

# GEOCHEMISCH BUFFERVERMOGEN VAN DE ONDERGROND:

- Een verkenning van de variatie in redoxreactiviteit en mogelijke effecten op de ruwwaterkwaliteit voor pompstation Grubbenvorst -

▶▶ KIWK 2022-26



## ▶▶ KIWK IN HET KORT

---

Dit rapport is geschreven in het kader van het project **Goed Grondwater nu: schoon drinkwater straks** van de Kennisimpuls Waterkwaliteit.

In de Kennisimpuls werken Rijk, provincies, waterschappen, drinkwaterbedrijven en kennisinstituten aan meer inzicht in de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater en de factoren die deze kwaliteit beïnvloeden. Daarmee kunnen waterbeheerders en andere partijen de juiste maatregelen nemen om de waterkwaliteit te verbeteren en de biodiversiteit te vergroten.

In het programma brengen partijen bestaande en nieuwe kennis bijeen, en maken ze deze kennis (beter) toepasbaar voor de praktijk. Hiermee verstevigen ze de basis onder het waterkwaliteitsbeleid. Het programma is gestart in 2018 en duurt vier jaar. Het wordt gefinancierd door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, STOWA, waterschappen, provincies en drinkwaterbedrijven.

**Kennisimpuls Waterkwaliteit.**

**Beter weten wat er speelt en wat er kan.**

## ▶▶ COLOFON

---

<b>Opdrachtgever</b>	Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK)
<b>Auteurs</b>	Bas van der Grift (KWR), Vincent Post (EDINSI Groundwater) Mariëlle van Vliet (TNO), Joris Dijkstra (TNO), Gijs Janssen (Deltares)
<b>Contact</b>	<a href="mailto:bas.van.der.grift@kwrwater.nl">bas.van.der.grift@kwrwater.nl</a>
<b>Kwaliteitsborging</b>	Niels Hartog (KWR), Falco van Driel (WML)
<b>Projectmanager</b>	Martin van der Schans (KWR)
<b>Gebruikerscommissie Kennisimpuls Waterkwaliteit Goed Grondwater nu: schoon drinkwater straks</b>	
Marian van Asten	Provincie Utrecht
Almer Bolman	Waterschap Vallei en Veluwe
Suzanne van den Bos	Provincie Gelderland
Eric Castenmiller	Provincie Limburg
Janco van Gelderen	Provincie Utrecht
Matthijs ten Harkel	Provincie Brabant
Martin de Jonge	Vitens
Dennis Kos	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Fransisco Leus	ILenT
Mark van Lokven	Waterschap de Dommel
Juliaan Prast	lenW
Birgitta Putters	WML
Sandra Verheijden	Brabant Water
<b>Vormgeving</b>	Shapeshifter.nl   Utrecht
<b>STOWA-rapportnummer</b>	2022-26
<b>ISBN</b>	978.90.5773.999.6
<b>Copyright</b>	De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is kosteloos verkrijgbaar.
<b>Disclaimer</b>	Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteur(s) en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

## ▶▶ VOORWOORD

---

Het Kennisimpuls Waterkwaliteit-project 'Vergrijzing van grondwater door menselijke invloeden met nadruk op langetermijneffecten' richt zich op de kwaliteit van grondwater op de lange termijn. Een van de bedreigingen voor een duurzaam gebruik van het grondwater is de aanwezigheid van veel verschillende antropogene stoffen. Hoewel veel van deze stoffen net onder de norm blijven vormen ze toch een bedreiging voor toekomstig gebruik. Echt schoon grondwater wordt steeds schaarser.

De lange termijn effecten van vergrijzing worden bepaald door het samenspel tussen antropoge verontreinigingen en hoe de bodem hierop reageert. Hoewel er via informatiebronnen als DINO-loket veel bekend is over de geohydrologische opbouw van de ondergrond in Nederland, is er slechts zeer beperkte kennis en informatie beschikbaar met betrekking tot de reactiviteit. De aanwezigheid van reactiviteit bepaalt mede of antropogene verontreinigingen ook op lange termijn gebufferde worden of niet, en welke stoffen vrij komen door reactie van deze verontreinigingen in de ondergrond. Zo kan afbraak van nitraatverontreiniging bijvoorbeeld leiden tot een toename van de hardheid wat ook tot extra zuiveringsinspanningen leidt.

In dit rapport is voor een boring nabij winning Grubbenvorst in beeld gebracht hoe de reactiviteit van de bodem in elkaar zit: welke lagen zijn reactief, en welke hebben weinig bufferende werking. Hieruit bleek dat diepere geologische lagen waaruit grondwater wordt gewonnen weinig reactief vermogen hebben waardoor nitraat dat eenmaal in dit pakket terecht komt waarschijnlijk niet meer zal worden afgebroken voordat het wordt opgepompt. De winning is dus kwetsbaarder dan eerder voorzien. Een belangrijke aanbeveling van het onderzoek is om vaker reactiviteitsbepalingen op sediment uit boringen uit te gaan voeren om zo een beter beeld te krijgen van de geochemische kwetsbaarheid van de ondergrond.

### **Eric Castenmiller (Provincie Limburg)**

*Voorzitter gebruikerscommissie 'Goed Grondwater nu: schoon drinkwater straks'*



## ►► SAMENVATTING

---

Door antropogene activiteiten wordt het schone, traag stromende grondwater tot steeds grotere diepten verontreinigd met veel verschillende stoffen. De ondergrond heeft op veel plaatsen een zeker geochemisch buffervermogen, dat ervoor zorgt dat bepaalde agrarische en industriële verontreinigingen in grondwater zoals zwavelzuur, nitraat, gechloreerde koolwaterstoffen en pesticiden door reacties worden afgebroken. Over het algemeen is de Nederlandse ondergrond gereduceerd (zuurstofloos) door de natuurlijke aanwezigheid van de reactieve bestanddelen als organisch materiaal en ijzersulfides. Reactieve bestanddelen in de bodem en ondergrond zorgen voor afbraak of omzetting van reactieve stoffen. Dit onderzoek is uitgevoerd om te verkennen hoe beter inzicht in deze reactiviteit de kwetsbaarheid van grondwaterwinningen voor uitspoeling van stoffen vanaf maaiveld kan helpen bepalen.

De belangrijkste doelstelling van dit onderzoek was te bepalen hoe gedetailleerde, locatie-specifieke geochemische metingen en reactiviteitsbepalingen kunnen helpen om de ontwikkeling van grondwaterkwaliteit gedurende stroming richting pompstations beter te begrijpen en de kwaliteitsontwikkeling van ruwwater te kunnen duiden en voorspellen.

Voor het verkrijgen van sedimentmonsters is een boring gezet in het grondwaterbeschermingsgebied van de winning Grubbenvorst. Geochemische metingen op de sedimentmonsters hebben we gebruikt om de gehalten aan reactieve bestanddelen te bepalen. Daarnaast hebben we de reactiviteit van de sedimentmonsters ten opzichte van oxiderende stoffen bepaald door het zuurstofverbruik van de sedimenten gedurende batch labexperimenten met de micro-oxymax bepaald. Samen met de gemeten koolzuurproductie tijdens de experimenten en de watersamenstelling aan het eind van het experiment is de aard van de optredende reactieve processen afgeleid. Daarnaast zijn voor de drinkwaterwinning Grubbenvorst van WML de mogelijke lange termijn effecten van de uitspoeling van verzurende en oxiderende stoffen (nitraat en sulfaat) op de ruwwaterkwaliteit doorgerekend met een reactief stoftransportmodel. De resultaten van verschillende modelscenario's op de ruwwaterkwaliteit zijn vergeleken waarbij achtereenvolgens gebruik gemaakt werd van: 1) landelijk beschikbare geochemisch data, 2) lokaal verkregen bulk geochemische data en 3) lokaal verkregen bulk geochemische data aangevuld met reactiviteitsbepalingen op sedimentmonsters met de micro-oxymax.

De reactiviteitsmetingen laten duidelijk zien in welke mate geologische lagen in de boring reactief zijn met betrekking tot oxiderende stoffen. Tevens kan de vaste fase die reactief is (bijv. pyriet, organisch materiaal) worden vastgesteld. De metingen tonen aan dat de geologische laagpakketten boven de (ondiepe) kleurovergang van het sediment in de boring van bruin naar grijs geen bufferende werking hebben tegen oxiderende stoffen die vanaf maaiveld uitspoelen. Bulk geochemische metingen en de daarvan afgeleide maximale gehalten reductieve fasen wijzen inderdaad op lage gehalten in deze laagpakketten. Echter, deze lage waarden lijken toch nog een overschatting te geven ten opzichte van de (afwezigheid van de) reactiviteit zoals die met de Oxymax-metingen in deze laagpakketten is vastgesteld. Daarnaast kon met de reactiviteitsmetingen bepaald worden welke reactieve bestanddelen ook daadwerkelijk reageren. De reactiviteitsmetingen met de Oxymax vergroten daarmee het inzicht in de mate waarin de gemeten hoeveelheden van reactieve fasen die aanwezig zijn, daadwerkelijk reactief zijn. Tevens tonen de metingen aan dat de sedimentmonsters uit het tweede watervoerende pakket onder de redoxovergang en de reactieve weerstandbiedende lagen nauwelijks reductieve reactiviteit hebben. Dat suggereert dat wanneer eenmaal nitraat in dit WVP terecht komt, dit waarschijnlijk niet meer zal worden afgebroken voordat het wordt opgepompt.

De verschillende modelparameterisaties hebben grote invloed op de waterkwaliteitsontwikkelingen langs een stroombaan. Scenario 3) waarbij gebruik gemaakt wordt van de reactiviteitsmetingen met de micro-oxymax is het enige dat juist voorspelt dat het grondwater in de ondiepe formaties van Boxtel en Beegden nitraathoudend is. Het geochemisch buffervermogen tegen oxiderende stoffen is in dit gebied geconcentreerd in relatief dunne (weerstandbiedende) lagen waarvan de verbreiding ook nog onzeker is. Het is daarom voor de samenstelling van het ruwwater belangrijk te weten welke geologische lagen de stroombanen doorsnijden en welke weerstandbiedende reactieve lagen juist niet worden doorstroomd. Als een stroombaan om de reactieve lagen heen stroomt in plaats van er doorheen, bijvoorbeeld als gevolg van doorboring

gen, bestaat het risico dat nitraat houdend grondwater zonder verdere afbraak richting de winning zal stromen. Hierdoor lijkt de winning Grubbenvorst kwetsbaarder voor doorbraak van oxiderende stoffen dan op voorhand werd ingeschat.

De resultaten van dit onderzoek geven aan dat experimentele reactiviteitsbepalingen grote potentie bieden voor het bepalen van de kwetsbaarheid van een winning, waar dat van afhangt en welke ruwwaterkwaliteitsontwikkeling te verwachten zijn. Op basis van het onderzoek naar deze potentie voor de casus Grubbenvorst zijn de volgende aanbevelingen geformuleerd:

- \* De reactiviteitsbepalingen met de micro-oxymax metingen zijn uitgevoerd op monsters één boring en vervolgens is de gemeten reactiviteit van de afzonderlijke laagpakketten op deze plek representatief is gesteld voor dit laagpakket in het gehele intrekgebied van de winning. Er wordt dus geen rekening gehouden met een eventuele ruimtelijke variatie in redoxreactiviteit binnen laagpakketten. Om met de bandbreedte in reactiviteit rekening te kunnen worden aanbevolen om de reactiviteit van alle relevante laagpakketten op tenminste op twee locaties te bepalen.
- \* De combinatie van reactiviteitsbepalingen op genomen sedimentmonsters kunnen samen met de inzichten uit de verticale variatie in grondwaterkwaliteit met waarnemingsfilters binnen het intrekgebied worden gebruikt om variaties in grondwaterkwaliteit en doorwerking naar ruwwaterkwaliteit beter worden geduid.
- \* In de gebruikte stroombaanbenadering zijn zes stroombanen geselecteerd die elk representatief zijn voor het aandeel van een bepaalde verblijftijdsklasse aan de ruwwatersamenstelling. Deze stroombaananalyse is zeer nuttig gebleken om de hydrogeochemische processen in de ondergrond te begrijpen. Voor een modelvoorspelling van de ruwwaterkwaliteit op de lange termijn is een 3D model waarschijnlijk beter toegesneden. Dan kunnen ook de effecten van putschakelingen, opkegeling van zout grondwater en de bijdrage van andere watertypen in de modelvoorspelling mee worden genomen.
- \* De concentraties van het water dat uitspoelt vanuit de landbouwgebieden en hoe deze variëren in de tijd hebben een grote onzekerheid maar zijn wel sterk bepalend voor de modeluitkomsten doordat deze de oxidantbelasting en dus het verbruik van redox reactiviteit bepalen. Een nauwkeuriger bepaling hiervan kan de modelonzekerheid verminderen. Met name voor de toekomst liggen hier mogelijkheden door een intensievere monitoring van ondiep grondwater in het intrekgebied. Anderzijds zijn er landelijk gezien al best veel meting van het bovenste grondwater, ook in grondwaterbeschermingsgebieden maar deze zijn vanwege privacy redenen sterk veralgemeniseerd. Tenslotte kan een beter inzicht van de belasting uit het verleden worden verkregen door het grondwater te dateren met de tritium-helium methode.
- \* De belangrijkste watervoerende pakketten onder de weerstand biedende reactieve lagen (Kik1, Kik2 maar mogelijk ook de WAK1) bevatten nauwelijks redoxreactiviteit. Omdat de uitspoeling van nitraathoudend water en andere verontreinigingen naar deze diepere lagen zo veel mogelijk zal moeten worden tegengegaan wordt aanbevolen om na te denken over het voorkomen van doorboringen in het intrekgebied en of het mogelijk is de zwakke plekken in WAK1 en Kik1 beter in kaart te brengen.

Daarnaast is er nog algemene aanbevelingen op basis van dit onderzoek geformuleerd:

- \* Voor de drinkwatersector en grondwaterkwaliteitsbeheerders is het van belang om op een zoveel mogelijk gestandaardiseerde wijze lokale data te krijgen over de geochemische bulksamenstelling van de ondergrond en de vertaling hiervan naar de geochemische reactiviteit van het sediment. Een logische stap voor waterbedrijven is om bij de aanleg van putten en peilbuizen geochemisch onderzoek uit te voeren op een vergelijkbare manier als in dit onderzoek voor de boring Lottum is gedaan. Om dit te stroomlijnen wordt aanbevolen een verkenning uit te voeren of een samenwerking met het Geowetenschappelijk Informatie Programma (GIP) van TNO mogelijk is.

## ▶▶ INHOUD

---

	<b>Kennisimpuls Waterkwaliteit in het kort</b>	2
	<b>Voorwoord</b>	4
	<b>Samenvatting</b>	5
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	8
1.1	Aanleiding	8
1.2	Doelstelling	8
1.3	Aanpak op hoofdlijnen	9
<b>2</b>	<b>GEBIEDSBESCHRIJVINGEN WINNING GRUBBENVORST</b>	10
2.1	Beschrijving winning	10
2.2	Geohydrologie	11
2.3	Hydrochemie	14
<b>3</b>	<b>GEOCHEMISCHE VELDMETINGEN</b>	24
3.1	Boringen Lottum B52G3501	24
3.2	Sediment geochemie	25
3.3	Reactiviteitsbepalingen met de Micro-oxymax	26
3.4	Discussie	30
<b>4</b>	<b>EVOLUTIE VAN DE REISTIJDEN EN STROOMBANEN</b>	33
4.1	Stroombaanberekeningen	33
4.2	Resultaten	35
4.3	Discussie	36
<b>5</b>	<b>GEMODELLEERDE ONTWIKKELING RUWWATERKWALITEIT</b>	42
5.1	Werkwijze	42
5.2	Vergelijken van verschillende reactiviteitsinput om toekomstige ontwikkeling waterkwaliteit te verkennen	44
5.3	Scenario's nitraatuitspoeling en gaten/doorboringen kleilaag	47
5.4	Resultaten	47
5.5	Discussie	54
<b>6</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b>	56
<b>7</b>	<b>REFERENTIES</b>	59
<b>BIJLAGE 1</b>	<b>OVERZICHT PUTTEN</b>	60
<b>BIJLAGE 2</b>	<b>BOORBESCHRIJVING BORING LOTTUM B52G3501</b>	62
<b>BIJLAGE 3</b>	<b>RESULTATEN MICRO-OXYMAX</b>	76

## ▶▶ 1 INLEIDING

### 1.1 AANLEIDING

Door antropogene activiteiten wordt het schone, traag stromende grondwater tot steeds grotere diepten verontreinigd met veel verschillende stoffen. De ondergrond heeft op veel plaatsen een zeker geochemisch buffervermogen door de aanwezigheid van reactieve bestanddelen in de bodem en ondergrond die ervoor zorgen dat bepaalde agrarische en industriële verontreinigingen zoals zwavelzuur, nitraat, gechloreerde koolwaterstoffen en pesticiden door natuurlijke reacties worden tegengehouden/afgebroken. Over het algemeen is de Nederlandse ondergrond gereduceerd (zuurstofloos) door de natuurlijke aanwezigheid van de reactieve bestanddelen die met percolerende oxidanten kunnen reageren, zoals sedimentair organisch materiaal en ijzersulfides. Een bekend voorbeeld is de afbraak van nitraat wanneer dit in aanraking komt met pyriethoudende lagen in de ondergrond. Hierdoor wordt nitraat gereduceerd tot stikstofgas en komen sulfaat, calcium, ijzer en sporemetalen vrij in het gereduceerde grondwater. Hoewel de verwijdering van nitraat positief is, kunnen deze vrijkomende stoffen een bedreiging vormen voor de drinkwatervoorziening in bepaalde gebieden, afhankelijk van het landgebruik en de samenstelling van bodem en ondergrond. In de praktijk leidt dit tot een toename van de kosten van zuivering voor de drinkwaterbereiding. Ook kunnen deze stoffen via kwelstromen het oppervlaktewater belasten. Dit kan ertoe bijdragen dat de KRW-normen voor het oppervlaktewater in bepaalde gebieden niet worden gehaald. Een toename van de ijzerconcentratie van het grondwater is voor agrariërs zelf ook ongunstig als dit grondwater ook wordt gebruikt. Ijzer in grondwater kan namelijk leiden tot verstoppingsproblemen van beregeningsputten.

Er is weliswaar al het een en ander bekend over het voorkomen van pyriet en andere reactieve bestanddelen zoals organisch materiaal en calciumcarbonaat in de ondergrond (zie bijvoorbeeld Van der Grift *et al.*, 2022). Maar relatief weinig is bekend over de reactiviteit van die bestanddelen om stoffen als nitraat af te breken. Een belangrijk aspect hierbij is welke van de aanwezige reactieve bodembestanddelen bijdragen om oxidanten af te breken, want dit heeft een grote invloed op de stoffen die vrijkomen bij geochemische bufferreacties maar ook op het lot van andere ongewenste stoffen in de ondergrond zoals organisch microverontreinigingen. Op de lange termijn is het tevens onduidelijk hoe nitraat en ongewenste afbraakproducten zich verder met de grondwaterstroming kunnen verplaatsen naar kwetsbare winningen, grondwaterafhankelijke natuur en andere objecten die kwetsbaar zijn voor verontreiniging.

### 1.2 DOELSTELLING

Doel van dit onderzoek was om te evalueren hoe meer inzicht verkregen kan worden in de redox reactiviteit van de ondergrond, welke reactieve bestanddelen (bv pyriet, sideriet, glauconiet, sedimentair organisch materiaal) daar aan bijdragen en hoe dat varieert. Eveneens wilden we verkennen welke meerwaarde dit inzicht kan hebben voor het duiden van geobserveerde grondwaterkwaliteit variatie en ontwikkeling op de lange termijn. Gedurende de afgelopen decennia is de sulfaat- en ijzerconcentratie van het ruwwater van de drinkwaterwinning Grubbenvorst van de WML toegenomen. Daarom is voor dit onderzoek deze drinkwaterwinning als casus gediend voor de karakterisering van de reactiviteit in de ondergrond en voor de evaluatie van de potentiële betekenis en meerwaarde daarvan voor de lange termijn ontwikkeling van de ruwwaterkwaliteit. Deze effecten van de uitspoeling van verzurende en oxiderende stoffen ( $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$  en  $\text{NH}_y$ ) vanuit de bovengrond naar het grondwater op de ruwwaterkwaliteit zijn daarvoor met een reactief stoftransportmodel door gerekend.

Specifieke doelstelling van de case-studie Grubbenvorst waren:

- Inschatten toegevoegde waarde van locatie specifieke metingen van geochemisch gehalten en reactiviteit ten opzichte van het gebruik van bestaande landelijk data.
- Het evalueren van hoe experimentele reactiviteitsbepalingen op verkregen sedimenten het inzicht in de buffering van percolerende oxidanten voor een grondwatersysteem kan vergroten.
- Onderzoeken wat de invloed is van geochemisch bufferreacties op de ruwwaterkwaliteit op lange termijn en in welke mate het buffervermogen wordt aangetast (zichtlijn 2100).
- Onderzoeken wat de invloed is van doorboringen en discontinuïteiten in reactieve laagpakketten op de geochemische uitloging en ontwikkeling van ruwwaterkwaliteit op lange termijn.

### 1.3 AANPAK OP HOOFDLIJNEN

Voor het verkrijgen van sedimentmonsters is een boring gezet in het grondwaterbeschermingsgebied van de winning Grubbenvorst. Op basis van geochemische metingen op de sedimentmonsters zijn de gehalten reactieve bodembestanddelen bepaald. Daarnaast hebben we de reactiviteit van de sedimentmonsters ten opzichte van oxiderende stoffen bepaald door het zuurstofverbruik van de sedimentmonster in batchexperimenten met de micro-oxymax te meten. Samen met de gemeten koolzuurproductie tijdens de experimenten en de watersamenstelling aan het eind van het experiment is de aard van de optredende reactieve processen afgeleid.

De lange termijn voorspellingen voor de ruwwaterkwaliteit van de winning Grubbenvorst zijn vervolgens gesimuleerd met verschillende 1D stroombaanmodellen in PHREEQC (Parkhurst & Appelo, 2013). De gebruikte stroombanen zijn gebaseerd op het regionale grondwatermodel IBRAHYM v2.1. Er zijn een beperkt aantal stroombanen doorgerekend die representatief zijn voor het deel van het onttrokken grondwater van de winning Grubbenvorst met een verblijftijd in de bodem jonger dan 200 jaar. De sommatie van deze stroombanen is dan representatief verondersteld voor de lange termijn ontwikkeling van de ruwwaterkwaliteit. Uitgangspunten van het model zijn de geochemische reactiviteit van ondergrond en historische reeksen met de uitspoeling van verzurende en oxiderende stoffen vanaf maaiveld. De keuze voor een stroombanenmodel in PHREEQC ten opzichte van een 2D of volledig 3D model in PHT3D is gebaseerd op verwachte rekentijden.

De geochemische processen die met het model worden gesimuleerd zijn: oplossen/neerslaan kalk, afbraak organisch materiaal, pyrietoxidatie, kationuitwisseling, Fe-hydroxyde evenwicht, sideriet evenwicht eventueel aangevuld met oppervlakte complexatie. Hiermee wordt getracht ten minste de ontwikkeling van de concentraties Ca, Mg, SO<sub>4</sub> en Fe in het onttrokken grondwater te simuleren.

Om de gevoeligheid van de modelresultaten voor de verschillende methoden voor de inschatting van reactiviteit te bepalen is de langjarige ontwikkeling van de ruwwaterkwaliteit op drie methodes berekend. Deze methodes verschillen in herkomst van geochemische parameters (pyriet, organisch materiaal, kalk, CEC, reactief ijzer (Fe-hydroxides):

- 1) Data uit landsdekkende studie die ook ten grondslag ligt aan het Landelijk Waterkwaliteitsmodel. Dit betreft de data uit de rapportage van Huisman *et al.* (2016)
- 2) Lokaal verkregen geochemisch parameters uit de studie van Althuizen (2021) en de boring die ten behoeven van het KWIK project is gezet in het intrekgebied van de winning Grubbenvorst. Dit betreffen de bulk geochemisch gehalten aan reactieve bestanddelen.
- 3) Data uit methode 2 aangevuld met de reactiviteitsmetingen met de Micro-oxymax. Met de Micro-oxymax wordt primair beoogd inzicht te krijgen in de reactiviteit van redoxgevoelige bodembestanddelen zoals organisch materiaal, pyriet en sideriet bij blootstelling van een sedimentmonster aan zuurstof. Deze methode geeft inzicht in de redoxreactiviteit van een sedimentmonster en de optredende oxidatieprocessen.

Met deze drie methodes is getracht de toegevoegde waarde van gebiedsspecifieke data van geochemisch gehalten en reactiviteit ten opzicht van landelijk data inzichtelijk te maken. Het modelinstrument is vervolgens ingezet om een scenario tot 2100 door te rekenen. Het stroombanenmodel is ten slotte gebruikt om invloed van doorboringen en discontinuïteiten in reactieve laagpakketten op de kwaliteit van het ruwwater te verkennen.

Het stroombanenmodel rekt hydrologische stationair van de start van de winning Grubbenvorst (1950) tot 2120. De initiële waterkwaliteit in 1950 in de verschillende geologische formaties is ingeschat door middel van een historische modellering (1900-1950) waarbij de winning nog niet in het stroombanenmodel aanwezig is.



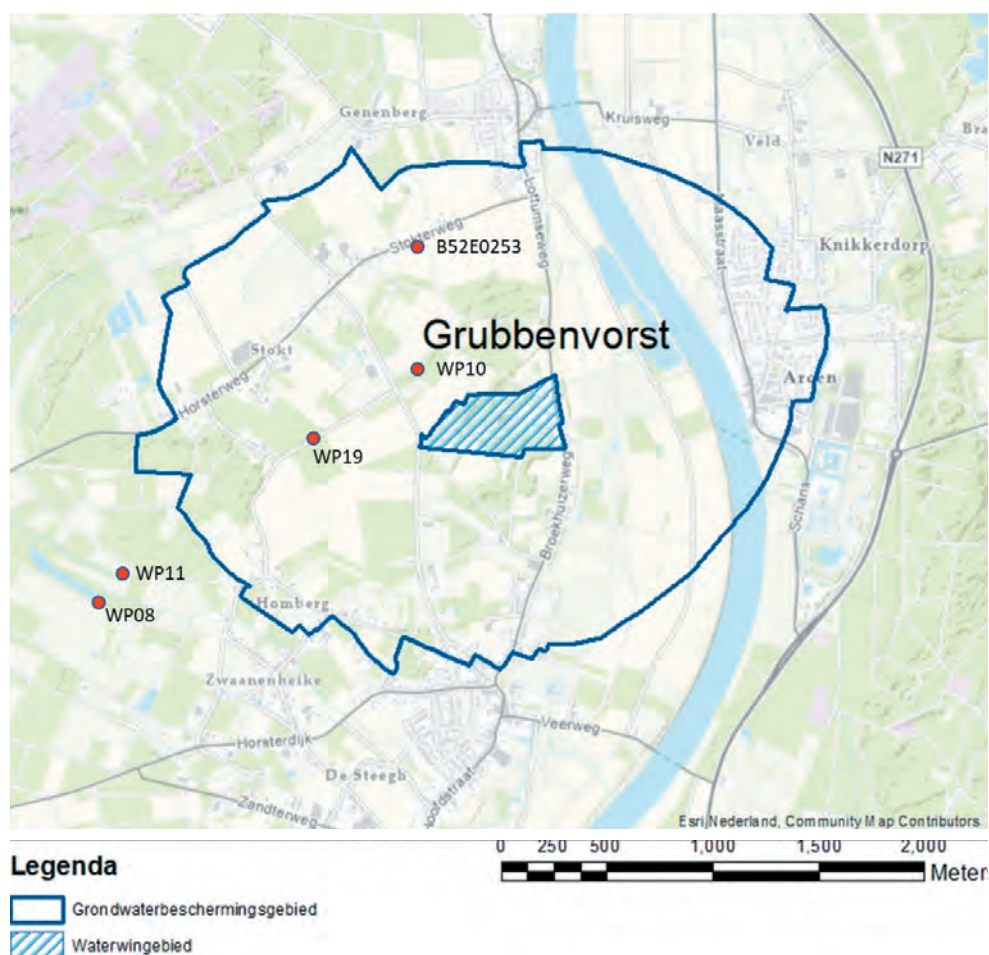
## ►► 2 GEBIEDSBESCHRIJVINGEN WINNING GRUBBENVORST

### 2.1 BESCHRIJVING WINNING

De winning Grubbenvorst ligt ongeveer 1.5 km ten noorden van Lottum aan de westoever van de Maas (Figuur 2.1). De Maas loopt ongeveer 800 meter ten oosten van de winning. Het landgebruik in het grondwaterbeschermingsgebied is overwegend akkerbouwland en grasland afgewisseld met natuurgebied, voornamelijk loof- en naaldbossen. In het westelijk deel van het grondwaterbeschermingsgebied ligt het natuurreservaat Schuitwater, een oude Maasgeul. Hier ontspringt de Broekhuizen Molenbeek die ten noorden van het grondwaterbeschermingsgebied in de Maas uitmondt. In het oosten breidt het grondwaterbeschermingsgebied zich uit tot over de Maas waardoor een deel van de bebouwde kom van Arcen zich ook in het grondwaterbeschermingsgebied bevindt.

### FIGUUR 2.1

Ligging van winning Grubbenvorst met situering waterwingebied en grondwaterbeschermingsgebied en de waarnemingsputten in de omgeving van het waterwingebied.



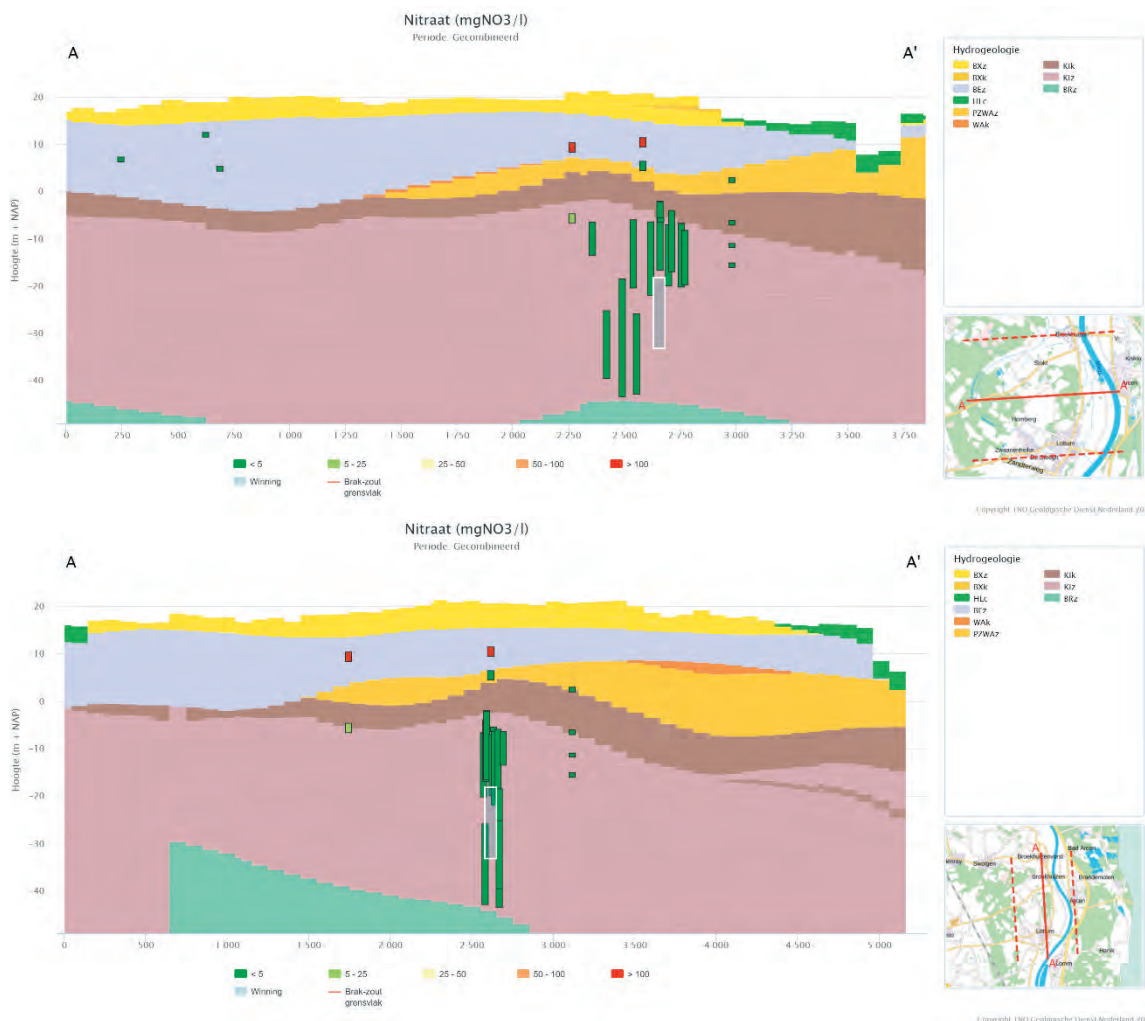
De winputten liggen verspreid over het waterwingebied, dat een oppervlakte heeft van 16.3 ha. De vergunde winhoeveelheid grondwater voor de winning Grubbenvorst bedraagt 3.0 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Het maaiveld in het puttenveld varieert van 18.4 tot 21.7 m +NAP. De filters van de pompputten liggen alle in het tweede watervoerende pakket op een diepte van 22 tot 65 m-mv.

## 2.2 GEOHYDRLOGIE

In **Figuur 2.2** is de geohydrologische opbouw rond de winning Grubbenvorst weergegeven in een west-oost profiel en een noord-zuid profiel op basis van REGIS II v2.2 (REGional Geohydrological Information Systeem) (Hummelman *et al.*, 2019b). Aan het oppervlak ligt een deklaag behorende tot de zandige en leemafzettingen van eolische formatie van Bostel (respectievelijk Bxz2 en Bxk2). Hieronder liggen de grove, grindhoudende Maas afzettingen van de Formatie van Beegden uit het laat pleistoceen (Maasterrassen) en de vroeg-pleistocene Rijn- en Maasafzettingen behorende tot Formatie van Peize-Waarle. De Waarleklei (WAK) (ook wel Tegelenklei genoemd) wordt discontinue tussen deze formaties aangetroffen. De Formatie van Beegden en de Formatie van Peize-Waarle worden tezamen als eerste watervoerende pakket beschouwd. Aan de onderkant wordt de Formatie van Peize-Waarle afgesloten door de slecht doorlatende kleilaag van de fluviatiele Kiezeloöliet-formatie (Kik1) uit het laat Mioceen tot Pliocene. Voorheen werd de laag de Venlo klei genoemd. Deze laag bestaat niet alleen uit klei, maar ook uit bruinkool. Hieronder liggen grindhoudende zanden van de Kiezeloöliet-formatie, eveneens uit het laat Mioceen tot Pliocene. Dit is het tweede watervoerende pakket. In het waterwingebied komt binnen de Kiezeloöliet formatie ongeveer halverwege het tweede watervoerende pakket komt nog een tweede kleilaag voor (Kik2). Deze is niet in het REGIS profiel zichtbaar maar is in de boringen van de pomp en waarnemingsputten op het puttenveld wel degelijk aangetroffen (Swierstra & Van Driel, 2018). De geohydrologische basis is de Formatie van Breda en bestaat veelal uit mariene zanden en kleien uit het laat Oligoceen tot vroeg Pliocene.

**FIGUUR 2.2**

*Geohydrologisch west-oost profiel (boven) en noord-zuid profiel (onder) winning Grubbenvorst met hierin afgebeeld de nitraatconcentraties van waarnemingsputten en pompputten die binnen de rode stippellijnen op het overzichtskaartje liggen (bron: [www.grondwatertools.nl](http://www.grondwatertools.nl)).*

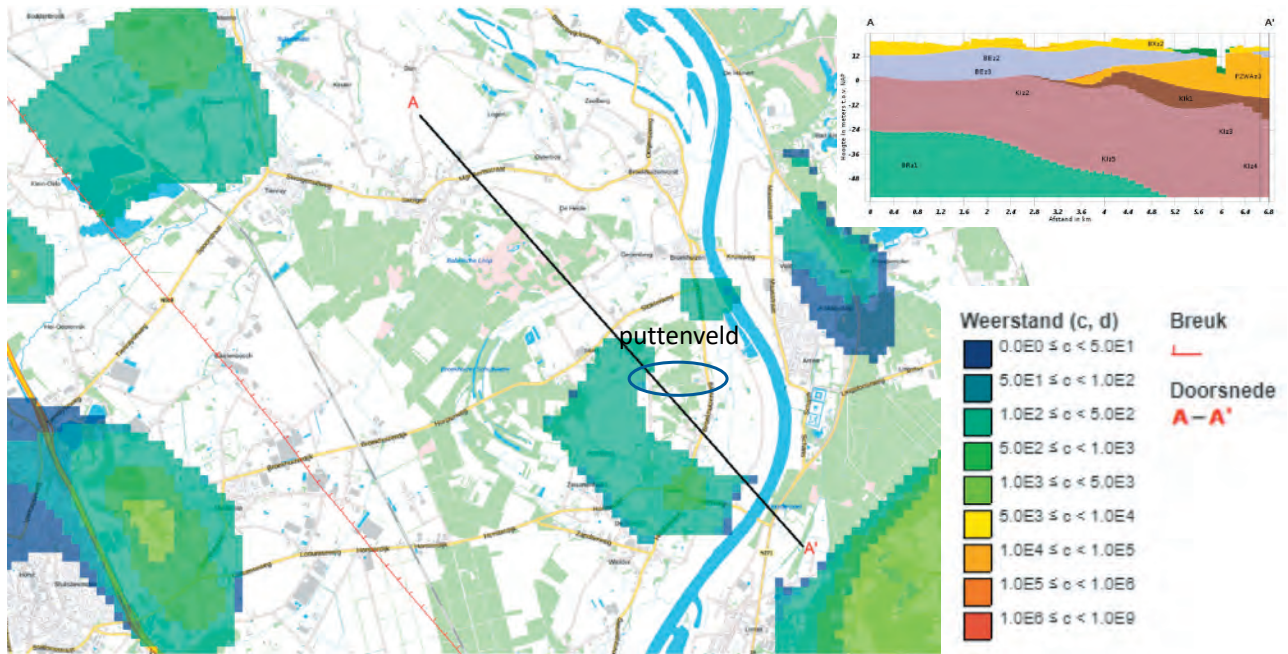




De weerstandbiedende lagen WAK en Kik1 vormen dus een belangrijke bescherming voor de winning tegen verontreinigingen die vanaf maaiveld in het grondwater komen. Deze lagen zijn niet overal aanwezig. De gaten in deze lagen zijn waarschijnlijk het gevolg van rivier-erosie na de periode waarin deze lagen zijn gevormd. Volgens REGIS II v2.2 komt de Wak niet voor ter plaatse van de winning Grubbenvorst (Figuur 2.3), maar wel in de directe omgeving van de het puttenveld. De Kik1 komt ter plaatse van winning Grubbenvorst voor. Naar het noordnoordwesten toe wigt deze uit (Figuur 2.4). De Kik2 komt volgens REGIS II v2.2 ter plaatse van winning Grubbenvorst niet voor (Figuur 2.5).

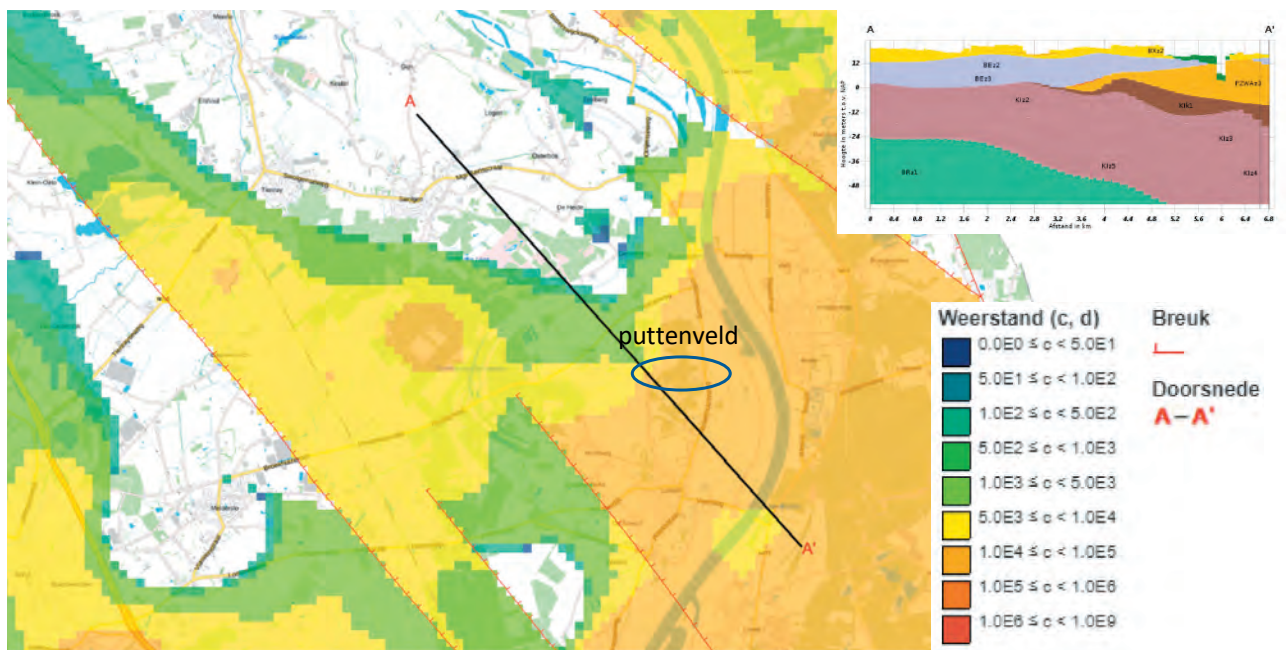
**FIGUUR 2.3**

Verbreiding en weerstand Formatie van Waalre, eerste kleiige eenheid (BRO REGIS II v2.2).



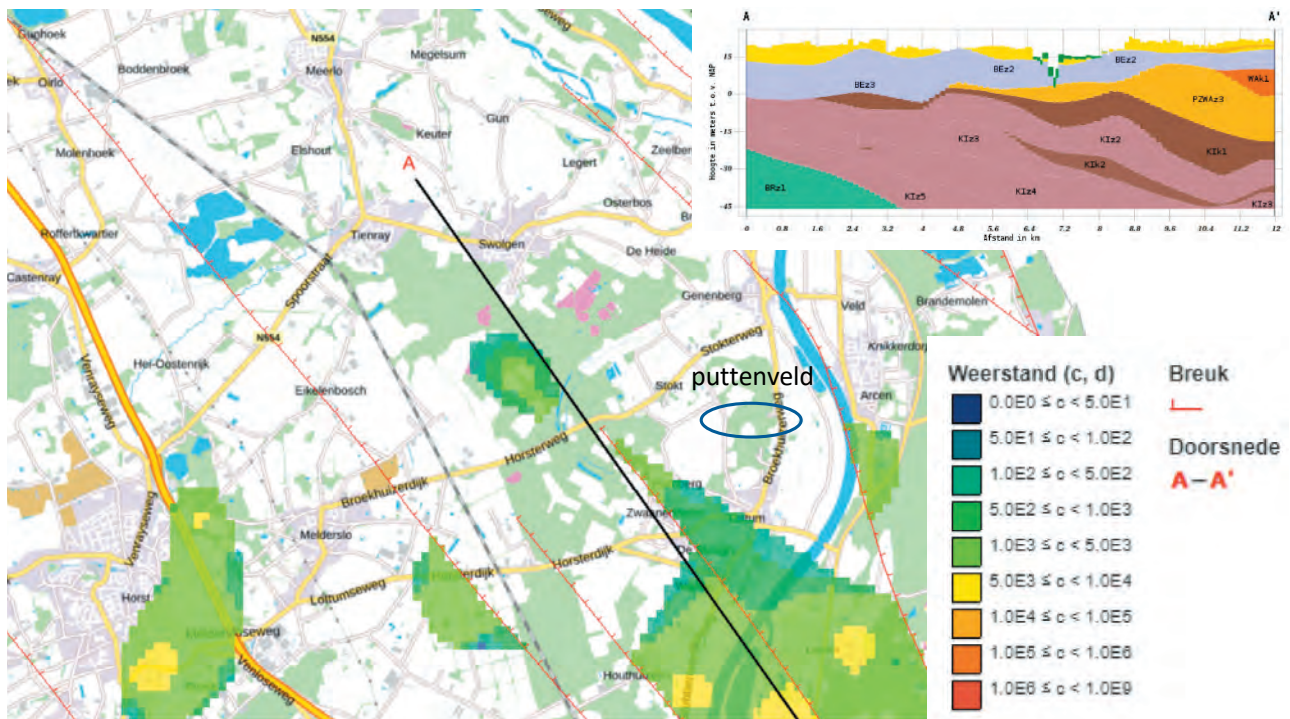
**FIGUUR 2.4**

Verbreiding en weerstand Kiezeloöliet Formatie, eerste kleiige eenheid, Kik1 (BRO REGIS II v2.2).



**FIGUUR 2.5**

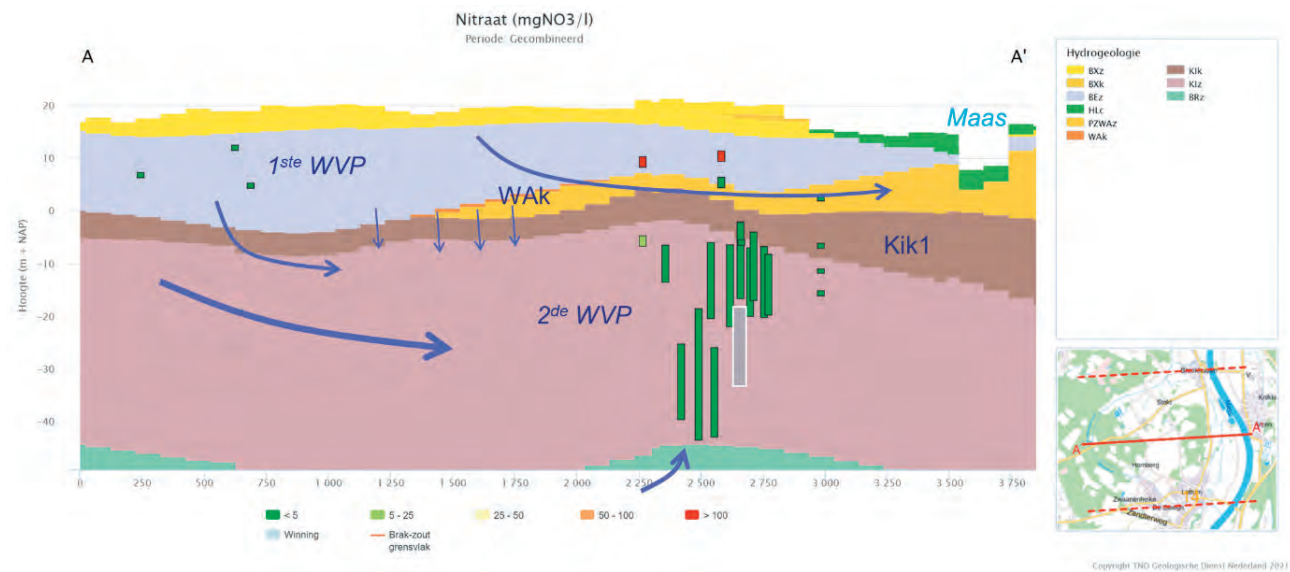
Verbreiding en weerstand Kiezeloëliet Formatie, tweede kleiige eenheid, Kik2 (BRO REGIS II v2.2).



Het opgepompte water een van de winning Grubbenvorst mengsel is van water afkomstig uit landbouwgebieden, natuur en oud grondwater van grotere diepte en bevat geen nitraat (Figuur 2.6).

