

2015

Risicoanalyse verzuurd grondwater Utrechtse Heuvelrug

Risico's van grondwater met een lage pH en mobiele zware metalen in relatie tot het bodem- en grondwatergebruik op de Utrechtse Heuvelrug

Rien Helderman | TTE Consultants

Hogeschool Van Hall Larenstein

Deventer

5-1-2015



Risicoanalyse verzuurd grondwater Utrechtse Heuvelrug

Risico's van grondwater met een lage pH en mobiele zware metalen in relatie tot het bodem- en grondwatergebruik op de Utrechtse Heuvelrug

Auteur

Rien Helderma
rien.helderma@wur.nl
Tel: 06-23561916

Opdrachtgever

TTE Consultants
Keizerstraat 16
7411 HH, Deventer
Tel: 0570-665870

Onderwijsinstelling

Hogeschool Van Hall Larenstein
Larensteinselaan 26a
6882 CT, Velp
Tel: 026-3695695

Begeleiders

Arthur van de Velde, TTE Consultants
Peter Groenhuijzen, Hogeschool Van Hall Larenstein

Status

Definitief

Versie

1.0

Datum

05-01-2015

In opdracht van:



Student aan:



Voorwoord

Beste lezer, u staat op het punt om mijn afstudeerrapport te lezen dat is opgesteld in het kader van de afronding van de opleiding Land- en Watermanagement aan de Hogeschool Van Hall Larenstein te Velp. Het afstuderen heeft plaatsgevonden bij TTE Consultants te Deventer gedurende de periode september 2014 tot en met december 2014.

Dit afstudeeronderzoek stond in het teken van verzuurd grondwater op de Utrechtse Heuvelrug. Door een lage pH (<5) neemt de mobiliteit van aluminium, cadmium, ijzer, mangaan, nikkel en zink toe en kan uitspoeling plaatsvinden. Het is mogelijk dat bij gebruik van dit grondwater ecologische, financiële en humane risico's ontstaan. Het onderzoeken van de mogelijke ecologische, financiële en humane risico's, het bepalen van de grondwatergebruikers en het vinden van mogelijke maatregelen om deze risico's te reduceren was zeer uitdagend. Gedurende dit afstudeeronderzoek heb ik veel nieuwe kennis opgedaan op het gebied van bodemchemie en grondwaterkwaliteit.

In samenwerking met TTE Consultants is het afstudeeronderzoek tot stand gekomen. Daarom wil ik mijn begeleider ir. Arthur van de Velde bedanken voor de ondersteuning en feedback die hij mij heeft gegeven. Daarnaast gaat mijn dank uit naar ir. Peter Groenhuijzen voor de begeleiding tijdens mijn afstudeerproces, maar ook voor de begeleiding gedurende de 4,5 jaren op school.

Het afstudeeronderzoek is een belangrijk leerproces voor mij geweest. Ik heb veel over mijzelf geleerd en ik weet nu tot wat ik in staat ben. Ik wens u veel plezier toe met het lezen van mijn afstudeeronderzoek.

Deventer, 05 januari 2015

Rien Helderman

Samenvatting

Achtergrond

TTE Consultants voert in opdracht van de provincie Utrecht een sanering uit nabij Austerlitz op de Utrechtse Heuvelrug. De waterzuivering en infiltratiefilters op de sanering worden belemmerd door afzettingen. Uit laboratoriumonderzoek is gebleken dat deze afzettingen aluminium bevatten. Het voorkomen van aluminium in het grondwater hangt samen met een lage pH (<5) op locatie. Door de lage pH is het mogelijk dat naast aluminium verhoogde concentraties cadmium, ijzer, mangaan, nikkel en zink in het grondwater voorkomen. Bij gebruik van grondwater met lage pH en de mobiele stoffen kunnen mogelijk ecologische, financiële en humane risico's ontstaan. Het doel van het onderzoek is te bepalen of grondwater met een lage pH en mobiele stoffen in de praktijk een probleem is en wat dit betekent voor het bodem- en grondwatergebruik op de Utrechtse Heuvelrug.

Opzet

Het onderzoek is opgedeeld in vijf stappen. Het betreft de stappen probleemstelling, inventarisatie, risicoanalyse, maatregelen en afronding. Iedere stap bevat een aantal onderdelen die zijn uitgevoerd, waarna antwoordt is gegeven op de deelvragen en hoofdvraag. De methodiek bestaat uit een aantal methodische benaderingen, concrete methodes en technieken. De methodische benadering 'bron' – pad – receptor staat centraal in het onderzoek. Met de 'bron' wordt grondwater met een lage pH en mobiele stoffen bedoeld. Het pad is de mogelijkheid waarop de receptor in aanraking komt met de 'bron'. In dit onderzoek zijn dat kwel en onttrekkingen. Met de receptor worden de bodem- en grondwatergebruikers bedoeld die in aanraking komen met de 'bron'.

Bevindingen

Grondwater met een lage pH is veroorzaakt door de zure atmosferische depositie in de jaren tachtig en negentig van de vorige eeuw. Bij zure atmosferische depositie gaat het om de stoffen zwaveldioxiden (SO₂), stikstofoxiden (NO_x) en ammoniak (NH₃). Kalkarme en kalkloze gronden hebben nauwelijks bufferend vermogen, waardoor de pH van het grondwater vaak lager is dan 5,5. De kritische depositieniveaus van potentieel zuur worden nog steeds overschreden. Door deze toevoer van zuur is het voor de bodembuffersystemen op kalkarme en kalkloze zandgronden niet mogelijk om te herstellen, waardoor de pH van het grondwater laag blijft. Verwacht wordt dat de pH van het grondwater onder deze gronden de aankomende decennia nog laag zal blijven. Het grondwater is vrij diep gelegen, waardoor relatief weinig bodem- en grondwatergebruikers in het risicogebied aanwezig zijn. De bodem- en grondwatergebruikers zijn bronbemalingen, drinkwaterwinningen, agrariërs, natuur, saneringen, oppervlaktewater en WKO-systemen. Mogelijke maatregelen om de ecologische, financiële en humane risico's te reduceren zijn; grondwater uit diepere lagen onttrekken, mengen, bekalken, zuiveren onttrokken grondwater en mitigatie. Bijna alle maatregelen zijn geschikt voor de korte termijn. Voor de lange termijn is mitigatie een geschikte oplossing. Met mitigatie zullen de emissies van verzurende stoffen afnemen, waardoor de pH van het grondwater op termijn zal toenemen. Praktijkkennis van de problemen van grondwater met een lage pH en mobiele stoffen is nauwelijks aanwezig bij grondwatergebruikers. Alleen drinkwaterbedrijf Vitens heeft praktijkervaring met problemen en het toepassen van maatregelen.

Conclusie

Grondwatergebruikers die theoretisch ecologische, financiële of humane risico's ondervinden zijn: bronbemalingen, drinkwaterwinningen, agrariërs, natuur, oppervlaktewater, saneringen en WKO-systemen. In de praktijk blijkt het vooral een probleem te zijn voor bronbemalingen, drinkwaterwinningen, saneringen en WKO-systemen. Voor agrariërs, natuur en oppervlaktewater is het de vraag of het een relevant probleem is, aangezien de grondwaterstand in het onderzoeksgebied relatief laag is. Het is aan te raden om een gebiedsgericht meetnet samen te stellen dat ieder jaar zal worden bemeaten op de parameters uit het PMG en LMG. Tevens wordt aanbevolen om praktijkkennis uit te wisselen, de probleemperceptie nader te onderzoeken en een vervolgonderzoek uit te voeren in Brabant.

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Samenvatting.....	4
1. Inleiding	7
1.1 Aanleiding.....	7
1.2 Probleemstelling.....	7
1.3 Onderzoeksgebied.....	8
1.4 Onderzoeksdoel.....	8
1.5 Onderzoeksvragen.....	8
1.6 Doelgroep	9
1.7 Leeswijzer	9
2. Onderzoeksopzet.....	11
2.1 Werkwijze.....	11
2.2 Methodiek	12
3. Bodemverzuring	13
3.1 Oorzaak bodemverzuring	13
3.2 Bodembuffersystemen.....	14
3.3 Trend verzurende deposities en pH	15
3.4 Verwachting bodemverzuring	16
3.5 Invloed en risico's lage pH.....	17
3.6 Overzicht bodemverzuring.....	19
4. Gebiedsanalyse.....	21
4.1 Ondergrond	21
4.2 Watersysteem	22
4.3 Risicogebied.....	23
4.4 Overzicht gebiedsanalyse.....	26
5. Risicoanalyse	27
5.1 Mogelijke receptoren en risico's grondwatergebruik.....	27
5.2 Gebiedsgerichte risicoanalyse.....	31
5.3 Overzicht risicoanalyse.....	38
6. Maatregelen	41
6.1 Mogelijke maatregelen.....	41
6.2 Gebiedsgericht toepassen maatregelen.....	43
6.3 Problemen en maatregelen in de praktijk.....	45
6.4 Overzicht maatregelen	48

7. Conclusies en aanbevelingen	49
7.1 Conclusies.....	49
7.2 Aanbevelingen.....	50
7.3 Discussie	51
Reflectie.....	53
Bijlagen	55
Bijlage 1: Onderzoeksgebied.....	56
Bijlage 2: Kritische depositieniveaus potentieel zuur	57
Bijlage 3: Depositie potentieel zuur 2012	58
Bijlage 4: Stabiliteitsdiagrammen	59
Bijlage 5: Geomorfologie.....	60
Bijlage 6: Bodem	61
Bijlage 7: Geohydrologisch situatie.....	62
Bijlage 8: Kwel en infiltratie	64
Bijlage 9: Stroombanen 1 ^e watervoerende pakket.	65
Bijlage 10: Maaiveldhoogte.....	66
Bijlage 11: Gebruikte peilbuizen	67
Bijlage 12: Risicogebied.....	68
Bijlage 13: Archeologische verwachting	69
Bijlage 14: Grondwateronttrekkingen	70
Bijlage 15: Drinkwaterwinningen	71
Bijlage 16: Bodemgebruik	72
Bijlage 17: Verontreinigingen.....	73
Bijlage 18: Situaties Risicogebied	74
Bijlage 19: Meetgegevens peilbuizen.....	75
Bibliografie	77

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

TTE Consultants voert in opdracht van de provincie Utrecht een sanering uit nabij Austerlitz op de Utrechtse Heuvelrug. De waterzuivering en infiltratiefilters op de sanering worden belemmerd door afzettingen die zijn weergegeven in figuur 1-1. Uit laboratoriumonderzoek door ALcontrol Laboratories is gebleken dat deze afzettingen vooral aluminium bevatten. Het voorkomen van aluminium in het grondwater hangt samen met een lage pH-H₂O (<5) op locatie. In dit onderzoek is de zuurgraad bepaald in pH-H₂O (verder pH).



Figuur 1-1: Aluminiumafzettingen (van der Sterren)

Gedurende 9 jaren zijn grondwatermetingen verricht om de voortgang van de sanering te monitoren. De laatste jaren is de zuurgraad van het grondwater toegenomen (pH is afgenomen). Er zijn metingen waaruit blijkt dat het grondwater een pH heeft lager dan 5. Deze afname van de pH kan erop duiden dat de buffercapaciteit van de bodem op is. In die situatie kan het zuur in de bodem dat vermoedelijk veroorzaakt is door zure atmosferische depositie niet meer gebufferd worden, waardoor de pH afneemt. Het verschijnsel van een lage pH en het daardoor in verhoogde concentraties aanwezige aluminium hebben bij TTE Consultants de vraag opgeroepen wat de daadwerkelijke omvang van dit verschijnsel is en wat dit voor mogelijke risico's met zich meebrengt voor het bodem- en grondwatergebruik en de daaraan gekoppelde belangen van de gebruikers.

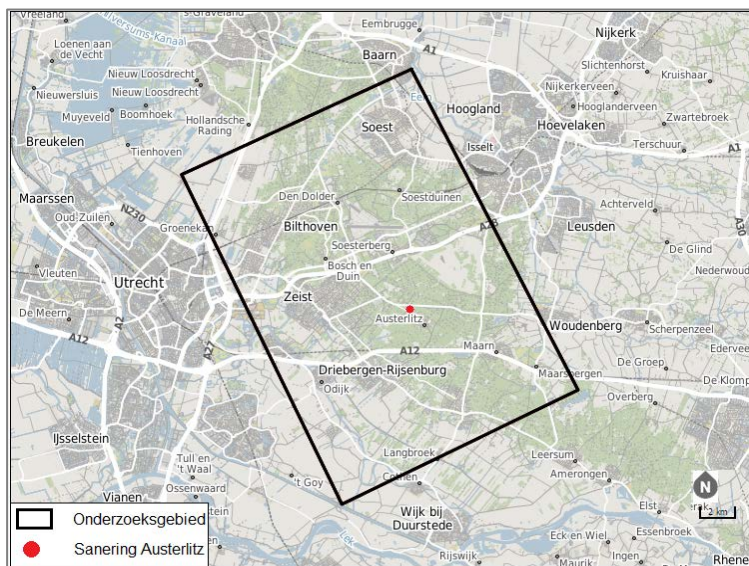
1.2 Probleemstelling

Zure atmosferische depositie, beter bekend als zure regen, is een term die vooral in de jaren tachtig en negentig van de vorige eeuw tot de nodige commotie leidde. Er werd gevreesd dat zure atmosferische depositie de natuur onherstelbaar zou aantasten. Toen na onderzoek eenmaal duidelijk werd tot wat voor milieuproblemen zure atmosferische depositie leidde, zijn er veel maatregelen getroffen om de effecten ervan tegen te gaan. Deze maatregelen hadden nut en hebben ervoor gezorgd dat veel mensen denken dat de milieuproblemen van zure atmosferische depositie, zoals bodemverzuring, afname van biodiversiteit en grootschalige bossterfte zijn opgelost. Dit is niet het geval. Bodemverzuring is nog steeds een actueel probleem. Bodemverzuring wordt grotendeels veroorzaakt door zure atmosferische depositie van stikstofoxiden (NO_x), zwaveldioxide (SO₂) en ammoniak (NH₃). De verzuring is vergeleken met de jaren tachtig en negentig van vorige eeuw flink afgenomen, maar komt vooral op de kalkloze en kalkarme zandgronden nog steeds voor. Kalkloze en kalkarme zandgronden hebben een beperkt bufferend vermogen, waardoor zuur nauwelijks geneutraliseerd wordt. Hierdoor blijft de pH in deze gebieden laag. Een lage pH kan een probleem zijn voor ecosystemen en het bodem- en grondwatergebruik. Tevens kunnen als gevolg van een lage pH stoffen in de bodem mobiel worden en uitspoelen naar het grondwater. De nadruk in dit onderzoek ligt bij de meest mobiele stoffen aluminium, cadmium, ijzer, mangaan, nikkel en zink. Bij gebruik of het in aanraking komen met grondwater op andere plaatsen is het mogelijk dat ecologische, financiële en humane problemen ontstaan. De ernst van deze problemen hangt af van het bodem- en grondwatergebruik en de daaraan gekoppelde belangen van de gebruikers. De vraag

is wat de ecologische, financiële en humane risico's zijn en welke mogelijke maatregelen kunnen worden opgesteld om de risico's te reduceren in relatie tot het bodem- en grondwatergebruik.

1.3 Onderzoeksgebied

Het onderzoeksgebied, zoals weergegeven in figuur 1-2 en bijlage 1, wordt begrensd door de steden Utrecht en Amersfoort. Binnen het onderzoeksgebied bevinden zich de stedelijke gebieden Zeist, Bilthoven, Driebergen, Doorn, Soesterberg en Soest. Tevens bevindt een groot gedeelte van het nationaal park de Utrechtse Heuvelrug zich in het onderzoeksgebied. De Kromme Rijn ligt ook binnen het onderzoeksgebied. Het oppervlaktewater stroomt richting de Kromme Rijn. De Kromme Rijn stroomt in noordwestelijke richting en mondt uit in de grachten van de stad Utrecht. Op en rond de hoge zandgronden van de Utrechtse Heuvelrug vindt vrijwel overal infiltratie van regenwater plaats. Langs de Kromme Rijn en op enkele locaties op de Utrechtse Heuvelrug is kwel aanwezig. Het onderzoeksgebied is bepaald op basis van onderzoeksrapporten van de sanering bij Austerlitz, rapportages van het grondwaterkwaliteitsmeetnet van de Provincie Utrecht, de hoogtekarte en de kwel- en infiltratiekaart.



Figuur 1-2: Onderzoeksgebied

1.4 Onderzoeksdoel

Het doel van het onderzoek is het bepalen of grondwater met een lage pH en mobiele stoffen een probleem is in de praktijk en wat dit betekent voor het bodem- en grondwatergebruik in het onderzoeksgebied. De problemen zijn de mogelijke ecologische, financiële en humane risico's die ontstaan bij gebruik van of in aanraking komen met grondwater dat een pH lager dan 5 heeft en de daardoor mobiele stoffen aluminium, cadmium, ijzer, mangaan, nikkel en zink.

1.5 Onderzoeksvragen

Naar aanleiding van de mogelijke problemen in de probleemstelling is de volgende hoofdvraag geformuleerd:

Wat zijn de mogelijke ecologische, financiële en humane risico's van grondwater met een lage pH en daardoor mobiele stoffen, aluminium, cadmium, ijzer, mangaan, nikkel en zink en wat betekent dit theoretisch en in de praktijk voor het bodem- en grondwatergebruik in het onderzoeksgebied?

Om tot een antwoord te komen op de onderzoeksvraag zijn de volgende deelvragen opgesteld:

1. Wat is de oorzaak van bodemverzuring?
2. Wat is de toekomstverwachting voor de pH van grondwater op de kalkarme zandgronden op basis van de trends van emissies verzurende depositie en pH sinds 1980?
3. Wat zijn de mogelijke risico's van grondwater met een lage pH en de mobiele stoffen aluminium, cadmium, ijzer, mangaan, nikkel en zink?
4. Wat is de huidige geologische, (geo)hydrologische en geochemische situatie van de bodem in het onderzoeksgebied?
5. Wat is het huidige bodem- en grondwatergebruik in het onderzoeksgebied?
6. Wat zijn mogelijke maatregelen om de ecologische, financiële en humane risico's van grondwater met een lage pH en mobiele stoffen te reduceren?
7. Wat zijn de ervaringen, verwachtingen en maatregelen voor bodem- en grondwatergebruikers in de praktijk met betrekking tot grondwater met een lage pH en mobiele stoffen?

1.6 Doelgroep

De voornaamste doelgroep van dit onderzoek zijn grondwatergebruikers in het onderzoeksgebied die in aanraking komen met grondwater met een lage pH en de mobiele stoffen aluminium, cadmium, ijzer, mangaan, nikkel en zink. Dit rapport is ook interessant voor adviesbureaus, zoals TTE Consultants, die met bodem- en grondwatervraagstukken te maken hebben.

1.7 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is de onderzoeksopzet beschreven. In dat hoofdstuk zijn de gehanteerde werkwijze en methodiek gedurende het onderzoek nader toegelicht. Hoofdstuk 3 geeft de achtergronden van bodemverzuring weer. Hierbij is ingegaan op de oorzaak van bodemverzuring, de buffersystemen in de bodem, de trend en de verwachting van bodemverzuring. Tevens is ingegaan op de invloed en risico's van grondwater met een lage pH. In hoofdstuk 4 volgt een gebiedsanalyse waarbij is ingegaan op de ondergrond en het watersysteem. De risicoanalyse is beschreven in hoofdstuk 5 waarbij onderzocht is wat de mogelijke receptoren en risico's zijn bij gebruik van grondwater met een lage pH en mobiele stoffen. In hoofdstuk 6 zijn de mogelijke maatregelen om de ecologische, financiële en humane risico's te reduceren beschreven. Ook is in hoofdstuk 6 een beschrijving van de situatie in de praktijk opgenomen. Tot slot volgt hoofdstuk 7 met de conclusies, aanbevelingen en een discussie. Na hoofdstuk 7 zijn een kritische reflectie over het resultaat, de onderzoeksopzet en het persoonlijk functioneren opgenomen.

De bijlagen zijn achterin dit rapport weergegeven. De nummering van de bijlage is oplopend en niet hoofdstuk-gebonden. Op de laatste bladzijden van dit rapport in het onderdeel 'bibliografie' zijn alle geraadpleegde bronnen weergegeven. De bronvermelding is alfabetisch geordend op de achternaam van de enige of eerst vermelde auteur.

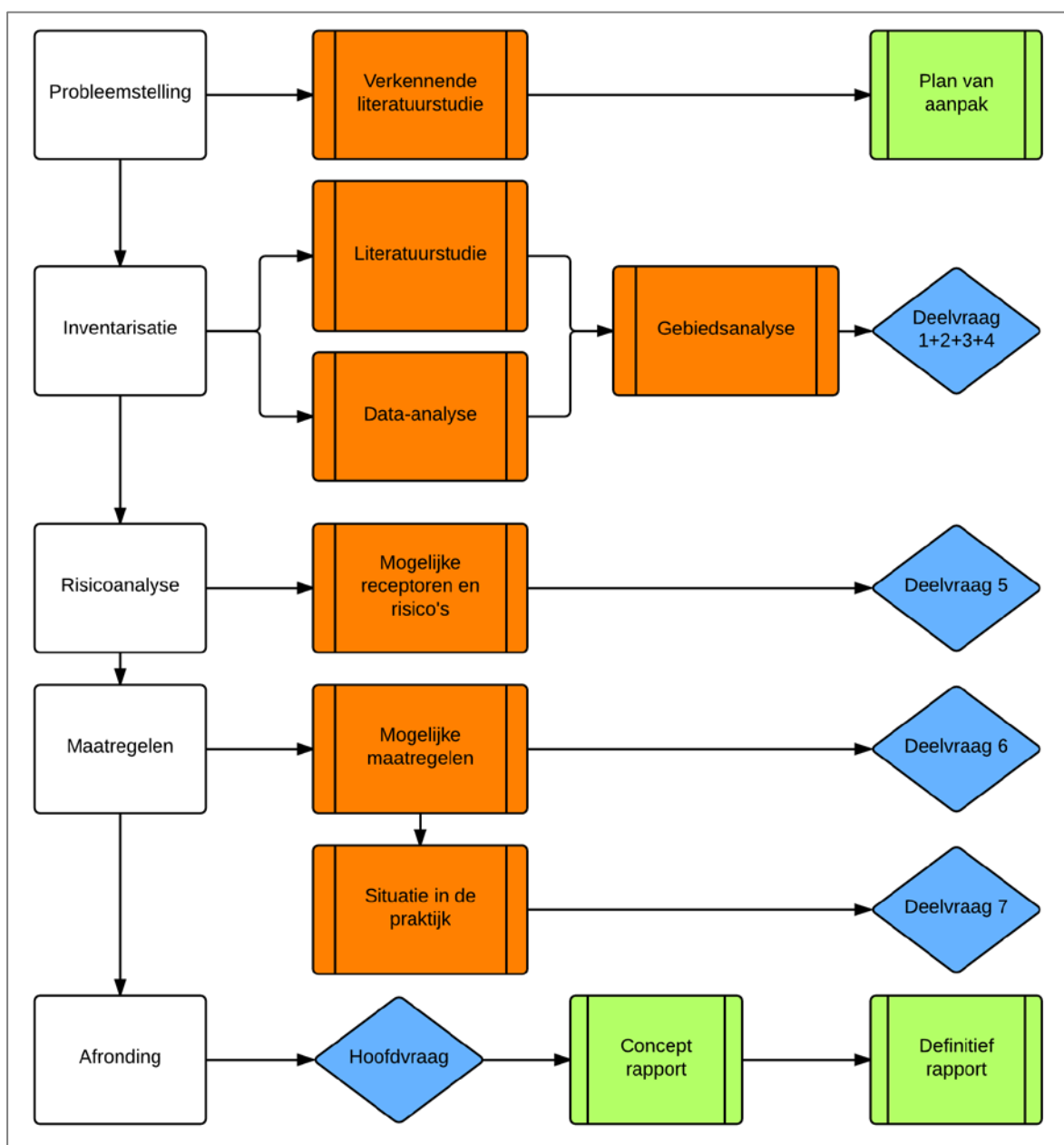
Figuren en tabellen zijn in dit rapport per hoofdstuk genummerd. Het eerste cijfer is het hoofdstuknummer en het tweede cijfer is het nummer van de figuur of tabel. Bijvoorbeeld: figuur 2 in hoofdstuk 4 krijgt het nummer 4-2.

2. Onderzoeksopzet

Het rapport is tot stand gekomen aan de hand van de in dit hoofdstuk beschreven onderzoeksopzet. De onderzoeksopzet omvat de gehanteerde werkwijze en methodiek bij de uitvoering van dit onderzoek.

2.1 Werkwijze

De gevolgde werkwijze voor het tot stand komen van dit rapport is gevisualiseerd in figuur 2-1. De werkwijze bestaat uit 5 verschillende stappen (de witte blokken). Het betreft de stappen probleemstelling, inventarisatie, risicoanalyse, maatregelen en afronding. Elke stap bevat een aantal onderdelen (de oranje blokken) die na uitvoering tot antwoorden op de deelvragen leidden (de blauwe blokken). Na afronding van alle stappen en onderdelen is antwoord gegeven op de hoofdvraag. Dit heeft geleid tot een concept rapport. Na verwerking van de feedback door de begeleiders op het concept rapport is het definitieve rapport tot stand gekomen. De groene blokken staan symbool voor een document dat is afgerond.

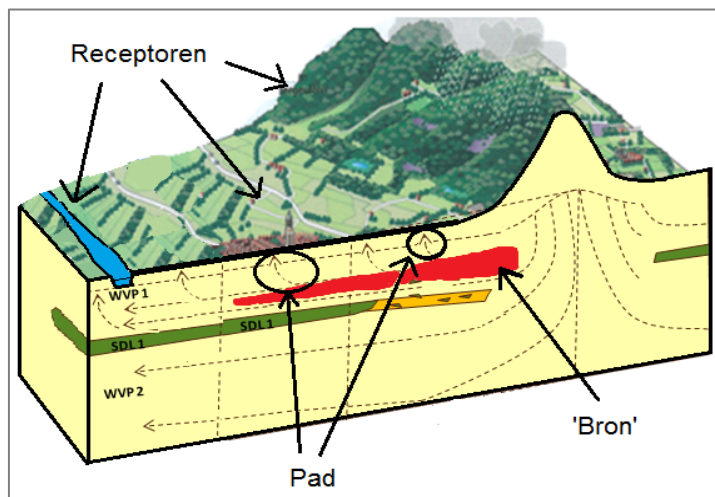


2.2 Methodiek

Deze paragraaf beschrijft de belangrijkste methodische benaderingen, concrete methode en technieken die tijdens dit onderzoek gehanteerd zijn. De 'bron' – pad – receptor benadering en de lagenbenadering zijn methodische benaderingen die worden toegepast voor de aanpak en structuur van het rapport. Literatuurstudie en interviews zijn concrete methoden die worden toegepast om informatie te verkrijgen. Het geografisch informatiesysteem is een techniek om kaarten te maken.

'Bron' – pad – receptor benadering

De 'bron' – pad – receptor benadering, zoals weergegeven in figuur 2-2, staat centraal in dit rapport. Dit is een methode die wordt toegepast bij de aanpak van verontreinigingen. Met de 'bron' wordt grondwater met een lage pH en mobiele stoffen bedoeld. Het pad is de mogelijkheid (of 'weg') waarop de receptor in aanraking komt met de 'bron'. Met de receptor worden de bodem- en grondwatergebruikers bedoeld. In het onderzoek is eerst de locatie van de 'bron' bepaald. Vervolgens zijn de paden en mogelijke receptoren bepaald.



Figuur 2-2: 'Bron'-pad-receptor benadering

Lagenbenadering

De gebiedsanalyse is uitgevoerd met behulp van de lagenbenadering. De lagenbenadering is een analyse- en ontwerpinstrument waarbij de ondergrond, netwerklaag en de occupatielaag worden onderzocht. In dit onderzoek is de lagenbenadering op een andere manier toegepast. De lagenbenadering in dit onderzoek bestaat uit de ondergrond, het watersysteem en de occupatielaag. Met de occupatielaag wordt het bodem- en grondwatergebruik bedoeld.

Literatuurstudie

Voor het verkrijgen van informatie is literatuurstudie uitgevoerd. Er is naar informatie over bodemverzuring en de aluminiumproblematiek gezocht in rapporten die TTE Consultants beschikbaar had. Deze rapporten dienden als basisinformatie voor het onderzoek. Tevens is naar documenten, afbeeldingen en reactieschema's met betrekking tot bodemverzuring en de mobiliteit van stoffen gezocht op het internet. Om de kwaliteit te waarborgen is gezocht naar informatie afkomstig van onderzoeksbureaus en overheidsinstanties, zoals het RIVM, TNO en de provincie Utrecht.

Interviews

Grondwatergebruikers zijn geïnterviewd om specifieke informatie te verkrijgen. De specifieke informatie heeft betrekking op de ervaringen en verwachtingen van grondwatergebruik met een lage pH en mobiele stoffen. Tevens is informatie verzameld over mogelijke maatregelen die worden toegepast door de grondwatergebruikers.

Geografisch informatiesysteem (GIS)

Voor het vervaardigen van kaartmateriaal is gebruik gemaakt van het softwareprogramma GIS. Met behulp van het kaartmateriaal uit GIS is het mogelijk dat geschreven informatie beter begrepen wordt. De gebruikte gegevens voor het vervaardigen van kaarten zijn afkomstig uit de databases van Vitens, TTE Consultants en Hogeschool Van Hall Larenstein. Aangenomen is dat de kwaliteit van deze gegevens hoog is.

3. Bodemverzuring

Dit hoofdstuk vormt de theoretische basis van het onderzoek. Als eerste is ingegaan op de oorzaak van bodemverzuring. Hierbij is onderzocht welke chemische reacties plaatsvinden bij bodemverzuring. Vervolgens is beschreven welke buffersystemen in de bodem plaatsvinden bij een bepaalde pH. Hierna zijn de trend en verwachting van bodemverzuring beschreven. Als laatste is beschreven op welke aspecten de lage pH invloed heeft en welke mogelijke risico's hierdoor kunnen ontstaan.

3.1 Oorzaak bodemverzuring

Deze paragraaf bevat een beschrijving over bodemverzuring. Met behulp van chemische reacties is een duidelijk beeld gecreëerd van de oorzaak en werking van bodemverzuring (De Vries, 2008).

Bodemverzuring is een verzamelnaam voor het lager worden van de pH en alle (bodem)processen die hieraan vooraf gaan. Bodemverzuring kan door verschillende (natuurlijke) processen veroorzaakt worden. TTE heeft op de saneringslocatie nabij Austerlitz een onderzoek verricht naar de oorzaak van de lage pH. Uit dat onderzoek komt naar voren dat de lage pH voornamelijk is toe te schrijven aan zure atmosferische depositie. In dit rapport is naar aanleiding van de resultaten van dat onderzoek aangenomen dat de lage pH veroorzaakt wordt door zure atmosferische depositie. Bij zure atmosferische depositie ligt de focus bij de stoffen zwaveldioxiden (SO_2), stikstofoxiden (NO_x) en ammoniak (NH_3). In de atmosfeer kunnen zwaveldioxiden en stikstofoxiden verbindingen aangaan, waardoor salpeterzuur (HNO_3) en zwavelzuur (H_2SO_4) gevormd worden (reactie 1 en 2).

1. $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 4\text{H}^+ + 2\text{SO}_4^{2-}$ (reactie zwaveldioxide)
2. $4\text{NO}_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{HNO}_3 \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{NO}_3^-$ (reactie stikstofoxide)

In de lucht of in de bodem verloopt de chemische reactie van deze stoffen verder, waardoor H^+ ionen vrijkomen. Het vrijkomen van deze H^+ ionen heeft een verzurend effect. Ammoniak heeft in de atmosfeer geen verzurend maar een basisch effect. Tijdens de chemische reactie van ammoniak met water ontstaan een ammonium (NH_4^+) en hydroxide-ion (OH^-). Het hydroxide-ion heeft basische eigenschappen en werkt daarom zuur neutraliserend (reactie 3).

3. $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ (reactie ammoniak en H_2O)

Daarentegen hebben ammoniak en ammonium wel een verzurend effect wanneer deze in de bodem terecht komen. Dit gebeurt wanneer ammoniak reageert met water en daardoor ammonium wordt gevormd (reactie 3). Vervolgens kan het gevormde ammonium reageren met zuurstof, waardoor nitraat (NO_3^-) gevormd wordt. Deze laatste reactie wordt nitrificatie genoemd (reactie 4).

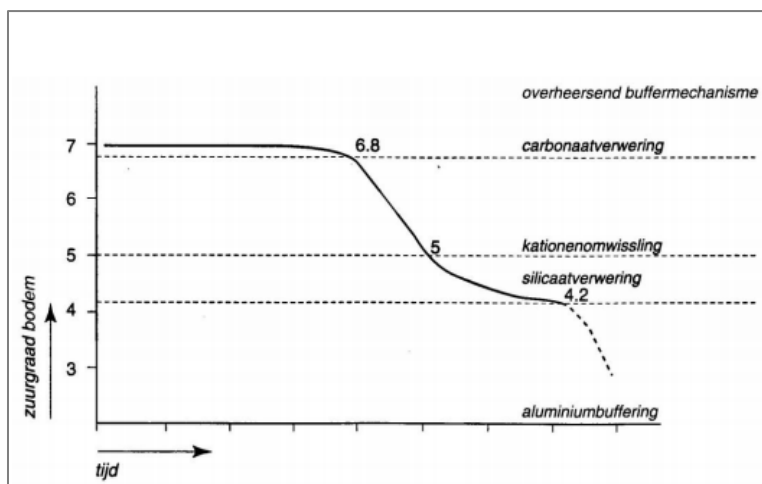
4. $\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$ (reactie ammonium)

Ammoniak kan in een reactie met zuurstof ook verzurend werken (reactie 5). In deze reactie worden nitraat, water en waterstof gevormd. Deze reactie heeft een minder verzurend effect, omdat maar één H^+ ion gevormd wordt.

5. $\text{NH}_3 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+$ (reactie ammoniak en O_2)

3.2 Bodembuffersystemen

De bodembuffersystemen en de werking van deze buffersystemen is beschreven in deze paragraaf. Wanneer H^+ ionen in de bodem vrijkomen neemt de pH niet direct af. In de bodem bevinden zich kleimineralen, kalk, humus, aluminium- en ijzeroxiden en basische kationen die het zuur kunnen neutraliseren (ook wel bufferen genoemd). De hoeveelheid aanwezige stoffen en basische kationen in de bodem wordt ook wel de buffercapaciteit genoemd. Wanneer de buffercapaciteit niet toereikend is, zal de pH gaan dalen (Bruisman, et al., 2010). In figuur 3-1 zijn schematisch de buffersystemen in de bodem weergegeven. De figuur laat zien welk buffersysteem in werking treedt bij een bepaalde zuurgraad.



