op sloten; zeker bij wat dikkere veenpakketten is de kweldruk al snel te gering om regenwaterlenzen uit percelen te "drukken";
- door de aanwezigheid van enige regionale kweldruk zakken de grondwaterstanden van nature niet diep weg;
- lokale kwel treedt alleen op aan de randen van de omliggende dekzandgronden.

Kenmerken

hydrologie

- binnen het dal nauwelijks verval in grondwatervlak;
- ook het verval van de beek zelf is zeer gering;
- grondwaterstanden bevinden zich van nature langdurig nabij maaiveld en zakken slechts korte tijd dieper weg.

hydrochemie

- bij invloed van overstroming is er boven in het profiel een duidelijke gradiënt in waterkwaliteit herkenbaar (verhoogde gehalten aan nutriënten, Cl, Na e.d. nabij de beek, verder naar de dalrand toe steeds meer menging met oppervlakkig afstromend regenwater of grondwater samenstelling (e));
- zonder overstroming is er binnen het dal geen duidelijke gradiënt in grondwaterkwaliteit (behalve aan de randen waar lokale kwel optreedt); binnen percelen zijn er vaak wel duidelijke kwaliteitsgradiënten als gevolg van lenzen stagnerend regenwater, die genest zijn in het opkwellende grondwater.

bodemyten

- kleiarne veenbodem;
- kleiige veenbodem;
- klei-op-veenbodem;
- moerige klei-op-zandbodem;
- (kalk)rijke kleibodem.

plantensoorten/ plantengemeenschappen

- overstromingsvlakten: Dotterbloemhooilanden, Verbond van Grote vossenstaart (Kievitsbloemhooilanden, Ass. van Grote pimpernel en Weidekervel), Grote zeggenmoerassen en Rietlanden;
- veengebieden zonder overstroming: associatie van Schorpioenmos en Ronde zegge, Veenmosrietland, Draadzegge-verbond, Moerasheide;
- zone met alleen lokale kwel van basenarm grondwater: associatie van Moerasstruisgras en Zompzegge.

Bedreigingen

- het wegvallen van inundaties, waardoor de aanvoer van slib en basen stopt en de bodem door de er aanwezige neerslaglenzen geleidelijk verzuurt;
- polderpeilverlagingen, waardoor de kweldruk binnen percelen afneemt met als gevolg dat de invloed van regenwaterlenzen kan toenemen;
- veraarding van veenpakketten en zetting van kleipakketten als gevolg van ontwatering;
- eutrofiëring door vervuild oppervlaktewater;
- daling van stijghoogten, waardoor voeding door kwelwater afneemt.

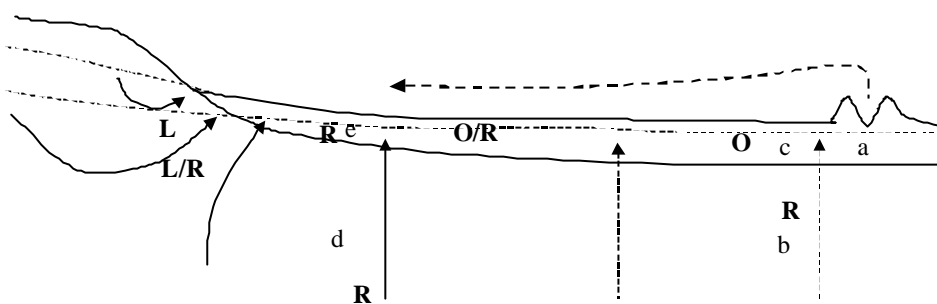
Herstelmogelijkheden

- in kwel gevoede varianten:
 - o het aanhouden van een voldoende hoog peil in voldoende grote aaneengesloten gebieden, zodat de kwel niet wordt afgevangen;
 - o het begreppelen van percelen om regenwater af te voeren is effectief bij voldoende kwelintensiteit;
- het afplaggen van veraarde veenlagen leidt tot goede resultaten, mits het gebied hydrologisch en hydrochemisch kansrijk is;
- het herstel van inundaties met lithoclien water is in principe kansrijk, hoewel over de randvoorwaarden voor de waterkwaliteit nog onvoldoende bekend is.

9.1 Variant met periodieke overstrooming van slibrijk water (benedenlopen)

9.1.1 Met (sterke) regionale kwel

Ass. van Moerasstruisgras en Zompzegge	▬
Ass. van Schorpioenmos en Ronde zegge	▬
Blauwgrasland	▬
Dotterbloemhooiland	▬
Verbond van Scherpe zegge/ Riet-verbond	▬
Regionale kwel	▬
Lokale kwel	▬
Oppervlaktewater	▬
Veen	▬
Klei-op-veen	▬



Benedenloop met overstrooming en (sterke) regionale kwel

Vegetatiegradiënt: Nabij de beek, waar de overstroomingsinvloed het sterkste is, overheersen Grote zeggengemeenschappen, zoals de Associatie van Pluimzegge, van Stijve zegge, van Scherpe zegge of van Blaaszegge. Verder van de beek, waar de invloed van beekwater door verdunning met regenwater of kwelwater minder wordt, komt Dotterbloemhooiland voor (vaak met Scherpe zegge, Blaaszegge of Tweerijige zegge), naar de dalrand overgaand in Blauwgrasland en de Ass. van Zompzegge en Moerasstruisgras. Regionale kwel zal zich vooral concentreren aan de voet van de zandgronden. Hier ontstaan mesotrofe, neutrale standplaatsen en komt bij sterke kwel de associatie van Schorpioenmos en Ronde zegge voor of –bij lichte ontwatering- blauwgrasland. Ook rond donken, in petgaten en verlandende meanders kunnen door kwel dergelijke standplaatsen optreden.

Processen: aanvoer van basen en nutriënten via overstrooming en slibafzetting in het lage, vlakke deel, waarbij van beek naar dalrand een verdunningsgradiënt optreedt; kwel van baserijk water uit zich wat betreft waterkwaliteit vooral aan de voet van de zandgronden en in sloten, maar zorgt ook voor niet te diep wegzakkende grondwaterstanden.

