

Ecohydrologische systeemanalyse van Rome (Midden-Opsterland)

A&W-rapport 1924



in opdracht van

provinsje fryslân
provincie fryslân 

Ecohydrologische systeemanalyse van Rome (Midden-Opsterland)

A&W-rapport 1924

Jasper van Belle

Foto Voorplaat

Bodemprofiel met een bandje beekleem op de overgang van zand naar veen, foto A&W

Jasper van Belle 2014

Ecohydrologische systeemanalyse van Rome (Midden-Opsterland). A&W-rapport 1924.

Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden.

Opdrachtgever**Provinsje Fryslan**

Postbus 20120

8900 HM Leeuwarden

Telefoon 058 29 25 925

Uitvoerder**Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek bv**

Postbus 32

9269 ZR Feanwâlden

Telefoon 0511 47 47 64

Fax 0511 47 27 40

info@altwym.nl

www.altwym.nl

Projectnummer

1917wtr

Projectleider

E. Oosterveld

Status

Eindrapport

Autorisatie

Goedgekeurd

Paraaf

M. Brongers

**Datum**

18 augustus 2014

Kwaliteitscontrole

E.B. Oosterveld

Inhoud

1	Inleiding en doel	1
1.1	Inleiding	1
1.2	Doel van dit onderzoek	1
2	Gebiedsbeschrijving	3
2.1	Ligging en korte karakteristiek	3
2.2	Herinrichting 2004 – 2005	5
2.3	Vegetatieontwikkeling in 2005 – 2009	6
3	Onderzoeksopzet	9
3.1	Aanpak	9
3.2	Het weer tijdens en voorafgaand aan de onderzoekperiode	9
3.3	Methoden	9
4	Hydrologische systeemanalyse	15
4.1	Grondwatersystemen	15
4.2	Grondwatertypering	23
4.3	EGV-temperatuurprofielen	26
4.4	Aanvullende EGV-metingen in 2013	32
4.5	Conclusies over de hydrologie van Rome	33
5	Pyrietoxidatie?	37
5.1	Bodemdaling, pyrietoxidatie en verzuring	37
5.2	De bodem-pH in 2012	38
5.3	Aanvullende metingen in 2013	40
5.4	Conclusies over pyrietoxidatie	44
6	Probleemidentificatie en oplossingsrichtingen	47
6.1	Synthese van dit onderzoek	47
6.2	Oorzaken van de knelpunten	48
6.3	Oplossingen binnen Rome	50
6.4	Oplossingen in de omgeving	51
7	Literatuur	53
	<i>Bijlage 1 Peilbuisinformatie</i>	55
	<i>Bijlage 2 Regressieanalyse van stijghoogtedaling</i>	57
	<i>Bijlage 3 Kweldruk in de overstromingsvlakte en de blauwgraslanden</i>	59
	<i>Bijlage 4 Grondwatersamenstelling</i>	61

1 Inleiding en doel

1.1 Inleiding

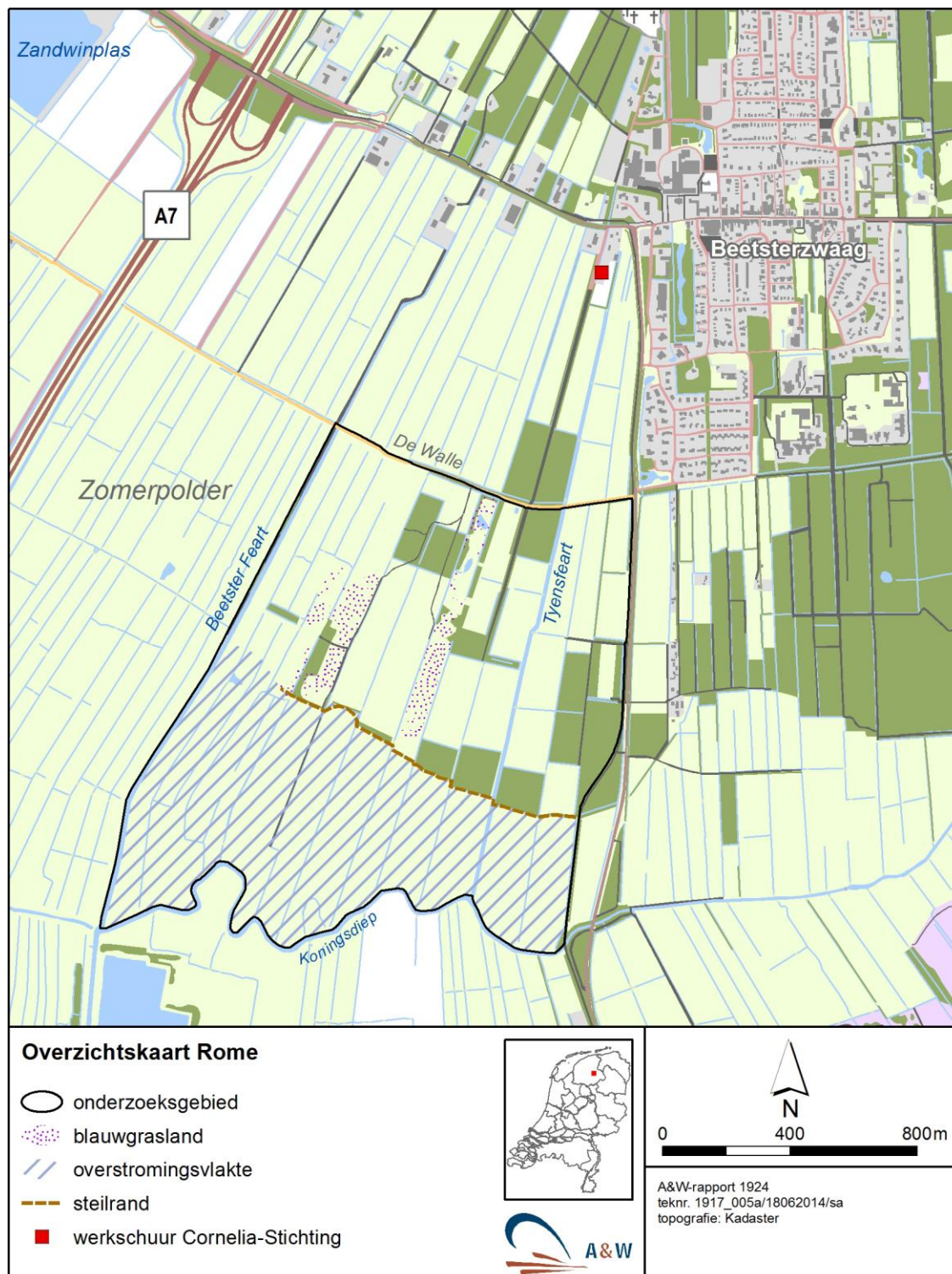
Ten zuidwesten van Beetsterzwaag ligt het natuurgebied Rome op de flank van het beekdal en in de overstromingsvlakte van het Koningsdiep (figuur 1.1). In 2013 is Rome, als onderdeel van het Natura 2000-gebied Van Oordt's Mersken, aangewezen als Vogelrichtlijngebied en op de hogere delen ook als Habitatrichtlijngebied. Op de hogere delen zijn soortenrijke schraallanden aanwezig en in de overstromingsvlakte bestaat de vegetatie uit dotterbloemhooilanden en grote zeggenvegetaties.

In Rome treden twee ongunstige ontwikkelingen op in het beheer en de ontwikkeling van de graslanden. Het eerste is dat de schraallanden geleidelijk lijken te verdrogen. Het tweede knelpunt is dat komvormige percelen de vegetatie in de overstromingsvlakte steeds dieper komen te liggen. Hierdoor ontstaan soortenarme, schaars begroeide laagten met daarin een grotendeels onbegroeide veenbodem (van Belle & Brongers 2013). Het ontstaan van deze kommen duidt op bodemdaling via oxidatie van veen, maar het grotendeels afwezig zijn van begroeiing in de kommen duidt er op dat meer aan de hand is dan alleen oxidatie van veen door ontwatering. Oxidatie van ijzer-zwavelcomplexen in de bodem (pyriet-oxidatie *s.l.*) speelt hierbij mogelijk een rol.

Om deze ontwikkelingen te kunnen keren is inzicht vereist in het ecohydrologische systeem van Rome en in de oorzaak van het ontstaan van de schaars begroeide kommen. Aan de hand van deze informatie kunnen vervolgens maatregelen worden geformuleerd. In april 2012 heeft de Provincie Fryslân aan ecologisch onderzoeksbureau Altenburg & Wymenga opdracht verleend het hiervoor benodigde onderzoek uit te voeren. Van dat onderzoek wordt in dit rapport verslag gedaan.

1.2 Doel van dit onderzoek

Het doel van dit onderzoek is de oorzaken van de geconstateerde ongewenste ontwikkelingen te achterhalen. Op basis van dit inzicht wordt vervolgens bekeken in welke richting oplossingen gezocht kunnen worden. Deze oplossingsrichtingen kunnen worden uitgewerkt in een vervolgstudie.



Figuur 1.1 Ligging van het studiegebied en toponiemen.

2 Gebiedsbeschrijving

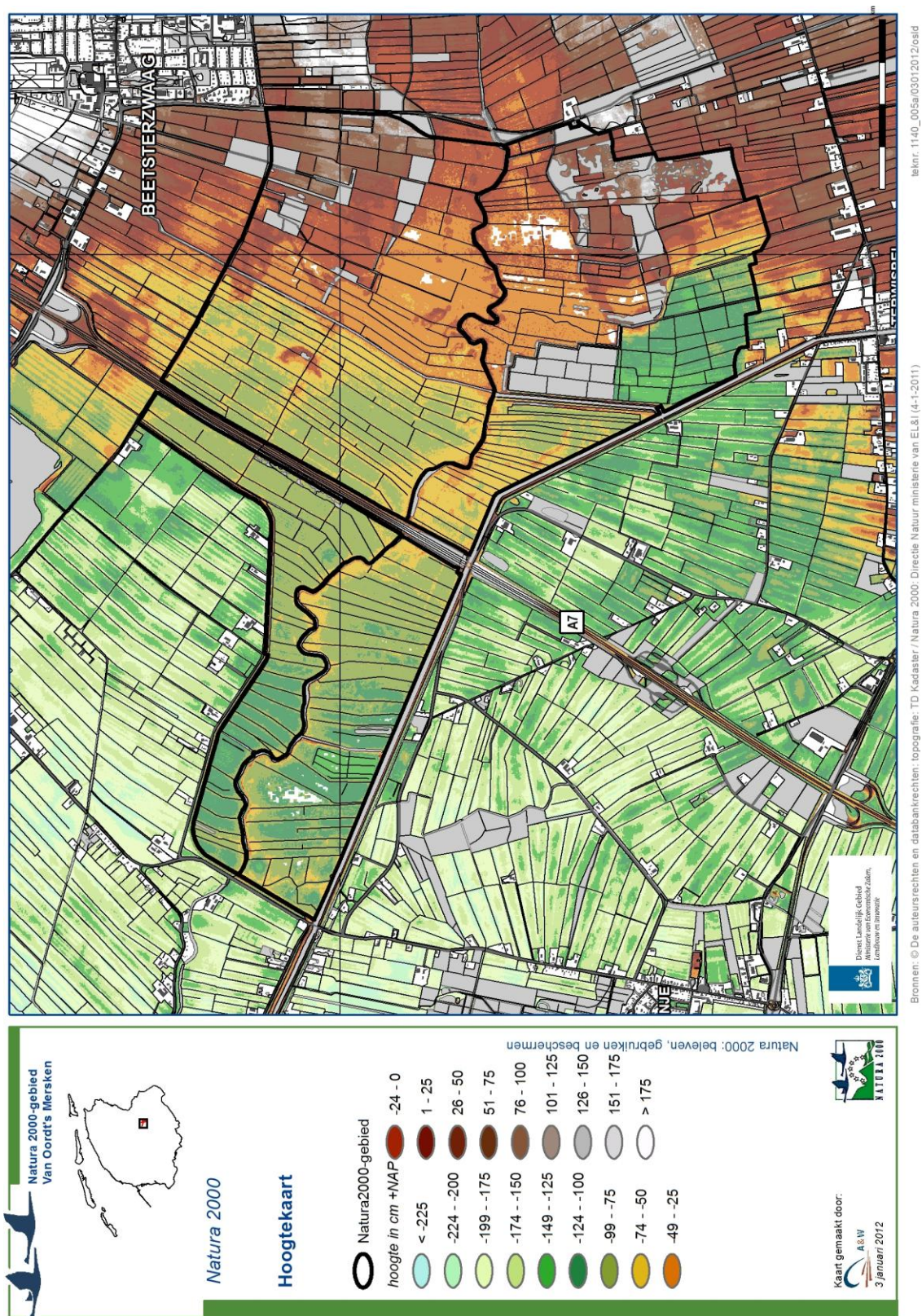
2.1 Ligging en korte karakteristiek

Rome ligt op de overgang van de hoger gelegen zandgronden van het Drents Plateau naar de lager liggende veengronden in het midden van Friesland (figuur 2.1). In Rome varieert de maaiveldhoogte tussen ca. -0,4 en +1,2 m NAP. Het gebied is onderdeel van het Natura 2000-gebied Van Oordt's Mersken, dat naar het zuidwesten-, westen- en noordwesten grenst aan uitgeveende diepe polders, met een aanzienlijk lager maaiveld (ca. -1,3 tot -1,9 m NAP). Het verschil in maaiveld bedraagt dus ca. 1,5 tot 2,5 m NAP. De waterstanden verschillen nog iets meer tussen Rome en de diepe polders: Rome water vrij af op de boezem, wat neerkomt op een waterstand op het boezempeil (-0,5 m NAP) of hoger. In de diepe polders variëren de streefpeilen tussen -2,1 en -3,1 m NAP. Het peilbeheer in de diepe polders heeft een sterke verlagende invloed op de stijghoogten van het diepere grondwater in Rome (zie bijvoorbeeld Schaeffer *et al.* 2007). Langs de westgrens van Rome en in het oosten van Rome lopen twee boezemvaarten: de Beetster Feart en de Teyensfeart (figuur 1.1). Deze beide vaarten zijn onderdeel van de Friese boezem (streefpeil -0,5 m NAP). Vooral de Tyensfeart snijdt diep in de bodem in, aangezien deze vaart de hoogste delen van Rome doorsnijdt.

In Rome gaat de middenloop van het Koningsdiep over in de benedenloop. Hierdoor is de overstromingsvlakte ten noorden van de beek vrij breed, namelijk zo'n 500 tot 800 m. In de overstromingsvlakte bestaat de bodem grotendeels uit een vrij dunne (< 1 m) laag veen op zand. Op de overgang van veen naar zand is op veel plaatsen een dun kleilaagje aanwezig (bodemboringen voor dit rapport). Dieper in de ondergrond is op veel plaatsen een laag keileem aanwezig, die in de voorlaatste ijstijd is afgezet onder het landijs. Deze keileemlaag is slecht waterdoorlatend en heeft daardoor veel invloed op de hydrologie. Verder ligt in de overstromingsvlakte een zandige rug, wat waarschijnlijk een restant van een oude beekmeander is. De overstromingsvlakte is grotendeels begroeid met zeggenrijke dotterbloemhooilandvegetaties en grote zeggenvegetaties. In deze vegetaties komt ondermeer de vrij zeldzame en in Nederland tot het noorden beperkte Noordse zegge (*Carex aquatilis*) voor.

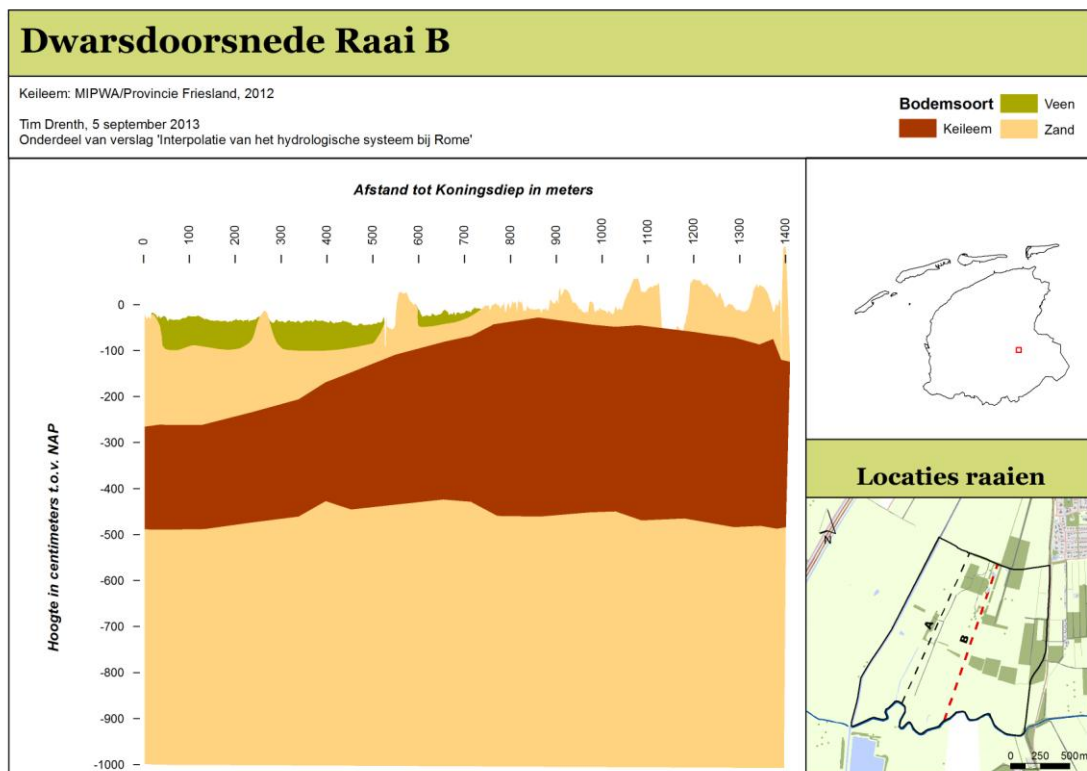
's Winters inundeert de overstromingsvlakte af en toe vanuit de beek, maar dit is in de loop van de 20^e eeuw aanzienlijk minder geworden. De oorzaken hiervan liggen in het aftakken van de middenloop van het Koningsdiep, waardoor de piekstromen in de beek zijn afgetopt, en het steeds strakkere peilbeheer in de Friese boezem. Vooral de afsluiting van de Lauwerszee in 1969 heeft de overstromingsfrequentie en –duur flink beperkt (*cf.* Claassen 2008). Ter hoogte van Rome is het Koningsdiep onderdeel van de Friese boezem en tegenwoordig overstroomt het Koningsdiep vooral nog als noordwestenwind het water opstuwt in de Friese boezem.

Waar de overstromingsvlakte over gaat in de beekdalflank wordt het maaiveld abrupt ca. 50 cm hoger. Ten noorden van deze 'steilrand' bestaat de bodem uit leemarm zand met een moerige laag of een podzolprofiel. Het zand ligt hier weer op een laag keileem, net als het geval is in de overstromingsvlakte. Op de zandgronden boven de steilrand zijn lokaal blauwgraslanden aanwezig (figuur 1.1). Hierin komen zeldzaamheden voor als Vlozegge (*Carex pulicaris*), Knotssegge (*Carex buxbaumii*) en Spaanse ruiter (*Cirsium dissectum*). In het noorden van Rome zijn ook heischrale graslanden aanwezig. De blauwgraslanden en heischrale graslanden zijn Natura 2000-habitattypen, zodat hiervoor een extra sterke beschermingsplicht geldt.



Figuur 2.1 Maaiveldhoogte in en rond Rome. Rome ligt in het noordoosten van het Natura 2000-gebied (Provincie Fryslân 2014).

Door het verschil in maaiveldhoogte in combinatie met de aanwezigheid van een keileemlaag in de ondergrond (zie bv. figuur 2.2), is in Rome naast het regionale grondwatersysteem ook een lokaal grondwatersysteem herkenbaar (Wymenga *et al.* 1995). Beide grondwatersystemen hebben waarschijnlijk invloed op de vegetatie, maar hoe groot de rol van beide systemen is en hoe dit varieert in de ruimte is niet in detail bekend. Boven de steilrand speelt in ieder geval een rol dat de keileem lokaal zeer ondiep ligt: ter plaatse van peilbuis AW1 zelfs maar 25 cm beneden het maaiveld. Op dergelijke plaatsen speelt in natte periodes stagnatie van infiltrerend water op de keileem een rol. Wymenga *et al.* (1995) hebben laten zien dat het oostelijke blauwgrasland, waarin peilbuis AW1 staat, wordt gevoed door een lokaal hydrologisch systeem dat ten minste deels wordt aangedreven door infiltratie op de hogere zandkoppen in Rome. In onderstaande dwarsdoorsnede over raai B (figuur 2.2) ligt het oostelijke schraalland globaal tussen 600 en 900 m van het Koningsdiep.



Figuur 2.2 Dwarsdoorsnede van Rome, vanaf het Koningsdiep tot aan de noordelijke grens (Drenth 2013). De keileemlaag in deze figuur is volgens MIPWA v2.1.

2.2 Herinrichting 2004 – 2005

In de jaren 2004 en 2005 zijn verschillende inrichtingswerkzaamheden uitgevoerd in Rome. Een deel van de werkzaamheden was er op gericht de beheerbaarheid te verbeteren, ondermeer door verbeterde ontsluiting. Daarnaast zijn maatregelen genomen ter versterking van de ecologie (Oosterveld & Wymenga 2002; Oosterveld & Altenburg 2003). Hierbij is het peil verhoogd in een smal peilvak direct ten noorden van Rome en is de sloot langs de Walle (figuur 1.1) verondiept. In Rome zelf zijn enkele percelen geplagd of is de bouwvoor verwijderd, om ruimte te bieden voor uitbreiding van schraallandvegetaties. Ook zijn in Rome sloten verondiept of gedempt, om zo het interne hydrologische systeem te versterken.

2.3 Vegetatieontwikkeling in 2005 – 2009

In de periode 2005 – 2009 is de vegetatieontwikkeling in Rome gemonitord, ondermeer om de effectiviteit van de herinrichtingen te kunnen beoordelen (van Belle & Brongers 2013). De vegetatieontwikkeling op de afgeplagde en ontgronde percelen vertoont een ontwikkeling richting schraallandvegetaties. De ontgrondingsmaatregelen zijn dus zeer effectief gebleken.

Boven de steilrand werd echter ook een toename geconstateerd van vegetaties met veel 'zure' soorten, en een afname van de grondwaterindicatoren Holpijp (*Equisetum fluviatile*) en Waterviolier (*Hottonia palustris*). De toename van zure soorten is vooral het gevolg van toegenomen regenwaterstagnatie, als gevolg van de verminderde ontwatering. Bij de achteruitgang van Waterviolier speelt mee dat ze vaak in sloten groeit, zodat de achteruitgang waarschijnlijk vooral duidt op verminderde afvang van grondwater in de verondiepte sloten. In mindere mate speelt dat ook een rol bij de achteruitgang van Holpijp. Beide grondwaterindicatoren zijn echter ook licht achteruit gegaan op locaties waar geen sloten zijn verondiept.

Ondanks dat de uitgevoerde maatregelen het lokale hydrologische systeem hebben versterkt, lijkt de invloed van dat lokale hydrologische systeem op de vegetatie dus te zijn afgenomen in de beschouwde periode. Eén mogelijke oorzaak hiervoor is een serie droge jaren, wat snel doorwerkt in een dergelijk lokaal systeem. Alternatief kan de oorzaak liggen in toegenomen drainage van het lokale hydrologische systeem door verlaging van de stijghoogte in het onderliggende regionale hydrologische systeem.