Carbonaatverwerking

Carbonaatverwerking is een buffersysteem dat voorkomt in kalkrijke gronden. Deze kalkrijke gronden bevatten veel calciumcarbonaat ($CaCO_3$). Zolang calciumcarbonaat in de bodem aanwezig is, zal de pH boven de 7 blijven. Dit betekent dat deze kalkrijke gronden pH neutraal of licht basisch zijn. Wanneer door verzuring geen calciumcarbonaat meer in de bodem aanwezig is, zal de pH dalen.

Silicaatverwerking en kationenomwisseling

Bij een pH lager dan 6,5 treden de buffersystemen silicaatverwerking en kationenomwisseling in werking. Deze buffermechanismen komen vooral voor in kalkarme en kalkloze milieus. Bij silicaatverwerking reageren silicaatmineralen met de H^+ ionen. Dit proces werkt zeer traag maar vindt onophoudelijk plaats. Dit komt doordat silicaatmineralen in grote hoeveelheden in de bodem aanwezig zijn. Wanneer een constante toevoer van zuur aanwezig is, draagt silicaatverwerking weinig bij aan de buffercapaciteit. Dit buffersysteem is wel belangrijk voor de buffercapaciteit bij een verminderde zuurtoevoer, omdat silicaatverwerking onophoudelijk plaatsvindt. Silicaatverwerking is daarom zeer belangrijk in kalkarme en kalkloze milieus. Kationenomwisseling daarentegen werkt zeer snel en draagt veel bij wanneer een toevoer van zuur plaatsvindt. Kationenomwisseling is, zoals het woord het zegt, het omwisselen van kationen met H^+ ionen. In de bodem zijn kleimineralen en/of organische stofdeeltjes aanwezig. Deze zijn vaak negatief geladen waardoor kationen geadsorbeerd zijn aan de buitenkant van deze mineralen en stoffen. De kationen in kwestie zijn; calcium (Ca), kalium (K), magnesium (Mg) en natrium (Na). H^+ ionen kunnen deze kationen verdringen, waardoor de kationen in het grondwater terecht komen. Het nadeel van dit buffersysteem is de afname van kationen door uitspoeling. Na verloop van tijd zijn de kleimineralen en/of organische stof verzadigd, waardoor minder tot geen H^+ ionen gebonden kunnen worden. Zuur kan niet meer gebufferd worden en de pH zal gaan dalen.

Aluminiumbuffering

Als de pH tot onder de 4 daalt, zal aluminiumbuffering plaats gaan vinden. Dit komt alleen voor op kalkloze gronden waar geen basische kationen aanwezig zijn en een toevoer van zuur aanwezig is. Bij aluminiumbuffering reageert aluminiumhydroxide met zuur waardoor aluminiumionen (Al^{3+}) vrijkomen. Opgelost aluminium is in lage concentraties toxisch voor flora en fauna. Wanneer de pH lager dan 3 is, kan ijzerbuffering plaatsvinden. Zulke lage pH waardes komen in Nederland niet voor (Alterra Wageningen UR & ministerie van EL&I, 2012).

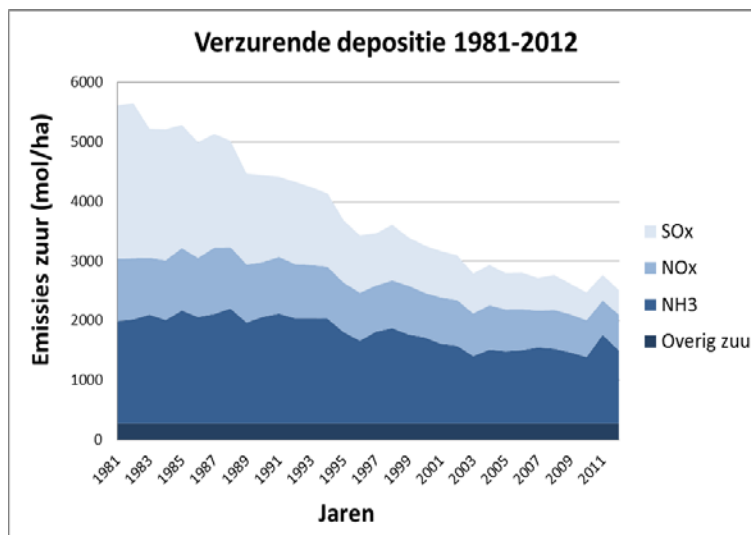
3.3 Trend verzurende deposities en pH

Deze paragraaf bevat een beschrijving van de trend van de verzurende depositie tussen 1981 en 2012. Tevens is de trend van de pH tussen 1983 en 2012 beschreven.

Emissies verzurende stoffen

Het voorkomen van de stoffen zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak in de atmosfeer wordt achtereenvolgens veroorzaakt door emissies van industrie, verkeer en landbouw. In de jaren 80 en 90 van de vorige eeuw werd gevreesd dat de extreem hoge emissies van deze stoffen zouden leiden tot onherstelbare schade aan ecologische en aquatische milieus. De maatregelen die zijn getroffen hebben de emissies van deze stoffen sterk terug gedrongen. In figuur 3-2 is te zien dat vooral de emissie van zwaveloxide sterk is afgenomen (Bruisman, et al., 2010)).

Dit heeft ervoor gezorgd dat veel mensen denken dat de milieu problemen van zure atmosferische depositie zijn opgelost. Dit is niet het geval. Bodemverzuring is nog steeds een actueel probleem. Dit wordt grotendeels veroorzaakt door de nog altijd hoge emissies van ammoniak en stikstofoxiden door de landbouw.



Figuur 3-2: Verzurende depositie 1981-2012

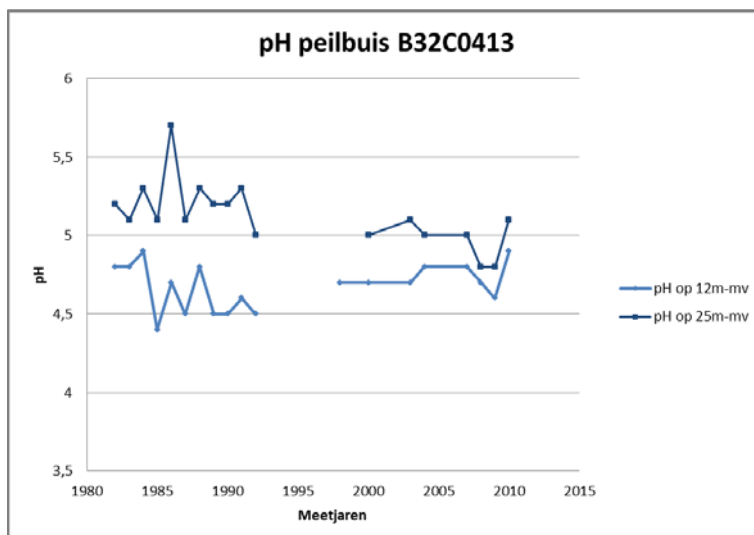
Kritische depositieniveaus

Voor het bepalen van de risico's en effecten van verzuring zijn, in de jaren 90 van de vorige eeuw, kritische depositieniveaus (bijlage2) voor een aantal ecosystemen opgesteld. Deze kritische depositieniveaus geven de maximale niveaus van depositie weer waarbij volgens de huidige wetenschappelijke kennis geen negatieve effecten op de structuur en functies van ecosystemen voorkomen (Bruisman, et al., 2010). Kritische depositieniveaus voor bodemverzuring worden uitgedrukt in de maximale hoeveelheid mol potentieel zuur per hectare per jaar (mol potentieel zuur/ha/jaar). Potentieel zuur kan omschreven worden als: "de maximale verzuring die kan plaatsvinden in de bodem en het water door de stoffen zwaveldioxide, stikstofoxiden, ammoniak en alle omzettingsproducten van deze stoffen" (PBL, 2013). Ondanks de dalende trend van verzurende depositie is de hoeveelheid potentieel zuur nog steeds hoog en worden de opgestelde kritische niveaus nog steeds overschreden. In bijlage 3 is een depositiekaart van het potentiële zuur in 2012 in weergegeven. Hieruit blijkt dat in en rond het onderzoeksgebied grote hoeveelheden (>2500 mol/ha/jaar) potentieel zuur op de bodem terecht komt.

Zuurgraad kalkarme grond

Aangenomen is dat nog steeds een toevoer van zuur aan de bodem plaatsvindt. Dit vormt vooral voor kalkloze en kalkarme zandgronden een risico. Deze zandgronden hebben een minder bufferend vermogen, waardoor zuur nauwelijks geneutraliseerd wordt. Door de aanvoer van verzurende stoffen hebben de buffersystemen in de bodem weinig tot geen mogelijkheden om te herstellen. Hierdoor blijft de pH in deze gebieden laag. Deze stelling kan worden onderbouwd met meetgegevens uit het landelijke grondwaterkwaliteitsmeetnet (LMG) en het provinciale grondwaterkwaliteitsmeetnet (PMG) van de provincie Utrecht. Hieruit is naar voren gekomen dat ondanks het afnemen van de verzurende deposities, de pH niet hoger is geworden. Als voorbeeld is in figuur 3-3 de in Bilthoven gelegen peilbuis B32C0413 weergegeven. Deze peilbuis bevat twee

filters en is gemeten sinds 1983 tot en met 1992 en vanaf 1998 tot en met 2010. Het eerste filter bevindt zich 12 meter beneden maaiveld en het tweede filter bevindt zich 25 meter beneden maaiveld. Het valt op dat de pH de laatste 10 jaar op beide filter dieptes nagenoeg constant blijft terwijl verwacht zou worden dat de pH zou stijgen door de afname van verzurende deposities. In 2010 is de pH 0,3 pH-eenheden hoger dan de voorlaatste meting. Dit is een kleine afwijking waardoor is aangenomen dat dit geen stijgende trend voorstelt.

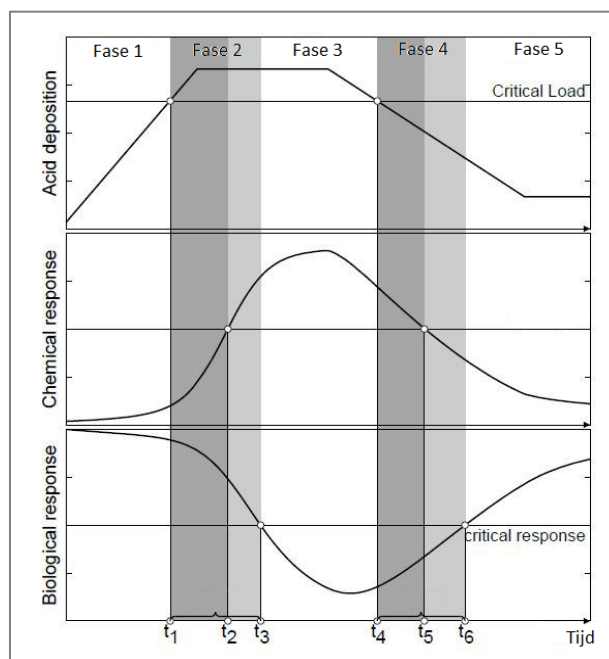


Figuur 3-3: pH 1981-2010

3.4 Verwachting bodemverzuring

Uit de voorgaande paragraaf blijkt dat wanneer de dalende trend van de emissies verzurende stoffen doorzet dat niet betekent dat de milieuproblemen zijn opgelost. In deze paragraaf is het in de tijd plaatsvinden van bodemprocessen beschreven.

In figuur 3-4 is het in de tijd plaatsvinden van chemische en ecologische gevolgen van de bodem weergegeven, nadat het kritisch niveau van potentieel zuur is overschreden. Uit de figuur blijkt dat wanneer overschrijding van het kritisch niveau gestopt is, de chemische en ecologische veranderingen later plaats zullen vinden. Op het moment dat de verzurende deposities onder het kritische niveau (=critical load) blijven, vinden geen veranderingen plaats in de bodem. Wanneer de verzurende deposities over het kritische niveau heen gaan (t₁), vinden pas na verloop van tijd veranderingen plaats in de bodem (t₂). Zoals eerder vermeld bevat de bodem buffer systemen. Deze buffersystemen zorgen voor een vertragend effect in de bodem. Als de buffercapaciteit en de pH afnemen worden de ecologische gevolgen (t₃). Dit houdt in dat mogelijk schade ontstaat aan ecologische



Figuur 3-4: Verwachting bodemverzuring (CEE, 2013)

systemen. Als de verzurende deposities weer onder het kritische niveau komen (t₄), zal na een bepaalde periode de chemische kwaliteit verbeteren (t₅). Na verloop van tijd zal ook het ecologisch systeem zich herstellen (t₆) (CEE, 2013). Zoals de figuur in bijlage 3 duidelijk weergeeft, worden op veel plekken de kritische niveaus van potentieel zuur overschreden. Daardoor kan worden aangenomen dat zolang het kritische niveau wordt overschreden, verzuring van de bodem blijft plaatsvinden. Dit heeft tot gevolg dat de chemische en ecologische kwaliteit niet verbeterd. De verwachting is dat op de kalkloze zandgronden de pH laag zal blijven.

3.5 Invloed en risico's lage pH

In deze paragraaf zijn de invloed van de lage pH op processen en stoffen en de mogelijke risico's die daardoor ontstaan beschreven. Een lage pH kan op allerlei processen en stoffen in de bodem invloed hebben. Centraal in dit rapport staat de invloed van de pH op de meest mobiele kationen, waaronder een aantal (zware) metalen. Door deze invloed kunnen ecologische, financiële en humane risico's ontstaan.

Zware metalen

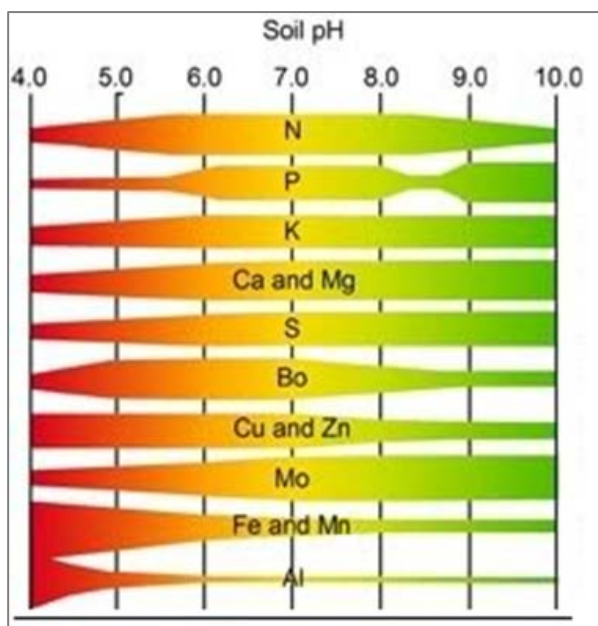
Veel kationen zoals; calcium (Ca), magnesium (Mg), ijzer (Fe), aluminium (Al), mangaan (Mn), kalium (K) en natrium (Na) komen van oorsprong in de bodem voor. Daarnaast komen enkele kationen, in de vorm van zware metalen, niet of nauwelijks van oorsprong in de bodem voor. Het gaat hier om de zware metalen; cadmium (Cd), zink (Zn), koper (Cu), nikkel (Ni), chroom (Cr) en lood (Pb). Deze zware metalen zijn voornamelijk door emissies van industrieën en de landbouw in de bodem terecht gekomen.

De invloed van een lage pH op de mobiliteit van (zware) metalen kan worden bepaald aan de hand van een stabiliteitsdiagram, die zijn weergegeven in bijlage 4. In het diagram kan bij een bepaalde pH en redoxpotentiaal afgelezen worden in wat voor fase een metaal zich bevindt. De fases waarin een metaal zich kan bevinden zijn: corrosie, passief en immuun. In de corrosiefase corrodeert het metaal en ontstaan ionen. In de passieve fase reageert zuurstof met het metaal. Het metaal reageert met niets, wanneer het in de immune fase is. Het mobiel worden van aluminium vormt een potentieel groot risico. Aluminium komt van nature in grote hoeveelheden voor in de bodem. Het is bekend dat opgelost aluminium een risico vormt voor flora, fauna en de gezondheid, aangezien opgelost aluminium toxisch is. Daarnaast is het mogelijk dat het opgeloste aluminium, afzettingen veroorzaakt wanneer het wordt opgepompt en neerslaat. Dit veroorzaakt verstoppingen in de zuivering of filters bij saneringen, bronbemalingen of bij andere activiteiten waar grondwater wordt opgepompt. Dit is nader toegelicht in het onderdeel grondwatermenging. Door de lage pH is het mogelijk dat de zware metalen cadmium, zink, koper, nikkel, chroom en lood mobiel worden. Wanneer deze metalen mobiel zijn kan uitspoeling plaatsvinden.

Uit grondwaterkwaliteitsrapporten is gebleken dat door de lage pH met name cadmium, zink en nikkel in verhoogde concentraties in het grondwater aanwezig zijn. Chroom, lood en koper binden zich gemakkelijker aan bodemdeeltjes, waardoor deze minder snel uitspoelen naar het grondwater. Hierdoor is de concentratie van deze zware metalen in het grondwater vaak lager (De Vries, 2008). De zware metalen zijn net als opgelost aluminium toxisch en vormen een gevaar voor flora, fauna en de gezondheid van mensen. Door de bovengenoemde risico's ligt de nadruk in dit onderzoek bij de (zware) metalen cadmium, zink, nikkel en aluminium.

Beschikbaarheid nutriënten

Door de invloed van de lage pH op kationen neemt de beschikbaarheid van nutriënten voor planten af. De beschikbaarheid van nutriënten in de bodem is sterk afhankelijk van de zuurgraad, zoals te zien is in figuur 3-5 (Trumpetflowers, 2012). IJzer, mangaan en aluminium komen bij een lage pH in hogere concentraties in de bodem voor. Andere nutriënten zoals fosfaten, sulfaten en calcium nemen juist in concentratie



af bij een lage pH. Planten en bomen hebben deze nutriënten nodig om te groeien. Wanneer planten en bomen niet genoeg nutriënten opnemen kunnen negatieve effecten ontstaan. Voor zeldzame flora is dit een risico, aangezien deze gevoelig zijn voor veranderingen. Hierdoor kan de ecologische kwaliteit afnemen. Het is mogelijk dat verhoogde concentraties ijzer en mangaan verstoppingen veroorzaken als deze worden onttrokken. Dit vormt een financieel risico. Dit is nader toegelicht in het onderdeel grondwatermenging. Door de bovengenoemde risico's ligt de nadruk in dit onderzoek naast de (zware) metalen ook bij de stoffen ijzer en mangaan.

Bodemleven en wortelcellen

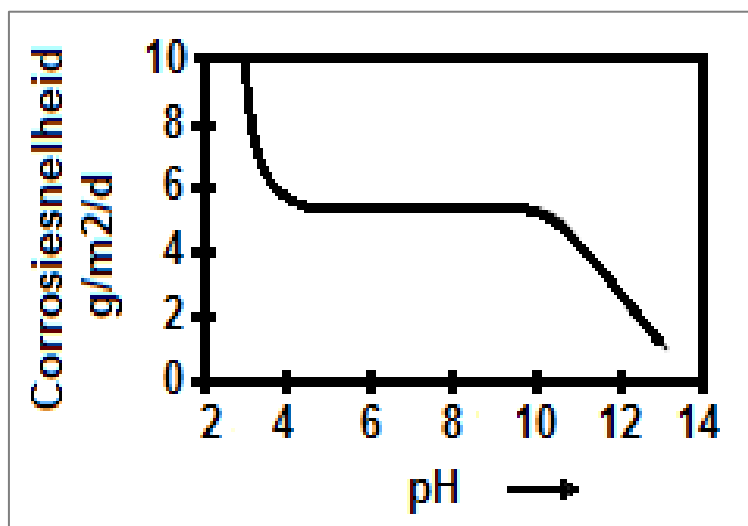
Door een lage pH neemt de bacteriële activiteit af en de activiteit van schimmels toe. Kleine organismen zoals regenwormen en duizendpoten verdwijnen wanneer de pH van de bodem te laag is. Hierdoor kan de ecologische kwaliteit in een gebied afnemen. Daarnaast vormt de invloed van een lage pH een risico voor boom- en plantenwortels. De lage pH tast namelijk de wortelcellen aan. Dit heeft een negatief effect op de wortelgroei en opname van nutriënten. Door de aantasting van de wortelcellen en mindere opname van nutriënten kunnen gewasopbrengsten tegenvallen. Dit vormt een financieel risico voor agrariërs. Om aantasting van de wortelcellen van gewassen tegen te gaan, worden voornamelijk op kalkloze en kalkarme zandgronden, de landbouwgronden bekalkt. Hierdoor wordt de pH geneutraliseerd en blijven voldoende nutriënten beschikbaar voor de gewassen (Reijnders, van Drecht, Prins, Bronswijk, & Boumans, 2004). Naast een financieel risico vormt de aantasting van de wortelcellen ook een ecologisch risico, omdat door het zure milieu (zeldzame) planten kunnen verdwijnen.

Aquatische milieus

Een lage pH ($\text{pH} < 5$) heeft in aquatische milieus invloed op de eieren van vissen en amfibieën. Door de lage pH bestaat er de kans dat eieren niet uitkomen. Ook zuurgevoelige waterplanten kunnen beïnvloed worden door een lage pH. Dit heeft nadelige effecten voor de ecologische kwaliteit in aquatische milieus. (Bruisman, et al., 2010).

Corrosiesnelheid

Een lage pH heeft ook invloed op de corrosiesnelheid van metalen. Door invloed van een lage pH kan corrosie van ijzer versneld plaatsvinden. In figuur 3-6 is de corrosiesnelheid van ijzer uitgezet tegen de pH. Hierbij is te zien dat de corrosiesnelheid bij een pH tussen de 5 en 10 hetzelfde is. Wanneer de pH lager is dan 4,5 neemt de corrosiesnelheid toe. Een toename van de corrosiesnelheid bij aluminium en bij aluminium legeringen kan alleen plaatsvinden bij een pH lager dan 3. Zulke lage pH waarden worden in de Nederlandse bodem niet gemeten. Daarom ligt in dit rapport de nadruk alleen bij ijzerconstructies. Door versnelde corrosie van ijzerconstructies kan de veiligheid in het geding komen. Daarnaast kan het mogelijk financiële risico's met zich meebrengen (Gellings, 2006).

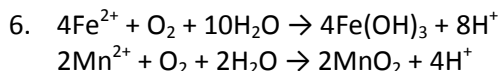


Figuur 3-6: Corrosiesnelheid ijzer

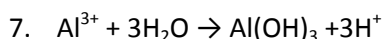
Grondwatermenging

Door het mengen van grondwater met verschillende kwaliteit kunnen neerslagreacties optreden. De kwaliteit van het grondwater hangt deels af van de pH (zie invloed pH op zware metalen). Menging van water kan bij verschillende toepassingen plaatsvinden. Zo kan gedacht worden aan WKO-systemen, bronbemalingen en saneringen. De neerslagreacties kunnen mogelijk verstoppingen veroorzaken. Dit leidt tot financiële risico's. De meest voorkomende neerslagreacties zijn in dit onderdeel toegelicht (Rijksoverheid, 2009).

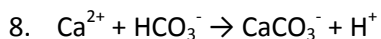
De neerslag van ijzer en mangaan is een bekende verstopping. Bij menging van diep grondwater, met hoge concentraties ijzer en/of mangaan ($>0,1\text{mg/L}$), met ondiep grondwater dat zuurstof bevat ($>0,01\text{mg/L}$) kunnen de volgende neerslagreacties plaatsvinden (reactie 6).



De ijzerhydroxide en mangaanoxide die ontstaan zijn bij deze neerslag, komen in vaste fase voor. Deze afzettingen kunnen verstoppingen veroorzaken. Een andere reactie is de neerslag van aluminium, waarbij aluminiumhydroxide ontstaat (reactie 7). Deze neerslag ontstaat wanneer grondwater met een hoge aluminiumconcentratie, in combinatie met een lage pH, wordt gemengd met grondwater met een hoge pH. Deze reactie kan alleen plaatsvinden wanneer de concentratie van aluminium in het grondwater hoger is dan $0,3 \text{ mg/l}$.



Het neerslaan van kalk is een bekende reactie (reactie 8). Dit vindt plaats wanneer het grondwater hoge concentraties kalk bevat en grote verschillen aanwezig zijn in de pH en de concentratie vrij koolzuur. Aluminiumafzettingen hebben een witte kleur en lijken daardoor sterk op kalkafzettingen.

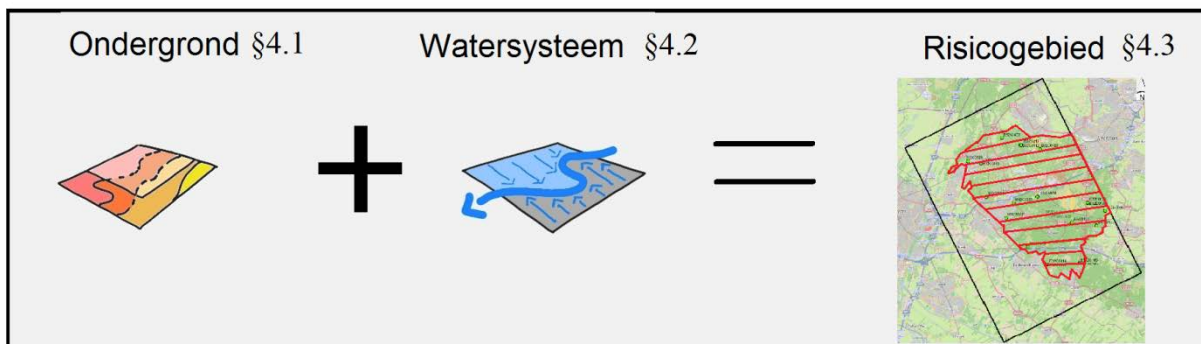


3.6 Overzicht bodemverzuring

De oorzaak van de lage pH kan vooral worden toegeschreven aan verzurende deposities van de stoffen zwaveldioxyden (SO_2), stikstofoxiden (NO_x) en ammoniak (NH_3). De deposities nemen af maar de verwachting is dat de bodemverzuring op kalkloze en kalkarme zandgronden blijft doorzetten, omdat de kritische niveaus van potentieel zuur nog steeds overschreden worden. De lage pH en de mobiele (zware) metalen vormen financiële en humane risico's. Daarnaast nemen de water-, bodem- en ecologische kwaliteit af wat een ecologisch risico vormt.

4. Gebiedsanalyse

De analyse van het onderzoeksgebied is in dit hoofdstuk opgenomen. In figuur 4-1 is schematisch weergegeven hoe het onderzoeksgebied geanalyseerd is. Aan de hand van de ondergrond- en watersysteemanalyse is binnen het onderzoeksgebied een risicogebied bepaald.



Figuur 4-1: Gebiedsanalyse

4.1 Ondergrond

Deze paragraaf bevat een beschrijving van de ondergrond in het onderzoeksgebied. De ondergrond bepaalt voor een groot deel het grondwatersysteem en het grondwatergebruik. De beschreven kenmerken van de ondergrond zijn de ontstaanswijze van de bodem, de bodemsamenstelling en de geohydrologische situatie.

Ontstaanswijze

De ontstaanswijze van de bodem, of geomorfologie, is van essentieel belang voor het begrijpen van de ondergrond en alle processen die daarbij horen. In bijlage 5 is de geomorfologische kaart van het gebied weergegeven. Het belangrijkste geomorfologische kenmerk in het onderzoeksgebied is de stuwwal. De stuwwal is ontstaan door opstuwend landijs gedurende de voorlaatste ijstijd. Aan de westelijke rand van de stuwwal bevinden zich smeltwaterwaaiers (of sandr). Zoals de naam al aangeeft zijn deze gebieden gevormd door smeltwater. Tussen de smeltwaterwaaiers en verder naar het westen bevinden zich landduinen en droge dalen gevuld met dekzand. Deze gebieden zijn door invloeden van de wind gevormd. In het zuidwesten is het gebied gevormd door rivierafzettingen. Zo zijn enkele rivieroeverwallen en rivierkommen aanwezig in het gebied rond de Kromme Rijn.

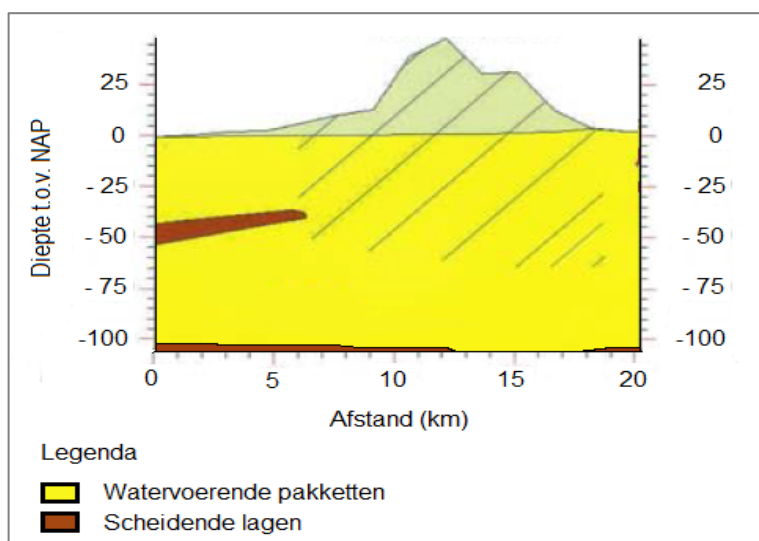
Bodemsamenstelling

Door de bodemvormende processen die hebben plaatsgevonden gedurende het ontstaan van de bodem, zijn verschillende grondsoorten in het gebied aanwezig. In bijlage 6 is de bodemkaart van het onderzoeksgebied weergegeven. De bodemkaart geeft de bodemsamenstelling tot een diepte van 2 meter min maaiveld weer. Op en rond de stuwwal liggen voornamelijk podzolgronden. Deze podzolgronden zijn droog en bestaan uit grof zand. Op de locaties rond de stuwwal waar landduinen aanwezig zijn, bestaat de bodem veelal uit kalkloze zandgronden. Deze kalkloze zandgronden zijn veelal mineraal arm en hebben een slecht bufferend vermogen. Aan de rand van deze kalkloze zandgronden liggen veel dikke zandeerdgronden bestaande uit fijn, leemarm en zwak lemig zand. In het zuidwesten van het onderzoeksgebied gaan de dikke zandeerdgronden over in rivierkleigronden. Deze kleigronden zijn ontstaan door afzettingen van de Nederrijn en de Kromme Rijn. De rivierkleigronden bestaan afwisselend uit kalkhoudende en kalkarme gronden van zware klei en zavel. De kalkhoudende gronden hebben een beter bufferend vermogen aangezien kalk aanwezig is, dat een zuur neutraliserende werking heeft.

Geohydrologische situatie

De geohydrologische situatie in het onderzoeksgebied is beschreven vanaf maaiveldhoogte tot aan de tweede scheidende laag op 105 meter -NAP. De geohydrologische situatie tot aan de tweede scheidende laag kan als volgt worden beschreven. Twee dikke, goed doorlatende, watervoerende lagen die deels gescheiden worden door slecht doorlatende kleilagen. In figuur 4-2 is dit schematisch weergegeven. In bijlage 7 is een gedetailleerde beschrijving opgenomen, die gebaseerd is op het geologische model DGM en het geohydrologisch model Regis2.

De stuwwal bestaat uit complex gestuwde afzettingen en is daardoor nauwelijks te beschrijven. Een deel van het eerste watervoerende pakket, tot 20 meter -NAP (Normaal Amsterdams Peil), kan in horizontale richting gesplitst worden in 2 delen. Het eerste deel bestaat uit de formaties van Drente, Urk en Sterksel en het tweede deel bestaat uit de formaties van Echteld, Kreftenheye en Urk. Vervolgens is een scheidende laag aanwezig bestaande uit de formaties van Waalre en Sterksel. De scheidende laag bevindt zich ongeveer tussen de 30 meter en 55 meter -NAP. De scheidende laag is niet continue aanwezig, waardoor de watervoerende pakketten met elkaar in ver binding staan. Het tweede water voerende pakket bestaat uit de formatie van Peize-Waalre (55 meter tot 105 meter -NAP). De tweede scheidende laag bevindt zich op een diepte van ongeveer 105 meter -NAP en bestaat uit de formatie van Maassluis (TNO, 2013).



Figuur 4-2: Schematische weergave geohydrologische situatie (Provincie Utrecht, 2011)

4.2 Watersysteem

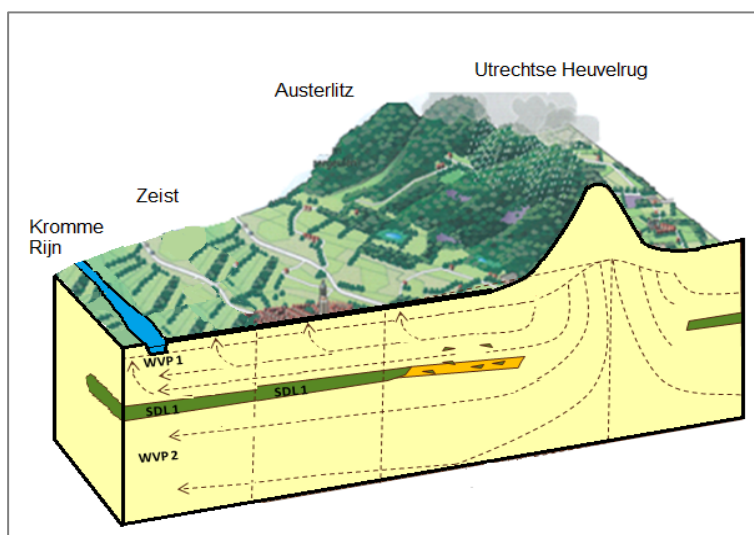
Het watersysteem binnen het onderzoeksgebied is in deze paragraaf beschreven. Tot het watersysteem behoren het grondwater- en oppervlaktewatersysteem. Binnen het grondwater systeem zijn de parameters grondwaterstand, infiltratie en kwel, grondwaterstroming en verblijftijd beschreven. Voor het oppervlaktewatersysteem zijn in het kort de belangrijkste waterlichamen beschreven.

Grondwatersysteem

Voor een actuele beschrijving van de grondwaterstanden, is gebruik gemaakt van stijghoogtemetingen in peilbuizen. Hiervoor zijn peilbuisgegevens uit Dinoloket gebruikt. De grondwaterstand rond de Kromme Rijn ligt op ongeveer 1,0 meter tot 1,5 meter beneden maaiveld. Vanaf de Kromme Rijn tot aan de Utrechtse Heuvelrug neemt de diepte van de grondwaterstand toe van ongeveer 1,5 meter tot 8,0 meter beneden maaiveld. Op enkele locaties op de Utrechtse Heuvelrug is de grondwaterstand zelfs dieper gelegen dan 10 meter beneden maaiveld. Op deze locaties is een grote onverzadigde zone aanwezig.