Standplaats: in de overstroomde delen treedt een gradiënt op van eutrofe, basisch/neutrale tot mesotrofe, zwak tot matig zure standplaatsen. Aan de voet van de zandgronden vinden we mesotrofe, bij sterke kwel neutrale, bij zwakke kwel matig zure standplaatsen.

Bodem: van beek naar dalrand is er een gradiënt van kleiig veen of klei-op-veen naar klei-arm veen.

Grondwaterkwaliteit: Boven in het profiel is een gradiënt in beekwaterinvloed (afnemende Na, Cl en afnemende slibafzetting van beek naar dalrand (c-e) herkenbaar, dieper in het profiel (b, d) overheerst de kwaliteit van het toestromende

kwelwater; bij sterke kwel zal het kwelwater nabij de dalrand ook bovenin het profiel (e) en in sloten te herkennen zijn.

Voorkomen: benedenlopen en de overgang van hogere zandgronden naar de lager gelegen klei-op-veen gebieden.

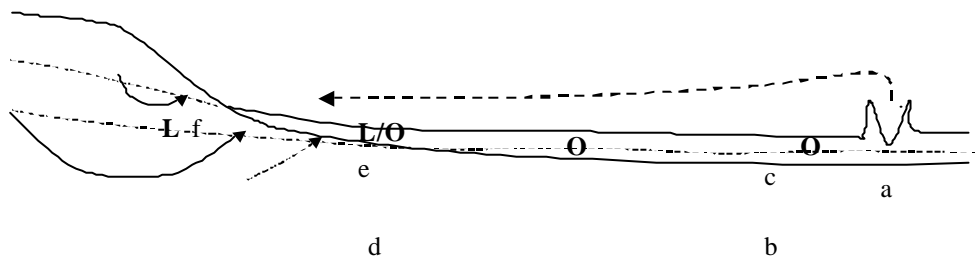
Voorbeelden: randen Langstraat, Bossche Broek (Br), Benedenloop Drentse Aa (o.a. Kappersbult) en Peizerdiep (Dr.).

Specifieke bedreigingen: wegvallen inundaties en daardoor verzuring; eutrofiëring door vervuild beekwater; toenemende wegzijging uit en uitloging van percelen door het wegvallen van kwel als gevolg van ontwatering of gedaalde stijghoogten.

Specifieke herstelmaatregelen: herstel inundaties met lithoclien water is in principe kansrijk, maar over de randvoorwaarden van de waterkwaliteit is nog onvoldoende bekend.

9.1.2 Hydrologisch neutraal, alleen lokale kwel aan de dalrand

Ass. Zompzegge & Moerasstruisgras	█
Blauwgrasland, Veldrus-ass.	█
Kivietsbloem-ass. (Verb. Grote Vossenstaart)	█
Dotterbloemhooiland	█
Verbond van Scherpe zegge/ Riet-verbond	█
Kivietsbloem	█
Grote pimpernel	█
Lokale kwel	█
Oppervlaktewater	█
Regenwater	█
Klei-op zand	█
Klei-op-veen	█



Benedenloop met overstroming, hydrologisch neutraal

Vegetatiegradiënt: Plantengemeenschappen van de vlakke overstromingsvlakte zijn Grote zeggenmoerassen en Dotterbloemhooilanden (bij langdurig hoge standen), vochtige Glanshaver- en Grote vossenstaarthooilanden (bij dieper wegzakkende grondwaterstanden) (associatie van Grote pimpernel en Weidekervel, Kivietsbloem-associatie). Kenmerkende soorten hierin zijn onder andere Grote pimpernel, Weidekervel, Kievitsbloem en Grote vossenstaart. Waar de invloed van beekwater afneemt en die van regenwater of lokaal grondwater toeneemt, gaan deze gemeenschappen over in Blauwgraslandfragmenten, Veldrusassociatie of Ass. van Zompzegge en Moerasstruisgras.

Processen: aanvoer van basen door overstromingen, waarbij een gradiënt optreedt in de mengverhouding van beekwater en regen- of lokaal grondwater; als er enige regionale kweldruk optreedt, is die gering of wordt de flux beperkt door de hoge weerstand van de scheidende laag; per saldo is zo'n kweldruk dan vooral van invloed op het niet te diep wegzakken van standen in de zomer.

Standplaats: gradiënt van neutraal/basisch, eutroof nabij de beek naar zwak zuur, matig eutroof aan de voet van hogere zandgronden.

Bodem: klei-op-veenbodems, moerige klei-op-zandbodems.

Grondwaterkwaliteit: beekwaterkwaliteit herkenbaar boven in het profiel (c, verdund in e), bij inzijgend oppervlaktewater ook dieper (b).

Voorkomen: benedenlopen en vlakke laagten in de overgangszone Holocene/Pleistoceen.

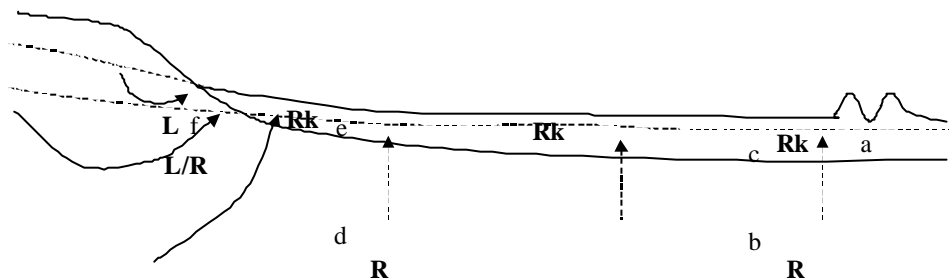
Voorbeelden: Lage Vughtpolder, delen Moerputten (Br), Veerslootslanden (Ov), omgeving Zuidlaardermeer (Gr).

Specifieke bedreigingen: verzuring door uitblijven inundaties, eutrofiëring door vervuiling oppervlaktewater.