De verzwakking van het lokale hydrologische systeem kan doorwerken in de vegetatiesamenstelling van de schraallanden. In het oostelijke schraalland is de vegetatie tussen 2005 en 2009 niet veel veranderd, maar er zijn wel subtiele veranderingen: op de hogere delen lijkt een lichte verschuiving van blauwgrasland naar heischraal grasland te zijn opgetreden. Dat duidt op enige verdroging. In de lagere delen van dit perceel is in het blauwgrasland 10% bijmenging van zuur dotterbloemgrasland verschenen. Dat duidt op toename van de voedselbeschikbaarheid. Verder hebben zure kleine zeggenvegetaties zich enigszins uitgebreid, wat vooral het gevolg lijkt van regenwaterstagnatie. Deze subtiele veranderingen passen in het beeld van lichte verdroging door verminderde grondwaterinvloed, naast regenwaterstagnatie door verminderde ontwatering. In 2009 waren de veranderingen echter nog niet groot.

Het westelijke schraalland is aanzienlijk natter dan het oostelijke. Hier is de bijmenging van zure dotterbloemhooilandvegetaties in blauwgraslandvegetaties juist verminderd, of zijn deze deels veranderd in zure kleine zeggenvegetaties. Ook elders hebben zure kleine zeggenvegetaties zich iets uitgebreid. Op een zandrug zijn voedselrijkere graslanden veranderd in heischrale graslanden. Deze veranderingen duiden vooral op verschraling en op toename van de regenwaterstagnatie. De toename van regenwaterstagnatie lijkt vooral het gevolg te zijn van verminderde ontwatering door de sloten. Verdroging lijkt hier, gezien de trend van verschraling in plaats van vermessing, minder van invloed te zijn.

In de overstromingsvlakte bleken de 'echte' dotterbloemgraslanden met basenminnende soorten achteruit te zijn gegaan, terwijl grote zeggenvegetaties, vegetaties met veel zure soorten en slikkige laagten zich uitbreidden. Dit duidt op vernatting en verzuring. De vernatting lijkt het gevolg te zijn van maaiveldddaling. Door maaiveldddaling ontstaan komvormige percelen waarin water stagneert. Deels gaat dit om overstromingswater uit het Koningsdiep, maar 's zomers betreft het vooral regenwater. Maaiveldddaling is in veengebieden vaak het gevolg van

daling van de grondwaterstand. Verminderde grondwaterinvloed kwam niet tot uiting in de verspreiding van de grondwaterindicator Gewone dotterbloem (*Caltha palustris palustris*): die was weinig veranderd. Andere grondwaterindicatoren duiden echter wel op vermindering van de grondwaterinvloed: De Noordse zegge leek naar het oosten te zijn opgeschoven en Holpijp was achteruitgegaan in het westen van de overstromingsvlakte.

De toename van vegetaties met veel 'zure soorten' ging in het westen van de overstromingsvlakte gepaard met uitbreiding van laagten in komvormige percelen. In het oosten van de overstromingsvlakte speelt dit echter nauwelijks een rol. Daar heeft de toename van regenwaterstagnatie vooral te maken met het dempen van sloten: hierbij is zoveel bodemmateriaal in de sloten aangebracht, dat ze boven het omringende maaiveld uit zijn gaan steken. In afwezigheid van een drainagesysteem stagneert regenwater achter deze richels.

Al met al roept de vegetatieontwikkeling in de overstromingsvlakte de vraag op of de druk in het regionale grondwatersysteem is afgenomen?

3 Onderzoekopzet

3.1 Aanpak

Het onderzoek is als volgt opgebouwd:

1. Eerst brengen we de relevante hydrologische systemen in beeld. Dat doen we op basis van beschikbare informatie, waaronder hydrologische (model)studies;
2. Dan bepalen we de grondwaterdynamiek in deze systemen op basis van peilbuismetingen;
3. Vervolgens bepalen we de samenstelling van het grondwater in de verschillende hydrologische systemen. Laboratoriumanalyses geven informatie over de mineralenrijkdom van de verschillende typen grondwater en of met het grondwater ongewenste stoffen meekomen;
4. Nadat we het grondwater hebben getypeerd, bepalen we met behulp van een prikstok hoe de grondwaterinvloed in de overstromingsvlakte varieert in de ruimte. Dit doen we in twee meetraaien, waarbij de westelijke raai over een relatief sterk slecht ontwikkelend deel van de overstromingsvlakte ligt, terwijl de oostelijke raai over een relatief goed ontwikkelend deel van de overstromingsvlakte ligt;
5. Ten slotte onderzoeken we aan de hand van pH-bodemprofielen of er aanwijzingen zijn voor pyrietoxidatie in de kommen in de overstromingsvlakte.

3.2 Het weer tijdens en voorafgaand aan de onderzoekperiode

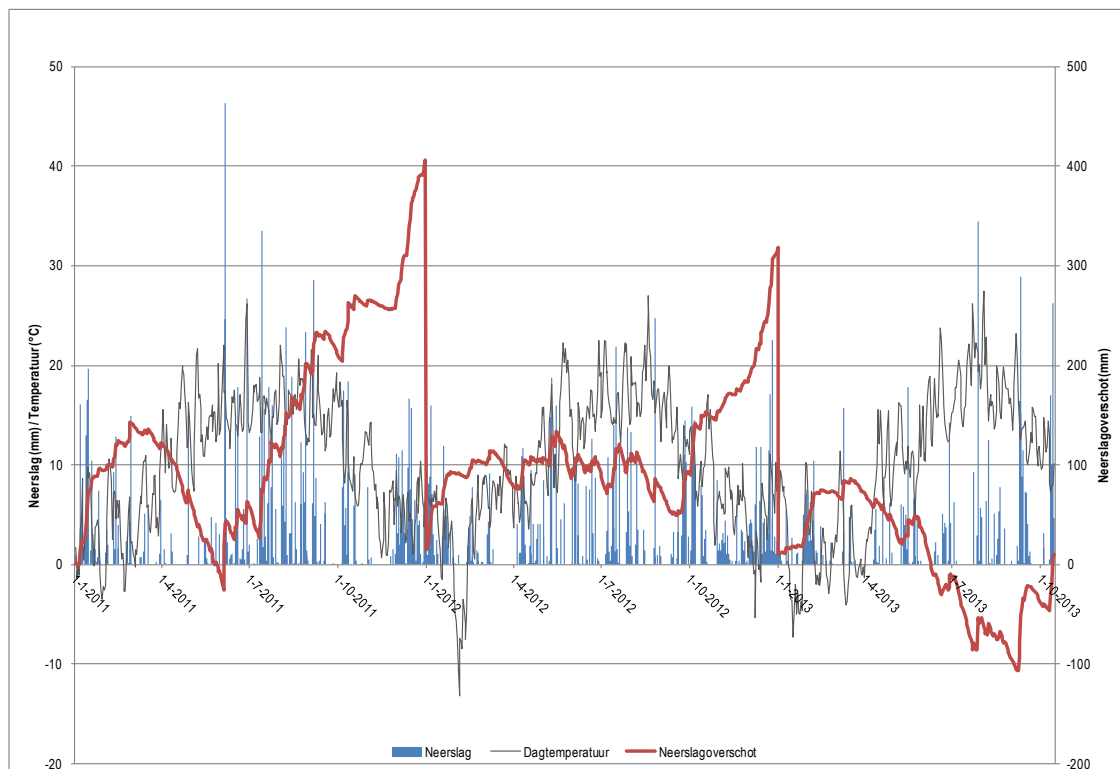
In figuur 3.1 is het weer in de omgeving van het onderzoeksgebied geschetst voor de periode voorafgaand aan en tijdens het onderzoek. De figuur is gebaseerd op waarnemingen van het KNMI in weerstation Deelen, ca. 10 km ten westen van het onderzoeksgebied. 2011 eindigde met een zeer nat najaar, waardoor begin januari 2012 overstromingen dreigden in Noord-Nederland. De overstromingsvlakte van Rome stond toen onder water. Na deze natte start volgden enkele droge maanden, waarna het vanaf april nat werd. Pas aan het einde van juli werd het weer wat droger, maar de gehele zomer van 2012 was sprake van een neerslagoverschot. Na een vrij droog en koel najaar ging 2013 van start met een koude en droge 1e helft van het voorjaar. In 2013 was de ontwikkeling van het neerslagoverschot dichterbij normaal en vanaf de tweede decade van juni was sprake van een neerslagtekort. De tweede helft van de zomer van 2013 was droog en warm, waardoor een fors neerslagtekort ontstond.

Door de natte start en het natte voorjaar van 2012 zijn veel metingen uitgevoerd in een uitzonderlijk nat jaar. Dit leidde er bijvoorbeeld toe dat de kommen in de overstromingsvlakte vrijwel de gehele zomer van 2012 onder water hebben gestaan. Daarom zijn in 2013 een aantal aanvullende metingen verricht, zodat toch een beeld kon worden verkregen van de situatie in een droog jaar.

3.3 Methoden

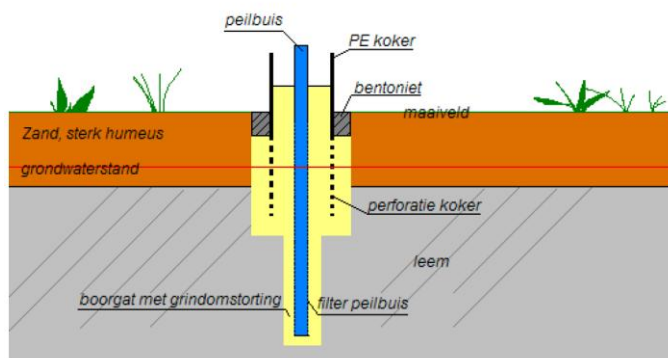
Grondwaterstanden en stijghoogtes

Grondwaterstanden en stijghoogtes zijn 1 keer per dag gemeten met Diver dataloggers (gerelateerd aan Baro divers). Voor het onderzoek maken we gebruik van peilbuizen uit het provinciale meetnet (putten B11D1940 en -1942), naast 3 (freatische) peilbuizen die we voor



Figuur 3.1 Ontwikkeling van de gemiddelde dagtemperatuur, de dagsom van de neerslag en het jaarlijkse neerslagoverschot, geregistreerd door weerstation Deelen (data: KNMI).

dit onderzoek hebben laten plaatsen (AW1 t/m 3). In de provinciale buizen wordt sinds 23 maart 2011 dagelijks om 6 uur 's ochtends de stijghoogte weggeschreven, deze meting loopt door als het hier beschreven onderzoek wordt beëindigd. De AW-buizen zijn geplaatst op 11 mei 2012, waarna dagelijks om 12 uur standen zijn geregistreerd vanaf 12 mei 2012 tot en met 21 mei 2013. In bijlage 1 staan de filterstellingen van de genoemde buizen. Ter plaatse van buis AW1 is slechts 25 cm sterk humeus zand aanwezig boven de keileemlaag, waardoor het moeilijk was een peilbuis te zetten. Dit is opgelost door het filter deels in de keileemlaag te zetten en de beschermkoker perforeren, zodat grondwater toe kan stromen (figuur 3.2).



Figuur 3.2 Situatieschets van peilbuis AW1 (bron: De Boer Advies en Uitvoering).

Grondwaterkwaliteit

De grondwaterkwaliteit is bepaald door middel van laboratoriumanalyses. Op 29 mei en op 28 augustus 2012 zijn watermonsters genomen uit de provinciale peilbuizen en de AW-buizen (figuur 3.3). De monsternamen zijn uitgevoerd conform het bemonsteringsprotocol van Waterlaboratorium Noord (WLN), dat de chemische analyses heeft uitgevoerd. Op 6 september 2013 is een extra meetronde van de freatische grondwaterbuizen uitgevoerd, om de invloed van de droge zomer van dat jaar vast te stellen. Alle monsters zijn binnen 10 uur na monsternamen bij het laboratorium afgeleverd, waarna de monsters gekoeld zijn bewaard tot het moment van analyse.

In 2012 zijn in de monsters uit de freatische buizen het Elektrisch Geleidingsvermogen (EGV) en de concentraties van chloride (Cl^-), sulfaat (SO_4^{2-}), nitraat (NO_3^-) en calcium (Ca^{2+}) bepaald. De EGV is een maat voor het totale gehalte aan opgeloste ionen. In de monsters uit de diepere buizen zijn naast deze parameters ook de concentraties van waterstofcarbonaat (HCO_3^-), carbonaat (CO_3^{2-}), kalium (K^+), magnesium ($\text{Mg}^{2+/3+}$), natrium (Na^+) en ijzer ($\text{Fe}^{2+/3+}$) bepaald. In 2013 zijn alleen freatische monsters genomen, waarin naast EGV, Cl^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} en NO_3^- ook de pH, de zuurstofconcentratie en het ijzergehalte zijn bepaald.

Alle grondwatermonsters zijn gepositioneerd in een EGV/IR-diagram (Van Wirdum 1991), om de verwantschap met grond-, regen-, zee- en vervuild oppervlaktewater te visualiseren. Hiervoor is de IR berekend als $\text{IR} = 100 \cdot [0,5 \text{ Ca}^{2+}] / ([0,5 \text{ Ca}^{2+}] + [\text{Cl}^-])$, uitgaande van concentraties in mmol/ml (van Wirdum 1991). De monsters uit de diepe buizen zijn ook gekarakteriseerd door middel van Stiff-diagrammen (Appelo & Postma 1993).

EGV- en temperatuurmetingen

Op 12 en 19 april 2012 en op 5 september 2012 zijn het EGV-verloop en het temperatuurverloop in de bodem bepaald met behulp van een prikstok (Van Wirdum 1991). Daarmee is de grondwaterinvloed gemeten aan het begin en het einde van het groeiseizoen van 2012. In 2013 is een extra meetronde uitgevoerd aan het einde van deze droge zomer, op 6 september. De prikstok is alleen geschikt voor veenbodems, zodat deze metingen grotendeels beperkt zijn tot de overstromingsvlakte. In de blauwgraslanden was de bodem slechts op enkele plaatsen weinig genoeg voor prikstokmetingen.

De EGV- en temperatuurmetingen zijn uitgevoerd langs twee meetraaien (figuur 3.3): Raai West ligt tussen het westelijke blauwgrasland en het Koningsdiep en Raai Oost ligt tussen het oostelijke blauwgrasland en het Koningsdiep. Ter plaatse van de oostelijke raai is de vegetatie relatief goed ontwikkeld en zijn de kommen in het maaiveld minder uitgesproken dan verder naar het westen. In Raai Oost groeit veel Noordse zegge (*Carex aquatilis*) en heeft deze soort tenminste standgehouden in 2005 – 2009 (van Belle & Brongers 2013). Ter plaatse van Raai West is de kom in het maaiveld meer uitgesproken, is Noordse zegge achteruitgegaan, en zijn in 2009 forse delen met vrijwel onbegroeid oppervlak gekarteerd (*ibid.*). Langs de meetraaien zijn de EGV en de temperatuur in de veenbodem gemeten op iedere 10 tot 20 cm diepte. De meetlocaties zijn op 1 – 3 m nauwkeurig vastgelegd met behulp van GPS en staan in figuur 4.8.

Omdat de AHN-hoogtemetingen in de praktijk niet altijd even betrouwbaar blijken te zijn, is de maaiveldhoogte ingemeten langs de raaien. Dit is gedaan met behulp van RTK-GPS, op 19 juni 2012. Het resultaat van deze metingen is gebruikt in de EGV/temperatuur-profielen (zie verder) en staat in bijlage 5.



Figuur 3.3 Ligging van in het onderzoek betrokken grondwaterpeilbuizen en de locaties waar EGV, temperatuur en/of pH zijn gemeten.

De EGV- en temperatuurmetingen zijn in ESRI ArcGIS geïnterpoleerd tot dwarsdoorsneden door het veenpakket. Hierbij is de gemeten maaiveldhoogte gebruikt en is de maximale diepte van het veenpakket gebaseerd op de prikstokmetingen. De interpolatie is uitgevoerd met een *spline*-methode met *tension* (waarde 10) en neemt steeds 30 meetpunten mee.

pH-metingen

In de kommen in de overstromingsvlakte is het verloop van de pH met de diepte bepaald door met een guts iedere 10 cm een veenmonster te nemen (meetlocaties in figuur 3.3) en dat te suspenderen in gedemineraliseerd water. In de resulterende emulsie is vervolgens de pH-H₂O bepaald met een pH-meter met glaselektrode (WTW pH 330 met SenTix 21). Van de veenkernen is genoteerd op welke diepte het zand begint en hoe sterk het veen is veraard. Waar relevant zijn opvallende profielkenmerken genoteerd, zoals de aanwezigheid van klei/leemlaagjes.

Om vast te kunnen stellen hoe de pH zich ontwikkelt met het oplopende neerslagtekort in de loop van de zomer zijn 3 keer pH-profielen gemeten: halverwege het voorjaar (14 en 21 mei 2012), aan het begin van de zomer (3 juli 2012) en aan het einde van de zomer (28 augustus 2012). Omdat van bodem-pH bekend is dat ze op kleine ruimtelijke schaal aanzienlijk kan variëren zijn de bepalingen in duplo uitgevoerd, door twee veenkernen te steken op ca. 1,5 – 2 m van elkaar rond het meetpunt.

Doordat 2012 uitzonderlijk nat was (§3.2) zijn de kommen in dat jaar nauwelijks drooggevallen, zodat nauwelijks pyriet-oxidatie en bijbehorende pH-verlaging is te verwachten. Daarom zijn in 2013 opnieuw pH-metingen uitgevoerd op 25 juli en op 6 september, na een lange droge periode. Bij deze metingen is een bemonsteringstrategie gevolgd die meer was gericht op het vaststellen van de ruimtelijke variatie in de overstromingsvlakte. Daarbij is op een aantal plaatsen per meetraai het pH-verloop in de volledige veenlaag bepaald in één veenkern. Vervolgens zijn meerdere locaties oppervlakkiger bemonsterd. Op een aantal locaties waar pH-verlaging werd geconstateerd in juli, is deze in september opnieuw bepaald. De meetlocaties staan in figuur 3.3.

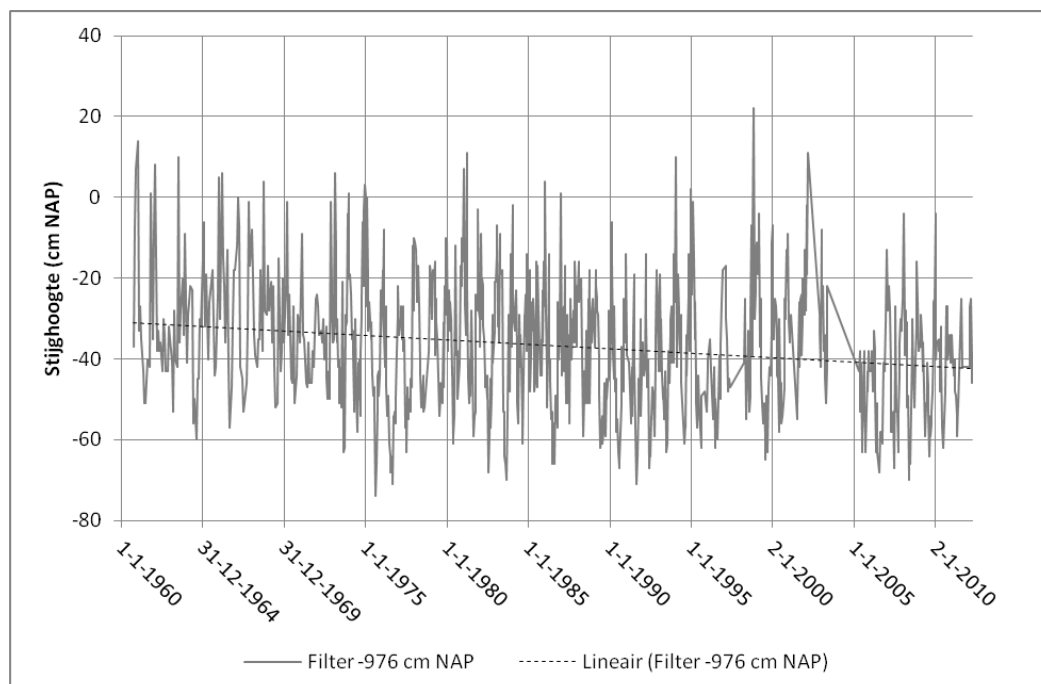
4 Hydrologische systeemanalyse

4.1 Grondwatersystemen

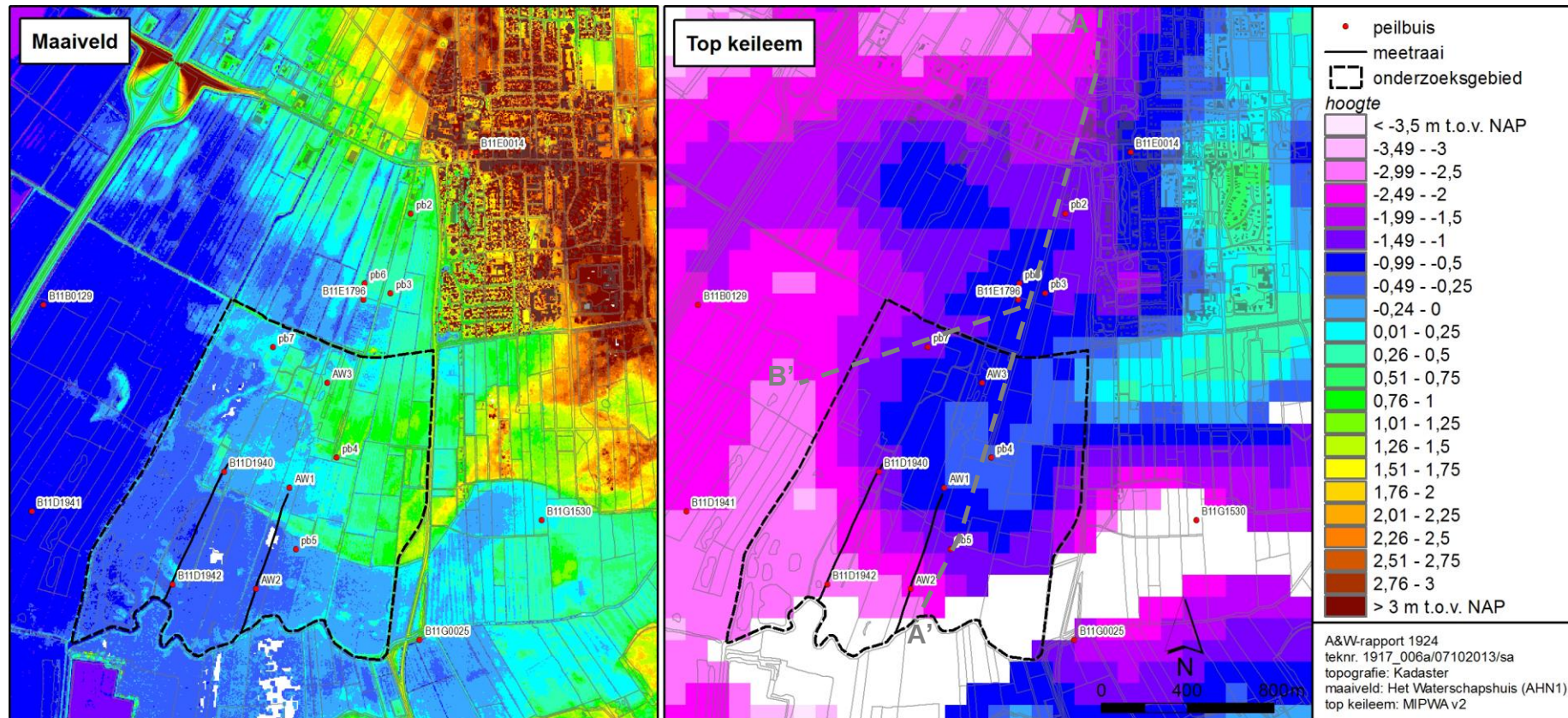
4.1.1 Regionaal systeem

Het zandpakket tussen de keileemlaag en een daaronder liggende laag potklei vormt het eerste watervoerende pakket. De laag potklei onder het eerste watervoerende pakket is vrij dun en ontbreekt lokaal. Daardoor kan uitwisseling optreden tussen het grondwater in het eerste watervoerende pakket en het watervoerende pakket dat onder de potklei ligt. De grondwaterstroming in het eerste watervoerende pakket is onderdeel van het regionale grondwatersysteem en wordt aangedreven door infiltratie op het Drents Plateau. Grondwater van het regionale systeem stroomt van de hoge zandgronden in Friesland, Groningen en Drenthe, ten oosten van Rome, naar de lage gronden van het Lage Midden van Friesland. Door de drainerende werking van het beekdal wordt deze grondwaterstroom wat afgebogen in de richting van de beek. Hierdoor kan in het beekdal kwel vanuit het eerste watervoerende pakket naar het freatische pakket optreden. Dit zal het snelst optreden op plaatsen waar de keileemlaag dun is of ontbreekt en/of waar het maaiveld laag is (Altenburg *et al.* 1996; Witteveen+Bos 2001; Schaeffer *et al.* 2007).