In figuur 4-3 is schematisch de grondwaterstroming na infiltratie van regenwater op de Utrechtse Heuvelrug weergegeven. Na infiltratie van neerslag stroomt het water richting het eerste of tweede watervoerende pakket. Vervolgens kan het water ergens anders weer aan de oppervlakte terecht komen. In bijlage 8 is de kwel en infiltratiekaart weergegeven. Uit deze figuur blijkt dat in vrijwel het hele gebied infiltratie plaatsvindt. Langs de Kromme Rijn en in de lager gelegen gebieden in het

noordwesten komt kwel voor. Met andere woorden, er vindt een veelal neerwaartse verticale stroming plaats wanneer neerslag op de grond terecht komt. Aangenomen is dat het grondwater onder de Utrechtse Heuvelrug aangevuld wordt door infiltratie van neerslag. De verblijftijd van het water dat infiltreert op de Utrechtse Heuvelrug is erg lang. Mede door de lange verblijftijd van het water in de ondergrond is de grondwaterkwaliteit in het onderzoeksgebied erg goed.



Figuur 4-3: Schematische weergave grondwaterstroming

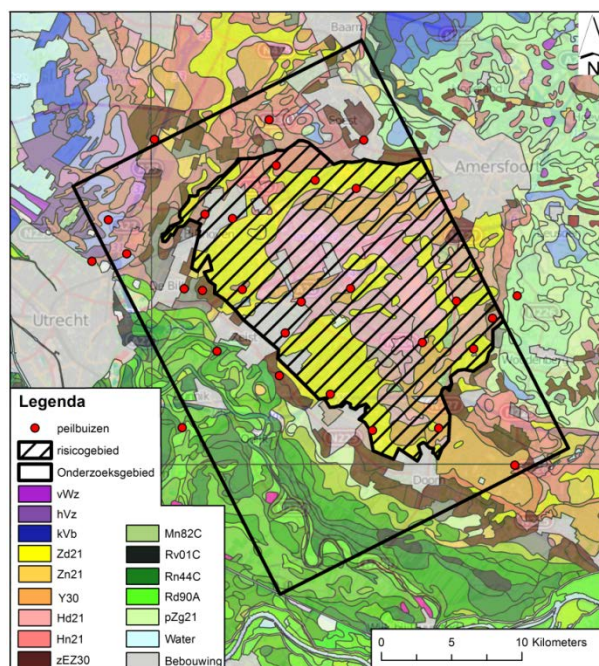
De grondwaterstroming in het eerste watervoerende pakket is weergegeven in bijlage 9. De grondwaterstromingen in het eerste watervoerende pakket worden beïnvloed door drinkwaterwinningen. Het grondwater stroomt daardoor in verschillende richtingen. Ondiepe winningen in het eerste watervoerende pakket hebben veel invloed op de grondwaterstroming. Ook in het tweede watervoerende pakket hebben de drinkwaterwingebieden invloed op de grondwaterstroming.

Oppervlaktewatersysteem

Binnen het onderzoeksgebied is reliëf aanwezig. Dit komt vanwege de aanwezigheid van de Utrechtse Heuvelrug in het onderzoeksgebied. In bijlage 10 is te zien dat de toppen van de Utrechtse Heuvelrug zich op een hoogte van plusminus 50 meter +NAP bevinden. De laagst gelegen gebieden bevinden zich in het noordwesten van het onderzoeksgebied en langs de Kromme Rijn in het zuidwesten van het onderzoeksgebied. Deze gebieden liggen op een hoogte van plusminus 2 meter +NAP. Zoals in het grondwatersysteem beschreven is, vindt voornamelijk infiltratie plaats. Daardoor is weinig oppervlaktewater aanwezig op de Utrechtse Heuvelrug. Op de Utrechtse Heuvelrug is één waterlichaam aanwezig dat kwel gevoed is. Dit is de recreatieplas Henschotermeer welke gelegen is ten westen van het dorp Maarn. Het Henschotermeer is ontstaan door de winning van zand (Recreatie midden Nederland, 2014). De Kromme Rijn is het belangrijkste waterlichaam in het onderzoeksgebied. De Kromme Rijn stroomt vanaf de Nederrijn (inlaat: Wijk bij Duurstede) tot aan de Utrechtse grachten.

4.3 Risicogebied

Naar aanleiding van de beschrijvingen van de ondergrond, het watersysteem en de theoretische basis is besloten om binnen het onderzoeksgebied een risicogebied te bepalen. Het risicogebied is weergegeven in figuur 4-4 en bijlage 12. Er is voor een risicogebied gekozen, omdat in het onderzoeksgebied niet overal een lage pH voorkomt. De gebieden waar



geen lage pH voorkomt zijn niet relevant voor dit onderzoek. Voor het bepalen van het risicogebied is gebruik gemaakt van peilbuisgegevens uit het PMG (provinciaal meetnet grondwaterkwaliteit), LMG (landelijk meetnet grondwaterkwaliteit) en de bodemkaart.

Meetgegevens

De omvang van het risicogebied is deels bepaald aan de hand van jaarlijkse rapportages tot en met 2012 van het grondwaterkwaliteitsmeetnet van de provincie Utrecht. Met behulp van het rapport, Grontmij 2009, *Evaluatie grondwaterkwaliteitsmeetnet provincie Utrecht*, zijn peilbuislocaties uit het PMG en LMG binnen het onderzoeksgebied geselecteerd. Deze zijn weergegeven in bijlage 11. De gekozen peilbuizen bevatten meetgegevens over de grondwatersamenstelling en de grondwaterstanden. Aangenomen is dat de meetgegevens van de grondwatersamenstelling en dan met name de zuurgraad betrouwbaar zijn. De aanname is in het onderstaande kader onderbouwd. Per peilbuislocatie zijn de maaiveldhoogte ten opzichte van NAP, de filterdiepte ten opzichte van maaiveld en de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld bepaald. Vervolgens zijn van deze gegevens de hoogtes ten opzichte van NAP bepaald.

Aanname grondwaterkwaliteitsgegevens

De gebruikte peilbuizen in dit onderzoek zijn onderdeel van het PMG en LMG. De grondwaterkwaliteitsgegevens worden sinds 2003 geanalyseerd en geverifieerd in het laboratorium van TNO/Universiteit van Utrecht. Afwijkingen bij het bepalen van de zuurgraad vonden en vinden veel plaats, omdat beïnvloeding tijdens de pH-bepaling snel kan optreden. Sinds 2008 wordt voor de bepaling van de zuurgraad, in het laboratorium, gebruik gemaakt van de NEN-norm 6411 (tegenwoordig NEN-EN-ISO 10523:2012). Ondanks dat de gegevens uit het PMG en LMG komen, zijn vooral de oude pH gegevens kritisch beoordeeld op betrouwbaarheid. Voor het beoordelen van de betrouwbaarheid van de pH gegevens is in dit onderzoek gebruik gemaakt van de volgende methode: een verhoogde concentratie aluminium in het grondwater komt alleen voor bij pH 5 of lager. Aan de hand van de aluminiumconcentratie kan een verwachte pH worden bepaald. Voorbeeld: als de aluminiumconcentratie 10 µg/l is, bij een pH van 4,5 dan is het de vraag of de meting betrouwbaar is. Bij een pH van 4,5 worden aluminiumconcentraties van meer dan 1000 µg/l verwacht. Wanneer de concentratie overeenkomt met de gemeten pH, kan de meting als betrouwbaar worden beschouwd.

Horizontale afbakening

Voor de horizontale afbakening is allereerst gekeken naar peilbuislocaties met een lage pH. In grondwaterkwaliteitsrapportages is een pH van 5 vaak als kritische waarde genomen (Van Vliet, Vrijhoef, Boumans, & Wattel-Koekkoek, 2010). Daarnaast wordt voor bodemkwaliteitsbepalingen van zandgronden vaak ondergrensnorm van pH 5,5 gehanteerd (Lommers, 2008). In dit onderzoek is gekozen om als kritische waarde een pH van 5,5 te nemen. Dit komt omdat de pH-gegevens in de grondwaterkwaliteitsrapportages gemiddeld zijn. Uit de meerjarige meetreeksen van de peilbuizen is naar voren gekomen dat bij een gemiddelde pH van 5,5 ook uitschieters naar beneden hebben plaatsgevonden. Verwacht wordt dat bij deze locaties de pH weer kan dalen en dat kan mogelijk tot problemen leiden.

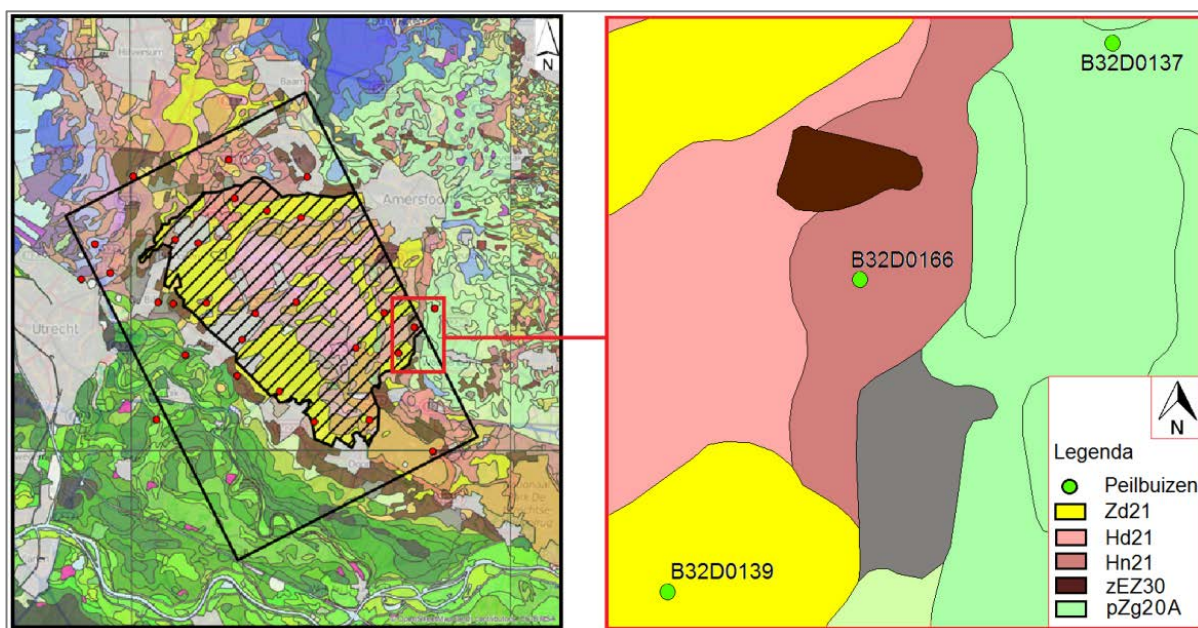
Wat opvalt in figuur 4-4 en bijlage 12 is dat de locaties met een lage pH zich vrijwel alleen op de kalkloze en kalkarme zandgronden bevinden. Dit komt overeen met de bevindingen uit hoofdstuk 3. De verklaring hiervoor is dat deze gronden nauwelijks een bufferend vermogen hebben. De peilbuis locaties in de kalkhoudende klei- en zandgronden hebben over het algemeen een (veel) hogere pH, omdat deze gronden een

Tabel 4-1: Vergelijking peilbuizen
horizontale afbakening

Peilbuisnummer	pH	Filterdiepte (meter t.o.v. NAP)
B32D0137	7,2	-0,8
B32D0166	5,4	0,5
B32D0139	4,5	-2,8

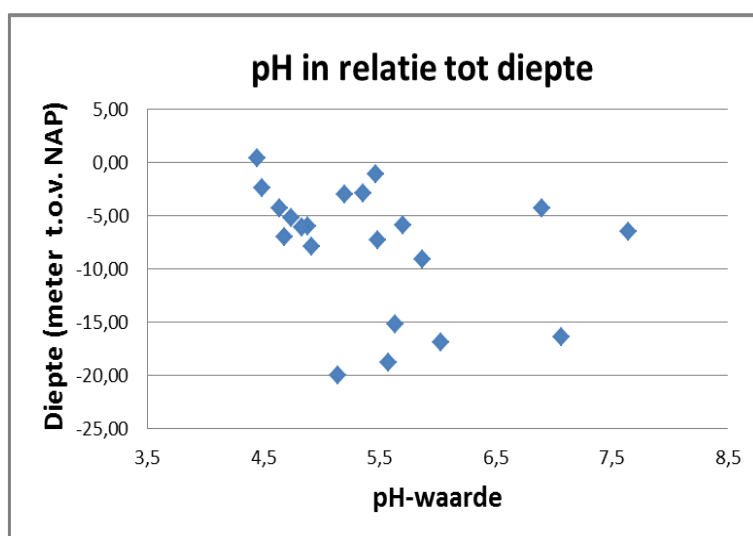
groter bufferend vermogen hebben. Het verschil in pH tussen een kalkloze grond en een kalkhoudende grond is duidelijk zichtbaar. Aangenomen is dat er een relatie is tussen de grondsoort en de pH. Om deze aanname te onderbouwen zijn de peilbuizen B32D0137, B32D0166 en B32D0139 met elkaar vergeleken en in tabel 4-1 weergegeven.

De filterdieptes van deze peilbuizen ten opzichte van NAP zijn vergelijkbaar met elkaar. Figuur 4-5 laat zien dat peilbuis B32D0137 gelegen is in een kalkhoudende zandgrond, terwijl de peilbuizen B32D0166 en B32D0139 gelegen zijn in kalkarme zandgronden. De afkorting Zd betekent een droge kalkloze zandgrond. De afkorting Hn betekent een natte en kalkarme veldpodzolgrond. De grond pZg20A staat voor een kalkhoudende beekeerdgrond, waarbij de A staat voor kalkhoudend. De pH op de kalkhoudende grond bij B32D0137 is vrijwel pH neutraal, namelijk pH 7,2. De pH op de kalkarme grond bij B32D0166 is pH 5,4 en op de kalkloze grond bij B32D0139 pH 4,5. Hieruit blijkt dat de pH op kalkhoudende gronden vrijwel neutraal is, terwijl de pH op kalkloze en kalkarme zandgronden pH 5,5 of lager is. De grens van het risicogebied bevindt zich tussen de kalkhoudende gronden en de kalkloze en kalkarme gronden.



Verticale afbakening

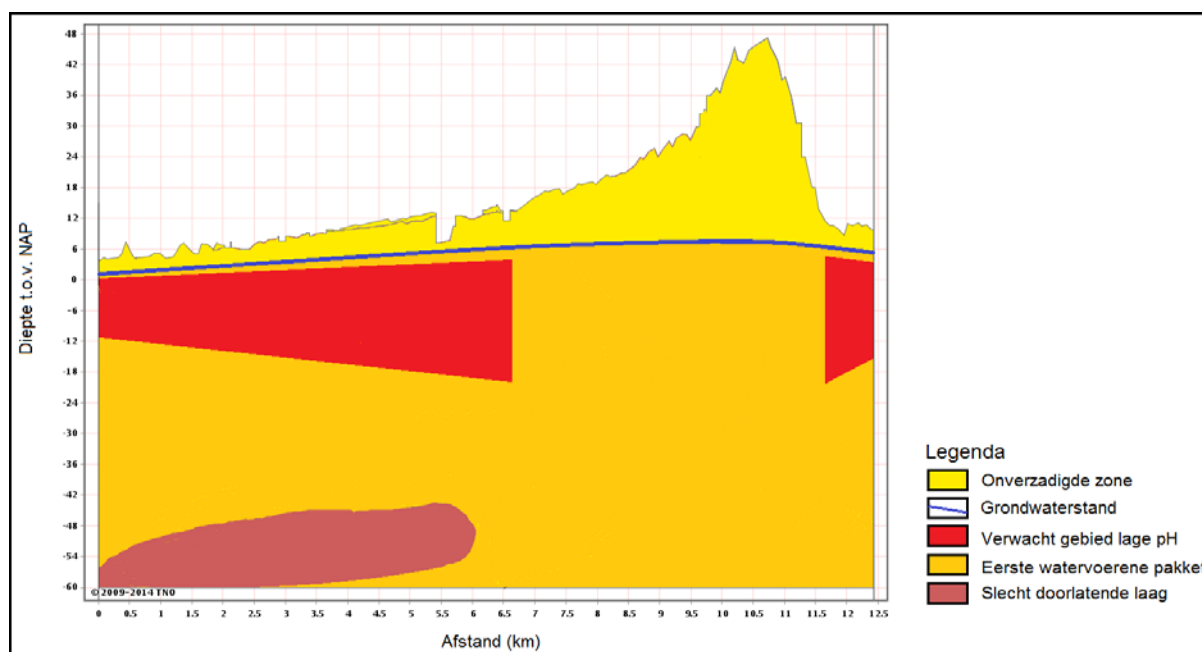
De meetgegevens van de peilbuizen op de kalkarme en kalkloze zandgronden zijn gebruikt voor de verticale afbakening. De onderzochte meetgegevens zijn maaiveldhoogte, filterdiepte, grondwaterstand en de zuurgraad. Voor alle peilbuizen is de pH uitgezet tegen de filterdiepte en weer gegeven in figuur 4-6. Aan de hand van deze figuur is aangenomen dat de lage pH zich tussen de 1 meter +NAP en 20 meter -NAP bevindt. Het overgrote deel van de metingen ligt tussen de 1 meter +NAP en 10 meter -NAP. Ondanks



Figuur 4-6: pH bij verschillende filterdieptes

dat er in dit onderzoek geen meetgegevens gebruikt zijn dieper dan 20 meter –NAP, is aangenomen dat het mogelijk is dat grondwater met een lage pH dieper dan 20 meter –NAP voorkomt. Daarom is het eerste watervoerende pakket gekozen als grens van de verticale afbakening van het risicogebied. Het eerste watervoerende pakket reikt tot een diepte van ongeveer 57 meter –NAP.

Uit figuur 4-6 blijkt dat 3 locaties nog voldoende bufferend vermogen hebben, aangezien de pH 7 of hoger is. Uit de meetgegevens van deze 3 peilbuizen, blijkt dat de grondwaterstand 30 meter beneden maaiveld gelegen is. Er bevindt zich een grote zandlaag boven het grondwater. Aangenomen is dat vanwege de grote onverzadigde zone boven het grondwater een grotere buffercapaciteit aanwezig is. Hierdoor blijft de pH op grotere dieptes neutraal. Daarnaast is aangenomen dat hoe dieper het filter ten opzichte van NAP, hoe hoger de pH is. Verwacht wordt dat in de diepere lagen (nog) genoeg bufferend vermogen aanwezig is. Daardoor is aangenomen dat in het tweede watervoerende pakket (nog) geen lage pH voorkomt. Aan de hand van de aannames en bevindingen in deze paragraaf is een schematische dwarsdoorsnede, van west naar oost, opgesteld. In de doorsnede in figuur 4-7 is het verwachte gebied met een lage pH en mobiele stoffen weergegeven.



Figuur 4-7: Verwacht gebied met lage pH

4.4 Overzicht gebiedsanalyse

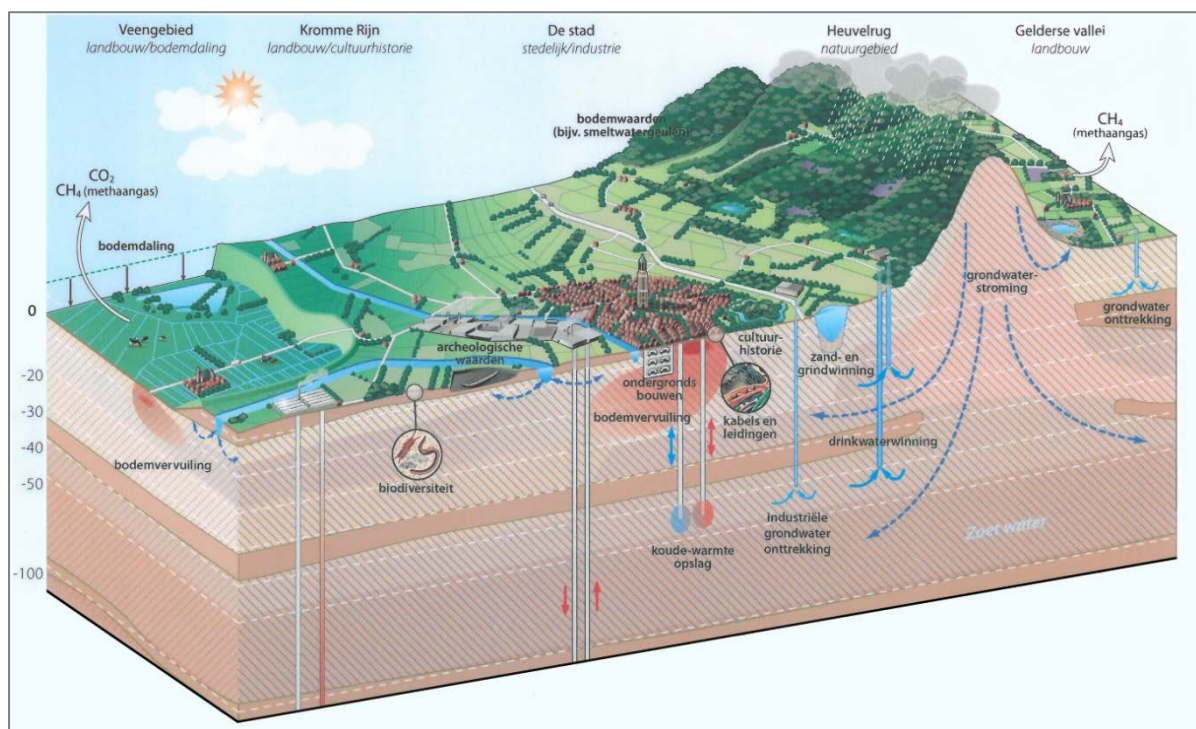
Op de Utrechtse Heuvelrug zijn voornamelijk kalkloze en kalkarme zandgronden aanwezig. Richting de Kromme Rijn gaat de bodem over in kalkhoudende zand- en kleigronden. De geohydrologische situatie kan worden beschreven als; twee watervoerende pakketten die gescheiden zijn door een slecht doorlatende laag. De slecht doorlatende laag is niet overal aanwezig, waardoor de watervoerende pakketten deels met elkaar in verbinding staan. In het onderzoeksgebied komt niet overal grondwater met een lage pH voor. De gebieden waar geen lage pH voorkomt zijn niet relevant voor dit onderzoek. De horizontale afbakening van het risicogebied is de grens tussen de kalkarme en kalkhoudende gronden en de kalkhoudende gronden. De verticale afbakening van het risicogebied is de grens tussen het eerste en tweede watervoerende pakket.

5. Risicoanalyse

Voor de risicoanalyse zijn eerst het bodem- en grondwatergebruik binnen het risicogebied onderzocht en zijn de mogelijke risico's bepaald die kunnen ontstaan bij gebruik van grondwater met een lage pH en mobiele stoffen. Vervolgens is een risicoanalyse uitgevoerd voor vijf situaties binnen het risicogebied. Per situatie zijn de locaties van grondwater met een lage pH en mobiele stoffen bepaald. Tevens zijn de paden en mogelijke receptoren bepaald. Aan het einde van dit hoofdstuk is een overzicht opgenomen van de knelpunten en receptoren per situatie.

5.1 Mogelijke receptoren en risico's grondwatergebruik

In deze paragraaf zijn de mogelijke risico's van grondwatergebruik binnen het risicogebied beschreven. Naast het grondwatergebruik door bijvoorbeeld agrariërs, drinkwaterwinningen, bronbemalingen, industrieën, natuur en WKO-systemen, zijn ook antropogene aspecten in de bodem beschreven. Bij deze antropogene aspecten kan gedacht worden aan archeologische resten en verontreinigingen. De nadruk bij de beschrijving van het grondwatergebruik ligt bij het eerste watervoerende pakket. Grondwatergebruik in het tweede watervoerende pakket is in deze paragraaf wel benoemd, aangezien de watervoerende pakketten deels met elkaar in verbinding staan. In de rest van het onderzoek zijn de grondwatergebruikers uit het tweede watervoerende pakket niet onderzocht. Het beschrijven van het grondwatergebruik creëert een duidelijk beeld van de mogelijke receptoren in het risicogebied. De manier waarop de receptoren in aanraking komen met de 'bron', is aangeduid als pad. Per receptor is het pad beschreven. In figuur 5-1 is schematisch het bodem- en grondwatergebruik in het risicogebied weergegeven.



Figuur 5-1: Schematische weergave bodem- en grondwatergebruik risicogebied (provincie Utrecht, 2011)

Archeologische verwachting

In het risicogebied bevinden zich enkele locaties met een hoge archeologisch verwachting. Op de Utrechtse Heuvelrug zijn veel locaties aanwezig die een hoge archeologische verwachting hebben. Op deze locaties kunnen grafheuvels, oude nederzettingen uit de steentijd en militaire resten uit de tweede wereld oorlog aanwezig zijn. In bijlage 13 zijn de archeologisch waardevolle gebieden weergegeven. Deze kaart komt overeen met de IKAW (Indicatieve Kaart Archeologische Waarden). De diepte waar de archeologische resten zich bevinden is verschillend. Aangenomen is dat de archeologische resten veelal aanwezig zijn op de hogere gronden van de Utrechtse Heuvelrug. Verwacht wordt dat de resten zich in het bovenste gedeelte van de bodem (<5 meter – maaiveld) bevinden. Hierdoor bevinden de resten zich niet in het gebied waarin een lage pH aanwezig is. De locaties met een hoge archeologisch verwachting zijn daarom niet verder onderzocht.

Bronbemalingen

Een bronbemaling is een tijdelijke onttrekking en vindt vaak plaats in het eerste watervoerende pakket. In bijlage 14 zijn de bronbemalingen die binnen het risicogebied hebben plaatsgevonden weergegeven. Bronbemalingen vinden veel plaats in bebouwde gebieden. Bronbemalingen worden bijvoorbeeld toegepast tijdens de aanleg of vervanging van een riolering. Het onttrokken grondwater kan worden geloosd op het riool, oppervlaktewater of terug in de bodem. Wanneer het onttrokken grondwater wordt geloosd op het riool, kan het terecht komen in de rioolwaterzuivering. Verwacht wordt dat bij lozing op het riool geen risico's ontstaan door de mobiele stoffen, aangezien grote hoeveelheden water bij elkaar komen. Hierdoor worden concentraties van de mobiele stoffen verdund. Bij lozing op (kleine) waterlichamen ligt het anders. Uit de literatuur is gebleken dat aquatische milieus gevoelig zijn voor veranderingen in waterkwaliteit. Deze veranderingen in waterkwaliteit kunnen veroorzaakt worden door een lage pH of reacties van stoffen. Hierdoor kunnen ecologische risico's ontstaan. Als laatste mogelijkheid kan het onttrokken grondwater op een andere locatie in de bodem worden geïnfiltrerd. Wanneer het grondwater met een lage pH en de mobiel geworden (zwarte) metalen ergens anders wordt geïnfiltrerd, kunnen daar mogelijk ecologische problemen ontstaan. Een ander potentieel probleem is dat bij infiltratie, menging kan plaatsvinden. De gevormde neerslag bij menging kan verstoppingen veroorzaken in onttrekking- en infiltratiesystemen en vormt een financieel risico.

Drinkwaterwinningen

Het grondwater onder de Utrechtse Heuvelrug heeft een bijzonder goede kwaliteit. Zoals bijlage 15 laat zien bevinden zich in het risicogebied 6 drinkwaterwinningen. Tevens bevinden zich in en rondom het onderzoeksgebied een aantal drinkwaterwinningen. Deze drinkwaterwinningen zijn niet opgenomen in het onderzoek, omdat ze buiten het risicogebied gelegen zijn. De gebiedsdossiers van de drinkwaterwinningen Zeist, Bilthoven, Beerschoten, Driebergen, Doorn en Soestduinen zijn onderzocht. Hieruit is naar voren gekomen dat grondwater voornamelijk wordt gewonnen in het eerste en tweede watervoerende pakket. Het is van belang dat de grondwaterkwaliteit in deze watervoerende pakketten schoon is en blijft. Hiervoor zijn drinkwaternormen opgesteld en opgenomen in het drinkwaterbesluit 2011. De drinkwaternormen voor aluminium, cadmium, ijzer, mangaan, nikkel en zink zijn weergegeven in tabel 5-1 (Provincie Utrecht, 2011). Alle zes de drinkwaterwinningen hebben de status kwetsbaar. Dit komt doordat de slecht doorlatende laag tussen het eerste en tweede watervoerende pakket niet overal aanwezig is. Hierdoor staan de watervoerende pakketten met elkaar in verbinding. Het is mogelijk dat vanwege drinkwaterwinningen, verontreinigingen in het grondwater richting het tweede watervoerende pakket worden getrokken. Zoals beschreven in paragraaf 4.2 hebben drinkwaterwinningen invloed op de grondwaterstroming in de watervoerende pakketten. Als

Tabel 5-1: Drinkwaternormen

Parameter	Concentratie (µg/l)
Aluminium	200
Cadmium	5
IJzer	200
Mangaan	50
Nikkel	20
Zink	300

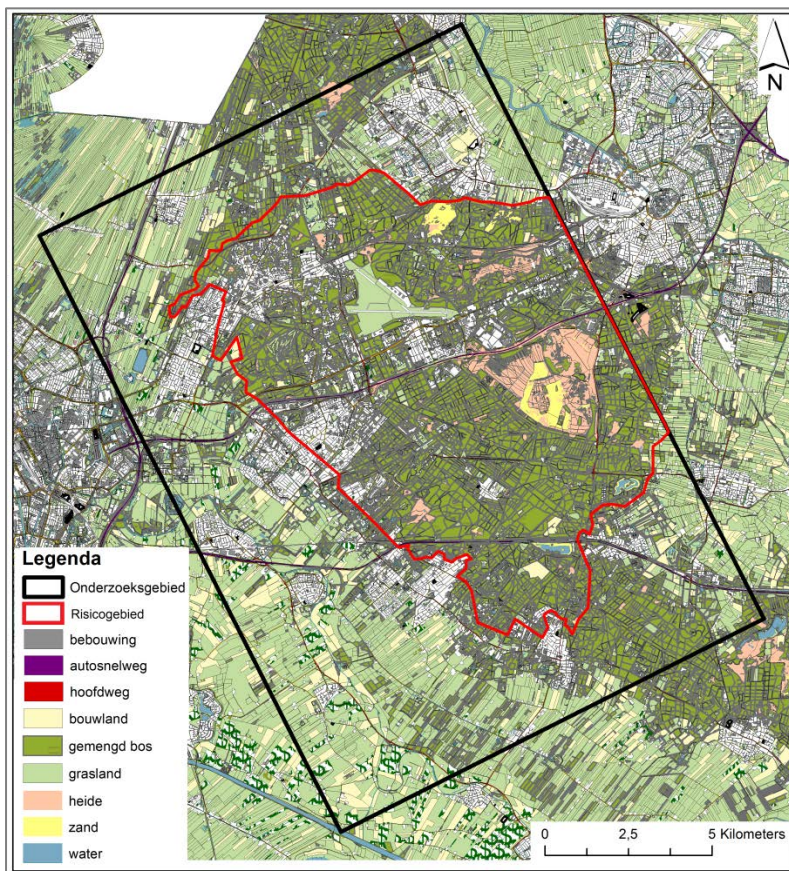
door drinkwaterwinningen grondwater met een lage pH en mobiele stoffen wordt onttrokken, is het mogelijk dat menging plaatsvindt. Hierdoor kunnen afzettingen ontstaan en dat leidt mogelijk tot financiële risico's. Daarnaast kunnen humane risico's ontstaan, wanneer verhoogde concentraties aluminium, cadmium, nikkel en zink in het schone drinkwater (reinwater) terecht komen.

Industrieel gebruik

Industrieën maken ook gebruik van grondwater. Zo kan het grondwater bijvoorbeeld gebruikt worden voor koeling van machines of voor andere processen. Uit het grondwaterregister van de provincie Utrecht, weergegeven in bijlage 14, is naar voren gekomen dat industriële onttrekkingen hebben plaatsgevonden in het risicogebied, maar momenteel niet meer plaatsvinden. Grondwater werd onttrokken uit het eerste en tweede watervoerende pakket. De onttrekkingen uit het eerste watervoerende pakket zijn mogelijk in aanraking gekomen met grondwater dat een lage pH heeft. Bij menging van grondwater kunnen verstoppingen ontstaan. Dit vormt mogelijk een financieel risico voor de industrieën. Onttrekkingen uit het tweede watervoerende pakket vormen nauwelijks een risico, aangezien de lage pH daar niet aanwezig is. Vanwege het feit dat momenteel geen industriële onttrekkingen plaatsvinden binnen het risicogebied, is besloten geen extra aandacht te schenken aan industrieel grondwatergebruik in dit onderzoek.

Agrariërs

In figuur 5-2 en bijlage 16 is te zien dat landbouw op enkele plekken in het risicogebied aanwezig is. De agrarische gebieden bestaan uit grasland en bouwland. Het komt voor dat agrariërs de landbouwpercelen op kalkloze en kalkarme zandgronden bekalken. Hiermee worden extra nutriënten aan de bodem toegevoegd en blijft de pH kunstmatig hoog (Reijnders, van Drecht, Prins, Bronswijk, & Boumans, 2004). Wanneer niet bekalkt wordt, is het mogelijk dat de wortelcellen van de gewassen worden aangetast. Hierdoor is het mogelijk dat de gewasopbrengst minder is en dat kan een financieel risico zijn voor agrariërs. Een andere mogelijkheid waarbij agrariërs in aanraking kunnen komen met een lage pH en eventueel mobiel geworden stoffen is beregening. Het water dat door de agrariërs wordt onttrokken, bevindt zich in het eerste watervoerende pakket. In dit pakket zijn ook de lage pH en de mobiele stoffen aanwezig. Wanneer de gewassen in aanraking komen met de lage pH en de mobiel geworden (zware) metalen is het mogelijk dat de kwaliteit van de gewassen afneemt. Dit is een financieel risico. Bij inname van gewassen die de mobiele zware metalen hebben opgenomen, is het mogelijk dat humane risico's ontstaan.



Figuur 5-2: bodemgebruik

Natuur

Zoals te zien is in figuur 5-2 is binnen het risicogebied veel natuur aanwezig. Deze natuur bestaat uit bos (loof, naald en gemengd), maar ook uit stuifzand en heide. De natuur binnen het risicogebied is onderdeel van de Ecologische hoofdstructuur (EHS) en bevindt zich voornamelijk op kalkloze en kalkarme zandgronden. De EHS in het onderzoeksgebied bestaat uit natuurgebieden, ecologische verbindingzones en overige gebieden met waardevolle natuur, zoals landbouwgrond met natuurwaarde. De gebieden die behoren tot de EHS, hebben een beschermde status. Doordat veel natuur in het risicogebied aanwezig is, is het mogelijk dat de natuur in aanraking komt met grondwater met een lage pH en mobiele stoffen. Uit de literatuur is gebleken dat dit gevolgen kan hebben voor de aanwezige natuur en de biodiversiteit en dus voor de ecologische kwaliteit. Dit vormt een ecologisch risico.