**FIGUUR 2.6**

Schematisch west-oost profiel van grondwaterstroming en gemeten nitraatconcentraties ([www.grondwaterkwaliteitinbeeld.nl](http://www.grondwaterkwaliteitinbeeld.nl))





## 2.3 HYDROCHEMIE

### 2.3.1 Inleiding

WML heeft van pompstation Grubbenvorst grondwaterkwaliteitsdata beschikbaar gesteld van pompfilters, waarnemingsfilters, ruwwater en reinwater. Voor de pompputten is data beschikbaar van de periode 1985 tot heden en enkele oudere metingen en voor de waarnemingsputten voor 1989 tot heden.

De analyseresultaten en de meta-informatie van de putten zijn aangeleverd in twee aparte bestanden. Na het koppelen van deze bestanden zijn aanvullende gegevens toegekend aan de data: Geotop (Stafleu *et al.*, 2011, 2012), landgebruik (gebaseerd op CORINE Land Cover, 2018), DGM (Digital Geological Model) (Hummelman *et al.*, 2019a), REGIS II v2.2 (Hummelman *et al.*, 2019b) en diepteklasse.

Aansluitend is kwaliteitscontrole op de data uitgevoerd en de redoxklasse (gebaseerd op Graf Pannatier *et al.*, 2000) toegekend. Voor 333 van 3008 analyses is een volledig analyseresultaat beschikbaar waarop een ionenbalans kan worden berekend. Van de overige analyses zijn van de macroparameters meestal chloride en sulfaat geanalyseerd. [Figuur 2.1](#) geeft een overzicht van het waterwingebied en waarnemingsfilters.

### 2.3.2 Grondwaterkwaliteit huidige situatie en pre-winning

#### Huidige situatie

[Figuur 2.7](#) toont de concentraties van nitraat, mangaan, ijzer, sulfaat, calcium en chloride tegen de diepte (m-maaiveld) voor de huidige situatie (2019-2021) voor zowel de pompfilters als de waarnemingsfilters.

Nitraat ([Figuur 2.7](#), linksboven) is alleen aanwezig in de ondiepe waarnemingsfilters tot ca 15 m-mv (WP10 fl 1 en 2, WP16 fl1).

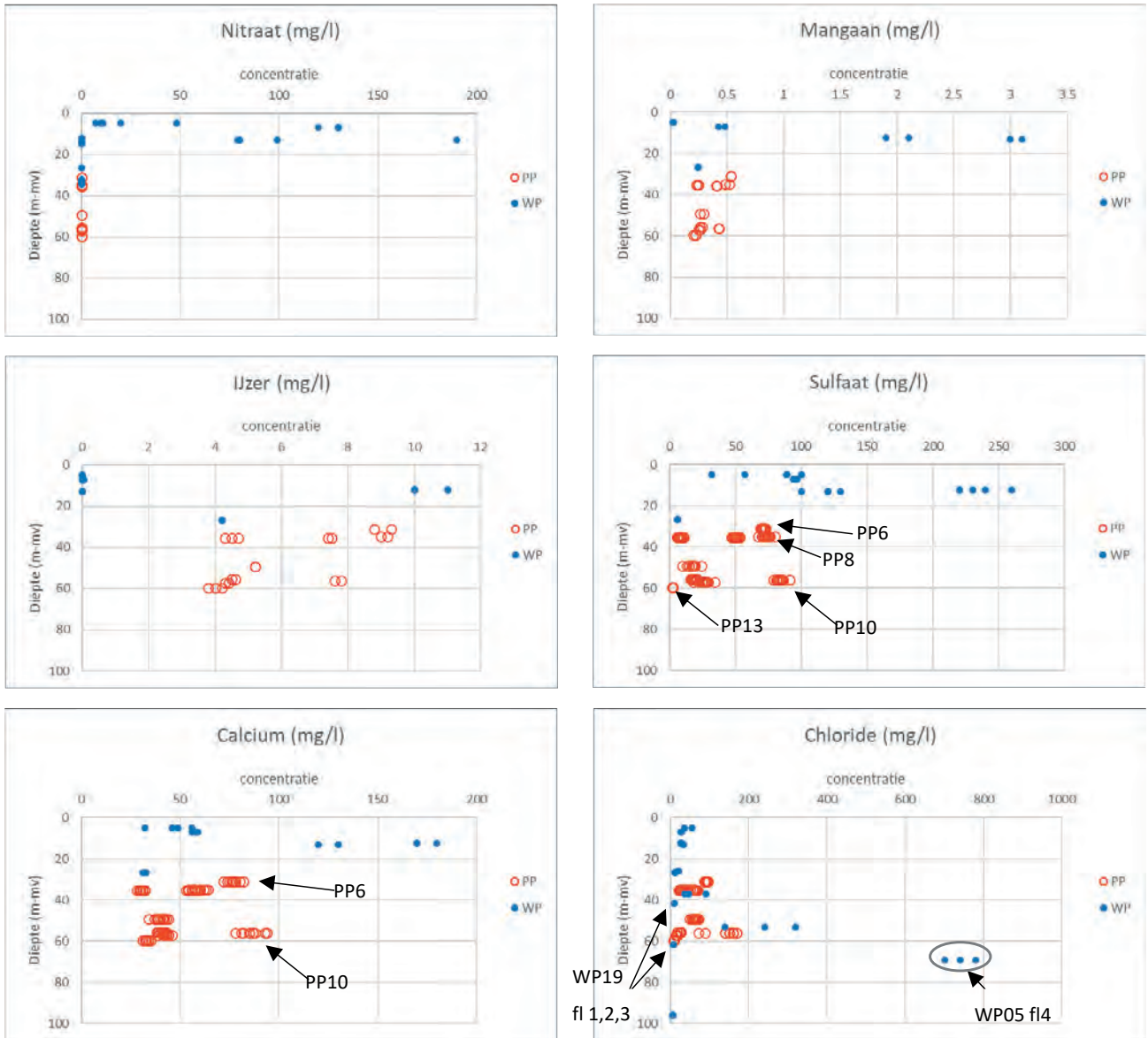
Per beschikbare grondwateranalyse van een pomp- of waarnemingsfilter is de redoxklasse bepaald volgens de methode die omschreven is in Pinson *et al.* (2020) en die ook gebruikt wordt in de tool Grondwaterkwaliteitinbeeld. Hierbij wordt gebruik gemaakt van nitraat, chloride, ijzer, mangaan, sulfaat en indien beschikbaar zuurstof en methaan.

Op grotere diepten is nitraat afwezig door denitrificatie. Het grondwater in WP10 fl1 en WP16 fl1 is oxisch/suboxisch (zie [Tabel 2.1](#)) en in WP10 fl2 Mn-reducerend, waarbij de mangaan concentratie ca. 3 mg/l is ([Figuur 2.7](#), rechts boven). Het grondwater in de pompfilters, die een grotere diepte hebben dan de waarnemingsfilters, is Fe-reducerend ([Tabel 2.1](#)). Alleen PP13 (op ca 60 m-mv) bevat geen sulfaat en is S-reducerend. Dit pompfilter heeft tevens een lage chloride concentratie <10 mg/l. Ook bij WP19 fl 1,2 en 3, op respectievelijk 42, 62 en 96 m-mv, is de concentratie <10 mg/l. Dit kan duiden op oud grondwater (ca >200 jaar, Van der Grift *et al.*, 2012). In WP05 fl4 is het grondwater brak met chloride concentratie van ca. 750 mg/l (zie [Figuur 2.7](#), rechtsonder).



**FIGUUR 2.7**

Concentratie van nitraat, ijzer, mangaan, sulfaat, calcium en chloride (mg/l) met de diepte (m-mv) in pompfilters (PP) en waarnemingsfilters (WP) voor recente meetresultaten (2019 t/m 2021).



**TABEL 2.1**

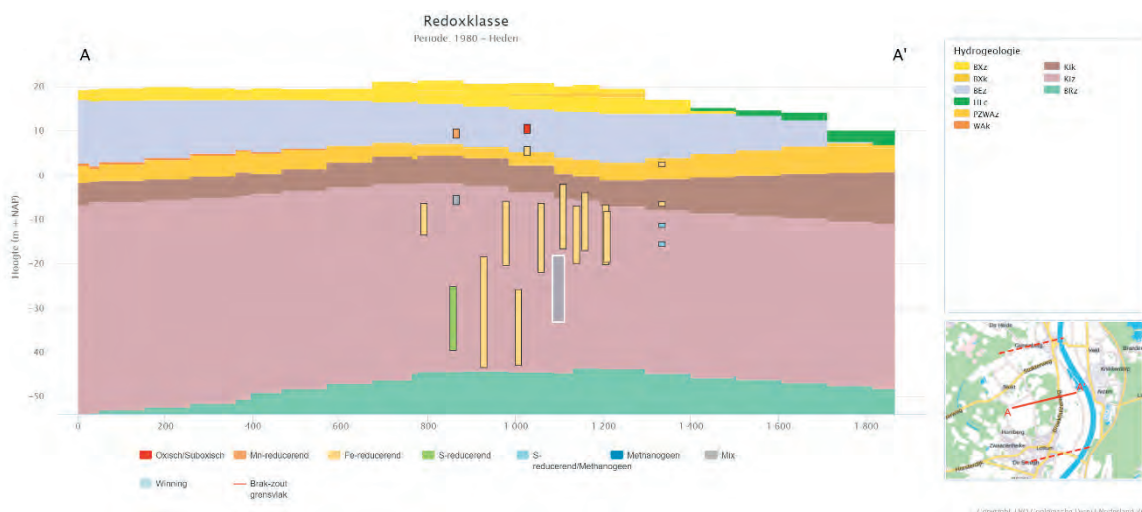
Overzicht redoxklasse per pompfilter en waarnemingsfilter.

Put	Filter	XC	YC	Filterlengte (m)	BKF (m NAP)	OKF (m NAP)	Gem. filterdiepte (m NAP)	Maaiveld (m NAP)	REGIS	Redoxklasse
PP 01	0	209039	387443	11.5	-9.31	-20.81	-15.06	20.38	kiz3	Fe-reducerend
PP 02	0	209018	387494	13.45	-8.21	-21.66	-14.935	20.47	kiz3	Fe-reducerend
PP 03	0	208980	387433	13	-8.37	-21.37	-14.87	20.4	kiz3	Fe-reducerend
PP 04	0	208976	387478	13	-4	-17	-10.5	20	kiz2	Fe-reducerend
PP 05	0	208930	387426	16.5	-5.5	-22	-13.75	20	kiz3	(geen data)
PP 06	0	208926	387473	14.5	-5.41	-19.91	-12.66	18.4	kiz3	Fe-reducerend
PP 07	0	208879	387405	15.55	-6.45	-22	-14.225	20	kiz3	Fe-reducerend
PP 08	0	208823	387396	14.45	-7.23	-21.68	-14.455	20.4	kiz3	Fe-reducerend
PP 09	0	208773	387371	24.96	-17.26	-42.22	-29.74	19.5	kiz4	Fe-reducerend
PP 10	0	208837	387460	17	-26.29	-43.29	-34.79	21.35	kiz5	Fe-reducerend
PP 11	0	208698	387366	14.35	-29.47	-43.82	-36.645	18.81	kiz5	Fe-reducerend
PP 12A	0	208630	387357	11	-30.03	-41.03	-35.53	21.5	kiz5	Fe-reducerend
PP 12	0	208639	387353	7.06	-6.5	-13.56	-10.03	20.5	kiz3	Fe-reducerend
PP 13	0	208586	387352	12	-31.89	-43.89	-37.89	21.74	kiz5	S-reducerend
WP 08	1	206940	386575	1	12.05	11.05	11.55	17.57	bez2	(geen data)
WP 10	1	208400	387640	1	15.65	14.65	15.15	20.09	bez2	Oxic/Suboxic
WP 10	2	208400	387640	1	7.52	6.52	7.02	20.09	bez3	Mn-reducerend
WP 10	3	208400	387640	1	-6.12	-7.12	-6.62	20.09	kiz2	Fe-reducerend
WP 11	2	207030	386720	1	5.33	4.33	4.83	17.85	bez3	(geen data)
WP 16	1	208850	387440	2	11.55	9.55	10.55	17.63	bez2	Oxic/Suboxic
WP 16	2	208850	387440	2	6.35	4.35	5.35	17.63	bez3	Fe-reducerend

Figuur 2.8 geeft een hydrogeologische dwarsdoorsnede over waterwingebied Grubbenvorst weer. Het profiel is gemaakt met [www.grondwaterkwaliteitinbeeld.nl](http://www.grondwaterkwaliteitinbeeld.nl) en toont de redoxklasse met de diepte. De achtergrond toont de hydrogeologische indeling van REGIS II v2.2, dat inzicht geeft in de relatie tussen parameterwaarden en voorkomende hydrogeologische lagen. Het profiel toont een vergelijkbaar beeld als hierboven is besproken op basis van de recente meetgegevens. In de Beegden Formatie (paarse kleur) is het grondwater oxisch/suboxisch en Mn-reducerend. Naar de diepte is een overgang zichtbaar naar Fe-reducerend of S-reducerend voor één pompput in de Kiezeloolliet formatie (bruine kleur).

**FIGUUR 2.8**

Hydrogeologische dwarsdoorsnede over de winning Grubbenvorst met de redoxklasse van grondwater (bron: [www.grondwaterkwaliteitinbeeld.nl](http://www.grondwaterkwaliteitinbeeld.nl)).

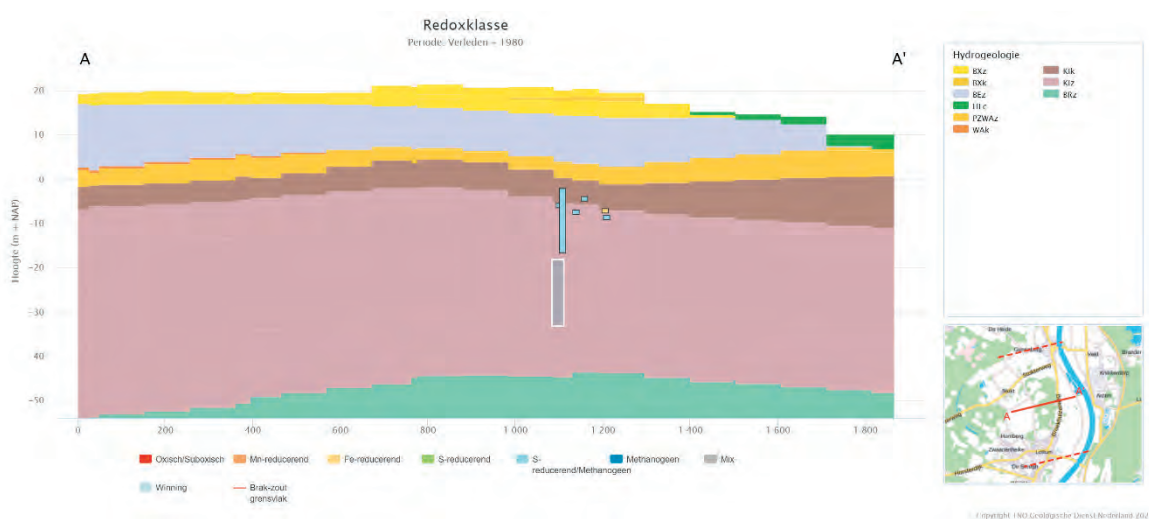


### Pre-winning situatie

De winning is gestart in 1963. Voor 1963 zijn in de omgeving van Grubbenvorst slechts enkele incomplete analyseresultaten (d.w.z. analyses waarin stoffen ontbreken om een ionenbalans op basis van de macrochemische kat- en anionen uit te rekenen) beschikbaar via DINO Loker ([www.dinoloker.nl](http://www.dinoloker.nl)). Het grondwater in de Kiezeloöliet Formatie, de formatie waarin de pompputten zich bevinden, bevat in die periode geen zuurstof en nitraat en geen of hele lage concentraties sulfaat. Figuur 2.9 toont een hydrogeologische dwarsdoorsnede over Grubbenvorst met de redoxklasse van grondwater voor de periode 'Verleden 1980'. Hieruit blijkt dat over deze periode het grondwater S-reducerend/methanogeen is. Grondwater is dan zoet ( $Cl < 200$  mg/l) en bevat methaan ( $CH_4 > 1$  mg/l) en sulfaat ( $SO_4 > 5$ ), maar geen nitraat.

### FIGUUR 2.9

Hydrogeologische dwarsdoorsnede over de winning Grubbenvorst met de redoxklasse van grondwater voor de periode 'Verleden 1980' (bron: [www.grondwaterkwaliteitinbeeld.nl](http://www.grondwaterkwaliteitinbeeld.nl)).



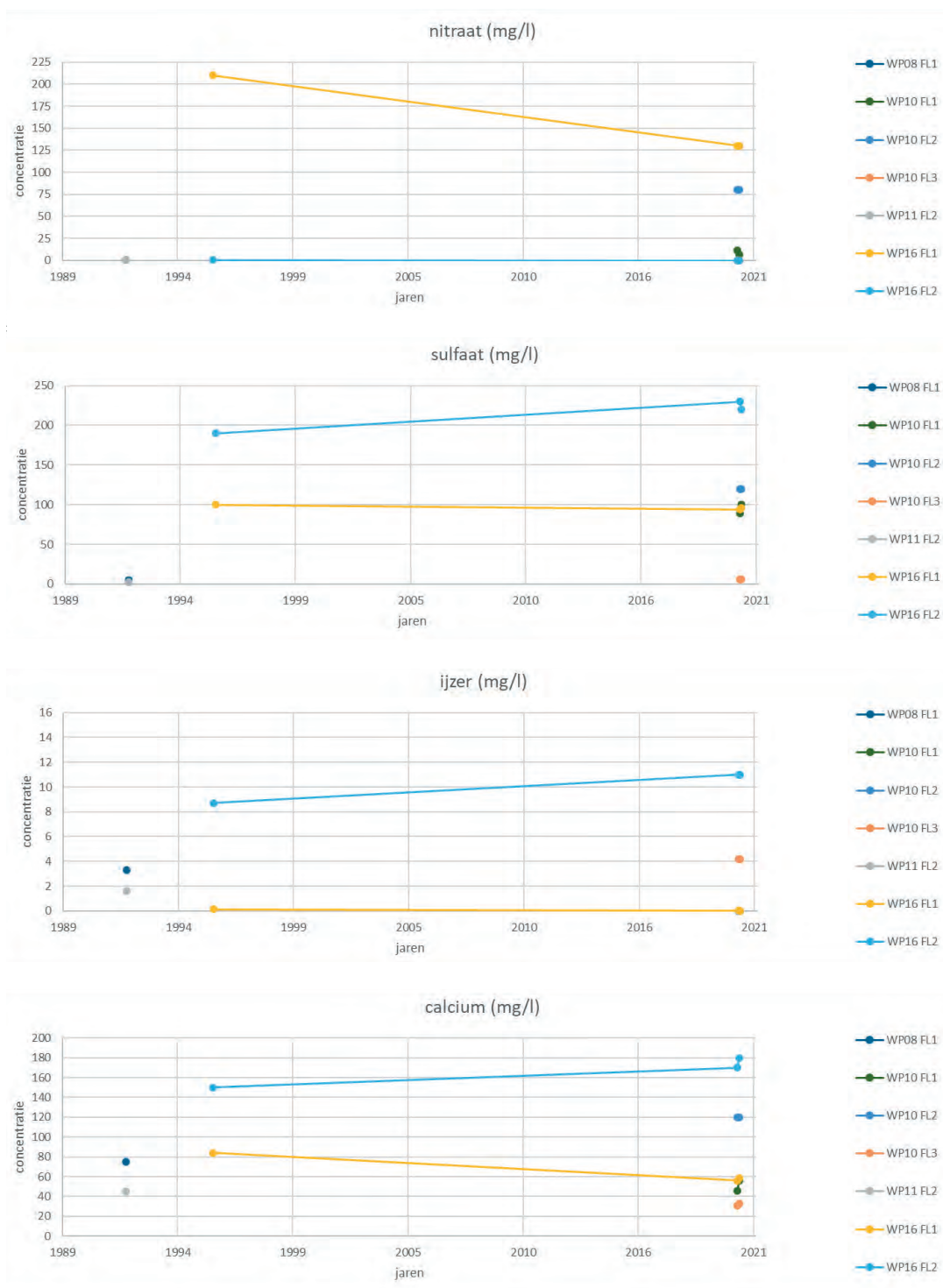
### 2.3.3 Tijdreeksen waterkwaliteit onttrokken grondwater en relevante monitoringsputten

Voor de ontwikkeling van de grondwaterkwaliteit wordt gebruik gemaakt van de gevalideerde tijdreeksen. Gevalideerd betekent dat kwaliteitscontrole op de meetreeksen is uitgevoerd onder andere op ionenbalans en voldoen aan de gestelde kwaliteitseisen (Berendrecht, in prep.). Figuur 2.10 toont de tijdreeksen van de pompputten voor de nitraat-, sulfaat-, ijzer-, calcium- en chlorideconcentratie. Het bovenste figuur toont de nitraatconcentratie, deze ligt in alle pompputten onder de rapportagegrens met enkele hogere waarden  $< 4$  mg/l. Voor sulfaat en ijzer is in 1997 een piek zichtbaar in de concentraties van PP4, PP6 en PP8. Deze filters hebben een gemiddelde diepte van 30-35 m-mv. De redoxklasse van PP1 en PP8 verandert van S-reducerend (in 1989 t/m 1991) naar Fe-reducerend (vanaf 1992) door toename in de sulfaatconcentratie. Voor PP10 (met gemiddelde filterdiepte 56 m-mv) is in 2004 een sulfaatpiek zichtbaar. In de tijdreeks van calcium vallen de wisselende concentraties van PP6 op en de oplopende concentraties in PP10. In deze PP10 is over de meest recente meetjaren de chlorideconcentraties de hoogste van alle pompputten met concentraties rond 150 mg/l. In Figuur 2.10 valt op dat voor veel pompputten de concentraties van Fe en  $SO_4$  gecorreleerd lijken te zijn (PP2, 3, 4, 6, 8 en 10). Dit zou kunnen duiden op oxidatie van pyriet waarbij Fe en  $SO_4$  vrijkomen, en waarbij Fe (nog) niet in een andere vorm is geprecipiteerd. In Figuur 2.11 zijn de sulfaat- en ijzerconcentraties in de pompputten tegen elkaar geplotted. De correlatie tussen beide parameters is duidelijke maar het verband is steiler dan bij volledig incomplete pyrietoxidatie waarbij al het vrijgekomen Fe(II) verder oxideert naar Fe(III) en vervolgens neerslaat als ijzerhydroxides. Ook lijken deze veranderingen te correleren aan de concentratie van Ca, hoewel dit minder duidelijk zichtbaar is. Een gelijktijdige toename van Ca kan duiden op het zuurbufferend vermogen van Ca-houdende fasen zoals calciëet. Dit zou een lokale pH verlaging van het grondwater kunnen temperen.

Voor de waarnemingsfilters zijn slechts enkele gevalideerde analyseresultaten beschikbaar. Voor de 3 filters WP10 zijn twee resultaten in 2021 beschikbaar en voor de 2 filters van WP16 is aanvullend een oudere meting uit 1996 beschikbaar. De overige waarnemingsfilters hebben slechts één gevalideerde tijdreeks. Deze beperkte tijdreeksen zijn voor nitraat, sulfaat, ijzer en calcium weergegeven in [Figuur 2.12](#). Er lijkt een afname in nitraatconcentratie zichtbaar in WP16 fl 1 en een toename van sulfaat, ijzer en calcium in WP 16 fl2. Hoewel de data zeer beperkt zijn, is dit consistent met de waarnemingen in de pompputten.

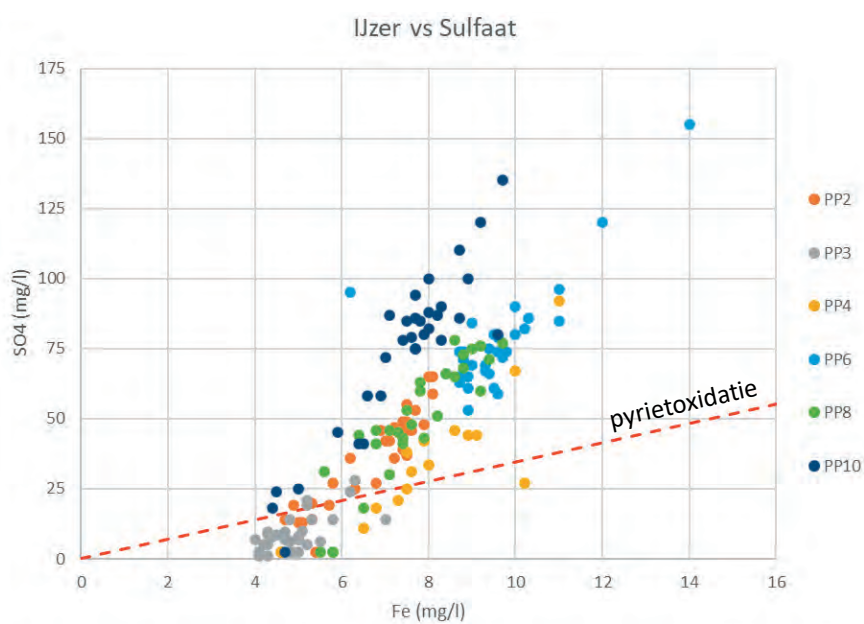
**FIGUUR 2.10**

*Tijdreeksen van de concentraties (mg/l) van nitraat, sulfaat, ijzer, calcium en chloride in de pompputten van Grubbenvorst.*



**FIGUUR 2.11**

Sulfaat- versus ijzerconcentratie in de pompputten van Grubbenvorst en de pyrietoxidatielijn die de stoichiometrie weergeeft van ijzer en sulfaatconcentraties als alleen pyrietoxidatie zonder oxidatie en neerslag Fe-hydroxides optreedt (incomplete pyrietoxidatie).



#### Grondwaterkwaliteit PMG put B52E0253

Ten noorden van de winning staat put B52E0253 (ook wel aangeduid met putnummer 2209), welke onderdeel is van het Provinciaal Meetnet Grondwaterkwaliteit (PMG) van de provincie Limburg. Het eerste en derde filter, op respectievelijk ca 9 en 24 m-mv, worden sinds de jaren 90-jaarlijks of tweejaarlijks bemonsterd. In de jaren-90 ontbreken echter veel parameters, waardoor validatie door middel van de kwaliteitscontrole op de ionenbalans van deze meetreeksen niet mogelijk is. [Figuur 2.13](#) toont de tijdreeksen van zowel filter 1 als 3 voor de concentraties van nitraat, mangaan, ijzer, sulfaat, calcium en chloride voor de gevalideerde meetreeksen.

In het ondiepe filter (filter 1) is het grondwater Mn-reducerend, waarbij nitraat licht lijkt te dalen, mangaan neemt over de periode 2005-2012 en daarna af en zowel ijzer als sulfaat nemen toe.

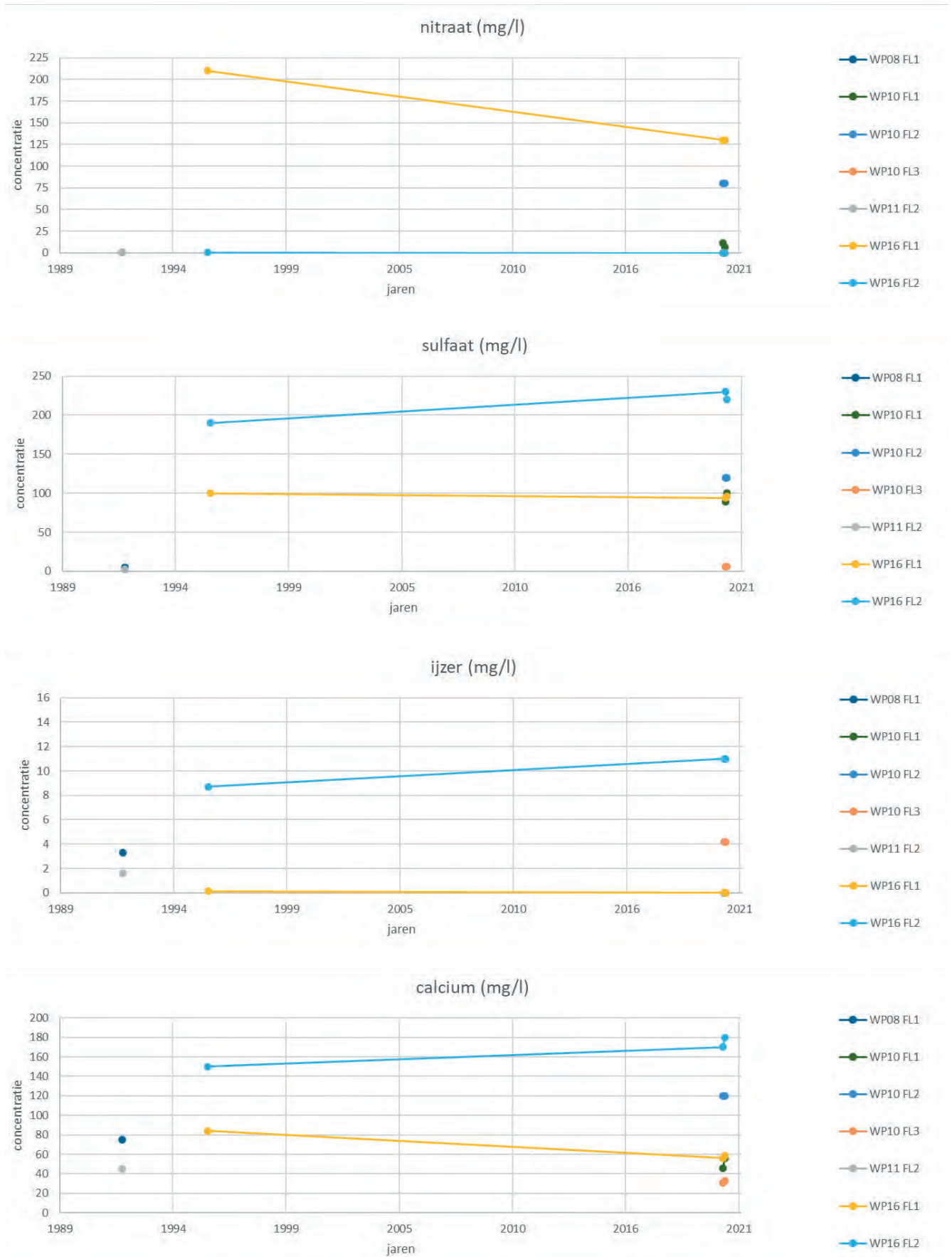
Het grondwater in deze filters is gedateerd (Kivits *et al*, 2019). De leeftijd van het grondwater in filter 1 is ca 26 jaar. Dit betekent dat grondwater bemonsterd in 2004 geïnfiltrerd is in 1978 en grondwater van 2015 in 1989. In 1985 werd Mestwet ingevoerd waarna de nitraatbelasting afnam. Deze daling is in filter 1 nog niet duidelijk zichtbaar.

Voor filter 3 kon geen discrete grondwaterleeftijd afgeleid worden (Kivits *et al*, 2019). Dit filter bevat zowel grondwater van pre-1950 als jonger grondwater en daarom is het ingedeeld in de leeftijdsklasse 'mix pre-1950 modern'. Dit filter bevindt zich in de Kiezeloolit formatie direct onder de eerste kleiige eenheid (Kik1). In dit filter zien we juist dalende ijzerconcentraties, stijgende lage nitraatconcentraties en stijgende sulfaatconcentraties. De redoxklasse van het grondwater is tot en met meetjaar 2007 Fe-reducerend en gaat dan over via mix, waarbij grondwater ijzer en nitraat bevat naar oxidisch/suboxidisch grondwater met nitraat en zonder ijzer. Deze resultaten duiden erop dat op deze locatie nitraathoudend grondwater in het tweede watervoerende pakket terecht kan komen. Dit kan het gevolg zijn van het opraken van het geochemisch buffervermogen of de leeftijd van het grondwater waardoor water met een hoge nitraatbelasting het filter rond 2010 heeft bereikt. Mangaan concentraties laten een tegenovergesteld beeld zien van filter 1; eerst dalende concentraties en dan weer stijgende concentraties. De gemeten Mangaanconcentraties in filter 1 zijn waarschijnlijk het gevolg van de pH van dit water. Deze ligt tussen 5.6 en 6.3 met een gemiddelde van 5.8. Bij pH is  $Mn^{2+}$  de stabiele species onder suboxische redox condities.



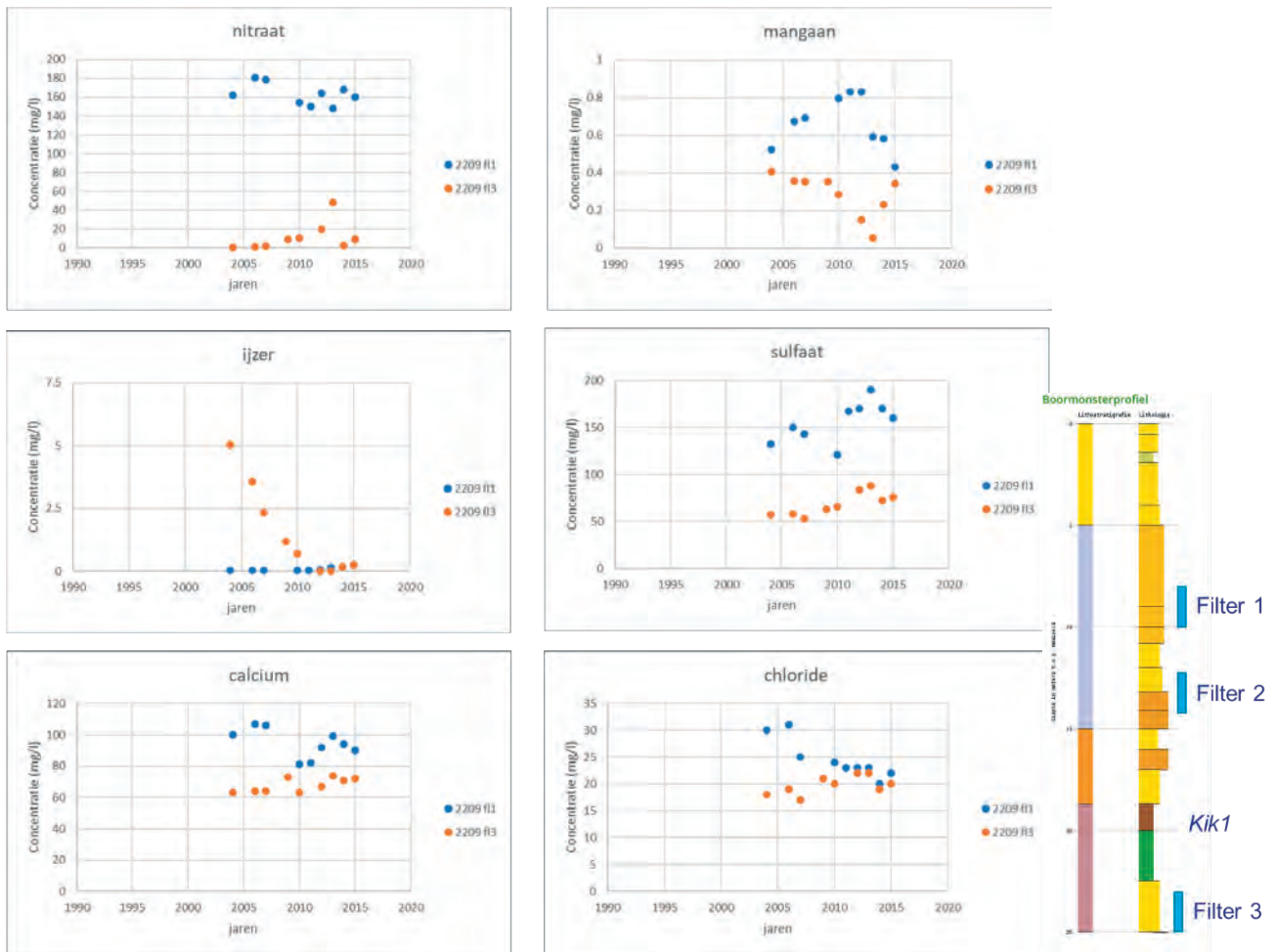
**FIGUUR 2.12**

Tijdreeksen van de concentraties (mg/l) van nitraat en sulfaat waarnemingsputten van Grubbenvorst.



**FIGUUR 2.13**

Tijdreeksen van de concentraties (mg/l) van nitraat, mangaan, ijzer, sulfaat, calcium en chloride en boormonsterprofiel van PMG-put B52E0253 (ook wel aangeduid met 2209) nabij winning Grubbenvorst.



### 2.3.4 Tracers grondwaterleeftijden

Voor winning Grubbenvorst zijn geen tracers beschikbaar om de leeftijd van waarnemingsputten of de reistijdverdeling van de pompputten mee te bepalen. Daarom is gekeken naar welke 'overige' stoffen als bijvoorbeeld bestrijdingsmiddelen en opkomende stoffen in de pompputten en waarnemingsputten zijn aangetroffen als tracer voor de grondwaterleeftijd. Om een schifting te krijgen tussen frequente en incidentele waarnemingen, is in Tabel 2.2 een overzicht gegeven van parameters die 5 keer of meer boven de rapportagegrens zijn aangetroffen over de gehele beschikbare meetperiode. Tevens is aangegeven in hoeveel pompputten en hoeveel individuele waarnemingsputten deze parameter is aangetroffen.

**TABEL 2.2**

Overzicht van parameters die 5 keer of meer boven rapportage grens zijn aangetroffen in pompfilters en waarnemingsfilters en hoeveel verschillende pompputten en waarnemingsfilters ze zijn aangetroffen.

Parameter	N > rapportage grens	Parametergroep	N in PP	N in WP	Aangetroffen jaren
Bentazon	18	Bestrijdingsmiddel	2	4	2015 t/m 2021
N,N-dimethylsulfa- mide (DMS)	91	Bestrijdingsmiddel			
(metabooliet tolylfu- anide)	6	8	2013 t/m 2021		
2,6-Dichloorbenza- mide (BAM)	6	Bestrijdingsmiddel			
(metabooliet dichlo- benil en fluopicolide)	2	0	2012, 2016 t/m 2020		
Desfenylchloridazon	66	Bestrijdingsmiddel			
(metabooliet chlori- dazon)	5	6	2014, 2016 t/m 2021		
Methyl-desphenyl- chloridazon	32	Bestrijdingsmiddel			
(metabooliet chlori- dazon)	3	6	2017 t/m 2021		
Methylbenzeen (tolueen)	40	aromatische koolwa- terstof	11	1	1993, 1994, 1996 t/m 2002, 2005, 2006, 2008, 2009, 2012, 2013, 2015
Naftaleen	5	aromatische koolwa- terstof	4	0	2000, 2003, 2009
1,2,3-Trichloor- propaan	39	gehalogeneerde koolwaterstof	3	1	2003 t/m 2009, 2013 t/m 2015, 2018 t/m 2020
1,2-Dichloorpropaan (1,2-DCP)	945	gehalogeneerde koolwaterstof	11	5	1990 t/m 2021
Trichlooretheen (TRI)	5	gehalogeneerde koolwaterstof	2	2	2003, 2004, 2006, 2012, 2015
Vinylchloride (VC)	8	gehalogeneerde koolwaterstof	5	0	2005 t/m 2007, 2009, 2015

Tabel 2.3 geeft weer sinds wanneer de meest aangetroffen bestrijdingsmiddelen zijn toegelaten en sinds wanneer ze zijn verboden (indien van toepassing). De bestrijdingsmiddelen van de parameters die worden aangetroffen worden allemaal al sinds de jaren 80 gebruikt en zijn nog niet verboden of pas sinds enkele jaren.

De overige stoffen uit Tabel 2.2 (BTEXN en gehalogeneerde koolwaterstoffen) zijn stoffen die duiden op (historische) puntverontreiniging als gevolg van menselijke activiteiten (SIKB, 2007; [www.bodemrichtlijn.nl](http://www.bodemrichtlijn.nl)). Deze stoffen geven waarschijnlijk een minder betrouwbaar beeld van grondwaterleeftijd, omdat het voorkomen in grondwater afhangt van de locatie en het moment van ontstaan van de verontreiniging, dat niet of niet altijd nauwkeurig bekend is.

**TABEL 2.3**

Overzicht van de meest aangetroffen bestrijdingsmiddelen met het jaar van toelating en verbod.

Parameter	Afbraakproduct van	Toelating	Verbod
Bentazon	-	Voor 1984**	-
N,N-dimethylsulfamide (DMS)	tolyfluamide	Voor 1984**	2018*
2,6-Dichloorbenzamide (BAM)	dichlobenil en fluopicolide	Voor 1984** 2007*	2008* -
Methyl-desphenylchloridazon	chloridazon	Voor 1984**	2020 (=opgebruikstermijn, verbod sinds 2018)

\*bron website CTGB

\*\* BTO rapport 2019.016 (Van Loon et al, 2019)

Op basis van de bovenstaande gegevens kan een globale indruk worden verkregen van de grondwaterleeftijden. Zonder rekening te houden met processen in de ondergrond zoals afbraak of retardatie (conservatieve aanname) kunnen deze bestrijdingsmiddelen dus gevonden worden in grondwater tot ca 40 jaar oud. In de dataset is ook nagegaan of een recent toegelaten middel slechts 4 keer of minder in het grondwater is aangetroffen. Deze middelen worden echter niet in de bemonsterde pomp- en waarnemingsfilters gevonden. Deze informatie is ook gebruikt om de reistijdverdeling in de hydrologische modellering te toetsen (zie [paragraaf 4.3.2](#)).

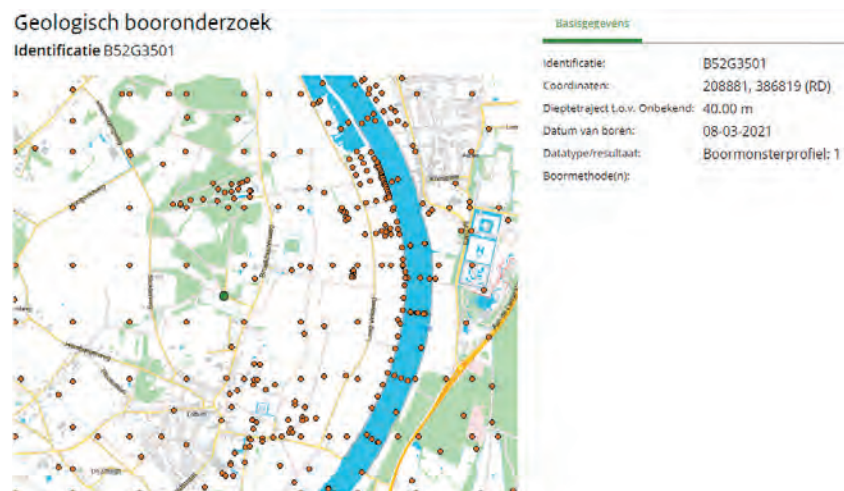
## ▶▶ 3 GEOCHEMISCHE VELDMETINGEN

### 3.1 BORINGEN LOTTUM B52G3501

Voor de casestudie Grubbenvorst is ten zuiden van het waterwingebied in maart 2020 een steekboring gezet tot 40 m-mv (Figuur 3.1). De boring is door TNO beschreven en lithostratigrafisch geïnterpreteerd. Tevens zijn er 38 monsters genomen voor bulk geochemische analyse (paragraaf 3.2) en reactiviteitsbepalingen met de micro-oxymax (paragraaf 3.3). De boorstaat, lithostratigrafische interpretatie en foto's van de boring zijn weergegeven in bijlage 1. Figuur 3.2 geeft het boormonsterprofiel boring Lottum B52G3501 inclusief de geohydrologische schematisering volgen REGIS II v2.2, de dieptes van bemonstering voor geochemische analyse en de kleur van het sediment. Uit het boormonsterprofiel en de boorbeschrijving blijkt dat Waalreklei (Wak1) niet voorkomt in deze boring. Dit komt overeen met de geohydrologische schematisering volgens REGIS II v2.2. De eerste weerstandbiedende laag die in de boring op 22.5 m-mv wordt aangetroffen is de eerste kleiige eenheid van de Kiezeloöliet-formatie (Kik1). Deze is in de boorstaat als bruinkool beschreven. Op 31.7 m-mv bevindt zich een tweede weerstandbiedende laag, de tweede kleiige eenheid van de Kiezeloöliet-formatie (Kik2). Ook deze is in de boorstaat als bruinkool beschreven met daaronder een kleilaag. In de geohydrologische schematisering volgens REGIS II v2.2 is deze weerstandbiedende laag ter plekke van de boring afwezig (zie Figuur 2.5). Dit geldt ook voor het puttenveld van de winning Grubbenvorst. Op basis van de boorbeschrijvingen van de pomp- en waarnemingsputten op het puttenveld lijkt de Kik2 hier ook aanwezig te zijn.

#### FIGUUR 3.1

Locatie en basisgegevens boring Lottum B52G3501

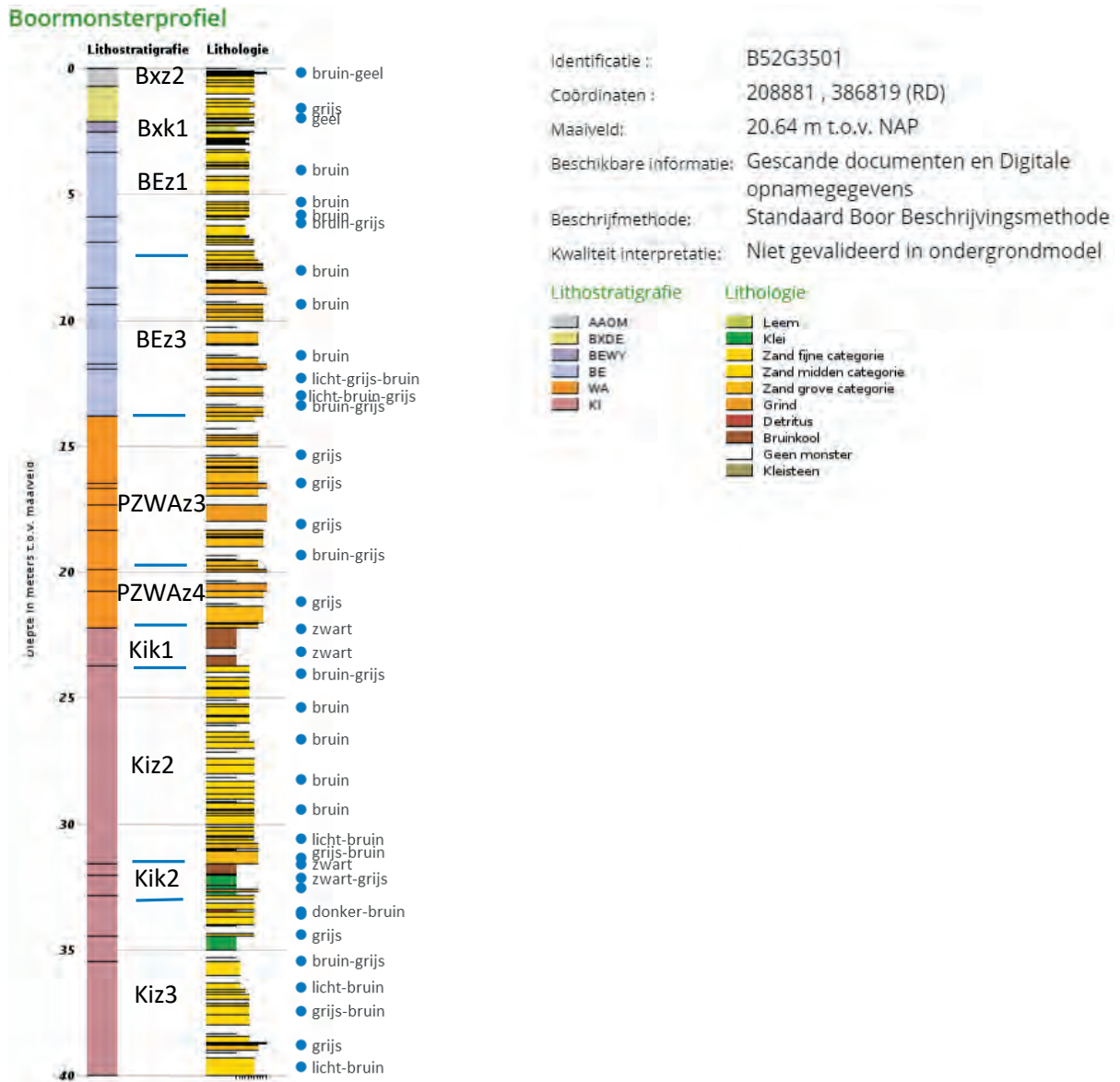


#### Kleur sediment

De kleur van sediment is een indicator voor de redoxcondities. Gele en bruine tinten zijn geassocieerd met oxidische condities en grijze en zwarte kleuren met anoxische condities. In de boring Lottum is tot een diepte van 15 m-mv is de kleur van het sediment als bruin of bruin-grijs beschreven. Het sediment hieronder behorende tot de Formatie van Waalre is als grijs beschreven. De huidige redoxovergang bevindt zich dus in de bovenste zandlaag van de Formatie van Waalre (PZWAz3). De eerste Kiezeloöliet kleilaag (Kik1) is als zwart beschreven. Onder de Kik1 tot de tweede Kiezeloöliet kleilaag (Kik2) is de kleur van het sediment weer beschreven als bruin of bruin-grijs. De Kik2 zelf is als zwart en zwart-grijs beschreven. Het patroon met bruintinten herhaalt zich in het zand onder de Kik2 waar het zand afwisselend als bruin-grijs, licht-bruin, grijs-bruin of grijs beschreven. De bruintinten in de Kiezeloöliet Formatie duiden erop dat de redox condities in deze afzetting in het verleden oxidisch zijn geweest, waarschijnlijk in de periode dat deze formatie aan het oppervlak heeft gelegen. Uit de kleur van het sediment kan worden afgeleid dat er nog ijzerhydroxiden resteren.