In het regionale hydrologische systeem is de stijghoogte gedaald sinds de jaren '60 van de vorige eeuw (figuur 4.1). Regressie-analyse toont aan dat deze daling sinds april 1987 niet kan worden verklaard door veranderende neerslag en verdamping (bijlage 2). Vóór 1987 zijn geen verdampingsgegevens beschikbaar, zodat deze analyse niet kan worden uitgevoerd voor de periode vóór 1987.



Figuur 4.1 De stijghoogte in het regionale hydrologische systeem sinds ca. 1960, gemeten in put B11G0025 ten oosten van Rome in het beekdal van het Koningsdiep (filter tussen -8,76 - -9,76 m NAP) en de berekende lineaire trendlijn.



Figuur 4.2 NAP-hoogte van het maaiveld (links, bron: AHN) en van de bovenkant van de keileemlaag (rechts, bron: MIPWA v2), beide met dezelfde kleurlegenda. In de figuren staan ook peilbuizen in en rond Rome, de meetraaien voor het EGV/temperatuur-onderzoek (§4.3) en, in grijs in de keileemfiguur, de raaien uit Wymenga et al. (1995).

4.1.2 Lokale systemen

Stroming boven de keileem

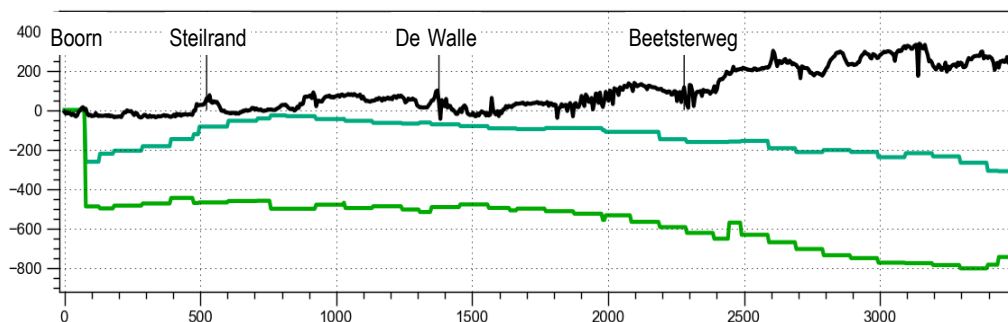
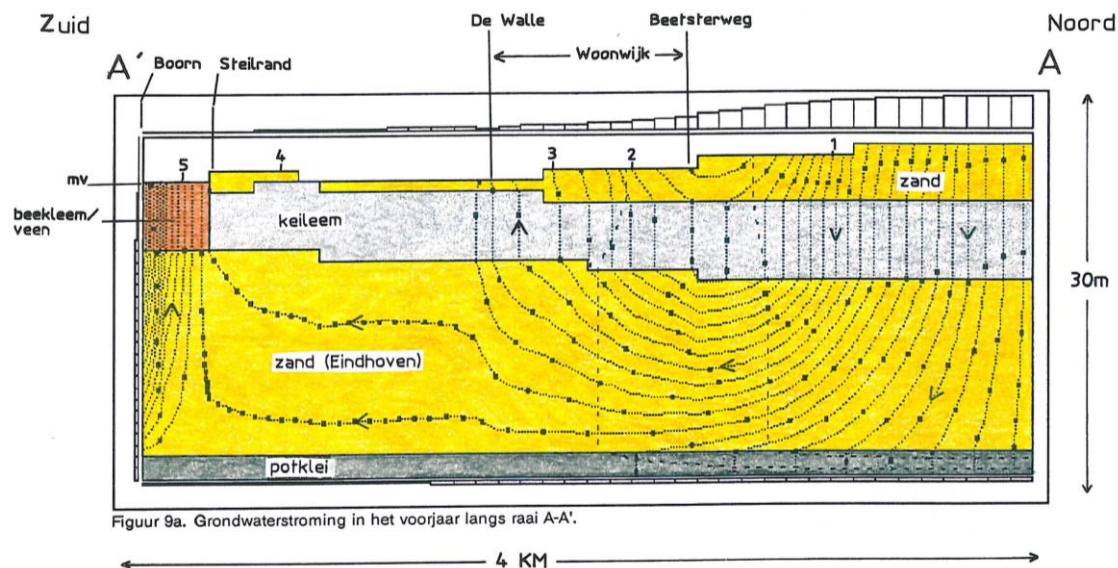
Lokale grondwaterstroming wordt aangedreven door verschillen in maaiveldhoogte en wordt sterk beïnvloed door het aanwezige keileempakket. Op de hoog gelegen zandkoppen infiltreert water. Waar de keileemlaag slecht waterdoorlatend is hindert deze de infiltratie, waardoor een deel van het water over de keileem naar beneden stroomt om te dagzomen waar het maaiveld lager ligt. Zo ontstaan zeer kleine hydrologische systemen. De hoogste maaiveldhoogte in de omgeving van Rome is aanwezig ter plaatse van Beetsterzwaag en ten noorden van de Beetsterweg. Gezien de hoogteligging van de keileem (volgens MIPWA v.2; figuur 4.2) is te verwachten dat grondwaterstroming boven de keileem vanuit Beetsterzwaag vooral gericht is naar het Koningsdiep en naar de keileemlaagte ten noorden van de Beetsterweg. Grondwaterstroming boven de keileem lijkt in Rome dus los te staan van infiltratie bij Beetsterzwaag.

In de noordoostelijke hogere delen van Rome ('boven de steilrand') ligt de keileem vrij vlak en hoog. Daardoor is toestroming van grondwater hier vooral het gevolg van variatie in maaiveldhoogte en het maaiveld is vooral ten noordoosten van Rome hoger dan in Rome zelf. Doordat de Tyensfeart diep in het maaiveld insnijdt, is vanuit het oosten weinig toestromend grondwater te verwachten. Grondwaterstroming boven de keileem is in het noordoosten van Rome dan ook vooral afhankelijk van maaiveldhoogteverschillen binnen Rome. Waar de keileem naar beneden helt, vooral naar het zuiden en zuidwesten, wordt de stroming over de keileem sterker en wordt deze stroming gevoed vanuit de delen met hoger gelegen keileem. In de overstromingsvlakte treedt dit op langs de voet van de steilrand en in het noordwesten speelt dit globaal op de overgang van zand naar veen.

Stroming door de keileemlaag

Een deel van het water dat infiltreert trekt echter door de keileemlaag heen. Uit een 2 dimensionale Flownet-simulatie in de jaren '90 (Wymenga *et al.* 1995) kwam naar voren dat het water dat ten noorden van de Beetsterweg infiltreert deels in het noorden van Rome, maar vooral direct ten zuiden van de steilrand aan de oppervlakte komt. Op basis van de keileemkaart uit MIPWA v.2 lijkt de keileemlaag ten noorden van de Beetsterweg sterker naar het noorden af te lopen dan waar Wymenga *et al.* van uit gingen (figuur 4.3). Aangezien het verschil beperkt is en de gemodelleerde stroombanen bovendien voor een belangrijk deel door de keileem heen liepen, strookt de gemodelleerde situatie op hoofdlijnen met de huidige inzichten. Doordat de keileemlaag in de overstromingsvlakte volgens MIPWA v.2 dikker is dan waar Wymenga *et al.* van uitgingen, lijkt aan de voet van de steilrand minder kwel van onder de keileem te verwachten dan de Flownet-simulatie aangeeft.

In het onderzoek van Wymenga *et al.* (1995) is ook een transect gemodelleerd door het noorden van Rome naar de Zomerpolder (ten westen van Rome), dat is raai A-B' in figuur 4.2. Kwel vanuit de hoge delen ten noorden van de Beetsterweg was ook in deze simulatie beperkt tot de zone rond De Walle. Verder bleek in de veengronden in het noordwesten van Rome grondwater op te kwellen dat in de hogere zandige delen in het noorden van Rome infiltreert. Het belangrijkste verschil met de huidige beschikbare informatie, is dat zowel de keileemlaag als het maaiveld in de Zomerpolder lager liggen dan in Rome, terwijl in modellering uit was gegaan van een vlakke ligging. Hierdoor zal water dat infiltreert in de hoge delen van Rome, waarschijnlijk vooral in de Zomerpolder omhoog komen en minder in het westen van Rome.



Figuur 4.3 Vergelijking van de maaiveldhoogte en de diepteligging van de keileemlaag in de door Wymenga et al. (1995) gemodelleerde situatie (raai A-A' in figuur 4.2; boven) met de huidige gegevens (AHN en MIPWA v2; onder). In de onderste figuur staat horizontaal de afstand in m, verticaal is de hoogte weergegeven in cm NAP, blauw is de bovenkant van de keileem, de groen is de onderkant van de keileem, de Boorn is het Koningsdiep.

4.1.3 Grondwaterdynamiek

De locaties van de peilbuizen die zijn gebruikt om de grondwaterstanddynamiek te bepalen staan in figuur 4.2. De stijghoogte in het westelijke en het centrale deel van de overstromingsvlakte is weergegeven in figuur 4.4. Hierin zijn ook de maaiveldhoogte en de hoogte en dikte van de keileem weergegeven, gebaseerd op de bij het plaatsen van de buizen gemaakte boorbeschrijvingen. Verder is de filterstelling aangegeven op de data dat grondwatermonsters werden genomen.

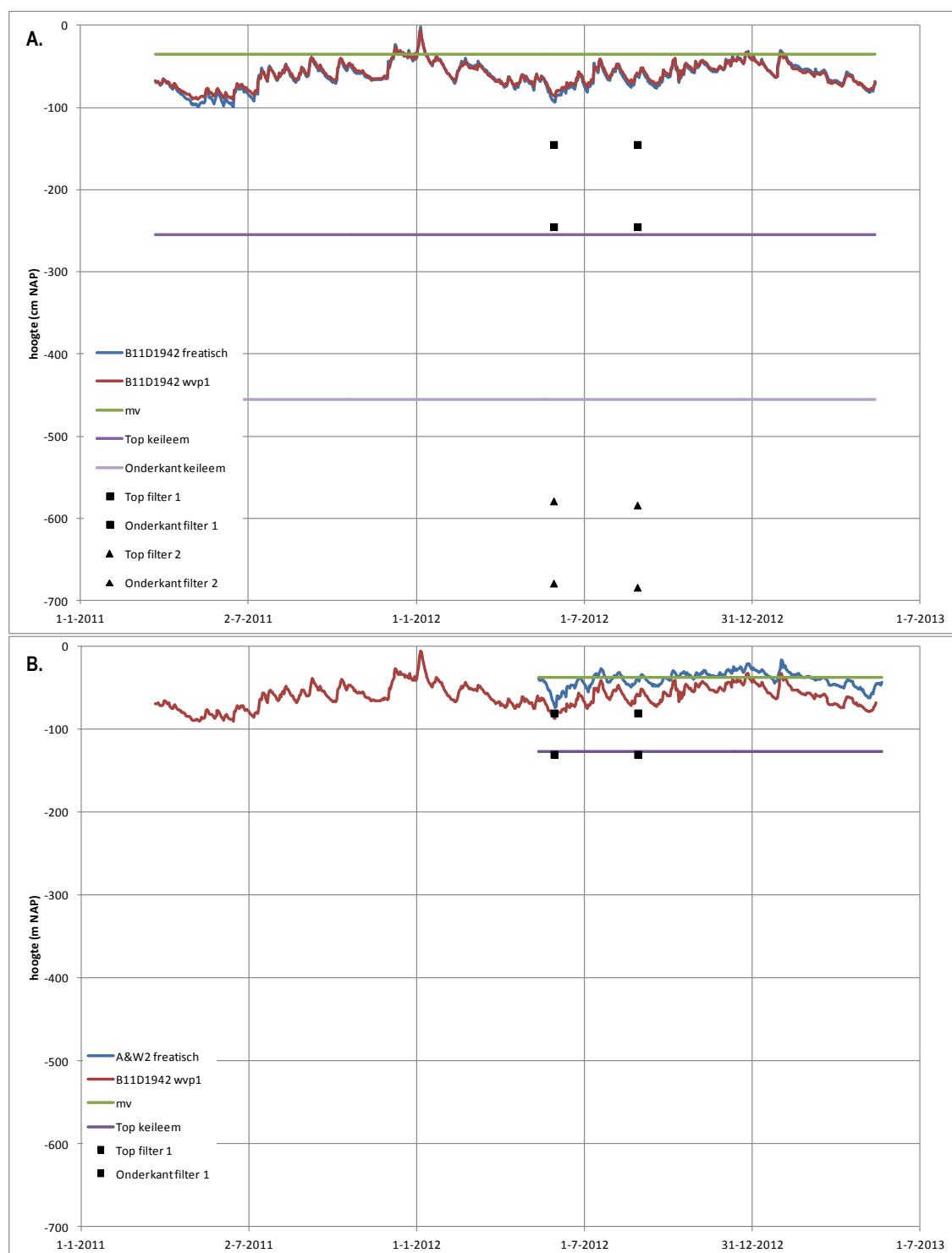
In het westen van de overstromingsvlakte, in B11D1942, staat het grondwater 's winters hoog en af en toe reikt het tot in het maaiveld. In december 2011 en januari 2012 staat het er zelfs even boven, dan is dus sprake van inundatie. De hoge piek in begin januari 2012 komt overeen met de hoogwaterperiode in de eerste week van 2012, toen hoge waterstanden in heel Noord-

Nederland voor problemen zorgden. Op dat moment stond hier zo'n 35 cm water op het maaiveld. In de zomers van 2011 en 2012 zakte de grondwaterstand uit tot ruim 60 cm –mv. Daarmee lijkt de zomergrondwaterstand onderin het bereik van de associatie van Boterbloemen en Waterkruiskruid en beter te passen bij de iets drogere Veldrusassociatie (Hennekens *et al.* 2010). De stijghoogte onder de keileem is in de zomer enkele cm's hoger dan die boven de keileem, zodat hier meestal sprake is van potentiële lichte kwel (bijlage 3). 's Winters heersen over het algemeen hydrologisch neutrale tot licht infiltrerende condities.

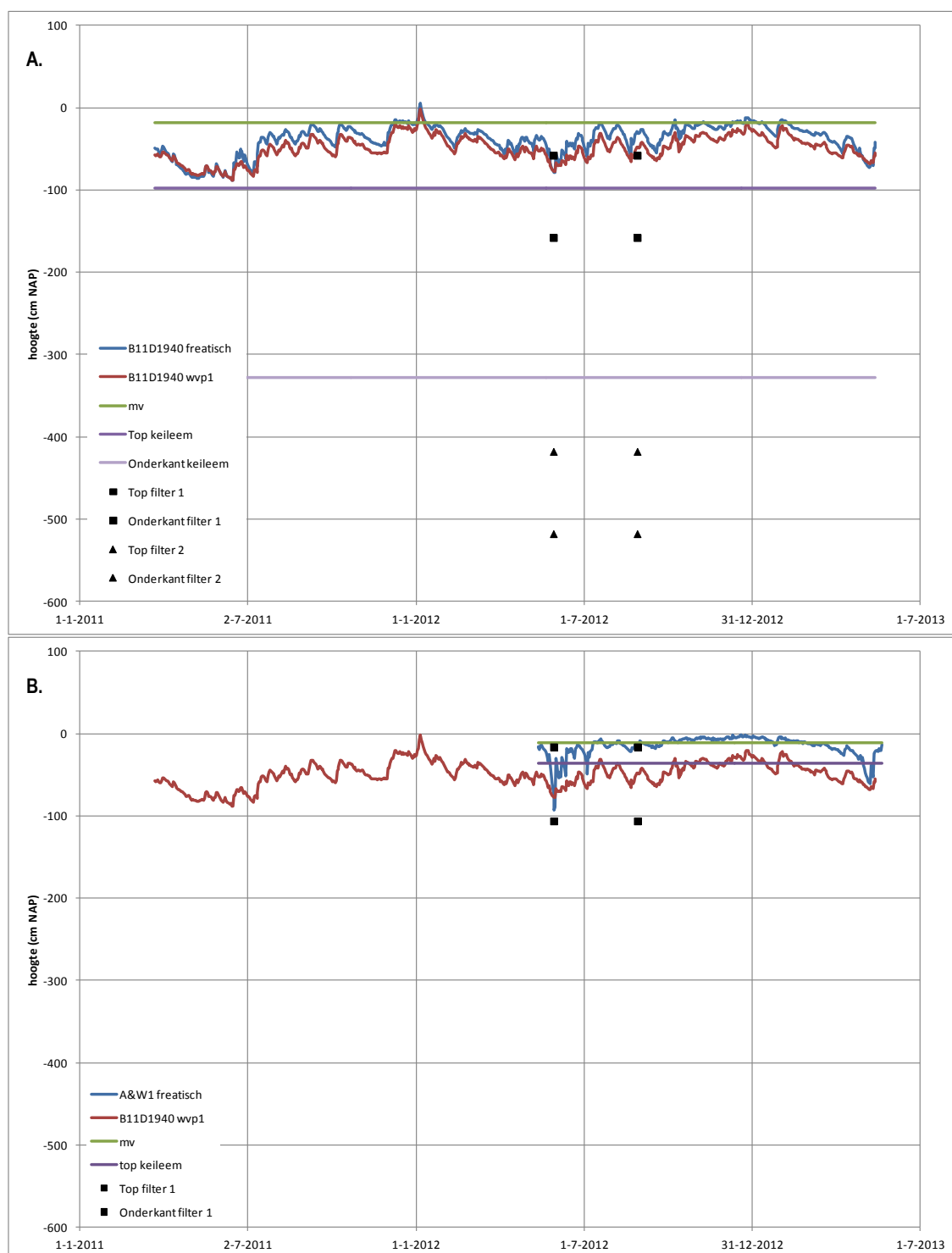
In het centrale deel van de overstromingsvlakte, in buis AW2, staat het grondwater hoger dan in het westelijke deel. In de natte zomer van 2012 zakt het niet verder uit dan tot ca. 35 cm beneden maaiveld. In een groot deel van het winterhalfjaar staat het grondwater boven het maaiveld. Daarmee is het centrale deel van de overstromingsvlakte beduidend natter dan het westelijke deel. De omstandigheden zijn zelfs erg nat voor dotterbloemhooiland. Indien de stijghoogte onder de keileem gelijk is aan die in het westen van de overstromingsvlakte (B11D1942), betekenen de hogere grondwaterstanden in het centrale deel (AW2) dat hier infiltrerende omstandigheden heersen. In september 2012 bevestigen EGV- en temperatuurmetingen deze infiltratie, maar in april 2012 duiden deze metingen op een hydrologisch neutrale situatie tot lichte kwel (figuur 4.9). De hoge grondwaterstanden lijken dus vooral 's zomers te worden veroorzaakt door stagnatie op de keileemlaag. Deze ligt in het centrale deel ca. 1,3 m hoger dan in het westelijke deel, en ligt op beide buislocaties hoger dan ze volgens MIPWA v2.1 zou liggen (figuur 4.2).

In figuur 4.5 zijn de stijghoogtes, keileemlaag en filterstelling in de blauwgraslanden weergegeven. In het westelijke blauwgrasland, in B11D1940, zakt het grondwater 's zomers uit tot maximaal 60 cm beneden maaiveld in 2012 en tot maximaal 70 cm in 2011. In de winter staat het grondwater regelmatig in of vlak onder het maaiveld, vooral in de winter van 2012/2013. Dat zijn nette grondwaterstanden voor de blauwgrasland-associatie (Hennekens *et al.* 2010). Vrijwel het gehele jaar is de freatische grondwaterstand hoger dan de stijghoogte onder de keileem, zodat infiltrerende condities overheersen (bijlage 3). Op de momenten met de laagste grondwaterstanden, zoals in het voorjaar van 2011, ontstaat echter ook even een situatie met potentiële kwel. De stijghoogte onder de keileem, in het eerste watervoerende pakket, is in het westelijke blauwgrasland (B11D1940) structureel hoger dan in de overstromingsvlakte (B11D1942). 's Winters loopt het verschil op tot zo'n 15 cm, om in de loop van de zomer af te nemen. In het natte jaar 2012 daalde het verschil tot 8 cm en in het droge voorjaar van 2011 was het verschil even opgeheven.

In het oostelijke blauwgrasland (buis AW1) staan de grondwaterstanden in de geregistreerde periode langdurig aan of net boven het maaiveld (figuur 4.5B). In het voorjaar van 2012 duikt ze even diep weg, maar dit lijkt veroorzaakt te zijn door de grondwatermonstername (zie §3.3 en 4.2). Door de bemonstering is het filter helemaal leeggezogen en doordat het zandpakket boven de keileem slechts 25 cm dik is, herstelt de grondwaterstand zich hier niet snel van. De abrupte schommelingen na de monstername lijken hier ook mee samen te hangen. In het voorjaar van 2013 zakt de grondwaterstand weer uit tot in de keileemlaag (zonder invloed van monstername). Dat betekent dat in droge tijden een situatie ontstaat waarin geen grondwaterverzadigde zone aanwezig is boven de keileem. In deze situatie lijken de referentiewaarden uit SynBioSys (Hennekens *et al.* 2010) niet van toepassing. Als de stijghoogte onder de keileem overeenkomt met die iets westelijker (B11D1940), heersen in het



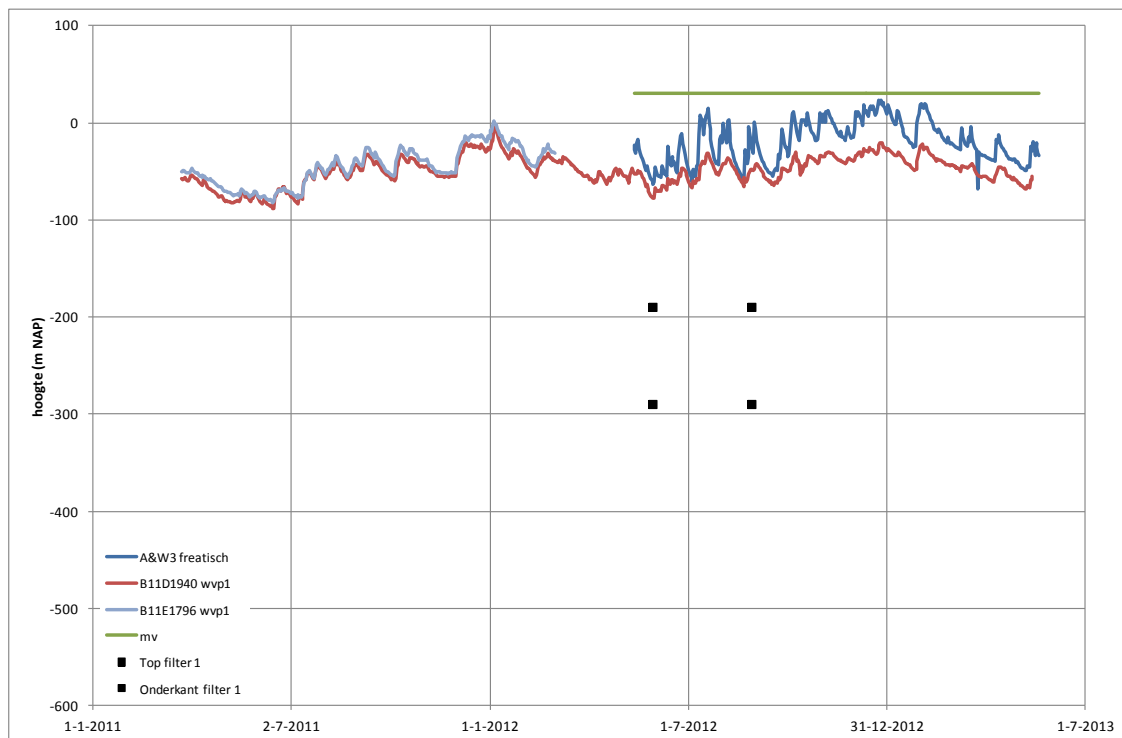
Figuur 4.4 Stijghoogtes in de peilbuizen in de overstromingsvlakte afgezet tegen de hoogteligging van het maaiveld en de keileemlaag. Op de momenten dat grondwatermonsters zijn genomen zijn de filterdieptes aangegeven. A. beide peilbuizen in put B11D1942, B. peilbuis AW2 met ter vergelijking de stijghoogte in B11D1942 filter 2.