Specifieke herstelmaatregelen: herstel inundaties met schoon, basenrijk water.

9.2 (Kalk)rijke kleigronden

Glanshaver-associatie	█
Ass. van Schorpioenmos en Ronde zegge	█
Dotterbloemhooiland	█
Ass. Scherpe zegge, RG Tweerijige zegge	█
Lokale kwel	█
Lokale aanrijking	█
Regionale kwel (watergangen)	█
Klei op zand	█
Klei-op-veen	█



Overgang van zand naar kalkrijke (zee)kleigronden

Vegetatiegradiënt: Op permanent zeer natte, mesotrofe tot zwak eutrofe, standplaatsen zijn de associatie van Schorpioenmos en Ronde zegge, de rompgemeenschap met Holpijp (Riet-klasse) en mesotrofe vormen van de RG Tweerijige zegge te vinden. Wat sterker fluctuerende standen leiden tot matig eutrofe standplaatsen met Dotterbloemhooiland en de associatie van Scherpe zegge. Waar de (kalkrijke) kleidekken oplopen tegen de zandgronden, komen vochtige Glanshaverhooilanden en Kamgrasweiden voor, en onder invloed van lokale kwel op deze vrij rijke bodems ook wel Veldrus-ass. en Blauwgrasland.

Processen: Bij kalkrijke bodem is het grondwater kalkverzadigd en neutraal tot basisch. Bij kalkarme (of uitgeloopte) kleien kan het grondwater zwak tot matig zuur zijn. Bij constant hoge waterstanden blijft het profiel gereduceerd en wordt de mineralisatie geremd; fluctueren de waterstanden, dan zal door mineralisatie (vanwege de hoge pH) de beschikbaarheid aan nutriënten groot zijn.

Standplaats: in het lage deel basisch tot neutraal, mesotroof tot eutroof; tegen de flanken aan neutraal tot matig zuur (afhankelijk van de aanwezigheid van kalk in deze wat hoger gelegen gronden).

Bodem: kalkrijke kleibodem (meestal zeekleibodems uitwiggend tegen zandgronden), hogerop eventueel klei op podzolgronden.

Grondwaterkwaliteit: Boven in het kleiprofiel (c, e) zijn de alkaliteit en hardheid zeer hoog, in permanent natte bodems is het water anaëroob (c); het toestromende grondwater (F, d, evt. ook b) heeft een veel lagere hardheid.

Grondwaterkwaliteit: in de zandondergrond en in petgaten schoon, basenrijk, anaëroob kwelwater (b,d,c); waar regenwater stagneert boven in het profiel basenarm, ionenarm water op matig basenrijk mengwater; in hoogveenkernen puur regenwater (e).

Voorkomen: veen gronden in benedenlopen en overgangszone Pleistoceen/Holoceen, die buiten de invloed van overstromingen vanuit benedenlopen en rivieren liggen.

Voorbeelden: Randzone Langstraat , binnenpolder Terheijden (Br), Vechtplassengebied (Ut/NH).

Specifieke bedreigingen:

- toename van de regenwaterinvloed door afname kwel;
- irreversibele veraarding van veen door ontwatering.

Specifieke herstelmaatregelen: herstel van kwel tot in de wortelzone is mogelijk mits voldoende overdruk uit het (middel)diepe pakket blijft bestaan; randvoorwaarde is dat grote aaneengesloten gebieden beschikbaar zijn, zodat een hoog peil kan worden aangehouden en de kwel niet wordt afgevangen door sloten met laag peil.

10 Literatuur

Het overzicht systeemtypen is gebaseerd op inzichten uit vele tientallen terreinen. Deels zijn deze gepubliceerd in tijdschriften of boeken, maar grotendeels in “grijze literatuur”: rapporten, excursieverslagen, notities e.d. De onderstaande lijst is een selectie met gebruikte overzichten, literatuur over specifieke processen en terreinbeschrijvingen.

- Aggenbach, C., Jansen, A., 1989: Hydro-ecologisch onderzoek van de Bovenste Hof, een bronnetjesbos in de gemeente Brunssum. Laaglandbekenproject rapp. nr. 16. Lab. voor plantenoecologie, R.U. Groningen/Algemeen Christelijke Jeugdbond voor Natuurstudie en Natuurbescherming, Zeist. 37 pp. + bijlagen
- Aggenbach, C., Kolkman, S., Vegter, U., Bokeloh, D., m.m.v. Grootjans, A., Verlinden, A., Hoek, van der, D., 1990: Hydro-ecologie van de Zwarte Beek Vallei. Een mesotroof veen in de Belgische Kempen. Laaglandbekenproject rapport nr.21, Inst. voor Natuurbehoud Hasselt / L.U. Wageningen / R.U. Groningen
- Aggenbach, C.J.S., Groennou, J.Th., Jansen, A.J.M., Molenaar, W., Senden, W.J.M.K., 1996: Monitoring verdrogingsprojecten Limburg. Handleiding voor monitoring. Kiwa-rapport KOA 96.042, Kiwa N.V., Nieuwegein
- Aggenbach, C.J.S., Jalink, M.H., Jansen, A.J.M., 1998: Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring van plantengemeenschappen in vennen. Basisrapport. Kiwa-rapport SWE-94.046, Kiwa N.V., Nieuwegein.
- Aggenbach, C.J.S., Jalink, M.H., m.m.v. Corporaal, A., Pik, W., 1998: Indicatorsoorten voor waterstandsregime, zuurgraad en voedselrijkdom in boezemlanden. Basisrapport. Kiwa-rapport SWE 86.002. Kiwa N.V. Onderzoek en Advies, Nieuwegein
- Aggenbach, C.J.S., Jansen, A.J.M., 1993: Hydrologische en hydro-ecologische systeemanalyse op lokale schaal: een casestudie van Stroothuizen (Twente). In: A.J.M. Jansen (red.): Van hydrologische ingreep naar ecologische effectvoorspelling. KIWA-mededeling nr. 122, KIWA N.V., Nieuwegein. p.151-168
- Aggenbach, C.J.S., Jansen, A.J.M., Pik, W., Senden, W.J.M.K., 1995: Onderzoek naar de gewenste grond- en oppervlaktewatersituatie in de hydrologisch gevoelige natuurgebieden in de provincie Limburg. resultaten. Kiwa-rapport KOA-95.052, Kiwa N.V., Nieuwegein
- Aggenbach, C.J.S., Jalink, M.H., 1998: Indicatorsoorten 4: Hoogvenen. Indicatorsoorten voor verdroging en eutrofiëring van plantengemeenschappen in hoogvenen. Veldversie. Staatsbosbeheer i.s.m. VEWIN, IKC-Natuurbeheer en Kiwa. Driebergen
- Aggenbach, C.J.S., Jalink, M.H., Jansen, A.J.M., 1998: Indicatorsoorten 5: Vennen. Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring van plantengemeenschappen in vennen. Uitgave Staatsbosbeheer i.s.m. VEWIN, IKC-Natuurbeheer en Kiwa. Driebergen
- Aggenbach, C.J.S., Jalink, M.H., Jansen, A.J.M., Boschinga, van, W., 1998: De gewenste grondwatersituatie voor terrestrische vegetatietypen van Pleistoceen Nederland. NOV rapport 3-1/Kiwa-rapport SWE 98.011, Kiwa N.V., Nieuwegein/RIZA, Lelystad
- Aggenbach, C.J.S., Senden, W.J.M.K., 1998: Monitoring verdrogingsprojecten Limburg. Monitoringsysteem de Kleine Moost. Kiwa-rapport KOA-97.119, Kiwa N.V., Nieuwegein
- Baaijens, G.J., 2001: Goed kijken kan nooit kwaad. Over nepme anders en ander ongerief. Kenmerken 8, p.8-11