**FIGUUR 3.2.**

Boormonsterprofiel boring Lottum B52G3501, inclusief geohydrologische laagindeling volgens REGIS II v2.2, de bemonsteringsdiepte voor de geochemische analyse en de kleur van het sediment volgens de boorstaat.



### 3.2 SEDIMENT GEOCHEMIE

Monsters uit de boring Lottum zijn geanalyseerd met de volgende bulk geochemische analyses:

1. Thermogravimetrische analyse (TGA) ter bepaling van drooggewicht (105oC), gloeirest (bulk organische stof (BOM) bij 330 en 550oC) en verbrandingsrest (1000oC, totaal carbonaten uitgedrukt als kalk);
2. Totaal koolstof (CTOT) en totaal zwavel (STOT) via CS-analyse;
3. Totaal elementgehalte van (hoofd)elementen via XRF.
4. Totaal elementgehalte via totaalontsluiting en ICP-MS / ICP-AES analyse (alleen de organisch stof rijke monsters)



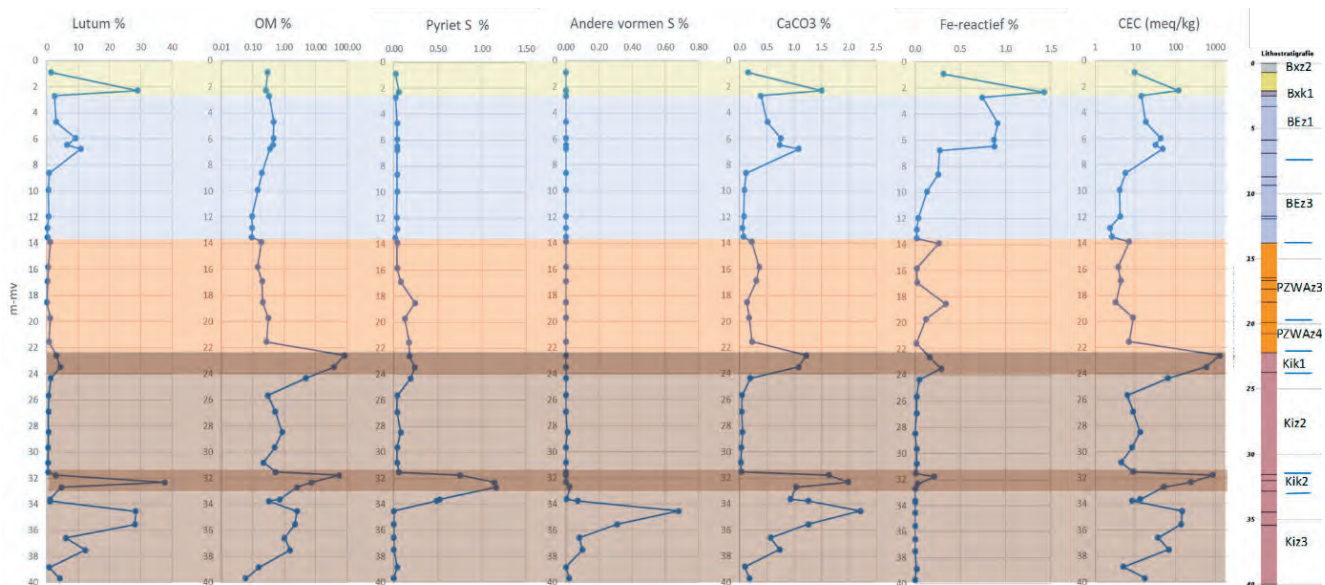
Uit deze bulk geochemische analyse zijn de gehalten aan de volgende reactieve bodembestanddelen afgeleid: organisch materiaal (OM%), pyriet (S%), andere sulfide vormen (S%), calciumcarbonaat (CaCO<sub>3</sub>%), reactief ijzer (react-Fe%), kationuitwisselcapaciteit (CEC (meq/kg)). Hiervoor is gebruik gemaakt van methodes zoals beschreven in Klein *et al.* (2015) en Van Gaans *et al.* (2011).

**Figuur 3.3** geeft de diepteprofielen van de gehalten aan potentieel reactieve bodembestanddelen. Enkele opvallende waarnemingen zijn:

- Het OM gehalte in de Formaties van Boxtel, Beegden en Peize en Waalre is laag (maximaal 0.5%). Dit geldt ook voor de Kiz2 en de diepste monsters van Kiz3. De ondiepere monsters in de Kiz3 hebben met waarden rond 1-2% iets hogere OM gehalten. De bruinkoollagen (Kik1 en Kik2) hebben (uiteeraard) hoge OM gehalten (38% - 84%).
- Tot op een diepte van 17 m-mv is het pyrietgehalte laag (<0.08%). Daaronder neemt het pyrietgehalte in de PZWaz3 en PZWaz4 wat toe (0.12-0.24%). Hogere pyrietgehaltenes (>0.5%) worden waargenomen in de Kik2 en de top van de Kiz3 hier direct onder. De sedimentmonsters hier direct onder bevat andere vormen van sulfides in vergelijkbare percentages (geen pyriet).
- De opeenvolging van laagpakketten is goed terug te zien in het calciumcarbonaatgehalte. Het sediment van de Bxk1 en BEz1 is kalkhoudend. De BEz3 en Kiz2 kunnen als kalkloos worden beschouwd.
- De reactief ijzergehaltenes zijn vooral hoog in het bovenste deel van het boorprofiel. In de Formatie van Peize en Waalre en de Kiezeloëliet Formatie komen enkele monsters met een wat hoger reactief ijzergehalte voor (tot max 0.3%)

### FIGUUR 3.3

Gehalten aan reactieve bodembestanddelen in boring Lottum (OM gehalte en CEC op logschaal).

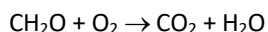


## 3.3 REACTIVITEITSBEPALINGEN MET DE MICRO-OXYMAX

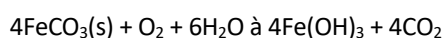
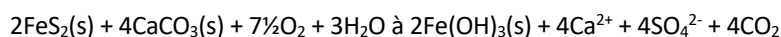
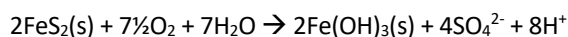
### 3.3.1 Meetprincipe

De redoxreactiviteit van sedimentmonsters is bepaald met de micro-oxymax (Figuur 3.1). De micro-oxymax registreert volledig automatisch en zeer nauwkeurig de O<sub>2</sub> consumptie en CO<sub>2</sub> productie door meting van het volume verandering O<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub> in de headspace van een afgesloten reactievaatje. Omdat de metingen steeds worden herhaald is het mogelijk om O<sub>2</sub> consumptie en CO<sub>2</sub> productie van het monster gedurende een bepaalde incubatietijd te berekenen. Bij blootstelling van een anoxisch grondmonster aan elektronenacceptoren zoals zuurstof maar ook nitraat en sulfaat, kunnen de natuurlijk aanwe-

zige reductoren zoals sedimentair organisch materiaal, ijzersulfides en ijzercarbonaten oxideren. Bij oxidatie onder oxidische omstandigheden wordt er altijd zuurstof verbruikt en zal afhankelijk van het soort proces kooldioxide worden geproduceerd. Afbraak van organisch materiaal door zuurstof kan versimpeld met de volgende reactievergelijking worden beschreven:



Uit de bovenstaande vergelijking blijkt dat bij afbraak van organisch materiaal op molbasis evenveel zuurstof wordt verbruikt als kooldioxide wordt geproduceerd. Andere oxidatieprocessen hebben een afwijkende  $\text{CO}_2/\text{O}_2$  ratio. Bij oxidatie van pyriet ( $\text{FeS}_2$ ) wordt geen  $\text{CO}_2$  geproduceerd (verhouding dus 0) en bij kalkgebufferde pyrietoxidatie is deze verhouding 0,53. Bij oxidatie van sideriet ( $\text{FeCO}_3$ ) is de verhouding 4, zie onderstaande reactievergelijkingen:



Inzicht in de reactiviteit van een grondmonster onder invloed van de aanwezige reactieve bestanddelen kan met de micro-oxymax worden verkregen. Omdat de zuurstofconsumptie in de tijd wordt gevolgd is het mogelijk om zowel de capaciteit (hoeveelheid) als de intensiteit (kinetiek) van de natuurlijke oxidatieprocessen te karakteriseren.

### 3.3.2 Werkwijze

Uit de boring zijn 38 monsters geselecteerd voor de micro-oxymax. Om voortijdige blootstelling aan zuurstof zoveel mogelijk te voorkomen werd direct na het doorsnijden van de steekbuizen ongeveer 30 gr. monster genomen en overgebracht in een 100 ml 'Duran' flesje dat vervolgens geflushed is met stikstofgas. Voorafgaand aan het experiment is het reactievaatje met ongeveer 50 ml leidingwater aangevuld. Het reactievaatje wordt afgesloten en aangesloten op de micro-oxymax. Door verversing van de headspace werd de zuurstof- en kooldioxideconcentratie vrijwel constant gehouden op atmosferisch niveau (respectievelijk 20,95% en 0,0315%). Tijdens de meting worden de reactievaatjes geschud met 60 rpm. Om de zes uur wordt de zuurstof- en kooldioxideconcentratie in de headspace van het reactievaatje gemeten. De temperatuur is ingesteld op 11 °C. Dit is ongeveer gelijk aan de temperatuur in de ondergrond. De totale duur van het experiment bedroeg 9 weken. Na 7,5 weken is de temperatuur verhoogd naar 20 °C. Afhankelijk van de activatie-energie van de (deels microbiële) oxidatie reacties zal een verhoging van de temperatuur leiden tot een merkbare toename van de reactiesnelheid.

Na afloop van de meting met de micro-oxymax is de drooggewicht van de sedimentmonsters bepaald. Hiervoor is de grond uit het reactievaatje gedroogd bij 110 °C, tot constant gewicht bereikt werd. Met de droge stof gegevens is het mogelijk om het zuurstofverbruik en de kooldioxideproductie per kg droog sediment te berekenen. Deze waarden zijn gecorrigeerd voor het zuurstofverbruik en de kooldioxideproductie van een blanco experiment met alleen leidingwater.

Voorafgaand en na afloop van het experiment is de waterfase geanalyseerd op hoofd kationen (Na, Mg, K, Ca, Mn en Fe), anionen (Cl, F,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ , en  $\text{SO}_4$ ), pH en alkaliniteit ( $\text{HCO}_3$  en  $\text{CO}_3$  concentratie). Dit moet extra inzicht verschaffen in de processen die tijdens het experiment hebben plaatsgevonden. Daarnaast is er een DOC analyse gedaan van de oplossingen na afloop van het experiment.

### 3.3.3 Resultaten

De resultaten van de micro-oxymax metingen op de sedimentmonsters van boring Grubbenvorst zijn weergegeven in [Tabel 3.1](#). De reactieve fase is afgeleid uit de gemeten  $\text{CO}_2/\text{O}_2$  ratio en de chemische samenstelling van de oplossing na afloop van het experiment. Het cumulatief zuurstofverbruik is samen met de belangrijkste waarnemingen in de chemische samenstelling van de oplossing weergegeven in [Figuur 3.4](#). In dit figuur is ook het gehalte aan pyriet en OM weergegeven. Tenslotte zijn in bijlage 3 de voor alle afzonderlijke sedimentmonsters grafieken opgenomen waarbij het cumulatief  $\text{O}_2$  verbruik en  $\text{CO}_2$  productie is uitgezet tegen de tijd en tegen elkaar.

### FIGUUR 3.4

Micro-oxymax opstelling, de flesjes met sedimentmonsters staan in de koelkast links op de foto.



Vanaf 0.91 tot 8.63 m-mv is er sprake van een zeer laag  $O_2$  verbruik tot maximaal 0.7 mmol/kg grond. Een meerderheid van deze monsters laten gedurende de eerste dagen van het experiment een snelle  $CO_2$  productie zien (zie [bijlage 3](#)). Deze monsters hebben lage  $HCO_3^-$  concentratie (< detectielimiet) en pH waarden in de range tussen 5.3 en 6.4. De  $CO_2$  productie is het gevolg van de door het contact met de zure grond geïnitieerde ontgassing van de alkaliniteit in het leidingwater dat voor het experiment is gebruikt. Deze monsters produceren tussen de 0.064 en 0.1 mmol  $CO_2$  per vat. Ter vergelijking: volledige  $CO_2$  ontgassing van 50 ml leidingwater met een alkaliniteit van 150 mg/L en een pH van 8.0 geeft 0.12 mmol  $CO_2$ . De omzetting van alkaliniteit naar  $CO_2$  en daling van de pH is mogelijk het gevolg van het vrijkomen van  $H^+$  ionen van het uitwisselcomplex van deze sedimentmonster (uitgewisseld met  $Ca^{2+}$  in het leidingwater). Het  $O_2$  verbruik van deze monsters is dermate laag dat dit niet kan worden toegeschreven aan een oxidatieproces (OM afbraak, pyrietoxidatie).

Vanaf 9.93 tot 16.9 m-mv is er een geringe negatieve zuurstofconsumptie (= zuurstofproductie) tot maximaal 1 mmol/kg grond of een zeer kleine positieve zuurstofconsumptie. Het  $O_2$  verbruik van het leidingwatermonster is hier groter dan het  $O_2$  verbruik van de sedimentsamples. Vanaf 12.83 m-mv (halverwege de BEz3) is een afname van de  $CO_2$  productie en een toename van de alkaliniteit en pH waarden van de oplossing na afloop van het experiment. Dit duidt erop dat het uitwisselcomplex van deze sedimentmonsters vanaf deze diepte minder zijn bezet met  $H^+$  ionen en dus minder verzuurd zijn. [Figuur 3.3](#) laat zien dat vanaf 15.82 m-mv (top Formatie van Peize en Waalre) het sediment kalkhoudend is.

In het monster op 18.53 m-mv (PZWaz3) is er een toename van de  $CO_2$  productie en de  $O_2$  consumptie. De  $CO_2/O_2$  verhoudingen suggereren op de oxidatie van OM en sideriet. In de experimentele periode op 11 °C is er een afname in de snelheid van  $O_2$  consumptie. Na de temperatuurverhoging op dag 52 neemt de afbraaksnelheid weer toe, de  $CO_2/O_2$  verhouding verandert echter niet. De  $SO_4$  na afloop van het experiment is toegenomen tot 484 mg/L. Tevens is de  $Ca^{2+}$  concentratie toegenomen tot 166 mg/L (leidingwater bevat ongeveer 3 mg/L  $SO_4$  en 35 mg/L  $Ca^{2+}$ ). De alkaliniteit is juist weer verlaagd tot 19 mg/L en de pH is nog neutraal 7.5. Er is dus zeker sprake van kalkgebufferde pyrietoxidatie. Dit verklaart echter niet de hoge  $CO_2$  productie. Mogelijk is in dit monster sprake van een combinatie van siderietoxidatie en kalkgebufferde pyrietoxidatie. De gemeten sulfaatconcentratie is echter hoger dan theoretisch berekend op basis van het  $O_2$  verbruik. Als al het  $O_2$  verbruikt wordt voor pyrietoxidatie is bedraagt de maximale  $SO_4$  concentratie 146 mg/L.

**TABEL 3.1**

Resultaten micro-oxymax metingen op sedimentmonster uit boring Lottum; het cumulatief zuurstofverbruik en kooldioxideproductie, de CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> ratio, de concentratie van belangrijkste chemische parameters in oplossing na afloop van het experiment en de reactieve fase.

diepte m-mv	laagpakke	grondsoort	kleur sediment	cum O <sub>2</sub> verbruik mmol/kg	cum CO <sub>2</sub> productie mmol/kg	CO <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> ratio	max SO <sub>4</sub> ber. mg/l	DOC mg/l	pH	HCO <sub>3</sub> mg/l	NO <sub>3</sub> mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	Ca mg/l	Fe mg/l	reactieve fase
leidingwater															
0.91	Bxz2	zand	bruin-geel	0.6	1.0	1.8		12.8	6.7	9.3	9.9	13	5	0.0	geen
2.3	Bxk1	leem	grijs	0.7	2.0	2.8		1.73	5.6	<6.1	1.2	31	7	< MDL	geen
2.7	BEz1	zand	geel	0.7	2.0	2.7		2.94	7.6	6.7	1.9	25	6	< MDL	geen
4.7	BEz1	zand	bruin	0.4	1.4	3.7		1.54	6.3	<6.1	7.1	28	6	< MDL	geen
5.95	BEz1	zand	bruin	0.3	1.3	4.7		1.88	5.4	<6.1	7.3	31	8	< MDL	geen
6.47	BEz2	zand	bruin	0.3	1.4	4.6		1.92	6.6	6.5	7.8	25	6	< MDL	geen
6.77	BEz2	zand	bruin-grijs	0.3	1.2	4.5		1.8	5.9	<6.1	10.0	30	8	< MDL	geen
8.63	BEz3	zand	bruin	0.2	0.9	5.8		1.85	7.3	15.9	3.9	39	9	< MDL	geen
9.93	BEz3	zand	bruin	-1.0	1.2	-1.2		1.61	6.6	6.6	11.1	42	9	< MDL	geen
11.95	BEz3	grind	bruin	-0.7	1.4	-1.9		1.82	7.1	7.3	38.6	43	15	< MDL	geen
12.83	BEz3	zand	licht-grijs-bruin	-0.8	1.1	-1.4		2.49	8.1	45.1	48.5	37	25	< MDL	geen
13.52	BEz3	zand	licht-bruin-grijs	-0.8	0.7	-1.0		2.45	8.4	100	17.4	13	26	< MDL	geen
13.9	BEz3	zand	bruin-grijs	-0.8	0.8	-1.0		1.85	8.2	68	62.1	44	40	< MDL	geen
15.83	PZWAz3	zand	grijs	-0.5	0.7	-1.5		3.07	8.5	183	15.2	27	45	< MDL	geen
16.9	PZWAz3	zand	grijs	0.2	1.4	7.5		2.25	8.4	159	2.5	95	65	< MDL	geen
18.53	PZWAz3	zand	grijs	2.0	3.3	1.6	146	1.86	7.5	19.5	0.4	484	166	< MDL	pyriet + kalk en sideriet
19.72	PZWAz4	zand	bruin-grijs	5.8	4.2	0.7	363	2.16	3.5	<6.1	0.4	817	223	37.1	pyriet
21.55	PZWAz4	zand	grijs	11.9	3.8	0.3	827	2.78	2.8	<6.1	0.4	813	173	33.1	pyriet
22.6	Kik1	bruinkool	zwart	103.1	34.0	0.33	1255	11.72	6.2	51.2	0.3	84	31	0.02	OM
23.5	Kik1	bruinkool	zwart	70.6	28.2	0.40	2371	17.02	6.5	30.5	0.4	93	39	0.02	OM
24.35	Klz2	zand	bruin-grijs	5.81	5.52	0.95		16.15	7.1	43.9	0.4	99	39	0.02	OM
25.66	Klz2	zand	bruin	-0.27	2.48	-9.33		8.19	8.0	40.3	1.3	41	22	0.03	geen
26.9	Klz2	zand	bruin	0.53	2.83	5.34		9.14	7.8	26.8	0.6	58	22	0.05	geen
28.48	Klz2	zand	bruin	0.80	2.74	3.44		5.84	8.0	47.6	0.4	41	20	0.02	geen
29.64	Klz2	zand	bruin	0.79	3.13	3.97		9.18	7.5	24.4	0.4	80	27	0.02	geen
30.8	Klz2	zand	licht-bruin	-0.43	1.64	-3.78		4.45	8.2	64.7	0.6	19	19	0.01	geen
31.53	Klz2	zand	grijs-bruin	0.09	2.35	27.7		5.76	7.6	26.8	0.4	121	40	0.01	geen
31.78	Kik2	bruinkool	zwart	332.8	90.2	0.27		13.46	6.6	29.3	0.4	35	15	0.02	OM
32.32	Kik2	klei	zwart-grijs	117.4	16.8	0.1	5568	7.13	3.4	<6.1	0.5	2220	578	130	OM + pyriet, ini. kalk
32.7	Kik2	zand	licht-grijs-bruin	12.5	2.6	0.2	683	27.58	3.0	<6.1	1.2	4468	447	1513	pyriet, ini. kalk
33.63	Klz3	zand	donker-bruin	7.4	1.6	0.2	439	7.48	2.9	<6.1	1.1	3080	236	1133	pyriet, ini. kalk
33.75	Klz3	zand	licht-grijs	9.5	1.2	0.1	490	19.22	2.2	<6.1	1.9	3855	97	1463	pyriet
34.53	Klz4	klei	grijs	29.1	6.0	0.2	1395	8.89	3.3	<6.1	1.0	2401	605	243	pyriet, ini. kalk
35.55	Klz4	zand	bruin-grijs	8.7	5.4	0.6	576	3.91	5.1	<6.1	0.4	981	306	0.3	pyriet, ini. kalk
36.58	Klz4	zand	licht-bruin	3.6	3.0	0.8	208	2.4	4.4	<6.1	0.4	549	165	9.7	pyriet, ini. kalk
37.5	Klz4	zand	grijs-bruin	23.6	8.2	0.3	1148	4.76	4.4	<6.1	0.5	1166	391	4.9	pyriet, ini. kalk
38.83	Klz4	zand	grijs	0.2	1.1	5.8	15	2.05	3.4	<6.1	0.4	376	76	55.9	pyriet
39.68	Klz4	zand	licht-bruin	-1.1	1.9	-1.8		3.62	8.1	40.3	2.9	83	33	0.0	geen

De monsters op 19.72 EN 21.55 m-mv (PZWAz4) laten een verder toename van de O<sub>2</sub> consumptie zien terwijl de CO<sub>2</sub> productie niet sterk toeneemt. Deze monsters zijn verzuurd (pH = 3.5 en 2.8) hebben met 817 en 813 mg/L hoge SO<sub>4</sub> concentraties en de Ca concentratie is hoger dan in het initiële leidingwater. Ook zijn de ijzerconcentratie met 37 en 33 mg/L duidelijk verhoogd. Dit betreft naar verwachting Fe<sup>3+</sup> waarvoor de oplosbaarheid sterk toeneemt bij lage pH waardes. In deze monsters is dus duidelijk sprake van pyrietoxidatie die initieel kalkgebufferd is geweest: er is een afname CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> verhouding gedurende het experiment.

De bruinkoolmonsters op 22.6 en 23.5 m-mv (Kik1) hebben een extreem hoge O<sub>2</sub> consumptie (100 en 70 mmol/kg d.s.) terwijl het CO<sub>2</sub> verbruik hierop achter loopt (CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> ratio 0.33-0.4). De SO<sub>4</sub> concentraties zijn met 84 en 93 mg/L iets hoger dan in het oorspronkelijke leidingwater maar wel heel stuk lager dan in de monsters op 19.72 en 21.55 m-mv (meer dan 800 mg/L). Bij volledige O<sub>2</sub> consumptie door pyrietoxidatie door zou 1231 en 2351 mg/L SO<sub>4</sub> worden geproduceerd. De Ca<sup>2+</sup> concentraties zijn niet toegenomen maar de alkaliniteit en pH zijn wel verlaagd t.o.v. het leidingwater. OM afbraak lijkt



daarom dus het belangrijkste proces te zijn. Gezien de aard van deze monsters is dit ook niet verwonderlijk. DOC concentraties zijn met 11.7 en 17.0 mg/L ook duidelijk hoger dan in het leidingwater. De oorzaak van de lage  $\text{CO}_2/\text{O}_2$  ratio is niet duidelijk. Mogelijk wordt het organisch materiaal in de bruinkool tijdens de oxidatie in de micro-oxymax voor een deel partieel geoxideerd waarbij er wel geoxideerde groepen aan de koolstofketens ontstaan maar niet volledige omzetting tot  $\text{CO}_2$  gas tot gevolg hebben.

Het zandmonster op 24.35 m-mv (4.8% OM) heeft een  $\text{CO}_2/\text{O}_2$  ratio van 0.95. De DOC concentratie in dit monster is met 16 mg/L ook hoger dan in het leidingwater. Sulfaat is met 99 mg/L wat hoger dan in het leidingwater. In dit monster is afbraak van OM het dominante redox proces.

De monsters vanaf 25.66 t/m 31.53 m-mv (Kiz2) hebben geen of een zeer gering  $\text{O}_2$  verbruik. De  $\text{CO}_2$  productie is iets hoger (1.6 tot 3.1 mmol/kg d.s.). De pH is neutraal (7.5 tot 8.2) en de alkaliniteit ligt tussen 25 en 65 mg/L. Deze monsters hebben dus nauwelijks redoxreactiviteit.

Het bruinkoolmonster op 31.78 m-mv (Kik2) is met een  $\text{O}_2$  verbruik van 333 mmol/kg d.s. extreem redoxreactief. De  $\text{CO}_2$  productie is met 92 mmol/kg d.s. ook hoog maar wel een stuk lager dan dat op basis van volledige OM afbraak verwacht kan worden. De  $\text{CO}_2/\text{O}_2$  ratio is vergelijkbaar met de bruinkoolmonsters uit de Kik1. Sulfaat Ca, en Fe zijn niet verhoogd en de pH is 6.6. Pyrietoxidatie lijkt hier dus geen rol te spelen.

Het kleimonster 32.32 m-mv (Kik2) heeft een hoog zuurstofverbruik en een relatief geringe  $\text{CO}_2$  productie. Dit monster heeft een lage pH, een hoge  $\text{SO}_4$  concentratie (2220 mg/L) en ook een verhoogde Ca concentratie (578 mg/L). Wanneer al het  $\text{O}_2$  door pyrietoxidatie zou worden verbruikt, zou de  $\text{SO}_4$  concentratie nog hoger zijn, ongeveer 5570 mg/L. Dit monster is gips ( $\text{CaSO}_4$ ) verzadigd waardoor neerslag van gips zeker niet kan worden uitgesloten. In dit monster is dus sprake van pyrietoxidatie die initieel kalkgebufferd is geweest.

De zandmonsters van 32.7, 33.63 en 33.75 m-mv hebben een matig hoog  $\text{O}_2$  verbruik variërend tussen 7.5 en 12.4 mmol/kg d.s. Deze monsters zijn extreem verzuurd (pH tussen 2.2 en 3) en hebben hoge  $\text{SO}_4$  concentraties (3080 - 4470 mg/L). De ijzerconcentraties zijn ook extreem hoog (1130 - 1510 mg/L). Hier is sprake van pyrietoxidatie.

Het  $\text{O}_2$  verbruik van het kleimonster op 34.53 m-mv is weer wat hoger dan de hier bovenliggende zandmonsters (29.1 mmol/kg d.s.). Ook dit monster is verzuurd en heeft een hoge sulfaatconcentratie (2400 mg/L). De zandmonsters onder dit kleilaagje (35.55, 36.58 en 37.5 m-mv) hebben een matig hoog  $\text{O}_2$  verbruik (3.6 tot 23.6 mmol/kg d.s.) behoorlijk lage pH waarden (4.4 tot 5.1) en verhoogde  $\text{SO}_4$  concentraties (380 tot 1170 mg/L). Ook hier is weer sprake van pyrietoxidatie.

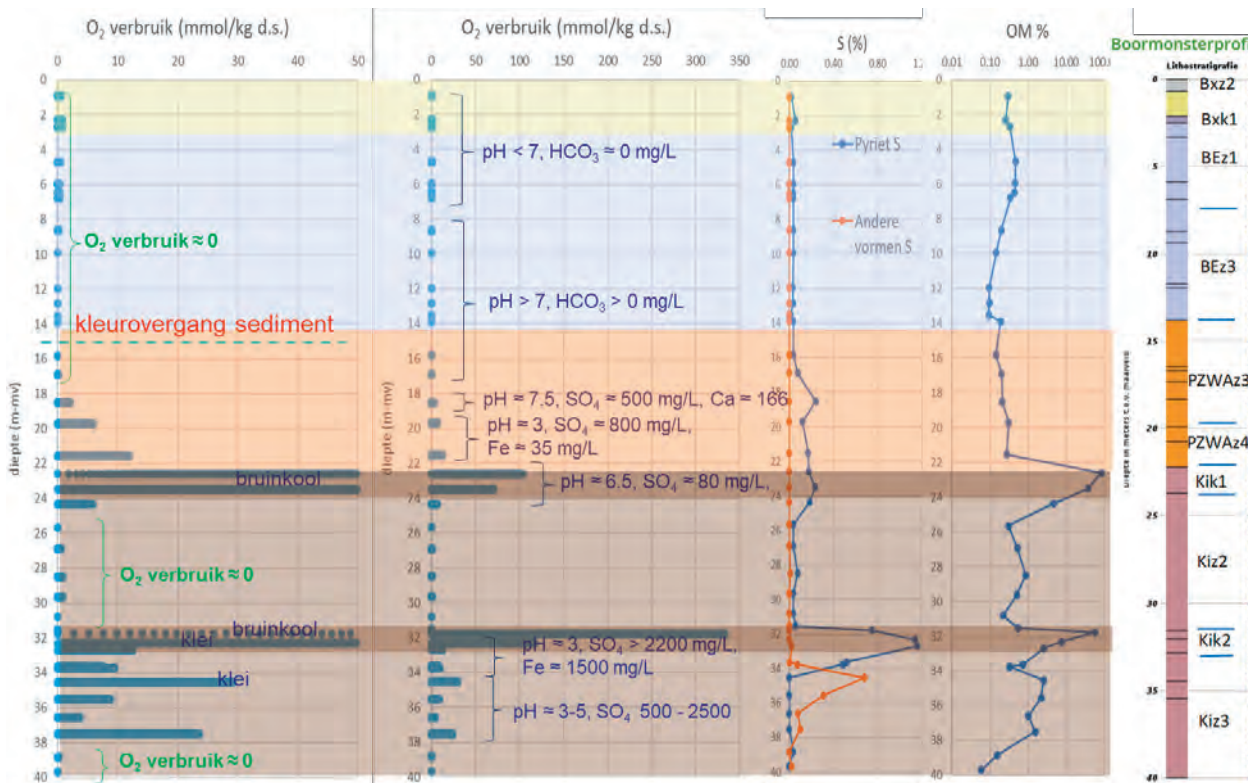
Het zandmonster op 39.68 m-mv is nauwelijks reactief.  $\text{SO}_4$  is met 83 mg/l wel hoger dan in het leidingwater. pH en Ca zijn niet veranderd ten opzicht van het leidingwater.

### 3.4 DISCUSSIE

De analyses met de micro-oxymax hebben waardevolle informatie opgeleverd over de redoxreactiviteit van de ondergrond op de locatie van de boring Lottum. De sedimentmonsters boven de (bovenste) kleurovergang van bruine tinten aan grijs bevatten niet of nauwelijks een bufferende werking (meer) tegen oxiderende stoffen. Deze kleurovergang bevindt zich net in de top van de Formatie van Peize/Waalre en komt overeen met het dieptetraject waarop in het in de omgeving van het puttenveld nitraathoudend grondwater wordt aangetroffen, namelijk in de Formatie van Bostel en de Formatie van Beegden. De sedimentmonsters boven deze kleurovergang bevatten een klein maar meetbaar gehalte OM (tot maximaal 0.5%) maar dit blijkt dus nauwelijks te worden afgebroken bij blootstelling aan zuurstof. Ditzelfde geldt voor het pyriet, ook dit is volgens de bulk geochemische analyse in lage gehalten aanwezig (boven detectiegrens maar onder aantoonbaarheidsgrens) maar deze blijken niet reactief te zijn.

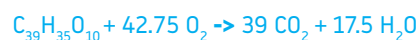
**FIGUUR 3.5**

Cumulatief zuurstofverbruik van de sedimentmonsters (let op verschil in x-as) uitgezet tegen de diepte inclusief de belangrijkste waarnemingen in de oplossingen na afloop van het experiment, tevens is het pyriet S en organische stofgehalte weergegeven.



Een opvallende waarneming is dat het watervoerende pakket onder de redoxovergang (die kan worden afgeleid uit de kleur van het sediment en de aanwezigheid van nitraat in de bovenste geohydrologische laagpakketten) en onder de bovenste weerstandbiedende laag (Kik1) ook nauwelijks tot geen buffervermogen tegen oxiderende stoffen bevat. In de boorbeschrijving is dit sediment ook als bruin, licht-bruin, grijs-bruin beschreven. Er is dus sprake van een tweede kleurovergang die waarschijnlijk resteert uit de periode dat dit laagpakket in het verleden aan de oppervlak heeft gelegen het geoxideerd is geraakt. Op basis van de micro-oxymax resultaten is de verwachting dat er in dit WVP geen nitraatafbraak plaats zal vinden. In dit WVP wordt in de omgeving van de winning Grubbenvorst echter geen nitraat aangetroffen. Hieruit kan worden afgeleid dat lagenpakketten boven dit WVP tot nu toe voldoende buffervermogen bevatten om het uitspoelende nitraat te reduceren. Het gaat dan met name om de Kik1, de PZWAz3 en de PZWAz4. De Waalre klei (Wak) is niet in de boring Lottum aangetroffen. Het buffervermogen van deze weerstandbiedende laag is dus niet bekend.

Naast de waardevolle inzichten die de micro-oxymax heeft opgeleverd zijn er ook nog zaken onzeker of onduidelijk en dus in toekomstig onderzoek aandacht behoeven. Zo wijkt de gemeten  $CO_2/O_2$  ratio van de bruinkoolmonsters met waarden tussen 0.27 en 0.4 sterk af van wat op basis van de stoichiometrie voor afbraak van OM kan worden verwacht. Lignine is het belangrijkste organisch materiaal in aquifer sediment en het belangrijkste bestanddeel van bruinkool. Bij volledige oxidatie van lignine geldt:



Dit geeft een  $CO_2/O_2$  ratio van 0.91. De gemeten ratio is dus ongeveer een factor 3 lager dan de theoretische ratio. De oorzaak van dit verschil is onduidelijk. Mogelijk moet dit worden gezocht in het al sterk afgebroken (bruinkool) karakter samen met de overvloed aan organisch materiaal waardoor de afbraak vooral partieel gebeurt.

Bij een aantal monsters waarin pyrietoxidatie is aangetoond is de gemeten  $\text{SO}_4$  concentratie duidelijk hoger dan op basis van het  $\text{O}_2$  verbruik en pyrietoxidatie met zuurstof verklaard kan worden. Een mogelijke verklaring hiervoor is de oxidatie van het monster voordat dit in de micro-oxymax is ingezet. De bemonstering uit de boorkernen en opslag van de monster is zodanig uitgevoerd dat het risico op blootstelling aan de lucht minimaal werd geacht. Door verschillende opstartproblemen van de (nieuwe) micro-oxymax is de bewaartijd van de monsters langer geweest dan oorspronkelijk de bedoeling was. Mogelijk was het pyriet in deze monsters dermate reactief dat er toch sprake is geweest van significante oxidatie voorafgaand aan de micro-oxymax analyse. Dit betekent dat bij de bemonstering en opslag van sedimentmonsters voor analyse in de micro-oxymax nog meer rekening gehouden moet worden met blootstelling aan de lucht.

Uit de micro-oxymax data kan worden afgeleid welke vaste fasen reactief zijn bij blootstelling van sedimentmonsters aan zuurstof. Dit is een indicatie voor de reactiviteit voor nitraat, maar dit is niet één op één door te vertalen. Voor het huidige onderzoek was het voldoende om te weten of de sedimentmonsters redoxreactief zijn en welk proces er optreedt. De metingen hebben aangetoond dat dit niet zomaar kan worden afgeleid uit bulk geochemische analyses. Voor situaties waarin de kinetiek van de oxidatieprocessen relevant is, zal aanvullend onderzoek nodig zijn om de gemeten afbraaksnelheden bij blootstelling aan zuurstof door te vertalen naar andere elektronenacceptoren zoals nitraat en sulfaat.

## ►► 4 EVOLUTIE VAN DE REISTIJDEN EN STROOMBANEN

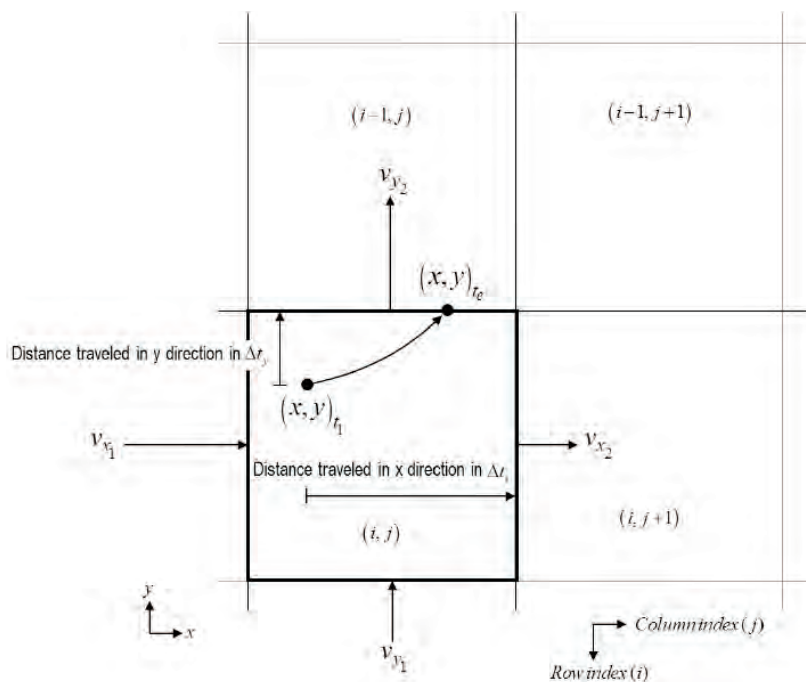
### 4.1 STROOMBAANBEREKENINGEN

Met behulp van stroombaanberekeningen is een 4D inschatting verkregen van de reistijdenverdeling van het in puttenveld Grubbenvorst gewonnen water. Deze stroombaanberekeningen zijn uitgevoerd op basis van resultaten van het grondwatermodel Ibrahim v2.1. Meer specifiek is gebruik gemaakt van een in 2018 gereedgekomen, aangepaste modelversie die is gebouwd voor de berekening van intrekgebieden voor alle winningen van WML (SWECO, 2019).

Bij stroombaanberekeningen worden fictieve deeltjes losgelaten in het door Ibrahim berekende stromingsveld. De deeltjes volgen het stromingsveld totdat een bepaalde, vooraf opgegeven maximale volgtijd is bereikt, of tot de deeltjes terecht komen in modelcellen waar het stromingsveld voldoet aan bepaalde voorwaarden (i.e. stopcriteria), zoals het voorkomen van “sinks/sources”, of andere randvoorwaarden inclusief de buitenranden van het model. [Figuur 4.1](#) illustreert het concept van particle tracking; de locatie waar een deeltje een modelcel uittreedt (oftewel de rand van een cel bereikt), is het resultaat van een analytische berekening, gebaseerd op alle snelheden over alle cel randen. Vanaf die uittreelocatie wordt het deeltje weer verder gevolgd tot een volgende cel rand, en dit proces wordt herhaald totdat het deeltje de maximale volgtijd heeft bereikt of een modelcel bereikt die voldoet aan een stopcriterium.

**FIGUUR 4.1**

*Schematische weergave van het berekenen van de uittreelocatie en de reistijd voor het geval van 2-dimensionale stroming in het x-y vlak. Uit Pollock (2012).*



Verdere karakteristieken van de voor deze studie uitgevoerde stroombaanberekeningen zijn:

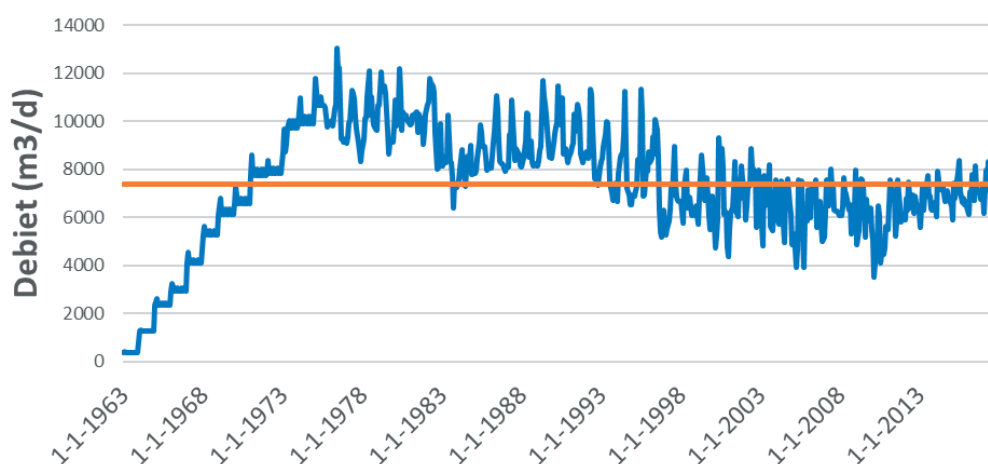
- Het gebruikte fluxenveld is stationair (langjarig gemiddeld, 1996-2011, conform Ibrahim 2.1).
- Het aan de verschillende putten van het puttenveld toegekende langjarig gemiddelde debiet is berekend door het gemiddelde debiet van het totale puttenveld te berekenen over de jaren 1963-2017, en vervolgens dit debiet naar rato over de verschillende pompputten te verdelen aan de hand van de debietverhoudingen tussen de individuele putten over het gehele jaar 2017. Dit betekent derhalve dat winputten die in 2017 niet meer actief waren geen debiet toegekend hebben gekregen. [Figuur 4.2](#) toont de ontwikkeling van het totale debiet van 1963 tot en met 2017 en [Tabel 4.1](#) geeft de uiteindelijk aan de individuele putten toegekende debieten.



- Per gridcel van 25x25m is, in een ruime zone rondom het aan de hand van een grovere (t.w. op 100x100m resolutie) berekening ingeschatte intrekgebied, een deeltje gestart vanaf het (door Ibrahim berekende) freatische niveau.
- Deeltjes zijn voorwaarts gevolgd stoppen zodra ze een modelcel bereiken waaraan een windebiet is toegekend (stroombanen die ergens anders stoppen spelen geen rol in deze studie en hieraan wordt hier daarom verder geen aandacht besteed).
- Het resultaat van de stroombaanberekening is geverifieerd aan de hand van resultaten van SWECO (2019). Op basis van hetzelfde model werd met de voor de voorliggende studie op onafhankelijke wijze opgezette stroombaanberekening nagenoeg hetzelfde intrekgebied en reistijdenverdeling verkregen. Tevens is het resultaat geverifieerd middels terugwaartse stroombaanberekeningen. Hierbij zijn een veelvoud aan ringen rondom de winputten startdeeltjes gedefinieerd welke terugwaarts in het stromingsveld zijn gevolgd tot zij in de grondwateraanvulling terecht kwamen. De collectie van de aldus verkregen eindlocaties bevestigde het beeld van de voorwaartse berekening.

**FIGUUR 4.2**

Ontwikkeling van het totale windebiet van puttenveld Grubbenvorst (Bron: Ibrahim v2.1 en WML). De oranje lijn geeft het gemiddelde debiet over de gehele periode aan.



**TABEL 4.1**

Toekenning van het gemiddelde debiet aan de pompputten die in 2017 nog actief zijn.

Pompput	Aandeel 2017 (%)	Toegekend debiet (m <sup>3</sup> /d)
1	0	0
2	8.6	642
3	7.8	572
4	0	0
5	0	0
6	12.6	923
7	0	0
8	17.2	1267
9	12.3	903
10	8.6	632
11	10.4	761
12	0	0
12A	8.9	655
13	13.6	996

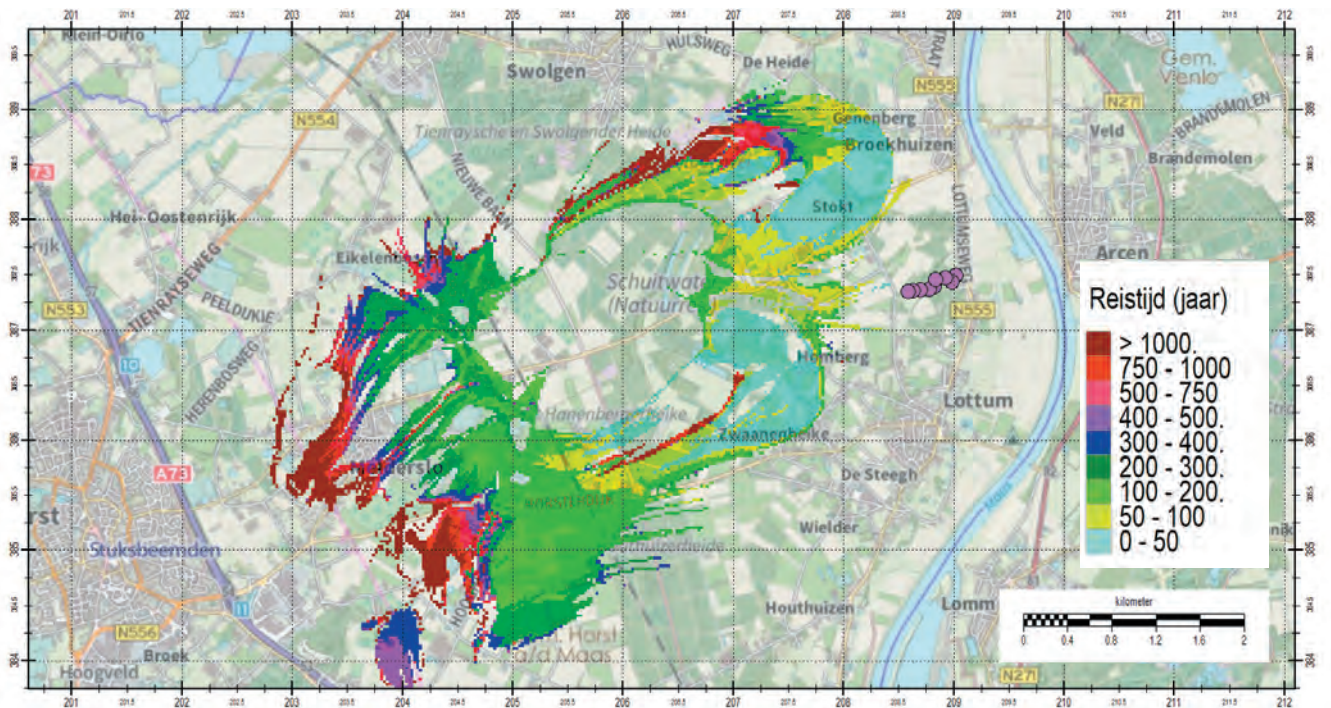
## 4.2 RESULTATEN

### 4.2.1 Basisscenario

Figuur 4.3 toont het berekende intrekgebied (ongelimiteerde reistijden) voor het puttenveld Grubbenvorst. De bijbehorende reistijdenverdeling wordt getoond in Figuur 4.4. Enkele kentallen van de verdeling worden gegeven in Tabel 4.2, waarbij deze tevens zijn opgesplitst per winput.