Oppervlaktewater

In figuur 5-2 is te zien dat binnen het risicogebied maar één locatie met oppervlaktewater aanwezig is, namelijk het Henschotermeer ten westen van het dorp Maarn. Deze recreatieplas is kwel gevoed. Het is mogelijk dat grondwater met een lage pH en mobiele stoffen in het zwemwater terecht komt. Daarnaast wordt in droge periodes grondwater het meer in gepompt. De kans dat grondwater met een lage pH en mobiele stoffen in het meer terecht komt wordt hierdoor mogelijk vergroot. Uit de literatuur is gebleken dat het aquatisch leven mogelijk negatief beïnvloed wordt door de lage pH en mobiele stoffen. Dit vormt een mogelijk ecologisch risico. Bij inname van water met zware metalen door mensen, is het mogelijk dat humane risico's ontstaan.

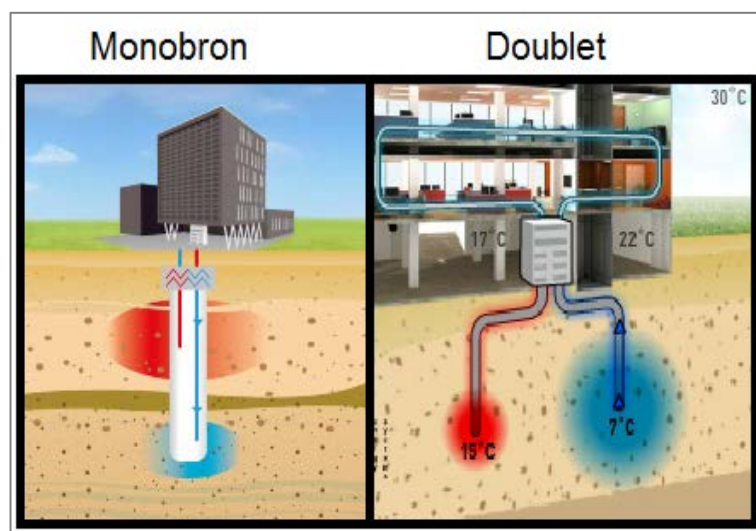
Saneringen

Verontreinigingen in de bodem komen op grote schaal voor in het risicogebied. In bijlage 17 zijn de spoedlocaties weergegeven. Spoedlocaties zijn locaties waar de humane en ecologische risico's, van een verontreiniging, het hoogste zijn. Deze locaties moeten voor 2015 zijn aangepakt en hebben daardoor voorrang bij onderzoek en sanering. De bodemverontreinigingen kunnen uit verschillende bronnen voortkomen. Oude industrielocaties en stortplaatsen vormen vaak een bron van verontreiniging. Daarnaast komen veel verontreinigingen voort uit opslagtanks. Deze opslagtanks zitten vaak in de bodem en kunnen na verloop van tijd gaan lekken. De verontreinigingen bevinden zich veelal in het eerste watervoerende pakket. Doordat de slecht doorlatende laag niet overal aanwezig is, is het mogelijk dat een mobiele verontreiniging in het tweede watervoerende pakket terecht komt. Tijdens saneringen kan de lage pH voor knelpunten zorgen. Zo kunnen grondwaterzuiveringen en infiltratiefilters verstopt raken door neerslagreacties, zoals op de sanering bij Austerlitz (zie ook onderdeel grondwatermenging in paragraaf 3.5). Dit is een financieel risico. Uit de literatuurstudie is gebleken dat door de lage pH, (zware) metalen in oplossing kunnen treden. Het is mogelijk dat immobiele verontreinigingen mobiel worden. De kans op verspreiding is dan aanwezig. Dit vormt mogelijk een ecologisch risico.

Warmte- koudeopslag (WKO)

Warmte- en koudeopslag (WKO) is een energievorm die de laatste jaren snel is opgekomen. Door de aanwezigheid van drinkwaterwinningen zijn het aantal WKO-systemen in het risicogebied beperkt. Dit komt doordat WKO-systemen verboden zijn binnen de 50-jaarszone van een drinkwaterwinning. In figuur 5-3 zijn de soorten WKO-systemen die aanwezig zijn in het risicogebied weergegeven. Bij WKO-systemen wordt warme of koude energie opgeslagen in de bodem. De opgeslagen energie kan, wanneer nodig, weer opgenomen worden. Zo kan in de zomer koud water gebruikt worden voor koeling en in de winter warm water voor verwarming van een gebouw. Deze systemen, ook wel open systemen genoemd, staan in 'open' verbinding met een watervoerend pakket. Deze systemen bevinden zich in het eerste en/of tweede watervoerende pakket. Het merendeel van deze WKO-systemen bevinden zich echter in het tweede watervoerende pakket. Wanneer het systeem in verbinding staat met het grondwater met een lage pH kan menging van grondwater optreden. Door menging van water kunnen afzettingen ontstaan in de onttrekking- of infiltratiefilters van het WKO-

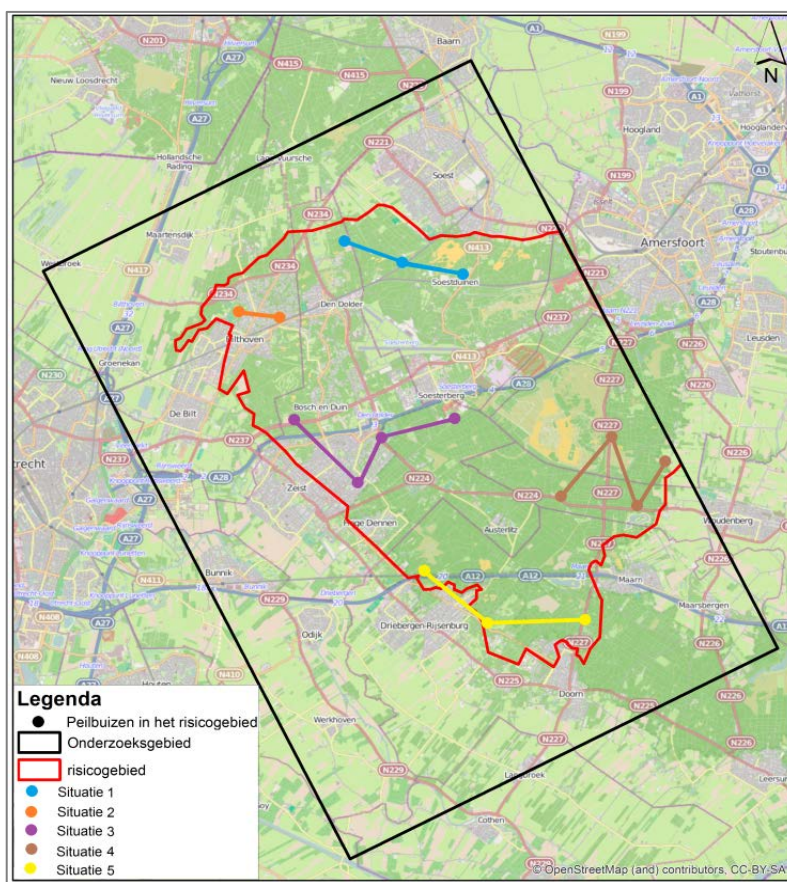
systeem, met als gevolg verstoppingen. Dit vormt mogelijk een financieel risico. Naast de open systemen bestaan ook WKO-systemen die niet in open verbinding staan met een watervoerend pakket. Dit zijn de gesloten systemen. Bij gesloten systemen wordt de bodemenergie via geleiding door buiswanden overgedragen aan een warmte wisselaar. De gesloten systemen bevinden zich vaak in de ondiepe ondergrond. Er treden geen risico's op bij deze gesloten systemen en daarnaast komen gesloten systemen niet in het risicogebied voor. Daarom is besloten om de gesloten systemen niet verder te onderzoeken.



Figuur 5-3: Monobron en doubletsysteem

5.2 Gebiedsgerichte risicoanalyse

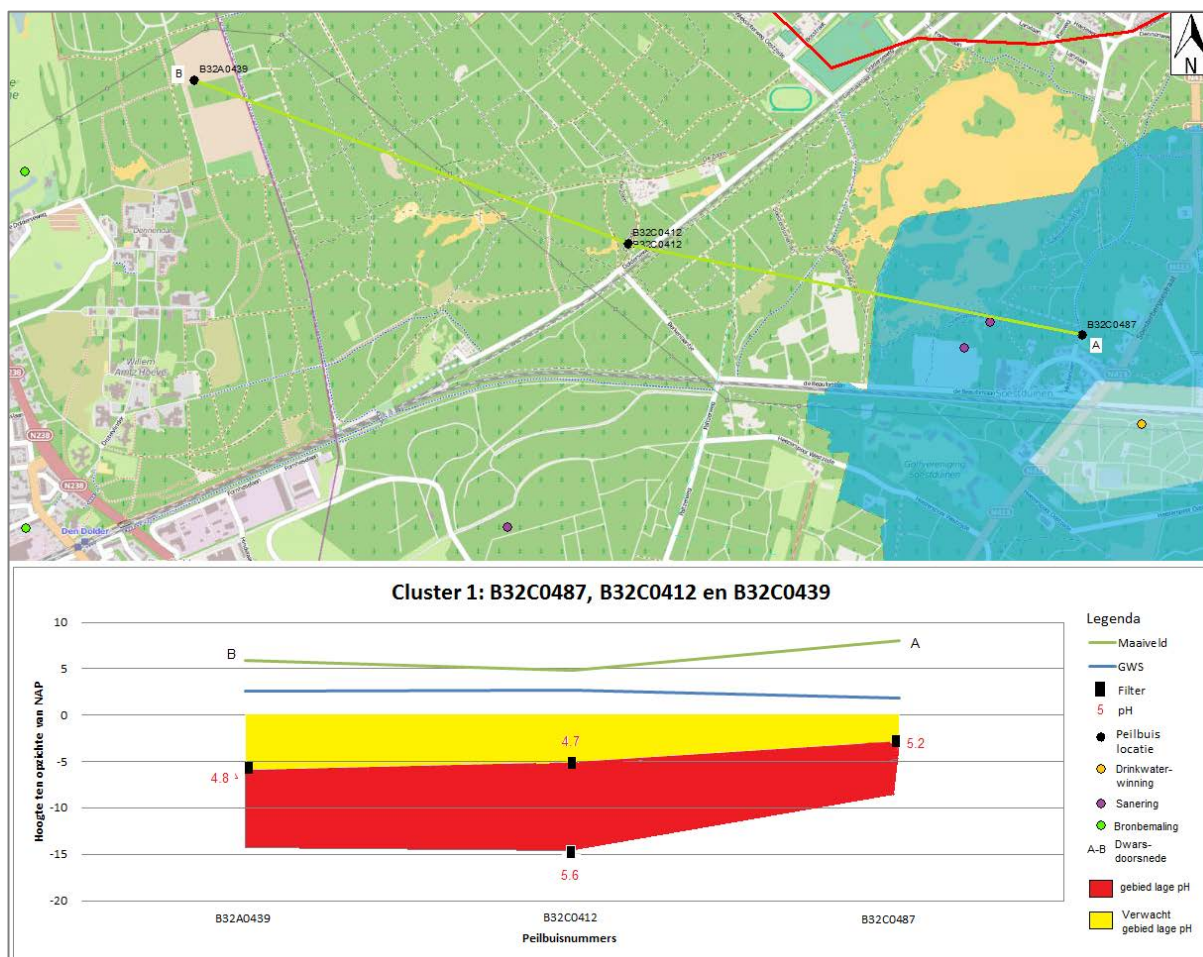
Niet overal in het risicogebied komt grondwater met een lage pH en mobiele stoffen op dezelfde diepte voor. Het voorkomen van grondwater met een lage pH en mobiele stoffen is afhankelijk van de bodemsamenstelling. Om de exacte locaties van dit grondwater te bepalen, is gekozen om verschillende situaties te onderzoeken. De situaties zijn bepaald door middel van het clusteren van de aanwezige peilbuizen in het risicogebied. Om een cluster te kunnen vormen moeten de peilbuizen in de buurt van elkaar gelegen zijn. De bepaalde situaties zijn weergegeven in figuur 5-4 en bijlage 18. Per situatie is een dwarsdoorsnede opgesteld waarin het verwachte gebied van grondwater met een lage pH en mobiele stoffen is weergegeven. In bijlage 19 zijn per situatie de zuurgraad, de concentraties aluminium, cadmium, ijzer, mangaan, nikkel en zink weergegeven. Tevens zijn in deze dwarsdoorsneden de maaiveldhoogtes, grondwaterstand en filterdieptes ten opzichte van NAP opgenomen. Daarnaast zijn in iedere beschrijving de grondwatergebruikers, die in aanraking kunnen komen met grondwater met een lage pH en mobiele stoffen, benoemd. Ook de manier waarop de grondwatergebruikers in aanraking komen is beschreven.



Figuur 5-4: De 5 situaties voor de risicoanalyse

Situatie 1

De eerste situatie in figuur 5-5 bevat de peilbuizen B32C0487, B32C0412 en B32A0439. Peilbuis B32C0412 bevat twee filters. De peilbuizen zijn ten zuiden van Soest gelegen. In deze situatie zijn nauwelijks hoogteverschillen aanwezig. Het hoogste punt bevindt zich op 8 meter +NAP en het laagste punt op 5 meter +NAP. De grondwaterstand bevindt zich op een diepte van ongeveer 2,4 meter +NAP. Verwacht wordt dat het grondwater met een lage pH en mobiele stoffen vrijwel overal tussen de 0 meter +NAP en 15 meter -NAP zal bevinden. De concentraties ($\mu\text{g/l}$) aluminium, ijzer en mangaan komen verhoogd voor en overschrijden de drinkwaternormen die zijn weergegeven in tabel 5-1. Verhoogde concentraties (>500) van aluminium komen voor in het gebied waar grondwater een pH heeft lager dan 5. Verhoogde concentraties van ijzer (>7000) komen voor in het diepere grondwater op 15 meter -NAP. Mangaan komt alleen lokaal en licht verhoogd (>50) voor op ongeveer 3 meter -NAP. Vrijwel overal is natuur aanwezig en op enkele plekken zijn er ook landbouwpercelen. Het is mogelijk dat natuur en agrariërs in aanraking komen met lage pH en verhoogde concentraties aluminium, aangezien het grondwater in de lage delen ongeveer 2,5 meter onder maaiveld gelegen is.



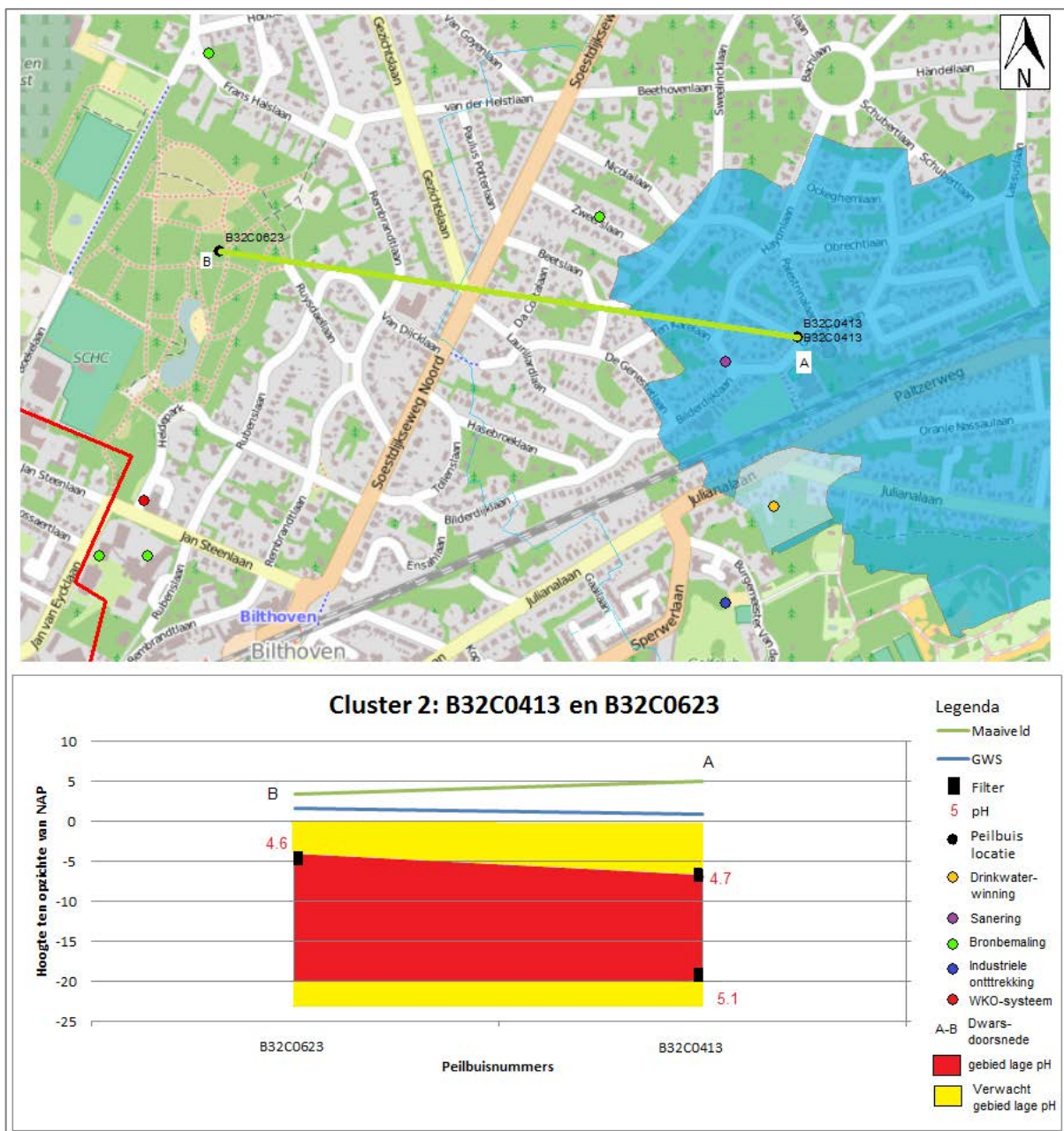
Figuur 5-5: Situatie 1

Het cluster peilbuizen ligt aan de rand van een bebouwd gebied. Het is mogelijk dat tijdens (riool)werkzaamheden in deze gebieden bronbemalingen worden toegepast. Bij bemalingen is het mogelijk dat grondwater met een lage pH en verhoogde concentraties aluminium onttrokken wordt. Hierdoor kunnen verstoppingen ontstaan door aluminiumafzettingen. Een deel van het cluster bevindt zich in het intrekgebied van drinkwaterwinning Soestduinen. Drinkwater wordt onttrokken

uit het eerste watervoerende pakket, tussen de 7 meter en 57 meter -NAP (Provincie Utrecht, 2011). Het is mogelijk dat de drinkwaterwinning Soestduinen grondwater met een lage pH en verhoogde concentraties aluminium en ijzer onttrekt. Op korte afstand van de drinkwaterwinning is een metalenverontreiniging aanwezig. In waarneempunten rond de drinkwaterwinning zijn verhoogde concentraties van verontreinigde stoffen (cadmium en nikkel) aangetroffen. Het is mogelijk dat er een relatie is tussen de aanwezigheid van zware metalen en de lage pH. In het verleden hebben saneringen plaatsgevonden nabij de drinkwaterwinning. Het is mogelijk dat tijdens saneringen, aluminium- en ijzerafzettingen ontstaan in de zuivering en infiltratiefilters. Dit komt voor wanneer grondwater met een lage pH en verhoogde concentraties aluminium en ijzer onttrokken wordt.

Situatie 2

De tweede situatie die is weergegeven in figuur 5-6 bevat de peilbuizen B32C0413 en B32C0623, waarbij peilbuis B32C0413 twee filters heeft. De peilbuizen bevinden zich in het stedelijk gebied van Bilthoven. Het is een relatief vlak gebied, waarbij de maaiveldhoogte varieert van 5 meter +NAP tot 3,5 meter +NAP. Het grondwater is gelegen op een diepte van ongeveer 1,1 meter +NAP.

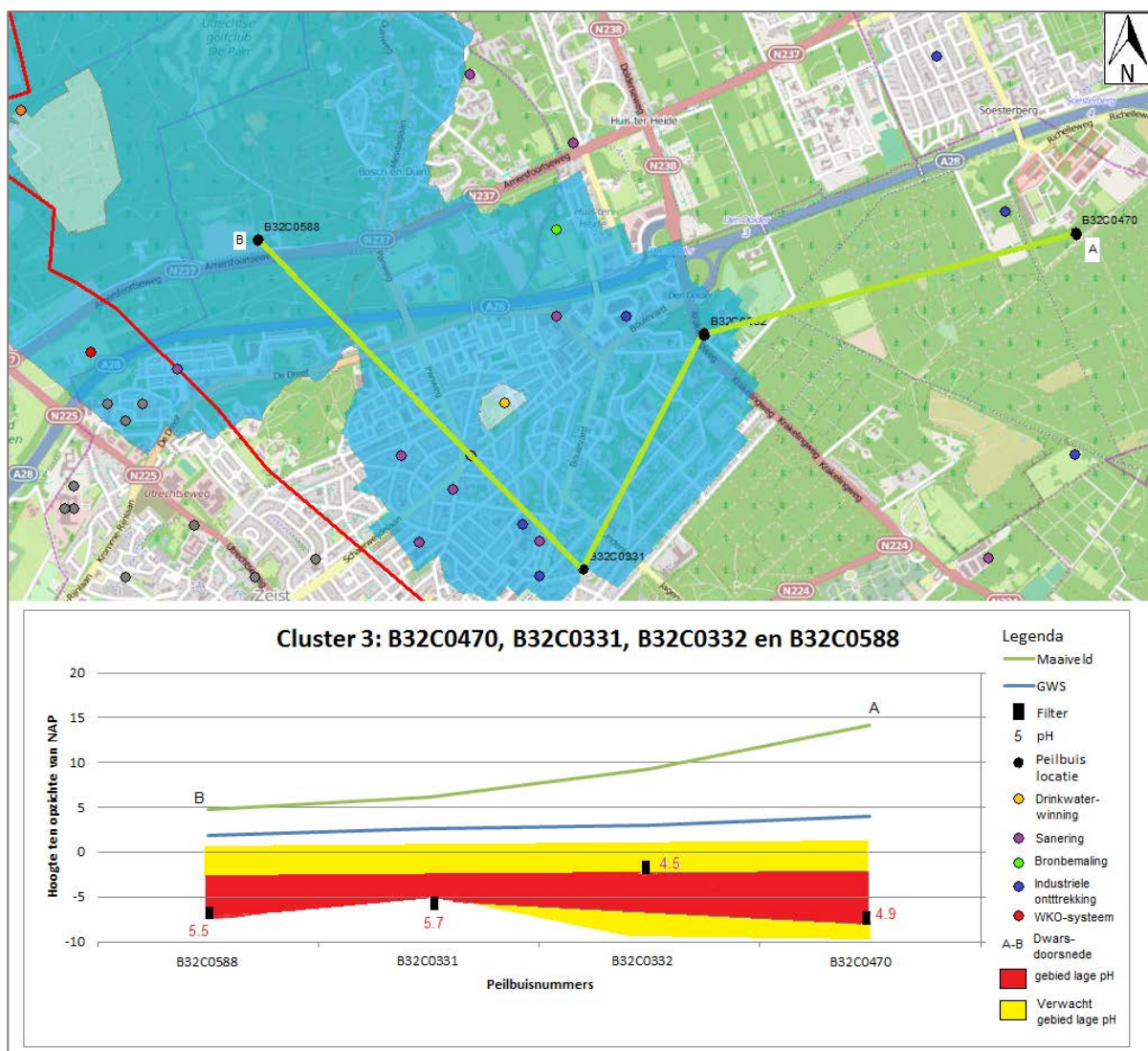


Figuur 5-6: Situatie 2

Verwacht wordt dat grondwater met een lage pH en mobiele stoffen vrijwel overal tussen de 0 meter +NAP en 23 meter –NAP aanwezig is. De concentraties ($\mu\text{g/l}$) aluminium en mangaan komen verhoogd voor en overschrijden de drinkwaternormen. Cadmium en nikkel komen in verhoogde concentraties voor (2,3 $\mu\text{g/l}$ en 15,3 $\mu\text{g/l}$), maar overschrijden de drinkwaternorm niet. In het gebied waar de pH van het grondwater lager is dan 5 komen aluminiumconcentraties voor van 4000 $\mu\text{g/l}$. Dit is 20 keer hoger dan de drinkwaternorm. Verhoogde concentraties mangaan (>600) komen alleen in het diepe grondwater (20 meter –NAP) voor. Op enkele plekken is natuur aanwezig. Het grondwater bevindt zich dicht onder maaiveld, waardoor bomen mogelijk in aanraking kunnen komen met grondwater met een lage pH en hoge concentraties aluminium. In het bebouwde gebied hebben in het verleden bronbemalingen plaatsgevonden. Doordat voornamelijk bebouwd gebied aanwezig is, zullen bronbemalingen voor bijvoorbeeld (riool)werkzaamheden in de toekomst plaats kunnen vinden. Het is mogelijk dat tijdens bemalingen grondwater met een lage pH en verhoogde concentraties aluminium en mangaan onttrokken wordt. In deze situatie is de drinkwaterwinning Bilthoven aanwezig. Deze drinkwaterwinning onttrekt grondwater tussen de 11 meter –NAP en 51 meter –NAP. Het is mogelijk dat de drinkwaterwinning grondwater onttrekt met een lage pH en verhoogde concentraties aluminium en mangaan. In het gebiedsdossier van deze drinkwaterwinning komt naar voren dat de normen voor ijzer, mangaan en aluminium in het ruwwater overschreden worden (Royal Haskoning, 2011). Het is mogelijk dat deze verhoogde concentraties ijzer, mangaan en aluminium in het ruwwater worden veroorzaakt door de lage pH.

Situatie 3

De in figuur 5-7 weergegeven derde situatie bevindt zich tussen Soesterberg en Zeist en bevat de peilbuizen B32C0470, B32C0332, B32C0331 en B32C0588. Het maaiveldniveau loopt af van 14 meter +NAP tot 5 meter +NAP. De grondwaterstand loopt af van 4 meter +NAP tot 2 meter +NAP. Verhoogde concentraties ($\mu\text{g/l}$) aluminium en mangaan komen vrijwel overal voor in het grondwater met een lage pH. In het hogere gedeelte (14 meter tot en met 9 meter +NAP) bevindt grondwater met een lage pH en mobiele stoffen zich tussen de 1 meter +NAP en 10 meter –NAP. De concentratie aluminium is meer dan 2000 $\mu\text{g/l}$, wat 10 keer de drinkwaternorm is. De concentratie mangaan is groter dan 50 $\mu\text{g/l}$. In het lager gelegen gedeelte (6m +NAP) is grondwater met een lage pH aanwezig tussen de 2 meter –NAP en 5 meter –NAP. De aluminiumconcentratie bedraagt 170 $\mu\text{g/l}$ en de mangaanconcentratie bedraagt 120 $\mu\text{g/l}$. In het laagste gedeelte (4m +NAP) bevindt grondwater met een lage pH en mobiele stoffen zich tussen de 2 meter en 8 meter –NAP. De aluminiumconcentratie is meer dan 200 $\mu\text{g/l}$. Het bodemgebruik binnen deze situatie is vrijwel overal natuur en bebouwing. In het lager gelegen gebied is het mogelijk dat natuur in aanraking komt met grondwater met een lage pH en verhoogde concentraties aluminium. Daarnaast is in dit gebied een WKO-systeem (doublet) aanwezig dat grondwater onttrekt en infiltreert tussen de 10 meter –NAP en 30 meter –NAP. Het WKO-systeem kan in aanraking komen met het grondwater met een lage pH en verhoogde concentraties aluminium. In het bebouwde gebied hebben bronbemalingen plaatsgevonden. Bij nieuwe werkzaamheden is het mogelijk dat bronbemalingen grondwater met een lage pH en verhoogde concentraties aluminium en mangaan onttrekken. In het bebouwde gebied zijn enkele verontreinigingen van zware metalen aanwezig (Provincie Utrecht, 2011). Het is mogelijk dat tijdens saneringen, aluminium- en mangaanafzettingen ontstaan in de zuivering en infiltratiefilters. Dit komt voor wanneer grondwater met een lage pH en verhoogde concentraties aluminium en mangaan onttrokken wordt. In het hoger gelegen gedeelte worden geen problemen verwacht, aangezien het grondwater met een lage pH en mobiele stoffen zich 15 meter beneden maaiveld bevindt en de bodemfunctie natuur is.

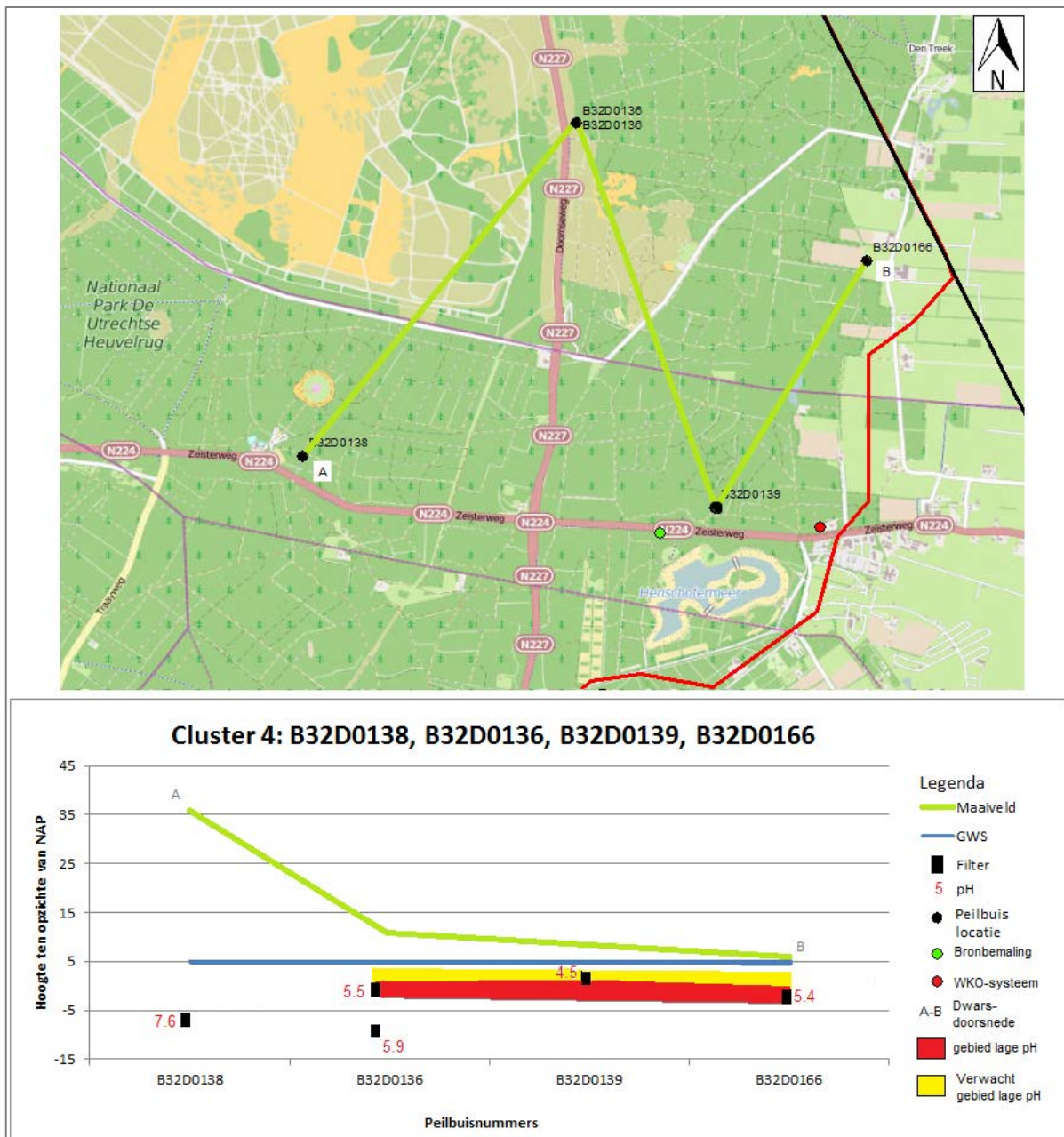


Figuur 5-7: Situatie 3

Situatie 4

De vierde situatie in figuur 5-8 bevindt zich ten noorden van Maarn en ten westen van Woudenberg en bevat de peilbuizen B32D0136, B32D0139, B32D0166 en B32D0138. Peilbuis B32D0136 bevat twee filters. Het hoogste punt binnen deze situatie is 35 meter +NAP en het laagste punt is 5,8 meter +NAP. De grondwaterstand bevindt zich plusminus op 4,8 meter +NAP. Onder het hoogst gelegen gebied bevindt zich geen grondwater met een lage pH. De verklaring hiervoor is dat de bodem, vanwege de grote onverzadigde zone, een groter bufferend vermogen heeft. Hierdoor is de pH van het grondwater (nog) neutraal. Verwacht wordt dat in de lager gelegen gebieden grondwater met een lage pH aanwezig is tussen de 4 meter +NAP en 3 meter -NAP. In dit gebied komen verhoogde concentraties ($\mu\text{g/l}$) aluminium, ijzer en mangaan voor. De aluminium- en ijzerconcentraties zijn op enkele locaties groter dan $3000 \mu\text{g/l}$. De mangaanconcentratie is in het lage gebied vrijwel overal groter dan $50 \mu\text{g/l}$. De nikkelconcentratie is verhoogd aanwezig ($15 \mu\text{g/l}$), maar overschrijdt de drinkwaternorm niet. In de lager gelegen gebieden zijn natuur en landbouwpercelen aanwezig. Door de ondiepe grondwaterstand is het mogelijk dat de natuur en gewassen in aanraking komen met grondwater met een lage pH en verhoogde concentraties aluminium, ijzer en mangaan. In het lager gelegen gebied bevindt zich de kwel gevoede recreatieplas Henschotermeer. In droge perioden wordt grondwater in het meer gepompt (Recreatie midden Nederland, 2014). Het diepste gedeelte

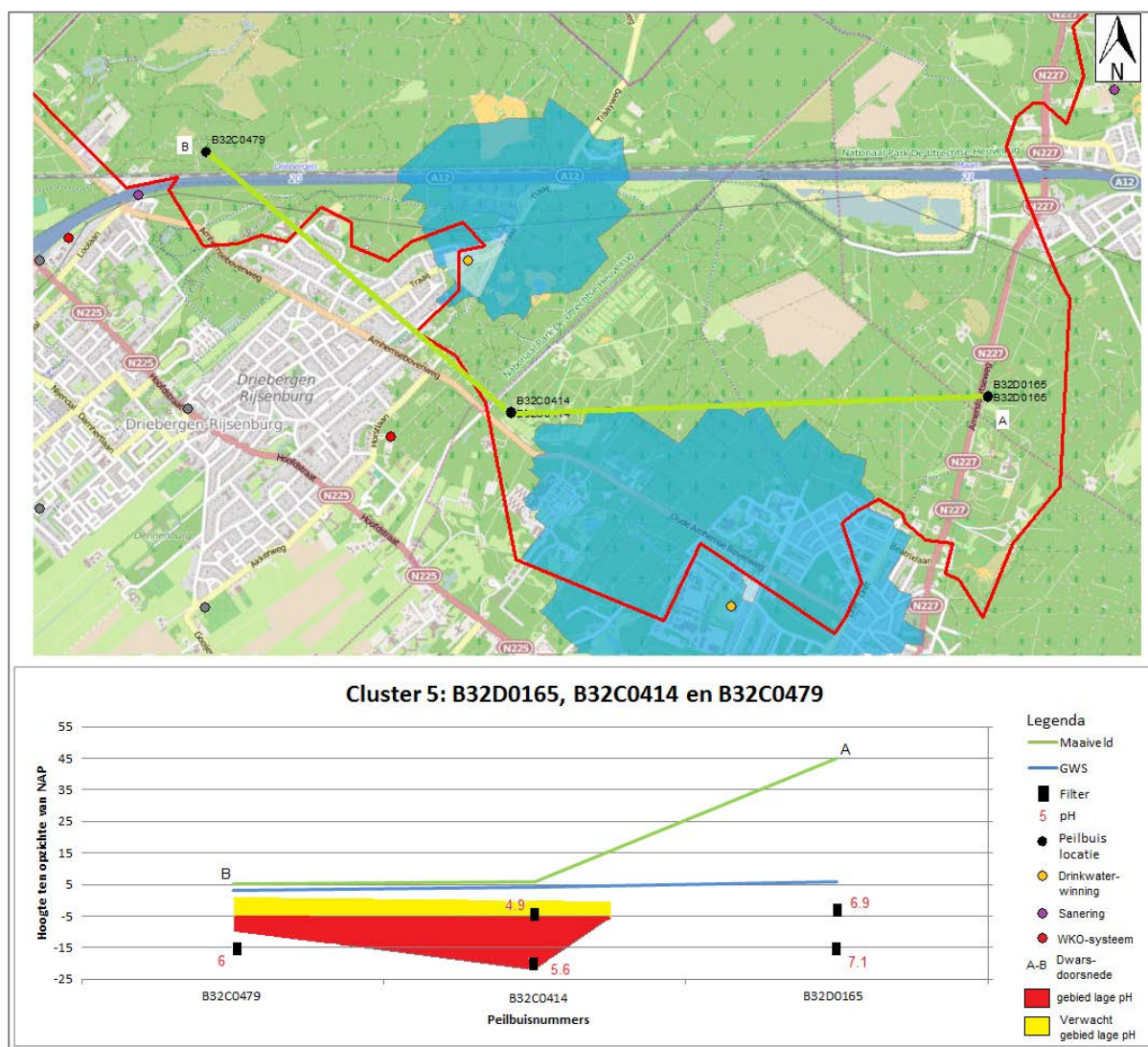
van dit meer is 2,2 meter diep. Het is mogelijk dat mensen en het aquatisch leven in aanraking komen met grondwater met een lage pH en verhoogde concentraties aluminium. Daarnaast kan grondwater met een lage pH en verhoogde concentraties aluminium, ijzer en mangaan een probleem zijn voor de pompen.