- Bakker, de, H., Schelling, J., 1976: Cursus Bodemkunde. Deel 1: Algemene bodemkunde. Consultantschap voor bodemaangelegenheden in de landbouw, Wageningen. 297 pp.
- Bakker, T.W.M., Klijn, J., Zadelhof, van, E., 1981: Duinen en duinvalleien. TNO, Delft
- Beek, van, C.G.E.M., 1997: Hardheid van onttrokken grondwater: processen, prognoses en preventie. H2O 30:7 p.228-231
- Beek, C.G.E.M. van, Jalink, M.H., Meuleman, A.F.M., 2001: De verzwaveling van grondwater in zandgronden. Landschap 18:4 p.263-272
- Beltman, B., Grootjans, A.P., 1986: Distribution of nutrient poor plant communities in relation to the groundwater regime and nutrient availability. CHO-TNO proceedings and information 34 p.59-79
- Beusekom, van, C.F., Farjon, J.M.J., Foekema, F., Lammers, B., Molenaar, de, J.G., Zeeman, W.P.C., 1990: Handboek Grondwaterbeheer voor natuur, Bos en Landschap. Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap, Driebergen. 187 pp.
- Blokland, K.A., Kleiberg, R.J.M. (red.), 1997: De gewenste grondwatersituatie voor terrestrische natuurdoelen. Holoceen Nederland. NOV rapport 3-2. Stowa-rapport 97-16. Lelystad
- Boeye, D., 1990: De Belgische Kempen; Mineralenrijke kanalen door een voedselarm gebied. Landschap 7/1 p.33-43
- Boeye, D., 1992: Hydrologie, hydrochemie en ecologie van een grondwaterafhankelijk veen. Proefschrift U.v. Antwerpen
- Bot, A.P., 1996: Maatregelen tegen verdroging. Een globale voorselectie van alternatieven. NOV-rapport
- Croese, T.H.M., Jansen, A.J.M., 1993: "Voltherbroek". Vegetatie en ecohydrologie. KIWA-rapport SWO 93.241, tekstdeel + bijlagendeel. KIWA N.V., Nieuwegein
- Diggelen, van, R., Grootjans, A.P., Wierda, A., 1995: Hydro-ecological Landscape Analysis: A Tool for Wetland Restoration. Z.f. Kulturtechnik und Landentwicklung 36, p.125-131
- Diggelen, van, R., 1998: Moving gradients. Assessing restoration prospects of degraded brook valleys. Proefschrift R.U. Groningen
- Eijsink, A.Th. W., Jansen, A.J.M., 1993: Punthuizen, een Twents blauwgrasland. In: Weeda, E. (red.): Blauwgraslanden in Twente: Schatkamers van het natuurbehoud. WM 209, KNNV, Utrecht. p.50-64
- Ek, van, R., Klijn, F., Runhaar, H., Stuurman, R., Tamis, W., Reckman, J., 1997: Gewenste Grondwatersituatie Noord-Brabant. Deelrapport 1: Methode-ontwikkeling voor het bepalen van de optimale grondwatersituatie voor de sector natuur. RIZA-rapport 98.027, Lelystad
- Everts, F.H., Grootjans, A.P., Vries, de, N.P.J., 1984: Vegetatiekartering van de Drentse Aa. Rapport Laaglandbekenproject nr.5 Staatsbosbeheer/Rijksuniversiteit Groningen
- Everts, F.H., Grootjans, A.P., Vries, de, N.P.J., 1986: Vegetatiekunde: leidraad of struikelblok in hydro-oecologisch onderzoek. Landschap 3:4 p.306-318
- Everts, F.H., van der Wal, B., Jalink, M.H. m.m.v. Jansen, A.J.M., Haarman, F.G., 1995: Lokale anti-verdrogingsmaatregelen in het GMN-hoofdgebied Oostflank Gooi (15). Rapport SWO-94.288, Kiwa N.V., Nieuwegein/ IWACO B.V., Rotterdam
- Everts, F.H., van der Wal, B., Jalink, M.H. m.m.v. Jansen, A.J.M., Haarman, F.G., 1995: Lokale anti-verdrogingsmaatregelen in het GMN-hoofdgebied Vollenbeek (24). Rapport SWO-94.290, Kiwa N.V., Nieuwegein/ IWACO B.V., Rotterdam
- Everts, F.H., van der Wal, B., Jalink, M.H. m.m.v. Jansen, A.J.M., Haarman, F.G., 1995: Lokale anti-verdrogingsmaatregelen in het GMN-hoofdgebied Noordelijke Vallei Zwartebeek (20). Rapport SWO-94.289, Kiwa N.V., Nieuwegein/ IWACO B.V., Rotterdam
- Everts, F.H., Vries, de, N.P.J., 1987: Landschapsoecologisch onderzoek "Roden-Norg". Mededelingen Landinrichtingsdienst nr.169/ Bureau van der Wal en Langbroek 166 pp. + bijlagen
- Everts, F.H., Vries, de, N.P.J., 1991: De vegetatieontwikkeling van beekdalsystemen. Een landschapsoecologische analyse van enkele Drentse beekdalen. Proefschrift R.U. Groningen. Historische Uitgeverij Groningen, 222 pp.