#### FIGUUR 4.3

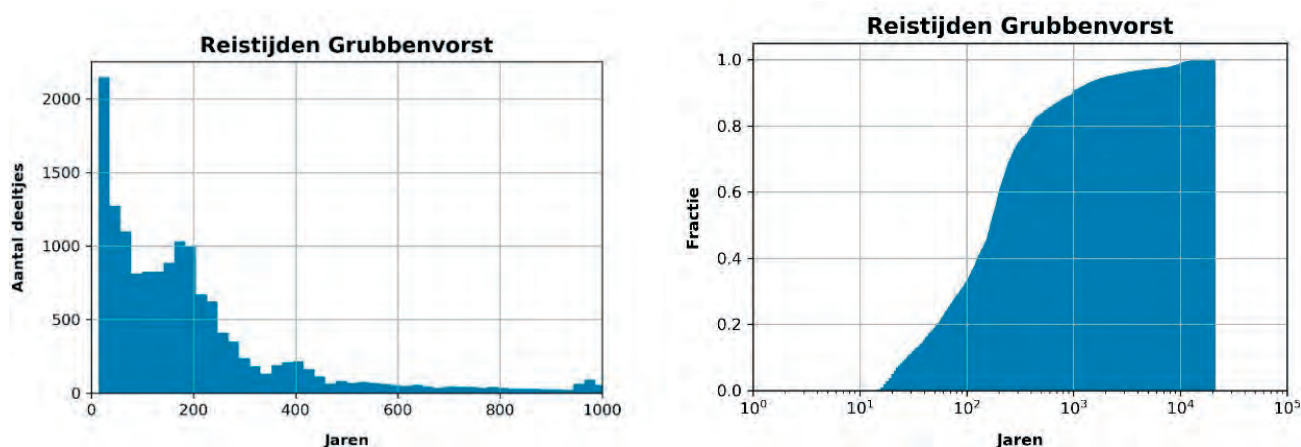
Het berekende intrekgebied met bijbehorende reistijden. De roze cirkels tonen de ligging van de winputten.



Het model berekent een grote spreiding in reistijden, zowel over het gehele puttenveld, over individuele winputten en tussen verschillende winputten. PP\_13 (de diepste put) pompt volgens het model veruit het oudste water op; slechts 5% is jonger dan 129 jaar en de mediane reistijd bedraagt 272 jaar. Voor bijvoorbeeld pompputten PP\_06, PP\_10, PP\_11 en PP\_12A betreft dit een veel groter aandeel jong water. Zo heeft meer dan 20% van het in deze putten opgepompte water volgens het stroombanenmodel een leeftijd jonger dan 31 jaar, in PP\_12A zelfs jonger dan 19 jaar. De absolute getallen per winput moeten hier, gezien de beperkingen van het model, kennen een relatief grote onzekerheid; een belangrijke les is echter wel dat de reistijdenverdeling naar een individuele put sterk kan afwijken van de verdeling van het totale puttenveld.

**FIGUUR 4.4**

Reistijdenverdeling (afgekapt op 1000 jaar) en cumulatieve reistijdenverdeling.

**TABEL 4.2**

Kentallen van de reistijdenverdeling, voor alle putten samen ('ALLE') en per winput apart. Alles in jaren.

	ALLE	PP_02	PP_03	PP_06	PP_08	PP_09	PP_10	PP_11	PP_12A	PP_13
Minimum	14	26	60	15	18	16	16	15	14	17
Maximum	21146	2522	10380	18396	15570	14992	21145	12413	5041	10607
Gemiddelde	574	240	434	743	138	438	1396	1005	223	913
p5	21	41	139	18	33	21	18	18	18	129
p10	28	52	156	20	40	27	20	22	21	171
p20	54	71	168	31	53	56	22	33	19	198
P50	166	214	202	154	98	191	103	169	85	272
P70	253	271	255	189	136	383	857	255	174	425
P90	976	423	706	1553	186	483	4184	2464	738	1992
P95	2078	635	1098	3324	351	1239	9939	8793	982	5677

## 4.3 DISCUSSIE

### 4.3.1 Selectie stroombanen voor berekening ontwikkeling ruwwaterkwaliteit

Het idee is dat t.b.v. de waterkwaliteitsberekeningen de reistijdenverdeling zoals hierboven gegeven worden “samengevat” in een beperkt aantal representatieve stroombanen. Er is voor gekozen hier een zestal stroombanen voor te selecteren. Deze stroombanen vormen ieder in feite 1D-modellen welke met de geochemische transportcode PHREEQC doorgerekend zijn (Zie Hoofdstuk 5). De resultaten van de 6 PHREEQC-modellen zijn om samen een ontwikkeling van de ruwwaterkwaliteit te berekenen voor de periode 1950 - 2020. De geselecteerde stroombanen dienen dan ook representatief te zijn voor deze periode van 170 jaar. Daarnaast zijn de geselecteerde stroombanen idealiter representatief voor het doorstroomde pakket. Het is duidelijk dat het aantal van zes stroombanen, of zelfs een veelvoud daarvan, niet voldoende zal zijn om de geohydrologische en geochemische complexiteit en variabiliteit voldoende te “vangen” om gedetailleerde voorspellingberekeningen te kunnen doen. Het doel van de berekeningen is in de eerste plaats de toegevoegde waarde van lokale geochemische informatie te onderzoeken. De zes stroombanen vormen samen een op werkelijke informatie gebaseerde synthetische “proxy” van het stromingsveld waarmee deze vraag onderzocht kan worden.

Een tweede set stroombanen is geselecteerd welke in de buurt van een monitoringsfilter komen, zodat gegevens van deze monitoringsfilters gebruikt kunnen worden bij het inregelen/valideren van de PHREEQC-sommen. Deze stroombanen hoeven niet noodzakelijkerwijs in de onttrekkingen te eindigen.

Om tot een geschikte selectie te komen van de 6 stroombanen voor de eerste set is de volgende aanpak gevolgd: Ten eerste is de verdeling van reistijden (van het totale puttenveld) jonger dan 170 jaar (dit betreft 51% van het totale debiet) opgedeeld in 6 gelijke delen, wat wil zeggen dat elk deel 16.67% van het totale debiet jonger dan 170 jaar vertegenwoordigt. [Tabel 4.3](#) geeft voor elk van deze delen de mediane reistijd van het water. Tevens geeft de tabel per leeftijdsklasse weer welk aandeel van het water afkomstig is van landbouwgronden en van andere landgebruiksvormen (op basis van LNG kaarten).

**TABEL 4.3**

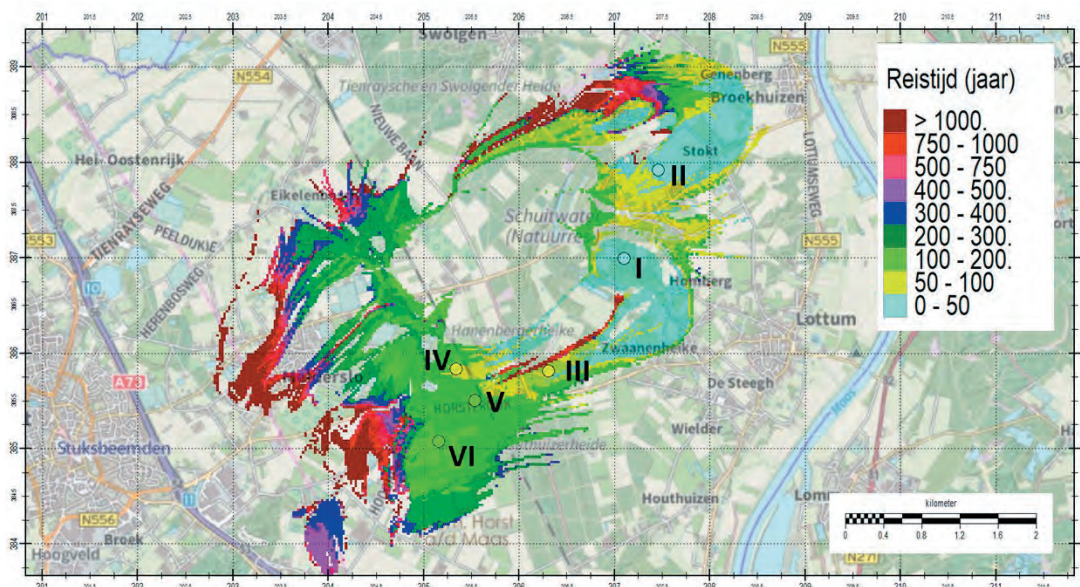
*Mediane reistijd per leeftijdsklasse van het gewonnen water < 170 jaar.*

Reistijdklasse	Mediane reistijd per klasse	% Landbouw in intrekgebied	% Overig landgebruik in intrekgebied
I 0 - 16.67% jongste water	20	50	50
II 16.67 - 33.34 % jongste water	34	43	57
III 33.34 - 50 % jongste water	57	33	67
IV 50 - 66.68 % jongste water	86	32	68
V 66.68 - 88.35 % jongste water	121	37	63
VI 88.35 - 100 % jongste water	157	50	50

Idealer worden dus 6 stroombanen geselecteerd met een reistijd zoals gegeven in de rechterkolom van [Tabel 4.2](#). De stroombanen zijn geselecteerd op basis van de ruimtelijke ligging in combinatie met deze reistijden. Voor elke leeftijdsklasse is een locatie gekozen binnen een grotere zone van het intrekgebied met dezelfde leeftijdsklasse. De startpunten van de gekozen stroombanen worden getoond in [Figuur 4.4](#). [Tabel 4.3](#) geeft voor de geselecteerde stroombanen de bijbehorende reistijden.

**FIGUUR 4.5**

*Startpunten van de geselecteerde stroombanen. De Romeinse cijfers staan voor de reistijdklassen uit [Tabel 4.2](#).*





**TABEL 4.4**

Reistijd naar winput per geselecteerde stroombaan.

Stroombaan (genummerd naar reistijdklasse)	Modelcodering stroombaan	Reistijd
I	310831	20
II	278107	32
III	352188	58
IV	351262	86
V	362722	119
VI	377718	158

Voor de tweede set stroombanen (welke monitoringsfilters passeren) is de volgende aanpak gevolgd. Om geschikt te zijn voor inregeling van PHREEQC is het belangrijk dat de monitoringsfilters aan de voorwaarde voldoen dat het water in deze filters geen mengsel is met een al te grote spreiding in herkomst en leeftijd. Om de beschikbare monitoringsfilters op dit criterium te toetsen is per filter een terugwaartse stroombaanberekening uitgevoerd. In deze berekening worden cilindergewijs startpunten gedefinieerd in een 100-tal cirkels rondom het filter, met op elke cirkel 16 equidistantieel geplaatste startpunten. Deze startpunten zijn terugwaarts in het stromingsveld gevolgd tot zij een bron bereiken (grondwateraanvulling of infiltrerend oppervlaktewater). Aldus is per monitoringsfilter een reistijdenverdeling verkregen van 1600 deeltjes. Enkele statistieken van deze reistijden verdeling per filter wordt gegeven in [Tabel 4.5](#).

In de tabel zijn de filters met een redelijk beperkte spreiding in leeftijd groen gearceerd. Te zien is dat het overgrote deel van de filters afvalt op basis van dit criterium. Dit is niet verwonderlijk gezien het convergerende stromingspatroon nabij de winputten en het grote aantal waarnemingsfilters dat zich in de directe nabijheid van de pompputten bevindt. Van de groen gearceerde filters geldt bovendien dat zij niet alle water bemonsteren dat onderweg is naar de onttrekkingen. Door de hierboven uitgelegde terugwaartse berekening ook voorwaarts uit te voeren is vastgesteld dat in het model alleen WP\_11\_2 exclusief water bemonstert dat onderweg is naar de onttrekking. Overige filters bemonsteren met name (ook) water dat onderweg is naar de Maas. Voor het doel van het inregelen van de parameterisatie van PHREEQC is dit echter geen probleem.

#### 4.3.2 Verifiëren van de representativiteit van berekende 3D reistijden door vergelijking met de waterkwaliteitsanalyses in hoofdstuk 2.3

In [Sectie 2.3](#) is beschreven dat voor winning Grubbenvorst geen tracers beschikbaar zijn om de leeftijd van waarnemingsputten of de reistijdverdeling van de pompputten mee te bepalen en de door Ibrahim berekende reistijden mee te verifiëren. Daarom is gekeken naar welke ‘overige’ stoffen als bijvoorbeeld bestrijdingsmiddelen en opkomende stoffen in de pompputten en waarnemingsputten zijn aangetroffen als tracer voor de grondwaterleeftijd. De in [Sectie 2.3](#) besproken bestrijdingsmiddelen worden allemaal al sinds de jaren 80 gebruikt en zijn nog niet verboden of pas sinds enkele jaren. De bestrijdingsmiddelen kunnen dus aangetroffen worden in filters die water bemonsteren jonger dan ongeveer 40 jaar.

[Tabel 4.6](#) geeft een overzicht van in welke filters en in welke jaren de bekeken bestrijdingsmiddelen zijn aangetroffen. [Tabel 4.3](#) in de vorige sectie leert ons dat volgens het model alleen in filters PP\_10\_0, PP\_13\_0, WP\_03\_2, WP\_04\_2, WP\_05\_3, WP\_05\_5 en WP\_10\_3 water jonger dan 40 jaar een kleiner aandeel heeft dan 5%. Van deze filters komt alleen PP\_10\_0 voor in onderstaande tabel. Voor verreweg de meeste filters uit [Tabel 4.6](#) geldt dus dat het feit dat daar bestrijdingsmiddelen in aangetroffen worden ook volgens het model goed mogelijk is.



**TABEL 4.5**

Statistieken van de reistijden van de terugwaarts vanaf de monitoringsfilters gevolgde deeltjes. Alles in jaren. Groen gearceerde rijen betreffen filters met een relatief beperkte spreiding in leeftijd.

Waarnemingsfilter	P5	P50	P95
B52E0253_1	8	10	12
B52E0253_2	16	19	21
B52E0253_3	4	14	51
PP_01_0	185	233	343
PP_02_0	25	131	542
PP_03_0	26	225	3262
PP_04_0	23	33	918
PP_05_0	38	164	1111
PP_06_0	6	31	688
PP_07_0	35	174	610
PP_08_0	1	120	259
PP_08_1	1	126	366
PP_09_0	18	173	5171
PP_09_1	14	35	128
PP_10_0	55	678	11051
PP_11_0	25	184	1361
PP_12A_0	17	153	1578
PP_12a_1	31	57	88
PP_12_0	30	56	165
PP_13_0	128	264	1551
WP_01_1	12	14	15
WP_01_2	25	199	233
WP_03_1	14	16	20
WP_03_2	66	159	209
WP_04_1	18	21	25
WP_04_2	56	172	199
WP_05_1	29	118	287
WP_05_2	28	252	1295
WP_05_3	1140	1985	10878
WP_05_4	1893	3848	12258
WP_08_1	19	35	50
WP_10_1	3	4	4
WP_10_2	19	21	24
WP_10_3	64	75	132
WP_11_2	28	34	39
WP_16_1	8	10	11
WP_16_2	16	20	29
WP_19_1	81	131	210
WP_19_2	260	294	529
WP_19_3	6658	7200	7705
WP_19_4	7851	8080	8511
WP_19_5	8027	8521	8721

**TABEL 4.6**

Overzicht in welke PP en WP en in welk jaar BAM, Bentazon, desphenylchloridazon, methyl-desphenylchloridazon en DMS zijn aangetroffen.

Parameter	Put	Filter	BKF_ NAP	OKF_ NAP	Gem filterdiepte	Maaiveld (m NAP)	P5 berekende reistijd (jaar)	Jaar aangetroffen
BAM	PP 02	0	-8.21	-21.66	35.41	20.47	25	2012
	PP 06	0	-5.41	-19.91	31.06	18.4	6	2016 t/m 2020
Bentazon	PP 02	0	-8.21	-21.66	35.41	20.47	25	2019 en 2020
	PP 06	0	-5.41	-19.91	31.06	18.4	6	2019 en 2020
	PP 08	0	-7.23	-21.68	34.86	20.4	1	2019
	PP 10	0	-26.29	-43.29	56.14	21.35	55	2017 t/m 2020
	WP 04	1	6.72	5.72	14.69	20.91	18	2020 en 2021
	WP 16	2	6.35	4.35	12.28	17.63	16	2015 t/m 2021
desphenylchloridazon	PP 06	0	-5.41	-19.91	31.06	18.4	6	2016 t/m 2021
	PP 08	0	-7.23	-21.68	34.86	20.4	1	2017 t/m 2021
	PP 09	0	-17.26	-42.22	49.24	19.5	14	2014, 2016 t/m 2021
	PP 10	0	-26.29	-43.29	56.14	21.35	55	2016 t/m 2021
	PP 11	0	-29.47	-43.82	55.45	18.81	25	2017 t/m 2021
	PP 12a	1	6.34	4.34	16.16	21.5	31	2017 t/m 2020
	WP 01	1	6.13	5.13	14.08	19.71	12	2017 t/m 2021
	WP 04	1	6.72	5.72	14.69	20.91	18	2017 t/m 2021
	WP 10	1	15.65	14.65	4.94	20.09	3	2020
	WP 10	2	7.52	6.52	13.07	20.09	19	2020
Methyl-desphenylchloridazon	PP 06	0	-5.41	-19.91	31.06	18.4	6	2019
	PP 08	0	-7.23	-21.68	34.86	20.4	1	2017 t/m 2021
	PP 10	0	-26.29	-43.29	56.14	21.35	55	2019 t/m 2021
	PP 12a	1	6.34	4.34	16.16	21.5	31	2017 t/m 2020
	WP 01	1	6.13	5.13	14.08	19.71	12	2019 en 2020
	WP 04	1	6.72	5.72	14.69	20.91	18	2017 t/m 2021
	WP 10	1	15.65	14.65	4.94	20.09	3	2020
	WP 10	2	7.52	6.52	13.07	20.09	19	2020
DMS	PP 02	0	-8.21	-21.66	35.41	20.47	25	2014 t/m 2021
	PP 03	0	-8.37	-21.37	35.27	20.4	26	2014 t/m 2015
	PP 06	0	-5.41	-19.91	31.06	18.4	6	2014 t/m 2021
	PP 08	0	-7.23	-21.68	34.86	20.4	1	2013 t/m 2021
	PP 09	0	-17.26	-42.22	49.24	19.5	14	2016 t/m 2021
	PP 10	0	-26.29	-43.29	56.14	21.35	55	2013 t/m 2021
	PP 12a	1	6.34	4.34	16.16	21.5	31	2015 t/m 2020
	WP 01	1	6.13	5.13	14.08	19.71	12	2015 t/m 2021
	WP 03	1	5.31	4.31	15.21	20.02	14	2015 t/m 2021
	WP 04	1	6.72	5.72	14.69	20.91	18	2015 t/m 2021
	WP 10	1	15.65	14.65	4.94	20.09	3	2020
	WP 10	2	7.52	6.52	13.07	20.09	19	2020
	WP 16	1	11.55	9.55	7.08	17.63	8	2015
	WP 16	2	6.35	4.35	12.28	17.63	16	2015 t/m 2021

Voorts is in [Sectie 2.3](#) geconstateerd dat voor sulfaat en ijzer in 1997 een piek zichtbaar is in de concentraties van PP4, PP6 en PP8. Het is echter niet goed mogelijk deze informatie eenduidig en met veel zekerheid te relateren aan een leeftijdsopbouw van het bemonsterde water dat daar dan aan ten grondslag moet liggen. Deze informatie falsificeert de modelresultaten daarom niet.

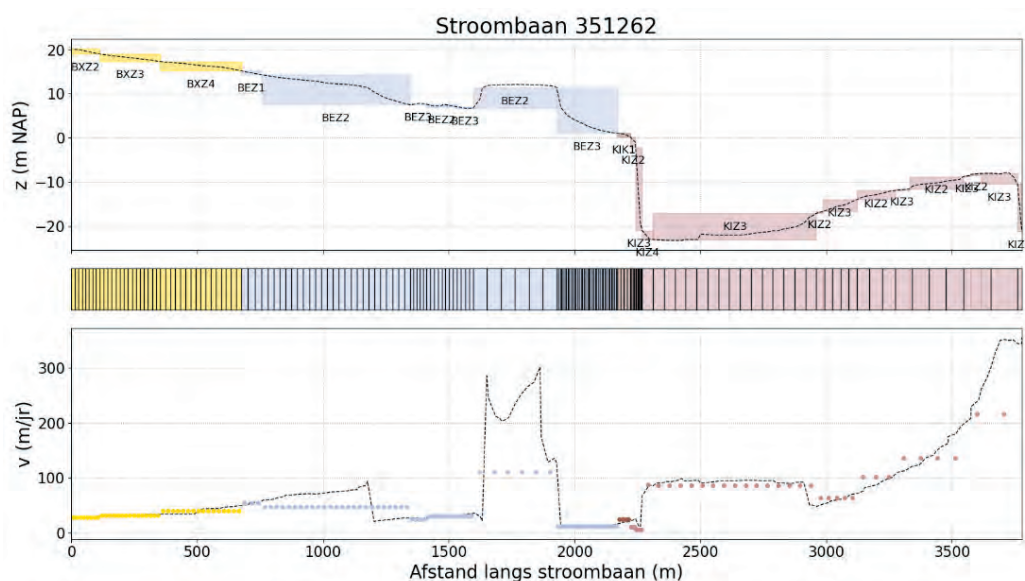
## ►► 5 GEMODELLEERDE ONTWIKKELING RUWWATERKWALITEIT

### 5.1 WERKWIJZE

Om de verandering van de kwaliteit van het ruwwater van pompstation Grubbenvorst te berekenen is gebruik gemaakt van de stroombaanbenadering (Viswanathan, & Valocchi, 2004). Voor deze benadering zijn zes stroombanen geselecteerd die elk representatief zijn voor een bepaalde leeftijdsklasse van het gewonnen water (zie Tabel 4.3 in Hoofdstuk 4). Langs deze stroombanen is met behulp van het programma PHREEQC de verandering van de waterkwaliteit als functie van de ruimte en de tijd berekend. Op basis van de snelheidsvariaties van het grondwater langs de stroombanen zijn de PHREEQC modellen in cellen onderverdeeld (Figuur 5.1). In deze studie zijn de cellen gegroepeerd op basis van de codering van de geohydrologische eenheden in REGIS II v2.1 zoals die in het Ibrahim v2.1 grondwatermodel zijn opgenomen. Met behulp van deze codering zijn de geochemische eigenschappen toegekend. Daarbij zijn als gevoeligheidsanalyse drie verschillende benaderingen voor reactiviteitsinput gevolgd die in sectie 5.2 in detail worden beschreven.

**FIGUUR 5.1**

*Schematisatie van een stroombaan in het PHREEQC model met hierin weergegeven de opeenvolging van de REGIS II v2.1 laagindeling, de diepte van de stroombaan en de stroomsnelheid van het water volgens Ibrahim v2.1.*



Naast de zes stroombanen die bij de winfilters van pompstation Grubbenvorst eindigen zijn ook PHREEQC modellen gemaakt voor een tweede set stroombanen (zie sectie 4.3.1). Deze stroombanen eindigen niet in het intrekgebied van het pompstation en geven dus geen informatie over de waterkwaliteitsontwikkeling van het pompstation. In plaats daarvan zijn ze representatief voor waarnemingsputten in de omgeving. Voor een beperkt aantal van deze waarnemingsputten was informatie over de grondwatersamenstelling beschikbaar, wat een vergelijking met de PHREEQC modellen mogelijk maakte. De resultaten van deze berekeningen worden separaat besproken in sectie 5.4.1.

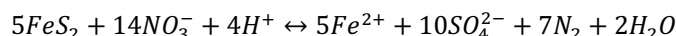
De veranderingen in waterkwaliteit worden door een aantal processen beïnvloed. De processen die in de PHREEQC modellen zijn gesimuleerd zijn:

- De verandering van de concentraties van stoffen in het water dat vanuit de bodem uitspoelt naar het bovenste grondwater. Hierbij is gebruik gemaakt van de dataset die door Althuisen (2021) is samengesteld. Deze tijdreeks omvat de concentraties van  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Na}$  en  $\text{K}$  voor de periode 1950 tot 2020. De gegevens zijn afgeleid

uit Van Vliet et al (2006), de LMM database (RIVM, 2020) en de OGOR database (Provincie Limburg, 2021). Wanneer geen data beschikbaar waren, heeft Althuizen (2021) waarden aangenomen. Voor de huidige studie is de tijdreeks op een aantal punten aangepast. Zo zijn de sulfaatconcentraties gehalveerd omdat de PHREEQC modellen de gemeten sulfaatconcentraties stelselmatig overschatten en Althuizen (2021) juist uitgegaan was van een twee maal zo hoge sulfaatbelasting als die van Van Vliet *et al* (2006). Ook was er sprake van een grote fout in de ionenbalans (overmaat aan anionen door hoge concentraties  $SO_4$  en  $NO_3$ ). Dit is opgelost door een pH aan te nemen van 5.5 en met PHREEQC de ionenbalans sluitend te maken met behulp van  $Ca^{2+}$ . In werkelijkheid leidt de verzurende werking van  $SO_4$  en  $NO_3$  tot een reeks ingewikkelde bodemchemische processen (bijv. mobilisatie van Al bij een lage pH gevolgd door uitwisseling), maar de gegevens om deze te reconstrueren ontbreken. Daarom is voor deze vereenvoudigde aanpak gekozen, waarbij er van uit is gegaan dat boeren streven naar een optimale pH waarde in de bodem (die afhankelijk van het gewastype en organisch stof gehalte ligt tussen 4.9 en 6). Deze wordt vaak verkregen door bekalking en tegelijkertijd kunnen eventueel natuurlijk aanwezige carbonaatfasen de pH bufferen. Om deze redenen is voor Ca gekozen als kation om het negatieve ladingoverschot te compenseren.

De simulaties starten in 1895. Tussen 1895 en 1950 zijn de concentraties in het water dat vanuit de bodem uitspoelt lineair geïnterpoleerd. De concentraties van het toenmalige grondwater zijn afgeleid uit de regenwatersamenstelling van Leeflang (1938) zoals gerapporteerd door Appelo (1985). Per geohydrologische eenheid zal de initiële watersamenstelling veranderen vanwege de verschillen in toegekende geochemische reactiviteit.

- De reactie van nitraat met in de bodem aanwezige pyriet in geval van niet-complete pyrietoxidatie waarbij het  $Fe^{2+}$  niet verder oxideert naar  $Fe(OH)_3$ . Voor de Modellerings in PHREEQC maakt het niet uit of de oxidatie compleet of niet-compleet is (PHREEQC lost dit zelf op)



en organisch materiaal



de reactie met organisch materiaal kan ook optreden met zuurstof of sulfaat als elektronenacceptor. De reactie is gesimuleerd als kinetische reactie volgens Appelo en Postma (2004)

$$\frac{dq_{CH_2O}}{dt} = -1.57 \cdot 10^{-9} q_{CH_2O} \cdot r_o$$

$$r_o = \frac{m_{O_2}}{2.94 \cdot 10^{-4} + m_{O_2}} + \frac{0.01m_{NO_3^-}}{1.55 \cdot 10^{-4} + m_{NO_3^-}} + \frac{0.01m_{SO_4^{2-}}}{1.55 \cdot 10^{-4} + m_{SO_4^{2-}}}$$

waarin  $q_{CH_2O}$  de hoeveelheid organisch materiaal voorstelt (mol/kg droge stof) en  $m_{O_2}$ ,  $m_{NO_3^-}$  en  $m_{SO_4^{2-}}$  de concentraties van opgelost zuurstof, nitraat en sulfaat, respectievelijk, aanduiden (mol/kg water). De reactie met pyriet is als evenwichtsreactie in het model opgenomen.

- Naast pyriet is ook de oplossing van kalk in de vorm van calciet ( $CaCO_3$ ) als evenwichtsreactie gemodelleerd. Voor het simuleren van de ijzerconcentratie is in het bovenste, geoxideerde gedeelte van de bodem evenwicht met goethiet ( $FeOOH$ ) verondersteld, terwijl in de dieper gelegen, gereduceerde zone evenwicht met sideriet ( $FeCO_3$ ) de ijzerconcentratie bepaalt. De redox grens is bepaald aan de hand van de reactiviteit van pyriet, dat wil zeggen de vanaf de eerste geohydrologische eenheid die volgt op de eenheid waarin pyriet voorkomt, evenwicht met sideriet wordt verondersteld, terwijl in de stroomopwaartse cellen het evenwicht met goethiet geldt. Dit onderscheid is gemaakt omdat de modelsimulaties lieten zien dat de aanwezigheid van pyriet vrijwel direct leidt tot het verdwijnen van al het opgeloste nitraat (en zuurstof) en daarmee dus een duidelijke sprong in de redoxomstandigheden veroorzaakt.



- Kationuitwisseling is in het model meegenomen volgens de uitwisselcoëfficiënten zoals die zijn opgenomen in de PHREEQC database. De kationuitwisselcapaciteit (CEC) zoals gemeten in de geochemische bepalingen is omgezet naar het aantal uitwisselsites in mol en in het model toegekend aan de cellen behorende bij een geohydrologische eenheid.
- Voor de simulaties is gebruikt gemaakt van dezelfde database als Althuizen (2021) alleen is voor pyriet de evenwichtsreactie uit de standaard PHREEQC database gebruikt omdat de vorm van de reactievergelijking met nikkel, zink en mangaan van Althuizen (2021) leidde tot convergentieproblemen in de numerieke oplossing. De parametrisering van bovengenoemde reacties is op drie manieren uitgevoerd, welke worden beschreven in de volgende sectie.

## 5.2 VERGELIJKEN VAN VERSCHILLENDE REACTIVITEITSINPUT OM TOEKOMSTIGE ONTWIKKELING WATERKWALITEIT TE VERKENNEN

De waterkwaliteit van het onttrokken grondwater is op drie verschillende manieren berekend. De methoden onderscheiden zich door de herkomst van de reactiviteitsinput:

*Methode 1:* Afgeleide potentiële reactiviteit uit data uit landsdekkende studie die ook ten grondslag ligt aan het Landelijk Waterkwaliteitsmodel. Dit betreft de data uit de rapportage van Huisman *et al.* (2016)

*Methode 2:* Afgeleide potentiële reactiviteit uit lokaal verkregen geochemische parameters uit de studie van Althuizen (2021) (boring B52G0165) en de boring die ten behoeve van het KIWK project is gezet in het intrekgebied van de winning Grubbenvorst (boring Lottum, B52G3501).

*Methode 3:* Data uit methode 2 aangevuld met de reactiviteitsmetingen met de Micro-oxymax op sedimenten uit lokale boring (zie hoofdstuk 3).

Met deze drie methodes is getracht de toegevoegde waarde van gebiedsspecifieke- ten opzichte van landelijke data van geochemische gehalten en experimentele reactiviteitsbepalingen inzichtelijk te maken.

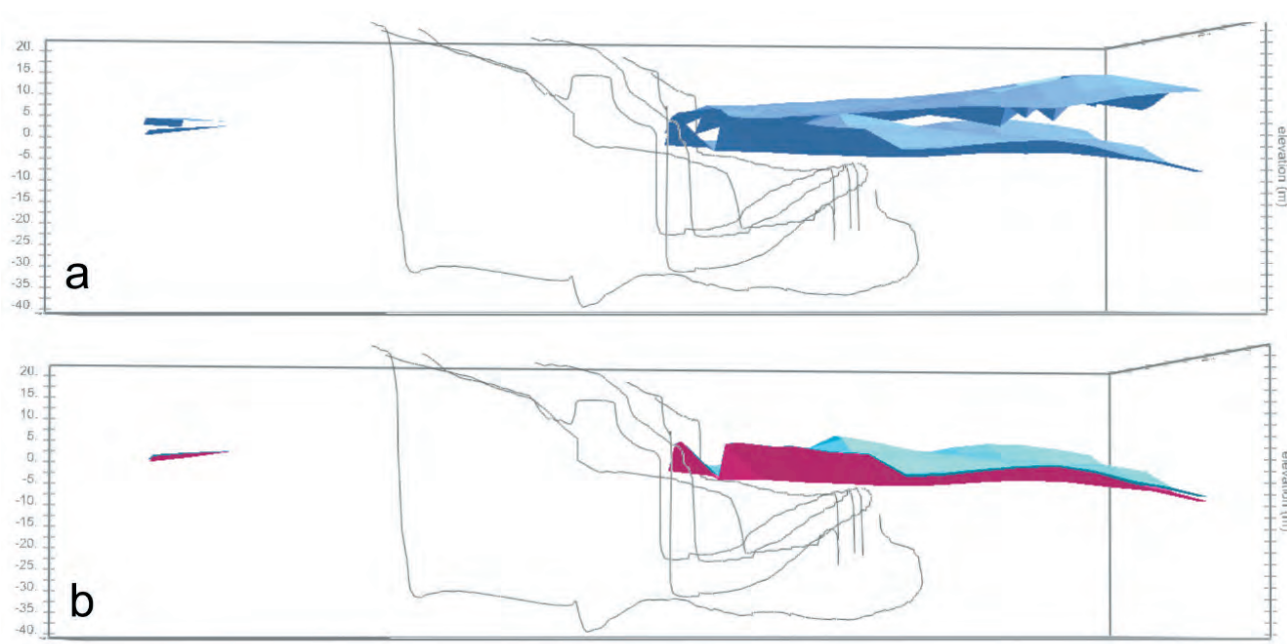
De gehalten van de reactieve bestanddelen zijn samengevat in [Tabel 5.1](#). De gehalten uit Huisman *et al.* (2016) zijn de waarden van de 50% percentiel voor de eenheid. Niet alle geohydrologische eenheden die in het stromingsmodel voorkomen, waren aanwezig in boring B52G3501 (zie [Figuur 3.1](#) voor ligging). In dat geval zijn de gemeten gehalten voor de ontbrekende eenheid in boring B52G0165 overgenomen. Voor boring B52G3501 waren meerdere monsters per eenheid beschikbaar, in dat geval is de gerapporteerde waarde het gemiddelde. Wanneer voor een geohydrologische eenheid een waarde ontbreekt zijn de waarden van de meest gelijkende eenheid waarvoor wel data beschikbaar zijn aangenomen.

De micro-oxymax metingen zijn uitgevoerd op monsters één boring na vervolgens is de gemeten reactiviteit van de afzonderlijke laagpakketten op deze plek representatief is gesteld voor dit laagpakket in het gehele intrekgebied van de winning. Er wordt dus geen rekening gehouden met een eventuele ruimtelijke variatie in redoxreactiviteit binnen laagpakketten.

Uit de Micro-oxymax metingen bleek dat vooral de eenheden PZWA3 & PZWA4 en KIZ3 significante pyrietafbraak lieten zien. Voor de eenheden KIK1 en KIK2 gold dat ze vooral reactiviteit voor organisch materiaal lieten zien. In de PHREEQC modellen voor methode 3 is de evenwichtsreactie met pyriet in alle andere eenheden daarom uitgeschakeld. In het intrekgebied van pompstation Grubbenvorst is de PZWA4 eenheid nauwelijks aanwezig en geen van de zes stroombanen doorkruist de PZWA3 eenheid. Daarmee bezitten de modellen volgens methode 3 aanzienlijk minder pyrietreactiviteit dan methode 1 en 2. Voor een van de stroombanen (met label 278107) geldt zelfs dat deze ook de KIZ3 eenheid niet passeert, waardoor pyrietoxidatie (en dus nitraatafbraak) in de schematisering van methode 3 in het geheel niet plaatsvindt langs deze stroombaan.

**FIGUUR 5.2**

a: boven- en onderkant van de geohydrologische eenheid PZWA3; b: boven- en onderkant van de geohydrologische eenheid PZWA4. De grijze lijnen geven de zes stroombanen weer.



De modellen van alle drie de methoden zijn vergeleken met data van de onttrokken grondwaterkwaliteit en beschikbare waterkwaliteit in monitoringsputten langs de stroombanen (zie hoofdstuk 2). In aanvulling op de in hoofdstuk 2 besproken waterkwaliteitsgegevens is ook gebruik gemaakt van de gemeten ruwwaterconcentraties van pompstation Grubbenvorst. Daarnaast zijn ook niet-gevalideerde concentraties beschouwd zoals de gemeten sulfaat, ijzer en nitraat concentraties van de individuele pompputten. Deze ontbreken in de gevalideerde dataset maar alleen maar omdat er geen volledig analysepakket is uitgevoerd waardoor de ionenbalans niet kan worden berekend. Dat wil echter niet zeggen dat de gemeten concentraties niet nauwkeurig en daarmee bruikbaar zijn voor een vergelijking met het model.

**TABEL 5.1**

Gebruikte gehalten pyriet, reactief ijzer, kalk en organisch materiaal (OM) en kationuitwisselcapaciteit (CEC) per REGIS eenheid voor de drie verschillende schematiseringen.

REGIS code	Pyriet	Reactief Fe	Kalk	OM	CEC
	%	%	%	%	meq/kg
<b>Huisman (2016)</b>					
BXZ2	0.1	4.2	0.7	2.5	31.7
BXZ3	0.1	4.2	0.7	2.5	31.7
BXZ4	0.1	4.2	0.7	2.5	31.7
BEZ1	0.2	1.2	0.3	0.1	1.2
BEZ2	0.2	1.2	0.3	0.1	1.2
BEZ3	0.2	1.2	0.3	0.1	1.2
PZWAZ2	0.0	0.4	1.5	0.1	16.2
PZWAZ3	0.0	0.4	1.5	0.1	16.2
KIK1	0.0	0.0	0.0	2.7	145.9

REGIS code	Pyriet	Reactief Fe	Kalk	OM	CEC
	%	%	%	%	meq/kg
KIZ2	0.0	0.1	0.1	0.2	5.5
KIK2	0.0	0.0	0.0	2.7	145.9
KIZ3	0.0	0.1	0.1	0.2	5.5
KIZ4	0.0	0.1	0.1	0.2	5.5
KIZ5	0.0	0.1	0.1	0.2	5.5
<b>Boring B52G3501/B52G0165</b>					
BXZ2	0.0	0.3	0.2	0.3	9.5
BXZ3	0.0	0.9	0.2	0.1	4.1
BXZ4	0.0	0.9	0.2	0.1	4.1
BEZ1	0.0	0.8	0.6	0.4	24.9
BEZ2	0.0	0.6	0.9	0.4	39.6
BEZ3	0.0	0.1	0.1	0.1	4.3
PZWAZ2	0.1	0.1	0.3	0.2	3.8
PZWAZ3	0.1	0.1	0.3	0.2	3.8
KIK1	0.2	0.2	1.2	60.9	935.7
KIZ2	0.1	0.0	0.1	1.1	16.5
KIK2	1.0	0.1	1.6	22.2	387.9
KIZ3	0.5	0.0	1.1	0.5	10.8
KIZ4	0.0	0.0	0.8	1.3	68.8
KIZ5	0.0	0.0	0.8	1.3	68.8
<b>Micro-oxymax</b>					
BXZ2	0.0	0.3	0.0	0.0	9.5
BXZ3	0.0	0.9	0.0	0.0	4.1
BXZ4	0.0	0.9	0.0	0.0	4.1
BEZ1	0.0	0.8	0.0	0.0	24.9
BEZ2	0.0	0.6	0.9	0.0	39.6
BEZ3	0.0	0.1	0.0	0.0	4.3
PZWAZ2	0.0	0.1	0.0	0.0	3.8
PZWAZ3	0.1	0.1	0.3	0.0	3.8
KIK1	0.0	0.2	1.2	60.9	935.7
KIZ2	0.0	0.0	0.0	0.0	16.5
KIK2	0.0	0.1	1.6	22.2	387.9
KIZ3	0.5	0.0	1.1	0.0	10.8
KIZ4	0.0	0.0	0.8	0.0	68.8
KIZ5	0.0	0.0	0.8	0.0	68.8

Voor de vergelijking tussen ruwwatersamenstelling en model zijn de berekende concentraties van de zes stroombanen gemiddeld. De zes stroombanen vertegenwoordigen echter niet de totale hoeveelheid opgepompt water: Ze zijn alleen representatief voor stroombanen in de jongste verblijftijdsklassen (Figuur 4.3) die zijn beïnvloed door landbouw. Bij de vergelijking tussen modelresultaten en meetgegevens is daarom verondersteld dat het opgepompte water een mengsel is van water afkomstig uit landbouwgebieden, natuur en oud grondwater van grotere diepte (zie ook Figuur 2.6). Van pompstation Grubbenvorst is bekend dat er verzilting optreedt als gevolg van opkegeling van zout grondwater uit dieper gelegen mariene lagen (Formatie van Breda). Naast een zout grondwatertype komt op diepte ook een oud, zeer zoet grondwatertype voor, wat blijkt uit de concentraties die gemeten worden in de winfilters (PP11, PP12 en PP13) die gelegen zijn onder de diepere Kiezeloölietklei (Kik2). Het stromingsbeeld is dus zeer complex wat een vergelijking van de metingen met de concentraties berekend volgens de stroombanenmethode bemoeilijkt. De bijmenging van water in het pompsta-

tion is op sterk vereenvoudigde wijze verdisconteerd door de gemiddelde concentratie verkregen uit de zes stroombanen te mengen met de samenstelling zoals weergegeven in Tabel 5.2 onder de aanname dat de zes stroombanen tezamen 50% van het totale debiet van het pompstation vertegenwoordigen en het bijgemengde water de overige 50%. Dit komt grofweg overeen met de berekende leeftijdsverdeling die laat zien dat 51% van het opgepompte water jonger is dan 170 jaar (zie hoofdstuk 4).

**TABEL 5.2**

*Aangenomen watersamenstelling van de niet gemodelleerde grondwaterbijdrage aan de ruwwaterkwaliteit van pompstation Grubbenvorst.*

Parameter	Waarde	Eenheid
pH	6.9	
SO <sub>4</sub>	10	mg/l
Fe	5	mg/l
NO <sub>3</sub>	0	mg/l
Cl	100	mg/l
Hardheid	1	mmol/l

### 5.3 SCENARIO'S NITRAATUITSPOELING EN GATEN/DOORBORINGEN KLEILAAG

Voor een verkenning van de mogelijke ontwikkeling van de waterkwaliteit van het opgepompte water zijn de PHREEQC modelberekeningen volgens methode 2 voortgezet tot het jaar 2100. Hierbij is aangenomen dat de nitraat- en sulfaatbelasting hoog blijft. Voor de concentraties van het water dat uitspoelt vanuit de landbouwgebieden zijn de waardes uit 2018 aangenomen en constant gehouden in de tijd. De berekende concentraties geven daarmee dus slecht een indicatie van de mogelijk toekomstig te verwachten trends in ruwwaterkwaliteit.

De reden dat voor de toekomstscenario's voor methode 2 en niet voor methode 3 is gekozen, is het feit dat door het ontbreken van pyriet in het model van stroombaan 278107 volgens methode 3, er geen nitraatafbraak plaatsvindt. Zoals in de volgende sectie zal worden besproken worden de NO<sub>3</sub> concentraties bij deze methode daarmee overschat ten opzichte van de metingen. De resultaten van deze berekening zijn daarmee wel representatief voor grondwater wat geen contact heeft gehad met pyriethoudende lagen. Dit kan zijn door natuurlijke heterogeniteit, waardoor reactieve eenheden plaatselijk ontbreken, maar ook door doorboringen van de reactieve eenheden (bijvoorbeeld ten behoeve van WKO installaties). De resultaten van de berekening van stroombaan 278107 zullen daarom worden gebruikt om globaal inzichtelijk te maken wat de gevolgen zijn van het wegnemen van de reactiviteit door het ontstaan van kortsluitstroming.

### 5.4 RESULTATEN

Figuur 5.3 toont de verandering van de reactiviteit langs één van de zes stroombanen volgens elk van de drie methoden, evenals de gemodelleerde concentraties van een aantal opgeloste stoffen. Deze resultaten laten duidelijk zien hoe de verschillen in geochemische reactiviteit tussen de modellen hun uitwerking hebben op de berekende concentraties. Zo verdwijnt in methode 1 het nitraat direct aan het begin van de stroombaan omdat de pyrietconcentraties in de landsdekkende data relatief hoog zijn in de formatie van Boxtel. De gebruikte pyrietgehalten zijn duidelijk lager in de modellen volgens methode 2 (data uit de boringen) en daardoor dringt nitraat ook iets dieper door, maar verdwijnt nog steeds relatief snel. Alleen in de modellen volgens methode 3 kan nitraat tot ver langs de stroombaan doordringen. Pas als de pyriet-houdende KIZ3 eenheid wordt bereikt daalt het nitraatgehalte aanzienlijk.

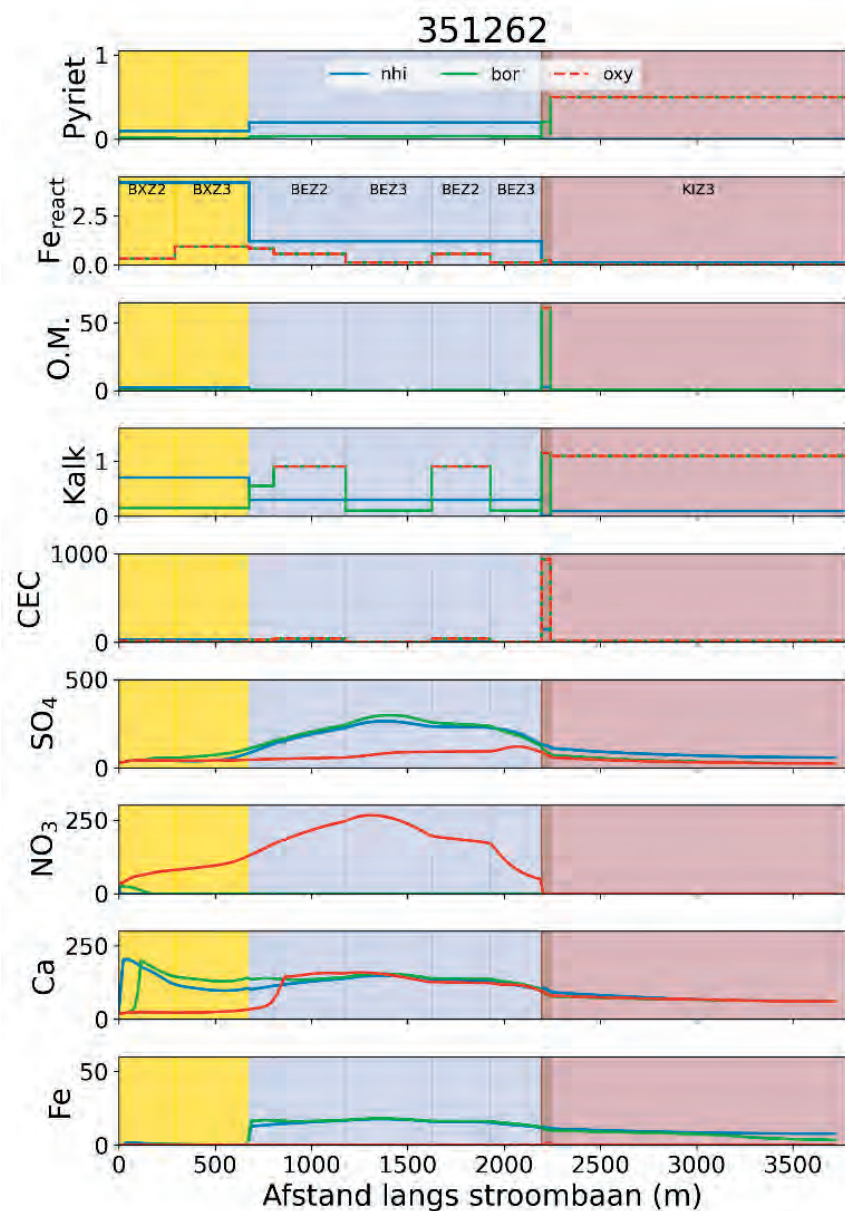
De sulfaatconcentraties volgens methodes 1 en 2 zijn daardoor ook duidelijk hoger dan in het geval van methode 3. Opvallend is ook het verschil in de ijzerconcentraties: Voor de modellen volgens methode 1 en 2 bevat de formatie van Beegden reactief ijzer in de vorm van sideriet (zoals in de voorgaande sectie is uitgelegd). Hierdoor stijgen de ijzerconcentraties

zodra het water deze formaties bereikt. In de modellen volgens methode 3 komt sideriet pas voor in de eerstvolgende laag op KIZ3. Echter, de gehalten aan reactief ijzer in deze laag zijn zo gering dat het niet tot een significante stijging van de opgelost ijzerconcentraties leidt.