Figuur 5-8: Situatie 4

Situatie 5

De vijfde situatie die is weergegeven in figuur 5-9 bevindt zich ten noorden van Doorn en bevat de peilbuizen B32D0165, B32C0414 en B32C0479. De peilbuizen B32D0165 en B32C0414 bevatten twee filters. Het hoogste punt bevindt zich 45 meter +NAP. Vervolgens neemt de maaiveldhoogte flink af tot 6 meter +NAP en als laagste punt 5 meter +NAP. De grondwaterstand onder het hoogst gelegen gebied bevindt zich op 6 meter +NAP en onder het laagst gelegen gebied op 3,5 meter +NAP. Door de grote onverzadigde zone in het hoger gelegen gebied, is de pH van het grondwater nagenoeg neutraal.



Figuur 5-9: Situatie 5

In de lager gelegen gebieden tussen Doorn en Driebergen is grondwater met een lage pH aanwezig tussen de 6 meter –NAP en 19 meter –NAP. In het laagst gelegen gebied bevindt grondwater met een lage pH zich ongeveer tussen 6 meter –NAP en 10 meter –NAP. Verhoogde concentraties aluminium (300 µg/l) en mangaan (80 µg/l) zijn alleen in het gebied tussen Doorn en Driebergen aanwezig. De nikkelconcentratie is verhoogd aanwezig (12 µg/l), maar overschrijdt de drinkwaternorm niet. In het lager gelegen gebied bevinden zich vrijwel overal natuur en landbouwpercelen. Vanwege de ondiepe grondwaterstand is het mogelijk dat natuur en gewassen in aanraking komen met grondwater met een lage pH en verhoogde concentraties aluminium en mangaan. Door de aanwezige bebouwing in het lager gelegen gebied is het mogelijk dat tijdens werkzaamheden, bronbemalingen plaatsvinden.

Het is mogelijk dat grondwater met een lage pH en verhoogde concentraties aluminium en mangaan onttrokken wordt tijdens bemalingen. Vanwege afzettingen is het mogelijk dat verstoppingen ontstaan.

5.3 Overzicht risicoanalyse

Het is mogelijk dat grondwatergebruikers (=receptoren) in aanraking komen met grondwater met een lage pH en mobiele stoffen door kwel en onttrekkingen. Grondwatergebruikers die mogelijk ecologische, financiële of humane risico's ondervinden zijn: bronbemalingen, drinkwaterwinningen, agrariërs, natuur, oppervlaktewater, saneringen en WKO-systemen. In tabel 5-2 zijn receptoren, risico's en oorzaken weergegeven.

Tabel 5-2: Overzicht risico's per receptor

Receptoren	Risico's	Oorzaken
Bronbemaling	Ecologisch Financieel	Lozing van grondwater met lage pH op oppervlakte water. Aluminium-, ijzer- en mangaanafzettingen en corrosie.
Drinkwaterwinning	Financieel Humaan	Aluminium-, ijzer- en mangaanafzettingen en corrosie Verhoogde concentraties aluminium, cadmium, nikkel en zink kunnen in het reinwater terecht komen.
Agrariërs	Financieel Humaan	Gewasopbrengst kan door de lage pH afnemen. Bij inname van gewassen met verhoogde concentraties aluminium, cadmium, nikkel en zink.
Natuur	Ecologisch	Afname biodiversiteit door lage pH en verhoogde concentraties aluminium, cadmium, nikkel en zink.
Oppervlaktewater	Ecologisch Humaan	Afname aquatisch leven door lage pH. Bij inname van water met verhoogde concentraties aluminium, cadmium, nikkel en zink.
Sanering	Ecologisch	Het door de lage pH mobiel worden van immobiele verontreinigingen, waardoor verspreiding kan plaatsvinden.
	Financieel	Aluminium-, ijzer- en mangaanafzettingen en corrosie.
WKO-systemen	Financieel	Aluminium-, ijzer- en mangaanafzettingen en corrosie.

Voor 5 situaties is een risicoanalyse uitgevoerd. In tabel 5-3 zijn per situatie de knelpunten en receptoren weergegeven. Zoals verwacht is geen grondwater met een lage pH en mobiele stoffen aanwezig in gebieden met een grote onverzadigde zone (>25 meter). In de overige gebieden is overal grondwater met een lage pH en mobiele stoffen aanwezig. Vooral de stoffen aluminium, cadmium, ijzer, mangaan en nikkel komen in verhoogde concentraties voor. De concentraties aluminium, ijzer en mangaan overschrijden in enkele gevallen de drinkwaternorm.

Tabel 5-3: Overzicht risicoanalyse 5 situaties

Situatie	Knelpunten	Receptoren
1	De pH van het grondwater tussen de 0 meter +NAP en 15 meter –NAP is lager dan 5,5. De concentraties aluminium, ijzer en mangaan overschrijden de drinkwaternorm. Verhoogde concentraties cadmium en nikkel worden aangetroffen in de waarnemingsputten van de drinkwaterwinning.	Natuur Agrariërs Drinkwaterwinning Bronbemaling Sanering
2	Tussen de 0 meter +NAP en 23 meter –NAP is de pH lager dan 5,5. De concentraties aluminium en mangaan overschrijden de drinkwaternorm. Tevens worden verhoogde concentraties cadmium en nikkel waargenomen.	Natuur Drinkwaterwinning Bronbemaling
3	Het grondwater met een pH lager dan 5,5 bevindt zich tussen de 1 meter +NAP en 10 meter –NAP. De concentraties aluminium en mangaan overschrijden de drinkwaternorm. Op enkele locaties zijn verontreinigingen van zware metalen aanwezig.	Natuur Bronbemaling Sanering WKO-systeem
4	Grondwater met een pH lager dan 5,5 is aanwezig in de lage gebieden tussen de 4 meter +NAP en 3 meter –NAP. De concentraties aluminium, ijzer en mangaan overschrijden de drinkwaternorm. De nikkelconcentratie is in het lage gebied verhoogd aanwezig.	Natuur Agrariërs Bronbemaling Oppervlaktewater
5	Lokaal is grondwater met een pH lager dan 5,5 aanwezig tussen de 6 meter –NAP en 19 meter –NAP. De concentraties aluminium en mangaan overschrijden de drinkwaternorm. De concentratie nikkel is verhoogd aanwezig in het gebied met een lage pH.	Natuur Agrariërs Bronbemaling

6. Maatregelen

Uit hoofdstuk vijf is theoretisch gebleken dat grondwater met een lage pH en mobiele stoffen in het risicogebied mogelijk ecologische, financiële en humane risico's met zich meebrengen. In dit hoofdstuk zijn mogelijke maatregelen bepaald om de ecologische, financiële en humane risico's te reduceren. Deze maatregelen zijn vervolgens toegepast voor 5 situaties. Als laatste zijn grondwatergebruikers en specialisten geïnterviewd om te bepalen of de mogelijke maatregelen in de praktijk worden toegepast.

6.1 Mogelijke maatregelen

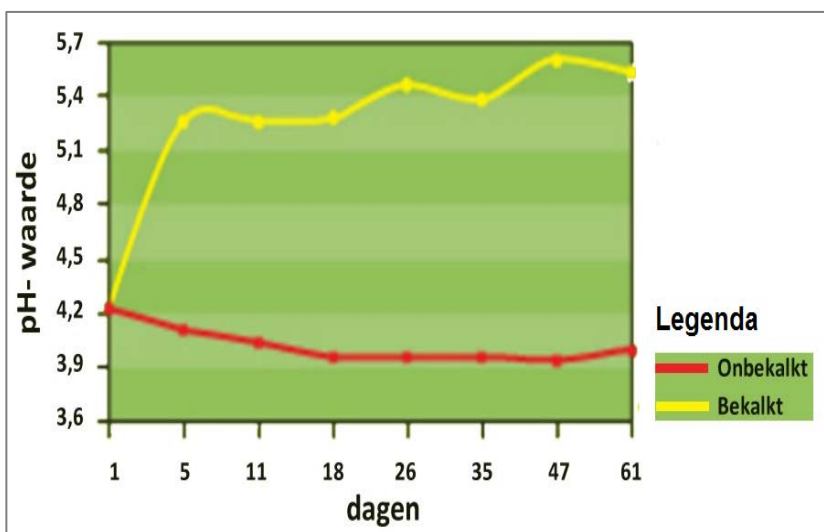
Op basis van de risicoanalyse en met behulp van een literatuurstudie zijn mogelijke maatregelen bepaald om de ecologische financiële en humane risico's te reduceren. Per maatregel is beschreven wat de voordelen zijn en op welke receptoren het betrekking heeft. Daarnaast wordt bepaald in hoeverre deze maatregelen toepasbaar zijn in de praktijk. De toepasbaarheid is uitgedrukt in laag, gemiddeld en hoog. Tabel 6-1 in paragraaf 6.4 bevat een overzicht van de maatregelen, toepasbaarheid en de receptoren waar de maatregelen betrekking op hebben.

1. Mengen

Bij onttrekkingen waar water met verschillende zuurgraad bij elkaar komt, zoals bij drinkwaterwinningen, saneringen en oppervlakte water is menging een mogelijke maatregel. Door het mengen van het grondwater met een lage pH met water dat een hoge pH heeft, neemt de pH toe. Door een toename van de pH is het mogelijk dat een reactie plaatsvindt, waardoor aluminium neerslaat. De aluminiumneerslag kan vervolgens verwijderd worden. Deze maatregel is goed toe te passen.

2. Bekalken

Op locaties waar de natuur of gewassen in aanraking komt met grondwater met een lage pH is bekalken een mogelijke maatregel. Door te bekalken worden H^+ - ionen in de bodem geneutraliseerd en neemt de pH van de bodem toe. Dit heeft een positief effect op de wortels van gewassen, planten en bomen. Deze maatregel wordt al veel toegepast in gebieden met kalkloze en kalkarme gronden. In figuur 6-1 (Triferto, 2014) is het resultaat van bekalken op grasland weergegeven.

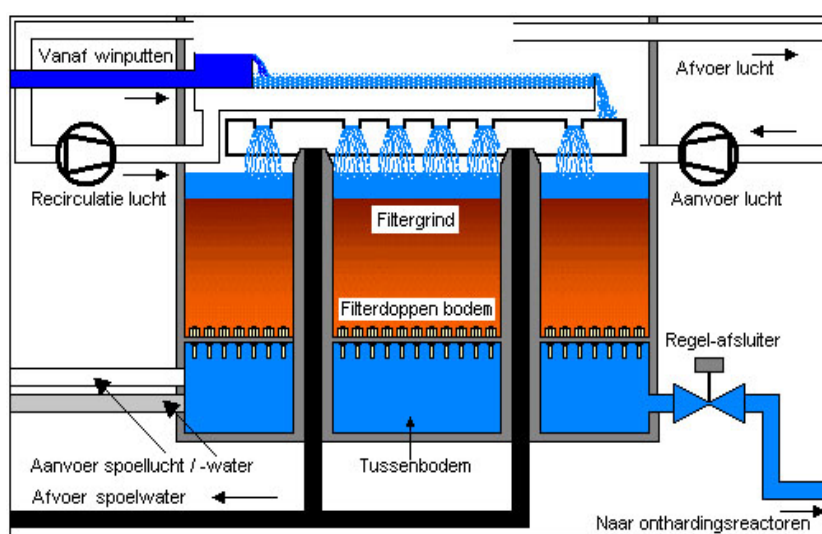


Figuur 6-1: pH ontwikkeling van de bodem na bekalken

3. Zuiveren van onttrokken grondwater

Om verhoogde concentraties ijzer en mangaan uit het grondwater te verwijderen moet het onttrokken grondwater gezuiverd worden. Dit is vooral bij bronbemalingen, saneringen en drinkwaterwinningen belangrijk, omdat aan bepaalde normen moet worden voldaan. Om ijzer en mangaan uit het water te verwijderen kan een zandfilter gebruikt worden. Dit is een reeds toegepaste methode bij drinkwaterwinningen en is weergegeven in figuur 6-2 (Oasen, Onbekend). Een andere mogelijkheid om ijzer en mangaan te verwijderen is beluchten. Door het grondwater te beluchten ontstaat een reactie met zuurstof, waardoor het mangaan en ijzer neerslaat. De neerslag kan vervolgens worden verwijderd. Deze methode wordt reeds toegepast bij saneringen en drinkwaterwinningen.

Het verwijderen van verhoogde concentraties aluminium uit het grondwater kan door middel van het verhogen van de pH, waardoor aluminium neerslaat. Mengen is een optie, maar een andere optie is om de pH te verhogen door het toevoegen van een basische oplossing, zoals natronloog. Zuiveren is een toepasbare maatregel die al veel wordt toegepast.



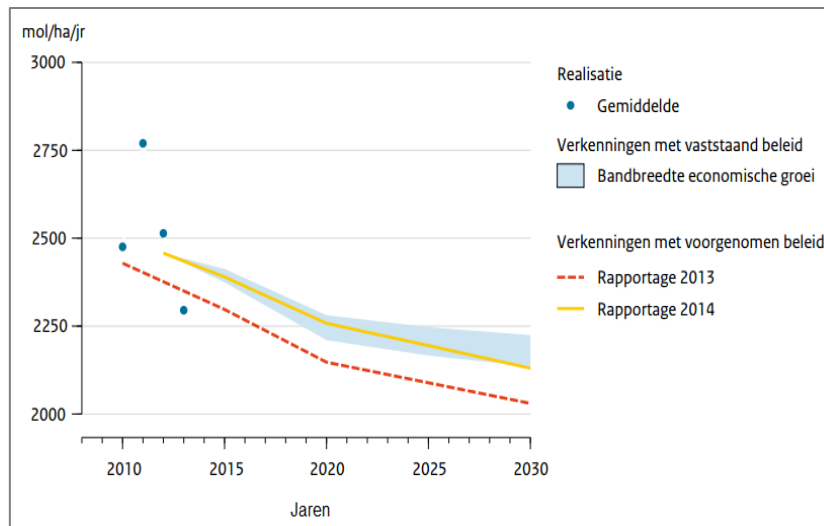
Figuur 6-2: Natfilter

4. Grondwater uit een andere diepte onttrekken

Bij locaties waar grondwater wordt onttrokken (bronbemalingen, drinkwaterwinningen en WKO-systemen) en waar veel problemen voorkomen vanwege grondwater met een lage pH en mobiele stoffen, is een mogelijke maatregel het onttrekken van grondwater uit een diepere laag. Hoe dieper grondwater zich bevindt, hoe meer bufferend vermogen het grondwater heeft. De pH van het grondwater is daar vrijwel neutraal. De toepasbaarheid van deze maatregel is gemiddeld.

5. Mitigatie

De term mitigatie kan omschreven worden als het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen. In de situatie van dit onderzoek betekent dit het verminderen van de emissies verzurende stoffen stikstofoxiden (NO_x) en ammoniak (NH_3). Wanneer de emissies verzurende stoffen afnemen, neemt ook het potentieel zuur dat in de bodem terecht kan komen af. De verwachting van de emissies potentieel zuur bij het huidige beleid is weergegeven in figuur 6-3 (RIVM, 2013). Hierdoor kunnen de bodembuffersystemen zich herstellen en zal de pH van het grondwater toenemen. Deze maatregel heeft betrekking tot alle receptoren. Het nadeel van deze maatregel is dat het veel tijd kost om uit te voeren. Het invoeren van normen in het beleid is een proces dat jaren duurt. Vervolgens zal het nog decennia lang duren voordat de bodem zich heeft hersteld en de pH van het grondwater toeneemt. De toepasbaarheid is daarom laag.



Figuur 6-3: Verwachting potentieel zuur tot 2030 bij huidige beleid

6.2 Gebiedsgericht toepassen maatregelen

In deze paragraaf zijn per situatie de toe te passen maatregelen beschreven om de ecologische, financiële en humane risico's te reduceren. Alleen adapterende maatregelen zijn toegepast.

Situatie 1

Het grondwater in deze situatie heeft een pH lager dan 5,5 tussen de 0 meter +NAP en 15 meter – NAP. De concentraties aluminium, ijzer en mangaan overschrijden de drinkwaternorm. De receptoren in deze situatie zijn natuur, Agrariërs, drinkwaterwinning, bronbemaling en een verontreiniging.

Voor Agrariërs is een mogelijke maatregel bekalken. Hierdoor zal de pH van het grondwater stijgen en komen meer nutriënten in de terecht. Tevens zal door de gronden te bekalken, nieuw potentieel zuur gebufferd worden. Dit is positief voor de gewassen.

Wanneer bemalingen worden toegepast is het mogelijk dat grondwater met een lage pH en aluminium wordt onttrokken. Een maatregel is om het onttrokken grondwater te zuiveren door middel van het toevoegen van een basische oplossing. Hierdoor zal de pH stijgen en slaat het aanwezige aluminium neer. Een andere mogelijkheid is mengen. Dit is alleen mogelijk wanneer ander water met een hogere pH wordt toegevoegd.

De drinkwaterwinning onttrekt voor een deel grondwater met een lage pH. De drinkwaterwinning heeft meerdere opties. Een maatregel is dat de drinkwaterwinning alleen uit het tweede watervoerende pakket grondwater gaat onttrekken. Hiermee worden alle risico's voorkomen. Een andere oplossing die momenteel al wordt toegepast is het ophogen van de pH van het grondwater. Dit wordt bereikt door het onttrokken grondwater te mengen met grondwater uit het tweede watervoerende pakket. Daarnaast wordt een zandfilter toegepast om het ijzer en mangaan uit het grondwater te verwijderen.

Bij sanering van een grondwaterverontreiniging is een mogelijke maatregel het zuiveren van het onttrokken grondwater. Met deze maatregel wordt ook het aluminium uit het grondwater gehaald.

Situatie 2

In deze situatie is grondwater met een lage pH en mobiele stoffen aanwezig tussen de 0 meter +NAP en 23 meter –NAP. In dit gebied overschrijden de aluminium- en mangaanconcentraties de drinkwaternorm.

De situatie beslaat vrijwel helemaal bebouwd gebied. Een park is de enige aanwezige natuur. Een maatregel om de ecologische risico's tegen te gaan is om te bekalken. Door extra nutriënten aan de bodem toe te voegen, neemt de pH van het grondwater toe. Tevens zorgt bekalken voor een extra buffer tegen nieuw potentieel zuur dat op de grond terecht komt.

In het overwegend bebouwde gebied is het mogelijk dat bronbemalingen voorkomen. Grondwater met een lage pH en verhoogde concentraties aluminium en mangaan wordt mogelijk onttrokken. Een mogelijke maatregel is het zuiveren van het onttrokken grondwater. Aluminium kan verwijderd worden door de pH van het grondwater te verhogen. Hierdoor zal het aanwezige aluminium neerslaan. Om verhoogde concentraties mangaan uit het grondwater te verwijderen is een maatregel om het grondwater te beluchten. Het gezuiverde grondwater kan vervolgens geloosd worden.

De drinkwaterwinning onttrekt voor een groot deel grondwater met een lage pH en verhoogde concentraties aluminium en mangaan. Een mogelijke maatregel is om grondwater te gaan onttrekken uit alleen het tweede watervoerende pakket. Hierdoor worden eventuele problemen vermeden.

Situatie 3

Grondwater met een pH lager dan 5,5 is aanwezig tussen de 1 meter +NAP en 10 meter –NAP. Verhoogde concentraties aluminium en mangaan komen vrijwel overal in dit grondwater voor. In deze situatie is veel bebouwd gebied aanwezig. Om de risico's voor bronbemalingen te reduceren is een maatregel het ophogen van de pH van het onttrokken grondwater. Hierdoor zal aluminium in het grondwater neerslaan. Het mangaan kan gezuiverd worden door beluchting. Vervolgens kan het gezuiverde water geloosd worden.

In deze situatie zijn enkele verontreinigingen aanwezig. Saneringen zullen in de toekomst plaats gaan vinden. Om de risico's voor de saneringen te reduceren moet, net als bij bronbemalingen, de pH van het onttrokken grondwater worden verhoogd. Hierdoor zal aluminium neerslaan. Verhoogde concentraties mangaan kunnen worden verwijderd door middel van een beluchting.

De WKO-systeem onttrekt bijna grondwater met een lage pH. Een mogelijke maatregel om de risico's te reduceren is om de onttrekking- en infiltratiediepte te veranderen. Door gebruikt te maken van dieper grondwater met een hoge pH, worden eventuele problemen vermeden.

Situatie 4

In deze situatie is grondwater met een neutrale pH aanwezig en met een pH lager dan 5,5. Grondwater met een lage pH bevindt zich tussen de 4 meter +NAP en 3 meter –NAP. In dit grondwater zijn concentraties aluminium, ijzer en mangaan gemeten die de drinkwaternorm overschrijden.

Landbouwpercelen bevinden zich in het laagst gelegen gebied binnen deze situatie. Doordat het grondwater relatief dicht onder maaiveld gelegen is, komen gewassen mogelijk in aanraking met de lage pH en verhoogde concentraties aluminium, ijzer en mangaan. Als maatregel kan bekalken worden toegepast. Hierdoor zal de pH van het grondwater toenemen. De concentratie aluminium zal door het verhogen van de pH afnemen.

Het door kwel gevoede Henschotermeer bevindt zich ook in het lage gebied binnen deze situatie. In de zomer wordt grondwater in het meer gepompt. Door grondwater met een lage pH en verhoogde concentraties aluminium in het meer te pompen ontstaan mogelijk ecologische en humane risico's. Een maatregel om deze risico's te reduceren is het onttrekken van grondwater uit diepere lagen. In dieper grondwater is de pH vrijwel neutraal en daardoor is geen aluminium aanwezig.

Situatie 5

Grondwater met een neutrale pH en grondwater met een pH lager dan 5,5 zijn beide aanwezig in deze situatie. Tussen de steden Driebergen en Doorn is grondwater met een pH lager dan 5,5 aanwezig tussen de 6 meter –NAP en 19 meter –NAP. In dit gebied zijn verhoogde concentraties aluminium en mangaan aanwezig die de drinkwaternorm overschrijden.

De grondwaterstand tussen Doorn en Driebergen bevindt zich relatief dicht onder het maaiveldniveau. Een maatregel om de risico's voor de agrariërs te reduceren is het bekalken van de landbouwgronden. De pH van het grondwater zal door het bekalken toenemen. Tevens zal de concentratie aluminium in het grondwater afnemen. Daarnaast vormt de bekalkte grond een extra buffer tegen nieuw potentieel zuur dat mogelijk in de bodem terecht komt.

In de steden Doorn en Driebergen zullen bronbemalingen worden toegepast. Een maatregel om de risico's tijdens bronbemalingen te reduceren is het ophogen van de pH van het onttrokken water. Door het ophogen van de pH zal het aanwezige aluminium neerslaan. Het water kan vervolgens zonder geloosd worden.

6.3 Problemen en maatregelen in de praktijk

De toepasbaarheid van de mogelijke maatregelen uit paragraaf 6.1 in de praktijk is in deze paragraaf onderzocht. Hierbij zijn grondwatergebruikers en specialisten geïnterviewd. Tevens bevat deze paragraaf een beschrijving van de ervaringen en verwachtingen in de praktijk met betrekking tot grondwater met een lage pH en mobiele stoffen. Met behulp van het contactennetwerk van TTE Consultants zijn de grondwatergebruikers en specialisten benaderd.

Bodemenergiesystemen

Voor een interview met betrekking tot WKO-systemen is adviesbureau Buro Bron gekozen. Buro Bron levert advies en vergunningen voor bodemenergiesystemen. Vanwege de tijd bleek het niet mogelijk een interview op locatie af te nemen. Daarom is het interview telefonisch afgenomen.

Het feit dat op de kalkloze en kalkarme zandgronden van de Utrechtse Heuvelrug een pH lager dan 5 aanwezig is, was niet bekend. Ook het, door de lage pH, in verhoogde concentraties voorkomen van de stoffen aluminium, cadmium, nikkel en zink, was niet bekend. IJzer- en mangaanafzettingen zijn een bekend verschijnsel die voor veel problemen kunnen zorgen. In het ergste geval kunnen de afzettingen niet verwijderd worden en moet een WKO-systeem worden afgesloten. Aluminiumafzettingen is een verschijnsel dat nog niet bekend was bij Buro Bron. Bij de locatiekeuze van een WKO-systeem wordt grondwateronderzoek uitgevoerd. Er wordt vrijwel alleen gekeken naar redoxparameters, zoals ijzer, mangaan, nitraat, pH, EC-waarde en zuurstofgehalte. De (zware) metalen zitten niet standaard in het pakket van grondwateronderzoek. Wanneer een WKO-systeem is gerealiseerd wordt ieder jaar de grondwaterkwaliteit gemeten. De te onderzoeken parameters, worden per provincie bepaald. Buro Bron verwacht niet dat de lage pH invloed heeft op het leidingwerk en de filters. Dat komt omdat deze veelal van PVC of PE (plastic) gemaakt zijn. Buro Bron is geïnteresseerd in een vervolgonderzoek naar aluminiumafzettingen vanwege het mogelijke risico voor WKO-systemen.

Waterschap Vallei en Veluwe

Bij waterschap Vallei en Veluwe is contact gelegd met een adviseur ecohydrologie en grondwater. Uit verscheidene e-mails is naar voren gekomen dat de adviseur dit geen relevant probleem vindt voor het waterschap. Het mobiel worden van aluminium en zware metalen is een natuurlijk fenomeen waar het waterschap niets aan kan doen. Het uitspoelen van zware metalen naar het oppervlaktewater wordt wel erkend als een probleem. Desondanks vormt het (nog) geen probleem voor de oppervlaktewaterkwaliteit, omdat het om 'natuurlijke' achtergrondwaarden gaat. Voor ecologie worden geen risico's verwacht, aangezien het grondwater met een lage pH en mobiele stoffen te diep onder maaiveld gelegen is. Het waterschap geeft aan dat bij het meten van de

zwemwaterkwaliteit van het Henschotermeer alleen gelet wordt op zwemwaterparameters. Tot deze parameters behoren geen van de (zware) metalen in dit onderzoek. Voor meer informatie is vervolgens verwezen naar de provincie Utrecht.

Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR).

Bij HDSR is contact gelegd met een geohydroloog en een specialist in oppervlaktewaterkwaliteit. In een aantal e-mails met de geohydroloog is steeds aangegeven dat de vragen beter bij de provincie Utrecht gesteld kunnen worden, aangezien het waterschap alleen verantwoordelijk is voor de oppervlaktewaterkwaliteit en niet voor de grondwaterkwaliteit. Er worden geen problemen verwacht in het beheersgebied van waterschap HDSR. De reactie over de situatie bij het Henschotermeer is vergelijkbaar met die van de ecohydroloog van waterschap Vallei en Veluwe. Bij de bepaling van de zwemwaterkwaliteit wordt niet gekeken naar de (zware) metalen die centraal staan in dit onderzoek. Tevens verwacht de specialist niet dat humane risico's ontstaan bij inname van water. Alleen bij zeer grote inname zou het mogelijk kunnen zijn dat humane risico's ontstaan. Bij een lage pH in het oppervlaktewater is het mogelijk dat ecologisch risico's plaatsvinden. Hierbij moet gedacht worden aan schade aan amfibie eieren. Desondanks verwacht de specialist niet dat een zeer lage pH aanwezig is in het oppervlaktewater. Net als bij waterschap Vallei en Veluwe wordt voor meer informatie verwezen naar de provincie Utrecht.

Vitens

Binnen het risicogebied zijn 6 drinkwaterwinningen aanwezig die beheerd worden door drinkwaterbedrijf Vitens. De geïnterviewde persoon is een chemisch technoloog. De nadruk in het interview lag bij de grondwaterkwaliteit rond de drinkwaterwinningen Bilthoven en Soestduinen.

Binnen Vitens is bekend dat op de Utrechtse Heuvelrug een pH lager dan 5 aanwezig is. Benadrukt werd dat niet alleen op de Utrechtse Heuvelrug, maar ook op andere hoge zandgronden in Nederland verzuring een rol speelt. Exacte gegevens waren op dat moment niet beschikbaar. Bij Vitens is bekend dat vanwege de lage pH de mobiliteit van enkele (zware) metalen toeneemt. IJzer-, mangaan- en aluminiumafzettingen zijn een bekend verschijnsel bij de drinkwaterwinningen. Bij de drinkwaterwinning Bilthoven werd grondwater onttrokken uit het eerste watervoerende pakket. Dit grondwater bevatte verhoogde concentraties aluminium, BAM (afbraakproduct van het onkruidbestrijdingsmiddel dichlobenil), bromacil (bestrijdingsmiddel) en VOCL (vluchtige organochloor verbindingen), die de drinkwaternormen overschrijden. Mede hierdoor werd besloten de ondiepe bronnen te sluiten en vanaf het jaar 2014 alleen grondwater uit het tweede en derde watervoerende pakket te winnen. De drinkwaterwinning Soestduinen onttrekt op enkele locaties grondwater met een lage pH en verhoogde concentraties aluminium. Door menging van het onttrokken grondwater voldoet het reinwater aan de gestelde eisen voor drinkwater. Voor Vitens is er geen reden om, vanwege grondwater met een lage pH en verhoogde concentraties aluminium, alleen grondwater te winnen uit de diepere watervoerende pakketten. Grondwater met een lage pH vormt geen risico voor Vitens, aangezien bijna alle onderdelen van plastic gemaakt zijn. De wikkeldraadfilters zijn van roestvrij staal en worden niet beïnvloed door het aanwezige grondwater met een lage pH op locatie. Om de pH van het grondwater te verhogen, wordt het onttrokken grondwater gemengd met grondwater uit (diepere) bronnen. Hierbij slaat ook het aluminium neer. Om ijzer en mangaan uit het grondwater te zuiveren wordt gebruik gemaakt van een zandfilter. De verwachting voor het grondwater met een lage pH is dat het langzaam dieper zal zakken. Dit gebeurt in zeer lage snelheid, waardoor voor de komende decennia geen problemen worden verwacht met betrekking tot de drinkwaterwinningen.

Provincie Utrecht

Met de provincie Utrecht is contact geweest om een interview mogelijk te maken. Vanwege de tijd bleekt het meest haalbare een vragenlijst. De vragen zijn gesteld aan een projectleider bodemsaneringen. De projectleider is de opdrachtgever van de sanering te Austerlitz waar TTE Consultants bij betrokken is.

Voor het begin van de sanering bij Austerlitz was de projectleider niet op de hoogte van het feit dat op de kalkloze en kalkarme zandgronden een pH lager dan 5 aanwezig is. Het mogelijk voorkomen van verhoogde concentraties aluminium, cadmium, ijzer, mangaan, nikkel en zink door deze lage pH was ook niet bekend. Bij vergelijkbare saneringen hebben zich geen problemen voorgedaan met betrekking tot grondwater met een lage pH. De zuivering, infiltratie- en onttrekkingsfilters en het leidingwerk vertoonden bij vergelijkbare saneringen geen teken van versnelde corrosie. Verhoogde concentraties aluminium, cadmium, nikkel en zink zijn bij vergelijkbare saneringen niet waargenomen. Voor zover bekend is de situatie bij de sanering te Austerlitz uniek in de Provincie Utrecht. Het gezuiverde grondwater wordt gecontroleerd op de standaard parameters. Deze parameters worden bepaald door het waterschap en/of de gemeente waar de sanering in plaatsvindt. De bepaalde parameters bevatten vrijwel altijd normen voor verontreinigingen en ijzergehalten. De provincie Utrecht heeft geen actieve saneringen lopen in de gemeenten Bilthoven en Zeist. Dit wordt ook niet verwacht voor de nabije toekomst. De projectleider is verbaasd over de situatie in Bilthoven. Dat grondwater met een lage pH zo diep voorkomt had hij niet verwacht. Hij verwacht dat dit deels door toedoen van de drinkwaterwinning Bilthoven komt. Bij nieuwe saneringen op de Utrechtse Heuvelrug zal de provincie zeker extra aandacht schenken aan het grondwater met een lage pH en verhoogde concentraties aluminium. In het grondwatermeetnet zijn aluminium en de zuurgraad al standaard parameters die worden gemeten. Provincie breed heeft dit probleem de aandacht. Voor meer gedetailleerde informatie wordt verwezen naar drinkwaterbedrijf Vitens, aangezien zij meer meetgegevens ter beschikking hebben.