- Everts, H.H., Grootjans, A.P., Vries, de, N.P.J., 1988: Distribution of marsh plants as guidelines for geohydrological research. Colloques phytosociologiques XVI: Phytosociologie et Pastoralisme. Paris. p.271-292
- Gerven, van, M.W., Jansen, A.J.M., Koerselman, W., 1994: Mogelijkheden voor behoud en herstel van natuurwaarden in de Moerputten. Kiwa-rapport SWO-94.319, Kiwa N.V., Nieuwegein
- Gerven, van, M.W., Jalink, M.H., Schot, J.A., Verdonschot, P.F.M., 1997: Maatregelen voor natuurherstel in het Springendal. Kiwa-rapport KOA 97.049, Kiwa N.V., Nieuwegein
- Grijpstra, J., Jalink, M.H., 2002: Ecohydrologische systeemanalyse pompstation Haaren. Lokale analyse van de Brand, Nemelaer Broek, Helvoirts Broek en andere natte natuurgebieden. KOA 01.101, Kiwa N.V. Nieuwegein
- Grijpstra, J., Hartog, G.den, Jansen, A.J.M., Veen, G.J. van der, 2002: Vernatting op maat in de provincie Utrecht. H2O 11-2002, p.31-33
- Grootjans, A., Zonneveld, T., Everts, H., Hiemstra, H., Jansen, A., 1987: Beekdalgradiënten in noord-Nederland. Een studie naar de relatie vegetatieverspreiding en geohydrologie in enkele noord-Nederlandse beekdalgedeelten. Laaglandbekenproject nr.12. Lab voor plantenoecologie R.U. Groningen. 64 pp.
- Grootjans, A.P., 1980: Distribution of plant communities along rivulets in relation to hydrology and management. O. Wilmanns und R. Tuxen (eds.): Ephemerie. Berichte über die internationalen Symposien der I.V.V. 1919. p.143-170
- Grootjans, A.P., 1985: Changes of groundwater regime in wet meadows. proefschrift R.U. Groningen
- Grootjans, A.P., 1985: De invloed van ingrepen in de waterhuishouding op de verspreiding van moeras- en hooilandplanten.. lab. voor plantenoecologie , Haren (Gn)
- Grootjans, A.P., Diggelen, van, R., Wassen, M., Wiersinga, W.A., 1988: The effects of drainage on groundwater quality and plant species distribution in stream valley meadows. Vegetatio 75 p.37-48
- Haarman, F.G., Jalink, M.H., Meeuwissen, B.A.M., Leerdam, van, A., Wal, van der, B.J., 1998: Goed Water Centraal. Basisrapport. Rapport. Kiwa N.V., Nieuwegein/Iwaco B.V. Den Bosch
- Hoed, den, M.A., 1985: De samenwerking tussen hydrologen en ecologen. Referaat voor de Hydrologische Kring. KIWA, Nieuwegein
- Hoek, van der, D., Braakhekke, W.G., 1997: Hydrologische maatregelen voor herstel van blauwgrasland in de Bennekomse Meent. De Levende Natuur 98:7
- Jalink, M., 1987: Veldrusvegetaties in enkele Friese beekdalen. Landschapsoecologie en syntaxonomie van vegetaties met een aspect van veldrus, *Juncus acutiflorus*. Reeks Laaglandbekenproject nr.13 Lab. voor plantenoecologie R.U. Groningen. 61 pp. + bijlagen
- Jalink, M.H., 1991: Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring in laagveenmoerassen. KIWA-rapport SWE-90.037, Nieuwegein.
- Jalink, M.H., 1994: Globale inschatting van de haalbaarheid van locale anti-verdrogingsmaatregelen voor de GMN-hoofdgebieden. Kiwa-rapport SWO-94.207, Kiwa, Nieuwegein
- Jalink, M.H., 1996: Indicatorsoorten 3: Laagveenmoerassen. Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring in laagveenmoerassen. Uitgave Staatsbosbeheer i.s.m. VEWIN, IKC-Natuurbeheer en Kiwa. Driebergen
- Jalink, M.H., Aggenbach, C.J.S., Schrama, E.J., Senden, W.J.M.K., 1995: Verdrogingsbestrijding en natuurherstel in de Binnenpolder van Terheijden en de Lage Vughtpolder. Fase I: Systeemanalyse; knelpunten en kansen. Kiwa-rapport KOA-95.048, Kiwa N.V., Nieuwegein
- Jalink, M.H., Jansen, A.J.M., 1989: Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring in grondwaterafhankelijke beekdalvegetaties. KIWA-rapport SWE-89.029 , Nieuwegein. 331 pp. + bijlagen
- Jalink, M.H., Jansen, A.J.M., 1995: Indicatorsoorten deel 2: Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring van grondwaterafhankelijke beekdalgemeenschappen. Uitgave Staatsbosbeheer i.s.m. VEWIN, IKC-Natuurbeheer en Kiwa. Driebergen