Figuur 4.5 Stijghoogtes in de peilbuizen in de blauwgraslanden afgezet tegen de hoogteligging van het maaiveld en de keileemlaag. Op de momenten dat grondwatermonsters zijn genomen zijn de filterdieptes aangegeven. A. beide peilbuizen in put B11D1940, B. peilbuis AW1 met ter vergelijking de stijghoogte in B11D1940 filter 2.

oostelijke blauwgrasland potentieel sterker infiltrerende condities dan in het westelijke. Overigens ligt de keileemlaag ook bij AW1 hoger dan MIPWA v2.1 aangeeft.

In figuur 4.6 zijn de stijghoogtes, keileemlaag en filterstelling in het noorden van Rome weergegeven (peilbuis AW3). Deze buis heeft alleen een freatisch filter, daarom zijn de stijghoogtes onder de keileem in het westelijke blauwgrasland (B11D1940) en 425 m ten noorden van AW3 (B11E1796) weergegeven. Ten noorden van Rome is de stijghoogte onder de keileem steeds iets hoger dan ter plaatse van het westelijke blauwgrasland, maar de verschillen zijn klein. De freatische grondwaterstand in AW3 ligt structureel hoger dan de stijghoogte onder de keileem, zodat sprake is van grondwaterinfiltratie. Overigens is het opvallend dat bij het plaatsen van deze buis geen keileem is aangetroffen, terwijl die hier volgens MIPWA v2.1 op ca. 60 cm –NAP aanwezig zou moeten zijn (figuur 4.2). Hier lijkt dus een gat te zitten in de keileemlaag. Desondanks stijgt de grondwaterstand in de winter tot iets minder dan 20 cm beneden het maaiveld.



Figuur 4.6 Stijghoogtes in de peilbuis in het noorden van Rome, afgezet tegen de hoogteligging van het maaiveld. Hier is geen keileem aanwezig. Op de momenten dat grondwatermonsters zijn genomen zijn de filterdieptes aangegeven. De stijghoogte in het eerste watervoerende pakket is aangegeven aan de hand van de metingen in het westelijke blauwgrasland (B11D1940) en ten noorden van Rome (B11E1796).

4.2 Grondwatertypering

In figuur 4.7 zijn de grondwatermonsters uit 2012 en 2013 uitgezet in een EGV/IR-diagram, dat de mengverhouding tussen verschillende watertypen aangeeft. In de figuur zijn ter vergelijking ook grondwatermonsters uit Wymenga *et al.* 1995 opgenomen.

Onder de keileem

Uit figuur 4.7 blijkt dat de grondwatermonsters uit het watervoerende pakket onder de keileem (B11D1940_2 en B11D1942_2) sterk lijken op de referentiewaarden voor gerijpt grondwater. In de overstromingsvlakte bevat dit grondwater meer calcium en bicarbonaat dan boven de steilrand (tabel 4.1 en bijlage 4), wat er op duidt dat het grondwater in de overstromingsvlakte ouder is dan dat boven de steilrand. Zowel in de overstromingsvlakte (B11D1942) als boven de steilrand (B11D1940) is het grondwater niet verontreinigd met sulfaat of nitraat. De monsters uit de overstromingsvlakte worden in figuur 4.7 iets verder van de grondwaterreferentie gepositioneerd dan die van boven de steilrand, doordat die uit de overstromingsvlakte iets meer chloride bevatten.

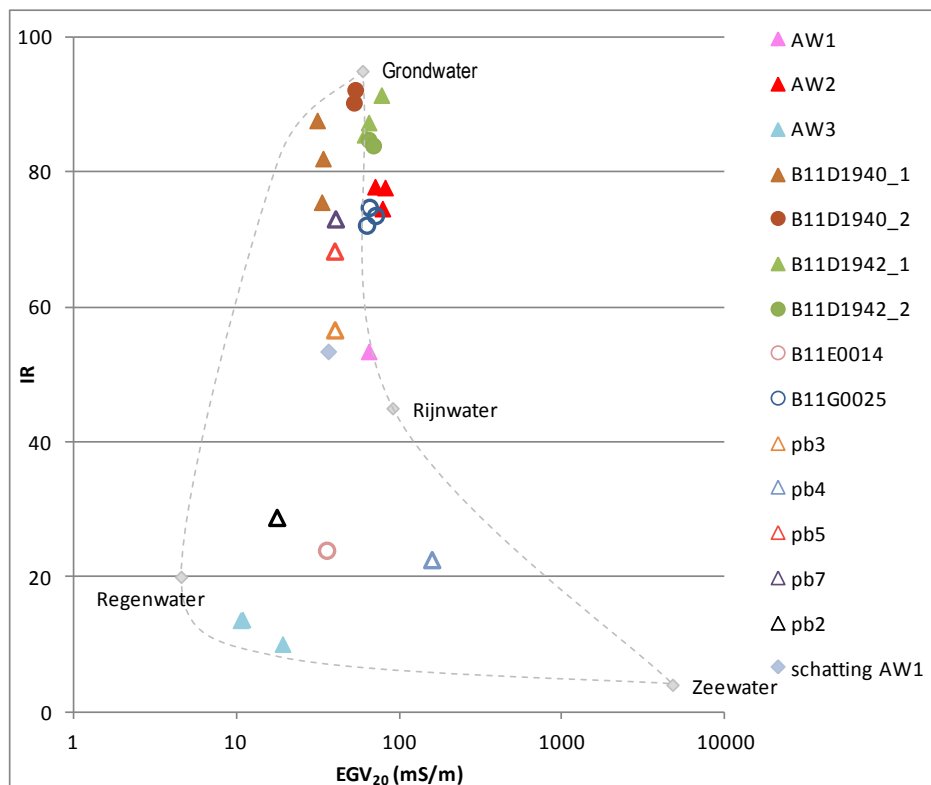
Wymenga *et al.* (1995) namen op 8 mei 1995 grondwatermonsters in filters onder de keileem ten oosten van Rome (B11G0025; figuur 4.1 en 4.2). De samenstelling van dat grondwater leek sterk op onze monsters uit de overstromingsvlakte en minder op die boven de steilrand, maar de IR was lager door hogere chloridegehalten. In 1995 was het grondwater kennelijk sterker vervuild dan nu¹.

Onder de keileem duidt de kwaliteit van het grondwater in de overstromingsvlakte dus op oud, gerijpt grondwater uit het regionale grondwatersysteem. Langs de flanken van het beekdal lijkt het grondwater iets minder gerijpt en minder vervuild dan dat in het regionale systeem. Dat strookt met de Flownet-simulatie van Wymenga *et al.* (1995), die duidt op een 'groter lokaal systeem', met water dat infiltreert rond Beetsterzwaag en onder de keileem naar het beekdal stroomt. De samenstelling van het grondwater duidt er op dat dit grotere lokale systeem nabij de steilrand mengt met het regionale systeem, terwijl de overstromingsvlakte vrijwel alleen wordt gevoed door het regionale systeem.

Freatisch grondwater in de overstromingsvlakte

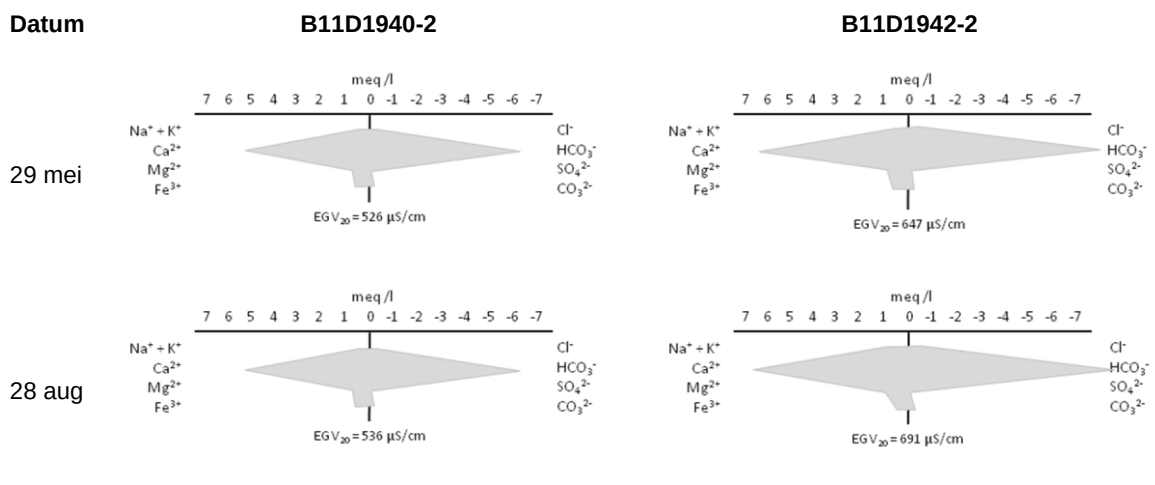
In het westen van de overstromingsvlakte verschillen de monsters uit het freatische en het diepere pakket (B11D1942_1 en _2) in 2012 weinig van elkaar en eind 2013 nog minder. Dit duidt er op dat het grondwater in beide pakketten zich mengt en kennelijk vooral tijdens droge periodes. Dat strookt met het beeld van voeding uit een groot hydrologisch systeem, zoals het regionale systeem. De in §4.1.3 geconstateerde potentiële kwel blijkt dus inderdaad op te treden, ondanks de ca. 1,1 m vaste tot zeer vaste keileem die hier is aangetroffen bij het plaatsen van de buis. Van een dergelijke laag mag toch wel een barrièrewerking voor grondwaterstroming verwacht worden. Het is daarom waarschijnlijk dat in de buurt van deze peilbuis een gat in de keileem zit, of dat ze geheel afwezig is in de buurt van de buis. Aangezien de buis in de buurt van het Koningsdiep staat is het goed mogelijk dat de keileemerosiegeul, die de beek in het Pleistoceen uitsleet, in de buurt van de peilbuis ligt.

¹ Wymenga *et al.* analyseerden ook een grondwatermonster uit B11E0014, in Beetsterzwaag. Dit monster komt echter van ruim 55 m diepte, wat het in het watervoerende pakket onder de potklei plaatst. Het is onwaarschijnlijk dat het hydrologische systeem onder de potklei rechtstreeks van invloed is op de vegetatie in Rome.



Figuur 4.7 Plaatsing van de grondwatermonsters in een EGV/IR-diagram, dat de positie van de monsters ten opzichte van regenwater, grondwater, zeewater en vervuild rivierwater aangeeft. De EGV is weergegeven in mS/m. De namen verwijzen naar peilbuizen in figuur 4.2. Waarden in het freatische pakket zijn aangegeven met driehoeken, cirkels geven waarden in grondwater van onder de keileem aan. In dit onderzoek bepaalde waarden zijn weergegeven met gesloten symbolen, de open symbolen geven waarden uit Wymenga et al. (1995) weer.

Tabel 4.1 Stiff-diagrammen van grondwatermonsters uit filters onder de keileem (B11D1940-2 en B11D1942-2) die werden genomen op 29 mei en 28 augustus 2013. B11D1940 staat in het westelijke blauwgrasland, boven de steilrand. B11D1942 staat in het westen van de overstromingsvlakte.



In het andere meetpunt in de overstromingsvlakte (AW2) is de EGV van het freatische grondwater iets hoger en de IR wat lager, doordat de chloride- en sulfaatconcentraties hier iets hoger zijn (bijlage 4). Het freatische grondwater is in het centrale deel van de overstromingsvlakte is dus iets meer vervuild dan dat in het westen, maar de vergelijkbare calciumconcentratie duidt er op dat het aandeel gerijpt grondwater nauwelijks verschilt.

Wymenga et al. (1995) hebben het freatische grondwater twee percelen verder naar het oosten en aan de voet van de steilrand bemonsterd op 8 mei 1995, dat is locatie pb5. Vergeleken met ons punt AW2 had het grondwater in pb5 een lagere EGV, ondanks een sulfaatgehalte van ruim 49 mg/l, en een iets lagere IR door een half zo hoog calciumgehalte. Dit duidt op een grotere invloed van regenwater, in dit geval afkomstig uit het minder gerijpte grondwater uit het lokale grondwatersysteem, naast verontreiniging met sulfaat. Ondanks dat in de overstromingsvlakte meer keileem aanwezig is dan waar de Flownet-simulatie van uit ging (§4.1.2), treedt aan de voet van de steilrand dus kwel op vanuit het vermengde grotere lokale en regionale systeem. In meetpunt pb7 lijkt de samenstelling van het freatische grondwater sterk op dat in pb5, hoewel het minder sulfaat bevatte (22,6 mg/l). Meetpunt pb7 ligt op een vergelijkbare positie als pb5, op de overgang van zand naar veen, maar dan in het noordwesten van Rome. Kennelijk zijn deze locaties vergelijkbaar ten aanzien van hun positie in het hydrologische systeem.

Freatisch grondwater boven de steilrand

Boven de steilrand wordt het freatische grondwater in het westelijke blauwgrasland (B11D1940_1) dichtbij de monsters uit pb7 en pb5 geplaatst, hoewel de EGV_{20} wat lager is (ca. 335 vs. 405 $\mu S/cm$). In het blauwgrasland is dus menging van grond- en regenwater herkenbaar. Hier lijkt enige uitwisseling met het grondwater onder keileem op te treden, maar dit is beperkt tot droge voorjaren (§4.1.3). Een groot deel van het grondwaterkarakter lijkt dus afkomstig te zijn van het (lokale) grondwater dat boven de keileem toestroomt.

In het oostelijke blauwgrasland (AW1) is de IR alleen bepaald voor het monster uit augustus 2012, doordat de buis onvoldoende water bevatte tijdens de andere analyserondes (§3.2). Het augustus-monster heeft een lage IR doordat het calciumgehalte veel lager is dan in het westelijke blauwgrasland. De EGV is echter hoog doordat het monster veel sulfaat en nitraat bevat (bijlage 4). Door de lage IR wordt het monster dicht bij het referentiemonster voor vervuild Rijnwater geplaatst. Het mei-monster is als "schatting AW1" in de EGV/IR-diagram geplaatst, waarbij de IR-waarde van het augustus-monster is gebruikt. In mei was de EGV veel lager, toen was kennelijk minder sulfaat en nitraat aanwezig, waardoor het monster veel meer het karakter krijgt van met regenwater verdund grondwater. Dat is dus jong grondwater. In september 2013 stond de buis geheel droog.

Het oostelijke blauwgrasland wordt hydrologisch gezien dus gevoed vanuit een heel lokaal systeem, dat opdroogt in droge periodes. Het westelijke blauwgrasland ligt in een wat groter lokaal systeem. Waarschijnlijk heeft dit er mee te maken dat het westelijke blauwgrasland op de helling van de keileemlaag ligt, terwijl het oostelijke blauwgrasland op een vlak deel van die laag ligt (figuur 4.2). Hierdoor wordt het oostelijke blauwgrasland alleen gevoed vanuit maaiveldhoogtes in de directe omgeving, terwijl het westelijke blauwgrasland naast dergelijk lokaal water ook water ontvangt uit de bredere omgeving. In het westelijke blauwgrasland ontstaat in droge tijden bovendien lichte kweldruk.

Wymenga *et al.* hebben zo'n 300 m ten noordoosten van AW1 het freatische grondwater bemonsterd (pb4). Zij merkten al op dat dit monster een afwijkende samenstelling had, met vooral hoge chloride- en sulfaatgehaltes (265, resp. 264 mg/l), waardoor het ook een hoge EGV had en een lage IR. Die lage IR had het ondanks dat hier het hoogste calciumgehalte (173 mg/l) in onze dataset is gemeten. Wymenga *et al.* suggereren tijdelijke stort van maaisel als oorzaak van de vervuiling, maar het is de vraag of dat een afdoende verklaring is. Mogelijk heeft ernstigere vervuiling plaatsgevonden ter plaatse van, of boven(grondwater-)strooms van, pb4. Het is niet uitgesloten dat hier heden ten dage nog steeds verontreiniging aanwezig is. Aangezien pb4 op een hoogte in de directe omgeving van het oostelijke blauwgrasland ligt is het mogelijk is dat de verontreiniging in AW2 afkomstig is uit de buurt van pb4.

De monsters uit AW3, in het noorden van het oostelijke blauwgraslandperceel, worden in de EGV/IR-diagram dicht bij de regenwaterreferentie geplaatst. Dit strookt met het beeld van infiltrerend regenwater, zoals dat uit de grondwaterstanden naar voren kwam. In hoeverre het water dat infiltreert in AW3 naar AW1 stroomt valt niet te zeggen, mede omdat ter plaatse van AW3 geen keileem aanwezig lijkt te zijn. Het water in AW3 heeft, naast een laag calciumgehalte, een licht verhoogd chloridegehalte en bevat wat sulfaat. Gezien de nabijheid van het landbouwgebied lijkt het aannemelijk dat deze stoffen daar vandaan komen.

Freatisch grondwater ten noorden van Rome

Ongeveer 400 m ten noordoosten van AW3 hadden Wymenga *et al.* een meetpunt pb3. Het monster uit die buis wordt in de EGV/IR-diagram vlakbij de monsters uit AW1 (oostelijk blauwgrasland) geplaatst. Hier lijkt dus weer sprake van hydrologische voeding vanuit een klein, lokaal systeem. Verder naar het noorden, ongeveer bij de beheerschuur van de Cornelia-Stichting, hadden Wymenga *et al.* een meetpunt pb2. Het monster uit die buis had een veel sterker regenwaterkarakter met wederom enige verontreiniging. Meetpunt pb2 verhoudt zich dus ongeveer tot pb3 zoals AW3 zich verhoudt tot AW1. Ten noorden van Rome lijkt in 1995 dus sprake te zijn van een lokaal hydrologisch systeem, dat opvallend analoog is aan het huidige lokale systeem in de hogere delen van Rome.

4.3 EGV-temperatuurprofielen

De locaties waar EGV/temperatuur of pH-metingen zijn verricht staan in figuur 3.3. In figuur 4.8 en 4.9 staat de verdeling van de EGV₂₀ en de temperatuur in de overstromingsvlakte en voor zover dit gemeten kon worden boven de steilrand. De EGV en de temperatuur zijn gemeten rond half april en in het begin van september 2012.

4.3.1 Raai West

EGV in raai West

Het veenpakket in het westen van de overstromingsvlakte wordt in tweeën gedeeld door een zandige rug, deze is buiten de EGV-interpolatie gelaten. Het regionale grondwater had op 29 mei een EGV₂₀ van 647 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (tabel 4.1; bijlage 4). Halverwege april is deze waarde ten zuiden van de zandige rug gemeten op meetpunt 3, tot ca. -0,5 m NAP. Deze diepte komt overeen met de gemeten stijghoogte onder de keileem (figuur 4.4 A), zodat dit invloed van dieper grondwater is. In meetpunt 2 worden lagere waarden gemeten. Waarschijnlijk is dat het gevolg van menging met water uit het Koningsdiep, dat begin april een EGV had van 364

$\mu\text{S/cm}$. Op 5 september is een vergelijkbaar patroon herkenbaar, maar de EGV-waarden in het profiel van punt 3 zijn dan hoger. Deels kan dit worden verklaard door hogere kweldruk vanuit het regionale systeem (§4.1.3), maar de EGV's zijn hoger (780 - 820 $\mu\text{S/cm}$) dan die van het regionale grondwater (691 $\mu\text{S/cm}$). Dit lijkt te worden veroorzaakt door vervuiling, die we overigens in het freatische grondwatermonster niet terugvonden (bijlage 4). Dat grondwatermonster is genomen uit de zandlaag onder het veenpakket, zodat de vervuiling een oppervlakkige oorsprong lijkt te hebben. Nabij het maaiveld duiden lage EGV's op 12 april en 5 september op regenwaterinvloed.

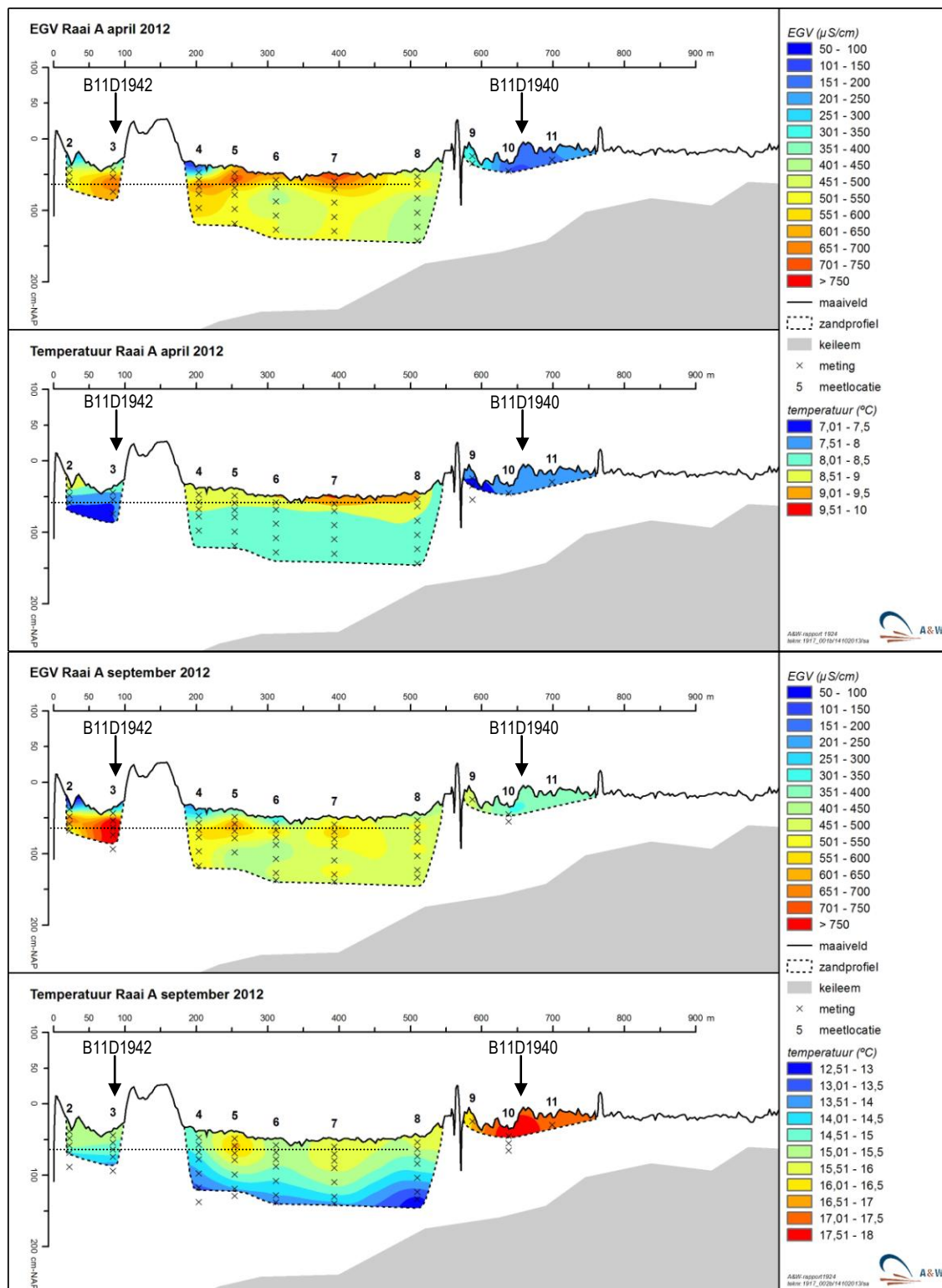
Ten noorden van de zandige rug, in meetpunt 4 t/m 8, is geen invloed van het diepere grondwater herkenbaar. In april worden de hoogste EGV's hier hoog in het profiel gemeten bij de punten 5 en 7 en deze waarden liggen hoger dan die van het diepere grondwater. Als deze EGV's het gevolg zouden zijn van grondwaterinvloed, zouden deze hoge waarden in het gehele profiel gemeten zijn. Hier speelt dus een ander proces, dat leidt tot EGV-verhoging aan het maaiveld. Op 5 september worden hier niet meer van dergelijke hoge EGV's gemeten. Een belangrijk verschil tussen beide meetrondes, is dat het maaiveld droog was ten tijde van de aprilmetingen, terwijl op punt 5 t/m 7 in september tenminste 5 cm water op het maaiveld stond. Het lijkt er daarom op dat de EGV-verhoging het gevolg is van oxidatieve processen.