Voor calcium geldt iets vergelijkbaars: Omdat kalk pas voorkomt in methode 3 in eenheid BEZ2 worden de calciumconcentraties in het grondwater in de formatie van Boxtel alleen beïnvloed door de variatie van opgelost calcium in het water dat in de bodem infiltreert, met een klein effect van kationuitwisseling. In methodes 1 en 2 is de formatie van Boxtel al kalkhoudend dus bevat het grondwater daar ook opgelost calcium. Opvallend is de gelijkenis van de grafieken vanaf het punt dat ook in de methode 3 modellen kalk voorkomt. Blijkbaar is de invloed van het kalkevenwicht vanaf dat punt zo sterk dat het concentratieverloop van calcium domineert.

### FIGUUR 5.3

Veranderingen van reactiviteit (pyriet, reactief ijzer (Fereact), organisch materiaal (OM) kalk, kationuitwisselcapaciteit (CEC)) en gemiddelde concentraties van  $SO_4$ ,  $NO_3$ , Ca en Fe langs stroombaan 351262 op 31 december 2020. De kleuren van de vlakken geven de geohydrologische eenheden volgens REGIS II v2 weer.





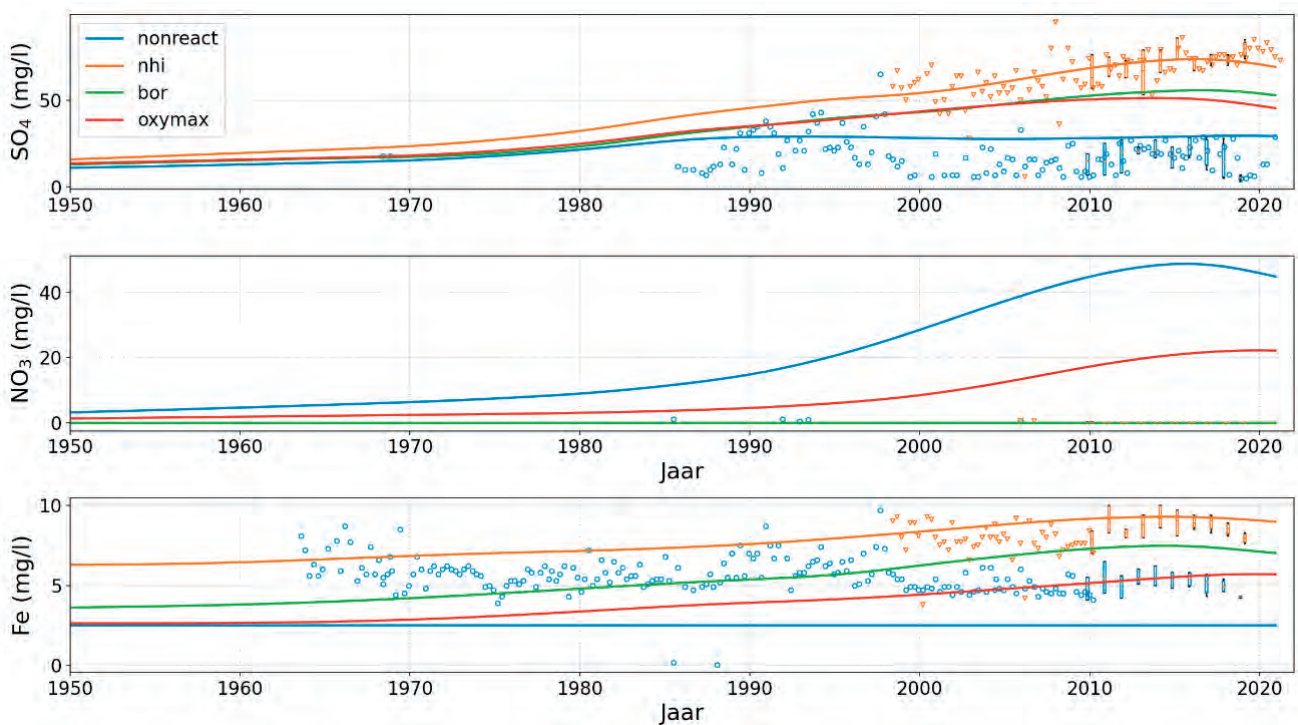
De gemeten en gesimuleerde concentraties van de ruwwatersamenstelling zijn weergegeven in [Figuur 5.4](#) en [Figuur 5.5](#). Hierbij is een onderscheid gemaakt in naar de twee ruwwaterleidingen van het pompstation: de DCP- en CONV-ruwwaterleiding. Naast de modelresultaten voor de drie verschillende methoden zijn ook de resultaten opgenomen voor niet-reactieve modellen. Dit maakt het mogelijk veranderingen door chemische reacties te onderscheiden van veranderingen in de tijd door concentratieveranderingen in het input signaal.

Voor de periode 2000-2020 laten de sulfaatconcentraties een licht stijgende trend zien, gevolgd door een lichte afname ([Figuur 5.4](#)). Deze lichte afname is niet zichtbaar in de niet-reactieve simulatie. Het verschil laat zich verklaren door het effect van pyrietoxidatie door nitraat. Bij de bespreking van de toekomstscenario's hieronder zal hier nog verder op worden ingegaan.

De gemeten nitraatconcentraties zijn tijdens de beschouwde periode nagenoeg nul en door het verdwijnen van nitraat in de modellen met pyrietoxidatie is dit doorgaans ook het geval voor de gemodelleerde concentraties. De uitzondering hierop is het al eerder genoemde model van stroombaan 278107. Hierdoor zou het ruwwater zoals gemodelleerd volgens methode 3 een significante nitraatconcentratie bezitten ([Figuur 5.4](#)), wat duidelijk niet in overeenstemming met de realiteit is. Hiervoor zijn twee mogelijke verklaringen te geven. Ten eerste kan het zijn dat de pyrietreactiviteit van sommige geohydrologische eenheden in de modellen volgens methode 3 wordt onderschat. Dit laatste is omdat de reactiviteit van geohydrologische eenheden die geen reactiviteit lieten zien in de micro-oxymax experimenten op nul is gezet, terwijl ze in werkelijkheid een weliswaar geringe maar niet verwaarloosbare reactiviteit kunnen bezitten. Ten tweede is het mogelijk dat het grondwaterstromingsmodel onjuist voorspelt dat deze stroombaan geen van de aanwezige reactieve geohydrologische eenheden passeert.

#### FIGUUR 5.4

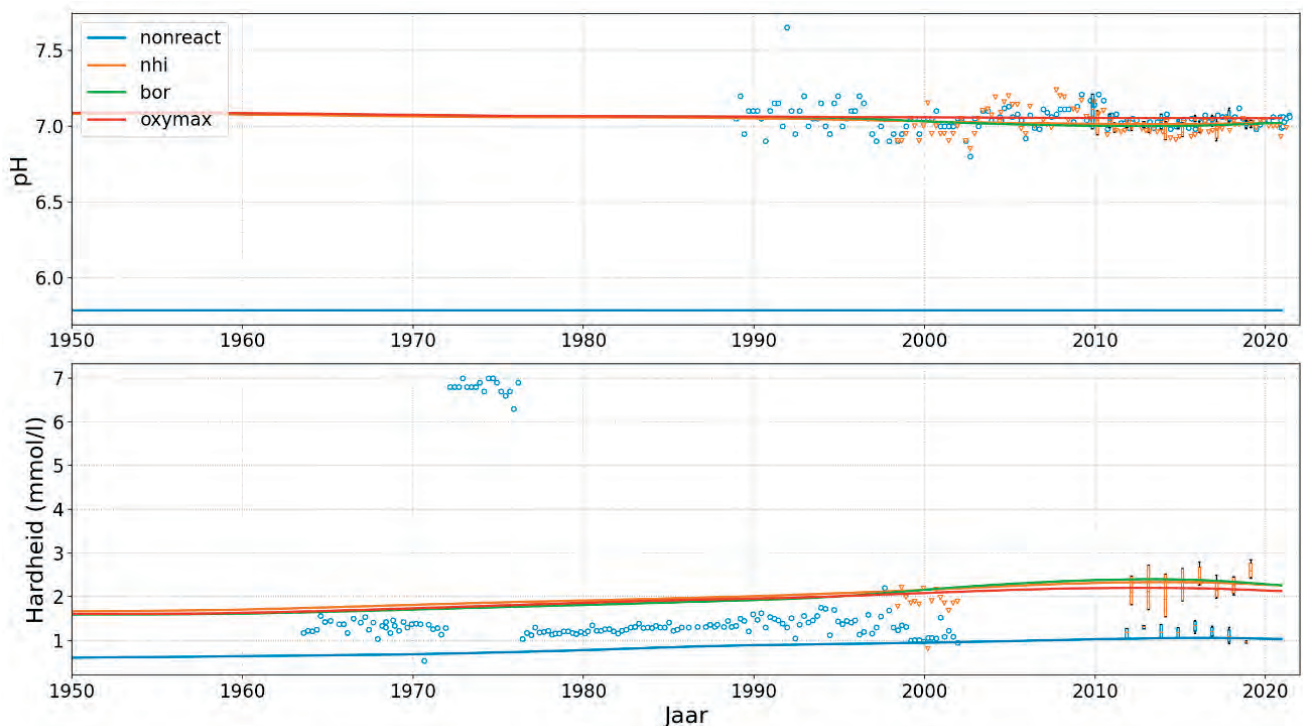
*Tijdsverloop van de gemodelleerde- en gemeten concentraties van sulfaat, nitraat en ijzer in het ruwwater van pompstation Grubbenvorst. De balken (oranje voor dcp, blauw voor conv) geven de 25 en 75 graden percentielen aan, de lijntjes in de balk zijn de mediaanwaarden. De min- en maxwaarden zijn aangegeven met foutenbalken.*



De modellen volgens de drie methoden verschillen ook duidelijk in hun berekende ijzerconcentraties (Figuur 5.4). De reden hiervoor is de keuze voor de aangehouden schematisering van het reactieve ijzer waarbij sideriet pas voorkomt in de eerste eenheid volgend op een pyriethoudende eenheid. In methodes 1 en 2 betekent dit dat de formaties van Boxtel en Beegden al als sideriethoudend worden beschouwd omdat pyriet al voorkomt in deze eenheden, terwijl in methode 3 pyriet voor het eerst pas wordt toegekend aan eenheid KIZ3 binnen de Kiezeloölietformatie. De geldigheid van deze aanname wordt nader besproken in sectie 5.4.1.

## FIGUUR 5.5

Tijdsverloop van de gemodelleerde- en gemeten pH en hardheid. Voor betekenis balken zien onderschrift Figuur 5.4.



De gesimuleerde hardheid en pH van het opgepompte water vertonen slechts geringe verschillen tussen de verschillende parametrisatiemethoden (Figuur 5.5). De reden hiervoor is dat het evenwicht met calcië er voor zorgt dat het water een calciumconcentratie verkrijgt die voor alle methoden vergelijkbaar is. De gesimuleerde hardheden zijn aan de hoge kant vergeleken met de gemeten ruwwaterconcentraties maar dat heeft deels ook te maken met het feit dat calcium gebruikt is in het inputsignaal om het negatieve ladingsoverschot te compenseren.

### 5.4.1 Prognose waterkwaliteit

De geprognosticeerde ruwwatersamenstelling tot het jaar 2100 is weergegeven in Figuur 5.6 en Figuur 5.7. Gezien de beperkingen van de stroombaanmethode, onzekerheden omtrent de parametrisatie van de reactiviteit en het sterk vereenvoudigde toekomstscenario (nitraatuitspoeling constant in de tijd op het niveau van 2018) moeten deze modeluitkomsten niet als voorspellingen worden gezien maar als mogelijke indicaties van de te verwachten trends. Wat opvalt voor sulfaat is het golvende concentratieverloop. Dit heeft te maken met de verschillen in stroombaanlengte en grondwaterverblijftijd waardoor de pieken van sulfaat voor elke stroombaan op een ander tijdstip bij het pompstation arriveren. Dit is extra geïllustreerd door in Figuur 5.8 de sulfaatconcentratie als functie van de tijd per stroombaan weer te geven. De fluctuaties zijn een artefact van de gevolgde methode die gebaseerd is op zes stroombanen die elk een bepaalde verblijftijdsklasse vertegenwoordigen.

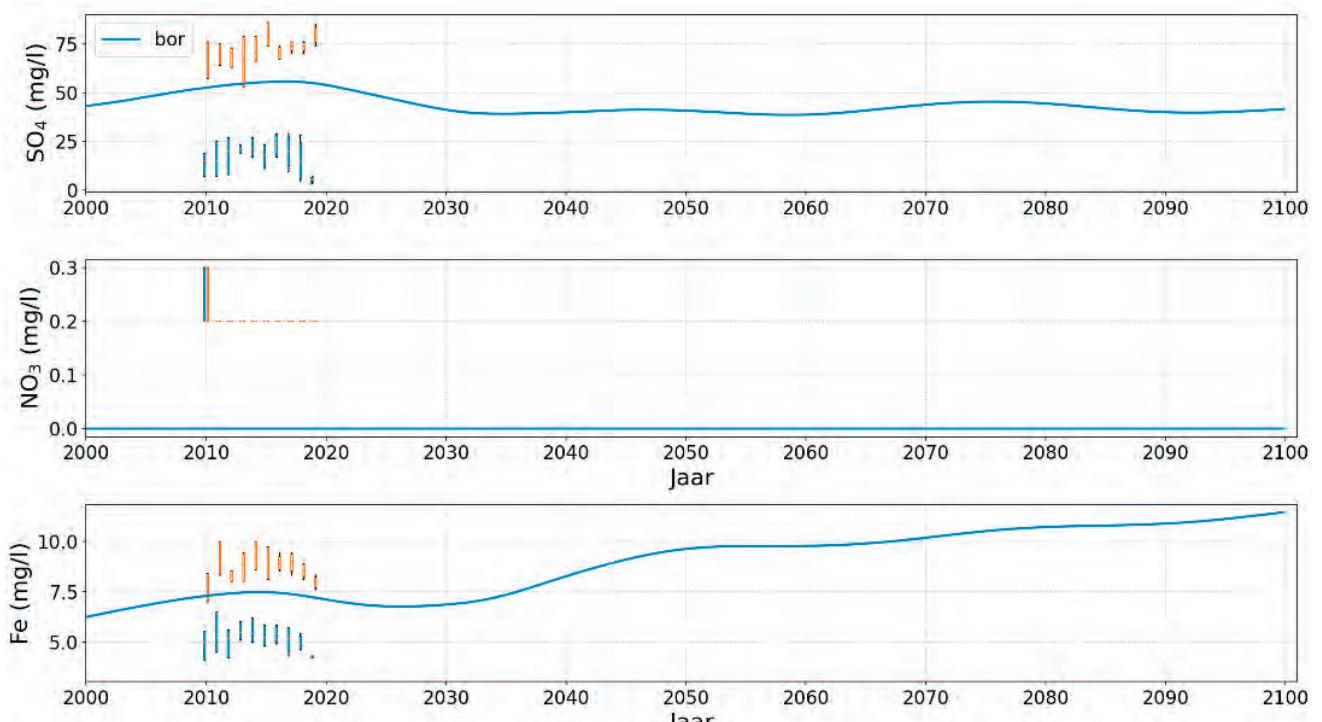
In de modellen is voldoende pyriet en organisch materiaal aanwezig om alle nitraat volledig af te breken. In de beschouwde modelscenario's blijft de concentratie van nitraat dus nul. De ijzerconcentraties vertonen een stijgende trend wat slechts in geringe mate verklaard kan worden door de oxidatie van pyriet. Het opgelegde evenwicht met sideriet in de modellen heeft een veel sterkere invloed op de concentraties. De stijgende lijn kan worden toegeschreven aan de dalende pH als gevolg van pyrietoxidatie: Hierdoor verschuift het carbonaatevenwicht en daalt de concentratie van het carbonaation ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), waardoor de ijzerconcentratie in het model moet stijgen omdat evenwicht met sideriet wordt opgelegd:



Net als voor sulfaat is er voor de hardheid een fluctuerend patroon te herkennen. Dit heeft er gedeeltelijk mee te maken dat calcium het negatieve ladingoverschot in hetingangssignaal moet compenseren en dus gecorreleerd is met sulfaat. Tegelijkertijd spelen carbonaatreacties een rol en speelt ook de verschuiving van het carbonaat evenwicht door het dalen van de pH een rol. De verschillende reacties en de concentratieveranderingen in het inputsignaal grijpen op een complexe manier in elkaar, waardoor er meerdere fluctuaties van de concentratie in de tijd ontstaan.

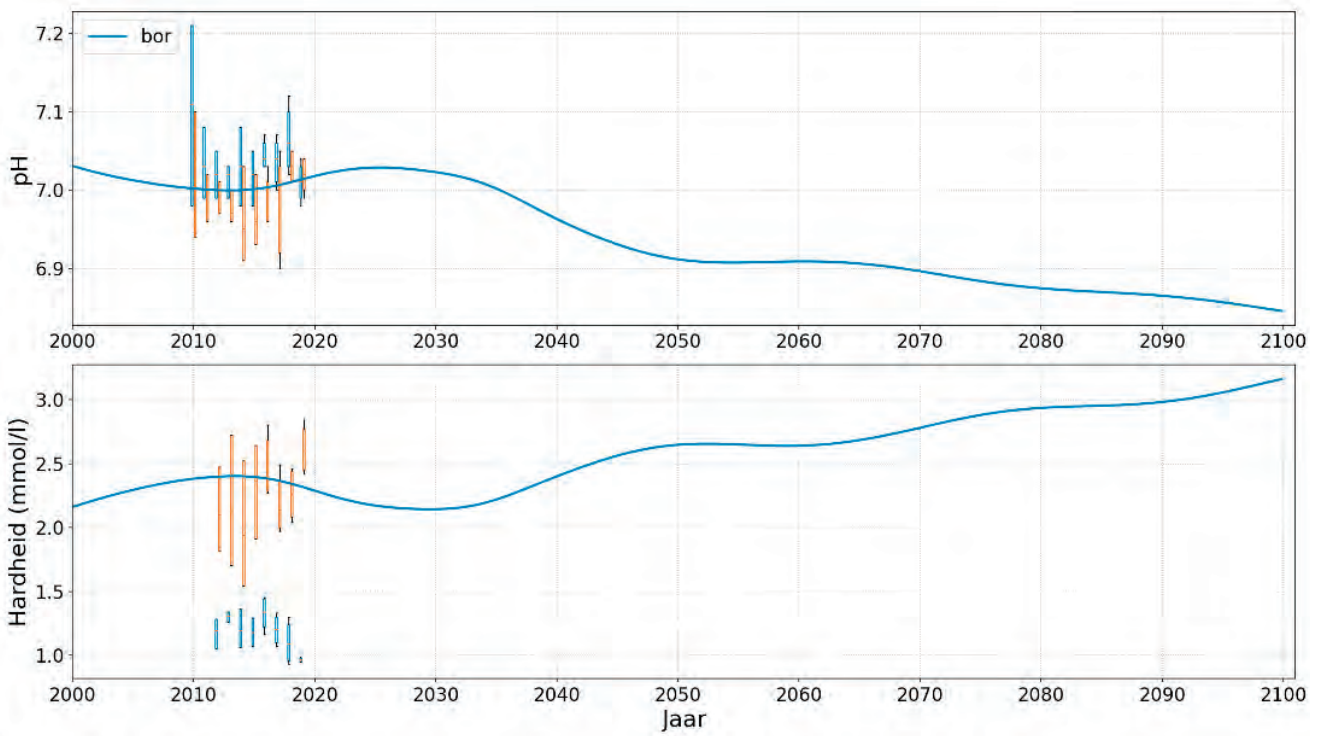
### FIGUUR 5.6

*Geprognosticeerde ruwwaterconcentraties van sulfaat, nitraat en ijzer tot het jaar 2100 gesimuleerd met de PHREEQC modellen volgens methode 2.*



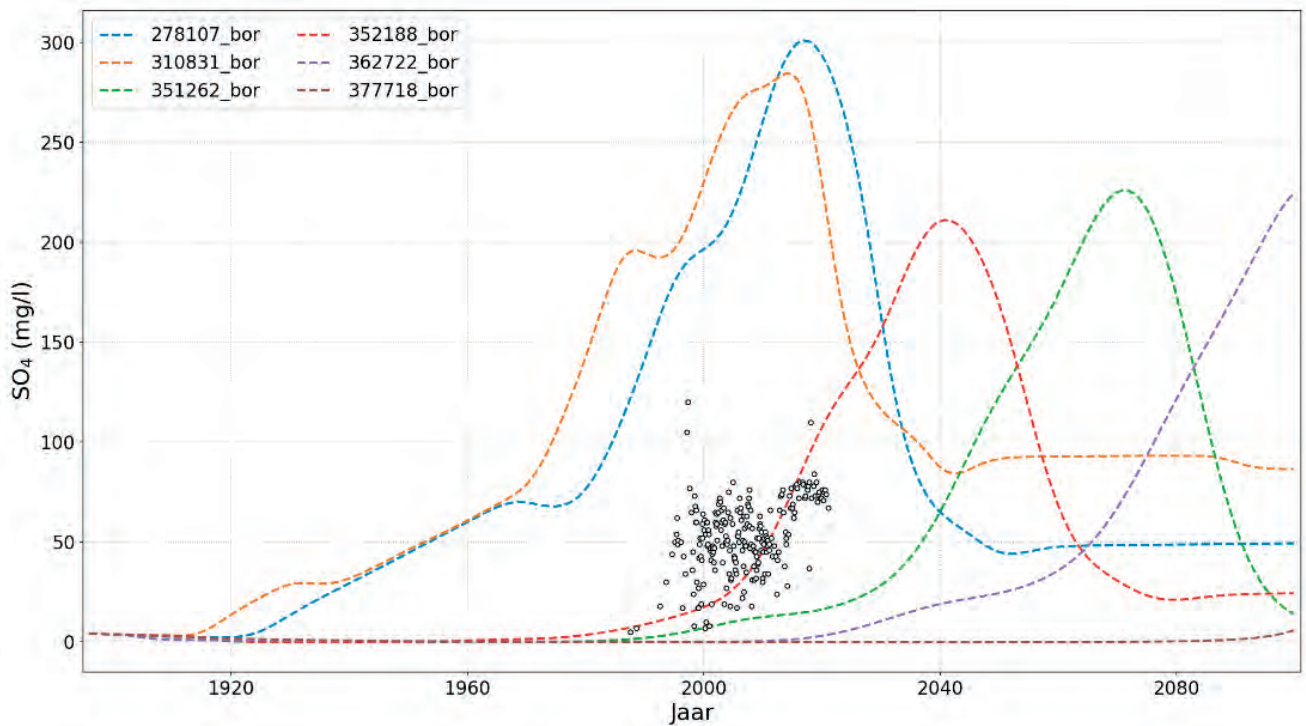
**FIGUUR 5.7**

Geprognosticeerde pH en hardheid van het ruwwater tot het jaar 2100 gesimuleerd met de PHREEQC modellen volgens methode 2.



**FIGUUR 5.8**

Historische en geprognosticeerde concentraties van sulfaat aan het einde van de zes stroombanen tot het jaar 2100 gesimuleerd met de PHREEQC modellen volgens methode 2. Ter vergelijking zijn ook de gemeten concentraties van sulfaat in pompput 8 van de winning Grubbenvorst opgenomen.





### 5.4.2 Afname buffervermogen

De afname van de reactiviteit in de tijd is bepaald door voor elke tijdstap in een PHREEQC model de hoeveelheid pyriet van alle modelcellen bij elkaar op te tellen. De resultaten van deze berekening laten zien dat over de periode 1895 – 2100 de hoeveelheid pyriet met maximaal enkele procenten afneemt, in de meeste modellen met één à twee procent. De afname is groter voor de kortere stroombanen (representatief voor een kleinere verblijftijd) dan voor de langere stroombanen. In een aantal modellen neemt de hoeveelheid pyriet zelfs een heel klein beetje toe, wat betekent dat er zones zijn waar de redoxcondities dusdanig gereduceerd zijn dat er sulfide ontstaat. De toename is echter miniem.

### 5.4.3 Modelvergelijking meetgegevens peilbuizen

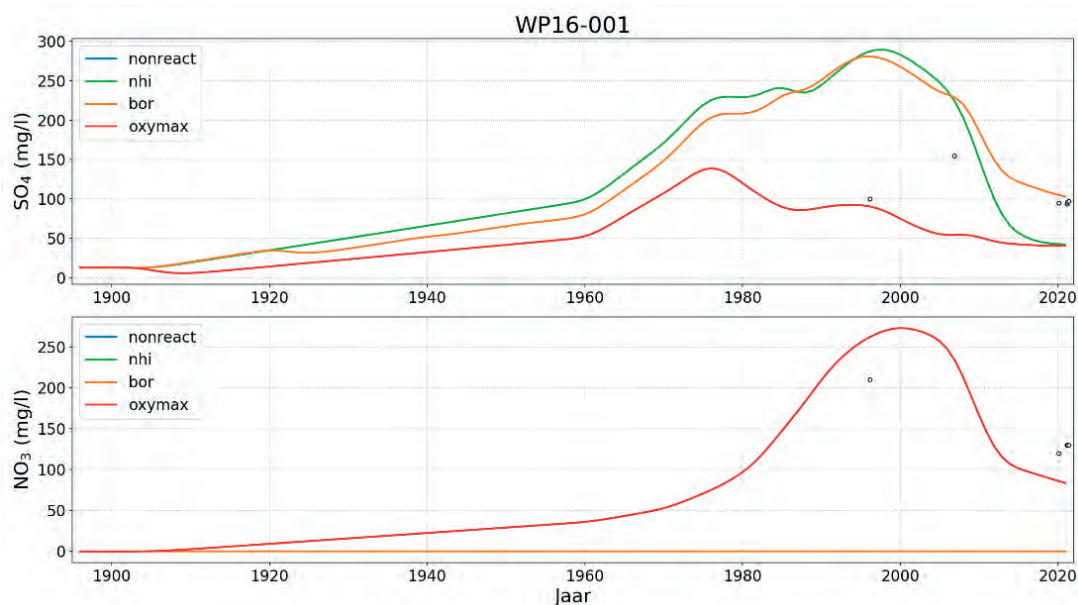
Van de berekende stroombanen die in Tabel 4.4 worden weergegeven bleken alleen voor de filters B52E0253-001, WP16-001 en WP16-002 voldoende chemische gegevens voorhanden voor een zinvolle vergelijking met de PHREEQC berekeningen. De modellen voor deze filters zijn op precies dezelfde manier geschematiseerd als de modellen die hierboven zijn besproken.

Wat opvalt aan de gemeten concentraties is dat de ondiepe filters (B52E0253-001 en WP16-001) hoge sulfaat- en nitraat concentraties laten zien, en nauwelijks opgelost ijzer. In het diepere filter (WP16-002) is geen nitraat aangetroffen maar zijn sulfaat en ook ijzer relatief hoog. De gemodelleerde en gemeten concentraties van WP16-001 en WP16-002 zijn afgebeeld in Figuur 5.9 en Figuur 5.10. Dit komt overeen met het algemene conceptuele beeld wat volgt uit de reactiviteitsexperimenten dat de ondiepste geohydrologische eenheden van de formaties van Boxtel en Beegden geen pyrietreactiviteit laten zien. Pas na passage van een pyriet-oxiderende laag verliest het grondwater zijn nitraat en is opgelost ijzer stabiel in de oplossing omdat de redox omstandigheden voldoende reducerend zijn.

De PHREEQC modellen die volgens methode 3 zijn geparametriseerd passen om die reden dan ook het beste bij de meetgegevens van de peilbuizen (Figuur 5.9 en Figuur 5.10). De parametrisatie volgens methodes 1 en 2 leidt er toe dat in de ondiepe filters geen nitraatdoorbraak wordt gemodelleerd, terwijl de meetgegevens duidelijk laten zien dat er in het ondiepe grondwater juist veel nitraat aanwezig is. Dit toont de meerwaarde van de reactiviteitsmetingen aan: het directe gebruik van het pyrietgehalte uit de boringen als indicator voor het optreden van pyrietoxidatie leidt bij lage pyrietgehalten (net boven de detectielimiet) tot een overschatting van de reactiviteit van de bovenste geohydrologische eenheden.

## FIGUUR 5.9

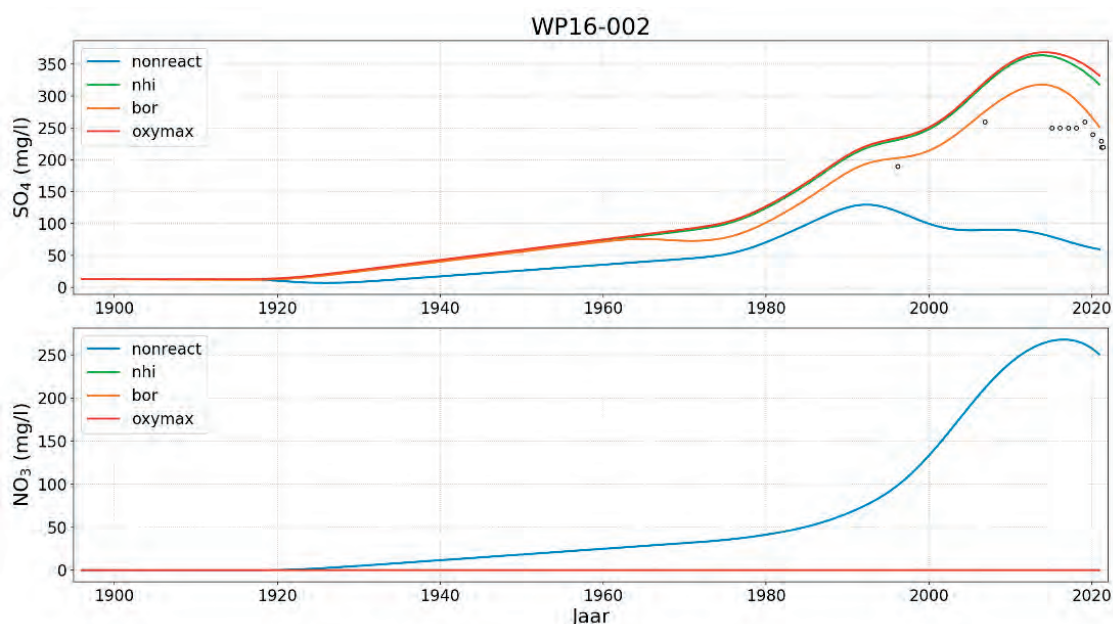
Gemeten en gemodelleerde concentraties van nitraat en sulfaat voor waarnemingsfilter WP16-001 (6,08 – 8,08 m onder maaiveld).





**FIGUUR 5.10**

Gemeten en gemodelleerde concentraties van nitraat en sulfaat voor waarnemingsfilter WP16-002 (11,28 – 13,08 m onder maaiveld).



Hoewel de modeluitkomsten volgens methode 3 beter bij de data passen dan volgens de andere twee methodes worden de absolute concentratiewaardes alleen bij benadering gesimuleerd. Voor sulfaat in de ondiepe filters geldt bijvoorbeeld dat de methode 3 modellen de concentraties onderschatten. Voor filter B52E0253-001 wordt de trend in de tijd ook niet goed gereproduceerd. Dit kan komen doordat de concentraties van sulfaat in het water dat vanuit de bodem uitspoelt naar het bovenste grondwater in het modellager zijn dan de werkelijke uitspoeling.

## 5.5 DISCUSSIE

### 5.5.1 De meerwaarde van lokale reactiviteitsgegevens

De drie gevolgde benadering om de geochemische reactieve processen te parametriseren resulteren in significante verschillen in de modeluitkomsten. Hiermee wordt het belang van gebiedsspecifieke geochemische reactiviteitsbepalingen onderstreept. Omdat de parameters voor het Landelijk Waterkwaliteitsmodel (methode 1) zijn afgeleid uit de statistische verdeling binnen geologische formaties binnen een Geotopgebied (Huisman *et al.*, 2016), bieden de PHREEQC modellen met de parameters volgens methode 1 onvoldoende inzicht in de ruimtelijke variabiliteit binnen het studiegebied. Voor de gemodelleerde stroombanen betekent dit specifiek dat de nitraatafbraak door pyrietoxidatie al direct onder de grondwaterspiegel plaatsvindt. Het ondiepe grondwater is daardoor al direct nitraatarm, wat niet in overeenstemming is met de werkelijkheid (zie sectie 5.4.1).

Dit is ook het geval voor methode 2, zij het in mindere mate. Omdat bij deze methode onderscheid is gemaakt tussen geohydrologische eenheden binnen een formatie, wordt meer ruimtelijk inzicht verkregen in de variatie van de reactiviteit langs een stroombaan. Desalniettemin geldt voor methode 2 hetzelfde als voor methode 1: Door de aanwezigheid van pyriet in de ondiepste formatie (de formatie van Boxtel) treedt nitraatafbraak al vrijwel direct aan het begin van de stroombanen op. Wel dringt bij methode 2 het nitraatfront dieper binnen dan bij methode 1 omdat de pyrietgehalten zoals gemeten in de boringen lager zijn dan de 50% percentielswaarden uit het Landelijk Waterkwaliteitsmodel (zie Figuur 20). Hierbij dient te worden opgemerkt dat de waarden voor pyriet in methode 2 zijn afgeleid van metingen van het gehalte van zwavel, welke in de formaties van Boxtel en Beegden overwegend onder de aantoonbaarheidsgrens liggen. De afgeleide waarden voor de pyrietgehalten zijn daardoor een maximum, in werkelijkheid kunnen deze lager zijn. Echter, zelfs deze hoeveelheden pyriet zijn al voldoende om in het model nitraat te laten afbreken.

Bij methode 3 zijn op basis van de resultaten van de reactiviteitsmetingen met de Micro-oxymax de evenwichtsreacties met pyriet uitgeschakeld in het PHREEQC model met uitzondering van de hydrogeologische eenheden PZWAZ3 en KIZ3. Hierdoor blijven de gesimuleerde nitraatconcentraties hoog totdat het nitraatfront een van deze lagen bereikt. Door de reactie met pyriet dalen de nitraatconcentraties langs de stroombaan abrupt (zie [Figuur 5.3](#)).

In algemene zin kan worden gesteld dat het concentratieverloop van de opgeloste stoffen sterk varieert langs een stroombaan en er door de verschillen in reactiviteit en de temporele variabiliteit van het input signaal complexe patronen ontstaan. De veranderingen in de tijd aan het einde van de stroombanen (d.w.z. ter plaatse van het pompstation) zijn minder gevoelig voor de gevolgde parameterisatiemethode, en de vorm van de concentratie-tijdgrafieken (de zgn. doorbraakcurves) is vergelijkbaar voor de drie methodes. Dit komt omdat het voor de doorbraakcurves niet uitmaakt waar precies langs de stroombaan de reactie precies plaatsvindt. Voor nitraat bijvoorbeeld betekent dit dat voor methodes 1, 2 en 3 de concentratie aan het einde van de stroombaan nul blijft zolang er maar ergens in het systeem pyrietoxidatie optreedt.

### 5.5.2 Wat is de invloed van nitraat/doorboringen en discontinuïteiten op de lange termijnontwikkeling ruwwater

De uitkomsten van het PHREEQC model van stroombaan 278107 waarin volgens methode 3 pyriet en organisch materiaal beiden afwezig zijn tonen aan hoe belangrijk de reactiviteit van de ondergrond is voor het onderdrukken van de nitraatbelasting. Water dat langs de reactieve lagen of via doorboringen van de reactieve lagen het tweede WVP weet te bereiken, kan op termijn bijdragen aan een stijging van de nitraatconcentraties (en mogelijk andere schadelijke stoffen vanuit landbouwgebieden). Uiteraard blijft de stijging beperkt als het slechts om geringe hoeveelheden water gaat en de gesimuleerde concentraties zoals die weergegeven zijn in [Figuur 5.4](#) en [Figuur 5.5](#) gelden dan ook alleen voor de aangenomen mengverhoudingen (zie [sectie 5.2](#)). In hoeverre doorboringen bijdragen aan de belasting van het opgepompte water met schadelijke stoffen is op basis van deze studie niet aan te geven. Ditzelfde geldt in feite ook voor de discontinuïteiten in de kleilagen. Het percentage van het onttrokken grondwater dat door de gaten in de kleilagen stroomt is op dit moment nog niet bekend. Gezien de geologische heterogeniteit van het intrekgebied en daarmee de ruimtelijke variabiliteit van de geochemische eigenschappen valt niet uit te sluiten dat de invloed van verontreinigingen in de toekomst zal toenemen. Aanvullende karakterisering van de heterogeniteit in de reactiviteit van de verschillende lagen kan hier meer inzicht in bieden. Daarnaast zou het waardevol zijn om te onderzoeken met welke technieken een vlakdekkend beeld van de dikte van de weerstand biedende reactieve lagen verkregen kan worden.

### 5.5.3 Aanbevelingen voor monitoring grondwaterkwaliteit

Op basis van de reactiviteitsbepalingen en de modelberekeningen lijkt het erop dat de uitspoeling oxiderende en verzuurende stoffen een effect heeft op veranderingen van de onttrokken grondwaterkwaliteit. Het model geeft aan dat de hardheid en ijzerconcentratie van het onttrokken grondwater in de toekomst zullen toenemen en dat de sulfaatconcentratie niet toeneemt. Hierbij dient te worden opgemerkt dat uit is gegaan van een gelijkblijvende nitraat- en sulfaatconcentraties van het water dat uitspoelt vanuit de landbouwgebieden. Er is een risico is dat er in de toekomst een ontharding nodig is als de hardheid trend zich inderdaad voortzet zoals berekend. Het bouwen van een ontharding betekent een miljoeneninvestering, en dit is te meer reden om het proces goed te begrijpen. Er is dus meer kennis nodig van de (dominante) reacties die zich gedurende de bodempassage afspelen. Dat kan door middel van monitoring en aanvullende metingen en boringen, aangevuld met verbeterde prognoseberekeningen.

Momenteel ontbreekt het aan een goed meetnet om deze veranderingen in waterkwaliteit tijdig te signaleren. Het derde filter van PMG-put B52E0253 is een goed voorbeeld van een locatie waar doorslag van nitraat in het tweede WVP lijkt plaats te vinden doordat stroombanen langs de weerstandbiedende lagen stomen. Deze monitoringsput is na 2015 niet meer bemonsterd. Meer van dit soort waarnemingsfilters zijn daarom gewenst. Naast ondiepe filters om de verandering in uitspoelconcentraties te detecteren is het betreft dit dus filters in het tweede watervoerende pakket langs stroombanen waar het water richting de winning stroomt. Jaarlijkse bemonstering van de filters heeft dan de voorkeur. Het grondwater dient geanalyseerd te worden op pH, de macro-chemische parameters Ca, Mg, K, Na, Fe, Cl, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> aangevuld met sporenelement (tenminste Mn Zn, Ni en As).

## ▶▶ 6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De belangrijkste doelstelling van dit onderzoek was te achterhalen wat de meerwaarde is van het uitvoeren van gedetailleerde, locatie-specifieke geochemische reactiviteitsbepalingen om de ontwikkeling in grondwaterkwaliteit rond pompstations beter te begrijpen en te voorspellen. Dit is onderzocht door met verschillende modelscenario's de waterkwaliteit te berekenen waarbij achtereenvolgens gebruik gemaakt werd van: 1) landelijk beschikbare geochemisch data, 2) lokaal verkregen bulk geochemische data en 3) lokaal verkregen bulk geochemische data aangevuld met reactiviteitsbepalingen op sedimentmonsters met de micro-oxymax.

De geochemische metingen op sedimentmonsters uit een lokale boring en de modelberekeningen hebben veel inzicht gegeven in het hydrogeochemische functioneren van het intrekgebied van de winning Grubbenvorst, inclusief de kwetsbaarheid voor uitspoeling van stoffen vanaf maaiveld.

### Conclusies reactiviteitsbepalingen

Belangrijke inzichten uit de experimentele reactiviteitsbepalingen met de micro-oxymax zijn:

- De experimentele resultaten laten duidelijk zien in welke mate geologische lagen in de boring reactief zijn met betrekking tot oxiderende stoffen. Tevens kan worden vastgesteld welke vaste fase reactief is (bijv. pyriet, organisch materiaal).
- De geologische laagpakketten boven de (ondiepe) kleurovergang van het sediment in de boring van bruin naar grijs hebben geen bufferende werking tegen oxiderende stoffen die vanaf maaiveld uitspoelen. Dit betreffen alle laagpakketten boven de Formatie van Peize en Waalre.
- Lage waarden voor de gehalten aan reactieve fasen, die zijn afgeleid uit bulk geochemische analyses kunnen er toe leiden dat de werkelijke reactiviteit wordt overschat. Dit volgt uit het feit dat nitraat regionaal gezien boven de op kleurverschil bepaalde redoxovergang wordt aangetroffen terwijl de sedimenten lage, maar wel meetbare gehalten organisch materiaal en pyriet bevatten. Voor pyriet is het gehalte in de ondiepe formaties van Boxtel en Beegden in de meeste gevallen gebaseerd op gemeten waarden onder de aantoonbaarheidsgrens voor zwavel. Echter, deze lage waarden lijken toch nog een overschatting te geven ten opzichte van de volledige afwezigheid van de reactiviteit zoals die met de Oxymax-metingen in deze laagpakketten is vastgesteld, d.w.z. dat het sediment van de ondiepe formaties (Boxtel en Beegden) niet reactief zijn voor zuurstof.
- De sedimentmonsters uit het tweede watervoerende pakket (Kiz2 en onderste deel van Kiz3) onder de redoxovergang en de reactieve weerstandbiedende lagen (Kik1 en Kik2) hebben nauwelijks redoxreactiviteit. Wanneer er eenmaal nitraat in deze watervoerende lagen terecht komt zal dit waarschijnlijk slechts beperkt worden afgebroken voordat het wordt opgepompt.

### Conclusies modelberekeningen

De modelberekeningen laten zien dat:

- De berekende concentraties voor sulfaat, nitraat, ijzer, hardheid en pH vergelijkbaar zijn met de gemeten concentraties in het gezamenlijk ruwwater. Ondanks alle onzekerheden in modelinvoer en beperkte mogelijkheden voor validatie van de waterkwaliteit langs de stroombanen lijkt het erop dat we in staat zijn om de relevante geochemische processen op plausibele wijze in modelsimulaties kunnen opnemen.
- Het model geeft aan dat de hardheid en ijzerconcentratie van het onttrokken grondwater in de toekomst zullen toenemen en dat de sulfaatconcentratie niet toeneemt. Hierbij dient te worden opgemerkt dat uit is gegaan van een gelijkblijvende nitraat- en sulfaatconcentraties van het water dat uitspoelt vanuit de landbouwgebieden. Er is een risico is dat er in de toekomst een ontharding nodig is als de hardheid trend zich inderdaad voortzet zoals berekend. Het bouwen van een ontharding betekent een miljoeneninvestering, en dit is te meer reden om het proces goed te begrijpen. Er is dus meer kennis nodig van de (dominante) reacties die zich gedurende de bodempassage afspeelen. Dat kan door middel van monitoring en aanvullende metingen en boringen, aangevuld met verbeterde prognoseberekeningen.

Tevens blijkt uit de modelberekeningen het volgende:

- De verschillende modelparametrisaties hebben grote invloed op de waterkwaliteitsontwikkelingen langs een stroombaan. De resultaten van het scenario waarbij gebruik gemaakt wordt van de reactiviteit metingen met de micro-oxymax zijn als enige in overeenstemming met de nitraathoudendheid van het grondwater in de ondiepe formaties van Boxtel en Beegden.
- Het geochemisch buffervermogen tegen oxiderende stoffen is in dit gebied geconcentreerd in relatief dunne (weerstandbiedende) lagen waarvan de verbreiding ook nog onzeker is.
- Voor de samenstelling van het ruwwater is het belangrijk te weten welke geologische lagen de stroombanen doorsnijden en welke weerstandbiedende reactieve lagen juist worden vermeden.
- De verdeling van mate van reactiviteit en de bestanddelen die dat bepalen zijn sterk bepalend voor de ruimtelijke variatie in grondwaterkwaliteit. Wanneer bekend is welke vaste fase reactief is lijkt de kinetiek van de bufferprocessen (snelheid van afbraak organisch materiaal en pyrietoxidatie) minder relevant voor de ontwikkeling van de ruwwaterkwaliteit. Dit komt doordat de reactiesnelheid (veel) korter is dan de verblijftijd van het water in de betreffende laag.
- Als stroombanen reactieve en weerstand biedende lagen omzeilen bestaat het risico dat nitraathoudend grondwater zonder verdere afbraak richting de winning zal stromen. Hierdoor lijkt de winning Grubbenvorst kwetsbaarder voor doorbraak van oxiderende stoffen dan op voorhand werd ingeschat.
- De afname van geochemisch buffervermogen volgens de modelberekeningen minimaal is. Over de periode 1895 – 2100 neemt de hoeveelheid pyriet met maximaal enkele procenten af.

## Aanbevelingen

De resultaten van dit onderzoek geven aan dat experimentele reactiviteitsbepalingen grote potentie bieden voor het bepalen van de kwetsbaarheid van een winning, waar dat van afhangt en welke ruwwaterkwaliteitsontwikkeling te verwachten zijn. Op basis van het onderzoek naar deze potentie voor de casus Grubbenvorst worden de volgende aanbevelingen gemaakt:

- De reactiviteitsbepalingen met de micro-oxymax metingen zijn uitgevoerd op monsters van één boring en vervolgens is de gemeten reactiviteit van de afzonderlijke laagpakketten op deze plek representatief gesteld voor dit laagpakket in het gehele intrekgebied van de winning. Er wordt dus geen rekening gehouden met een eventuele ruimtelijke variatie in redoxreactiviteit binnen laagpakketten. Om met de bandbreedte in reactiviteit rekening te kunnen houden wordt aanbevolen om de reactiviteit van alle relevante laagpakketten op meerdere locaties te bepalen.
- De combinatie van reactiviteitsbepalingen op genomen sedimentmonsters kunnen samen met de inzichten uit de verticale variatie in grondwaterkwaliteit gemeten in waarnemingsfilters binnen het intrekgebied worden gebruikt om variaties in grondwaterkwaliteit en doorwerking naar ruwwaterkwaliteit beter te duiden.
- In de gebruikte stroombaanbenadering zijn zes stroombanen geselecteerd die elk representatief zijn voor het aandeel van een bepaalde verblijftijdsklasse in de ruwwatersamenstelling. Deze stroombaananalyse is zeer nuttig gebleken om de hydrogeochemische processen in de ondergrond te begrijpen. Voor een modelvoorspelling van de ruwwaterkwaliteit op de lange termijn is een 3D model waarschijnlijk beter toegesneden. Dan kunnen ook de effecten van putschakelingen, opkegeling van zout grondwater en de bijdrage van andere watertypen in de modelvoorspelling mee worden genomen.
- De concentraties van verzurende en oxiderende stoffen (stikstof en zwavelverbindingen) in het water dat uitspoelt vanuit de landbouwgebieden en hoe deze variëren in de tijd hebben een grote onzekerheid maar zijn wel sterk bepalend voor de modeluitkomsten, doordat deze het verbruik van redox reactiviteit en zuur bufferend vermogen bepalen. Een goede inschatting van de input hiervan is essentieel om in te kunnen schatten hoeveel invloed de reacties in de bodem hebben, met andere woorden: een sluitende massabalans te krijgen. Een nauwkeuriger bepaling van deze input kan de modelonzekerheid verminderen. Dit kan worden verbeterd door een intensievere monitoring van ondiep grondwater in het intrekgebied. Anderzijds zijn er landelijk gezien al best veel meting van het bovenste grondwater, ook in grondwaterbeschermingsgebieden maar deze zijn vanwege privacy redenen sterk veralgemeniseerd. Tenslotte kan een beter inzicht van de belasting uit het verleden worden verkregen door het grondwater te dateren met de tritium-helium methode.