- Jalink, M.H., Jansen, A.J.M., Senden, W., Trappenburg, C., 1994: Pompstation dicht of sloot dempen? Brochure, Kiwa N.V., Nieuwegein
- Jalink, M.H., van der Wal, B., m.m.v. Pik, W., Croese, T.H.M., Haarman, F.G., 1995: Lokale anti-verdrogingsmaatregelen in de GMN-hoofdgebieden Heuvelrug-oost-infiltratie (8) en Heuvelrug-oost-kwel (9). Rapport SWO-94.291, Kiwa N.V., Nieuwegein/ IWACO B.V., Rotterdam
- Jalink, M.H., van der Wal, B., m.m.v. Pik, W., Jansen, A.J.M., Haarman, F.G., 1995: Lokale anti-verdrogingsmaatregelen in het GMN-hoofdgebied Zuidelijke Vallei (6). Rapport SWO-94.293, Kiwa N.V., Nieuwegein/ IWACO B.V., Rotterdam
- Jalink, M.H., van der Wal, B., m.m.v. Pik, W., Jansen, A.J.M., Haarman, F.G., 1995: Lokale anti-verdrogingsmaatregelen in het GMN-hoofdgebied Hierdense Beek (25). Rapport SWO-94.292, Kiwa N.V., Nieuwegein/ IWACO B.V., Rotterdam
- Jalink, M.H., 1997: Natuurherstel Den Opslag (onderdeel van het object Reuselbeemden). Systeemanalyse en inrichtingsplan. Kiwa-rapport KOA-97.095, Kiwa N.V., Nieuwegein
- Jalink, M.H., Schrama, E.J., Athmer, W.H.G.J., 1997: Winplaatsonderzoek Oirschot. Fase 3: Lokale systeemanalyse van het Beerzedal bij de Kampinase Heide. Kiwa-rapport KOA 97.074, Kiwa N.V., Nieuwegein
- Jalink, M.H., Schrama, E.J., Athmer, W.H.G.J., 1997: Winplaatsonderzoek Oirschot. Fase 3: Lokale systeemanalyse van het Helsbroek. Kiwa-rapport KOA 97.075, Kiwa N.V., Nieuwegein.
- Jalink, M.H., m.m.v. Jansen, A.J.M., Meuleman, A.F.M., 1996: Hydro-ecologie van veenweidegebieden. Voorstudie naar de rol van kwel en andere waterstromen bij het behoud van natte schraallanden. Kiwa-rapport SWE 95.012, Kiwa N.V., Nieuwegein
- Jalink, M.H., Meeuwissen, B.A.M., 1998: Verdroging: de oplossingen liggen klaar. H2O 31:13 p.30-33
- Jalink, M.H., Jansen, A.J.M., Straatman, R., Broers, E., 2000: Van diepe naar ondiepe kwel. H2O 33:4 p.20-22
- Jalink, M.H., Boschinga, van, W., 2000: Winplaatsonderzoek Lieshout. Lokale systeemanalyse natuurgebieden. KOA 99.224, Kiwa N.V., Nieuwegein
- Jalink, M.H., Beek, van, C.G.E.M., 2000: Lithoclien grondwater in Noord-Brabantse natuurgebieden. Herkomst, processen en kenmerken. Rapport BTO 2000.101(c), Kiwa N.V. Nieuwegein
- Jalink, M.H., Aggenbach, C.J.S., Beek, van, C.G.E.M., Jansen, A.J.M., Schrama, E.J., Senden, W.J.M.K., 2001: Hydro-ecologische systeemtypen in Noord-Brabant. Kiwa-rapport BTO-2000.102(c), Nieuwegein
- Jalink, M.H., Beemster, J., Grijpstra, J., Baggelaar, P.K., 2002: Ecohydrologische systeemanalyse Haaren: Eindrapport. KOA 01.102, Kiwa N.V., Nieuwegein
- Jalink, M.H., Hummelen, A.M., m.m.v. Verstraelen, J., Eck, M., Leunk, I., 2002: Systeemanalyse Budel. Regionale geohydrologische systeemanalyse en lokale ecohydrologische systeemanalyse van de natuurgebieden Boulderbroek, Risten en Cranendonckse Bosch. KOA 01.107, Kiwa n.v. Nieuwegein
- Jalink, M.H., Grijpstra, J., 2003: Ecosysteemvisie zuidelijke bron- en bovenloopgebieden van het Kempens plateau. Deel 3: Ecohydrologische systeemanalyse. Kiwa-rapport KWR 03.026. Kiwa N.V., Nieuwegein
- Jansen, A.J.M., 1991: Het speurwerkproject ecologische aspecten van grondwaterwinning; een tussenstand. In: Maas, C. e.a., 1991: Waterwinning en verdroging. KIWA-mededeling nr. 115. p.68-101
- Jansen, A.J.M., 1996: Hydro-ecologische analyse van Punthuizen (Noordoost-Twente). Kiwa-rapport SWI-96.128, Nieuwegein
- Jansen, A.J.M., 1996: Effectgerichte maatregelen tegen verzuring in de natte schraallanden Lemselermatem, Middelduinen en Reggers-Sandersvlak. Eindrapportage fase 1 monitoring. Kiwa-rapport KOA 96.083, Nieuwegein
- Jansen, A.J.M., Eijsink, A.Th.W., Grootjans, A.P., Lammers, E.J., Sival, F.P., 1993: Zijn hydrologische ingrepen noodzakelijk voor het herstel van verzuurde natte schraallanden? In: M. Cals, M. de Graaf en J. Roelofs (red.): Effectgerichte maatregelen tegen verzuring en eutrofiëring in natuurterreinen. K.U. Nijmegen, vakgroep Oecologie. p.63-96