Bij meetpunt 4 werden in beide meetrondes nabij het maaiveld juist lage EGV's gemeten, die duiden op verdunning met regenwater. Waarschijnlijk stroomt regenwater van de zandige rug naar punt 4, waar het stagneert. Verder is in april een patroon herkenbaar met vanaf de steilrand naar het zuiden oplopende EGV's. Dit duidt op waterstroming vanuit de zandgronden boven de steilrand naar het zuiden. Gezien de diepere EGV's bij punt 8 (rond 430 $\mu\text{S/cm}$) en die boven de steilrand (freatisch 334 $\mu\text{S/cm}$ op 28 mei; wvp1 526 $\mu\text{S/cm}$), lijken bij punt 8 ongeveer gelijke delen grondwater van onder en boven de keileem toe te stromen. Dit patroon wordt onderbroken ter plaatse van meetpunt 6. In september zijn de EGV-verschillen grotendeels verdwenen en is het patroon niet meer herkenbaar.

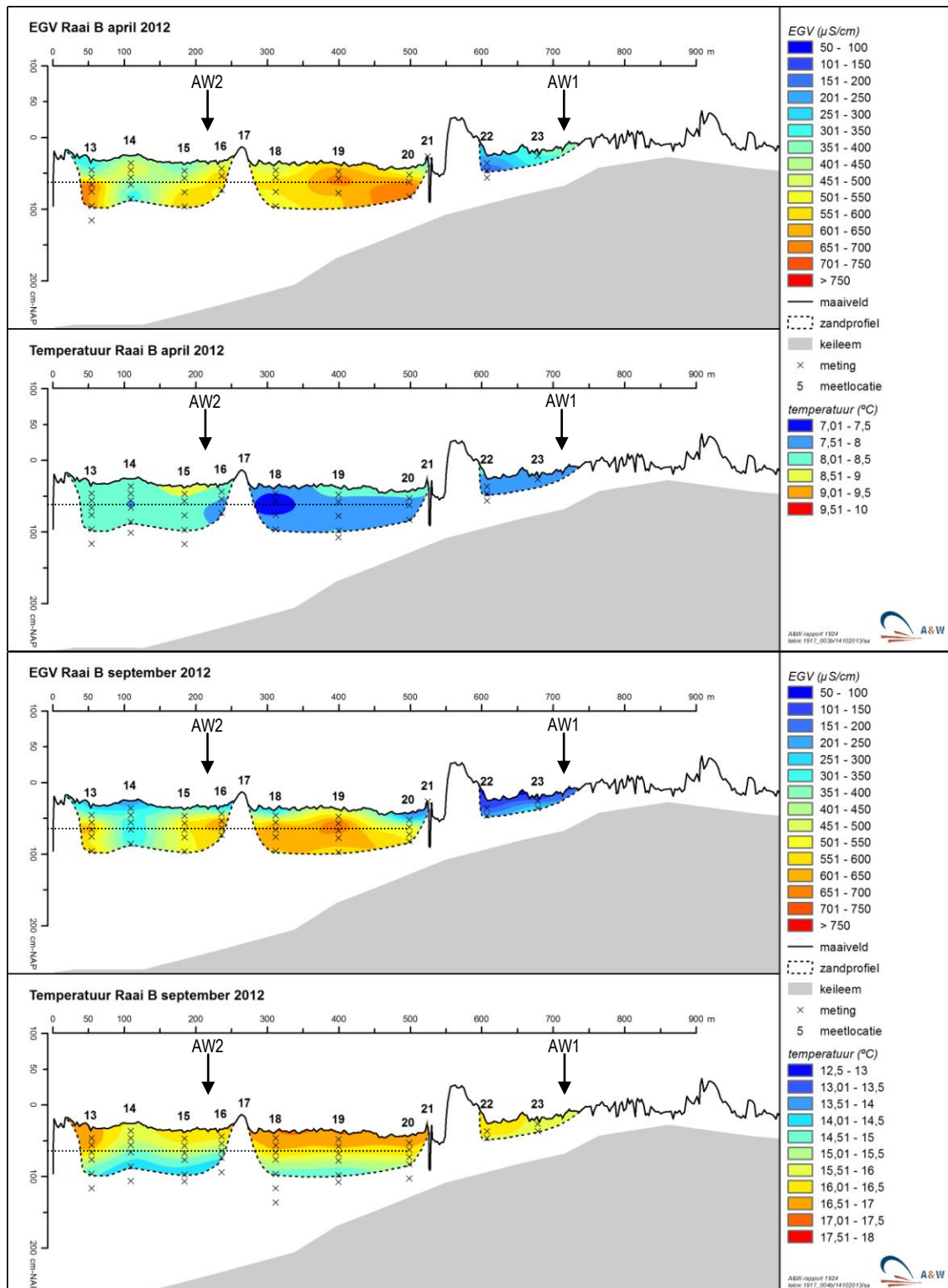
Boven de steilrand zijn aanzienlijk lagere EGV's gemeten, in april veelal ca. 150 – 250 $\mu\text{S/cm}$, wat duidt op sterke invloed van regenwater. Deze waarden zijn lager dan die van het grondwater in de onderliggende zandlaag: dat had een EGV van 334 $\mu\text{S/cm}$ (op 28 mei). In het veenpakket was in april dus een sterke invloed van regenwater aanwezig. Op 5 september werden in de veenlaag EGV's gemeten tot 390 $\mu\text{S/cm}$, waarmee de hoogste waarden iets hoger waren dan die van het grondwater in de zandlaag. Op dat moment lijkt het veen dus vooral vanuit het onderliggende zandpakket gevoed te worden.

Temperatuur in raai West

Op 12 april was de bodemtemperatuur aan het maaiveld iets hoger dan dieper in het profiel. Dat is niet verrassend in het voorjaar, aangezien zonnestraling dan leidt tot opwarming van bovenaf. De bodemtemperatuur verschilde tussen de noord en de zuidzijde van de zandige rug in de overstromingsvlakte. Ten zuiden van de zandige rug was de bodemtemperatuur op enige diepte een graad lager dan ten noorden van de zandige rug, hoewel ze aan het maaiveld vergelijkbaar is met die ten noorden van de zandige rug. Dit ondersteunt het idee dat de hydrologische positie van de overstromingsvlakte ten noorden en ten zuiden van de zandige rug verschilt.



Figuur 4.8 EGV- en temperatuurprofiel langs raai West op 12 april en 5 september 2012. De stippellijn geeft globaal de stijghoogte in het regionale hydrologische systeem aan (gemiddelde 1 apr. – 31 aug. = -66 cm NAP).



Figuur 4.9 EGV- en temperatuurprofiel langs raai Oost op 19 april en begin september 2012. De stippellijn geeft globaal de gemiddelde stijghoogte in het regionale hydrologische systeem aan (-66 cm NAP).

In september was de variatie in de bodemtemperatuur hoger, waardoor meer patronen tot uiting komen. Op grote lijnen is weer sprake van een horizontaal gelaagd patroon, met de hoogste waarden aan het maaiveld en de laagste waarden nabij de zandondergrond. Dit patroon is zowel ten noorden als ten zuiden van de zandige rug herkenbaar. De horizontale gelaagdheid wordt als het ware wat opgetild ter plaatse van punt 2 t/m 4 en bij punt 8. Dit kan verklaard worden met lichte kwel bij deze punten, waardoor kouder water van onder de keileem (11,6 °C) wordt aangevoerd. Het patroon wordt onderbroken bij punt 6, waar het EGV-patroon in april ook al afwijkend was.

Boven de steilrand is de bodemtemperatuur in april laag, maar in september juist hoog. Hier wordt de temperatuur niet of nauwelijks gebufferd door invloed van grondwater.

Conclusie raai West

De patronen in EGV en bodemtemperatuur duiden op drie verschillende hydrologische situaties:

- In de overstromingsvlakte staat het deel tussen de zandige rug en het Koningsdiep onder invloed van het regionale grondwatersysteem en waarschijnlijk ook onder invloed van het Koningsdiep. De regionale grondwaterinvloed reikt hier niet tot aan het maaiveld.
- Het deel van de overstromingsvlakte tussen de zandige rug en de steilrand staat niet onder directe invloed van het regionale grondwatersysteem, maar lijkt onder invloed te staan van toestromend grondwater uit de lokale systemen in de hogere zandgronden.
- Boven de steilrand lijkt het westelijke blauwgrasland in een lokaal hydrologisch systeem boven de keileem te liggen. De regenwaterinvloed in het westelijke blauwgrasland was in april groter dan in september.
- De EGV in de overstromingsvlakte tussen de zandige rug en de steilrand lijkt tijdelijk te kunnen stijgen als gevolg van oxidatieve processen.

4.3.2 Raai Oost

EGV in raai Oost

De EGV in raai Oost staat in figuur 4.9. Net als in raai West het geval was wordt de overstromingsvlakte in tweeën gedeeld door een zandige rug, die hier echter smaller is. Ten aanzien van de EGV's valt op dat deze in raai Oost over het algemeen hoger zijn dan in raai West het geval was. In april zijn bij punt 20, aan de voet van de steilrand, EGV's gemeten van ruim 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Deze waarde lijkt sterk op die van het regionale grondwater, zodat hier regionaal grondwater lijkt door te dringen tot in het veenpakket. Vanaf de voet van de steilrand stroomt het grondwater naar het zuiden. Deze grondwatervoeding is opvallend, omdat uit de grondwaterstandanalyse kwam dat in de oostelijke raai sprake is van lichte infiltratie. Het lijkt er op dat de regionale grondwaterstijghoogte in raai Oost aan de voet van de steilrand hoger is dan die in put B11D1942, net als onder het westelijke blauwgrasland (put B11D1940; figuur 4.4 en 4.5).

In september duiden de EGV's niet meer op regionale grondwatervoeding bij punt 20. In plaats daarvan duiden lage EGV's aan de oppervlakte op regenwaterinvloed nabij het maaiveld. De diepere EGV's bij punt 20 (500 – 550 $\mu\text{S}/\text{cm}$) duiden op invloed van grondwater uit het lokale systeem in de hogere zandgronden, dat een EGV heeft van 536 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Het regionale grondwater uit april lijkt als een bel verder naar het zuiden te zijn gestroomd en is nog herkenbaar bij de punten 16 t/m 19.

Zowel in april als in september is bij punt 14 niet langer naar het zuiden stromend grondwater herkenbaar. Het lijkt er op dat water met lagere EGV's, dat elders nabij het maaiveld ligt, hier infiltreert. Bij punt 13, nabij het Koningsdiep, zijn de EGV's weer hoger. In april lijkt hier sprake van invloed van regionaal grondwater, maar in september zijn de EGV's lager dan in het regionale systeem. Er lijkt dus verdunning op te treden, hetzij met water uit het Koningsdiep, hetzij met regenwater. Net als in raai West is in raai Oost dus sprake van één sterk afwijkend punt, te weten punt 14.

Boven de steilrand, in het oostelijke blauwgrasland, duiden EGV's van 145 tot 344 $\mu\text{S}/\text{cm}$ op jong tot nauwelijks gerijpt grondwater. In april was de EGV bij punt 23 wat hoger dan in september. Dat kan er mee te maken hebben dat het voor de aprilmeting niet erg nat was, terwijl het dat voor de septembermeting wel was. Het is opvallend dat de EGV-verandering tussen april en september in het oostelijke blauwgrasland tegengesteld is aan die in het westelijke blauwgrasland.

Temperatuur in raai Oost

In april is weinig variatie in bodemtemperatuur gemeten, zodat weinig patronen herkenbaar zijn. In raai Oost is de temperatuurverdeling tussen de overstromingsvlakte ten noorden van de zandige rug en het deel ten zuiden daarvan tegengesteld aan die in raai West, met de laagste temperaturen in het noordelijke deel. Dit ondersteunt het idee dat hier sprake is van kwel vanuit het regionale systeem.

In september valt in de noordelijke helft op hoe onverstoord de horizontale gelaagdheid van het temperatuurprofiel is: hier lijkt nauwelijks stroming op te treden. Ten zuiden van de zandige rug wordt de gelaagdheid vervormd bij het afwijkende punt 14, maar ze is toch vrij weinig verstoord.

Conclusie raai Oost

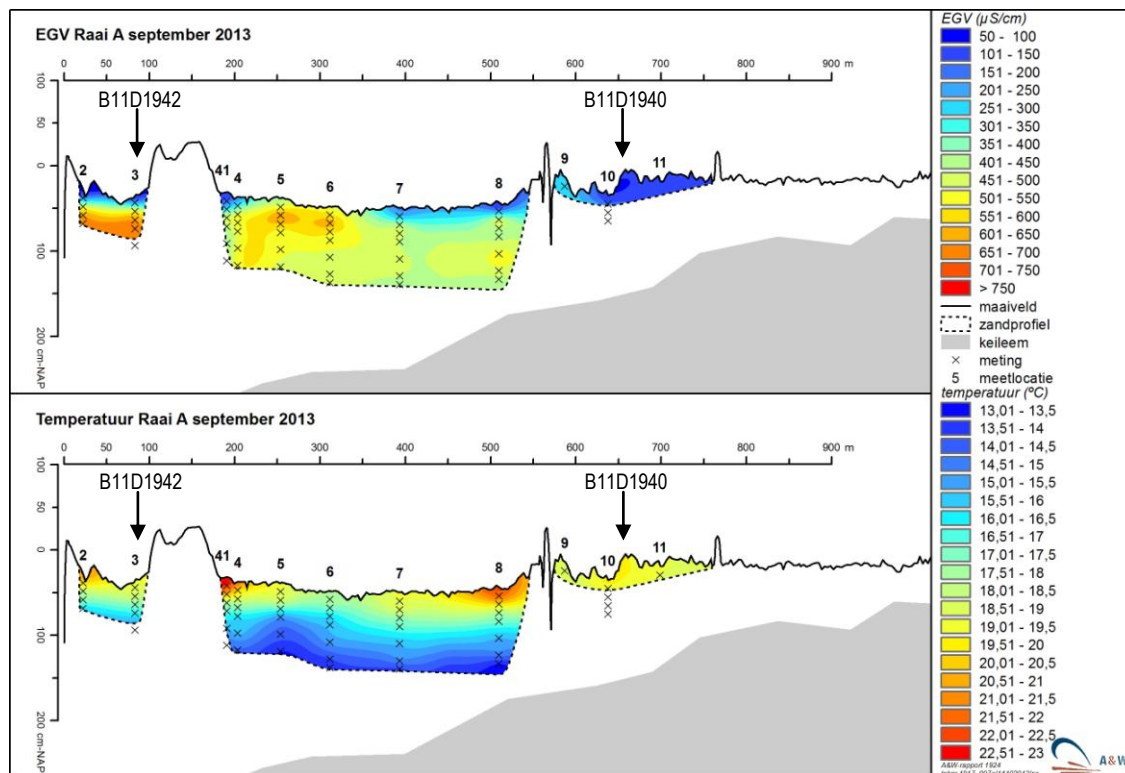
De patronen in EGV en bodemtemperatuur duiden op twee verschillende hydrologische situaties:

- In de overstromingsvlakte kwelt in het voorjaar regionaal grondwater van onder de keileem op aan de voet van de zandrug. Van hieruit stroomt het grondwater boven de keileem naar het zuiden. Mogelijk infiltreert het weer op plaatsen met een afwijkende bodemopbouw, zoals bij punt 14. Het is echter ook mogelijk dat het grondwater grotendeels over de keileem afstroomt. In dat geval stroomt het vooral naar het westen (figuur 4.2).
- Vlakbij het Koningsdiep lijkt een vergelijkbare situatie te bestaan als aan de voet van de steilrand, maar bij het Koningsdiep stroomt het grondwater nauwelijks verder.
- Boven de steilrand lijkt het oostelijke blauwgrasland in een zeer lokaal hydrologisch systeem boven de keileem te liggen. Een opvallend verschil met de hydrologische positie van het westelijke blauwgrasland, is dat in het oosten de regenwaterinvloed het grootst was in september.

In raai Oost zijn in de overstromingsvlakte geen aanwijzingen gevonden voor EGV-stijging door oxidatieve processen.

4.4 Aanvullende EGV-metingen in 2013

Op 6 september 2013 zijn in de verdrogende, westelijke raai aanvullende metingen gedaan die een beeld geven van de grondwaterinvloed aan het einde van een droge en warme zomer. De resultaten hiervan staan in figuur 4.10.



Figuur 4.10 EGV- en temperatuurprofiel in het veen langs raai West op 6 september 2013. Boven de steilrand (punt 9 t/m 11) zijn te weinig waarnemingen beschikbaar, zodat de interpolatie daar onbetrouwbaar is.

Boven de steilrand, rond buis B11D1940, is de interpolatie onbetrouwbaar doordat te weinig meetpunten voorhanden zijn.

In de overstromingsvlakte zijn aan de voet van de steilrand, bij punt 8, nabij het maaiveld de EGV's laag ($100 - 200 \mu\text{S/cm}$) en de temperaturen hoog ($> 20^{\circ}\text{C}$). Dat duidt op regenwaterinvloed en droogte nabij het maaiveld, die hier in september 2012 niet optrad. Bij punt 7 en 8 loopt de EGV met de diepte op tot $450 - 500 \mu\text{S/cm}$ op -100 cm NAP, zodat de diepere EGV's sterk lijken op waarden die in september 2012 in vrijwel het gehele profiel werden aangetroffen. In combinatie met de lage temperatuur nabij de grens tussen zand en veen, vooral in locatie 8, duidt dit er op dat in september 2013 sprake is van grondwateraanvulling vanuit het zandpakket onder het veen. Net als in 2012 betreft dit een mengtype van grondwater van boven en onder de keileem.

Net als in 2012 het geval was, zijn de EGV's bij punt 5 en 6 lokaal verhoogd ($550 - 650 \mu\text{S/cm}$), maar in 2013 wordt het patroon van de EGV-verhoging sterker dan in 2012 voortgezet

richting de zandondergrond bij locatie 4. In combinatie met de 'bult' in het temperatuurpatroon bij punt 5 kunnen deze hoge EGV-waarden duiden op invloed van grondwater vanuit de zandondergrond. Dat betekent dat hier een kwelvenster aanwezig lijkt te zijn. De EGV-waarden zijn hoger dan bij punt 8 maar lager dan bij 2 en 3, wat duidt op verdunning van het regionale grondwater. In hoeverre hier ook EGV-verhoging door pyrietoxidatie speelt is onzeker, maar gezien de lage oppervlakkige pH bij punt 5 op 25 juli 2013 kan dit meespelen (§5.3).

In het deel tussen de zandige rug en het Koningsdiep (locaties 2 en 3) treden beneden ca. -60 cm NAP hoge EGV's op, net als in 2012. Dit duidt op invloed van regionaal grondwater tussen de zandige rug en het Koningsdiep.

4.5 Conclusies over de hydrologie van Rome

Grondwatersystemen

In Rome zijn hydrologische systemen op drie niveaus relevant:

- De basis wordt gevormd door het regionale hydrologische systeem, waarin grondwater vanuit Drenthe globaal naar het westen stroomt. Dit water is aanwezig onder de keileem in de overstromingsvlakte. In dit systeem is de stijghoogte sinds 1960 met zo'n 15 cm afgenomen en tenminste sinds 1987 is dit niet te verklaren door veranderingen in neerslag en verdamping. Het regionale grondwater is tegenwoordig niet verontreinigd, terwijl in de jaren '90 nog wel sprake was van verhoogde gehalten chloride;
- In de zandrug van Beetsterzwaag bevindt zich een groter lokaal hydrologisch systeem, waarin regenwater dat infiltreert op hoge delen door de keileem heen trekt en dan onder de keileem naar de overstromingsvlakte in Rome stroomt. In de omgeving van de steilrand in Rome mengt dit systeem met het regionale grondwatersysteem. Daardoor bevindt zich onder de keileem in de omgeving van de steilrand grondwater met een iets jonger, minder gerijpt karakter dan in het regionale systeem. Dit grondwater is niet verontreinigd. In de periode voorjaar 2011 t/m voorjaar 2013 is de stijghoogte in deze mengzone structureel hoger dan in het regionale systeem, hoewel het verschil wel fluctueert: in de winter neemt de stijghoogte in het lokale systeem meer toe dan die in het regionale systeem;
- Boven de keileem bevinden zich kleine lokale hydrologische systemen. In de hogere, zandige delen boven de steilrand wordt de grondwaterstroming boven de keileem grotendeels gedreven door hoogteverschillen van het maaiveld en de top van de keileemlaag in Rome. In de overstromingsvlakte speelt daarnaast ook lokaal sterke uitwisseling met het pakket onder de keileem een rol.

Ontwikkelingen in de overstromingsvlakte

Ten aanzien van de ongunstige ontwikkelingen in de overstromingsvlakte valt op dat de zich negatief ontwikkelende delen van de westelijke raai sterk afhankelijk zijn van grondwatervoeding vanuit de lokale systemen, zowel uit het freatische als het eerste watervoerende pakket. Die situatie verschilt sterk van die in de zich positiever ontwikkelende oostelijke raai. Hier troffen we in het voorjaar aan de voet van de steilrand voeding aan vanuit het regionale grondwatersysteem. Aan het eind van de zomer is deze voeding niet langer aanwezig en is ook de oostelijke raai afhankelijk van lokaal grondwater. In beide raaien wijkt de hydrologische situatie lokaal af van de grote lijn, maar deze afwijkingen treden steeds rond dezelfde meetpunten op. Deze afwijkingen lijken dan ook het gevolg te zijn van variatie in de

bodemgesteldheid. Vermoedelijk betreft dit vooral variatie in de dikte en hoogteligging van de keileemlaag, waarin waarschijnlijk gaten zitten.

De afhankelijkheid van de westelijke raai van lokale grondwatersystemen maakt deze raai gevoeliger voor verdroging dan de oostelijke raai. Uit een aanvullende meetronde aan het einde van de droge zomer van 2013, blijkt inderdaad dat vooral in het noordelijke deel van de westelijke raai de grondwaterinvloed dan niet tot aan het maaiveld reikt. Iets verder naar het zuiden, bij locaties 5 en 6, reikt de grondwaterinvloed wel tot aan het maaiveld. Dat lijkt het gevolg te zijn van een kwelvenster.

In de westelijke raai is de situatie ten zuiden van de oude beekmeander (zandige rug) anders dan tussen de zandige rug en de steilrand. Ten zuiden van de rug stroomt, vooral in droge periodes, grondwater vanuit het regionale systeem toe, hoewel dit niet tot in het maaiveld reikt.

In de westelijke raai waren de EGV's nabij het maaiveld in het voorjaar van 2012 verhoogd, waarschijnlijk als gevolg van oxidatieprocessen, maar in de freatische peilbuis troffen we geen verontreiniging aan. Mogelijk hangt dit samen met de verschillende tijdstippen van de monsternamen (op 29 mei) en de prikstokmeting (op 12 april). Een alternatieve verklaring is dat de oppervlakkige waterkwaliteitverandering niet tot uiting is gekomen in het monster. Dit is mogelijk doordat het filter in het zandpakket onder het veen staat en tenminste deels wordt gevoed vanuit het eerste watervoerende pakket (figuur 4.7). In de nazomer waren de meetmomenten beter op elkaar afgestemd, met monsternamen op 28 augustus en prikstokmeting op 5 september, maar toen werd noch grondwaterverontreiniging, noch EGV-verhoging gemeten.