- Daarnaast wordt aanbevolen om het monitoringsnet zo in te richten dat stroombanen die om de reactieve lagen heen stromen goed worden gemonitord.
- De belangrijkste watervoerende pakketten onder de weerstandbiedende reactieve lagen (Kik1, Kik2 maar mogelijk ook de PZWAK1) blijken nauwelijks redoxreactiviteit te bevatten. Aangezien de uitspoeling van nitraathoudend water en andere verontreinigingen naar deze diepere lagen zo veel mogelijk zal moeten worden tegengegaan, wordt aanbevolen om na te denken over het voorkomen van doorboringen in het intrekgebied, en te onderzoeken met welke technieken een vlakdekkend beeld van de dikte van de weerstand biedende reactieve lagen verkregen kan worden.

Daarnaast is op basis van dit onderzoek een algemene aanbevelingen gemaakt:

- Voor de drinkwatersector is het van belang om op een zoveel mogelijk gestandaardiseerde wijze lokale data te krijgen over de geochemische bulksamenstelling van de ondergrond en de vertaling hiervan naar de geochemische reactiviteit van het sediment. Een logische stap voor waterbedrijven is om bij de aanleg van putten en peilbuizen geochemisch onderzoek uit te voeren op een vergelijkbare manier als in dit onderzoek voor de boring Lottum is gedaan. Het huidige Geowetenschappelijk Informatie programma (GIP) van TNO, vanuit de taakfinanciering van de ministeries van BZK en EZK wordt gefinancierd, is al een bestaande paraplu waaronder deze activiteiten kunnen worden uitgevoerd en waarvan de resultaten worden gedeeld via DINOloket. Om deze slag te maken wordt aanbevolen om hiervoor ook aandacht te vragen bij de ministeries die betrokken zijn bij het GIP programma.



## ►► 7 REFERENTIES

- Althuizen, F.J.P.M. (2021). The effect of acidification on the ground-water quality development in northern Limburg, The Netherlands. MSc thesis Water Science and Management - Utrecht University.
- Berendrecht (in prep). Tools en webapplicatie ten behoeve van grondwaterkwaliteitsatlas. TNO Geologische Dienst Nederland.
- CORINE Land Cover (2018). versie 20b2, afkomstig van [Copernicus Land Monitoring Service](#)
- Graf Pannatier, E., H.P. Broers, P. Venema en G. van Beusekom (2000). A new process-based hydro-geochemical classification of groundwater. Application to the Netherlands national monitoring system. TNO-rapport NITG 00-143-B.
- Huismans, H., Van Vliet, M., Goldberg, T. and Griffioen, J. (2016). Statistische karakterisering van de reactiecapaciteit van de Nederlandse ondergrond ten behoeve van de parameterisering van het modelinstrument NHI-Kwaliteit. TNO.
- Hummelman, H.J., Maljers, D., Menkovic, A., Reindersma, R., Stafleu, J. & Vernes, R.W. (2019a). Totstandkomingsrapport Digitaal Geologisch Model (DGM) (in Dutch). TNO report 2019 R 11653. Utrecht, the Netherlands: TNO Geological Survey of the Netherlands. Available at: <https://www.dinoloket.nl/sites/default/files/Totstandkomingsrapport-DGM.pdf>
- Hummelman, H.J., Maljers, D., Menkovic, A., Reindersma, R., Stafleu, J. & Vernes, R.W. (2019b). Totstandkomingsrapport Hydrogeologisch Model (REGIS II) (in Dutch). TNO report 2019 R 11654. Utrecht, the Netherlands: TNO Geological Survey of the Netherlands. Available at: <https://www.dinoloket.nl/sites/default/files/Totstandkomingsrapport-REGIS-II.pdf>
- Kivits, T., Broers H.P., & Van Vliet M.E. (2019). Dateren grondwater van het KRW-meetnet Zand-Maas. Inzicht in de toestand en trends van 12 indicatoren van de grondwaterkwaliteit. [TNO-Rapport 2019 R11224](#).
- Klein, J., van Gaans, P.F.M., Griffioen, J. (2015). Geochemische karakterisering van de geotop van Holland (gebied 1b en 1c). TNO rapport 2015 R10785.
- Parkhurst, D.L., and Appelo, C.A.J. (2013). Description of input and examples for PHREEQC version 3—A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. A43, 497 p.
- Pinson, S., E. Malcuit, L. Gourcy (BRGM), M. Ascott (BGS), H.P. Broers, M. van Vliet (TNO), K. Hinsby, L. Thorling, A. Rosenbom (GEUS), C. Christophi (GSD) (2020). Assessment of attenuation patterns for a number of relevant European settings. GeoERA HOVER WP5, deliverable 5.4.
- Pollock, D.W. (2012) User guide for MODPATH version 6—A particle-tracking model for MODFLOW: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. A41, 58 p.
- Van der Grift, B., G. Janssen, J. Verkaik en D. Hendriks (2012). NHI-waterkwaliteit, Interactie grondwater-oppervlaktewater, rapport 1205735-000, Deltares.
- Van der Grift, B, Alex Hocking, Mariëlle van Vliet, Joris Dijkstra, Gijs Janssen (2022) Geochemisch buffervermogen van de ondergrond: beschikbare data, 3D modellen en trendanalyse. KIWK grondwater
- Van Gaans, P.F.M., Griffioen, J., Mol, G., Klaver, G. (2011). Geochemical reactivity of subsurface sediments as potential buffer to anthropogenic inputs: A strategy for regional characterization in the Netherlands. *J. Soils Sediments* 11, 336–351.
- Van Loon, A., Sjerps, R., en Raat, K. (2019). Gewasbeschermingsmiddelen en hun afbraakproducten in Nederlandse drinkwaterbronnen, KWR, BTO 2019.016.
- Viswanathan, H.S & Albert J. Valocchi (2004) Comparison of streamtube and three-dimensional models of reactive transport in heterogeneous media, *Journal of Hydraulic Research*, 42:sup1, 141-145, DOI: 10.1080/00221680409500057
- SIKB (2007). VOCl - Vluchtige chloorkoolwaterstoffen in bodem, Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem (SKB).
- Stafleu, J., Maljers, D., Gunnink, D., Menkovic, J.L., Busschers, A. & Busschers, F.S. (2011). 3D modelling of the shallow subsurface of Zeeland, the Netherlands. *Netherlands Journal of Geosciences* 90: 293–310.
- Stafleu, J., Maljers, D., Busschers, F.S., Gunnink, J.L., Schokker, J., Dambrink, R.M., Hummelman, H.J & Schijf, M.L. (2012). GeoTop modellering. TNO-rapport 2012 R10991: 216 pp.
- Sweco (2019). Algemene rapportage deelmodel Breehei, Hanik en Grubbenvorst. Herberekening waterwingebieden en grondwaterbeschermingsgebieden Limburg. SWNL0248695.
- Swierstra, W., & van Driel, F. (2018). Organische microverontreinigingen in puttenveld Grubbenvorst - Onderzoek naar de integriteit van de winning. Projectnr. 40687835. Waterleiding Maatschappij Limburg, Maastricht, The Netherlands.

## ▶▶ BIJLAGE 1 OVERZICHT PUTTEN

---

Onderstaande tabel geeft een overzicht van alle pompputten en waarnemingsfilters, waarvoor analyseresultaten beschikbaar zijn, aangevuld met informatie over de indeling van de filters: Geotop Stafleu *et al.*, 2011, 2012), landgebruik (gebaseerd op CORINE Land Cover, 2018), DGM ('Digital Geological Model') (Hummelman *et al.*, 2019a), REGIS II v2.2 ('REgional Geohydrological Information System') (Hummelman *et al.*, 2019b) en diepteklasse.



Put	Filter	XC	YC	Filterlengte (m)	BKF (m NAP)	OKF (m NAP)	Gem filter-diepte (m NAP)	Maai-veld (m NAP)	Geo-top	Land-gebruik	DGM	REGIS	Diepte-klasse (m NAP)
PP 01	0			11.5	-9.31	-20.81	-15.06	20.38	4a2	fn	ki	kiz3	-10 tot -25
PP 02	0			13.45	-8.21	-21.66	-14.935	20.47	4a2	fn	ki	kiz3	-10 tot -25
PP 03	0			13	-8.37	-21.37	-14.87	20.4	4a2	fn	ki	kiz3	-10 tot -25
PP 04	0			13	-4	-17	-10.5	20	4a2	fn	ki	kiz2	-10 tot -25
PP 05	0			16.5	-5.5	-22	-13.75	20	4a2	fn	ki	kiz3	-10 tot -25
PP 06	0			14.5	-5.41	-19.91	-12.66	18.4	4a2	fn	ki	kiz3	-10 tot -25
PP 07	0			15.55	-6.45	-22	-14.225	20	4a2	fn	ki	kiz3	-10 tot -25
PP 08	0			14.45	-7.23	-21.68	-14.455	20.4	4a2	fn	ki	kiz3	-10 tot -25
PP 08	1			15	-7.22	-22.22	-14.72	20.4	4a2	fn	ki	kiz3	-10 tot -25
PP 09	0			24.96	-17.26	-42.22	-29.74	19.5	4a2	fn	ki	kiz4	-25 tot -55
PP 09	1			1	-10.33	-11.33	-10.83	19.5	4a2	fn	ki	kiz3	-10 tot -25
PP 10	0			17	-26.29	-43.29	-34.79	21.35	4a2	fn	ki	kiz5	-25 tot -55
PP 11	0			14.35	-29.47	-43.82	-36.645	18.81	4a2	fn	ki	kiz5	-25 tot -55
PP 12A	0			11	-30.03	-41.03	-35.53	21.5	4a2	fn	ki	kiz5	-25 tot -55
PP 12	0			7.06	-6.5	-13.56	-10.03	20.5	4a2	fn	ki	kiz3	-10 tot -25
PP 12a	1			2	6.34	4.34	5.34	21.5	4a2	fn	pzwa	kik1	>+5
PP 13	0			12	-31.89	-43.89	-37.89	21.74	4a2	fn	ki	kiz5	-25 tot -55
WP 01	1	209038	387420	1	6.13	5.13	5.63	19.71	4a2	fn	be	bez3	>+5
WP 01	2	209038	387420	1	-11.98	-12.98	-12.48	19.71	4a2	fn	ki	kiz2	-10 tot -25
WP 03	1	208962	387384	1	5.31	4.31	4.81	20.02	4a2	fn	pzwa	pzwaz2	+5 tot -10
WP 03	2	208962	387384	1	-13.96	-14.96	-14.46	20.02	4a2	fn	ki	kiz3	-10 tot -25
WP 04	1	208858	387366	1	6.72	5.72	6.22	20.91	4a2	fn	be	bez3	>+5
WP 04	2	208858	387366	1	-11.76	-12.76	-12.26	20.91	4a2	fn	ki	kiz3	-10 tot -25
WP 05	1	208998	387475	2	-4.85	-6.85	-5.85	20.16	4a2	fn	ki	kiz2	+5 tot -10
WP 05	2	208998	387475	2	-15.88	-17.88	-16.88	20.16	4a2	fn	ki	kiz3	-10 tot -25
WP 05	3	208998	387475	2	-31.81	-33.81	-32.81	20.16	4a2	fn	ki	kiz5	-25 tot -55
WP 05	4	208998	387475	2	-47.88	-49.88	-48.88	20.16	4a2	fn	br	brz1	-25 tot -55
WP 08	1	206940	386575	1	12.05	11.05	11.55	17.57	4a2	aa	be	bez2	>+5
WP 10	1	208400	387640	1	15.65	14.65	15.15	20.09	4a2	aa	be	bez2	>+5
WP 10	2	208400	387640	1	7.52	6.52	7.02	20.09	4a2	aa	be	bez3	>+5
WP 10	3	208400	387640	1	-6.12	-7.12	-6.62	20.09	4a2	aa	ki	kiz2	+5 tot -10
WP 11	2	207030	386720	1	5.33	4.33	4.83	17.85	4a2	fn	be	bez3	+5 tot -10
WP 16	1	208850	387440	2	11.55	9.55	10.55	17.63	4a2	fn	be	bez2	>+5
WP 16	2	208850	387440	2	6.35	4.35	5.35	17.63	4a2	fn	be	bez3	>+5
WP 19	1	207997	387346	2	-20.66	-22.66	-21.66	19.89	4a2	aa	ki	kiz3	-10 tot -25
WP 19	2	207997	387346	2	-40.69	-42.69	-41.69	19.89	4a2	aa	ki	kiz5	-25 tot -55
WP 19	3	207997	387346	2	-75.21	-77.21	-76.21	19.89	4a2	aa	br	brz1	<-55
WP 19	4	207997	387346	2	-99.2	-101.2	-100.2	19.89	4a2	aa	br	brz1	<-55
WP 19	5	207997	387346	2	-115.23	-117.23	-116.23	19.89	4a2	aa	br	brz1	<-55

\* landgebruik: fn = 'Forest and semi natural areas', aa= 'Agricultural areas';

▶▶ **BIJLAGE 2**  
**BOORBESCHRIJVING BORING LOTTUM B52G3501**

---

<b>NITG-Boornummer</b>	B52G3501	<b>Coördinatenstelsel</b>	Rijksdriehoeksmeting
<b>X-coördinaat</b>	208881	<b>Bepaling lokatie</b>	
<b>Y-coördinaat</b>	386819	<b>Beschrijvingsmethode</b>	Standaard Boor Beschrijvingsmethode, versie 5.3
<b>Maalveld (m tov NAP)</b>	20.64	<b>Vertrouwelijkheid</b>	Openbaar
<b>Datum boring</b>	08-03-2021	<b>Werknummer</b>	B001 GRUBBENVORST
<b>Plaatsnaam</b>			
<b>Provincie</b>	Limburg		
<b>Kaartblad</b>	52G		
<b>Soort boring</b>	Ondiepe boring derden		
<b> Einddiepte (m)</b>	40.00		
<b>Uitvoerder</b>	Wiermsma		
<b>Boormethode</b>			
<b>Opmerkingen</b>	steekboring		

**Lithologie**

<b>Beschrijver lagen</b>	NJ
<b>Organisatie beschrijver</b>	TNO-GDN
<b>Nat/droog</b>	Nat en droog sediment

**Stratigrafie 2003**

<b>Beschrijver stratigrafie</b>	Schokker, J.
<b>Organisatie beschrijver</b>	
<b>Datum stratigrafie</b>	24-06-2021
<b>Versie stratigrafie</b>	1

**Laagbeschrijving**

Boven	Onder	Grondsoort	Omschrijving	M63	LU	SI	ZA	GR	OR	CA
0.00	0.12	geen monster								
0.12	0.17	zand	zwak siltig, matig humeus, bruin, 10YR 4/2, Zand: matig grof, zeer grote spreiding, matig afgerond, niet bont, Organisch materiaal: veel wortelresten, veel organisch materiaal, spoor puinresten, basis diffuus	270	0	8	92	0	4	1
0.17	0.21	grind	sterk zandig, zwak humeus, grijs-bruin, 10YR 6/2, Zand: matig fijn, zeer grote spreiding, matig afgerond, niet bont, Grind: veel fijn grind, veel matig grof grind, matig afgerond, niet bont, Organisch materiaal: spoor wortelresten, weinig grove korrels, spoor granuul, weinig organisch materiaal, spoor puinresten, basis diffuus	200	0	2	48	50	2	1
0.21	0.23	zand	zwak siltig, zwak humeus, bruin, 10YR 5/2, Zand: matig grof, matig grote spreiding, matig afgerond, niet bont, Organisch materiaal: spoor wortelresten, spoor grove korrels, spoor granuul, spoor houtskool, spoor organisch materiaal, graafgangen, basis diffuus	220	0	4	96	0	1	1
0.23	0.28	zand	zwak siltig, zwak humeus, bruin, 10YR 6/2, spoor bruine vlekken, weinig grijze vlekken, Zand: matig grof, matig grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, niet bont, spoor ijzeroxide huidjes, spoor grove korrels, spoor organisch materiaal, graafgangen, basis diffuus, Opm.: graafgang gevuld met grovere korrels	230	0	1	99	0	2	1
0.28	0.46	zand	zwak siltig, geel-bruin, 10YR 5/4, Zand: matig grof, matig grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, niet bont, spoor ijzerconcreties, weinig ijzeroxide huidjes, spoor houtskool, spoor organisch materiaal, basis diffuus, Opm.: discontinu gelaagd; bioturbatie?, insectenresten	270	0	2	98	0	0	1
0.46	0.54	zand	zwak siltig, zwak grindig, zwak humeus, grijs-bruin, 10YR 6/1, Zand: matig grof, matig grote spreiding, matig afgerond, niet bont, Grind: spoor fijn grind, spoor matig grof grind, spoor gerolde vuursteen, weinig witte kwarts, Organisch materiaal: weinig plantenresten, spoor wortels, spoor ijzerconcreties, weinig ijzeroxide huidjes, weinig organisch materiaal, houtskool, basis diffuus, Opm.: afgebrande heide? CHECK	240	0	3	97	2	1	1
0.54	0.72	zand	zwak siltig, bruin, 10YR 5/3, Zand: matig grof, matig grote spreiding, matig afgerond, niet bont, Organisch materiaal: spoor fijne houtresten, spoor ijzerconcreties, spoor ijzeroxide huidjes, spoor grove korrels, spoor organisch materiaal, spoor baksteen, basis diffuus, Opm.: gele vlekken bioturbatie?	230	0	3	97	0	0	1
0.72	1.00	zand	zwak siltig, bruin-geel, 10YR 8/3, veel oranje vlekken, Zand: matig grof, matig grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, niet bont, veel ijzeroxide huidjes, spoor ijzeroxide, spoor grove korrels, spoor granuul, spoor organisch materiaal, zwak gelaagd, Opm.: topdeel grijsbruin gekleurd	220	0	1	99	0	0	1
1.00	1.23	geen monster								
1.23	1.37	zand	zwak siltig, zwak humeus, grijs-bruin, 10YR 4/4, spoor bruine vlekken, Zand: matig fijn, matig grote spreiding, matig afgerond, niet bont, spoor ijzerconcreties, veel ijzeroxide huidjes, spoor ijzeroxide, spoor grove korrels, spoor houtskool, spoor organisch materiaal, basis diffuus, Opm.: vlekkerig vanwege bioturbatie?	200	0	2	98	0	1	1



Boven	Onder	Grondsoort	Omschrijving	M63	LU	SI	ZA	GR	OR	CA
1.37	1.49	zand	zwak siltig, bruin-grijs, 10YR 7/3, weinig bruine vlekken, Zand: matig grof, matig grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, niet bont, veel ijzeroxide huidjes, spoor ijzeroxide, spoor grove korrels, spoor organisch materiaal, basis diffuus	240	0	1	99	0	0	1
1.49	1.80	zand	zwak siltig, zwak grindig, bruin-geel, 10YR 6/6, spoor bruine vlekken, Zand: matig fijn, matig grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, niet bont, Grind: spoor fijn grind, Organisch materiaal: weinig wortelresten, veel ijzeroxide huidjes, veel ijzeroxide, spoor grove korrels, weinig organisch materiaal, basis diffuus	190	0	1	99	1	0	1
1.80	1.96	zand	zwak siltig, bruin-geel, 10YR 8/3, spoor bruine vlekken, Zand: matig grof, matig grote spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, niet bont, Organisch materiaal: spoor wortelresten, weinig ijzeroxide huidjes, spoor ijzeroxide, spoor grove korrels, spoor organisch materiaal, basis scherp	230	0	1	99	0	0	1
1.96	2.00	zand	zwak siltig, bruin, 10YR 5/6, Zand: matig fijn, matig grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, spoor glauconiet, veel ijzeroxide huidjes, spoor ijzeroxide, spoor grove korrels, spoor organisch materiaal	170	0	1	99	0	0	1
2.00	2.10	geen monster								
2.10	2.15	zand	matig siltig, bruin, 10YR 5/6, Zand: matig grof, matig grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, spoor glauconiet, veel ijzeroxide huidjes, spoor detritus, basis diffuus, Opm.: deels naval; deels verstoord	220	1	14	85	0	0	1
2.15	2.26	zand	sterk siltig, licht-grijs, 10YR 6/1, veel bruine vlekken, spoor oranje vlekken, Zand: matig grof, matig grote spreiding, matig afgerond, spoor zwarte korrels, niet bont, spoor detritus, basis diffuus, Opm.: verstoord	270	0	20	80	0	0	1
2.26	2.50	leem	sterk zandig, grijs, 10YR 6/1, veel bruine vlekken, spoor oranje vlekken, Zand: zeer fijn, matig grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, veel concreties, veel ijzeroxide, spoor grove korrels, spoor organisch materiaal, basis scherp, Opm.: lijkt doorworteld; nu veelal als Fe-rijke inclusions met spoor organische resten, gemineraliseerd organisch materiaal	140	1	84	15	0	0	1
2.50	2.52	zand	zwak siltig, bruin-geel, 10YR 7/6, veel bruine vlekken, Zand: matig grof, matig grote spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, spoor zwarte korrels, matig bont, spoor glauconiet, veel ijzeroxide huidjes, spoor organisch materiaal, basis scherp, Opm.: duidelijk veel bonter zand, veel rood-bruine korrels	250	0	1	99	0	0	1
2.52	2.56	zand	zwak siltig, bruin, 10YR 4/6, Zand: matig fijn, matig grote spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, niet bont, spoor glauconiet, veel ijzeroxide huidjes, spoor grove korrels, spoor organisch materiaal, basis scherp, Opm.: onregelmatige banding siltiger materiaal	170	1	5	94	0	0	1
2.56	2.76	zand	zwak siltig, zwak grindig, geel, 10YR 7/3, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, matig afgerond, veel grijze korrels, weinig zwarte korrels, matig bont, Grind: spoor fijn grind, spoor witte kwarts, spoor glauconiet, veel ijzeroxide huidjes, spoor grove korrels, spoor granuul, spoor detritus, weinig gelaagd, mm-gelaagdheid, onduidelijke scheve gelaagdheid, basis scherp, Opm.: weinig bruin-rode korrels	160	0	1	99	1	0	1
2.76	2.82	zand	zwak siltig, grijs-bruin, 10YR 6/4, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, weinig zwarte korrels, matig bont, spoor glimmer, spoor glauconiet, weinig ijzeroxide huidjes, spoor grove korrels, basis scherp, aan de top siltig, Opm.: veel bruin-rode korrels	160	0	3	97	0	0	1
2.82	2.87	zand	zwak siltig, bruin, 10YR 4/6, Zand: zeer fijn, matig kleine spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, spoor glauconiet, veel ijzeroxide huidjes, spoor grove korrels, zwak gelaagd, basis scherp	130	1	4	95	0	0	1
2.87	2.88	leem	sterk zandig, bruin, 10YR 6/4, spoor glauconiet, spoor organisch materiaal, basis scherp		1	65	34	0	0	1
2.88	2.92	zand	zwak siltig, geel-bruin, 10YR 7/4, Zand: zeer fijn, matig kleine spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, spoor zwarte korrels, veel ijzeroxide huidjes, spoor organisch materiaal, weinig inclusions leem, basis scherp, Opm.: fijn zandige/lemige verzakkings structuur, weinig bruin-rode korrels	140	0	2	98	0	0	1
2.92	2.95	leem	sterk zandig, bruin, 10YR 6/4, spoor glauconiet, spoor organisch materiaal, weinig gelaagd, parallelle gelaagdheid, basis scherp, Opm.: organische stof laagjes		1	65	34	0	0	1
2.95	3.00	zand	zwak siltig, bruin-geel, 10YR 6/4, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, weinig zwarte korrels, matig bont, spoor glauconiet, veel ijzeroxide huidjes, zwak gelaagd	180	0	2	98	0	0	1
3.00	3.20	geen monster								
3.20	3.22	geen monster	naval							
3.22	3.31	zand	zwak siltig, bruin, 10YR 6/4, Zand: zeer fijn, matig kleine spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, weinig zwarte korrels, matig bont, spoor glauconiet, spoor grove korrels, basis scherp, Opm.: vervloeid of verstoord?, weinig bruin-rode korrels	130	0	1	99	0	0	1
3.31	3.34	leem	sterk zandig, bruin, 10YR 6/4, Organisch materiaal: spoor wortelresten, spoor glauconiet, spoor organisch materiaal, basis scherp		1	65	34	0	0	1



Boven	Onder	Grondsoort	Omschrijving	M63	LU	SI	ZA	GR	OR	CA
3.34	3.73	zand	zwak siltig, geel-bruin, 10YR 6/4, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, spoor zwarte korrels, matig bont, spoor glauconiet, veel ijzeroxide huidjes, spoor grove korrels, weinig detritus, weinig gelaagd, laaghoekige scheve gelaagdheid, scheve gelaagdheid, parallelle gelaagdheid, basis diffuus, Opm.: onregelmatig discontinu gelaagd; duidelijk meer silt (7%), weinig bruin-rode korrels	170	0	1	99	0	0	1
3.73	3.82	zand	zwak siltig, bruin, 10YR 6/4, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, weinig zwarte korrels, matig bont, spoor glauconiet, veel ijzeroxide huidjes, spoor grove korrels, zwak gelaagd, onduidelijke scheve gelaagdheid, basis diffuus, Opm.: weinig bruin-rode korrels	190	0	1	99	0	0	1
3.82	3.89	zand	zwak siltig, bruin, 10YR 6/4, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, spoor zwarte korrels, matig bont, spoor glauconiet, veel ijzeroxide huidjes, homogeen, basis diffuus, Opm.: weinig bruin-rode korrels	200	0	1	99	0	0	1
3.89	4.00	zand	zwak siltig, bruin, 10YR 5/4, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, spoor zwarte korrels, spoor glauconiet, veel ijzeroxide huidjes, Opm.: zwak discontinu gelaagd, weinig bruin-rode korrels	170	0	1	99	0	0	1
4.00	4.30	geen monster								
4.30	4.45	zand	zwak siltig, bruin, 10YR 6/4, Zand: matig fijn, matig afgerond, weinig grijze korrels, spoor zwarte korrels, matig bont, spoor glauconiet, veel ijzeroxide huidjes, zwak gelaagd, basis scherp, Opm.: weinig bruin-rode korrels, top verstoord; naval?	160	0	1	99	0	0	1
4.45	4.90	zand	zwak siltig, bruin, 10YR 6/6, weinig bruine vlekken, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, spoor zwarte korrels, matig bont, spoor glauconiet, veel ijzeroxide huidjes, spoor organisch materiaal, doorworteling, sterk gelaagd, mm-gelaagdheid, scheve gelaagdheid, basis scherp, Opm.: organisch materiaal deels gemineraliseerd, weinig bruin-rode korrels	150	0	1	99	0	0	1
4.90	4.91	zand	zwak siltig, grijs, 10YR 6/2, spoor bruine vlekken, Zand: uiterst fijn, zeer kleine spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, weinig ijzeroxide huidjes, spoor grove korrels, spoor organisch materiaal, basis scherp, Opm.: doorworteling als bruine vlekken	90	0	1	99	0	0	1
4.91	5.00	zand	zwak siltig, bruin, 10YR 6/4, spoor bruine vlekken, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, spoor zwarte korrels, matig bont, spoor glauconiet, veel ijzeroxide huidjes, spoor grove korrels, spoor organisch materiaal, mm-gelaagdheid, Opm.: discontinu zwak gelaagd, weinig bruin-rode korrels, basis verstoord, doorworteling als bruine vlekken	160	0	1	99	0	0	1
5.00	5.30	geen monster								
5.30	5.40	zand	zwak siltig, bruin, 10YR 5/4, Zand: matig fijn, matig grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, spoor glauconiet, veel ijzeroxide huidjes, spoor grove korrels, spoor detritus, basis diffuus, Opm.: spoor bruin-rode korrels, naval?	180	0	1	99	0	0	1
5.40	5.53	zand	zwak siltig, bruin, spoor bruine vlekken, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, spoor zwarte korrels, matig bont, spoor glauconiet, veel ijzeroxide huidjes, spoor grove korrels, basis diffuus, Opm.: weinig bruin-rode korrels	200	0	1	99	0	0	1
5.53	5.63	zand	zwak siltig, grijs-bruin, 10YR 6/4, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, spoor zwarte korrels, matig bont, veel ijzeroxide huidjes, spoor grove korrels, spoor organisch materiaal, zwak gelaagd, scheve gelaagdheid, basis diffuus, Opm.: weinog bruin-rode korrels	190	0	1	99	0	0	1
5.63	5.82	zand	zwak siltig, bruin, 10YR 6/4, spoor bruine vlekken, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, spoor zwarte korrels, veel ijzeroxide huidjes, spoor grove korrels, spoor organisch materiaal, basis diffuus, Opm.: weinig bruin-rode korrels, onduidelijke discontinue gelaagdheid	190	0	1	99	0	0	1
5.82	5.91	zand	zwak siltig, bruin, 10YR 7/6, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, spoor zwarte korrels, matig bont, spoor glimmer, veel ijzeroxide huidjes, spoor grove korrels, spoor detritus, cm-gelaagdheid, scheve gelaagdheid, zeer veel zandlagen, basis scherp, Opm.: weinig bruin-rood materiaal	170	0	1	99	0	0	1
5.91	6.00	zand	zwak siltig, bruin, 10YR 6/6, Zand: zeer fijn, matig kleine spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, spoor zwarte korrels, matig bont, spoor glimmer, veel ijzeroxide huidjes, spoor grove korrels, weinig detritus, sterk gelaagd, parallelle gelaagdheid, weinig leemlagen, veel zandlagen, Opm.: weinig bruin-rode korrels, onregelmatig gelaagd; doorlopend naar volgende meter, leem/fijnzand-laagjes met detritus, soms naar zandlens neigend	130	0	3	97	0	0	1
6.00	6.27	geen monster								
6.27	6.64	zand	zwak siltig, bruin, 10YR 6/4, Zand: zeer fijn, zeer kleine spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, spoor zwarte korrels, matig bont, spoor glimmer, spoor glauconiet, spoor organisch materiaal, bimodale kleinschalige scheve gelaagdheid, cm-gelaagdheid, sterk gelaagd, mm-gelaagdheid, scheve gelaagdheid, spoor leemlenzen, basis diffuus, Opm.: topdeel verstoord, weinig bruin-rode korrels, organisch materiaal veelal tot lemige laagjes beperkt, afsnijdingen	120	0	1	99	0	0	1



Boven	Onder	Grondsoort	Omschrijving	M63	LU	SI	ZA	GR	OR	CA
6.64	6.68	zand	zwak siltig, bruin, 10YR 5/4, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, spoor zwarte korrels, matig bont, spoor glauconiet, veel ijzeroxide huidjes, spoor grove korrels, weinig organisch materiaal, sterk gelaagd, parallelle gelaagdheid, basis scherp, Opm.: eventueel organisch stof laagjes, spoor bruin-rode korrels	150	0	1	99	0	0	1
6.68	6.82	zand	zwak siltig, bruin-grijs, 10YR 6/2, spoor bruine vlekken, Zand: uiterst fijn, matig kleine spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, spoor glauconiet, spoor ijzeroxide huidjes, spoor grove korrels, spoor organisch materiaal, weinig gelaagd, spoor leemlenzen, basis scherp, aan de top humeus, aan de top siltig, Opm.: topdeel meer organisch materiaal	90	0	4	96	0	0	1
6.82	6.88	zand	zwak siltig, geel-bruin, 10YR 7/4, Zand: matig grof, matig kleine spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, spoor witte korrels, spoor zwarte korrels, matig bont, veel ijzeroxide huidjes, spoor organisch materiaal, cm-gelaagdheid, sterk gelaagd, parallelle gelaagdheid, basis diffuus, afname korrelgrootte zand naar boven toe, Opm.: niet alle lagen even ijzerrijk, weinig bruin-rode korrels Sublaag: met weinig leemlagen, dun, Subl.perc.: 30, grijs	240	0	2	98	0	0	1
6.88	7.00	zand	zwak siltig, geel-bruin, 10YR 6/6, Zand: matig grof, matig kleine spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, spoor zwarte korrels, spoor glauconiet, veel ijzeroxide huidjes, zwak gelaagd, Opm.: banding donkere korrels, weinig bruin-rode korrels	230	0	1	99	0	0	1
7.00	7.25	geen monster								
7.25	7.43	zand	zwak siltig, bruin, 10YR 6/4, Zand: matig grof, matig kleine spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, spoor zwarte korrels, matig bont, spoor glauconiet, weinig ijzeroxide huidjes, spoor grove korrels, spoor organisch materiaal, zwak gelaagd, scheve gelaagdheid, basis diffuus, Opm.: naval?, top verstoord, basis zwak gerlaagd, basis gelaagd; grovere-snoertjes, spoor bruin-rode korrels	230	0	1	99	0	0	1
7.43	7.63	zand	zwak siltig, zwak grindig, grijs-bruin, 10YR 6/3, Zand: matig grof, matig grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, weinig zwarte korrels, matig bont, spoor glauconiet, weinig ijzeroxide huidjes, weinig grove korrels, weinig gelaagd, mm-gelaagdheid, scheve gelaagdheid, basis diffuus, afname korrelgrootte zand naar boven toe, Opm.: spoor bruin-rode korrels, spoor fijn grind snoertjes	260	0	1	99	1	0	1
7.63	7.78	zand	zwak siltig, zwak grindig, grijs-bruin, 10YR 7/2, Zand: zeer grof, matig grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: spoor fijn grind, spoor matig grof grind, spoor glauconiet, spoor goethiet, weinig grove korrels, spoor granuul, spoor bruinkoolbrokjes, weinig gelaagd, onduidelijke scheve gelaagdheid, basis diffuus, aan de basis grof, Opm.: spoor bruin-rode korrels, top duidelijk roest kleuring	340	0	1	99	1	0	1
7.78	7.81	zand	zwak siltig, zwak grindig, bruin-grijs, 10YR 6/2, Zand: uiterst grof, matig afgerond, spoor grijze korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: spoor matig grof grind, spoor glauconiet, weinig ijzeroxide huidjes, spoor ijzeroxide, veel grove korrels, spoor granuul, basis diffuus, Opm.: basis scheef	420	0	1	99	1	0	1
7.81	7.90	zand	zwak siltig, matig grindig, bruin, 10YR 5/6, Zand: uiterst grof, zeer grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: weinig fijn grind, weinig matig grof grind, veel zeer grof grind, niet bont, veel witte kwarts, veel zandsteen, spoor glauconiet, veel ijzeroxide huidjes, spoor ijzeroxide, veel grove korrels, weinig granuul, basis diffuus, erosieve basis	700	0	1	99	6	0	1
7.90	8.00	zand	zwak siltig, zwak grindig, bruin, 10YR 4/6, Zand: uiterst grof, matig kleine spreiding, matig afgerond, niet bont, Grind: weinig fijn grind, spoor matig grof grind, geen glauconiet, veel ijzeroxide huidjes, veel ijzeroxide, spoor granuul, aan de basis grindig, afname korrelgrootte zand naar boven toe, Opm.: afname spreiding en sortering naar boven toe, Duitse vlag verkleuring; niet sedimentair gelaagd	500	0	1	99	2	0	1
8.00	8.41	geen monster								
8.41	8.44	geen monster	naval							
8.44	8.51	zand	zwak siltig, zwak grindig, bruin, 10YR 6/3, Zand: zeer grof, tweetoppige spreiding, Zandmed.fijn: 170, Zandmed.grof: 500, matig afgerond, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: spoor fijn grind, spoor glauconiet, spoor ijzerconcreties, veel ijzeroxide huidjes, weinig granuul, basis diffuus, aan de basis grindig, Opm.: naval?	335	0	1	99	1	0	1
8.51	8.71	zand	zwak siltig, zwak grindig, bruin, 10YR 6/8, Zand: uiterst grof, zeer grote spreiding, matig afgerond, niet bont, Grind: spoor fijn grind, spoor matig grof grind, spoor ijzerconcreties, veel ijzeroxide huidjes, veel ijzeroxide, weinig granuul, zwak gelaagd, basis diffuus, aan de basis grof, afname korrelgrootte zand naar boven toe	450	0	1	99	1	0	1
8.71	8.98	grind	matig zandig, wit, 10YR 8/1, Grind: veel fijn grind, veel matig grof grind, zeer veel zeer grof grind, matig afgerond, niet bont, weinig kwartsiet, spoor vuursteen, zeer veel witte kwarts, weinig zandsteen, spoor ijzeroxide huidjes, spoor ijzeroxide, veel granuul, erosieve basis, Opm.: in de top veel afgeplatte kiezels	0	1	19	80	0	0	1
8.98	9.26	geen monster								
9.26	9.36	geen monster	naval							



Boven	Onder	Grondsoort	Omschrijving	M63	LU	SI	ZA	GR	OR	CA
9.36	9.56	zand	zwak siltig, zwak grindig, licht-geel-bruin, 10YR 8/2, Zand: uiterst grof, zeer grote spreiding, matig afgerond, Grind: veel fijn grind, weinig matig grof grind, niet bont, spoor kwartsiet, spoor vuursteen, veel witte kwarts, spoor zandsteen, veel grove korrels, veel granuul, Opm.: basis lijkt meer grind te bevatten	550	0	1	99	4	0	1
9.56	9.65	zand	zwak siltig, matig grindig, bruin, 10YR 6/6, Zand: uiterst grof, zeer grote spreiding, matig afgerond, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: veel fijn grind, weinig matig grof grind, matig afgerond, niet bont, spoor kwartsiet, weinig vuursteen, veel witte kwarts, spoor zandsteen, veel ijzeroxide huidjes, weinig ijzeroxide, spoor granuul, basis diffuus	560	0	1	99	6	0	1
9.65	9.86	zand	zwak siltig, zwak grindig, bruin, Zand: uiterst grof, zeer grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: veel fijn grind, weinig matig grof grind, niet bont, spoor gerolde vuursteen, spoor rode zandsteen, zeer veel witte kwarts, spoor zandsteen, spoor ijzerconcreties, veel ijzeroxide huidjes, veel ijzeroxide, cm-gelaagdheid, weinig gelaagd, weinig grindlagen, basis diffuus, Opm.: Igrindige laagjes met grover zand en/of granulen	600	0	1	99	4	0	1
9.86	10.00	zand	zwak siltig, zwak grindig, bruin, 10YR 6/6, Zand: uiterst grof, zeer grote spreiding, afgerond, niet bont, Grind: weinig fijn grind, spoor matig grof grind, niet bont, spoor kwartsiet, veel witte kwarts, spoor zandsteen, spoor ijzerconcreties, veel ijzeroxide huidjes, spoor granuul	520	0	1	99	2	0	1
10.00	10.27	geen monster								
10.27	10.46	geen monster	naval							
10.46	10.92	zand	zwak siltig, zwak grindig, licht-bruin, 10YR 7/2, Zand: zeer grof, matig grote spreiding, matig afgerond, niet bont, Grind: weinig fijn grind, veel matig grof grind, Grind: weinig fijn grind, spoor matig grof grind, spoor glauconiet, spoor ijzerconcreties, weinig ijzeroxide huidjes, spoor grove korrels, spoor granuul, cm-gelaagdheid, sterk gelaagd, laaghoekige scheve gelaagdheid, mm-gelaagdheid, basis diffuus, Opm.: spoor bruin-rode korrels, aan basis verzakte laagjes	360	0	1	99	2	0	1
10.92	11.00	zand	zwak siltig, matig grindig, bruin, 10YR 7/4, Zand: zeer grof, zeer grote spreiding, matig afgerond, niet bont, Grind: weinig fijn grind, veel matig grof grind, spoor zeer grof grind, matig afgerond, niet bont, spoor kwartsiet, spoor rode zandsteen, spoor vuursteen, veel witte kwarts, spoor zandsteen, weinig ijzeroxide huidjes, weinig granuul, Opm.: spoor rode korrels, sluit aan bij 1150-1170cm	360	0	2	98	8	0	1
11.00	11.37	geen monster								
11.37	11.50	geen monster	naval							
11.50	11.75	zand	zwak siltig, zwak grindig, grijs, 10YR 7/2, Zand: zeer grof, zeer grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: weinig fijn grind, weinig matig grof grind, spoor zeer grof grind, niet bont, veel witte kwarts, spoor zandsteen, spoor glauconiet, weinig ijzeroxide huidjes, spoor granuul, cm-gelaagdheid, weinig gelaagd, basis diffuus, Opm.: spoor bruin-rode korrels	360	0	1	99	4	0	1
11.75	11.94	grind	matig zandig, bruin, 10YR 6/6, Zand: uiterst grof, zeer grote spreiding, matig afgerond, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: veel fijn grind, veel matig grof grind, veel zeer grof grind, matig afgerond, zeer bont, spoor gerolde vuursteen, spoor kwartsiet, spoor vuursteen, veel witte kwarts, veel zandsteen, veel ijzeroxide huidjes, weinig ijzeroxide, veel granuul, basis diffuus, Opm.: groene zandsteen uit Breda Fm s.l., gerolde groene silt bal	750	0	1	25	74	0	1
11.94	12.00	zand	zwak siltig, zwak grindig, licht-bruin, 10YR 7/2, Zand: uiterst grof, zeer grote spreiding, matig afgerond, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: spoor fijn grind, veel matig grof grind, matig afgerond, niet bont, zeer veel witte kwarts, weinig ijzeroxide huidjes, spoor granuul	520	0	1	99	4	0	1
12.00	12.35	geen monster								
12.35	12.65	geen monster	naval							
12.65	12.90	zand	zwak siltig, matig grindig, licht-grijs-bruin, 10YR 7/3, Zand: uiterst grof, matig grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: weinig fijn grind, weinig matig grof grind, spoor zeer grof grind, matig afgerond, niet bont, spoor gerolde vuursteen, spoor kwartsiet, spoor rode zandsteen, veel witte kwarts, spoor zandsteen, basis diffuus, Opm.: spoor rode ijzerkiesel, aantal afgeplatte grinden	550	0	1	99	6	0	1
12.90	13.00	zand	zwak siltig, matig grindig, zwak humeus, bruin, 10YR 4/3, Zand: uiterst grof, matig grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: weinig fijn grind, spoor matig grof grind, weinig zeer grof grind, matig afgerond, matig bont, spoor gerolde vuursteen, weinig kwartsiet, spoor rode zandsteen, weinig witte kwarts, spoor zandsteen, weinig ijzeroxide huidjes, weinig ijzeroxide, weinig granuul, Opm.: bruin kleuring door FeO en organisch; reactie met H2O2, spoor rode ijzerkiesel, deel grind afgeplat	580	0	1	99	8	1	1
13.00	13.34	geen monster								
13.34	13.46	geen monster	naval							



Boven	Onder	Grondsoort	Omschrijving	M63	LU	SI	ZA	GR	OR	CA
13.46	13.66	zand	zwak siltig, zwak grindig, licht-bruin-grijs, 10YR 7/2, Zand: uiterst grof, zeer grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: zeer veel fijn grind, weinig matig grof grind, matig afgerond, niet bont, spoor kwartsiet, spoor schalie, veel witte kwarts, spoor zandsteen, weinig ijzeroxide huidjes, weinig granuul, basis diffuus, Opm.: kiezelooliet/zandsteen?, enige afgeplatte grinden	500	0	1	99	4	0	1
13.66	13.79	zand	zwak siltig, matig grindig, bruin, Zand: uiterst grof, zeer grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: zeer veel fijn grind, weinig matig grof grind, matig afgerond, niet bont, spoor kwartsiet, spoor rode zandsteen, spoor vuursteen, zeer veel witte kwarts, spoor zandsteen, veel ijzeroxide huidjes, veel ijzeroxide, weinig granuul, weinig gelaagd, basis scherp, Opm.: weinig bruin-rode korrels	500	0	1	99	10	0	1
13.79	14.00	zand	zwak siltig, zwak grindig, bruin-grijs, 10YR 5/2, Zand: matig grof, matig grote spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, spoor zwarte korrels, matig bont, Grind: spoor fijn grind, weinig matig grof grind, spoor witte kwarts, weinig zandsteen, spoor glauconiet, weinig ijzeroxide huidjes, spoor granuul, sterk gelaagd, mm-gelaagdheid, scheve gelaagdheid, Opm.: spoor bruin-rode korrels, gerolde donker grijze zandsteen, basis verstoord	250	0	1	99	1	0	1
14.00	14.33	geen monster								
14.33	14.54	geen monster	naval							
14.54	14.66	zand	zwak siltig, zwak grindig, bruin-grijs, 2.5Y 6/2, Zand: zeer grof, matig grote spreiding, matig afgerond, veel grijze korrels, veel bont materiaal, spoor zwarte korrels, Grind: spoor fijn grind, spoor witte kwarts, spoor glauconiet, weinig ijzeroxide huidjes, spoor grove korrels, sterk gelaagd, mm-gelaagdheid, parallelle gelaagdheid, basis diffuus, Opm.: weinig bruine korrels	320	0	1	99	1	0	3
14.66	14.78	zand	zwak siltig, bruin-grijs, 2.5Y 6/2, Zand: zeer grof, matig grote spreiding, matig afgerond, veel grijze korrels, veel bont materiaal, spoor zwarte korrels, spoor glauconiet, weinig ijzeroxide huidjes, spoor grove korrels, sterk gelaagd, mm-gelaagdheid, scheve gelaagdheid, basis diffuus, Opm.: weinig bruine korrels	320	0	1	99	0	0	3
14.78	15.00	zand	zwak siltig, zwak grindig, bruin-grijs, 2.5Y 6/2, Zand: zeer grof, matig grote spreiding, matig afgerond, veel grijze korrels, veel bont materiaal, spoor zwarte korrels, Grind: spoor fijn grind, spoor witte kwarts, spoor glauconiet, weinig ijzeroxide huidjes, spoor ijzeroxide, spoor grove korrels, sterk gelaagd, mm-gelaagdheid, Opm.: weinig bruine korrels, gelaagdheid, scheef?, discontinu en verstoord, basis verstoord	320	0	1	99	1	0	3
15.00	15.39	geen monster								
15.39	15.48	geen monster	naval							
15.48	15.61	zand	zwak siltig, matig grindig, grijs, 2.5y 6/3, Zand: zeer grof, matig afgerond, veel grijze korrels, weinig bont materiaal, spoor zwarte korrels, Grind: veel fijn grind, spoor matig grof grind, weinig zeer grof grind, matig afgerond, niet bont, spoor kwartsiet, spoor rode zandsteen, veel witte kwarts, spoor zandsteen, spoor glauconiet, weinig grove korrels, spoor granuul, spoor bruinkoolbrokjes, aan de basis grindig, erosieve basis, Opm.: met onregelmatige, verstoorde gelaagdheid, top verstoord, weinig bruin-rode korrels	350	0	1	99	14	0	2
15.61	15.80	zand	zwak siltig, zwak grindig, grijs, 2.5y 6/3, Zand: zeer grof, matig grote spreiding, matig afgerond, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: weinig fijn grind, spoor ijzeroxide huidjes, spoor grove korrels, weinig gelaagd, onduidelijke scheve gelaagdheid, parallelle gelaagdheid, basis diffuus, Opm.: spoor bruin-rode korrels, spoor grind snoertjes	360	0	1	99	2	0	2
15.80	15.89	zand	zwak siltig, zwak grindig, grijs, 2.5y 6/3, Zand: zeer grof, matig grote spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: spoor fijn grind, spoor glauconiet, spoor grove korrels, homogeen, basis diffuus	330	0	1	99	1	0	2
15.89	16.00	zand	zwak siltig, sterk grindig, grijs, 10YR 6/3, Zand: zeer grof, zeer grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, weinig zwarte korrels, niet bont, Grind: weinig fijn grind, veel matig grof grind, spoor zeer grof grind, matig afgerond, niet bont, weinig kwartsiet, veel witte kwarts, spoor zandsteen, spoor granuul	400	0	1	99	25	0	2
16.00	16.48	zand	zwak siltig, matig grindig, grijs, 10YR 7/2, spoor bruine vlekken, Zand: zeer grof, zeer grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, spoor roze korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: zeer veel fijn grind, weinig matig grof grind, matig afgerond, niet bont, spoor gerolde vuursteen, spoor kwartsiet, weinig rode zandsteen, zeer veel witte kwarts, spoor zandsteen, spoor glauconiet, spoor ijzerconcreties, weinig grove korrels, spoor granuul, spoor insluitsels klei, spoor insluitsels leem, Opm.: spoor rode korrels, kleuring ietwat rossig, geroerd monster	400	0	1	99	6	0	2
16.48	16.68	grind	matig zandig, grijs, 10YR 7/2, Grind: weinig fijn grind, weinig matig grof grind, zeer veel zeer grof grind, matig afgerond, zeer bont, spoor gerolde vuursteen, veel kwartsiet, zeer veel rode zandsteen, veel witte kwarts, spoor zandsteen, spoor ijzeroxide, Opm.: geroerd monster, enige afgeplatte grinden, groen grijze siltconcretie met ijzercoating		0	1	24	75	0	2
16.68	17.00	zand	zwak siltig, zwak grindig, grijs, 10YR 7/2, spoor bruine vlekken, Zand: zeer grof, zeer grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, spoor roze korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: veel fijn grind, spoor matig grof grind, matig afgerond, matig bont, spoor kwartsiet, veel rode zandsteen, veel witte kwarts, weinig zandsteen, spoor ijzerconcreties, weinig grove korrels, spoor granuul, Opm.: spoor rode korrels, kleuring ietwat rossig, geroerd monster	400	0	1	99	4	0	2
17.00	17.34	geen monster								