- Jansen, A.J.M., Hoogendoorn, J.H., 1993: Hydro-ecologie van vijf NB-wet-terreinen op het landgoed Twickel (Overijssel). KIWA-rapport SWO-93.214, Nieuwegein
- Jansen, A.J.M., Maas, C., 1993: Ecohydrological processes in almost flat wetlands. *Engineering Hydrology* 1993 p.150-155
- Jansen, A.J.M., Roelofs, J.G.M., 1996: Restoration of *Cirsio-Molinietum* wet meadows by sod cutting. *Ecological Engineering* 7 p.279-298
- Jansen, A.J.M., m.m.v. Barendregt, A., Beltman, B., Grootjans, A.P., Hoek, van der, D., Kemmers, R.H., Wirdum, van, G., 1997: Natte schraallanden en het Overlevingsplan Bos en Natuur. Evaluatie van zes jaar monitoring en onderzoek in beekdalen, laagvenen en natte duinvalleien. Kiwa-rapport KOA 97.047, Kiwa N.V., Nieuwegein
- Jansen, A.J.M., Schipper, P.C., Opstal, van, S., 1997: Het herstel van natte schraallanden. *De Levende Natuur* 98:7
- Jansen, A.J.M., Schipper, P.C., 1997: Van calciumarme en -rijke en van lokale en regionale systemen. *De Levende Natuur* 98:7
- Jansen, A.J.M., Schipper, P.C., 1997: Tips voor herstel van natte schraallanden. *De Levende Natuur* 98:7
- Jansen, A.J.M., Grootjans, A.P., Jalink, M.H., 2000: Hydrology of Dutch *Cirsio-Molinietum* meadows: prospects for restoration. *Applied Vegetation Science* 3:51-64
- Jansen, A.J.M., 2000: Hydrology and restoration of wet heathland and fen meadow communities. Proefschrift, Universiteit Groningen
- Jansen, A.J.M., Grootjans, A.P., Jalink, M.H., 2000: Hydrology of Dutch *Cirsio-Molinietum* meadows: prospects for restoration. Chapter 2 in: A.J.M. Jansen: Hydrology and restoration of wet heathland and fen meadow communities. Proefschrift Universiteit Groningen
- Jansen, A.J.M., Fresco, L.F.M., Grootjans, A.P., Jalink, M.H., 2000: Effects of restoration measures on plant communities of wet heathland ecosystems. Chapter 6 in: A.J.M. Jansen: Hydrology and restoration of wet heathland and fen meadow communities. Proefschrift Universiteit Groningen
- Jansen, P.C., Kemmers, R.H., 1995: Ecohydrologisch onderzoek in het natuureservaat "Het Meeuwenkampje". SC-DLO rapport 398, Wageningen
- Jansen, P.C., Kemmers, R.H., 1980: Relaties tussen hydrologische parameters en enkele vegetatietypen van het C.R.M.-reservaat "Groot Zandbrink". ICW-nota 1180 Wageningen
- Jansen, P.C., Kemmers, R.H., 1982: Aanvullingen betreffende de hydrologie van het CRM-reservaat 'Groot Zandbrink'. ICW-nota 1326 (vervolg op 1180) Wageningen 33 pp. + bijlagen
- Kap, A. (red.), Deijl, van, G.A., Hettinga, F.A.M., Jalink, M.H., 1992: Systeemanalyse Nijmegen en omgeving. Fase 1: Inventarisatie voor het systeem. KIWA-rapport SWO 91.243, Nieuwegein. Tekstrapport + bijlagen
- Kemmers, R.H., Jansen, P.C., 1980: Half-natuurlijke vegetaties in relatie tot waterhuishouding en waterkwaliteit. *Tijdschrift Kon. Ned. Heidemij* 91:10 p.406-411.
- Kemmers, R.H., Jansen, P.C., 1980: De invloed van chemische factoren in grondwater en bodem op enkele vegetatietypen in het C.R.M.-reservaat "Groot Zandbrink". Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen, Nota 1181-l. 37 pp.
- Kemmers, R.H., Jansen, P.C., Delft, S.P.J. van, 2000: De regulatie van de basentoestand in kwelafhankelijke schraalgraslanden en laagvenen. Rapport EC-LNV, Wageningen
- Kemmers, R.H., Jansen, P.C., Delft, S.P.J. van, Vries, F.de, 2002: Bloedarmoede in het Nederlandse landschap. Ontijzering van kwelgevoede gronden binnen de EHS en realisatie van natuurdoeltypen. Alterra-rapport 370, Wageningen
- Kiwa, 2000: Ecologische potenties Oost-Veluwe. Methode voor het aanwijzen van kansrijke gebieden bij verdrogingsbestrijding. Kiwa-rapport SWI 99.238, Nieuwegein
- Koerselman, W., Meuleman, A.F.M., 1996: Ecohydrologische effectvoorspelling Duinen. Samenvatting van het werkdocument 'Trofie'. Kiwa-rapport SWI 96.161, Kiwa N.V., Nieuwegein