Bosbeheer specialist

Een interview is gehouden met een bosbeheer specialist die onderzoek heeft gedaan bij het kennisinstituut Alterra. Deze persoon is gespecialiseerd in de effecten van bodemverzuring op de wortelgroei van bomen op zandgronden.

De specialist is bekend met het feit dat op de kalkloze en kalkarme zandgronden een pH lager dan 5 voorkomt. Het in verhoogde concentraties voorkomen van de stoffen aluminium, cadmium, nikkel en zink vanwege grondwater met een lage pH was onbekend. Globaal gesproken zitten in de bovenste meter de wortels van bomen en planten. Daaronder zitten vrijwel geen wortels, al hangt dat wel af van de lokale situatie en de aanwezige boom- en plantensoorten. De daadwerkelijke invloed van grondwater met een lage pH en verhoogde concentraties stoffen op de wortels hangt af van het feit of het grondwater zich in de wortelzone bevindt. Wanneer het grondwater zich in de wortelzone bevindt dan worden bij een pH lager dan 4,2 en in combinatie met verhoogde gehalten aan opgelost aluminium, de wortels van planten en bomen zeker negatief beïnvloed. Hoeveel deze invloed is hangt af van de soort boom of plant. Toch kunnen vraagtekens worden gezet bij de relevantie van dit probleem op de Utrechtse Heuvelrug. De relevantie van het probleem in relatie tot natuur en landbouw op de Utrechtse Heuvelrug hangt af van de diepte van het grondwater, de grondwaterstroming, de boom- en plantensoort en ernst van het probleem.

6.4 Overzicht maatregelen

De mogelijke maatregelen om de ecologische, financiële en humane risico's te reduceren zijn weergegeven in tabel 6-1. Tevens zijn de toepasbaarheid en receptoren per maatregel vermeld.

Tabel 6-1: Mogelijke maatregelen, toepasbaarheid en receptoren

Mogelijke maatregel	Toepasbaarheid	Receptoren
Mengen	Hoog	Drinkwaterwinningen, saneringen en oppervlakte water
Bekalken	Hoog	Agrariërs en natuur
Zuiveren onttrokken grondwater	Hoog	Bronbemalingen, saneringen en drinkwaterwinningen
Grondwater uit andere diepte onttrekken	Gemiddeld	Bronbemalingen, drinkwaterwinningen en WKO-systemen
Mitigatie	Laag	Bronbemalingen, drinkwaterwinningen, Agrariërs, natuur, oppervlaktewater, saneringen en WKO-systemen

Uit interviews met grondwatergebruikers en specialisten is gebleken dat voor bronbemalingen, drinkwaterwinningen, saneringen en WKO-systemen grondwater met een lage pH en mobiele stoffen een mogelijk serieus probleem is, terwijl het probleem voor natuur, agrariërs en oppervlaktewater mogelijk niet relevant is. Vitens past al adapterende maatregelen toe, zoals mengen en grondwater uit een ander pakket onttrekken. Uit de interviews kan gesteld worden dat er een kennisleemte aanwezig is ten aanzien van de situatie in de praktijk. Het feit dat grondwater met een pH lager dan 5 aanwezig is op de kalkloze en kalkarme zandgronden is niet bij iedereen bekend. Het door de lage pH in verhoogde concentraties voorkomen van bepaalde stoffen is alleen bij Vitens een bekend gegeven.

7. Conclusies en aanbevelingen

De conclusies, aanbevelingen en discussie zijn in dit hoofdstuk opgenomen. In de conclusies is eerst de hoofdvraag beantwoord en vervolgens is een onderbouwing gegeven aan de hand van de kernhoofdstukken. Vervolgens zijn naar aanleiding van het resultaat enkele adviezen opgenomen. In de discussie zijn de onderzoeksresultaten kritisch geïnterpreteerd en geëvalueerd.

7.1 Conclusies

Grondwater met een pH lager dan 5 en de verhoogde concentraties aluminium, ijzer en mangaan zorgen voor ecologische, financiële en humane risico's ten aanzien van het bodem- en grondwatergebruik op de Utrechtse Heuvelrug. De concentraties cadmium, nikkel en zink komen op enkele locaties verhoogd voor, maar vormen geen risico's. Grondwater met een lage pH heeft invloed op de wortelcellen van planten, gewassen en bomen. Tevens zorgt grondwater met een lage pH voor verhoogde mobiliteit van kationen, waaronder enkele nutriënten en (zware) metalen. Deze kationen spoelen mogelijk uit naar het diepere grondwater. Dit zorgt voor ecologische risico's voor de natuur en voor financiële risico's voor de agrariërs. De lage pH van het grondwater heeft ook invloed op de corrosiesnelheid van ijzer. Dit vormt een financieel risico voor aannemers die saneringen uitvoeren. Wanneer grondwater met een lage pH en verhoogde concentraties aluminium, ijzer en mangaan door drinkwaterwinningen wordt onttrokken vormt dit mogelijk financiële en humane problemen. De verhoogde concentraties aluminium in het onttrokken grondwater kunnen de drinkwaternorm overschrijden, waardoor humane risico's ontstaan. De financiële risico's hebben betrekking op het zuiveren van het onttrokken grondwater. De verhoogde concentraties aluminium, ijzer en mangaan kunnen financiële risico's vormen bij een sanering, WKO-systemen of bronbemalingen. Het is mogelijk dat door deze stoffen afzettingen ontstaan, waardoor de infiltratie- en onttrekkingfilters verstopt kunnen raken. In de praktijk blijkt grondwater met een lage pH en mobiele stoffen vooral een probleem te zijn voor bronbemalingen, drinkwaterwinningen, saneringen en WKO-systemen. Voor agrariërs, natuur en oppervlaktewater is het de vraag of het een relevant probleem is, aangezien de grondwaterstand op de Utrechtse Heuvelrug relatief laag is.

Grondwater met een lage pH is veroorzaakt door de zure atmosferische depositie in de jaren tachtig en negentig van de vorige eeuw. Bij zure atmosferische depositie gaat het om de stoffen zwaveldioxiden (SO_2), stikstofoxiden (NO_x) en ammoniak (NH_3). Kalkarme en kalkloze gronden hebben nauwelijks bufferend vermogen, waardoor de pH van het grondwater vaak lager is dan 5,5. De kritische depositieniveaus van potentieel zuur worden nog steeds overschreden. Door deze toevoer van zuur is het voor de bodembuffersystemen op kalkarme en kalkloze zandgronden niet mogelijk om te herstellen, waardoor de pH van het grondwater laag blijft. Op de Utrechtse Heuvelrug zijn vrijwel overal kalkarme en kalkloze zandgronden aanwezig. Verwacht wordt dat de pH van het grondwater onder deze gronden de aankomende decennia nog laag zal blijven. Het grondwater is vrij diep gelegen, waardoor relatief weinig bodem- en grondwatergebruikers in het risicogebied aanwezig zijn. De bodem- en grondwatergebruikers zijn bronbemalingen, drinkwaterwinningen, agrariërs, natuur, saneringen, oppervlaktewater en WKO-systemen. Mogelijke maatregelen om de ecologische, financiële en humane risico's te reduceren zijn; grondwater uit diepere lagen onttrekken, mengen, bekalken, zuiveren onttrokken grondwater en mitigatie. Bijna alle maatregelen zijn geschikt voor de korte termijn (adaptatie). Mengen en grondwater uit een ander pakket onttrekken zijn maatregelen die al in de praktijk worden toegepast door Vitens. Voor de lange termijn (duurzaam) is mitigatie een geschikte oplossing. Met mitigatie zullen de emissies van verzurende stoffen afnemen. Hierdoor herstellen de buffersystemen en neemt de pH van het grondwater toe. Uit interviews is gebleken dat er nauwelijks praktijkkennis aanwezig is. Het feit dat grondwater met een pH lager dan 5 aanwezig is op de kalkloze en kalkarme zandgronden is niet bij iedereen bekend. Het, door de lage pH, in verhoogde concentraties voorkomen van bepaalde stoffen is alleen bij Vitens een bekend gegeven.

7.2 Aanbevelingen

Op basis van het uitgevoerde onderzoek zijn in deze paragraaf enkele aanbevelingen opgenomen.

1. Gebiedsgericht meetnet inrichten

Voor het uitvoeren van de risicoanalyse zijn 16 peilbuizen uit het PMG en LMG gebruikt. Zeven van de zestien peilbuizen hebben meetgegevens over een periode van meer dan 20 jaar. Desondanks ontbreken veel meetgegevens. Om een gedegen uitspraak te kunnen doen over de verwachte trend van de pH en de concentraties stoffen in het grondwater, moeten meer meetgegevens worden verzameld. Het is aan te raden om een gebiedsgericht meetnet in te richten dat ieder jaar zal worden bemeaten op de parameters uit het PMG en LMG. Een gebiedsgericht meetnet kan worden bereikt door de 16 peilbuizen in het risicogebied samen te voegen met minstens 7 nieuwe peilbuizen. Bij voorkeur krijgen de nieuwe peilbuizen twee filters op dieptes van 15 meter en 25 meter -NAP. Hierdoor kan de situatie in de diepere lagen worden gemonitord op veranderingen.

2. Vervolgonderzoek in Brabant uitvoeren

Gedurende de interviews is naar voren gekomen dat op alle hoge zandgronden in Nederland bodemverzuring een rol speelt. Uit de analyse van grondwaterkwaliteitsrapporten is duidelijk geworden dat de situatie op de zandgronden in Brabant mogelijk problematischer is dan op de Utrechtse Heuvelrug. Doordat grondwater op de Utrechtse Heuvelrug vrij diep gelegen is, zijn er relatief weinig receptoren aanwezig. In Brabant ligt het grondwater ondieper en zijn er meer receptoren en belangen. Aanbevolen wordt om een vervolgonderzoek uit te voeren in Brabant.

3. Uitwisselen praktijkkennis

Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat de theoretische kennis van de lage pH en de verhoogde mobiliteit van bepaalde stoffen in zekere mate aanwezig is, maar dat praktijkkennis ontbreekt. Door de beschikbare praktijkkennis met andere grondwatergebruikers te delen is het mogelijk om de aanwezige kennisleemtes te verkleinen. Hierdoor kunnen in de toekomst mogelijke problemen sneller worden opgelost. Het is mogelijk dat TTE Consultants en Vitens hierin een leidende rol gaan spelen, aangezien zij praktijkervaring hebben met het probleem. Het is aan te raden om de praktijkkennis door middel van een seminar of voorlichtingspresentatie te delen met andere grondwatergebruikers.

4. Nader onderzoek probleempceptie

Uit de interviews is naar voren gekomen dat niet alle grondwatergebruikers een probleem zien in grondwater met een lage pH en mobiele stoffen of ervan weten. Dit komt door het feit dat ze (nog) geen problemen hebben ondervonden. Om de probleempceptie van de grondwatergebruikers te bepalen, is het van belang om meer interviews af te nemen bij verschillende grondwatergebruikers. Het is aan te raden om de probleempceptie te bepalen bij de gemeenten De Bilt, Zeist, Soest, Utrechtse Heuvelrug en Woudenberg. Tevens is het verstandig om de probleempceptie te bepalen bij aannemers, adviesbureaus en de Provincie Utrecht. Door de probleempceptie te bepalen en vervolgens praktijkkennis te delen is het mogelijk om draagvlak te creëren, zodat maatregelen kunnen worden getroffen.

7.3 *Discussie*

Het doel van deze discussie is het interpreteren en evalueren van de onderzoeksresultaten. Hierbij is ingegaan op de perceptie van de grondwatergebruikers ten aanzien van grondwater met een lage pH en mobiele stoffen. Tevens is de duurzaamheid van de maatregelen tegen het licht gehouden.

Uit de gesprekken met het waterschappen Vallei en Veluwe en HDSR is duidelijk naar voren gekomen dat zij grondwater met een lage pH geen probleem vinden. Ik citeer waterschap Vallei en Veluwe: “grondwater met een lage pH en het daardoor mobiel worden van aluminium is een natuurlijk fenomeen waar het waterschap niets aan kan doen”. Hiermee geeft het waterschap een duidelijk signaal af dat zij niets te maken willen hebben met het probleem. Een ander antwoord dat ik veel te horen kreeg, was dat het waterschap niet de juiste instantie was om mijn vragen aan voor te leggen en dat ik beter naar de provincie Utrecht kan gaan. Door het niet willen begrijpen of accepteren van het probleem is er ook geen probleem en hoeft er niets worden opgelost.

Uit gesprekken met andere grondwatergebruikers kwam naar voren dat zij niet of nauwelijks weten dat grondwater met een lage pH aanwezig is onder de kalkloze en kalkarme gronden. Daarnaast is de kennis over het oplossen van aluminium bij een pH lager dan 5 niet aanwezig. De kennisleemte bij grondwatergebruikers is een nadeel in het erkennen van het probleem. Doordat de problemen van grondwater met een lage pH en mobiele stoffen niet worden erkend, wordt geen actie ondernomen. Dit is in relatie tot het realiseren van maatregelen een probleem. Enkele maatregelen die zijn aangedragen in dit rapport worden al toegepast door Vitens. De maatregelen in dit rapport zijn vooral gericht op de korte termijn (=adaptatie). Belangrijk bij deze adapterende maatregelen is hoe de problemen zo snel mogelijk gereduceerd kunnen worden. Deze maatregelen voor de korte termijn zijn veelal niet duurzaam. Zo wordt door agrariërs veel bekalkt om gewassen te kunnen verbouwen op kalkarme en kalkloze gronden. Door het gebrek aan nutriënten in de bodem zijn deze gronden vaak niet geschikt voor landbouw. Door veel geld uit te geven aan het bekalken lopen de kosten voor de agrariërs op. Dit resulteert weer in hogere prijzen. Door deze korte termijn maatregelen wordt het echte probleem niet aangepakt. De vraag is dan ook hoe de bewustwording van grondwater met een lage pH en mobiele stoffen kan worden vergoot, zodat gezamenlijk duurzame maatregelen kunnen worden opgesteld om de ecologische, financiële en humane risico's te reduceren?

De bron van het probleem is namelijk de nog altijd hoge emissies van verzurende stoffen en dan vooral de stikstofoxiden (NO_x) en ammoniak (NH_3). Doordat het niveau potentieel zuur nog steeds overschreden wordt, kunnen de kalkarme en kalkloze gronden zich niet herstellen. Hierdoor blijft de pH laag en blijven de problemen aanwezig. Een mogelijke maatregel is het reduceren van de emissies verzurende stoffen (=mitigatie). Dit is een duurzame maatregel voor de lange termijn. Wanneer de emissies afnemen, zal de bodem zich herstellen en neemt de pH van het grondwater weer toe. Dit is niet alleen belangrijk voor het gebied op de Utrechtse Heuvelrug, maar voor alle gebieden met kalkloze en kalkarme gronden. Het toepassen van deze maatregel zal veel veranderingen vereisen.

Het probleem is dat grondwatergebruikers geen problemen zien in grondwater met een lage pH en mobiele stoffen. Hierdoor lijkt mitigatie niet de geschikte maatregel om de ecologische, financiële en humane risico's te reduceren. Wanneer ervoor wordt gekozen om geen mitigatie toe te passen en de emissies potentieel zuur jaar op jaar worden overschreden, bestaat de kans dat de kalkloze en kalkarme gronden in Nederland onherstelbaar beschadigd raken. Als het eenmaal te laat is, zullen de kosten om maatregelen te treffen niet te overzien zijn.

Reflectie

In dit onderdeel is een kritische reflectie ten aanzien van het resultaat, de onderzoeksopzet en het persoonlijk functioneren opgenomen. Per onderdeel is beschreven wat goed en fout ging en wat verbeterd kan worden voor een volgend onderzoek.

Resultaat

Gedurende het onderzoek zijn een aantal aspecten cruciaal geweest voor het resultaat. Deze aspecten zijn kort toegelicht.

Gedurende de vierjarige opleiding Land- en Watermanagement is beperkt ingegaan op bodemkunde en bodemchemie. Voordat het plan van aanpak kon worden opgesteld, is eerst een verkennende literatuurstudie uitgevoerd om grip op de materie te krijgen. Deze literatuurstudie heeft veel tijd gekost. Door het begrijpen van de materie werd het mogelijk om een degelijk plan van aanpak te schrijven en het onderzoek uit te voeren. De verkennende literatuurstudie is een essentieel aspect geweest voor het onderzoek.

De in het plan van aanpak opgestelde planning is belangrijk geweest tijdens de uitvoering van het onderzoek. Door de relatief korte periode van afstuderen was het van belang dat iedere stap goed gepland werd. Bij ieder voortgangsgesprek met de begeleider van TTE Consultants is gekeken of het onderzoek conform de planning werd uitgevoerd. Door de planning te volgen zijn geen tijdsproblemen ontstaan, waardoor het onderzoek tijdig is afgerond.

Voor dit onderzoek zijn veel verschillende meetgegevens gebruikt. Zo zijn peilbuisgegevens, onttrekkinggegevens, bodemenergiegegevens en drinkwaterwinninggegevens gebruikt. Om de betrouwbaarheid van de data te vergroten zijn de actuele meetgegevens opgevraagd bij de provincie Utrecht, waterschap Vallei en Veluwe, waterschap HDSR en Vitens. Door het gebruik van actuele meetgegevens is het mogelijk om een betrouwbare analyse uit te voeren. Dit is ten goede gekomen aan het resultaat van het onderzoek.

Interviews zijn uitgevoerd om specifieke informatie te verkrijgen. Door tijdsgebrek is het niet gelukt alle grondwatergebruikers te interviewen. Bij een volgend onderzoek is het belangrijk meer tijd in te plannen voor interviews of een andere methode te hanteren, zoals een vragenlijst.

Onderzoeksopzet

Aan het begin van het onderzoek is een plan van aanpak opgesteld. Het plan van aanpak zou als leidraad dienen voor het uitvoeren van het onderzoek. In het plan van aanpak is een onderzoeksopzet beschreven, bestaande uit de werkwijze en methodes. Tijdens het uitvoeren van het onderzoek is gebleken dat de werkwijze goed bij het onderzoek paste, maar dat een aantal methodes niet geschikt waren. De problemen die ontstonden bij enkele methodes en de oplossingen die daarvoor bedacht zijn, zijn in het kort toegelicht.

‘Bron’ – pad – receptor benadering

Een bepalend principe voor het onderzoek was de ‘bron’ – pad – receptor benadering. Deze benadering wordt veel toegepast in de saneringswereld. Via deze benadering is het mogelijk om gebiedsgericht de ‘bron’, de paden en receptoren te bepalen. De ‘bron’ voor dit onderzoek was grondwater met een lage pH en mobiele stoffen. De paden zijn de manier waarop receptoren in aanraking kunnen komen met de ‘bron’. In dit onderzoek waren de paden kwel en onttrekkingen. De receptoren zijn de grondwatergebruikers. Het toepassen van deze benadering paste goed bij dit onderzoek.

Lagenbenadering

In het plan van aanpak was gekozen om de lagenbenadering toe te passen voor de beschrijving van de huidige situatie. De lagenbenadering is een instrument die de ruimte uiteen legt in drie lagen namelijk ondergrond, netwerklaag en occupatielaag. De lagenbenadering wordt veelal toegepast als een ontwerpinstrument, maar kan ook worden toegepast als analyse-instrument. In eerste instantie is geprobeerd om de huidige situatie te beschrijven met behulp van de 3 lagen, maar uiteindelijk is geconcludeerd dat dit niet de geschikte manier was. Dit komt omdat de netwerklaag voor dit onderzoek niet relevant is, aangezien de ondergrond, het watersysteem en de occupatiezone het belangrijkste zijn. Daarom is gekozen om niet de netwerklaag, maar het watersysteem te beschrijven.

Interviews

Zoals beschreven in het plan van aanpak zijn interviews afgenomen om specifieke informatie te krijgen van grondwatergebruikers in het onderzoeksgebied. In eerste instantie leek dit de juiste methode te zijn, maar na enkele afwijzingen en tijdgebrek is gebleken dat een vragenlijst een betere methode is. Doordat de situatie van het probleem en daardoor de vragen voor iedere gebruiker verschillend waren, is gekozen om vragenlijsten te versturen. De benaderde personen hadden weinig tijd voor interviews, maar wel genoeg tijd voor een vragenlijst. Ondanks enkele afwijzingen waren een aantal benaderde personen bereid om te worden geïnterviewd. Bij een volgend onderzoek is het belangrijk om te bepalen of er genoeg tijd is voor interviews en of het daadwerkelijk noodzakelijk is voor het onderzoek. Wanneer dit niet noodzakelijk is kan gekozen worden voor andere methodes, zoals een vragenlijst.

Persoonlijk functioneren

Dit onderdeel beschrijft het persoonlijk functioneren gedurende het afstudeerproces. Terugkijkend op de afgelopen tijd, zijn een aantal punten naar voren gekomen die extra aandacht verdienen.

Aan het begin van mijn afstudeerperiode was ik nogal nonchalant en dacht ik te makkelijk over de afstudeeropdracht. Mijn twee stages waren vlekkeloos verlopen. Hierdoor dacht ik dat het bij TTE Consultants hetzelfde zou gaan. Dit resulteerde in een aantal afgekeurde afstudeervoorstellen. De afgekeurde voorstellen waren een goed leermoment voor mij. Ook voor de toekomst is het belangrijk om niet nonchalant te zijn.

Gedurende het afstuderen is naar voren gekomen dat ik meer moet communiceren met collega's. Door met collega's te communiceren over je ideeën en problemen is het mogelijk dat je nieuwe inzichten vergaart. Dit heb ik gemerkt bij een lunchpresentatie die ik heb gehouden, halverwege mijn afstuderen. Tijdens deze presentatie werden vragen gesteld en ideeën voorgedragen, waardoor ik op een andere manier naar het onderzoek ben gaan kijken.

Een probleem waar ik tegenaan liep was dat ik te veel wilde vasthouden aan de, in het plan van aanpak, bepaalde methodes. Zo wilde ik ten koste van alles gebruik maken van de lagenbenadering. Door de gesprekken met mijn begeleider, ir. Arthur van de Velde, kon ik uiteindelijk inzien dat het niet fout is om een methode anders toe te passen. Een positief punt hierbij is dat ik me goed kon aanpassen aan de nieuwe methodes en situaties. Ik heb het overzicht kunnen behouden en ben doorgaan met het onderzoek.

Een belangrijk punt waar ik bijna tegenaan ben gelopen, is het tijdig opvragen van gegevens. Gedurende het onderzoek was ik een aantal keren aan de late kant met het opvragen van gegevens. Door het snel reageren van de betreffende personen ben ik niet in de knel gekomen. Het is van belang om in de toekomst gegevens zo spoedig mogelijk op te vragen. Dit heeft te maken met planning. Aan het begin van het onderzoek moet al worden nagedacht over welke informatie benodigd is. De benodigde informatie kan tijdig worden opgevraagd, waardoor vertragingen in het onderzoek worden voorkomen.

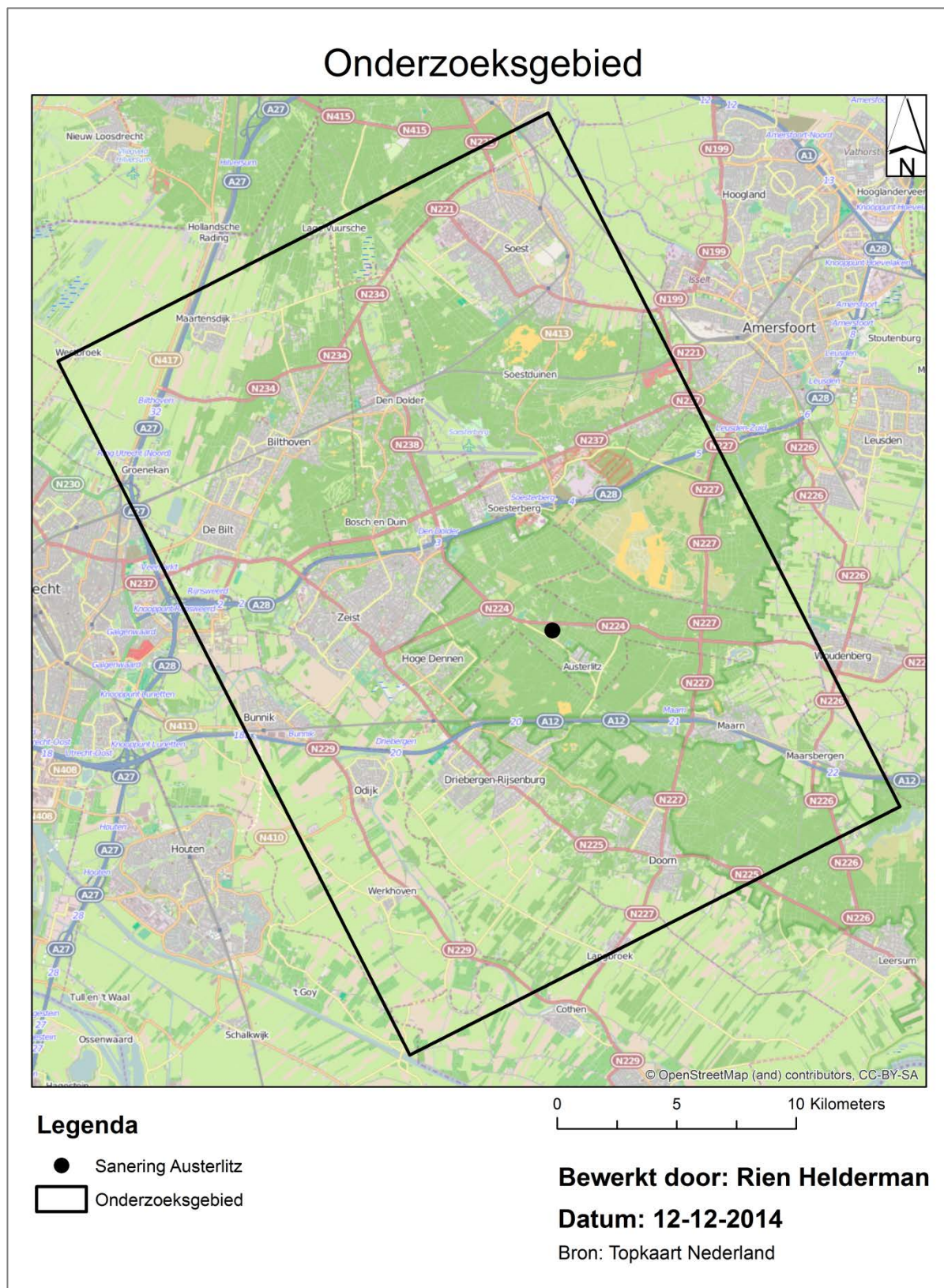
Bijlagen

In dit onderdeel zijn de bijlagen van het onderzoek opgenomen.

Bijlage 1:	Onderzoeksgebied	56
Bijlage 2:	Kritische depositieniveaus potentieel zuur.....	57
Bijlage 3:	Depositie potentieel zuur 2012	58
Bijlage 4:	Stabiliteitsdiagrammen.....	59
Bijlage 5:	Geomorfologie	60
Bijlage 6:	Bodem	61
Bijlage 7:	Geohydrologische situatie	62
Bijlage 8:	Kwel en infiltratie.....	64
Bijlage 9:	Stroombanen 1^e watervoerende pakket.....	65
Bijlage 10:	Maaiveldhoogte	66
Bijlage 11:	Gebruikte peilbuizen.....	67
Bijlage 12:	Risicogebied	68
Bijlage 13:	Archeologische verwachting.....	69
Bijlage 14:	Grondwateronttrekkingen.....	70
Bijlage 15:	Drinkwaterwinningen	71
Bijlage 16:	Bodemgebruik.....	72
Bijlage 17:	Verontreinigingen	73
Bijlage 18:	Situaties risicogebied	74
Bijlage 19:	Meetgegevens peilbuizen.....	75

Bijlage 1: Onderzoeksgebied

(TTE Consultants, 2014)



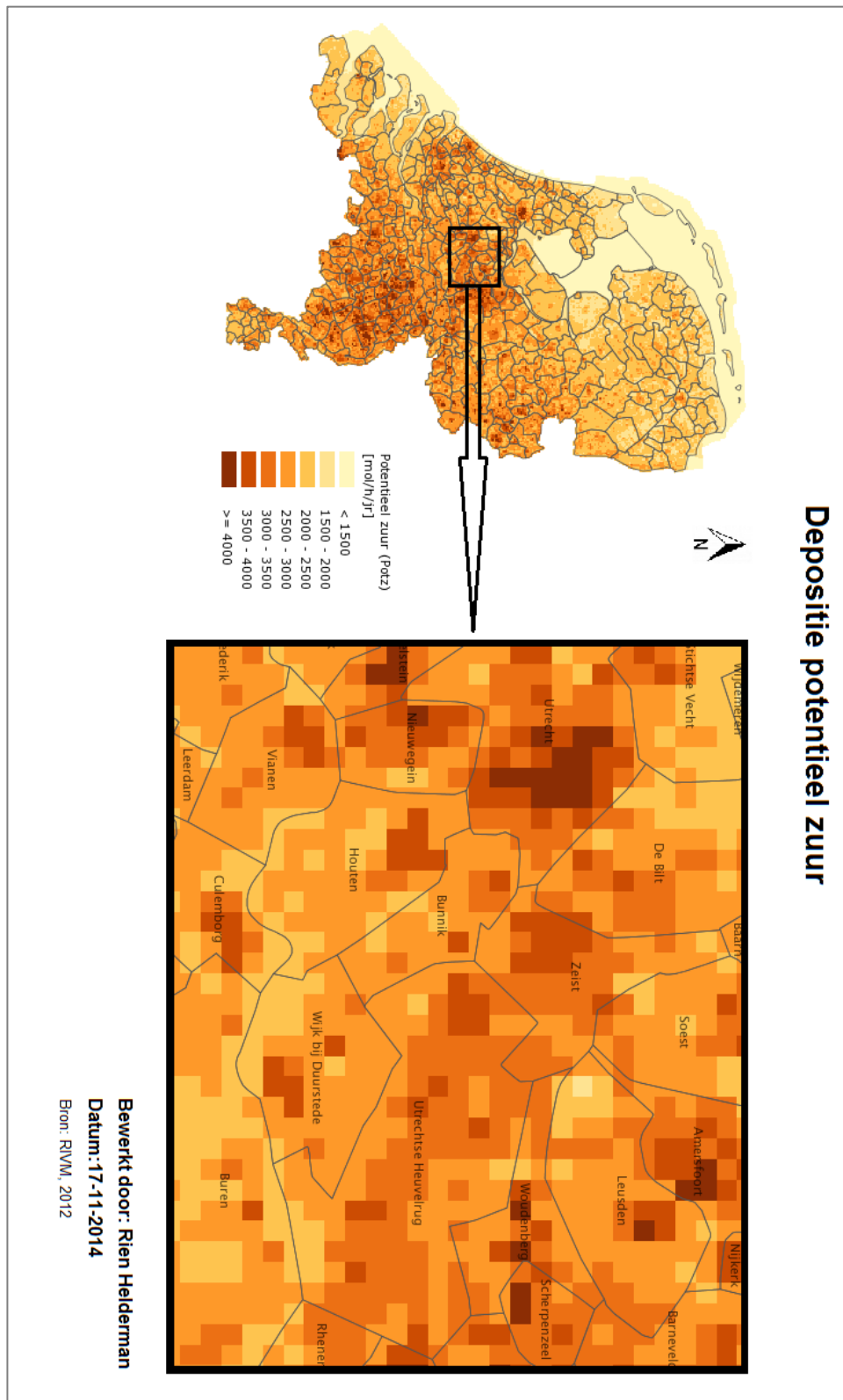
Bijlage 2: Kritische depositieniveaus potentieel zuur

De onderstaande tabel geeft de kritische depositieniveaus potentieel zuur voor een aantal ecosystemen weer. Wanneer de kritische depositieniveaus niet worden overschreden, bevinden de ecosystemen zich in een duurzame situatie. Dit betekent dat de ecosystemen beschermd zijn tegen het potentieel zuur, waardoor geen risico's kunnen optreden. (Bruisman, et al., 2010)

Ecosysteem (effect/indicatie)	Kritisch depositieniveau (mol potentieel zuur/ha)
Naaldbos (aluminiumuitputting)	1.650
Naaldbos (schade aan wortels, remming van opname)	1.900
Loofbos (aluminiumuitputting)	1.800
Loofbos (schade aan wortels, remming van opname)	2.450
Droge heidevegetatie	1.100-1.400
Natte heidevegetatie	1.100-1.400
Heideschraallanden	1.000-1.500
Kalkgraslanden	>5.000
Duinvegetaties	1.000-1.500
Zwak gebufferde wateren	400
Bronnen en stromend water	500-1.000

Bijlage 3: Depositie potentieel zuur 2012

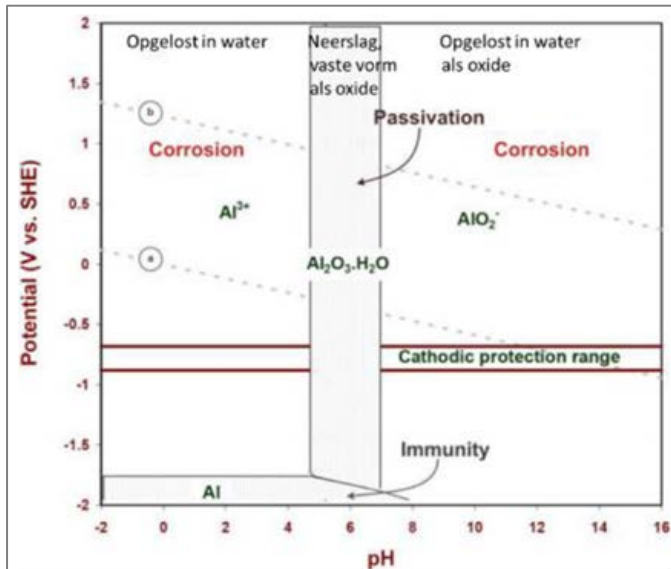
De gemiddelde depositie potentieel zuur in Nederland in 2012 was 2515 mol/ha/jaar. Voor de provincie Utrecht bedroeg de gemiddelde depositie in 2012 meer dan 2800 mol/ha/jaar (RIVM, 2013).