In de oostelijke raai deed zich een vergelijkbare situatie voor rond peilbuis AW2: in het freatische grondwatermonster van 29 mei werd 21 mg/l sulfaat gemeten. Dat kan zijn ontstaan door oxidatieprocessen, maar de prikstokmetingen op 19 april registreerden geen verhoogde EGV's. Op 28 augustus was het sulfaatgehalte gedaald tot 2,3 mg/l en op 5 september werd dan ook geen EGV-verhoging gemeten. Deze metingen geven dus geen uitsluitsel over de oorzaak van de lokale oppervlakkige EGV-verhoging en het verhoogde sulfaatgehalte.

Blauwgraslanden

De beide blauwgraslanden worden hydrologisch gevoed door lokale systemen. Dit beschermt de blauwgraslanden tegen verdroging door beïnvloeding van het regionale grondwatersysteem, maar het maakt ze gevoelig voor droge periodes. Hierdoor zijn ze kwetsbaar voor klimaatverandering, die naar verwachting zal leiden tot drogere zomers (KNMI 2014). Het westelijke blauwgrasland heeft een groter hydrologisch voedingsgebied dan het oostelijke. Dit komt doordat het westelijke blauwgrasland op de helling van de keileem ligt, terwijl het oostelijke blauwgrasland op een vlakke hoogte ligt. Het oostelijke blauwgrasland wordt vrijwel alleen gevoed vanuit de hogere zandkoppen in de directe omgeving. Het westelijke blauwgrasland zal tijdens een droge zomer dan ook minder snel verdrogen dan het oostelijke. Inderdaad stond aan het einde van de droge zomer van 2013 alleen de peilbuis in het oostelijke blauwgrasland droog.

Het grondwater in het westelijke blauwgrasland heeft een hogere mineralenrijkdom dan in het oostelijke. Dit kan deels het gevolg zijn van kwel vanuit het eerste watervoerende pakket, die in droge voorjaren op kan treden in het westelijke blauwgrasland. Waarschijnlijk is de ligging in

een groter hydrologisch systeem echter belangrijker. Hierdoor heeft het grondwater in het westelijke blauwgrasland een langere weg over de keileem afgelegd, zodat het meer is aangerijkt. Met het oog op de hogere basenrijkdom in het grondwater uit het westelijke blauwgrasland, is het curieus dat de vegetatie in het oostelijke blauwgrasland sterker duidt op zuurbuffering. In het oostelijke blauwgrasland komen Blonde zegge, Vlozegge, Knotssegge, Spaanse ruiter en Kleine valeriaan meer voor dan in het westelijke. Waarschijnlijk haalt de vegetatie in het oostelijke blauwgrasland haar mineralen voor een groot deel uit de zeer ondiep aanwezige keileemlaag.

Eind augustus 2012 troffen we in het grondwater in het oostelijke blauwgrasland verhoogde gehalten sulfaat (24 mg/l) en nitraat (4,5 mg/l) aan. Gezien de ligging in een zeer lokaal hydrologisch systeem moet dit binnen Rome zijn ontstaan. Het is mogelijk dat dit uitspoeling betreft vanuit de verontreinigde locatie pb4 van Wymenga *et al.* (1995). Een meer voor de hand liggende verklaring is echter oxidatie van pyriet in het blauwgrasland, onder invloed van droogte in de zomer.

5 Pyrietoxidatie?

5.1 Bodemdaling, pyrietoxidatie en verzuring

Eén van de aanleidingen voor dit onderzoek bestond uit de waarneming dat de ‘kommen’ in de overstromingsvlakte steeds dieper werden in de loop van de jaren ‘00 en dat er nauwelijks vegetatie in tot ontwikkeling kwam. In 2005 werden hier vooral open vegetaties gekarteerd bestaande met Zilver schoon en Moerasdroogbloem of Gewone waterbies. In 2009 hadden de kommen zich ontwikkeld tot een wederom zeer open vegetatie met Moerasstruisgras en/of Geknikte vossenstaart en hadden zure kleine zeggenvegetatie met Wateraardbei zich fors uitgebreid vanaf de randen van de kommen (van Belle & Brongers 2013). Tijdens het veldwerk in 2012 en 2013 viel echter op dat het vegetatiedek in de kommen zich goeddeels had gesloten.

Bodemdaling en het ontstaan van komvormige percelen in veenbodems zijn bekende gevolgen van ontwatering van veenbodems. De oorzaak hiervan is dat zuurstof in de bodem doordringt als deze niet is verzadigd met water. Onder invloed van zuurstof verbrandt organische stof, het veen, zodat de bodem daalt. In Rome vermoeden we echter dat er meer achter zit, omdat langdurige inundatie op zich de vegetatieontwikkeling niet hoeft tegen te houden. Het lijkt er daarom op dat er een chemisch proces speelt dat plantengroei tegengaat. In dit gebied is oxidatie en reductie van pyriet een goede kandidaat voor een dergelijk proces, aangezien pyrietoxidatie ook een rol blijkt te spelen in de nabijgelegen Deelen (DLG & SBB 2011) en in de Wydlännen in de Alde Feanen (Grootjans *et al.* 2004). Pyriet is een verbinding van ijzer met zwavel, die geoxideerd kan worden volgens deze chemische reactie (Appelo & Postma 1993):



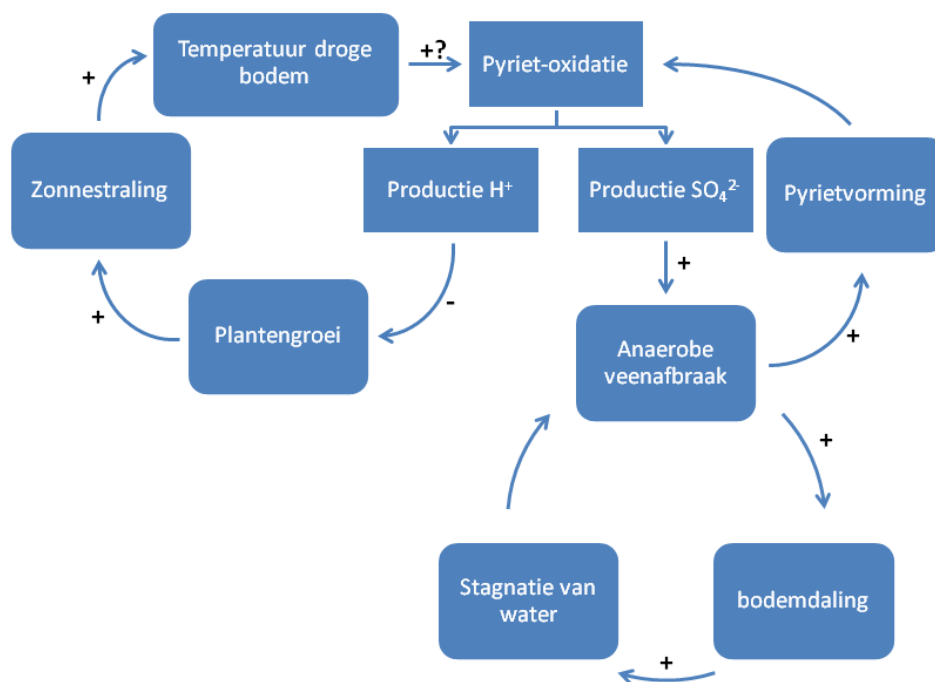
Waarbij FeS_2 pyriet is, O_2 is zuurstof, H_2O is water, Fe(OH)_3 is ijzerhydroxide, SO_4^{2-} is sulfaat en H^+ is zuur. Bij de oxidatie van pyriet ontstaat dus sulfaat en veel zuur. Zuur is giftig voor planten en kan daardoor een oorzaak zijn voor de spaarzame begroeiing in de kommen. Het vrijkomende sulfaat kan bovendien de rol van zuurstof overnemen in de afbraak van organische stof. Daardoor kan het vrijkomende sulfaat er toe leiden dat veenafbraak ook doorgaat als de bodem verzadigd is met water of als deze onder water staat. De afbraak van organisch materiaal onder invloed van sulfaat verloopt volgens de volgende chemische reactie (Appelo & Postma 1993):



Waarbij CH_2O een vereenvoudigde weergave is van organisch materiaal, HCO_3^- is waterstofcarbonaat, dat meestal snel omgevormd zal worden. In de praktijk is organisch materiaal variabel van samenstelling, zodat andere afbraakproducten kunnen ontstaan. H_2S is waterstofsulfide, dat giftig is voor planten. Waterstofsulfide zal voor een fors deel reageren met ijzer, waarbij weer pyriet wordt gevormd.

In Rome drogen de kommen in de loop van de zomer uit, regenen ze geregeld vol en raken ze 's winters overstroomd vanuit het Koningsdiep. Als de bodem 's zomers droog is, kan in de bodem aanwezig pyriet oxideren. Hierdoor ontstaan sulfaat en zuur. Als eenmaal sulfaat

aanwezig is, kan de bodemdaling doorgaan als de bakken geïnundeerd zijn door stagnerend regenwater of door overstroming vanuit het Koningsdiep. Mogelijk kan de zuurproductie bovendien leiden tot een zelfstimulerend effect van pyrietoxidatie, doordat ze de plantengroei in de kommen remt. Als de kommen droog staan, komt de zwarte veenbodem aan de oppervlakte te liggen. Zonder vegetatiedek warmt deze sterk op in de zon. In warme bodems verlopen alle chemische processen sneller, dus waarschijnlijk ook de oxidatie van pyriet. Dit conceptueel model van bodemdaling door pyrietoxidatie en de mogelijke zelfversterkende werking van pyrietoxidatie staan in figuur 5.1.



Figuur 5.1 Conceptueel model van het mogelijke zelfversterkende effect van pyrietoxidatie en hoe dit leidt tot bodemdaling in Rome.

5.2 De bodem-pH in 2012

In de EGV-profielen wees oppervlakkige EGV-verhoging in de westelijke raai al op het vrijkomen van ionen in de drooggevallen bodem. Hoewel EGV-waarden geen uitsluitel geven over het achterliggende chemische proces is oxidatie van pyriet de meest voor de hand liggende kandidaat. Andere relevante oxidatieve processen zijn vooral veenafbraakprocessen, waarbij nutriënten ontstaan die snel worden opgenomen door de begroeiing en bodemorganismen. Eenmaal opgenomen hebben deze stoffen geen invloed meer op de EGV. De sterkste aanwijzing dat het hier gaat om oxidatie van pyriet wordt gevormd door het sulfaat dat we aantreffen in de freatische buizen in de oostelijke raai (bijlage 4), aangezien dit niet wordt aangevoerd met het diepere grondwater (tabel 4.1). Deze meetresultaten geven echter geen uitsluitel.

Tabel 5.1 pH-profielen en de mate van veraarding van de veenbodem in de kommen in raai-West en raai-Oost, rond half mei, begin juli en eind augustus. De pH_{H_2O} is met kleuren weergegeven, met donkergroen voor de hoogste pH en rood voor de laagste pH. Veraard. is veraarding, met n.b. is aangegeven dat de bepaling niet kon worden uitgevoerd doordat geen bodemmateriaal in de guts is achtergebleven. In augustus stond op beide locaties 5 – 10 cm water op het maaiveld.

Raai-West					Raai-Oost				
14-mei-12	7 A		7 B		21-mei-12	24 A		24 B	
cm -mv	pH	Veraard.	pH	Veraard.	cm -mv	pH	Veraard.	pH	Veraard.
10	6,9	Sterk	7,0	Sterk	10	6,7	Sterk	6,4	Sterk
20	6,9	Sterk	6,9	Sterk	20	6,7	Sterk	6,8	Sterk
30	6,8	Sterk	6,7	Matig	30	6,8	Sterk	6,8	Matig
40	6,7	Matig	6,7	Matig	40	6,8	Matig	6,7	Matig
50	6,7	Matig	6,7	Matig	50	6,8	Matig	6,7	Matig
60	6,7	Matig	6,7	Matig	60	6,7	Matig	6,7	Matig
70	6,8	Matig	6,7	Matig	70	6,7	Matig	n.b.	n.b.
80	6,8	Matig	6,7	Matig	80	6,8	Matig		
90	6,9	Matig	n.b.	n.b.					
3-jul-12	7C		7D		3-jul-12	24 C		24 D	
cm -mv	pH	Veraard.	pH	Veraard.	cm -mv	pH	Veraard.	pH	Veraard.
10	6,6	Sterk	5,9	Sterk	10	6,7	Sterk	6,6	Sterk
20	6,8	Sterk	6,8	Sterk	20	6,7	Sterk	6,8	Sterk
30	6,8	Sterk	6,8	Sterk	30	6,9	Sterk	6,8	Sterk
40	6,8	Matig	6,8	Matig	40	6,7	Matig	6,8	Sterk
50	6,8	Matig	6,8	Matig	50	6,7	Matig	6,8	Matig
60	6,8	Matig	6,7	Matig	60	6,8	Matig	6,8	Matig
70	6,8	Matig	6,7	Matig	70	6,8	Matig	6,8	Matig
80	6,8	Matig	6,8	Matig					
90	n.b.	n.b.	6,8	Matig					
28-aug-12	7E		7F		28-aug-12	24 E		24 F	
cm -mv	pH	Veraard.	pH	Veraard.	cm -mv	pH	Veraard.	pH	Veraard.
10	6,6	Sterk	6,7	Sterk	10	6,7	Sterk	6,6	Sterk
20	6,8	Sterk	6,8	Sterk	20	6,7	Sterk	6,7	Sterk
30	6,8	Sterk	6,8	Sterk	30	6,8	Sterk	6,6	Sterk
40	6,7	Matig	6,7	Matig	40	6,8	Matig	6,6	Matig
50	6,7	Matig	6,6	Matig	50	6,7	Matig	6,6	Matig
60	6,7	Matig	6,6	Matig	60	6,8	Matig	6,7	Matig
70	6,7	Matig	6,6	Matig	70	6,8	Matig	6,8	Matig
80	6,6	Matig	6,6	Matig	80	6,9	Matig	n.b.	n.b.
90	6,7	Matig	n.b.	n.b.					

Om te achterhalen of inderdaad pyrietoxidatie optreedt zijn in 2012 drie maal pH-profielen bepaald in de kommen in de overstromingsvlakte (§3.1; locaties in figuur 3.3). De resultaten hiervan staan in tabel 5.1, waarin ook de mate van veraarding van het veen staat. Soms was onderin de guts geen veen aanwezig, dat is in tabel 5.1 aangegeven met n.b. Meestal was de veenlaag ongeveer 80 – 90 cm dik, waarvan de bovenste ca. 30 cm –mv vrij sterk veraard was. Op grotere diepte was het veen minder sterk veraard. Een enkele keer is onderin het profiel een stukje hout aangetroffen. Op de overgang van zand naar veen was vaak een dun bandje (1 – 2 cm) klei of leem aanwezig, zie ook de foto op de voorplaat. Eén maal is dit materiaal uitgerold tot de dikte van een potlood, waarbij het niet brak. In dat geval was dus sprake van klei.

De pH_{H_2O} van het veen verschilde niet systematisch tussen beide raaien, vertoonde nauwelijks verandering met de diepte en was vrij hoog, ca. 6,7 – 6,9. Deze waarden komen overeen met de pH van het diepere grondwater (6,5 – 7,0; bijlage 4). Er is geen structurele verandering van de pH in de loop van het jaar waargenomen. Uiteindelijk zijn maar twee afwijkende pH's gemeten, beide bovenin het profiel, op de locaties 24B in mei (pH 6,4) en vooral bij 7D in juli (pH 5,9). Enige pH-verlaging bij het droogvallen van de bodem is te verwachten, ook zonder oxidatie van pyriet. De geringe pH-verlaging op locatie 24B moet dan ook niet gezien worden als aanwijzing voor pyrietoxidatie. De pH-verlaging op locatie 7D bedraagt ongeveer een pH-punt, zodat hier ongeveer 10 keer zoveel zuur aanwezig is als elders. Daarmee is 7D de enige 'pyriet-verdachte' waarneming.

De pH-metingen geven dus maar heel weinig aanwijzingen voor pyrietoxidatie. Hierin speelt mee dat de zomer van 2012 zeer nat was. Doordat met het grondwater onder de keileem geen sulfaat of nitraat wordt aangevoerd (§4.2; bijlage 4) is zuurstof nodig voor oxidatie-processen in de veenbodem. De natte zomer zorgde er echter voor dat de bodem nauwelijks is opgedroogd en eind augustus stond in beide bemeten kommen zelfs water op het maaiveld. Onder dergelijke omstandigheden dringt weinig tot geen zuurstof in de bodem door.

5.3 Aanvullende metingen in 2013

In tegenstelling tot de koude, natte zomer van 2012 was de zomer van 2013, na een late start, zeer droog en warm. Daarom is besloten aanvullende metingen uit te voeren, om zicht te krijgen op het effect van verdroging.

Teneinde een beeld te krijgen van het effect van opdrogen op de bodem-pH zijn op 25 juli en 6 september van 2013 pH-metingen verricht. 25 juli was de laatste dag van een hittegolf, waardoor de natste kommen in Rome ongeveer 1,5 week droog stonden (mond. med. T. van Dijk, Cornelia-Stichting). Onder deze omstandigheden moet eventuele pyrietoxidatie zich uiten in pH-verlaging. De metingen op 6 september zijn gedaan aan het einde van de uitzonderlijk droge zomer, vlak voordat kouder en natter weer inviel. Deze metingen geven een beeld van de situatie bij maximale uitdroging.

Voor de pH-metingen is in 2013 een andere meetstrategie gekozen dan in 2012, waarbij meer is ingezet op het vatten van de ruimtelijke spreiding. In juli 2013 is maar op enkele plaatsen het pH-profiel van de volledige veenlaag bepaald. Daarnaast is de bodem-pH van de bovenste bodemlagen gemeten op meerdere locaties in de kommen in de overstromingsvlakte, nabij de

peilbuizen AW2 en AW1 en op enkele andere locaties in de blauwgraslanden (locaties in figuur 4.8). In september is opnieuw gemeten op locaties in de overstromingsvlakte waar in juli pH-verlaging werd gemeten, bij de verschillende peilbuizen en op twee aanvullende locaties in raai Oost.

Tijdens de pH-bepalingen in 2013 zijn ook EGV's gemeten, om te zien of sterke pH-verlaging aan de oppervlakte samengaat met EGV-verhoging (vergelijk §4.3). Door storing van de apparatuur is de EGV-meting in juli mislukt, maar in september zijn de metingen wel gelukt. In september is daarnaast de meest verdrogingsgevoelig westelijke raai opnieuw bemonsterd, om een indruk te krijgen van het effect van droogte op de grondwaterinvloed in deze raai.

Tegelijk met de septembermetingen is het freatische grondwater in de peilbuizen B11D1940, B11D1942, AW1, AW2 en AW3 bemonsterd en geanalyseerd. De buis in het oostelijke blauwgrasland (AW1) stond droog op het moment van monsternamen, zodat daarvan geen analysesresultaten beschikbaar zijn.

5.3.1 Bodem-pH en grondwatersamenstelling in 2013

De resultaten van de pH-metingen staan in tabel 5.2. De resultaten van de grondwateranalyses zijn opgenomen in bijlage 4 en in het EGV/IR-diagram in figuur 4.7.

Overstromingsvlakte

Het eerste dat opvalt in de overstromingsvlakte, is dat in 2013 een klein pH-verschil tussen de oostelijke en de westelijke meetraai naar voren komt. In de oostelijke raai lag de 'basis-pH' van de bodem rond 6,8, net als het geval was in 2012. Aan de oppervlakte is enige pH-verlaging herkenbaar, maar alleen bij buis AW2 in juli is dit meer dan een halve pH-punt (pH 5,7). In deze buis werd in mei 2012 sulfaat aangetroffen (21 mg/l). De combinatie van een sterke pH-verlaging en aanwezigheid van sulfaat, hoewel niet op hetzelfde moment gemeten, is een sterke aanwijzing dat hier sprake is van enige pyriet-oxidatie. Op 6 september heeft de pH zich hersteld tot 6,6 en in vrijwel geen sulfaat meer aanwezig (1,8 mg/l). Het pH-herstel betekent waarschijnlijk dat pyrietoxidatie is stilgevallen tussen 25 juli en 6 september, waarna het zuur is geneutraliseerd. (Door de buffercapaciteit van de bodem, reactie met bicarbonaat, of andere chemische interacties.) Kennelijk is pyrietoxidatie hier een tijdelijk optredend fenomeen. Het sulfaat kan uit het grondwater zijn verdwenen door uit- of afspoeling, reductie tot sulfide (wat weer kan binden met ijzer), of bijvoorbeeld door gipsvorming (CaSO_4). Dit laatste bleek bijvoorbeeld ook op te treden bij experimenten met tijdelijke droogval van sulfaathoudende plassen (Westendorp *et al.* 2012).

In de westelijke raai is de pH in 2013 over het algemeen iets lager dan in de oostelijke raai en varieert ze op enige diepte rond 6,6, wat ongeveer overeenkomt met de pH in locatie 7 in 2012. Alleen in de afwijkende locatie 5 is de diepere pH iets hoger, zowel in 2012 als in 2013. In juli 2013 is de pH verlaagd aan de oppervlakte van locaties 7 en 5 (pH 5,7 respectievelijk 5,9). Deze pH-verlagingen kunnen duiden op pyriet-oxidatie. De oppervlakkige EGV-verhoging die hier werd gemeten in het voorjaar van 2012 vormt een verdere aanwijzing voor pyrietoxidatie. In 2013 zijn van deze locaties alleen EGV-metingen beschikbaar uit september, maar op dat moment had de pH zich al grotendeels hersteld en was de oppervlakkige EGV niet verhoogd. Ook in de westelijke raai lijkt pyrietoxidatie, als het inderdaad optreedt, dus een tijdelijk fenomeen te zijn.

Tabel 5.2 Bodem-pH op 25 juli en 6 september 2013. De locaties zijn globaal gepositioneerd zoals ze in het veld ten opzichte van elkaar liggen, de dikke verticale streep scheidt de locaties in de overstromingsvlakte (links) van die in de blauwgraslanden. De locaties staan in figuur 5.2. In juli zijn alleen op locaties 5, 8, 24, 26 en 27 is (vrijwel) de gehele veenlaag bemeten, en zijn 29 t/m 31 gemeten in kleine maaivelddepressies in het oostelijke blauwgrasland. In september zijn pH's opnieuw bepaald op de locaties 5, 7, bij AW2 en bij AW1 en zijn enkele aanvullende locaties bemeten.

[illegible]

Ook in raai West, bij peilbuis B11D1942 en in locatie 41, werd in september wel oppervlakkige pH-verlaging gemeten, maar die ging gepaard met EGV-*verlaging* (figuur 4.10). Dat duidt eerder op verzuring door regenwaterinvloed, dan op pyrietoxidatie. Dat strookt met de afwezigheid van sulfaat en/of nitraat in het freatische grondwater op 6 september, maar door de positie van het filter is onzeker of dit wel sulfaat zou bevatten als dat oppervlakkig zou worden geproduceerd (§4.5).

Oostelijk blauwgrasland

In de blauwgraslanden zijn de pH-metingen niet beperkt tot de veenlaag, die hier ook lang niet overal aanwezig is. De meeste metingen zijn verricht in juli en vooral in het oostelijke blauwgrasland, omdat het freatische grondwater hier in augustus 2012 sulfaat en nitraat bevatte. Op enige diepte ligt de bodem-pH in het oostelijke blauwgrasland rond 6,5, zodat we dit hier beschouwen als 'basis-pH'. Ten opzichte van deze waarde is de pH bij peilbuis AW1 (meetlocatie 28) in juli nauwelijks verlaagd, zodat hier op dat moment geen aanwijzing is voor pyrietoxidatie. Opvallend genoeg is dit de enige locatie waar is gemeten in juli en september, waar de pH in september lager was dan in juli.