- Lamers, L.P.M., 2001: Tackling biogeochemical questions in peatlands. Thesis, Katholieke Universiteit Nijmegen
- Lekahena, E.G., 1972: Grondwaterkaart van Nederland - schaal 1:50.000. Kaartbladen 51 Oost (Eindhoven) en 52 West (Venlo). Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft
- Lucassen, E., Crommenacker, J. van de, Peters, R., Roelofs, J., 2002: Anti-verdrogingsmaatregelen en vegetatieherstel in Elzenbroekbossen. Natuurhistorisch maandblad 91 p.37-41
- Mars, de, H., 1996: Chemical and physical dynamics of fen hydro-ecology. Proefschrift R.U. Utrecht
- Meeuwissen, B.A.J. (red.), Brorens, B.A.H.V., Croese, T.H.M., Hemel, van, C.M., Jalink, M.H., Molenaar, W.J., Pik, W., Slot, A.F.M., Wal, van der, B.J., 1998: Goed Water Centraal. Anti-verdrogingsonderzoek cluster zuidelijke vallei (III). Rapport. IWACO BV/Kiwa N.V. Den Bosch/Nieuwegein
- Meeuwissen, B.A.J. (red.), Brorens, B.A.H.V., Croese, T.H.M., Hemel, van, C.M., Jalink, M.H., Molenaar, W.J., Pik, W., Slot, A.F.M., Wal, van der, B.J., 1998: Goed Water Centraal. Anti-verdrogingsonderzoek cluster flanken Heuvelrug (II). Rapport. IWACO BV/Kiwa N.V. Den Bosch/Nieuwegein
- Meuleman, A.F.M., Kloosterman, R.A., Koerselman, W., Besten, den, M., Jansen, A.J.M., 1996: NICHE: een nieuw instrument voor hydro-ecologische effectvoorspelling. H2O 29:5 p.137-139
- Molenaar, W.J., Aggenbach, C.J.S., Jansen, A.J.M., Senden, W.J.M.K., 1996: Monitoring verdrogingsprojecten Limburg. Monitoringsysteem de Groote Moost. Kiwa-rapport KOA-96.044, Kiwa N.V., Nieuwegein
- Munckhoff, P.J.J. van, 2000: Glauconiethoudende afzettingen in de Peelregio. Een ijzersterke basis voor behoud en ontwikkeling van voedselarme natte milieus. Natuurhistorisch Maandblad 89, p.43-52
- Nuis, C., 2001: Herstel van natte schraallanden bij Staatsbosbeheer. Rapport Staatsbosbeheer
- Olde Venterink, H., Pieterse, N., Vliet, van der, N., 1999: Eutrofiëring van beekdalhooilanden en de bijdrage van vervuild grondwater. Landschap 99:3 p.191-206
- Olde Venterink, H., 2000: Nitrogen, phosphorus and potassium flows controlling plant productivity and species richness. Proefschrift, Universiteit Utrecht
- Projectgroep Goed Water Centraal, 1998: Eindrapport Goed Water Centraal. Hoofdlijnen voor maatwerk. Provincie Flevoland
- Rossenaar, A.J.G.A., Streefkerk, J.G., 1997: Herstel van een Pleistoceen blauwgrasland: Stelkampsveld. De Levende Natuur 98, p.266-272
- Runhaar, J., 1999: Impact of hydrological changes on nature conservation areas in the Netherlands. Proefschrift, Universiteit Leiden
- Runhaar, H., Maas, C., Meuleman, A.F.M., Zonneveld, L.M.L., 2000: Herstel van natte en vochtige ecosystemen. Handboek. NOV-rapport 9-2, RIZA
- Schaminee, J.H.J., Weeda, E.J., Westhoff, V., 1995: De vegetatie van Nederland 2: wateren, moerassen en natte heiden. Uppsala/Leiden
- Schaminee, J.H.J., Stortelder, A.H.F., Weeda, E., 1996: De vegetatie van Nederland. Deel 3. Plantengemeenschappen van graslanden, zomen en droge heiden. Uppsala/Leiden
- Schrama, E.J., Everts, F.H., Jalink, M.H., 2001: Gebiedsgerichte Bestrijding Verdroging Liesbos. Systemanalyse, knelpunten en maatregelen. Rapport KOA 00.080, Kiwa/Everts en de Vries, Nieuwegein
- Schrama, E.J., Everts, F.H., Jalink, M.H., 2001: Gebiedsgerichte Bestrijding Verdroging Voorbos en Broekloop Systemanalyse, knelpunten en maatregelen. Rapport KOA 00.081, Kiwa/Everts en de Vries, Nieuwegein
- Stuurman, R.J., Runhaar, H., Foppen, J.W., Waal, de, R., 1998: Ecohydrologische systeembeschrijving in het veengebied ten noorden van de Brabantse Wal. TNO/SC-DLO-rapport NITG-98-77-B. Rijswijk
- Stuurman, R.J., Louw, P. de, Buma, J., Runhaar, H., Maas, G., Geujen, C., Graafsma, Y., Nijhof, B., Lourens, A., 2002: Beleids Meetnet Verdroging provincie Noord-Brabant. TNO-rapport; Provincie Noord-Brabant, Den Bosch

- Stuyfzand, P.J., 1993: Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the western Netherlands. Proefschrift V.U. Amsterdam. KIWA N.V., Nieuwegein
- Toth, J., 1963: A theoretical analysis of ground water flow in small drainage basins. J. Geophys. Res. 68, p.1171-1177
- Vegter, U., Aggenbach, C.J.S., 1991: De hydro-ecologie van het dal van de Zwarte Beek (België). Stratiotes 1:2 p.9-26
- Vries, de, H., 1984: Landschapsoecologie van de Tjonger. Vegetatie en hydrologie "Katlijker Schar" en "Tjongerdellen". Laaglandbekenproject nr. It Fryske Gea/-R.U.Groningen
- Wamelink, W., Runhaar, H., 2001: Abiotische randvoorwaarden voor natuurdoeltypen. Alterra-rapport 181, Wageningen
- Wassen, M.J., 1990: Water flow as a major landscape ecological factor in fen development. Proefschrift. R.U. Utrecht
- Wassen, M., 1996: Nat, eutroof en helder. Hydro-ecologie van een nagenoeg natuurlijke overstromingsvlakte. Landschap 13:2 p.193-206
- Wirdum, van, G., 1979: Ecoterminologie en grondwaterregime. W.L.O.-mededelingen 6:3 p.19-24
- Wirdum, van, G., 1991: Vegetation and hydrology of floating rich-fens. Proefschrift, U.v. Amsterdam. Datawyse, Maastricht
- Wolejwko, L., Aggenbach, C., Diggelen, van, R., Grootjans, A.P., 1994: Vegetation and hydrology in a spring mire complex in Western Pomerania, Poland. Proc. Kon. Ned. Akad. v. Wetensch. 97:2 p.219-245
- Zuidhoff, A., Jalink, M., Jansen, A., Witte, F., Schrama, A., Baggelaar, P., 2002: Nationaal Meetnet Verdroging. Ontwerp op hoofdlijnen en eerste tranche meetpunten. Rapport KOA 01.097, Kiwa N.V., Nieuwegein