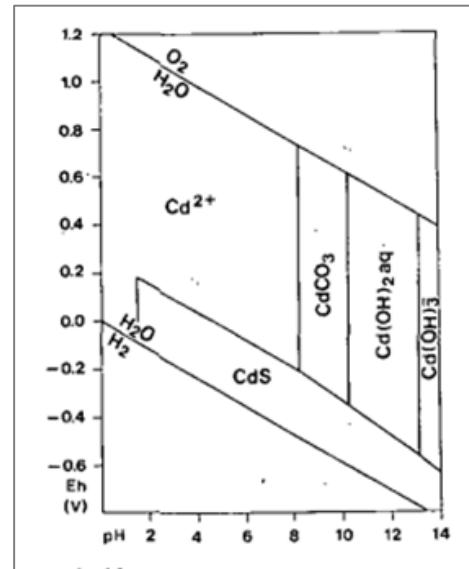
Bijlage 4: Stabiliteitsdiagrammen

Stabiliteitsdiagrammen van aluminium, cadmium, ijzer, mangaan, nikkel en zink (Takeno, 2005).

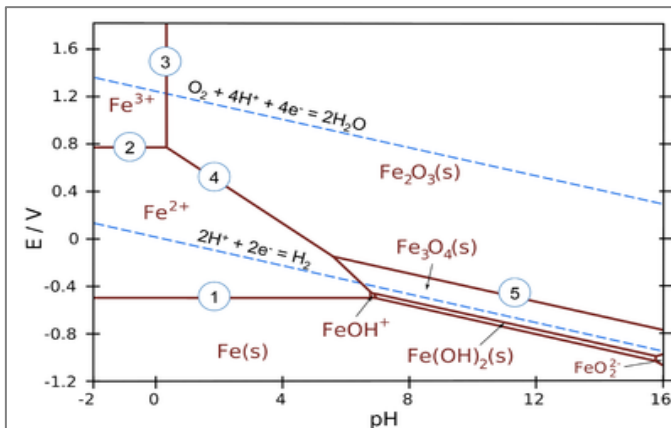
Aluminium



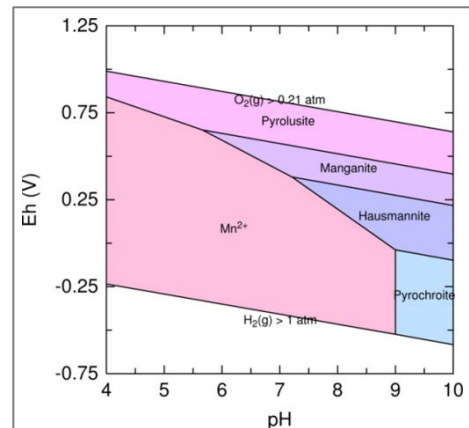
Cadmium



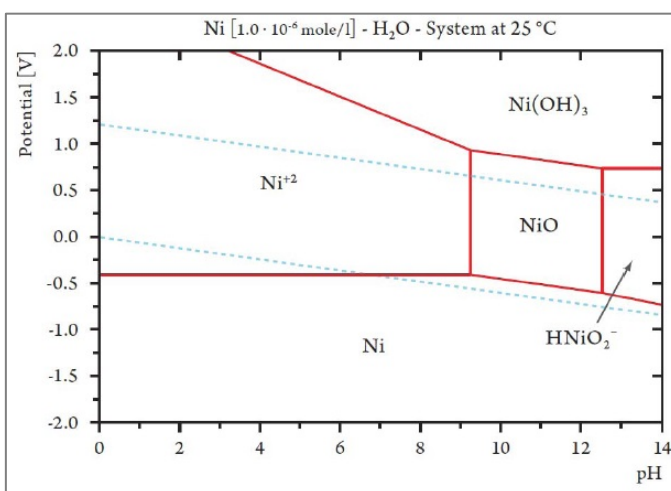
IJzer



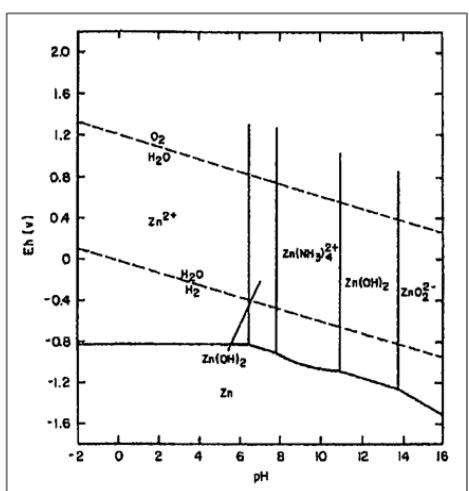
Mangaan



Nikkel

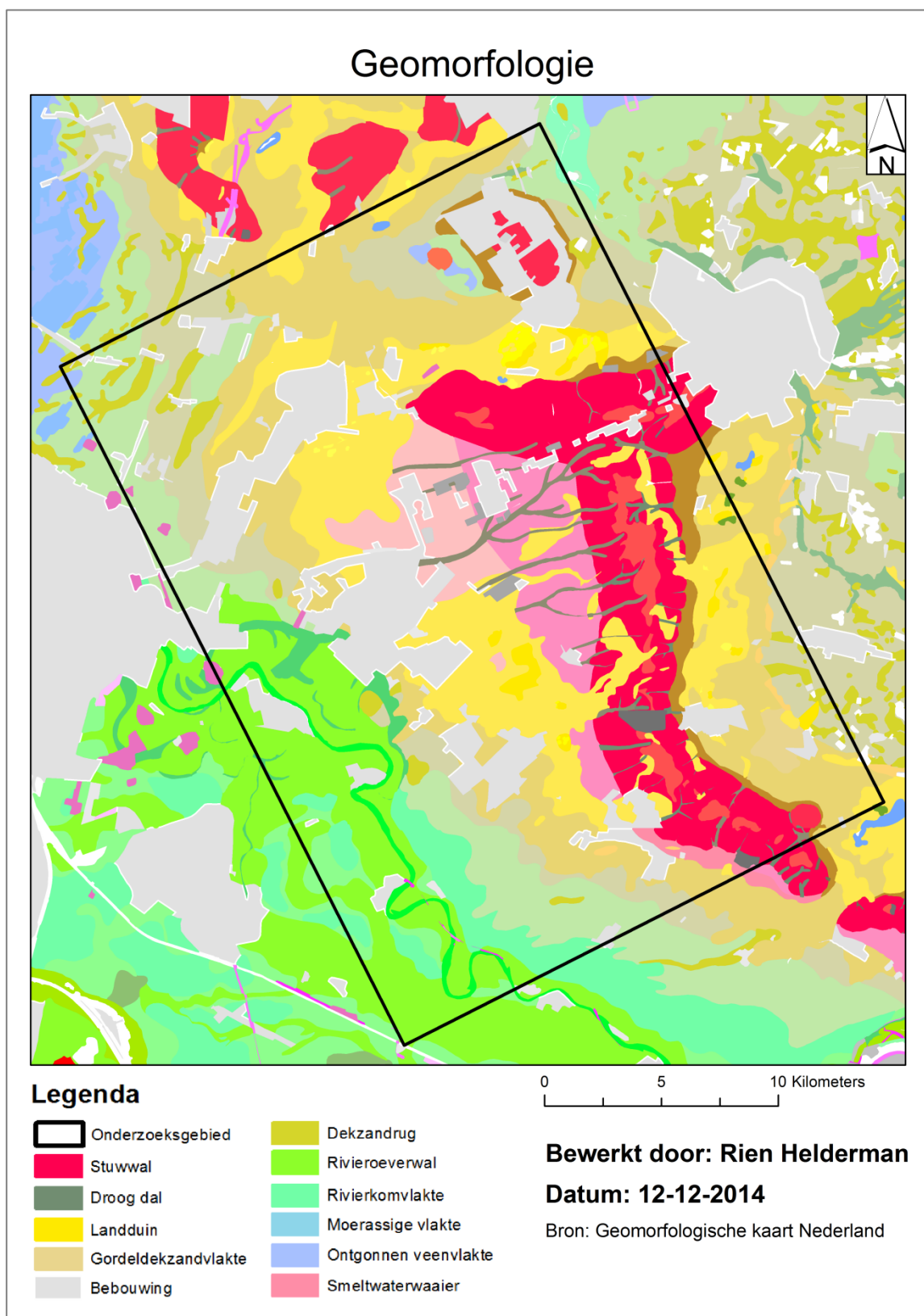


Zink



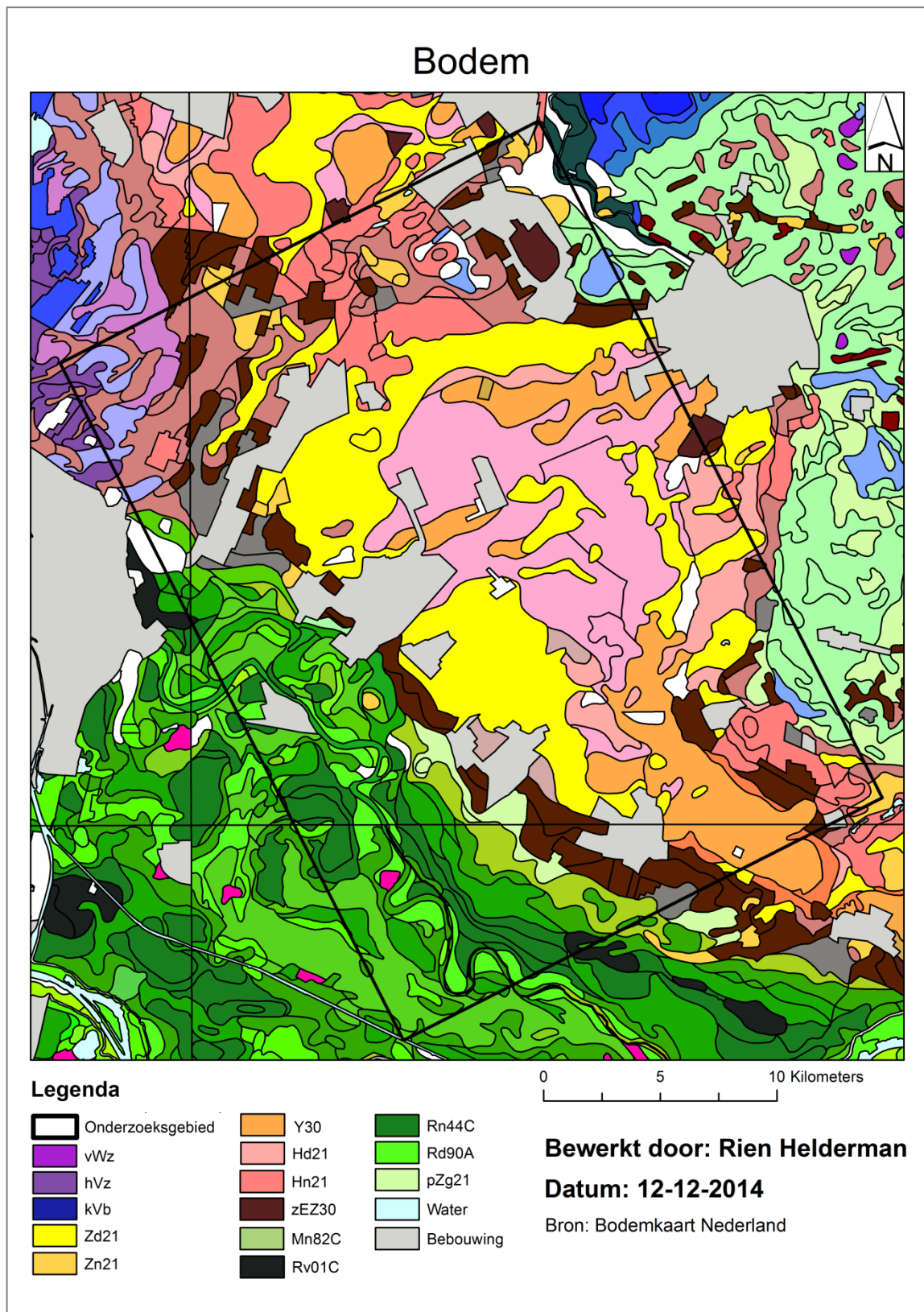
Bijlage 5: Geomorfologie

(Van Hall Larenstein, 2014)



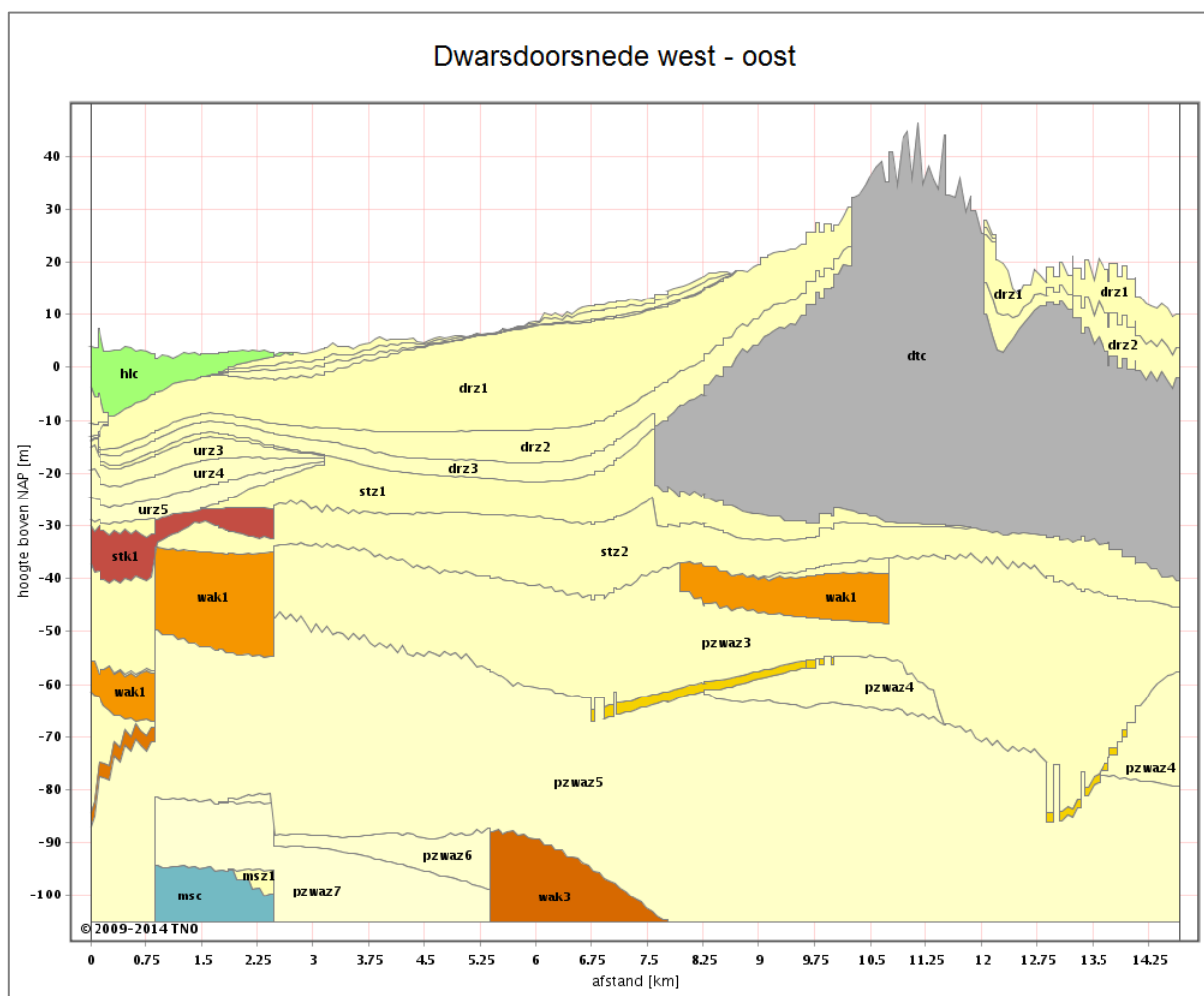
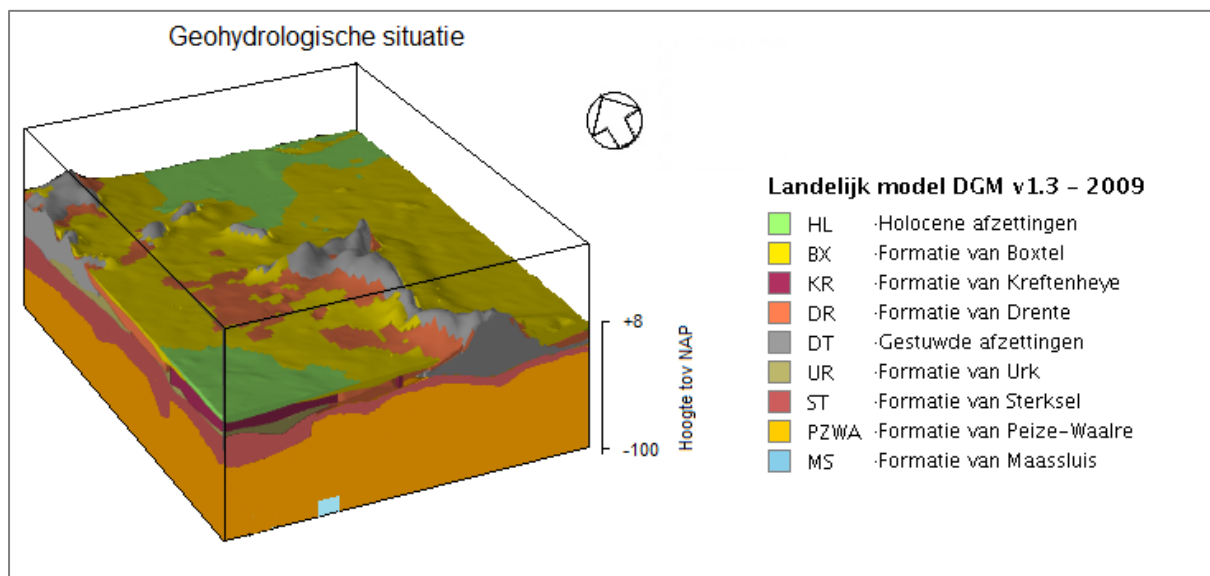
Bijlage 6: Bodem

(Van Hall Larenstein, 2014)



Bijlage 7: Geohydrologische situatie

De geohydrologische situatie in het onderzoeks is weergegeven met behulp van het geologisch model DGM. In een 3D-model is zijn de afzettingen weergegeven. Dit geeft een ruimtelijk beeld van de geohydrologische situatie. Daarnaast is een dwarsdoorsnede opgenomen uit het geohydrologisch model Regis 2. Aan de hand van dit model is een gedetailleerde beschrijving opgesteld en weergegeven in een tabel.



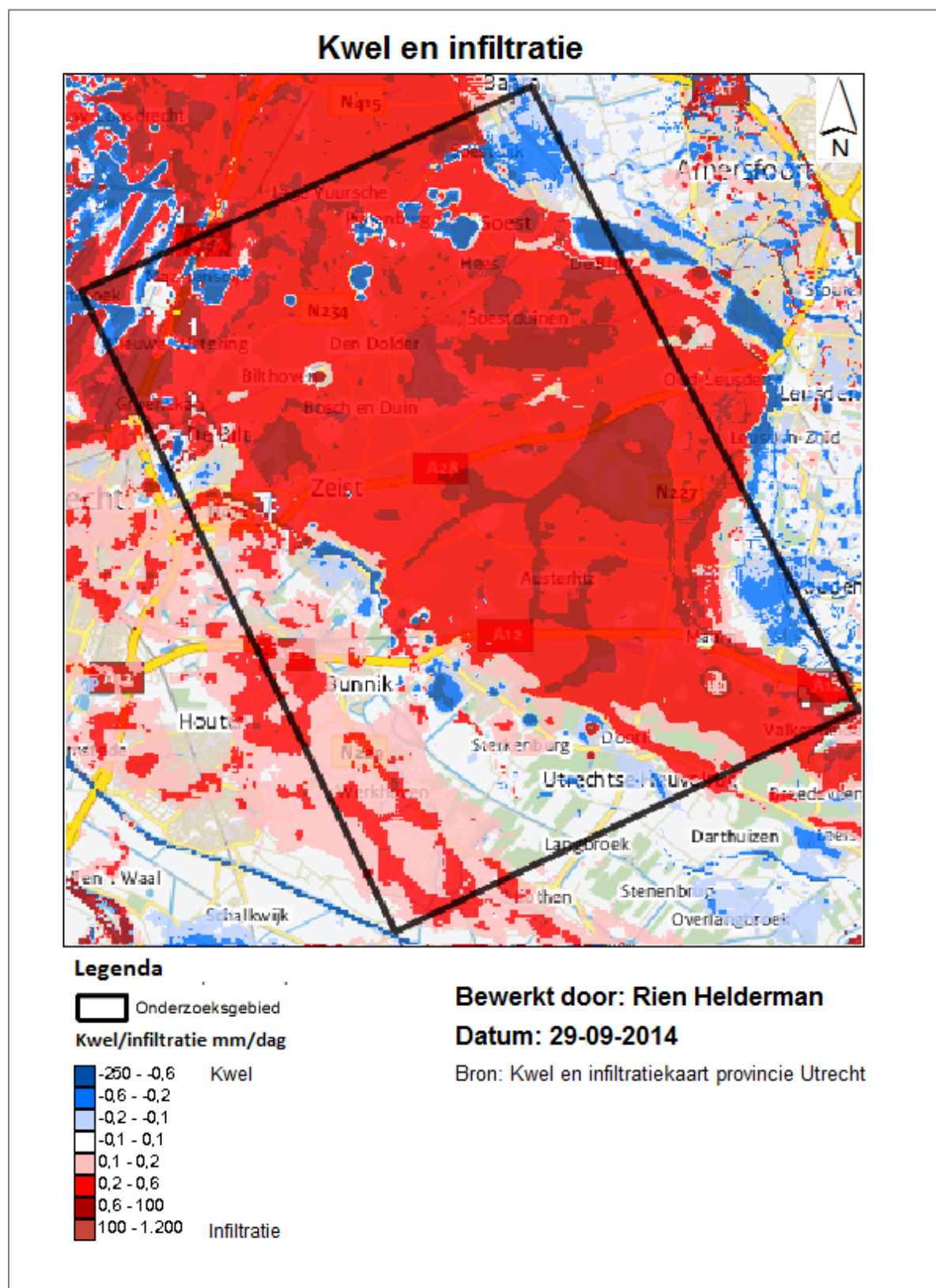
Beschrijving

Geohydrologische beschrijving op basis van het geohydrologisch model Regis 2 (bovenstaande figuur).

Diepte t.o.v. NAP	Geohydrologische laag	Formatie	Afzettingsherkomst	Samenstelling
+8 tot -20	WVP1_1	Drente	Smeltwaterafzettingen	Matig grof tot uiterst grof zand en zwak tot sterk grindhoudend
-20 tot -30	WVP1_1	Urk	Rivierafzettingen	Matig fijn tot uiterst grof zand met af en toe fijn tot grof grind
-20 tot -30	WVP1_1	Sterksel	Rivierafzettingen	Matig grof tot uiterst grof zand en zwak tot sterk grindig
+2 tot -8	WVP1_2	Echteld	Holocene rivierafzettingen	Zandig tot zwak siltige klei
-20 tot -30	WVP1_2	Kreftenheye	Rivierafzettingen	Matig grof tot uiterst grof zand en grindhoudend
-20 tot -30	WVP1_2	Urk	Rivierafzettingen	Matig fijn tot uiterst grof zand met af en toe fijn tot grof grind
-30 tot -40	SDL1	Sterksel	Rivierafzettingen	Zwak tot uiterst siltige kleilagen met dunne zandlaagjes
-40 tot -55	SDL1	Waalre	Rivierafzettingen	Sterk zandig tot zwak siltige klei
-55 tot 110	WVP2	Peize-Waalre	Rivierafzettingen	Grof zand en grindhoudend
-105	SDL2	Maassluis	Mariene-afzettingen	Schelphoudende zand- en kleiafzettingen

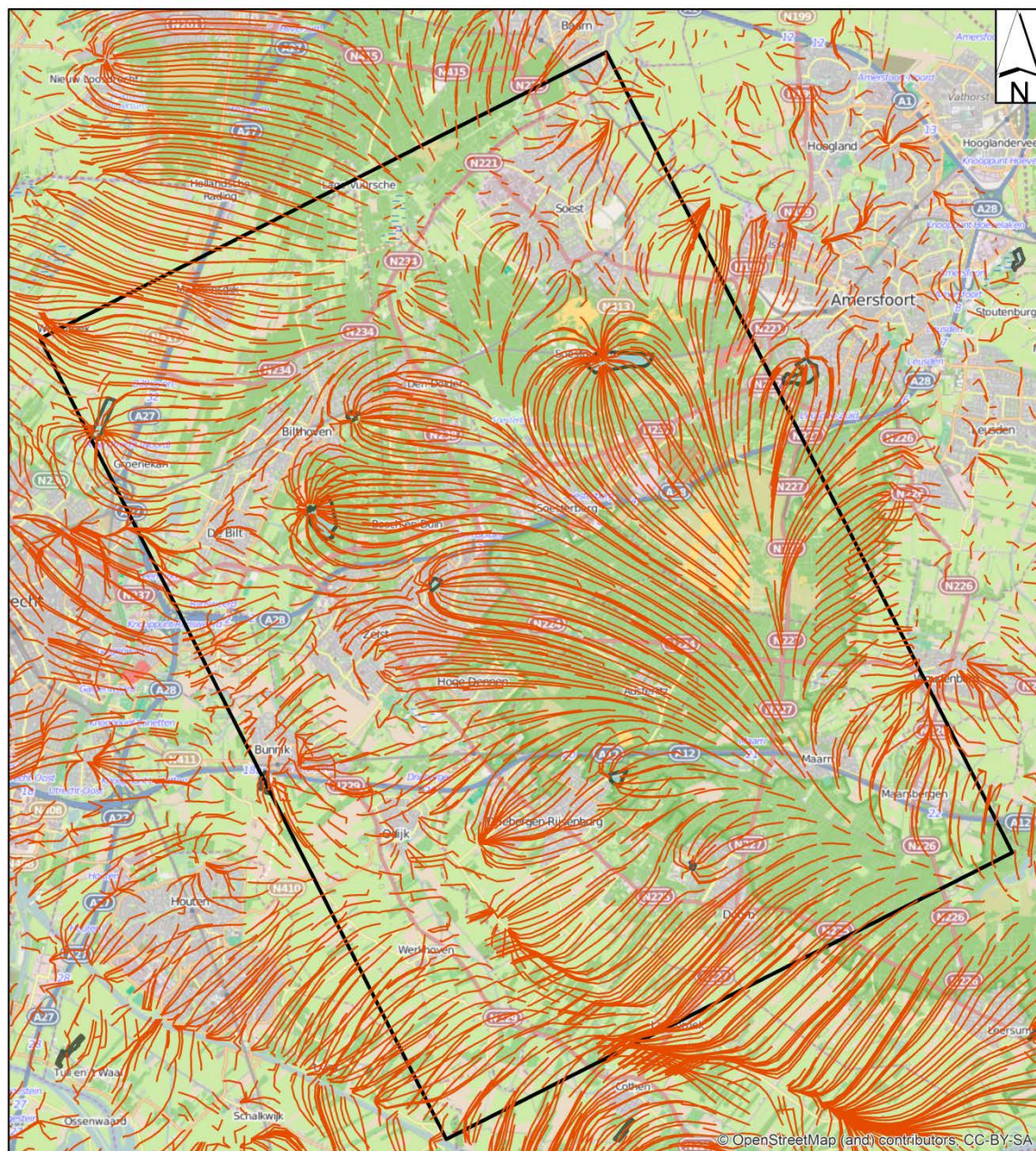
Bijlage 8: Kwel en infiltratie

(van Gelderen, 2013)



Bijlage 9: Stroombanen 1^e watervoerende pakket.

(van Gelderen, 2013)

Stroombanen 1e watervoerende pakket**Legenda**

- Stroombanen
- Onderzoeksgebied
- Waterwingebied

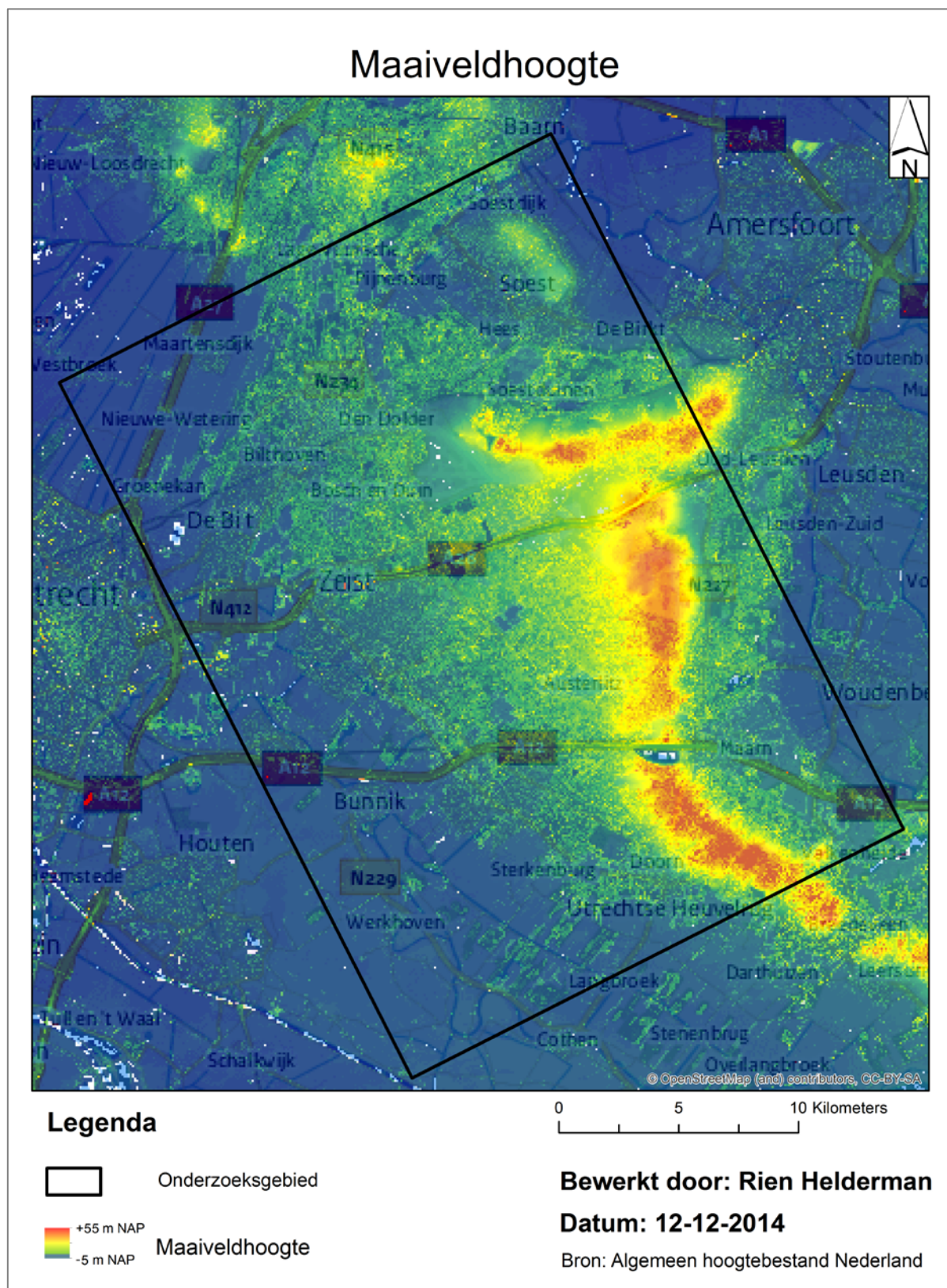
0 5 10 Kilometers

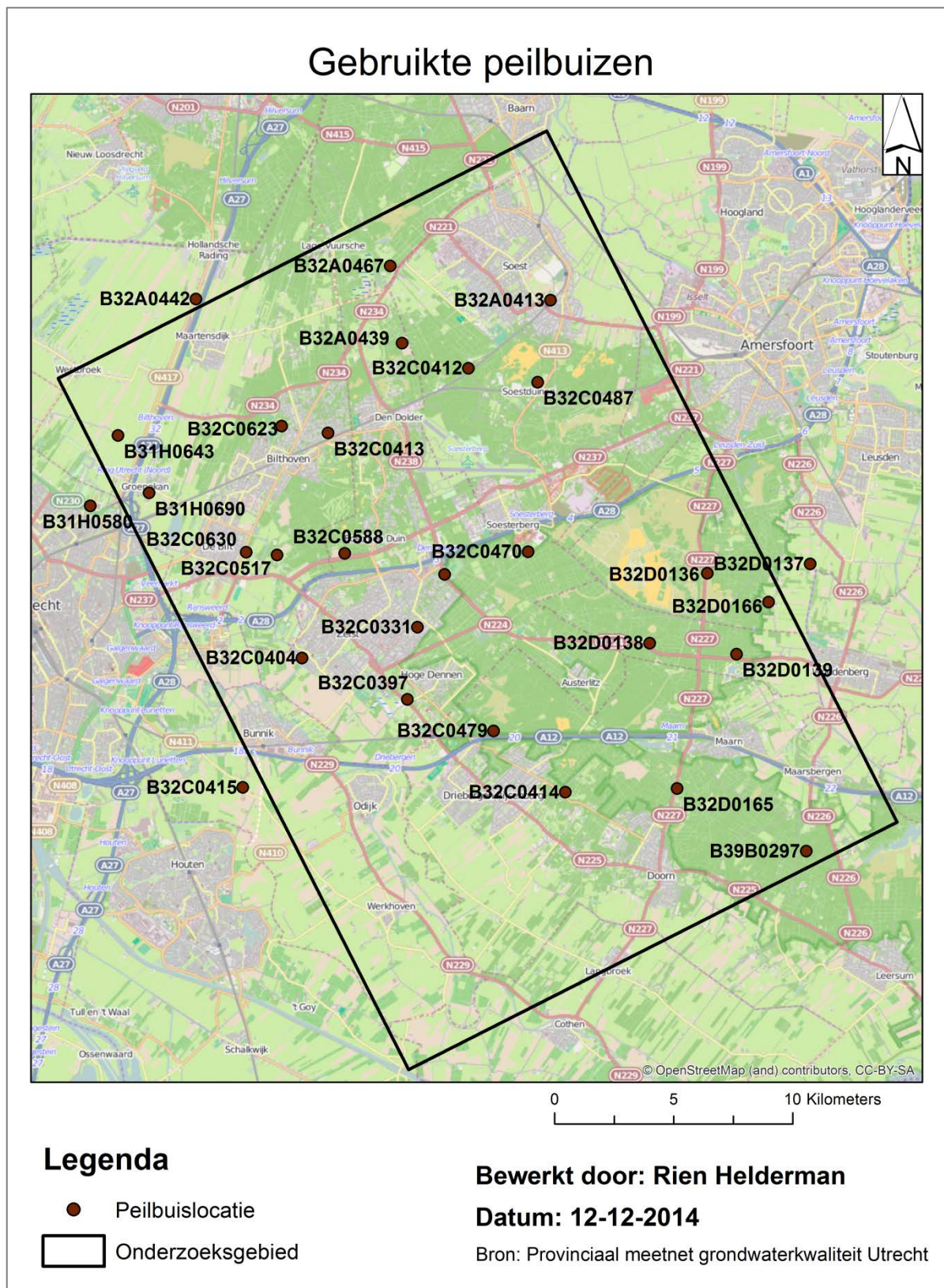
Bewerkt door: Rien Helderman**Datum: 12-12-2014**