Boven	Onder	Grondsoort	Omschrijving	M63	LU	SI	ZA	GR	OR	CA
17.34	18.00	grind	sterk zandig, grijs, 10YR 5/1, Grind: zeer veel fijn grind, veel matig grof grind, veel zeer grof grind, matig afgerond, matig bont, weinig kwartsiet, spoor rode zandsteen, weinig vuursteen, zeer veel witte kwarts, weinig zandsteen, weinig ijzeroxide, veel granuul, weinig insluitsels klei, Opm.: zand ietwat rossig, grote klei insluitsels vooral aan de basis		0	1	34	65	0	2
18.00	18.35	geen monster								
18.35	18.48	zand	zwak siltig, matig grindig, grijs, 10YR 6/1, Zand: uiterst grof, zeer grote spreiding, matig afgerond, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: veel fijn grind, veel matig grof grind, matig afgerond, matig bont, weinig kwartsiet, spoor rode zandsteen, spoor vuursteen, veel witte/grijze veldspaat, weinig zandsteen, spoor ijzeroxide, weinig granuul, basis diffuus, aan de basis grindig, naar boven toe fijner, Opm.: naval?, ietwat rossig, spoor rode en bruine korrels	700	0	1	99	10	0	1
18.48	18.60	zand	zwak siltig, zwak grindig, grijs, 10YR 6/1, Zand: uiterst grof, matig grote spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, spoor zwarte korrels, matig bont, Grind: weinig fijn grind, spoor matig grof grind, matig afgerond, niet bont, spoor rode zandsteen, spoor vuursteen, veel witte kwarts, spoor zandsteen, spoor ijzeroxide, weinig grove korrels, spoor granuul, Opm.: spoor rode en bruine korrels, ietwat rossig	500	0	1	99	3	0	1
18.60	18.65	kleisteen	geel-groen, 5Y 7/2, Opm.: klei laagje en ijzerkorst om moddersteen; gerolde klast		9	90	1	0	0	1
18.65	19.00	zand	zwak siltig, zwak grindig, grijs, 10YR 6/1, Zand: uiterst grof, matig afgerond, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: veel fijn grind, weinig matig grof grind, matig afgerond, niet bont, spoor kwartsiet, spoor rode zandsteen, spoor vuursteen, veel witte kwarts, spoor zandsteen, spoor glimmer, spoor ijzeroxide huidjes, weinig ijzeroxide, weinig grove korrels, spoor granuul, weinig insluitsels klei, zwak gelaagd, spoor kleilagen, Opm.: kleilaagje bestaat uit kleiklasten en grind, ietwat rossig, aan de basis insluitsels klei	550	0	1	99	3	0	1
19.00	19.35	geen monster								
19.35	19.48	geen monster	naval, Opm.: zandig deel							
19.48	19.56	geen monster	naval, Opm.: grindig deel							
19.56	19.75	zand	zwak siltig, zwak grindig, grijs, 10YR 5/1, spoor bruine vlekken, Zand: zeer grof, matig grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, spoor roze korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: spoor fijn grind, spoor matig grof grind, weinig witte kwarts, spoor glimmer, spoor ijzeroxide huidjes, spoor ijzeroxide, spoor granuul, sterk gelaagd, mm-gelaagdheid, spoor grindlagen, basis diffuus	330	0	2	98	1	0	1
19.75	19.92	zand	zwak siltig, zwak grindig, bruin-grijs, 10YR 5/2, weinig bruine vlekken, Zand: zeer grof, matig grote spreiding, matig afgerond, weinig grijze korrels, spoor roze korrels, spoor zwarte korrels, matig bont, Grind: spoor fijn grind, spoor matig grof grind, weinig witte kwarts, spoor glauconiet, spoor ijzerconcreties, spoor ijzeroxide huidjes, weinig ijzeroxide, spoor granuul, zwak gelaagd, basis diffuus, Opm.: grind snoertje	350	0	1	99	1	0	1
19.92	20.00	grind	sterk zandig, bruin-grijs, 10YR 6/2, Zand: uiterst grof, zeer grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, spoor roze korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: weinig fijn grind, veel matig grof grind, weinig zeer grof grind, matig afgerond, matig bont, spoor kwartsiet, spoor rode zandsteen, veel vuursteen, zeer veel witte kwarts, spoor zandsteen, weinig ijzeroxide, weinig granuul	440	0	2	38	60	0	1
20.00	20.34	geen monster								
20.34	20.43	geen monster	naval							
20.43	20.77	grind	matig zandig, bruin-grijs, 10YR 6/2, Zand: uiterst grof, zeer grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: veel fijn grind, zeer veel matig grof grind, veel zeer grof grind, matig afgerond, matig bont, weinig gerolde vuursteen, spoor kwartsiet, spoor rode zandsteen, zeer veel witte kwarts, weinig zandsteen, weinig ijzeroxide, weinig granuul, basis diffuus, naar boven toe fijner, aan de top grof	700	0	1	24	75	0	1
20.77	21.00	zand	zwak siltig, zwak grindig, grijs, 10 YR 6/2, Zand: uiterst grof, zeer grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: weinig fijn grind, veel matig grof grind, spoor zeer grof grind, matig afgerond, niet bont, spoor kwartsiet, spoor lydiet, spoor rode zandsteen, veel witte kwarts, spoor zandsteen, spoor ijzeroxide huidjes, veel granuul, spoor insluitsels klei, Opm.: spoor bruin-rode korrels, ietwat rossig	650	0	1	99	4	0	1
21.00	21.24	geen monster								
21.24	21.37	geen monster	naval							
21.37	22.00	zand	zwak siltig, zwak grindig, grijs, 10YR 6/1, veel bruine vlekken, Zand: uiterst grof, matig grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, spoor roze korrels, weinig zwarte korrels, matig bont, Grind: veel fijn grind, weinig matig grof grind, matig afgerond, matig bont, spoor kwartsiet, spoor rode zandsteen, veel witte kwarts, spoor zandsteen, spoor glauconiet, veel ijzeroxide huidjes, spoor granuul, zwak gelaagd, scheve gelaagdheid, Opm.: ietwat rossig, veel ijzerverkleuring, basis verstoord, vage grind/grove korrel snoertjes	550	0	1	99	4	0	1
22.00	22.06	geen monster								



Boven	Onder	Grondsoort	Omschrijving	M63	LU	SI	ZA	GR	OR	CA
22.06	22.23	zand	zwak siltig, zwak grindig, grijs, 10YR 7/1, Zand: zeer grof, matig grote spreiding, matig afgerond, spoor grijze korrels, spoor zwarte korrels, matig bont, Grind: weinig fijn grind, weinig matig grof grind, matig afgerond, niet bont, spoor kwartsiet, spoor rode zandsteen, veel witte kwarts, spoor zandsteen, spoor glimmer, spoor ijzeroxide, spoor granuul, erosieve basis, Opm.: spoor rode korrels	350	0	1	99	4	0	1
22.23	23.00	bruinkool	mineraalarm, zwart, N1, Organisch materiaal: veel plantenresten, veel houtresten		1	0	0	0	99	1
23.00	23.32	geen monster								
23.32	23.72	bruinkool	mineraalarm, zwart, N1, Organisch materiaal: weinig plantenresten, weinig houtresten, spoor wortels, spoor insluitsels zand, zwak gelaagd, basis diffuus, Opm.: mogelijk deel verspoeld		1	0	1	0	98	1
23.72	24.00	zand	zwak siltig, sterk humeus, grijs, 10YR 6/1, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, hoekig, spoor zwarte korrels, niet bont, Organisch materiaal: weinig plantenresten, weinig houtresten, spoor wortels, afname zandpercentage naar boven toe, Opm.: in basis deels verspoeld organisch materiaal	160	1	1	98	0	12	1
24.00	24.19	geen monster								
24.19	24.31	zand	zwak siltig, zwak humeus, bruin-grijs, 10YR 6/2, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, hoekig, niet bont, spoor ijzeroxide, weinig detritus, basis diffuus, Opm.: naval?	160	0	1	99	0	2	1
24.31	24.34	detritus	sterk zandig, zwart, 10YR 2/1, Opm.: naval?		0	0	80	0	20	1
24.34	24.57	zand	zwak siltig, sterk humeus, donker-bruin-zwart, 10YR 2/1, Zand: matig fijn, matig grote spreiding, hoekig, spoor grove korrels, spoor detritus, veel insluitsels zand, basis scherp, toename zandpercentage naar boven toe	200	0	1	99	0	12	1
24.57	24.60	bruinkool	mineraalarm, zwart, N1, Organisch materiaal: veel houtresten, basis scherp		1	0	0	0	99	1
24.60	24.64	zand	zwak siltig, sterk humeus, zwart, N1, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, hoekig, niet bont, Organisch materiaal: spoor plantenresten, basis diffuus, Opm.: plantenresten mogelijk verspoeld	180	1	1	98	0	14	1
24.64	25.00	zand	zwak siltig, matig humeus, donker-bruin, 10YR 3/1, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, hoekig, niet bont, Organisch materiaal: weinig grove houtresten, weinig houtresten, weinig wortels, spoor grove korrels, spoor detritus, doorworteling	180	0	0	10 0	0	6	1
25.00	25.08	geen monster								
25.08	25.22	geen monster	naval							
25.22	25.34	zand	zwak siltig, zwak humeus, donker-grijs-bruin, 10YR 4/2, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, hoekig, niet bont, doorworteling, basis diffuus	200	0	1	99	0	2	1
25.34	25.71	zand	zwak siltig, zwak humeus, bruin, 10YR 4/2, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, hoekig, spoor zandverkitting, spoor organisch materiaal, bioturbatie, basis diffuus, Opm.: basis verstoord, ZVA1 is BIO?	180	0	1	99	0	2	1
25.71	25.76	zand	zwak siltig, zwak humeus, grijs-bruin, 10YR 6/1, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, hoekig, spoor zwarte korrels, niet bont, spoor organisch materiaal, basis diffuus, Opm.: verstoord	170	0	1	99	0	1	1
25.76	26.00	zand	zwak siltig, zwak humeus, bruin, 10YR 3/2, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, hoekig, niet bont, spoor glimmer, spoor detritus, spoor organisch materiaal, Opm.: top verstoord	200	0	1	99	0	2	1
26.00	26.08	geen monster								
26.08	26.35	geen monster	naval							
26.35	26.55	zand	zwak siltig, zwak humeus, bruin, 10YR 3/3, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, hoekig, spoor zwarte korrels, niet bont, spoor glimmer, spoor organisch materiaal, basis diffuus	200	0	1	99	0	2	1
26.55	26.76	zand	zwak siltig, zwak humeus, donker-bruin, 10YR 3/2, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, spoor zwarte korrels, niet bont, spoor grove korrels, spoor organisch materiaal, basis diffuus	200	0	1	99	0	2	1
26.76	27.00	zand	zwak siltig, zwak humeus, bruin, 10YR 3/3, Zand: matig grof, matig kleine spreiding, spoor zwarte korrels, niet bont, spoor glimmer, spoor grove korrels, spoor granuul, spoor organisch materiaal, Opm.: top verstoord	220	0	1	99	0	1	1
27.00	27.15	geen monster								
27.15	27.43	geen monster	naval							
27.43	27.68	zand	zwak siltig, zwak humeus, donker-bruin, 10YR 2/2, Zand: matig grof, spoor grove korrels, spoor granuul, spoor organisch materiaal, Opm.: top verstoord	220	0	1	99			
27.68	28.00	zand	zwak siltig, zwak humeus, bruin, 10YR 3/4, Zand: matig grof, matig kleine spreiding, hoekig, niet bont, spoor grove korrels, spoor detritus, spoor insluitsels zand, Opm.: insluitel zand organisch rijk; graafgang?	220	0	1	99	0	1	1
28.00	28.17	geen monster								
28.17	28.29	geen monster	naval							
28.29	28.57	zand	zwak siltig, zwak humeus, bruin, 10YR 3/3, Zand: matig grof, matig kleine spreiding, hoekig, spoor zwarte korrels, niet bont, spoor grove korrels, spoor organisch materiaal, weinig gelaagd, basis scherp, Opm.: verstoord; met naval	240	0	1	99	0	2	1



Boven	Onder	Grondsoort	Omschrijving	M63	LU	SI	ZA	GR	OR	CA
28.57	28.83	zand	zwak siltig, zwak humeus, bruin, 10YR 3/3, Zand: matig grof, matig kleine spreiding, hoekig, niet bont, spoor grove korrels, spoor organisch materiaal, zwak gelaagd, onduidelijke scheve gelaagdheid, basis diffuus, Opm.: vage discontinue gelaagdheid	240	0	1	99	0	2	1
28.83	29.00	zand	zwak siltig, zwak humeus, grijs-bruin, 10YR 4/2, Zand: matig grof, matig afgerond, spoor grove korrels, spoor organisch materiaal, Opm.: zand matig afgerond tot hoekig	280	0	1	99	0	1	1
29.00	29.14	geen monster								
29.14	29.16	geen monster	naval							
29.16	29.43	zand	zwak siltig, zwak humeus, bruin, 10YR 4/1, Zand: matig grof, matig kleine spreiding, hoekig, niet bont, spoor grove korrels, spoor organisch materiaal, basis diffuus, Opm.: vage gelaagdheid?, naval?	260	0	1	99	0	1	1
29.43	29.46	detritus	sterk zandig, bruin, Zand: matig grof, hoekig, niet bont, Organisch materiaal: spoor fijne houtresten, basis diffuus	260	0	1	79	0	20	1
29.46	29.58	zand	zwak siltig, zwak humeus, grijs-bruin, 10YR 4/1, Zand: matig grof, matig kleine spreiding, hoekig, spoor zwarte korrels, niet bont, Organisch materiaal: spoor fijne houtresten, spoor organisch materiaal, basis diffuus	260	0	1	99	0	1	1
29.58	29.68	zand	zwak siltig, zwak humeus, bruin, 10YR 4/2, Zand: matig grof, matig kleine spreiding, hoekig, spoor zwarte korrels, niet bont, spoor grove korrels, spoor bruinkoolbrokjes, spoor organisch materiaal, basis scherp, Opm.: vage gelaagdheid?, afronding hoekig tot matig	260	0	1	99	0	1	1
29.68	30.00	zand	zwak siltig, licht-grijs-bruin, 10YR 7/1, Zand: matig grof, matig kleine spreiding, hoekig, spoor zwarte korrels, niet bont, spoor ijzerconcreties, spoor bruinkoolbrokjes, spoor organisch materiaal, Opm.: top verstoord, afronding hoekig tot matig	240	0	0	10 0	0	0	1
30.00	30.15	geen monster								
30.15	30.30	zand	zwak siltig, zwak humeus, licht-bruin, 10YR 6/1, Zand: matig grof, matig kleine spreiding, hoekig, niet bont, spoor detritus, basis diffuus, Opm.: waarschijnlijk naval	240	0	1	99	0	1	1
30.30	30.47	zand	zwak siltig, zwak humeus, licht-bruin, 10YR 6/1, Zand: matig grof, matig kleine spreiding, hoekig, spoor zwarte korrels, niet bont, Organisch materiaal: spoor plantenresten, spoor grove korrels, spoor detritus, basis diffuus, aan de top humeus, Opm.: afronding hoekig tot matig, naval?	220	0	1	99	0	1	1
30.47	30.54	zand	zwak siltig, zwak humeus, bruin, 10YR 7/1, Zand: matig grof, matig kleine spreiding, hoekig, niet bont, spoor grove korrels, spoor detritus, basis diffuus, Opm.: verstoord, afronding hoekig to matig	260	0	1	99	0	1	1
30.54	30.64	zand	zwak siltig, zwak humeus, bruin, 10YR 6/1, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, hoekig, niet bont, spoor detritus, sterk gelaagd, mm-gelaagdheid, scheve gelaagdheid, spoor detrituslagen, basis diffuus, Opm.: organisch stof rijkere laagjes	200	0	1	99	0	1	1
30.64	30.76	zand	zwak siltig, zwak humeus, licht-bruin, 10YR 6/1, Zand: matig grof, matig kleine spreiding, spoor zwarte korrels, niet bont, spoor grove korrels, spoor detritus, spoor organisch materiaal, weinig gelaagd, mm-gelaagdheid, scheve gelaagdheid, basis diffuus	240	0	1	99	0	1	1
30.76	31.00	zand	zwak siltig, zwak humeus, licht-bruin, Zand: zeer grof, matig kleine spreiding, hoekig, spoor zwarte korrels, niet bont, spoor grove korrels, spoor detritus, spoor organisch materiaal, zwak gelaagd, mm-gelaagdheid, Opm.: basis verstoord	320	0	1	99	0	1	1
31.00	31.05	geen monster								
31.05	31.08	geen monster	naval							
31.08	31.57	zand	zwak siltig, zwak humeus, grijs-bruin, 10YR 6/1, Zand: zeer grof, matig kleine spreiding, hoekig, niet bont, spoor grove korrels, weinig detritus, basis scherp, Opm.: naval?, bruin glas achtige korrels	330	0	1	99	0	1	1
31.57	31.58	zand	zwak siltig, zwak humeus, grijs-bruin, 10YR 5/1, Zand: matig grof, matig kleine spreiding, matig afgerond, niet bont, veel organisch materiaal, basis scherp	210	0	1	99	0	2	1
31.58	32.00	bruinkool	mineraalarm, zwart, N2, Organisch materiaal: weinig houtresten, Opm.: zeer sterk gecompriemd toedeel		1	0	0	0	99	1
32.00	32.03	geen monster								
32.03	32.44	klei	matig siltig, matig humeus, zwart-grijs, GLEY1 2.5/N, Organisch materiaal: weinig houtresten, spoor wortelresten, stevig, spoor detritus, veel organisch materiaal, weinig zandlenzen, spoor zandlagen, basis scherp	40	59	1		0	6	1
32.44	32.61	klei	matig siltig, matig humeus, zwart-grijs, GLEY1 2.5/N, veel detritus, veel organisch materiaal, cm-gelaagdheid, weinig gelaagd, mm-gelaagdheid, spoor zandlenzen, spoor bruinkoollagen, spoor detrituslagen, veel zandlagen, basis diffuus	40	58	2		0	10	1
			Sublaag: met veel zandlagen, dun, Subl.perc.: 20							
32.61	32.71	zand	kleig , matig humeus, licht-grijs-bruin, 10YR 7/1, Zand: zeer grof, matig grote spreiding, hoekig, niet bont, Organisch materiaal: spoor plantenresten, spoor houtresten, spoor wortelresten, weinig grove korrels, spoor bruinkoolbrokjes, spoor fijne detritus, mm-gelaagdheid, spoor kleilagen, spoor zandlenzen, parallelle gelaagdheid, weinig kleilagen, veel zandlagen, basis diffuus, Opm.: afronding hoekig tot matig, stukken met meer organisch stof	330	6	1	93	0	3	1



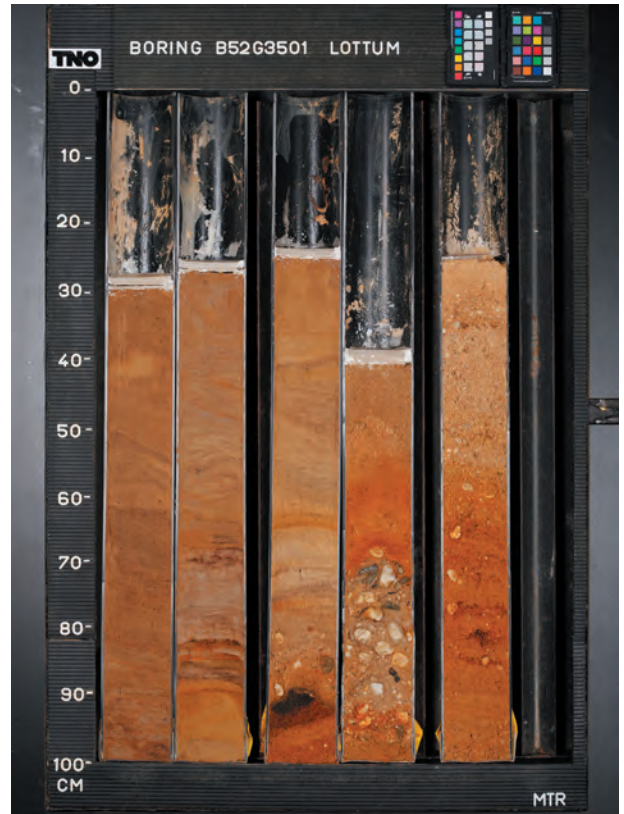
Boven	Onder	Grondsoort	Omschrijving	M63	LU	SI	ZA	GR	OR	CA
32.71	32.83	klei	sterk siltig, matig humeus, grijs, GLEY1 2.5/N, Organisch materiaal: veel plantenresten, weinig houtresten, spoor rietresten, veel detritus, veel insluitsels zand, basis scherp, Opm.: zaadjes, verstoord; zand proppen aan de zijkant	33	60	7	0	8	1	
32.83	33.00	zand	zwak siltig, licht-grijs, 5Y 6/1, Zand: matig grof, matig kleine spreiding, hoekig, spoor zwarte korrels, niet bont, Organisch materiaal: spoor fijne houtresten, spoor ijzeroxide, spoor grove korrels, weinig organisch materiaal, Opm.: afronding hoekig tot matig	230	0	1	99	0	0	1
33.00	33.17	geen monster								
33.17	33.40	zand	zwak siltig, zwak humeus, bruin, 10YR 3/2, Zand: matig grof, matig kleine spreiding, hoekig, spoor zwarte korrels, niet bont, spoor glimmer, weinig ijzeroxide, spoor grove korrels, spoor detritus, aan de basis humeus, Opm.: naval?	210	0	1	99	0	1	1
33.40	33.48	detritus	sterk zandig, donker-bruin, 10YR 2/1, basis diffuus, Opm.: naval?		0	1	79	0	20	1
33.48	33.70	zand	zwak siltig, zwak humeus, donker-bruin, 10YR 2/1, Zand: matig grof, matig kleine spreiding, hoekig, spoor zwarte korrels, niet bont, Organisch materiaal: spoor fijne houtresten, weinig ijzeroxide, spoor grove korrels, spoor detritus, spoor insluitsels klei, zwak gelaagd, mm-gelaagdheid, spoor kleilagen, basis diffuus, Opm.: top verstoord	240	0	1	99	0	1	1
33.70	34.00	zand	zwak siltig, licht-grijs, Zand: matig grof, matig kleine spreiding, hoekig, spoor zwarte korrels, niet bont, spoor glimmer, spoor ijzeroxide, spoor grove korrels, spoor organisch materiaal, spoor detrituslagen	220	0	1	99	0	0	1
34.00	34.06	geen monster								
34.06	34.37	geen monster	naval							
34.37	34.45	zand	zwak siltig, zwak grindig, zwak humeus, bruin-grijs, 10YR 4/2, Zand: matig grof, matig kleine spreiding, hoekig, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: spoor matig grof grind, Organisch materiaal: spoor fijne houtresten, weinig ijzeroxide, spoor insluitsels klei, weinig gelaagd, basis diffuus, Opm.: mogelijk is grind deel van naval	240	0	1	99	1	1	1
34.45	35.00	klei	matig siltig, zwak humeus, grijs, GLEY1 4/1, Organisch materiaal: spoor houtresten, spoor wortels, sterk gelaagd, mm-gelaagdheid, weinig zandlenzen, parallelle gelaagdheid, spoor detrituslagen, veel zandlagen	36	56	8	0	2	1	
35.00	35.30	geen monster								
35.30	35.46	geen monster	naval							
35.46	36.00	zand	uiterst siltig, bruin-grijs, 10YR 5/1, Zand: uiterst fijn, matig kleine spreiding, hoekig, niet bont, Organisch materiaal: spoor fijne houtresten, spoor glimmer, weinig organisch materiaal, weinig insluitsels zand, sterk gelaagd, mm-gelaagdheid, zeer veel zandlenzen, parallelle gelaagdheid, spoor detrituslagen, veel kleilagen, zeer veel zandlagen, Opm.: basis verstoord, lijkt op flaser lens structuren	90	2	38	60	0	0	1
36.00	36.33	geen monster								
36.33	36.57	zand	uiterst siltig, bruin-grijs, 10YR 5/1, Zand: uiterst fijn, matig kleine spreiding, hoekig, niet bont, spoor glimmer, weinig organisch materiaal, weinig insluitsels zand, sterk gelaagd, mm-gelaagdheid, zeer veel zandlenzen, parallelle gelaagdheid, spoor detrituslagen, veel kleilagen, zeer veel zandlagen, basis diffuus, Opm.: lijkt op flaser lens structuren	90	2	38	60	0	0	1
36.57	36.67	zand	zwak siltig, licht-bruin, 10YR 7/1, Zand: zeer fijn, matig kleine spreiding, hoekig, spoor witte korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, spoor organisch materiaal, sterk gelaagd, mm-gelaagdheid, weinig kleilagen, weinig kleilagen, basis diffuus	140	0	3	97	0	0	1
36.67	36.80	zand	uiterst siltig, grijs, Zand: uiterst fijn, matig kleine spreiding, hoekig, niet bont, weinig organisch materiaal, sterk gelaagd, mm-gelaagdheid, spoor kleilagen, zeer veel zandlenzen, parallelle gelaagdheid, spoor detrituslagen, veel kleilagen, zeer veel zandlagen, basis diffuus, Opm.: lijkt op flaser lens structuren	90	2	38	60	0	0	1
36.80	37.00	zand	zwak siltig, zwak grindig, licht-bruin, 10YR 7/1, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, hoekig, spoor witte korrels, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: spoor fijn grind, spoor witte kwarts, spoor glimmer, spoor grove korrels, spoor detritus, cm-gelaagdheid, sterk gelaagd, mm-gelaagdheid, Opm.: basis verstoord; deels slump? Sublaag: met veel kleilagen, dun, Subl.perc.: 30, grijs, weinig organisch materiaal, sterk gelaagd, mm-gelaagdheid, parallelle gelaagdheid, veel kleilagen, zeer veel zandlagen	160	0	3	97	1	0	1
37.00	37.15	geen monster								
37.15	37.22	zand	zwak siltig, licht-bruin, 10YR 7/1, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, hoekig, spoor bont materiaal, spoor zwarte korrels, spoor ijzeroxide, spoor organisch materiaal, zwak gelaagd, basis diffuus	160	0	3	97	0	0	1
37.22	37.56	zand	zwak siltig, zwak grindig, zwak humeus, grijs-bruin, 10YR 4/1, Zand: matig fijn, matig grote spreiding, hoekig, spoor zwarte korrels, niet bont, Grind: spoor fijn grind, spoor witte kwarts, Organisch materiaal: spoor fijne houtresten, spoor glimmer, spoor ijzeroxide, weinig detritus, cm-gelaagdheid, sterk gelaagd, mm-gelaagdheid, parallelle gelaagdheid, spoor detrituslagen, veel kleilagen, zeer veel zandlagen, basis diffuus, Opm.: deel lijkt op flaser lens structuren, deel lagen geslump	170	0	3	97	1	1	1

Boven	Onder	Grondsoort	Omschrijving	M63	LU	SI	ZA	GR	OR	CA
37.56	38.00	zand	zwak siltig, licht-bruin, 10YR 7/1, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, hoekig, spoor grijze korrels, spoor bont materiaal, spoor zwarte korrels, Organisch materiaal: spoor houtresten, spoor glimmer, spoor ijzeroxide, spoor grove korrels, weinig detritus, spoor organisch materiaal, cm-gelaagdheid, weinig gelaagd, mm-gelaagdheid, parallelle gelaagdheid, Opm.: onregelmatig gelaagd; geslumpt	170	0	1	99	0	0	1
38.00	38.35	geen monster								
38.35	38.46	geen monster	naval							
38.46	38.67	zand	zwak siltig, grijs, 10YR 5/1, Zand: matig fijn, matig kleine spreiding, hoekig, spoor grijze korrels, spoor bont materiaal, spoor zwarte korrels, Organisch materiaal: spoor fijne houtresten, spoor glimmer, spoor ijzeroxide, spoor detritus, cm-gelaagdheid, weinig gelaagd, mm-gelaagdheid, spoor kleilagen, veel zandlagen, basis scherp	200	0	1	99	0	0	1
38.67	38.72	grind	sterk zandig, grijs, Grind: weinig fijn grind, veel matig grof grind, afgerond, niet bont, spoor kwartsiet, spoor vuursteen, zeer veel witte kwarts, spoor insluitsels klei, basis diffuus, Opm.: 3867-4000cm coarsening up		0	0	40	60	0	1
38.72	38.80	zand	zwak siltig, zwak grindig, bruin-grijs, 7.5YR 6/1, Zand: zeer grof, zeer grote spreiding, hoekig, spoor bont materiaal, spoor witte korrels, spoor zwarte korrels, Grind: spoor fijn grind, spoor glimmer, spoor ijzeroxide huidjes, spoor granuul, spoor organisch materiaal, zwak gelaagd, basis diffuus, Opm.: ietwat rossig	380	0	1	99	1	0	1
38.80	39.00	zand	zwak siltig, grijs, 7.5YR 6/1, Zand: zeer grof, matig kleine spreiding, hoekig, spoor bont materiaal, spoor witte korrels, spoor zwarte korrels, spoor ijzeroxide, spoor insluitsels klei, homogeen, Opm.: ietwat rossig	400	0	1	99	0	0	1
39.00	39.10	geen monster								
39.10	39.31	geen monster	naval							
39.31	40.00	zand	zwak siltig, licht-bruin, 10YR 7/1, Zand: matig grof, matig kleine spreiding, hoekig, spoor grijze korrels, spoor bont materiaal, spoor zwarte korrels, weinig glimmer, spoor ijzeroxide, spoor grove korrels, weinig detritus, weinig gelaagd, mm-gelaagdheid, scheve gelaagdheid, spoor kleilagen, parallelle gelaagdheid, spoor detrituslagen, spoor kleilagen, Opm.: deels discontinue gelaagdheid	220	0	1	99	0	0	1

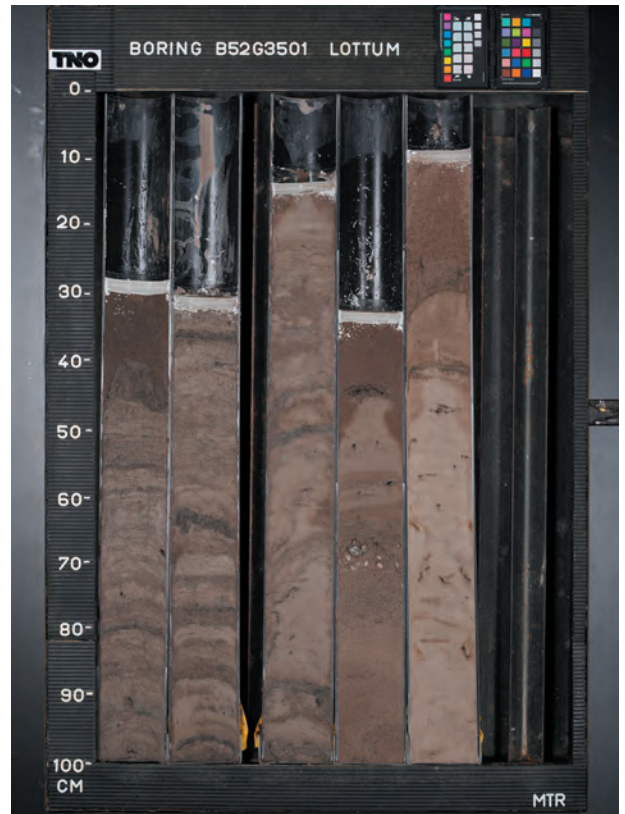
## Stratigrafie 2003

Boven	Onder	S	AS	LF	ST	Omschrijving
0.00	0.72	AAOM				Antropogeen, omgewerkte grond
0.72	2.10	BXDE		FEZRD		Formatie van Boxtel, Laagpakket van Delwijnen, Facies: eolisch (rivierduin)
2.10	2.50	BEWY		FFKMA		Formatie van Beegden, Laag van Wijchen, Facies: kom
2.50	3.34	BE		FFL		Formatie van Beegden, Facies: oever en crevasse
3.34	5.91	BE		FFZ		Formatie van Beegden, Facies: geul
5.91	6.88	BE		FFL		Formatie van Beegden, Facies: oever en crevasse
6.88	8.71	BE		FFZ		Formatie van Beegden, Facies: geul
8.71	9.36	BE		FFG		Formatie van Beegden, Facies: geul
9.36	11.75	BE		FFZ		Formatie van Beegden, Facies: geul
11.75	11.94	BE		FFG		Formatie van Beegden, Facies: geul
11.94	13.79	BE		FFZ		Formatie van Beegden, Facies: geul
13.79	16.48	WA	BE	FFZ		Formatie van Waalre of Formatie van Beegden, Facies: geul
16.48	16.68	WA	BE	FFG		Formatie van Waalre of Formatie van Beegden, Facies: geul
16.68	17.34	WA		FFZ		Formatie van Waalre, Facies: geul
17.34	18.35	WA		FFG		Formatie van Waalre, Facies: geul
18.35	19.92	WA		FFZ		Formatie van Waalre, Facies: geul
19.92	20.77	WA		FFG		Formatie van Waalre, Facies: geul
20.77	22.23	WA		FFZ		Formatie van Waalre, Facies: geul
22.23	23.72	KI		FOB		Kiezelooliet Formatie, Facies: moeras
23.72	31.58	KI		FMZKU		Kiezelooliet Formatie, Facies: strand, vooroever, shelf kustnabij
31.58	32.03	KI		FOB		Kiezelooliet Formatie, Facies: moeras
32.03	32.83	KI		FMKLG		Kiezelooliet Formatie, Facies: lagune (verdrinkingskleien)
32.83	34.45	KI		FMZKU		Kiezelooliet Formatie, Facies: strand, vooroever, shelf kustnabij
34.45	35.46	KI		FMLGP		Kiezelooliet Formatie, Facies: getijdenplaat (wadplaat, slik, laagwad)
35.46	40.00	KI		FMLGG		Kiezelooliet Formatie, Facies: getijdengeul (estuarium, wadgeul)



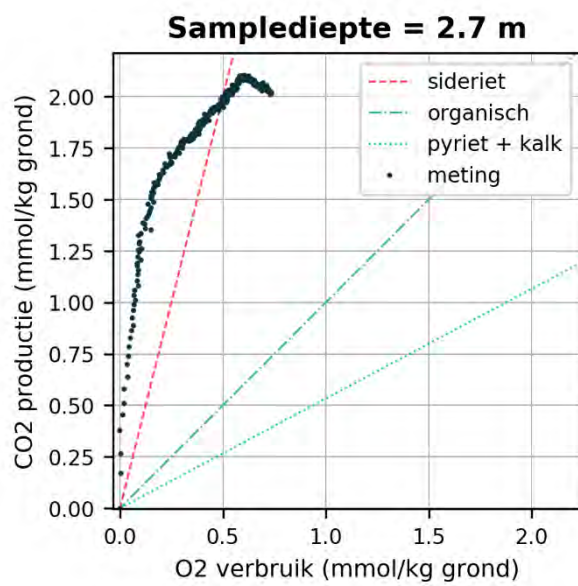
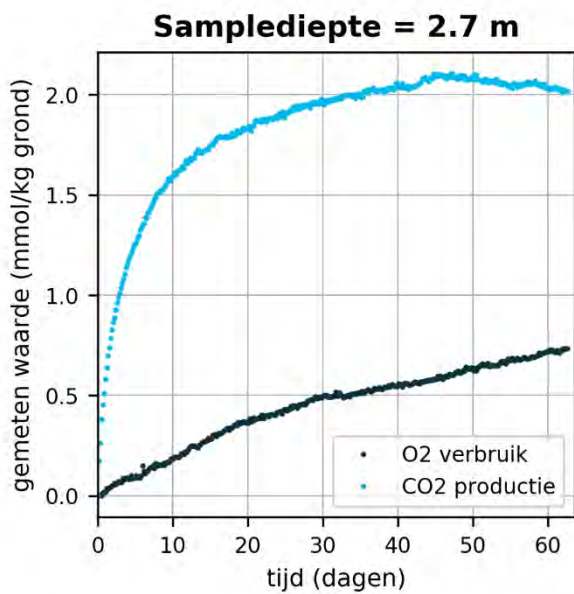
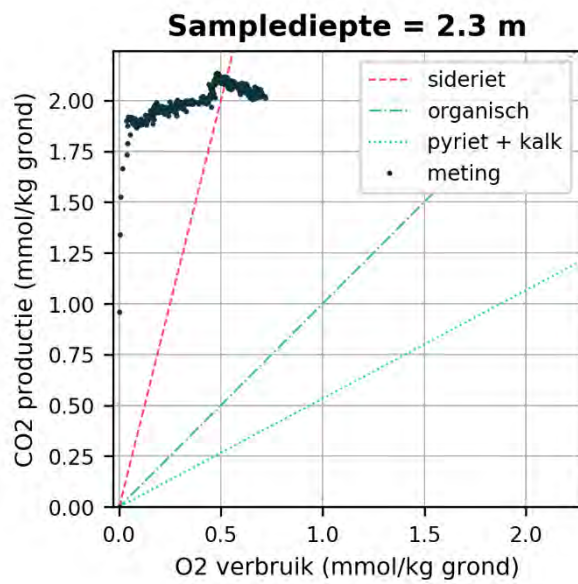
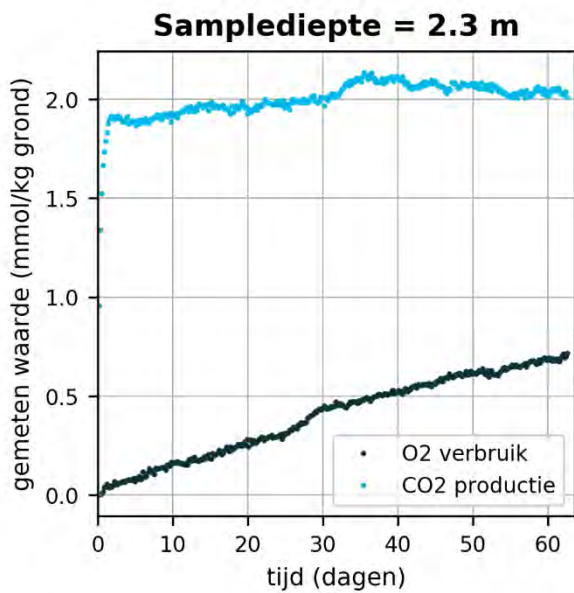
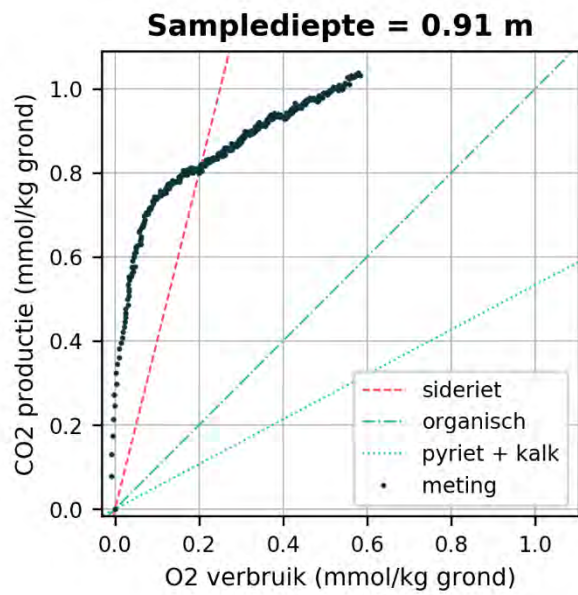
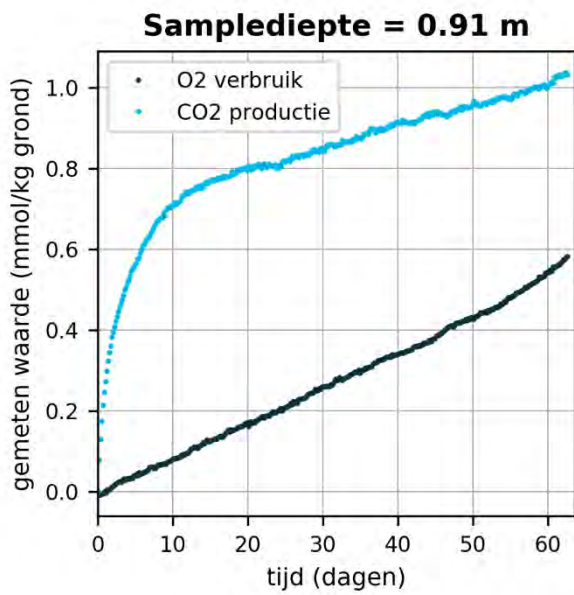




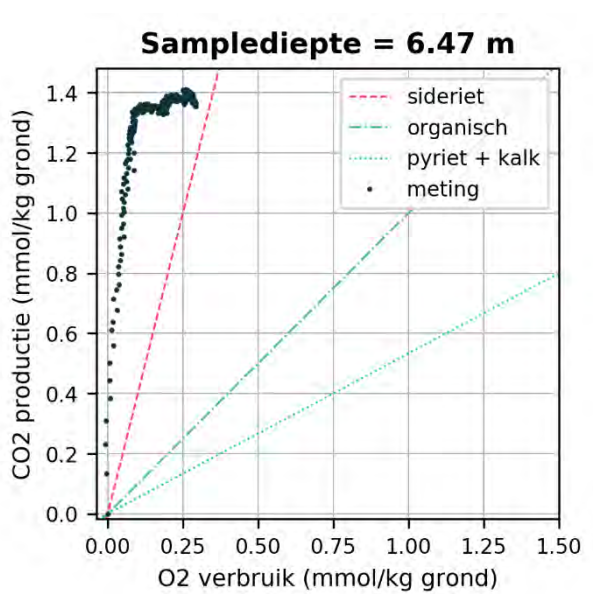
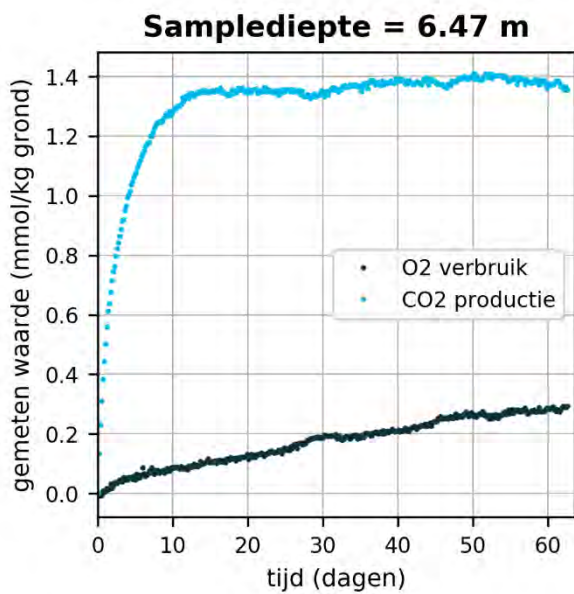
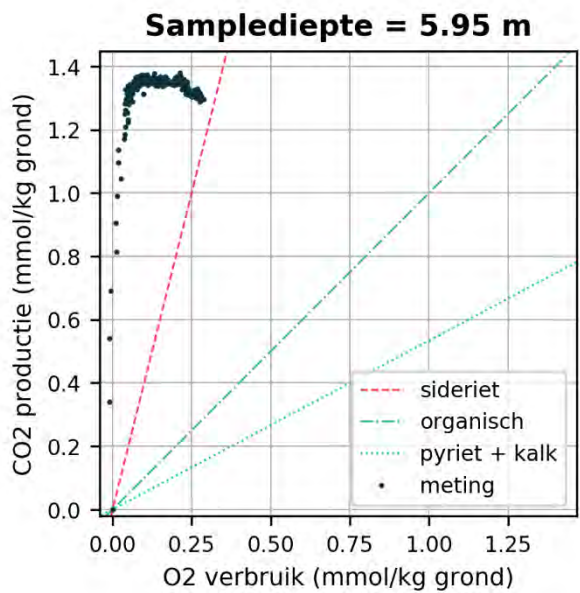
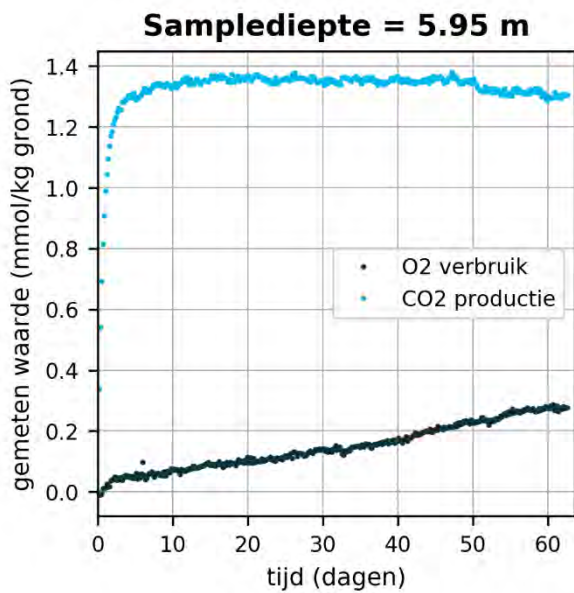
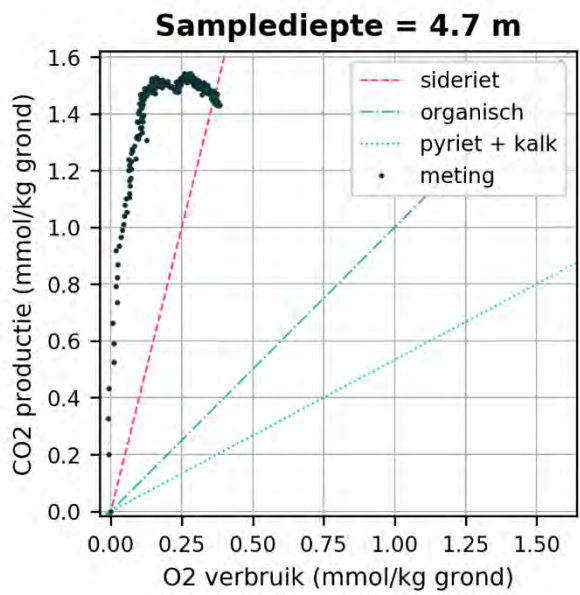
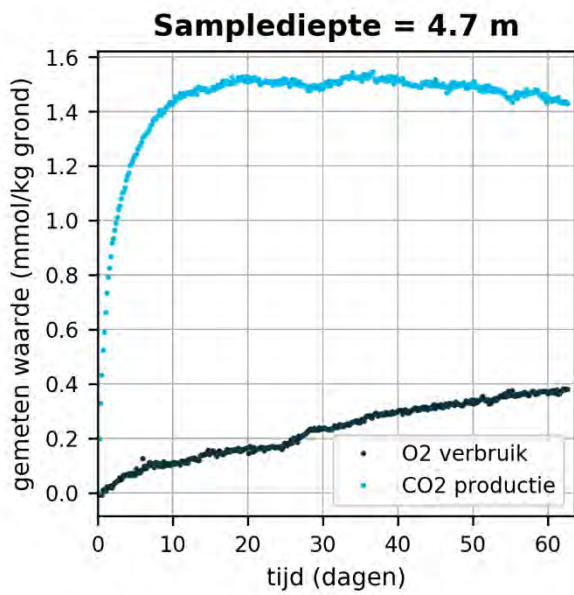