Omdat de beheerder tijdens een veldbezoek op 7 juni 2013 aangaf dat een aantal kuilen ten noorden van de peilbuis steeds dieper worden, is in juli in een aantal van dergelijke kuilen gemeten. Dit zijn de locaties 29 t/m 31, die naast elkaar liggen en waarvan locatie 29 de meest westelijke en 31 de meest oostelijke is. Uit de boringen blijkt dat deze kuilen depressies in de zandondergrond zijn, die grotendeels zijn opgevuld met organisch materiaal en sterk moerig zand. De vegetatie in deze kuilen wijkt nogal af van die van het omringende blauwgrasland, zie de foto in figuur 5.2. Vooral het aandeel van Gele lis valt op in deze kuilen, andere opvallende soorten zijn Liesgras en in veel mindere mate Pitrus, Noordse zegge en Scherpe zegge.



Figuur 5.2 Vegetatie in een van de kuilen in het oostelijke blauwgrasland (locatie 30).

Op locatie 29 is zowel de zandige rand van de kuil als het moerige centrum bemeten. Aan de rand van de kwam de bodem-pH ongeveer overeen met de basis-pH in dit blauwgrasland, zodat hier geen aanwijzingen zijn voor verzuring. In het centrum, 1 m verder naar het westen, bleek de pH echter aanzienlijk lager te zijn: 5,8. Hier wordt dus zuur geproduceerd. Iets verder naar het oosten bleek de pH in het centrum van 2 andere kuilen nog weer aanzienlijk lager dan in locatie 29, namelijk 5,1 respectievelijk 5,2. Dat komt neer op een pH-verlaging met meer dan 1 pH-punt, zodat hier aan de oppervlakte meer dan 10 keer zoveel zuur aanwezig is dan dieper in de bodem. In de putjes wordt dus veel zuur geproduceerd, wat duidt op pyrietoxidatie.

Mogelijk is het sulfaat dat werd aangetroffen in het augustus 2012-monster uit peilbuis AW1 niet ter plaatse van AW1 ontstaan, maar is dit toegestroomd vanuit de hogere delen van het blauwgrasland, waar waarschijnlijk pyrietoxidatie speelt. Deze toestroming kan leiden tot vertraagd optreden van sulfaat in de peilbuis. Onderweg kan dan nitraat in het grondwater zijn opgenomen (door afbraak van veen onder invloed van sulfaat) en zuur zijn geneutraliseerd (bv. door zuurconsumptie bij nitraatreductie; Appelo & Postma 1993). Deze interpretatie kan niet verder worden onderbouwd, zodat het goed mogelijk blijft dat sulfaat, nitraat en zuur lokaal zijn ontstaan door veenafbraak onder droge omstandigheden. Dat kan echter niet verklaren waarom de pH bij AW1 niet verlaagd was in juli 2013, toen elders in Rome wel pH-verlaging optrad, terwijl de pH wel verlaagd was in september 2013, toen de pH zich elders in Rome weer had hersteld. Doordat de buis droog stond in september 2013 is geen grondwatersamenstelling op dat moment bekend.

Westelijk blauwgrasland

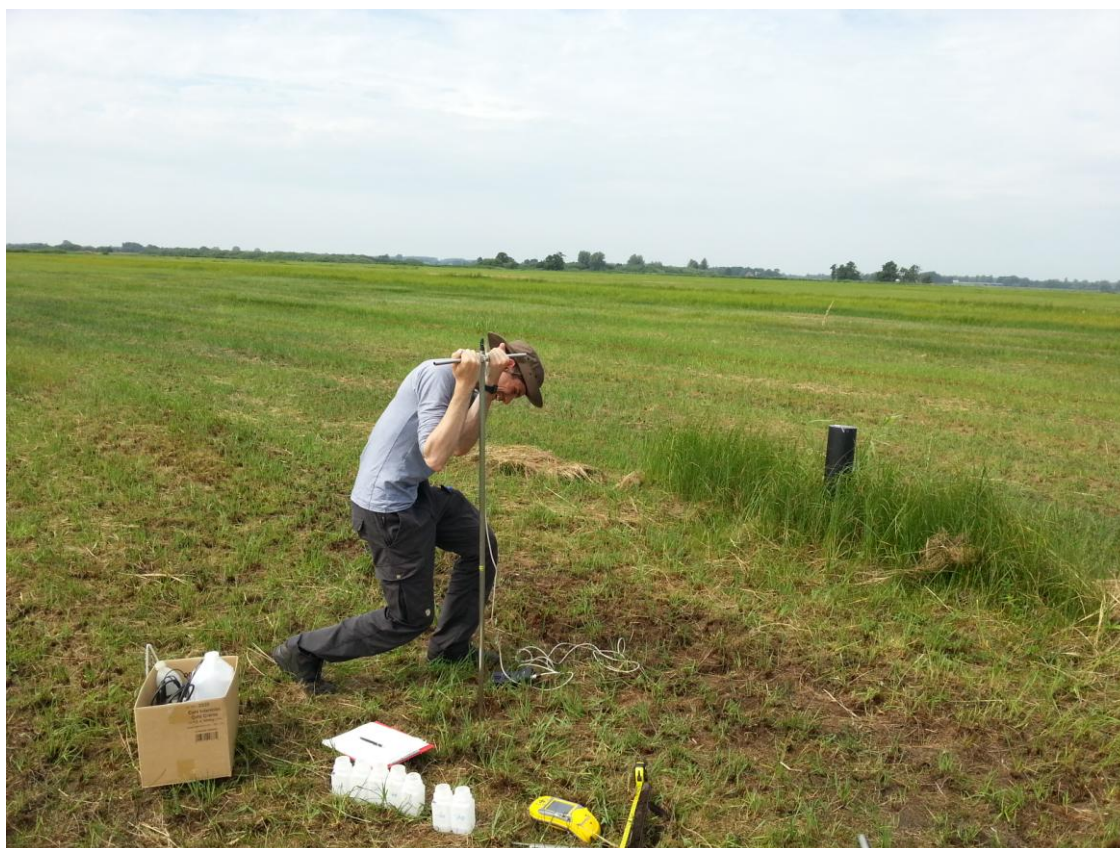
In het westelijke blauwgrasland is maar één pH-bepaling uitgevoerd, namelijk op 25 juli 2013 naast peilbuis B11D1940. Er van uitgaande dat de pH op enige diepte hier gelijk was aan die in het oostelijke blauwgrasland, was de oppervlakkige pH (5,9) ongeveer een halve pH-punt verlaagd. Hier werd dus zuur geproduceerd, maar niet zo veel als in het oostelijke blauwgrasland. De grondwateranalyses in 2012 en in 2013 duiden hier niet op pyrietoxidatie, terwijl het filter vrij ondiep staat (50 tot 150 cm –mv). Dat duidt er op dat pyrietoxidatie, als het hier optreedt, een tijdelijk fenomeen is en geen grote rol speelt.

5.4 Conclusies over pyrietoxidatie

In de overstromingsvlakte treedt geen pyrietoxidatie op zolang de bodem niet opdroogt. Als deze wel opdroogt wordt op een aantal plaatsen veel zuur gevormd en dit valt samen met EGV-verhoging of sulfaat in het ondiepe freatische grondwater. Op deze locaties treedt dus pyrietoxidatie op. Pyrietoxidatie is hier echter een tijdelijk optredend fenomeen, zoals blijkt uit het herstel van de pH in de zomer van 2013. In de zich vrij goed ontwikkelende oostelijke raai speelt pyrietoxidatie in de overstromingsvlakte veel minder dan in de zich slechter ontwikkelende westelijke raai. In het oosten vonden we alleen pyrietoxidatie in de buurt van het Koningsdiep, terwijl we het in de westelijke raai meer middenin de overstromingsvlakte vonden.

In het oostelijke blauwgrasland speelt eveneens pyrietoxidatie, dat hier vooral een rol lijkt te spelen in met organisch materiaal gevulde depressies in de zandondergrond. Deze kuilen hebben ook een afwijkende vegetatie. In het westelijke blauwgrasland wordt wat zuur gevormd als de bodem opdroogt, maar de ene meting die we hier hebben verricht geeft geen aanleiding hier pyrietproblemen te veronderstellen.

In alle gevallen waar we pyrietoxidatie vinden, is deze niet heel extreem. In sterk pyriethoudende bodems kan door drainage de pH dalen tot in de buurt van 2, waarbij de concentratie van sulfaat op kan lopen tot honderden of zelfs duizenden mg/l (Appelo & Postma 1993). Daarvan is hier geen sprake.



6 Probleemidentificatie en oplossingsrichtingen

6.1 Synthese van dit onderzoek

Overstromingsvlakte

In een groot deel van de overstromingsvlakte is keileem aanwezig in de ondergrond. Dat leidt er toe dat de freatische grondwaterstanden en -kwaliteit worden bepaald door interactie van het regionale grondwatersysteem met een relatief groot lokaal grondwatersysteem onder de keileem, en kleine lokale grondwatersystemen boven de keileem. De EGV-metingen geven aan dat in de overstromingsvlakte her en der afwijkende locaties voorkomen, waar de hydrologische omstandigheden afwijken van die in de omgeving. Waarschijnlijk is de bodem op dergelijke plaatsen anders, bijvoorbeeld met een gat in de keileem of welvingen in de keileemlaag of in het zandpakket. Wat hier speelt hebben we niet onderzocht.

Los van de afwijkende locaties is duidelijk dat de hydrologische situatie en het optreden van pyrietoxidatie in de oostelijke meetraai, waar de vegetatie zich relatief goed ontwikkelt, anders is dan die in de zich ongunstiger ontwikkelende westelijke meetraai.

De oostelijke meetraai wordt in het voorjaar gevoed met grondwater uit het regionale systeem, dat dan zowel aan de voet van de steilrand als nabij het Koningsdiep doordringt tot boven de keileem. In het noorden van de overstromingsvlakte treffen we dit lokaal aan tot ca. 20 cm onder het maaiveld, dicht bij het Koningsdiep zit het dieper. Waarschijnlijk neemt de voeding uit het regionale systeem af in de loop van het zomerhalfjaar, waardoor voeding vanuit het grotere lokale systeem belangrijker wordt. Aan het eind van de zomer van 2012 vonden we aan de voet van de steilrand vooral nog invloed van het grotere lokale hydrologische systeem, maar bij het Koningsdiep lijkt dan nog voeding uit het regionale systeem op te treden. Ten noorden van de oude stroomrug treedt dan nog maar heel weinig stroming op, maar zuidelijker lijkt iets meer stroming op te treden. Overigens is de hydrologische situatie ten zuiden van de oude stroomrug minder eenduidig, doordat de situatie hier lokaal afwijkend is. Alleen ten zuiden van de oude stroomrug vonden we aanwijzingen voor pyrietoxidatie als de bodem opdroogt. Zowel het sulfaatgehalte als de pH wezen echter op beperkte pyrietoxidatie. De freatische grondwaterstanden duiden op jaarrond hoge grondwaterstanden (tot ca. 35 cm –mv in 2012), zodat verdroging en daarmee pyrietoxidatie hier geen grote rol spelen.

De westelijke meetraai wordt aan de voet van de steilrand het gehele zomerhalfjaar evenredig gevoed vanuit de lokale systemen onder en boven de keileem. In de buurt van het Koningsdiep wordt de overstromingsvlakte gevoed vanuit het regionale systeem, zodat de situatie ten zuiden van oude stroomrug hier weer anders is dan die ten noorden daarvan. In het deel ten noorden van de oude stroomrug lijkt aan het eind van de zomer van 2012 meer stroming op te treden dan in de oostelijke raai het geval was. Aan het einde van de droge zomer van 2013 bleek in de westelijke raai verdroging op te treden, hoewel bij locatie 5 en 6 toen juist sterkere aanwijzingen voor kwel vanuit het zandpakket optraden.

In de westelijke raai vonden we vooral in juli 2013 op meerdere plaatsen in de overstromingsvlakte beperkte aanwijzingen voor pyrietoxidatie als de bodem opdroogt. In de oostelijke raai vonden we alleen nabij de peilbuis (AW2) dergelijke aanwijzingen. Na enige tijd herstelt de pH zich weer van de verlaging door (vermoedelijke) pyrietoxidatie, wat er op duidt

dat pyrietoxidatie maar tijdelijk optreedt. Er lijkt dus maar weinig pyriet aanwezig en deze zit in de bovenste bodemlaag.

De conclusie luidt dat de overstromingsvlakte vooral te leiden heeft van verdroging. Pyrietoxidatie treedt waarschijnlijk wel op, maar lijkt een beperkt probleem. Waarschijnlijk is maar weinig pyriet (meer) aanwezig. Het is mogelijk dat in de jaren '00 meer pyrietoxidatie optrad, maar dat de hoeveelheid aanwezige pyriet inmiddels is afgenomen.

Blauwgraslanden

De blauwgraslanden liggen in lokale hydrologische systemen. Het oostelijke blauwgrasland ligt op een vlakke kop van de keileemlaag en is daardoor vrijwel volledig afhankelijk van zeer lokale grondwaterstroming over de keileem. Hierdoor droogt de bodem onder dit blauwgrasland uit in droge periodes. Dit beeld strookt met de aanwijzingen voor toenemende voedselrijkdom die naar voren komen uit de vegetatieverandering (§2.2). Onder het westelijke blauwgrasland ligt de keileem lager en helt ze, waardoor het hydrologische voedingsgebied boven de keileem hier groter is. Bovendien kan hier, op plaatsen waar de keileem voldoende doorlatend is, in droge voorjaren kortstondig kwel van onder de keileem optreden. Hierdoor zal het westelijke blauwgrasland in een droog jaar minder snel uitdrogen en de vegetatieontwikkeling duidt er ook niet op verdroging. Dat desondanks het oostelijke blauwgrasland rijker is aan basenminnende plantensoorten, lijkt het gevolg te zijn van de ondiep aanwezige keileem. Waarschijnlijk halen de planten hun basen rechtstreeks uit de keileemlaag.

In het oostelijke blauwgrasland bevinden zich hoger op de helling 'kuilen' in de zandondergrond die grotendeels zijn opgevuld met organisch materiaal. Hier treedt in tijden van droogte hoogstwaarschijnlijk pyrietoxidatie op. De plekken waar dit speelt hebben bovendien een sterk afwijkende vegetatie, zodat de verdroging hier duidelijk een negatief effect heeft op de vegetatieontwikkeling. Hier leidt periodieke verdroging dus tot problemen, waarschijnlijk als gevolg van pyrietoxidatie.

In het westelijke blauwgrasland hebben we geen aanwijzingen gevonden voor problematische pyrietoxidatie.

6.2 Oorzaken van de knelpunten

Overstromingsvlakte

De primaire oorzaak voor de bodemdaling in de overstromingsvlakte, en daarmee voor de onwenselijke vegetatieontwikkeling, is de daling van de stijghoogte in het regionale grondwatersysteem die de afgelopen decennia is opgetreden. Hierdoor is de toestroming van regionaal grondwater tot boven de keileem verminderd. Ook zal de zone waar het grotere lokale systeem en het regionale systeem mengen (onder de keileem) stroomafwaarts zijn verschoven, dus richting het Koningsdiep en richting de Zomerpolder. Dat heeft (periodieke) kwel in de overstromingsvlakte aan de voet van de steilrand verminderd. Beide veranderingen maken dat de overstromingsvlakte afhankelijker is geworden van de lokale hydrologische systemen.

Doordat de stijghoogte meer varieert in een kleiner systeem, heeft de toegenomen invloed van het lokale systeem geleid tot meer fluctuatie van de grondwaterstand in de

overstromingsvlakte. Aangezien de oostelijke raai tegenwoordig meer wordt beïnvloed vanuit het regionale hydrologische systeem dan de westelijke, is de grondwaterstandschommeling in en tussen jaren in het oosten minder groot dan in het westen. Dat verklaart waarom in het westen van de overstromingsvlakte meer maaiveldddaling is opgetreden en de vegetatie zich ongunstiger heeft ontwikkeld dan in het oosten.

Hoewel we daar geen metingen hebben verricht, is het zeer waarschijnlijk dat het lokale systeem in het noordwesten van Rome, in de buurt van de Beetster Feart, mengt met het regionale systeem, analoog aan de mengzone rond de steilrand (*cf.* pb5 en pb7 in figuur 4.7). Waarschijnlijk is ook deze mengzone stroomafwaarts verschoven, dus richting de Zomerpolder. Dit verklaart de maaiveldddaling die optreedt in de veenbodems in het noordwesten van Rome. Hier gaat de maaiveldddaling vooral gepaard met een ontwikkeling van dotterbloemhooiland naar grote zeggenvegetaties.

Dezelfde oxidatie die leidt tot maaiveldddaling leidt ook tot pyrietoxidatie, als pyriet in de bodem aanwezig is. Voor de vorming van pyriet moeten sulfaat en ijzer aanwezig zijn onder zuurstofloze condities. Dan wordt sulfaat gereduceerd tot sulfide, dat samen met ijzer neerslaat als pyriet (§5.1). Doordat de overstromingsvlakte van oudsher een kwelzone is, is voldoende ijzer aanwezig. Sulfaat kan zijn aangevoerd via atmosferische depositie in de 20^e eeuw, of het kan tijdens overstromingen zijn meegekomen met water uit het Koningsdiep. Aan de voorwaarden voor vorming van pyriet wordt dus voldaan.

Uit ons onderzoek blijkt dat pyrietoxidatie hoogstwaarschijnlijk inderdaad optreedt, vooral in het westen van de overstromingsvlakte. De aangetroffen pH's en sulfaatconcentraties duiden er echter op dat de pyrietoxidatie niet sterk is, zodat het hier een beperkt probleem is en niet de hoofdoorzaak. Door pyrietoxidatie ontstaat echter sulfaat, dat in de kommen aanwezig blijft als het niet weg kan stromen. Hierdoor kan de bodemdaling verder gaan als het grondwater weer tot aan het maaiveld staat.

Blauwgraslanden

De blauwgraslanden waren waarschijnlijk altijd al grotendeels afhankelijk van kleinere lokale systemen (boven de keileem). Daardoor zullen deze altijd kwetsbaar zijn geweest voor verdroging in droge en/of warme jaren. Met het oog op de huidige klimaatverandering is dit een punt van aandacht: naar verwachting zullen weersextremen, waaronder droge periodes, in de toekomst vaker optreden. In de blauwgraslanden kan dat leiden tot (tijdelijke) verdroging.

Voor het oostelijke blauwgrasland is hiervoor gevoelig, doordat het vrijwel alleen gevoed lijkt te worden door zeer lokale toestroming van grondwater over de keileem vanuit hogere delen. Doordat het netto infiltratiegebieden zijn, zijn de blauwgraslanden waarschijnlijk minder gevoelig voor veranderingen in het regionale hydrologische systeem dan de overstromingsvlakte. Het maakt ze echter ook weer niet ongevoelig: doordat de stijghoogte onder de keileem tot in de keileemlaag reikt, en in het westen soms zelfs even er boven, leidt verlaging van de stijghoogte onder de keileem tot versterkte infiltratie. De freatische grondwaterstand is hier geen echte schijngrondwaterspiegel, maar staat in contact met het grondwater onder de keileem (*cf.* Immerzeel & Rus 2009). Bovendien kan de laterale afstroming versterken, doordat aan de voet van de steilrand 's zomers minder grondwater aanwezig is (boven de keileem). Of de stijghoogte in het lokale grondwatersysteem is

veranderd in de afgelopen decennia is onbekend, doordat geen systematische metingen beschikbaar zijn.

De pH-metingen en het grondwatermonster uit het oostelijke blauwgrasland duiden op sterkere pyrietoxidatie dan in de overstromingsvlakte. De plaatsen waar dit speelt zijn bovendien herkenbaar aan een afwijkende vegetatie, zodat verdroging en de bijkomende pyrietoxidatie in het oostelijke blauwgrasland zorgwekkend zijn.

6.3 Oplossingen binnen Rome

In de overstromingsvlakte is verdroging door de dalende regionale stijghoogte de hoofdoorzaak van de bodemdaling, met pyrietoxidatie als bijkomend probleem. Verdroging is dan ook de hoofdoorzaak van de gesignaleerde ongewenste vegetatieontwikkeling. Door de dalende regionale stijghoogte zijn lokale grondwatersystemen hier belangrijker geworden. De blauwgraslanden, vooral het oostelijke, zijn gevoelig voor verdroging in droge en/of warme jaren, doordat ze gevoed worden door lokale hydrologische systeempjes boven de keileem.

Binnen Rome kunnen maatregelen worden genomen om de interne hydrologie zoveel mogelijk te stimuleren. Dit kan door in de hogere, zandige delen – boven de steilrand – het waterbeheersysteem zoveel mogelijk om te vormen van het huidige slotensysteem naar een systeem van ondiepe greppels. Deze vangen zo min mogelijk grondwater af. In dit systeem wordt een zo klein mogelijk aantal sloten gehandhaafd als brede greppel en worden sloten die dwars op de helling liggen gedempt. Ten behoeve van de beheerbaarheid en het afvoeren van overtollig regenwater en ongewenste producten van veen- en pyrietafbraak (zuur, sulfaat en nutriënten), worden in de percelen greppelsystemen aangelegd die stagnerend regenwater afvoeren naar de brede greppels. Mogelijk is ter plaatse van de steilrand een peilscheiding gewenst, om peilverschil te kunnen creëren met de overstromingsvlakte.

Op verschillende plaatsen ligt aan de voet van de steilrand een sloot. Bij de herinrichting van 2004/2005 zijn deze niet allemaal gedempt (in weerwil van de plannen). Deze sloten vangen grondwater af dat vanuit de hogere delen naar de overstromingsvlakte stroomt. Door deze sloten te dempen wordt het hydrologische contact tussen de delen boven en onder de steilrand versterkt, waardoor de overstromingsvlakte wat meer grondwater zal ontvangen.

In de overstromingsvlakte is behoefte aan meer grip op het peilbeheer in de sloten, zodat dit kan worden afgestemd op de regionale stijghoogte en de maaiveldhoogte. Waar nu water stagneert op de percelen wordt dit bij voorkeur zoveel mogelijk naar de sloten afgevoerd met een greppelsysteem, zodat ongewenste producten van veen- en pyrietafbraak kunnen worden afgevoerd. In hoeverre de bodemdaling tot staan kan worden gebracht is ook met een optimaal waterbeheersysteem sterk afhankelijk van grondwaterstanden en –dynamiek die kan worden gerealiseerd. Het is onwaarschijnlijk dat met maatregelen binnen Rome zoveel meer lokaal grondwatervoeding kan worden gecreëerd dat ook in het westen van Rome weer stabiel hoge grondwaterstanden gaan heersen. Daarom moet er rekening mee worden gehouden dat de maaiveldaling voortgaat zolang geen verhoging van de regionale stijghoogte wordt gerealiseerd.

Vooraf in de overstromingsvlakte moeten de maatregelen worden opgesteld in samenhang met maatregelen buiten Rome. Zo wordt er gewerkt aan herstel van het Koningsdiep, wat gevolgen kan hebben voor overstroming en grondwaterstanden in Rome. Aanpassing van het maaiveld in Rome moet derhalve worden afgestemd op de plannen rond het Koningsdiep. Ook is relevant in hoeverre de regionale stijghoogte wordt hersteld.

6.4 Oplossingen in de omgeving

Voor de overstromingsvlakte zou de beste, want brongerichte, aanpak zijn de regionale stijghoogte weer omhoog te brengen. De uiteindelijke oorzaak van de verlaging van de stijghoogte ligt voor een belangrijk deel in de lage peilen in de diepe polders tussen Nij Beets en de Deelen (Osinga *et al.* 2014). Het is echter onwaarschijnlijk dat in deze polders voldoende peilverhoging mogelijk is voor herstel van de regionale stijghoogte. Recente hydrologische berekeningen wijzen forse peilverhoging in de zandwinplas bij Nij Beets aan als kansrijke maatregel. Dit kan zelfs onder Rome de stijghoogte verhogen (van Immerzeel 2013). Of de drinkwaterwinning bij Nij Beets een negatief effect heeft op grondwaterstanden in de omgeving van Rome is op dit moment niet duidelijk (*cf.* van Immerzeel 2013 vs. Baggelaar 2010). Daarom is onzeker of aanpassing van die winning bij kan dragen aan verhoging van de stijghoogte. In ieder geval moet worden voorkomen dat de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket verder daalt. In de monitoring en mitigatie van de effecten van de waterwinning en de zandwinning bij Nij Beets zou hiermee rekening gehouden moeten worden.