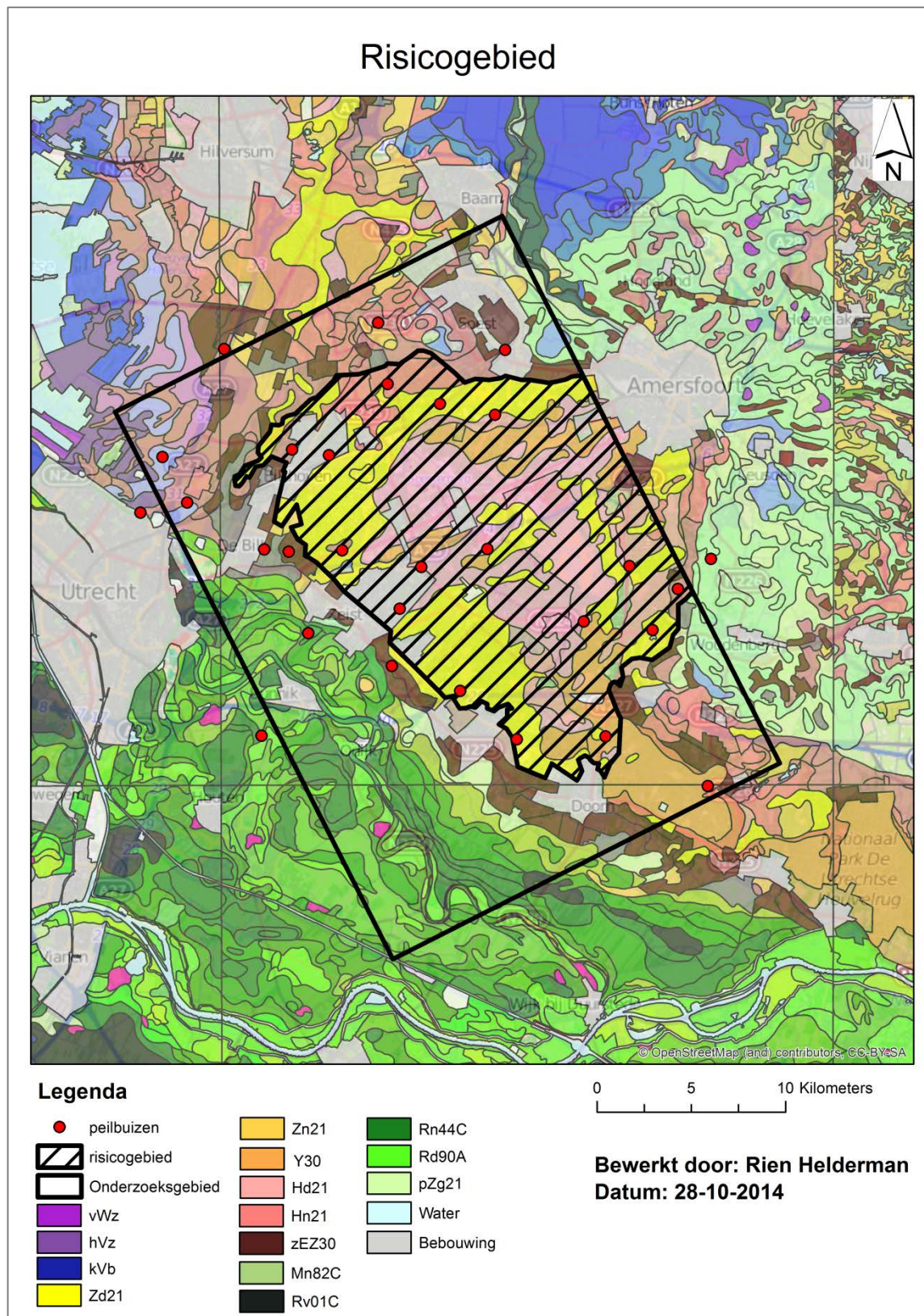
Bron: Stroombanenkaart provincie Utrecht

Bijlage 10: Maaiveldhoogte

(Actueel hoogtebestand Nederland, 2013)

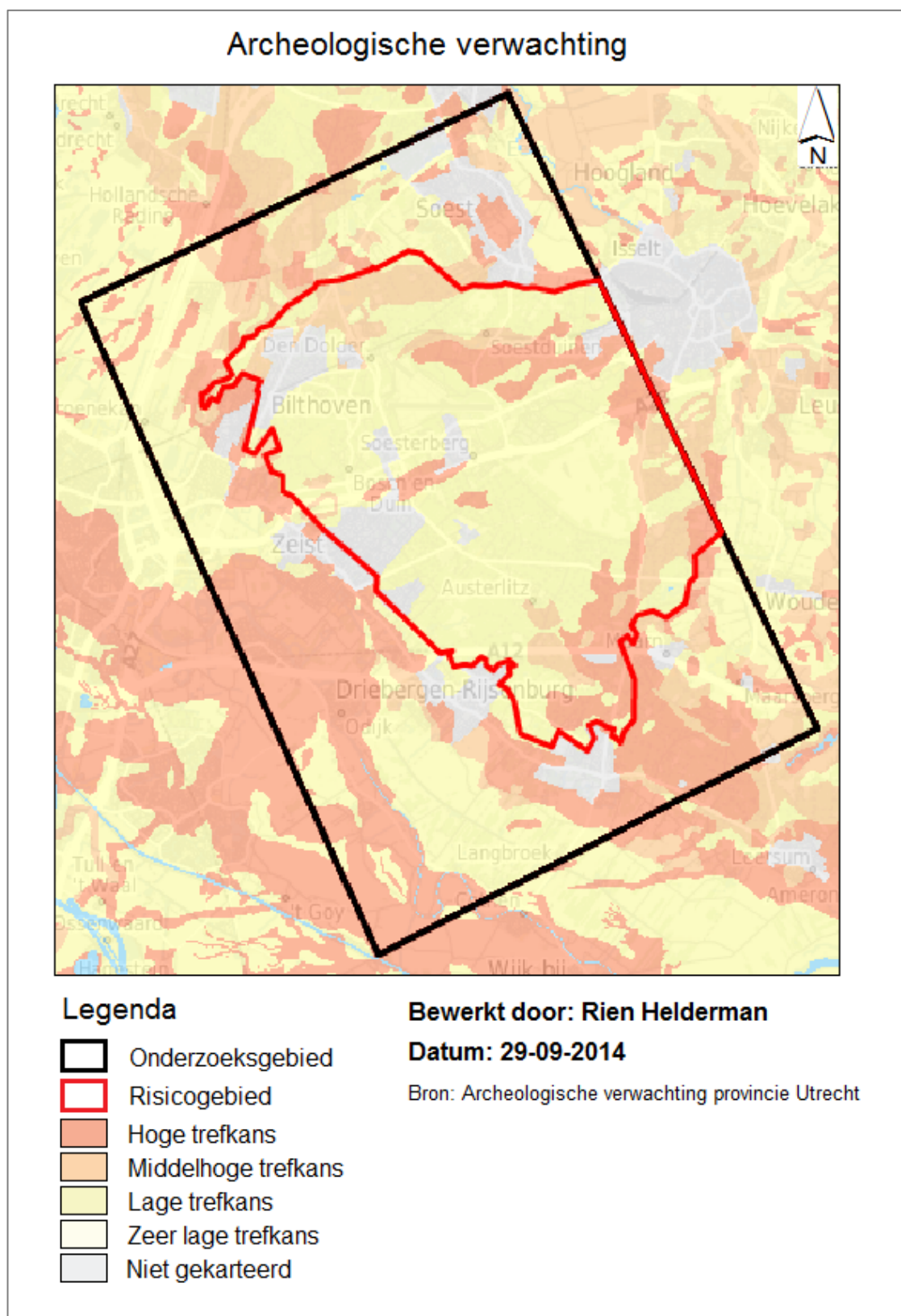


Bijlage 11: Gebruikte peilbuizen

Bijlage 12: Risicogebied

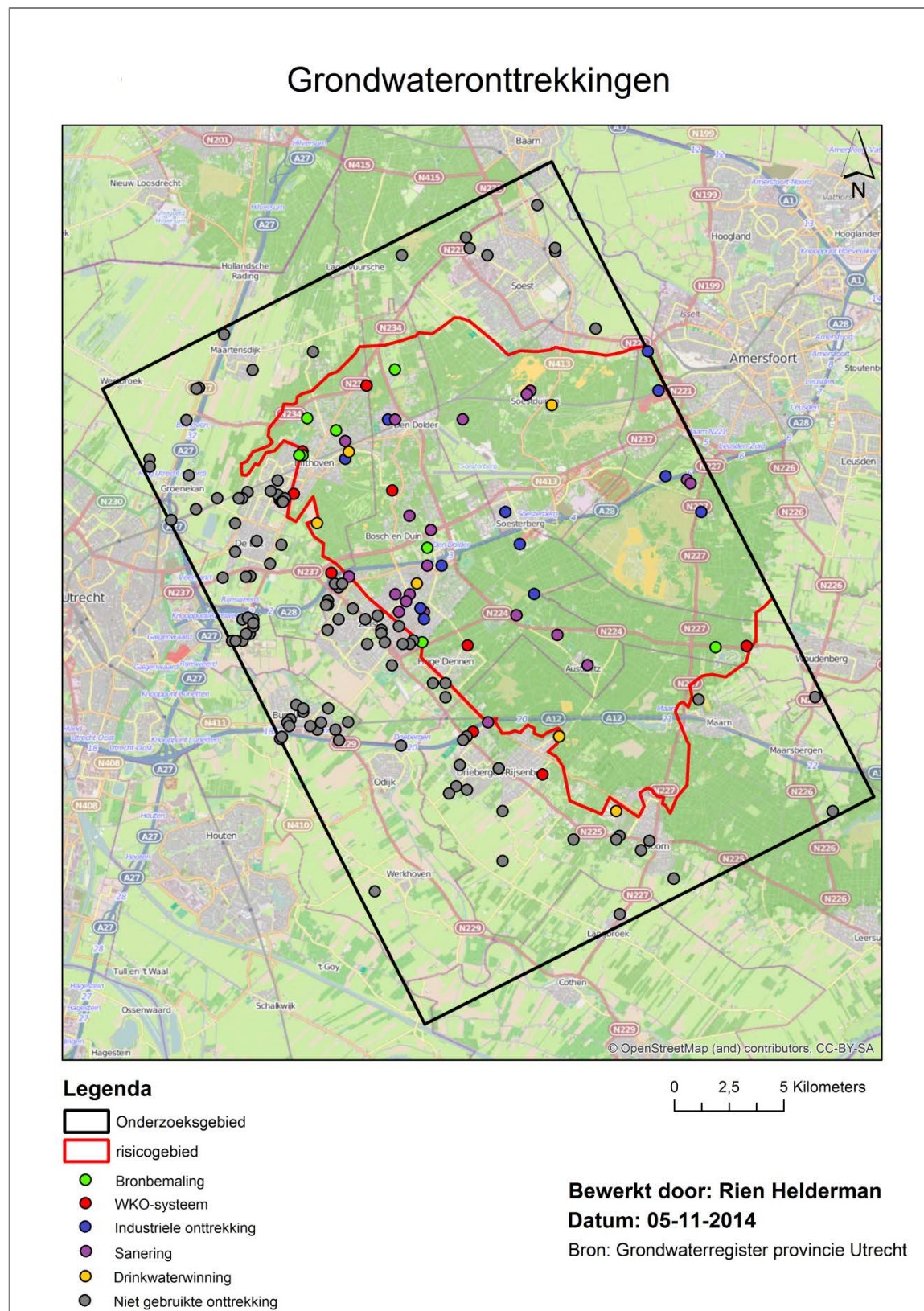
Bijlage 13: Archeologische verwachting

(TTE Consultants, 2014)



Bijlage 14: Grondwateronttrekkingen

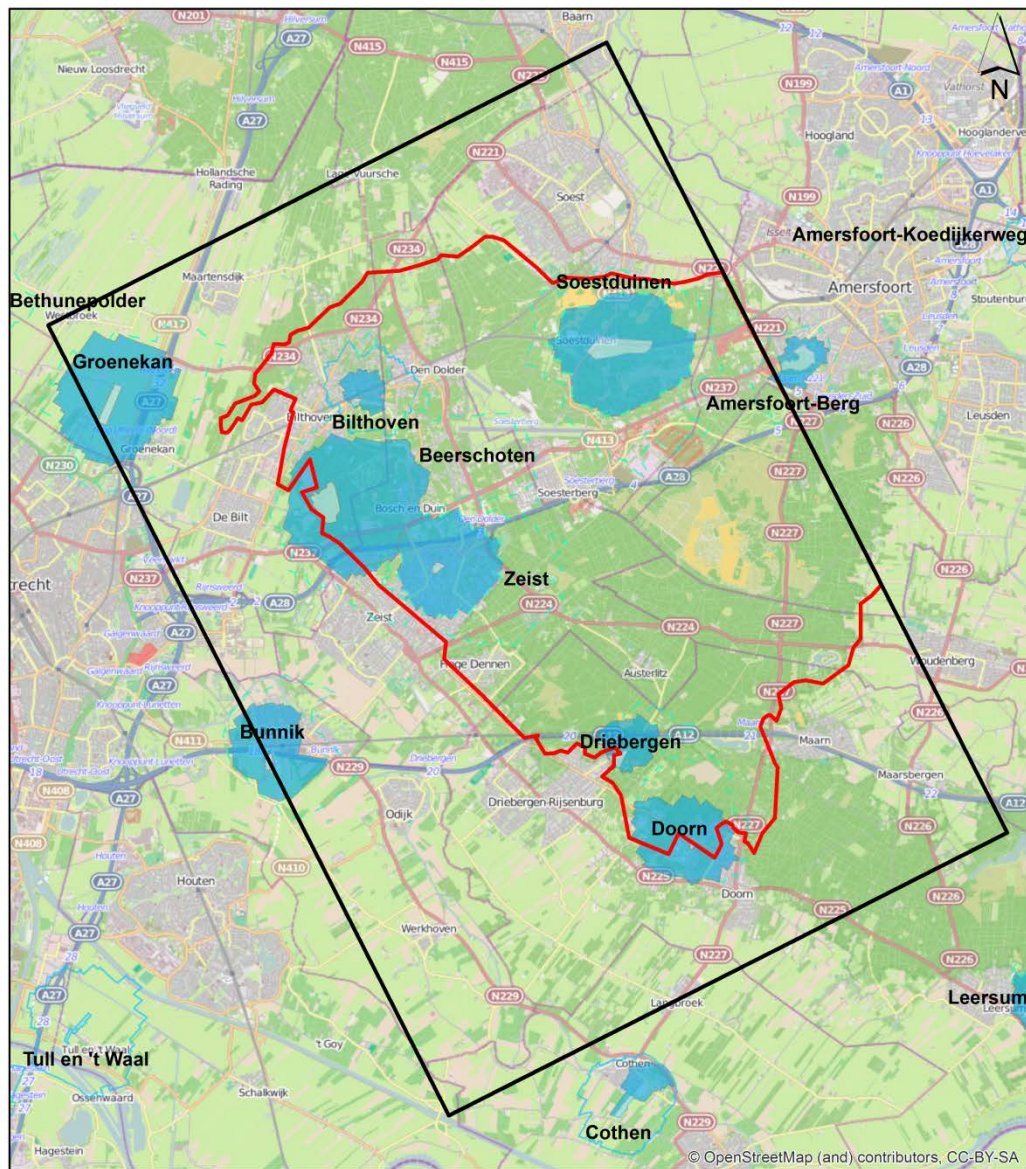
(Provincie Utrecht, 2014)



Bijlage 15: Drinkwaterwinningen

(Van der Veen, 2013)

Drinkwaterwinningen



Legenda

- Onderzoeksbied
- risicogebied
- 100-jaarsaandachtsgebied
- Boringsvrije zone
- Grondwaterbeschermingsgebied
- Waterwingebied

0 2,5 5 Kilometers

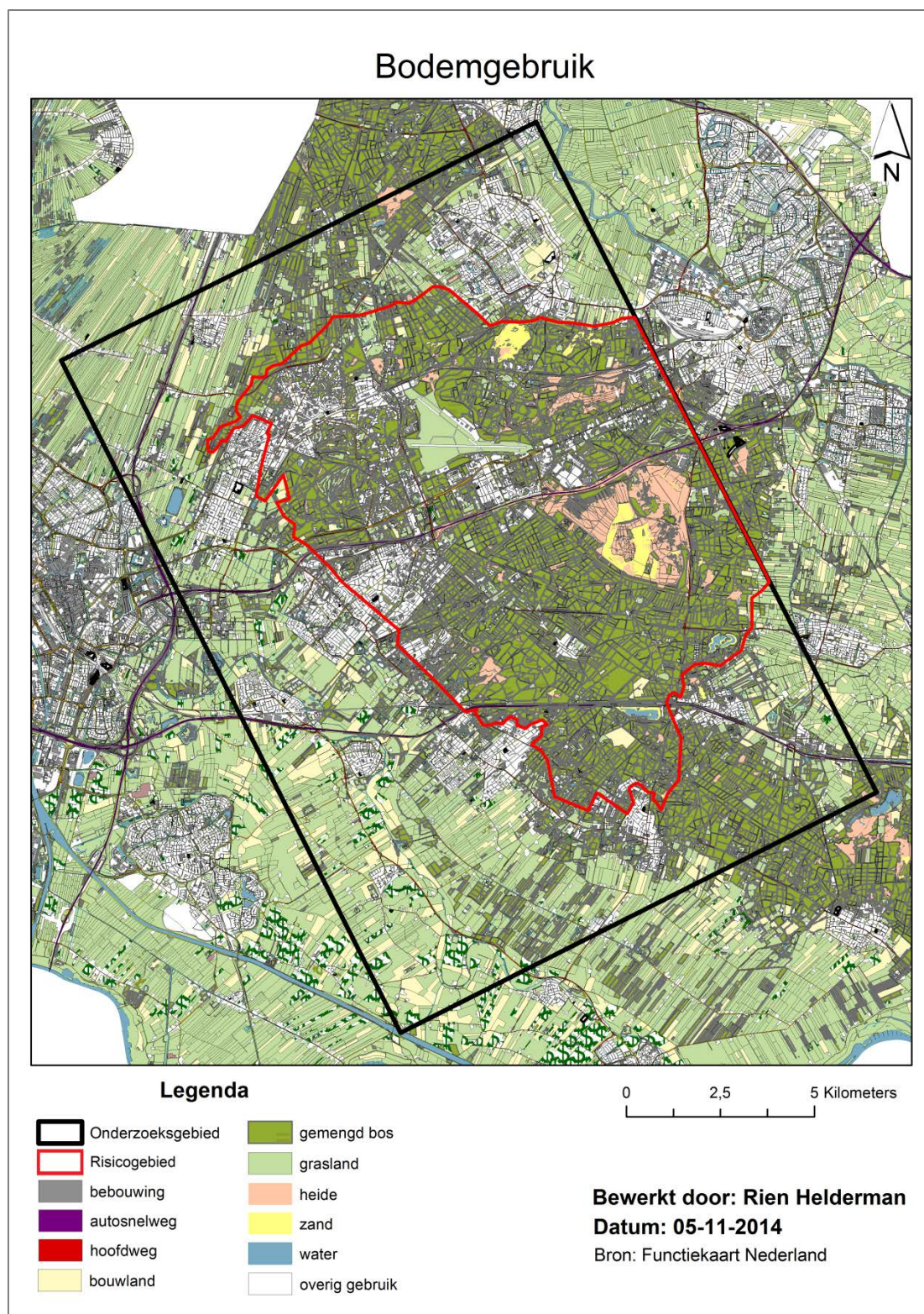
Bewerkt door: Rien Helderman

Datum: 05-11-2014

Bron: Drinkwaterwinningen provincie Utrecht

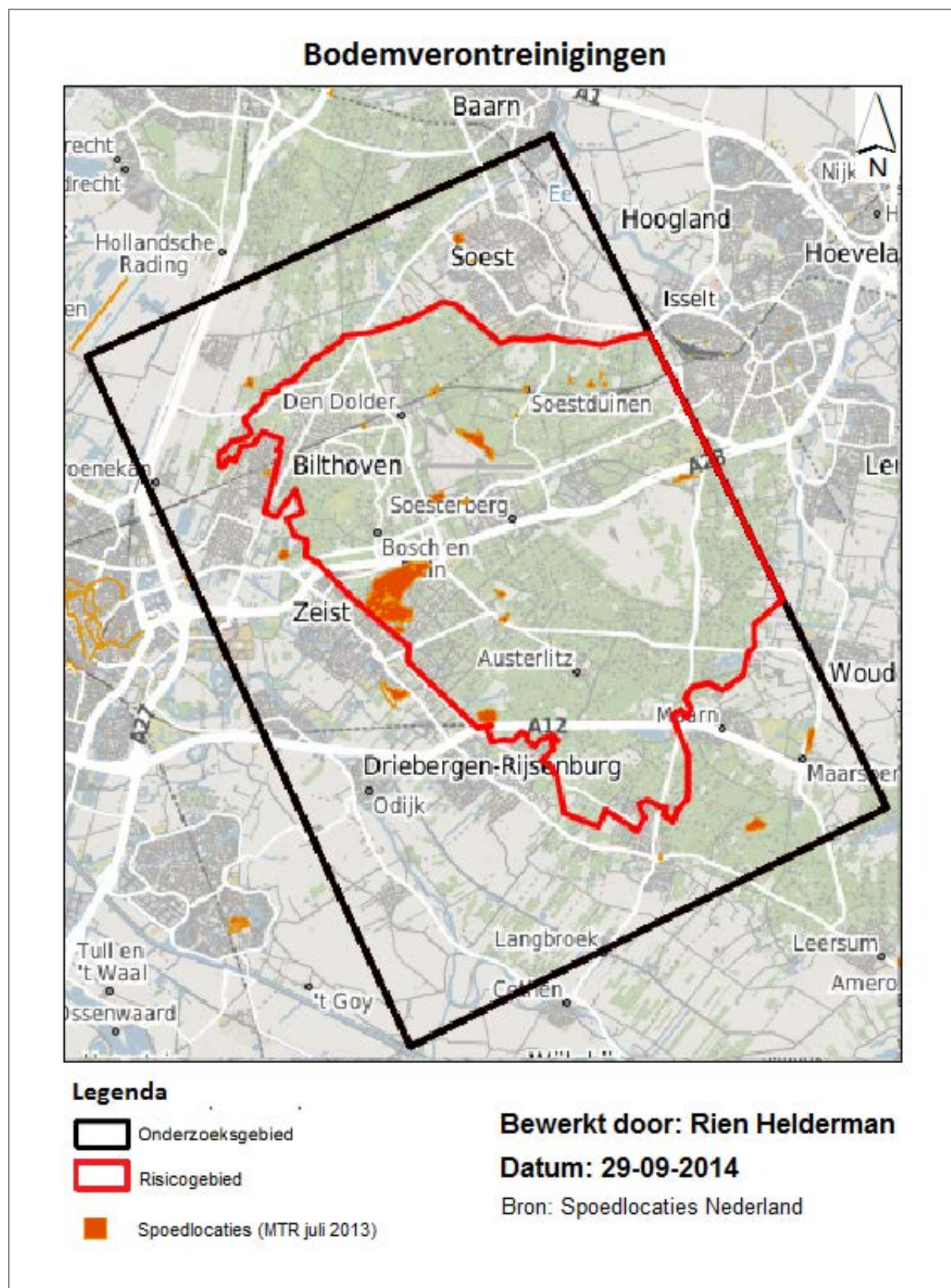
Bijlage 16: Bodemgebruik

(Van Hall Larenstein, 2014)



Bijlage 17: Verontreinigingen

(TTE Consultants, 2014)



Bijlage 19: Meetgegevens peilbuizen**Meetgegevens situatie 1**

NITG nr.	pH	MV (m) t.o.v. NAP	Diepte filter (m) t.o.v. NAP	GWS (m) t.o.v. NAP	Al µg/l	Cd µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Zn µg/l
B32C0487	5,2	8,01	-2,99	1,83	57	0,33	10	98	8,3	19
B32C0412	4,7	4,8	-5,20	2,67	625	0,15	12	26	0,7	7
B32C0412	5,6	4,8	-15,20	2,67	15	0,05	7800	55	4,3	9
B32A0439	4,8	5,95	-6,05	2,55	575	0,4	65	29	8	25

Meetgegevens situatie 2

NITG nr.	pH	MV (m) t.o.v. NAP	Diepte filter (m) t.o.v. NAP	GWS (m) t.o.v. NAP	Al µg/l	Cd µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Zn µg/l
B32C0413	4,7	5	-7,00	0,78	719	0,33	20	8,2	0,84	8,5
B32C0413	5,1	5	-20,00	0,78	122	2,3	10	622	15,3	15
B32C0623	4,6	3,41	-4,29	1,55	4385	0,5	5,5	5,5	7	10

Meetgegevens situatie 3

NITG nr.	pH	MV (m) t.o.v. NAP	Diepte filter (m) t.o.v. NAP	GWS (m) t.o.v. NAP	Al µg/l	Cd µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Zn µg/l
B32C0470	4,9	14,13	-7,87	4,01	1950	0,52	5	120	0,44	14,8
B32C0332	4,5	9,24	-2,41	3,04	5033	0,67	15	52	0,61	21,3
B32C0331	5,7	6,11	-5,89	2,66	176	0,1	20	123	0,4	2
B32C0588	5,5	4,75	-7,25	1,92	224	0,25	53	22	0,77	19,6

Meetgegevens situatie 4

NITG nr.	pH	MV (m) t.o.v. NAP	Diepte filter (m) t.o.v. NAP	GWS (m) t.o.v. NAP	Al µg/l	Cd µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Zn µg/l
B32D0138	7,6	35,58	-6,52	4,84	10	0,25	25	10,1	5	19,7
B32D0136	5,5	10,95	-1,05	4,48	104	0,49	7,93	20,8	3,9	12,5
B32D0136	5,9	10,95	-9,05	4,48	20	0,27	48,3	19,5	5,2	32,9
B32D0139	4,5	8,43	0,43	5,01	3651	0,38	2900	77,8	7	15,3
B32D0166	5,4	5,83	-2,87	4,58	375	0,27	320	95,1	15	24

Meetgegevens situatie 5

NITG nr.	pH	MV (m) t.o.v. NAP	Diepte filter (m) t.o.v. NAP	GWS (m) t.o.v. NAP	Al µg/l	Cd µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Zn µg/l
B32D0165	6,9	45,13	-4,30	5,91	10	0,1	80	10	3,4	56
B32D0165	7,1	45,13	-16,32	5,91	10	0,18	42,7	1	1,7	59,3
B32C0414	4,9	6	-6,00	4,12	367	0,7	5,6	83,4	12,5	29,3
B32C0414	5,6	6	-18,80	4,12	10	0,32	5	5	5,8	26,3
B32C0479	6,0	5,17	-16,83	3,25	10	0,32	5	5	16	17,5

Bibliografie

- Actueel hoogtebestand Nederland. (2013). Opgeroepen op September 19, 2014, van AHN viewer: <http://ahn.geodan.nl/ahn/>
- Alterra Wageningen UR & ministerie van EL&I. (2012, November). *Herstelstrategieën stikstofgevoelige habitats*. Opgeroepen op September 24, 2014, van Ministerie van Economische zaken: <http://pas.natura2000.nl/pages/herstelstrategieen-navigatie-2.aspx>
- Boumans, L., & Fraters, D. (1993). *Cadmium, chroom, lood, zink en arseen in het freatische grondwater van de zandgebieden van Nederland, onder bos en heidevelden*. Bilthoven: RIVM.
- Bruisman, E., Aben, J., Hettelingh, J., van Hinsberg, A., Koelemeijer, R., & Maas, R. (2010). *Zure regen*. Den Haag/Bilthoven: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).
- CEE. (2013, Juni 05). *Info over dynamische modellen*. Opgeroepen op Oktober 06, 2014, van Coordination Centre for Effects : http://wge-cce.org/Methods_Data/Dynamic_Modelling
- De Vries, W. (2008). *Verzuring: oorzaken, effecten, kritische belastingen en monitoring van de gevolgen van ingezet beleid*. Wageningen: Alterra Wageningen UR.
- Gellings, P. (2006). *Inleiding tot corrosie en corrosiebestrijding*. Zoetermeer: Nederlands Corrosie Centrum.
- Grontmij. (2009). *Evaluatie grondwaterkwaliteitsmeetnet Provincie Utrecht*. Houten: Grontmij.
- Lommers, G. (2008). *NOBO: Normstelling en bodemkwaliteitsbeoordeling*. Den Haag: Ministerie van VROM.
- Oasen. (Onbekend). *Zandfiltratie*. Opgeroepen op December 18, 2014, van Drinkwater maken: <http://www.oasen.nl/drinkwater-maken/Paginas/zandfiltratie-Artikel.aspx>
- PBL. (2013, Maart 11). *vraag en antwoord, wat is potentieel zuur*. Opgeroepen op Oktober 03, 2014, van Planbureau voor de leefomgeving: <http://www.pbl.nl/vraag-en-antwoord/wat-is-potentieel-zuur>
- Provincie Utrecht. (2011). *Gebiedsdossier waterwinning Driebergen*. Utrecht: Provincie Utrecht.
- Provincie Utrecht. (2011). *Gebiedsdossier waterwinning Soestduinen*. Utrecht: Provincie Utrecht.
- Provincie Utrecht. (2011). *Gebiedsdossier waterwinning Zeist*. Utrecht: Provincie Utrecht.
- Provincie Utrecht. (2014, Augustus 11). *Grondwater*. Opgeroepen op November 05, 2014, van Vergunning en ontheffing: <https://www.provincie-utrecht.nl/loket/vergunning-aanvragen/grondwater/>
- Recreatie midden Nederland. (2014). *Recreatie Utrechtse Heuvelrug*. Opgeroepen op Oktober 27, 2014, van Recreatie Midden Nederland: <http://www.recreatiemiddennederland.nl/pagina/17/Henschotermeer.html>
- Reijnders, H., van Drecht, G., Prins, H., Bronswijk, J., & Boumans, L. (2004). *De kwaliteit van ondiep en middeldiep grond-water in Nederland in het jaar 2000 en verandering daarvan in de periode 1984-2000*. Bilthoven: RIVM.
- Rijksoverheid. (2009, December 31). *Geochemische oorzaken bij verstopping onttrekkings- en infiltratiemiddelen*. Opgeroepen op Oktober 17, 2014, van Richtlijn herstel en beheer (water)bodemkwaliteit: <http://www.bodemrichtlijn.nl/bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/b-in-situ-reiniging/b4-fysische-technieken/b4-1-spoelen-met-grondwater/onttrekken-grondwater-verstopping-van-onttrekkings-en-infiltrati8563>
- RIVM. (2012). *Depositie potentieel zuur*. Opgeroepen op November 17, 2014, van Grootschalige concentratie- en depositiekaarten Nederland: <http://geodata.rivm.nl/gcn/>
- RIVM. (2013). *Grootschalige concentratie- en depositiekaarten Nederland*. Bilthoven: RIVM.

- Royal Haskoning. (2011). *Gebiedsdossier waterwinning Beerschoten*. Utrecht: Provincie Utrecht.
- Royal Haskoning. (2011). *Gebiedsdossier waterwinning Bilthoven*. Utrecht: Provincie Utrecht.
- SKB. (2009, December 31). *Geochemische oorzaken bij verstopping onttrekkings- en infiltratiemiddelen*. Opgeroepen op Oktober 17, 2014, van Richtlijn herstel en beheer (water)bodemkwaliteit: <http://www.bodemrichtlijn.nl/bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/b-in-situ-reiniging/b4-fysische-technieken/b4-1-spoelen-met-grondwater/onttrekken-grondwater-verstopping-van-onttrekkings-en-infiltrati8563>
- Takeno, N. (2005). *Atlas of Eh-pH diagrams*. Tokyo, Japan: AIST.
- TNO. (2013). *Nomenclator*. Opgeroepen op 09 30, 2014, van Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond: <https://www.dinoloket.nl/nomenclator-ondiep>
- Triferto. (2014). *Kalk op grasland*. Opgeroepen op December 18, 2014, van Bodembemesting: <http://www.triferto.eu/nl/kalk-meststof/kalk-op-grasland>
- Trumpetflowers. (2012, Januari 23). *Mineral & micronutrient absorption by pH value*. Opgeroepen op Oktober 08, 2014, van Garden: <http://www.trumpetflowers.com/text/prevent-garden-problems-before-they-happen.htm>
- TTE Consultants. (2014, Juli). *Cultuur & archeologie*. Opgeroepen op September 29, 2014, van Kansrijke gebieden gebiedsgericht grondwater beheer: <http://www.ggbtool.nl/>
- TTE Consultants. (2014, November 4). *Gisdata*. Deventer, Overijssel, Nederland.
- TTE Consultants. (2014, Juli). *Grondwaterverontreiniging*. Opgeroepen op September 29, 2014, van Kansrijke gebieden gebiedsgericht grondwater beheer: <http://www.ggbtool.nl/>
- Ulrich, B. (1981). Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand. *Zeitschrift für pflanzenernährung und bodenkunde*, Nr144: 289-305.
- van der Sterren, G. *Aluminiumafzettingen. Onderzoek aluminiumproblematiek*. TTE Consultants, Deventer.
- Van der Veen, N. (2013, Oktober 31). *Info over provincie Utrecht*. Opgeroepen op November 05, 2014, van Webkaart provincie Utrecht: <https://webkaart.provincie-utrecht.nl/viewer/app/Webkaart?bookmark=8ad0a09c477c72f60147ca409927000b>
- van Gelderen, J. (2013, September 19). *Info over Provincie Utrecht*. Opgeroepen op september 29, 2014, van Webkaart Provincie Utrecht: <http://webkaartbeta.provincie-utrecht.nl/viewer/app/Webkaart/v1>
- Van Hall Larenstein. (2014, September). *Gisdata*. Velp, Gelderland, Nederland.
- Van Hall Larenstein. (2014, September 26). *Gisdata*. Velp, Gelderland, Nederland.
- Van Vliet, M., Vrijhoef, A., Boumans, L., & Wattel-Koekoek, E. (2010). *De kwaliteit van ondiep en middeldiep grondwater in Nederland*. Bilthoven: RIVM.