Het beste alternatief voor herstel van de regionale stijghoogte is om het grotere lokale hydrologische systeem (in het eerste watervoerende pakket) zoveel mogelijk te stimuleren. Ook als de regionale stijghoogte niet voldoende hersteld kan worden, kan een combinatie worden gezocht met versterking van het grotere lokale systeem. Daarbij valt te denken aan maatregelen om de infiltratie in en rond Beetsterzwaag te stimuleren, zoals beperking van het verharde oppervlak. Ook verminderde afvoer via sloten en greppels in (landbouw)gebieden bovenstrooms van Rome kunnen bijdragen.

Er zijn ook mogelijkheden om meer hydrologische voeding via het freatische pakket te realiseren, door het contact tussen Rome en de landbouwgebieden ten noorden en noordoosten hiervan te versterken. Dit kan bijvoorbeeld door de sloot ten noorden van De Walle te dempen, sterk te verondiepen, of om te vormen tot een buis. Bij dergelijke maatregelen moet rekening worden gehouden met waterkwaliteitsaspecten: in de huidige situatie ontvangt het noorden van Rome al enige verontreiniging, die waarschijnlijk uit de genoemde landbouwgebieden komt. Door het hydrologisch contact te versterken kan deze verontreiniging toenemen.

De grote vaarten aan weerszijden van Rome (Beetster Feart en Teyensfeart) vangen waarschijnlijk ook een aanzienlijke hoeveelheid water uit de lokale systemen af. Dit kan worden verminderd door deze vaarten sterk te verondiepen, eventueel in combinatie met peilverhoging. Voor de Teyensfeart ligt de prioriteit bij verondiepen, zodat meer grondwater vanuit het noordoosten naar Rome kan stromen. Als het peil hier al te sterk wordt verhoogd, ontstaat het risico dat een waterslot wordt gevormd. Peilverhoging moet hier dus met beleid gebeuren. Voor de Beetster Feart ligt de prioriteit bij peilverhoging, om tegendruk voor het grondwater in Rome te genereren, zodat de stroming naar de Zomerpolder wordt verminderd.

Bij peilwijzigingen, bijvoorbeeld in landbouwgebieden rond Rome, zou voorkomen kunnen worden dat de peilwijziging er toe leidt dat meer grondwater wordt aangezogen, aangezien dit ten koste van het grondwater in Rome zal gaan. In dit licht is het ongelukkig dat dit niet is meegenomen bij de beoordeling van de recente peilverlaging met 5 – 10 cm in polder Oud Beets (ten noorden van de Zomerpolder; Van der Velde 2009).

Bij de lopende plannen voor de herinrichting van de Zomerpolder kan overwogen worden het peil fors op te zetten, zodat zoveel mogelijk tegendruk wordt gegenereerd voor het grondwater in Rome. Dit kan de mengzone van het lokale en regionale hydrologische systeem in Rome wellicht weer iets naar het oosten drukken. Het opzetten van het peil in de Zomerpolder is vooral van belang in de winter, aangezien de stijghoogte in het regionale systeem dan het hoogst is. Peilverhoging in de Zomerpolder - bij voorkeur tot boven de winterse regionale stijghoogte - drukt het grondwater bovenstrooms omhoog, dus in Rome. Andersom zal herstel van winterse inundaties in Rome zonder peilverhoging in de Zomerpolder de nog bestaande periodieke invloed van het regionale grondwater in Rome nog verder verminderen.

Er zijn dus meerdere mogelijkheden om het hydrologische systeem onder Rome te versterken. Voor maximaal effect en efficiëntie is belangrijk dat de maatregelen in onderlinge samenhang worden uitgewerkt. Zo heeft peilverhoging in de zandwinplas niet haar maximale effect als ze niet wordt gecombineerd met peilverhoging in de Zomerpolder. Verder moeten de maatregelen worden opgesteld in samenhang met het herstel van het Koningsdiep.

7 Literatuur

- Altenburg, W., J. Streefkerk & G. Schievink 1996. Mogelijkheden voor verdrogingsbestrijding in het Natuurreservaat Van Oordt's Mersken. A&W-rapport 130, Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Veenwouden / Staatbosbeheer, Driebergen, Heerenveen.
- Appelo, C.A.J. & D. Postma 1993. Geochemistry, groundwater and pollution. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Baggelaar P.K. & C.J. van der Meulen, 2010. Statistische reconstructie invloed grondwaterwinning Nij Beets. Vitens N.V.
- Belle, J. van & M. Brongers 2013. Monitoring van de vegetatie in Rome, 2005 – 2009. A&W-rapport 1515. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden.
- Claassen, T.H.L. 2008. Peilbeheer van de Friese boezem in relatie tot ecosysteem- en waterkwaliteit in historisch perspectief. Wetterskip Fryslân, Leeuwarden.
- DLG & SBB 2011. Ontwerp beheerplan Natura 2000 Deelen. Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, Den Haag.
- Drenth, T. 2013. Interpolatie van het hydrologische systeem bij Rome. Stageverslag Van Hall Larenstein, Leeuwarden.
- Grootjans, A.P., E.B. Adema & F.H. Everts 2004. Effectgerichte maatregelen tegen verdroging, verzuring en stikstofdepositie in boezemlanden en beekdalen (Friesland en Drenthe). Rapport EC-LNV nr. 2004/284-O, Expertisecentrum LNV, Ede.
- Hennekens, S.M., N.A.C. Smits & J.H.J. Schaminée 2010. SynBioSys Nederland versie 2. Alterra, Wageningen UR, Wageningen.
- Immerzeel, K. & J.S. Rus 2009. Verdroging door grondwaterwinning boven ondiepe leemlagen. H₂O 42(18):53-55.
- Immerzeel, C.H. van 2013. Hydrologische berekeningen gebiedsontwikkeling polder “Dulf & Janssenstichting” en omstreken [concept v2.0].
- KNMI 2014. Klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie. KNMI, De Bilt.
- Oosterveld, E.B. & E. Wymenga 2002. Inrichtingsplan Rome. Toelichting bij de aanvraag voor de Subsidieregeling natuurbeheer. A&W-rapport 293. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Veenwouden.
- Oosterveld, E.B. & W. Altenburg 2003. Inrichtingsplan Rome. Toelichting bij de aanvraag voor Subsidieregeling Natuurbeheer. Deel 2. A&W-rapport 438. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Veenwouden.
- Osinga, Th., W. Terwisscha van Scheltinga, J. Medenblik, P. Jansen & C. Kwakernaak 2014. Effecten van klimaatverandering op maaiveld daling en grondwaterstanden in Friesland. H2O-Online 12 februari 2014.
- Provincie Fryslân 2014. Van Oordt's Mersken. Beheerplan Natura 2000. Concept april 2014. Provincie Fryslân, Leeuwarden.
- Schaeffer, M, J.S. Rus & M. Brongers 2007. Watersysteemverkenning Nij Beets. Fase 1. Royal Haskoning, Groningen.
- Velde, J. van der 2009. Toelichting op het peilbesluit: Peilbesluit Polder Oud Beets, Zomerpolder, De Dulf. Wetterskip Fryslân, Leeuwarden.

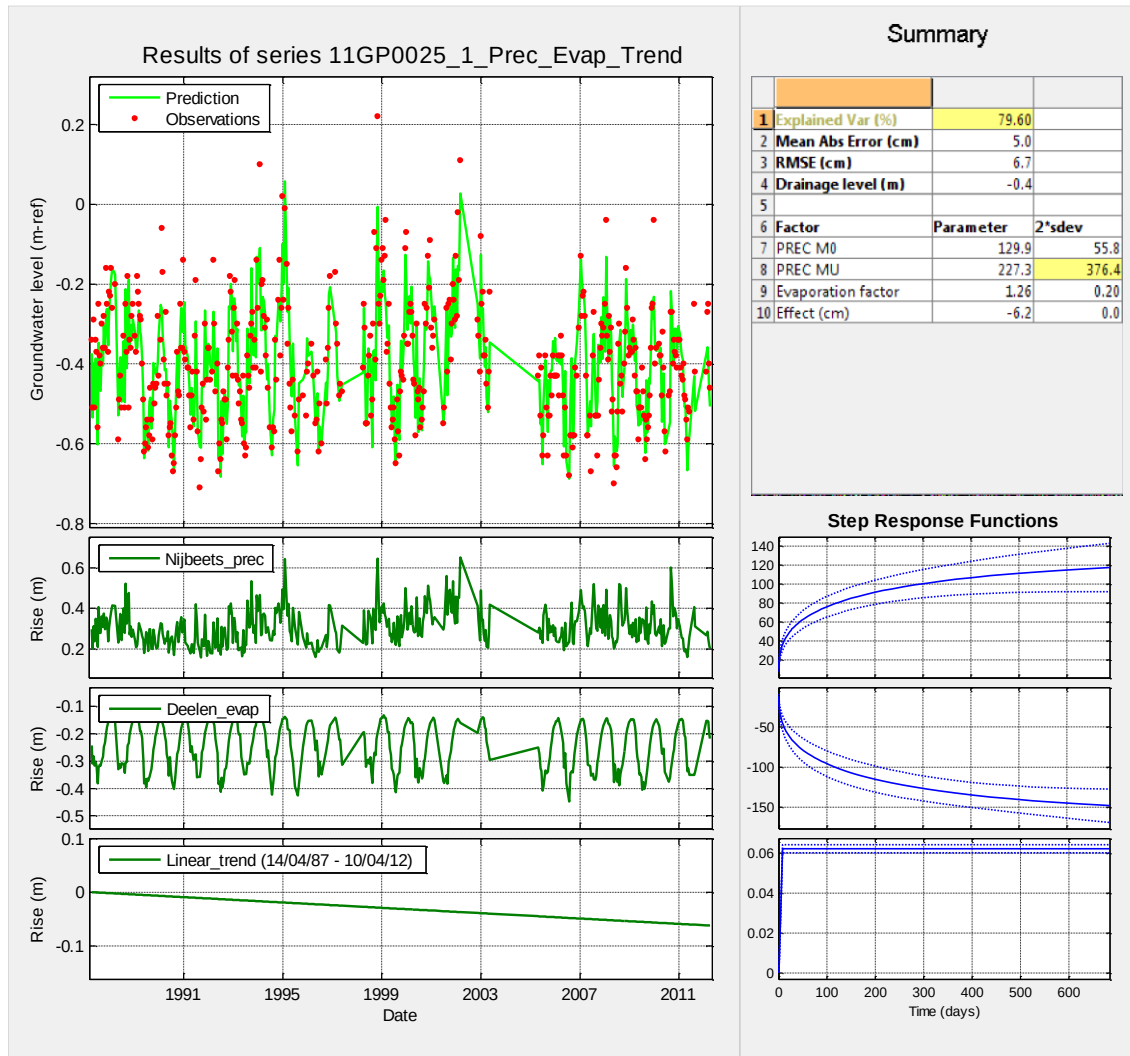
- Westendorp, P.J., R. Loeb, G. Roskam, E.C.H.E.T. Lucassen, M. Thannhauser, F. Ebbens, H. Hut & A.J.P. Smolders 2012. Tijdelijke droogval als waterkwaliteitsmaatregel. STOWA-rapport 2012-38, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Amersfoort.
- Wirdum, G. van 1991. Vegetation and hydrodology of floating rich-fens. Proefschrift Universiteit van Amsterdam.
- Witteveen+Bos 2001. Waterhuishoudkundig onderzoek ROM-project Koningsdiep. Fase 1 + 2. Witteveen+Bos, Deventer.
- Wymenga, E., J. Spieksma & J. Schouwenaars 1995. De mogelijke invloed van woningbouw aan de zuidwestzijde van Beetsterzwaag op landschap, water, vegetatie en fauna. A&W-rapport 117 / Vakgroep Fysische Geografie publikatie nr. 42, Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek / Rijksuniversiteit Groningen, Veenwouden / Groningen.

Bijlage 1 Peilbuisinformatie

Tabel bijlage 1.1 Informatie over in dit onderzoek genoemde peilbuizen: Mv = maaiveld; Bk = bovenkant; Ok = onderkant;

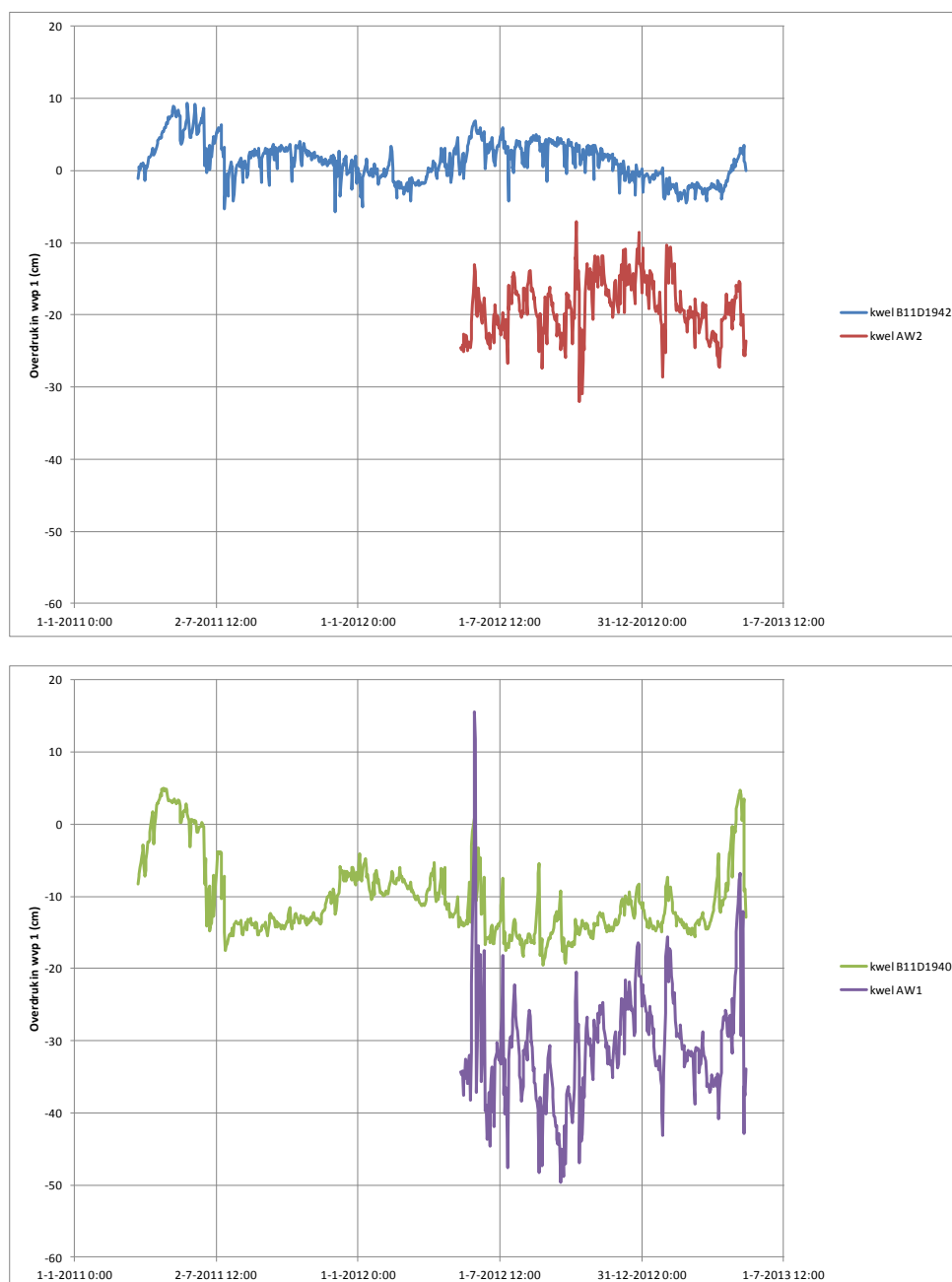
Peilbuis	X	Y	Filter	Datum begin	Datum eind	Mv (m NAP)	Bk filter (m NAP)	Ok filter (m NAP)	Bk filter (m -mv)	Ok filter (m -mv)
AW1	200198	562303	1	12-5-2012	27-2-2013	-0,1	-0,1	-1,1	0,1	1,0
AW2	200043	561835	1	12-5-2012	27-2-2013	-0,4	-0,8	-1,3	0,4	0,9
AW3	200372	562786	1	12-5-2012	27-2-2013	0,3	-1,9	-2,9	2,2	3,2
B11B0129	199059	563147	1	14-1-2000	22-11-2012	-0,9	-1,0	-2,0	0,1	1,1
B11B0129	199059	563147	2	14-1-2000	22-11-2012	-0,9	-9,9	-10,9	9,0	10,0
B11D1940	199895	562376	1	19-3-2011	27-2-2013	-0,2	-0,7	-1,7	0,4	1,4
B11D1940	199895	562376	2	19-3-2011	27-2-2013	-0,2	-4,1	-5,1	4,0	5,0
B11D1941	199004	562192	1	23-3-2011	19-10-2012	-0,9	-2,1	-3,1	1,2	2,2
B11D1941	199004	562192	2	23-3-2011	19-10-2012	-0,9	-6,0	-7,0	5,1	6,1
B11D1942	199658	561854	1	19-3-2011	27-2-2013	-0,4	-1,5	-2,5	1,1	2,1
B11D1942	199658	561854	2	19-3-2011	27-2-2013	-0,4	-5,5	-6,5	5,1	6,1
B11E0014	201060	563854	1	14-1-2000	23-10-2012	2,4	-53,4	-63,4	55,7	65,7
B11E1796	200541	563169	1	23-3-2011	19-10-2012	0,2	-0,3	-1,3	0,5	1,5
B11E1796	200541	563169	2	23-3-2011	19-10-2012	0,2	-4,8	-5,8	5,0	6,0
B11G0025	200800	561600	1	14-1-2000	23-10-2012	1,3	-8,8	-9,8	10,0	11,0
B11G0025	200800	561600	2	14-1-2000	3-4-2012	1,3	-21,8	-22,8	23,0	24,0
B11G0025	200800	561600	3	14-1-2000	3-4-2012	1,3	-48,8	-49,8	50,0	51,0
B11G1530	201365	562152	1	23-3-2011	17-10-2012	0,2	-4,0	-5,0	4,2	5,2

Bijlage 2 Regressieanalyse van stijghoogtedaling



Figuur bijlage 2.1 Resultaat van een regressie-analyse van de stijghoogteverandering in het 1^e filter van peilbuis B11G0025, tussen 14 april 1987 en 10 april 2012. Het filter staat in het regionale hydrologische systeem. Na correctie voor variatie in neerslag en verdamping is de gemiddelde stijghoogte met 6,2 cm gedaald.

Bijlage 3 Kweldruk in de overstromingsvlakte en de blauwgraslanden



Figuur bijlage 3.1 Het verschil in stijghoogte tussen het filter onder de keileem en dat boven de keileem, voor de overstromingsvlakte (boven) en de blauwgraslanden (onder). Een positieve waarde duidt op overdruk, dus op potentiële kwel. Voor de AW-buizen is de stijghoogte in de corresponderende provinciale buis genomen als stijghoogte onder de keileem.

Bijlage 4 Grondwatersamenstelling

Locatie	Datum	EGV ₂₀ (mS/m)	IR (%)	pH _{H2O} (veld)	HCO ₃ (mg/l)	CO ₃ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Fe (mg/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	Opmerking
AW1	29-5-2012	36,6													filter in de keileem; te weinig water verkregen
AW1	28-8-2012	64,9	53,43	6,6			31,1			12			24	4,5	filter tin de keileem; niet gespoeld
AW1	6-9-2013	-	-	-			-		-	-			-	-	peilbuis droog
AW2	29-5-2012	78,7	74,60				146			22			21	0,25	
AW2	28-8-2012	81,7	77,72	6,6			134			17			2,3	0,25	niet gespoeld
AW2	6-9-2013	70,9	77,85	7,04			135		11,7	17			1,8	0,25	
AW3	29-5-2012	10,6	13,56				11,7			33			8,8	0,25	niet gespoeld; te weinig water (lege accu)
AW3	28-8-2012	10,9	13,67	5,3			9,3			26			7	0,25	niet gespoeld
AW3	6-9-2013	19,2	10,04	5,39			11,6		4	46			6,8	0,25	
B11D1940_1	29-5-2012	33,4	75,55				76,8			11			0,25	0,25	
B11D1940_1	28-8-2012	34	82,02	6,2			83,5			8,1			0,25	0,25	niet gespoeld
B11D1940_1	6-9-2013	31,3	87,67	6,57			70,7		7,6	4,4			0,25	0,25	
B11D1940_2	29-5-2012	52,6	90,30		380	5	103	7,12	7,3	4,9	7,77	1,5	0,25	0,25	
B11D1940_2	28-8-2012	53,6	92,21	6,8	380	5	107	7,64	7,5	4	8,14	1,6	0,25	0,25	niet gespoeld
B11D1942_1	29-5-2012	64,8	87,36				139			8,9			0,25	0,25	
B11D1942_1	28-8-2012	61,2	85,55	6,5			111			8,3			0,25	0,25	niet gespoeld
B11D1942_1	6-9-2013	77,6	91,44	6,52			164		8,4	6,8			0,25	0,25	
B11D1942_2	29-5-2012	64,7	84,82		460	5	125	10,6	9,7	9,9	12	2,6	0,25	0,25	
B11D1942_2	28-8-2012	69,1	83,95	6,5	480	5	130	11,7	9,3	11	21,1	2,8	0,25	0,25	niet gespoeld
B11E0014	8-5-1995	36,2	23,82	6,8	112,24		35,03	4,45	2,46	49,58	19,01	8,75	0,47		filter 53,35 - 63,35 m - NAP

Locatie	Datum	EGV ₂₀ (mS/m)	IR (%)	pH _{H2O} (veld)	HCO ₃ (mg/l)	CO ₃ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Fe (mg/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	Opmerking
B11G0025_1	8-5-1995	66,2	74,66	7,0	410,53		120,83	8,69	9,47	18,15	12,92	1,98	0,84		
B11G0025_2	8-5-1995	63,7	72,02	7,0	388,57		112,01	8,34	10,22	19,26	13,23	2,16	0,58		
B11G0025_3	8-5-1995	72,2	73,45	7,1	442,25		123,52	9,47	10,23	19,76	12,5	3,11	0,26		
pb2	8-5-1995	17,89	28,69	5,7	31,11		15,6	7,42	5,92	17,16	2,28	6,8	12,34	0,13	
pb3	8-5-1995	40,6	56,50	6,5	190,93		54,31	8,48	13,16	18,51	11,03	2,79	21,01		
pb4	8-5-1995	159,9	22,43	6,6	167,14		173,25	20,3	2,48	265,17	109,2	3,32	263,97		
pb5	8-5-1995	40,5	68,18	6,4	154,94		67,49	3,88	3,7	13,94	3,83	1,78	49,38		
pb7	8-5-1995	41	72,95	6,7	203,74		67,87	6	6,68	11,14	6,24	3,61	22,64		

The background of the entire page is a photograph of a field. In the foreground, a yellow measuring tape is stretched horizontally across the frame, showing measurements in centimeters. Below the tape, a dark, weathered wooden plank lies on the ground. The ground is covered with dry, brownish grass and some green, leafy plants. The background shows a vast, open field under a bright, hazy sky.

Bezoekadres

Suderwei 2
9269 TZ Feanwâlden

Postadres

Postbus 32
9269 ZR Feanwâlden
Telefoon 0511 47 47 64
Fax 0511 47 27 40
info@altwym.nl

www.altwym.nl