▶▶ **BIJLAGE 3**  
**RESULTATEN MICRO-OXYMAX**

---

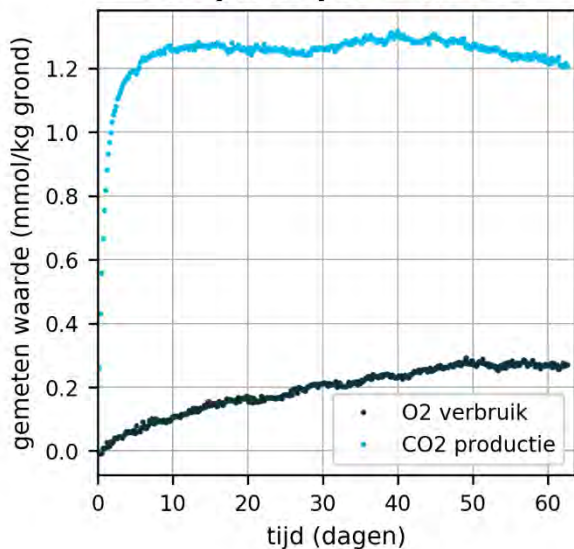




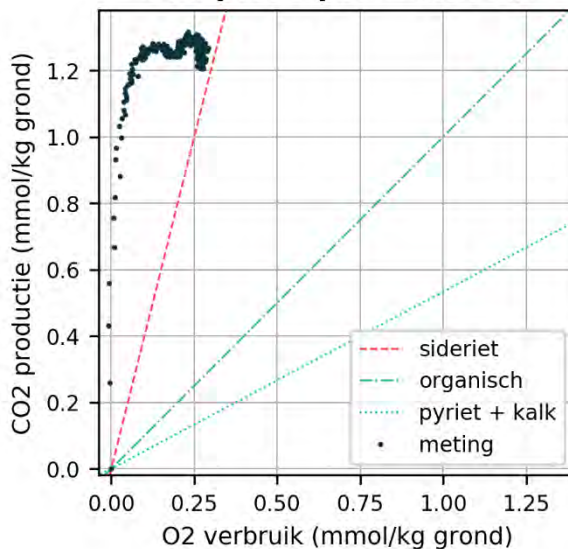




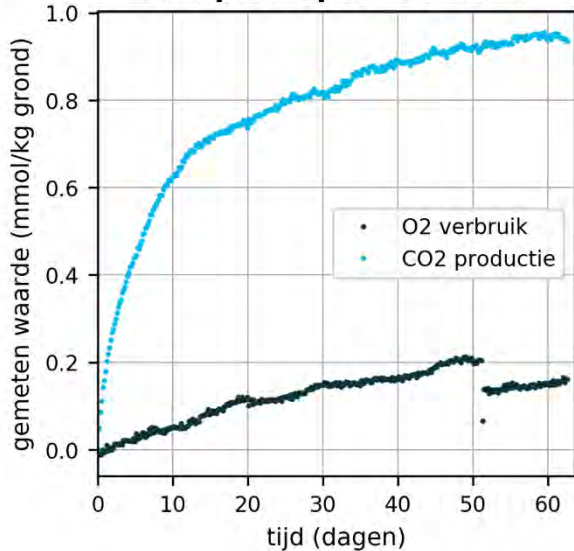
**Sampliediepte = 6.77 m**



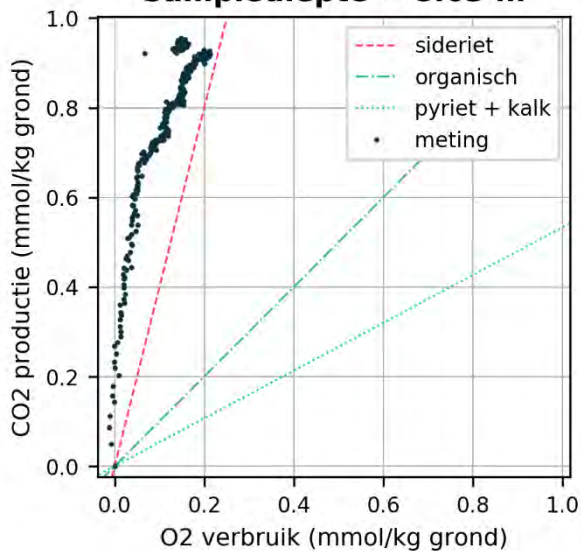
**Sampliediepte = 6.77 m**



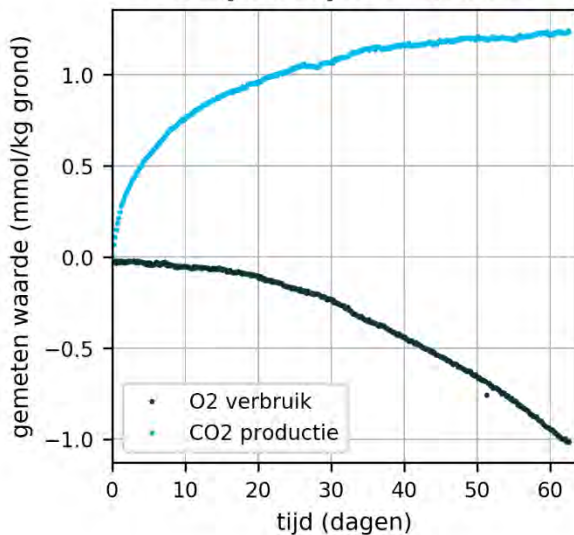
**Sampliediepte = 8.63 m**



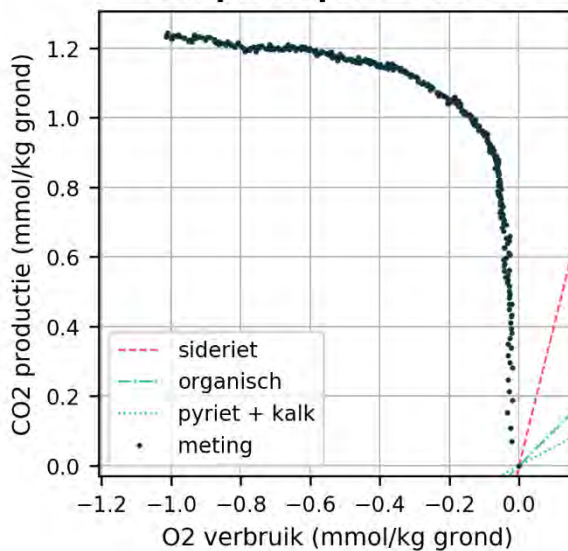
**Sampliediepte = 8.63 m**

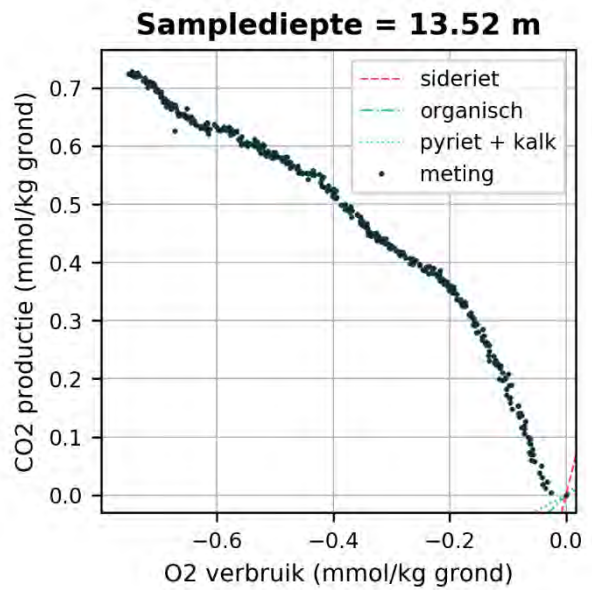
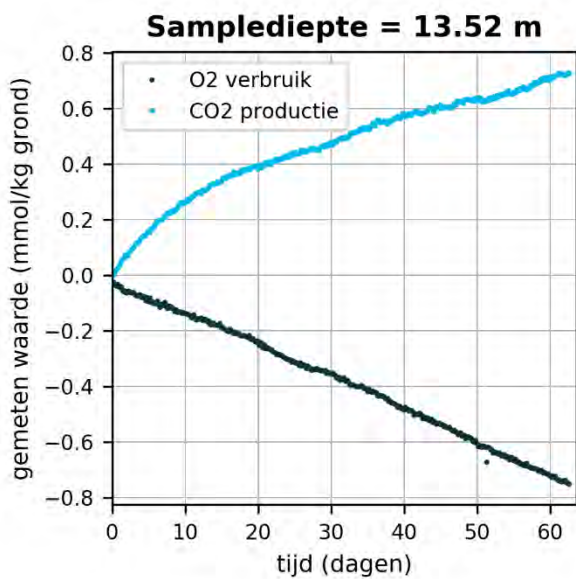
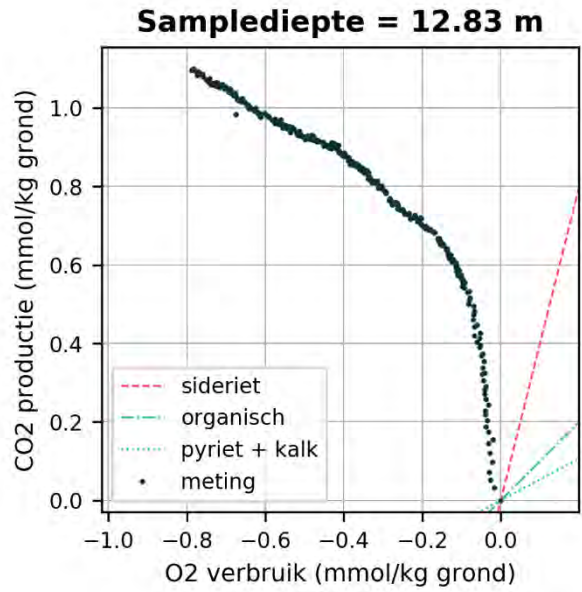
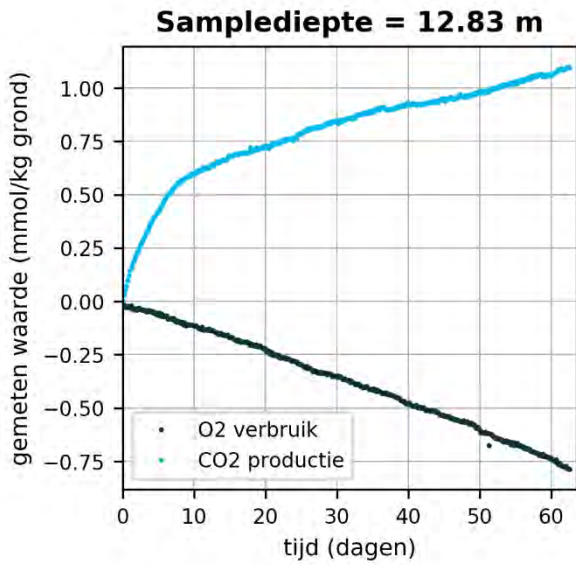
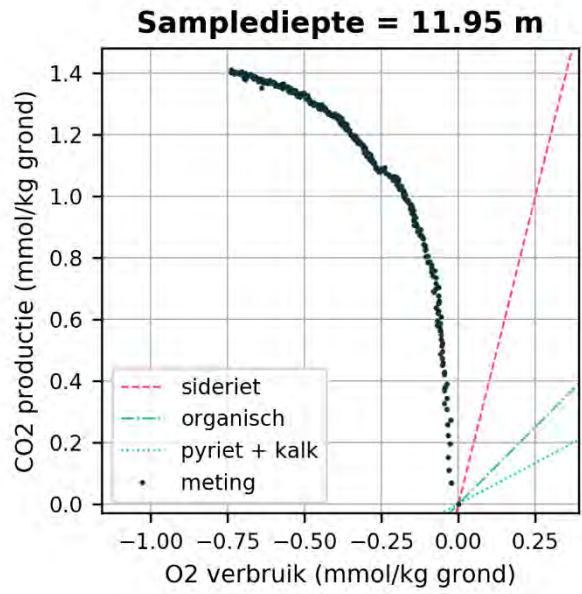
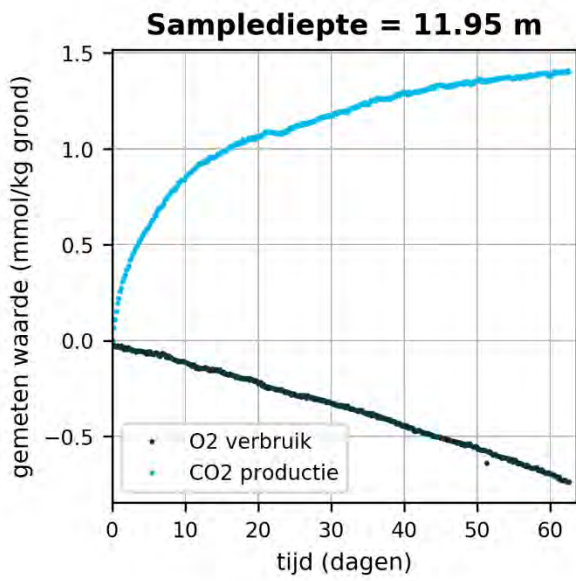


**Sampliediepte = 9.93 m**

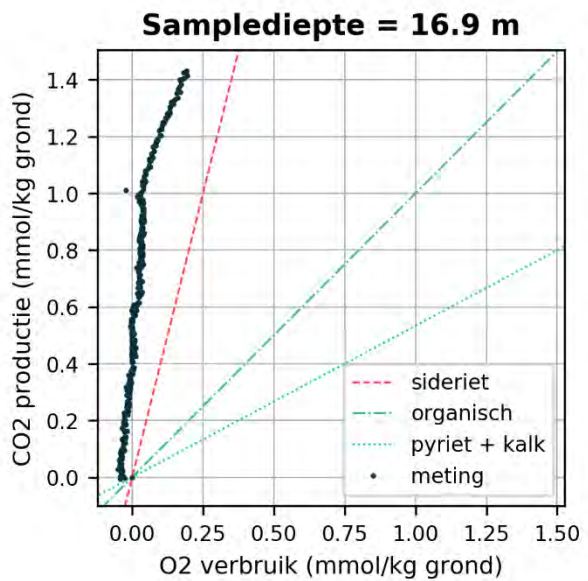
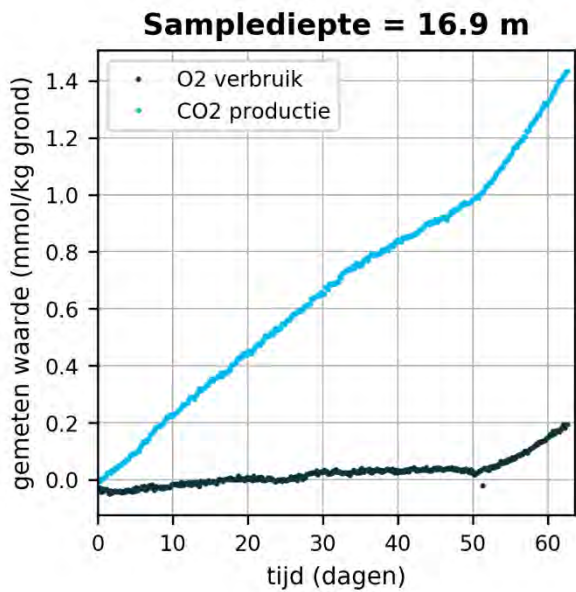
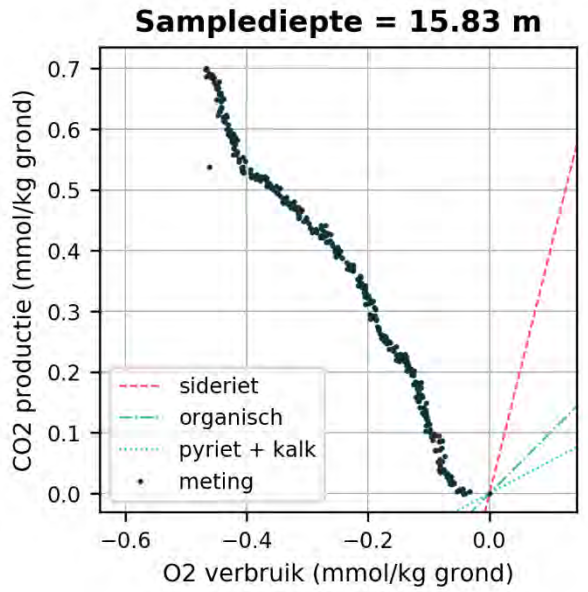
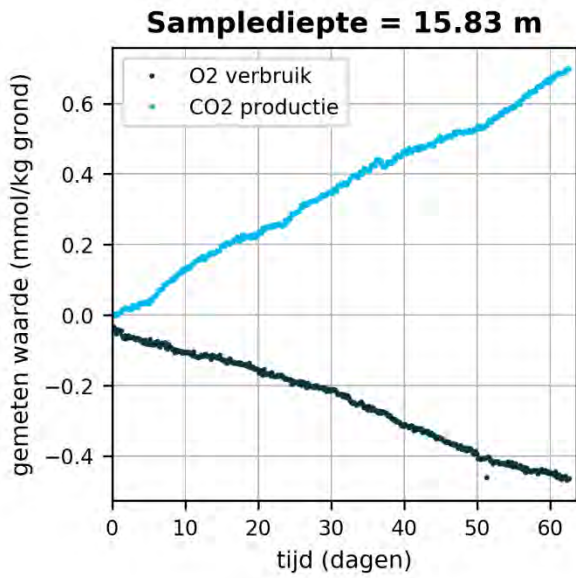
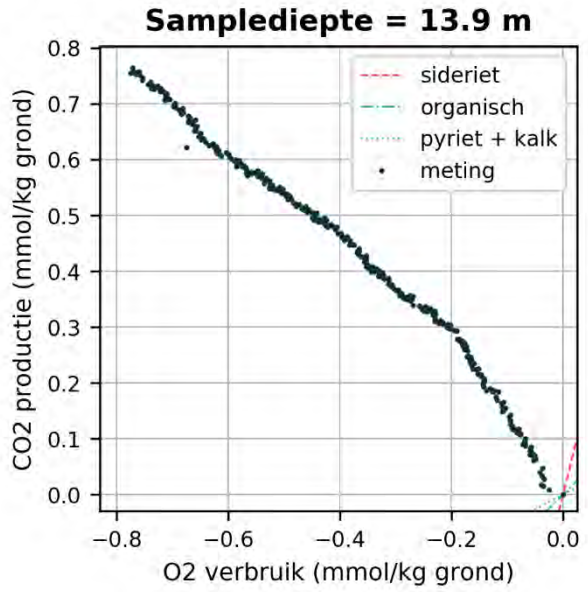
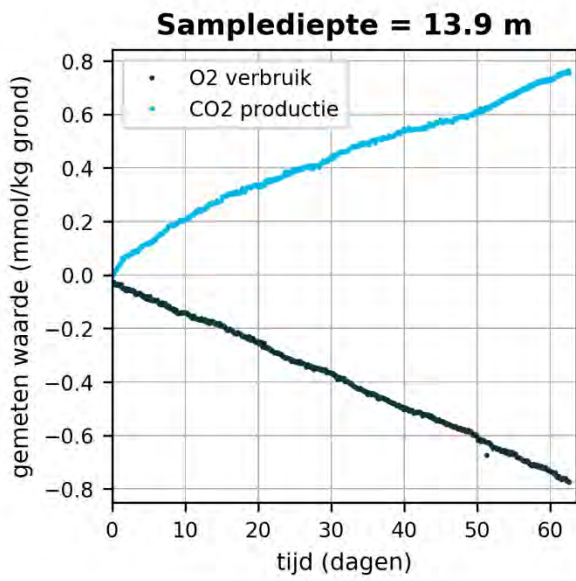


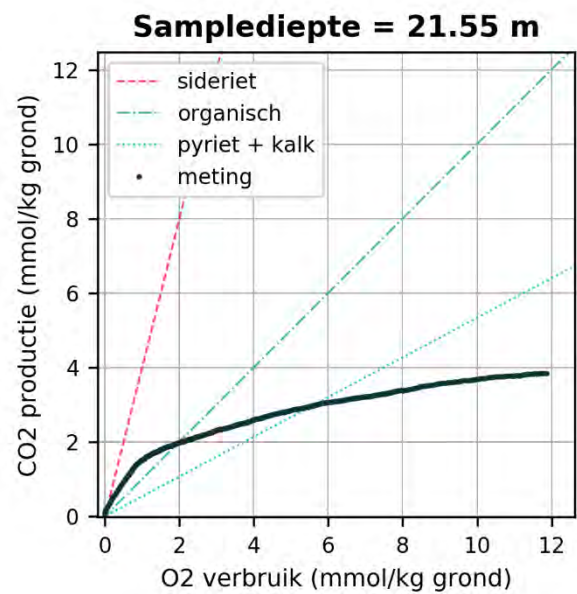
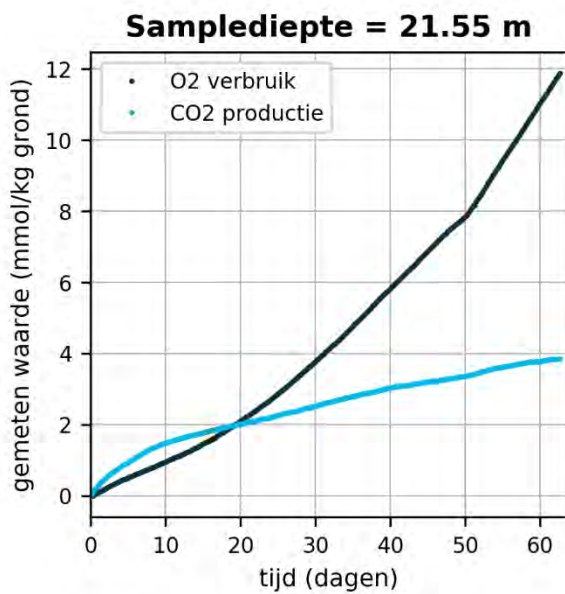
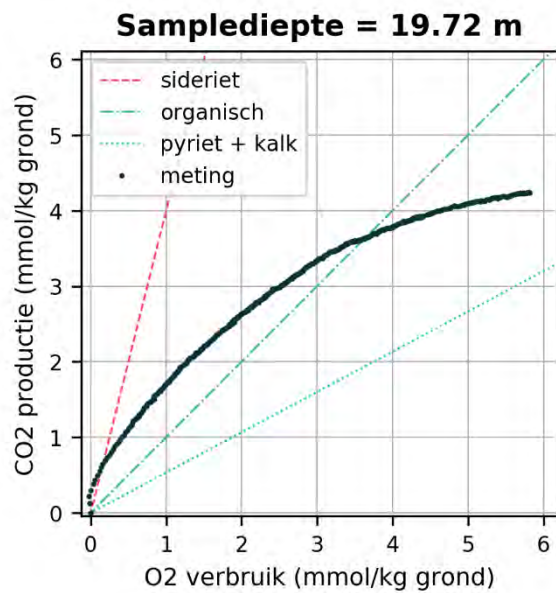
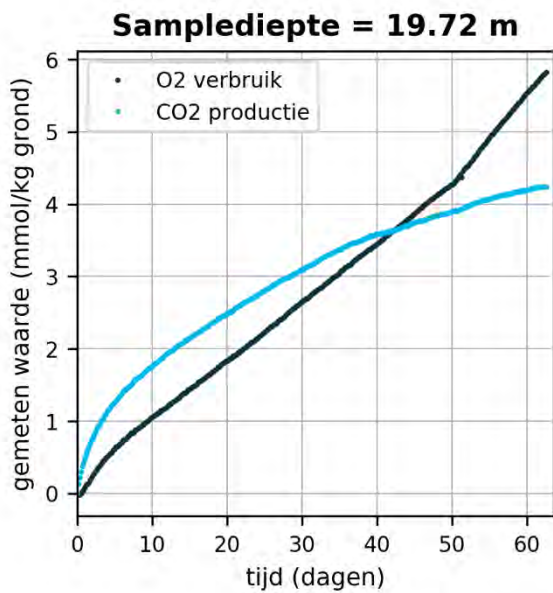
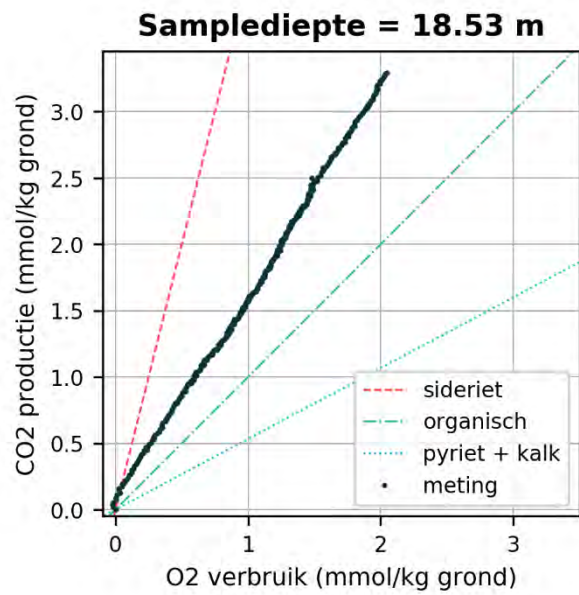
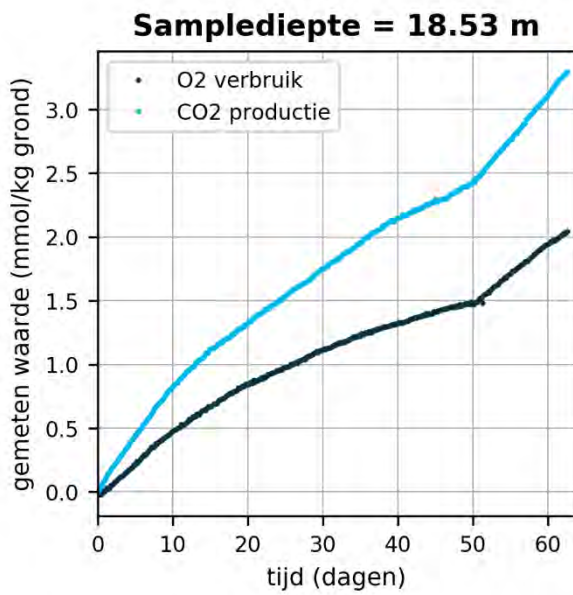
**Sampliediepte = 9.93 m**





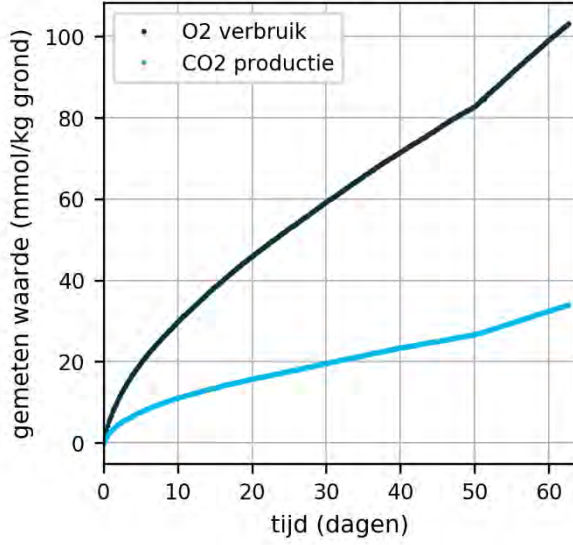




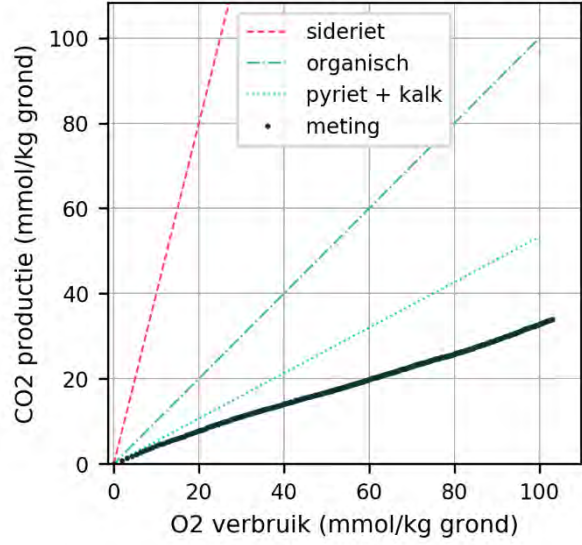




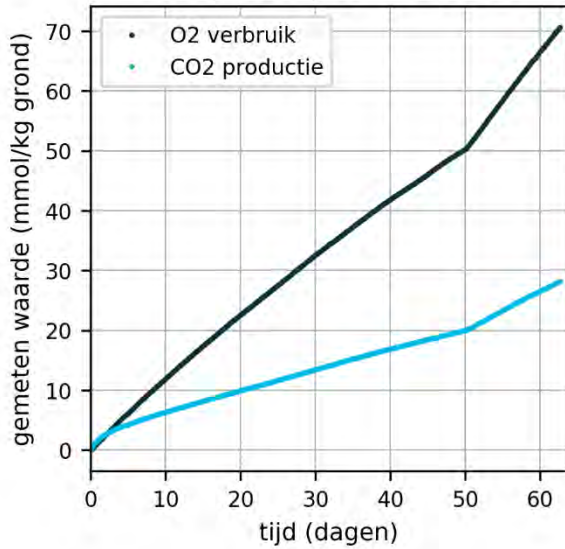
**Sampliediepte = 22.6 m**



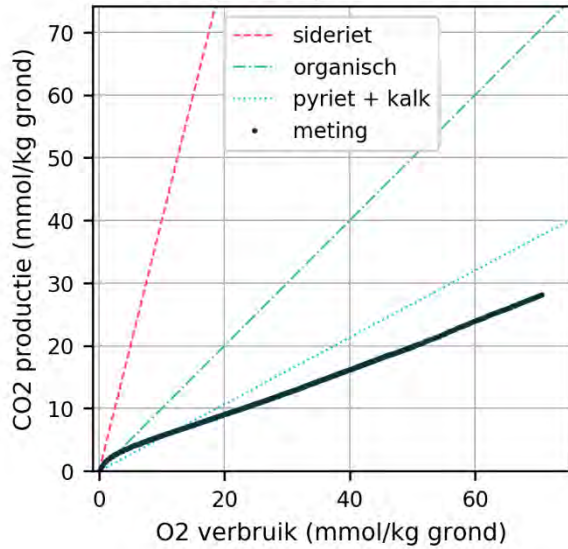
**Sampliediepte = 22.6 m**



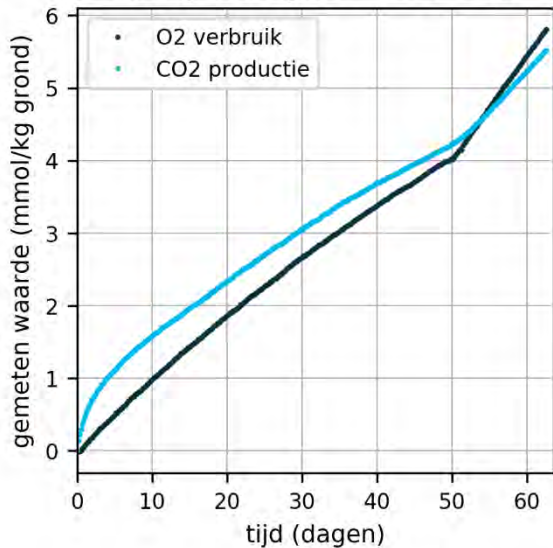
**Sampliediepte = 23.5 m**



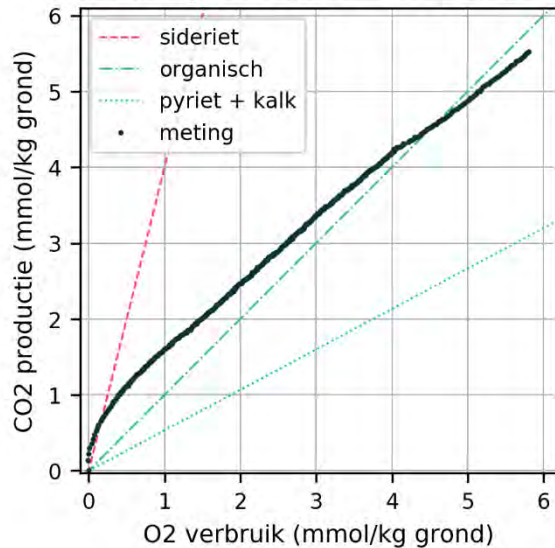
**Sampliediepte = 23.5 m**



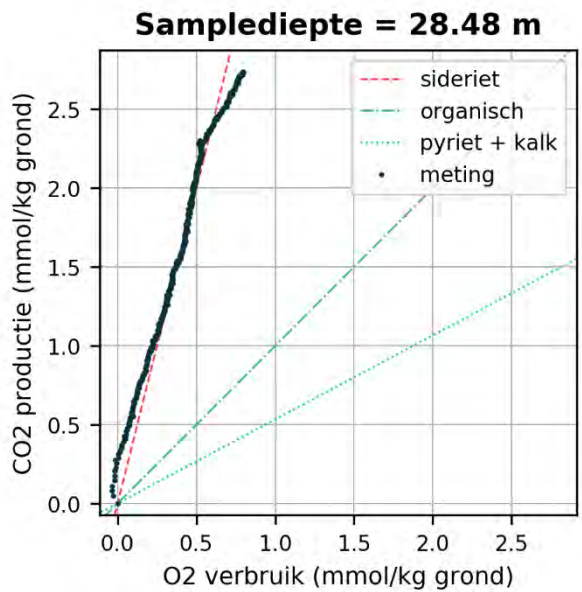
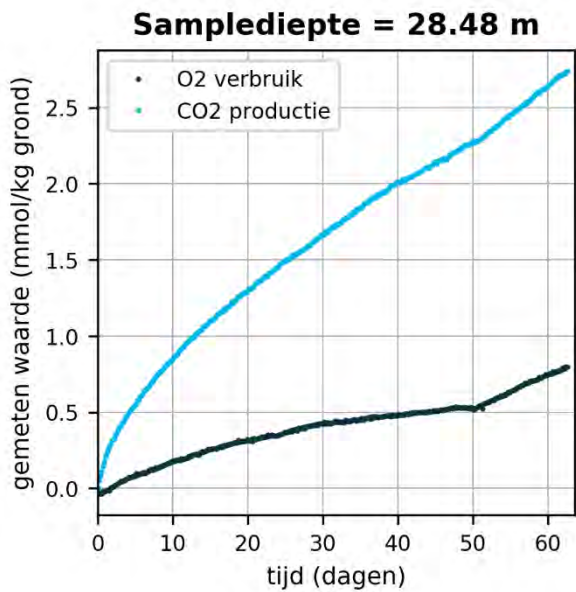
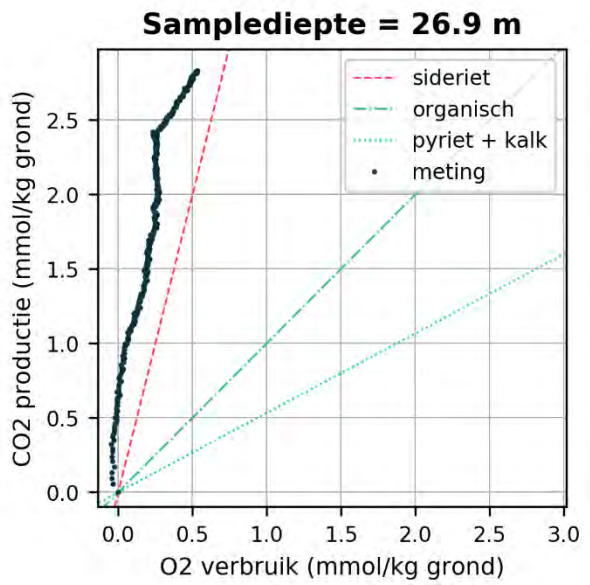
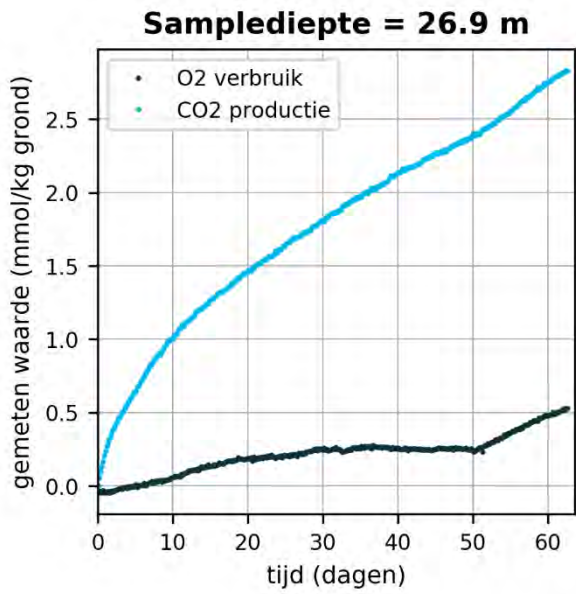
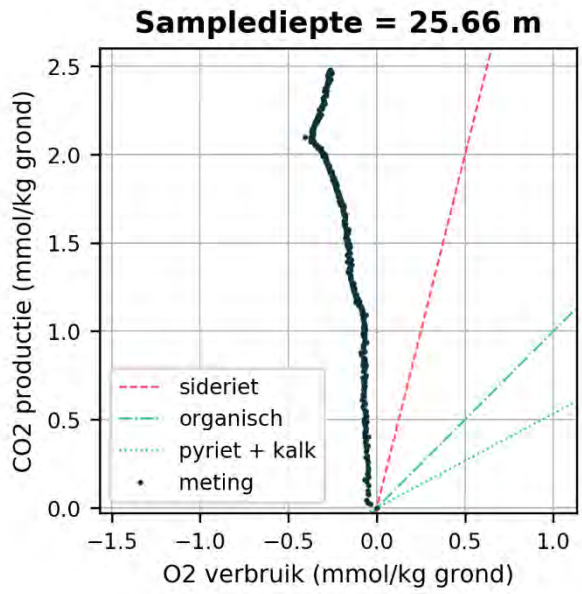
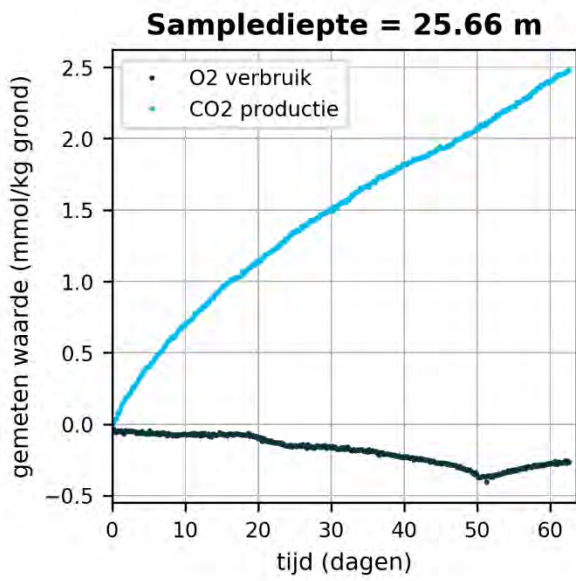
**Sampliediepte = 24.35 m**



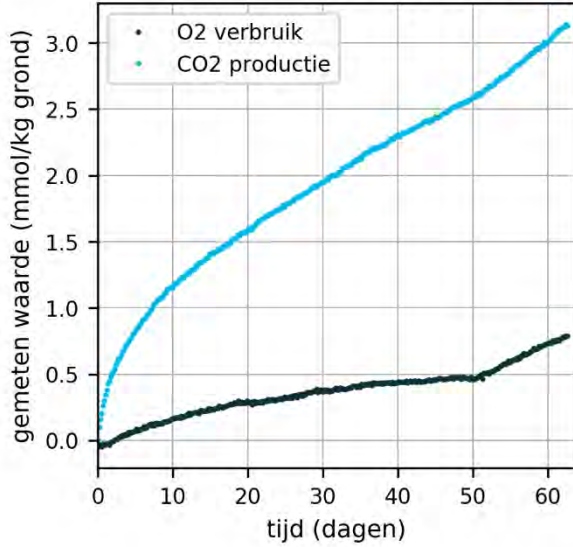
**Sampliediepte = 24.35 m**



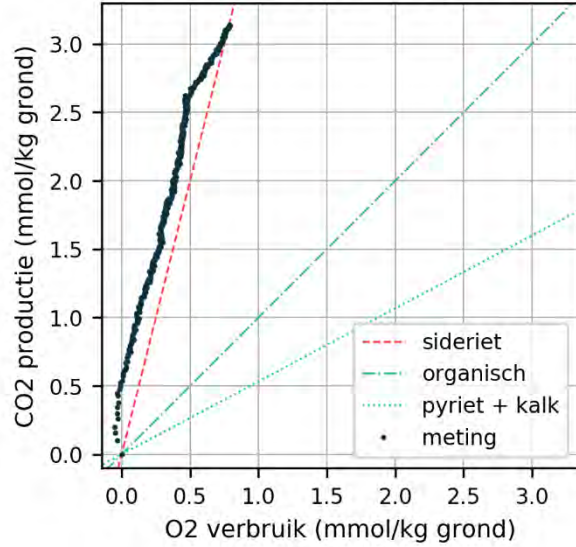




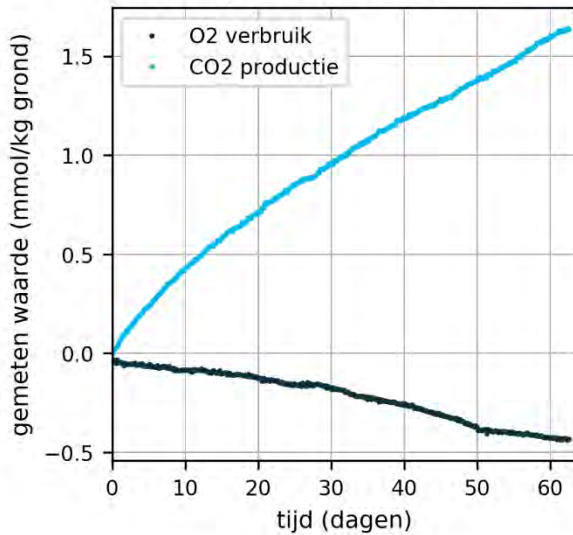
**Sampldiepte = 29.64 m**



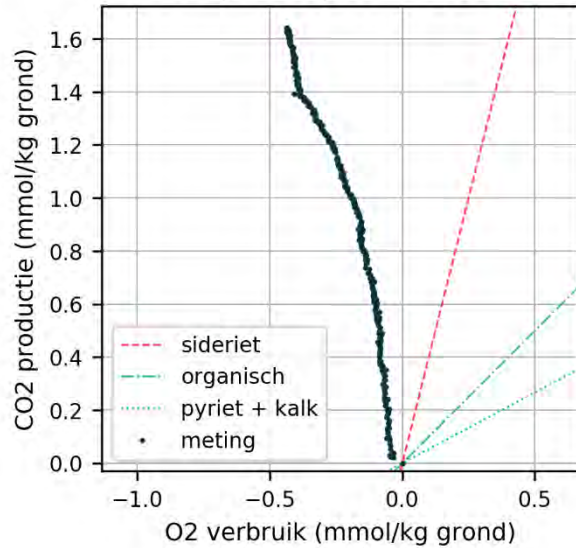
**Sampldiepte = 29.64 m**



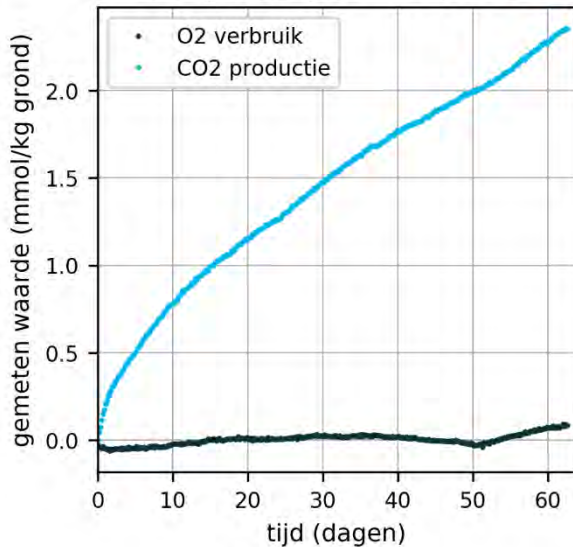
**Sampldiepte = 30.8 m**



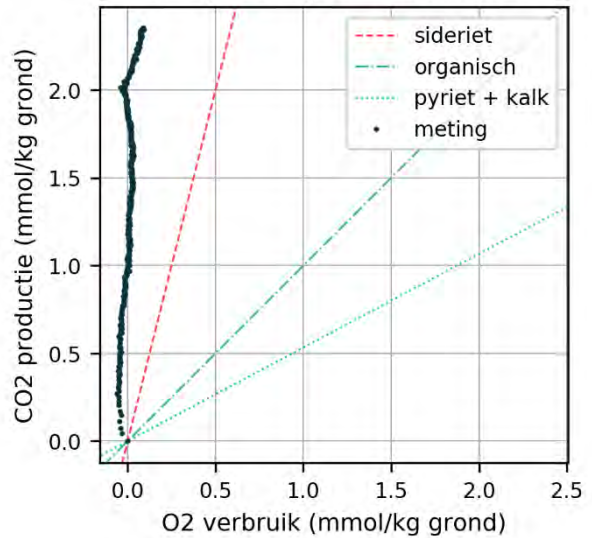
**Sampldiepte = 30.8 m**



**Sampldiepte = 31.53 m**

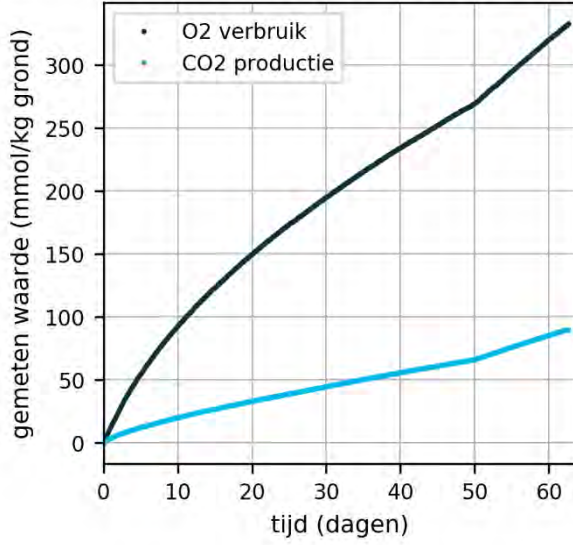


**Sampldiepte = 31.53 m**

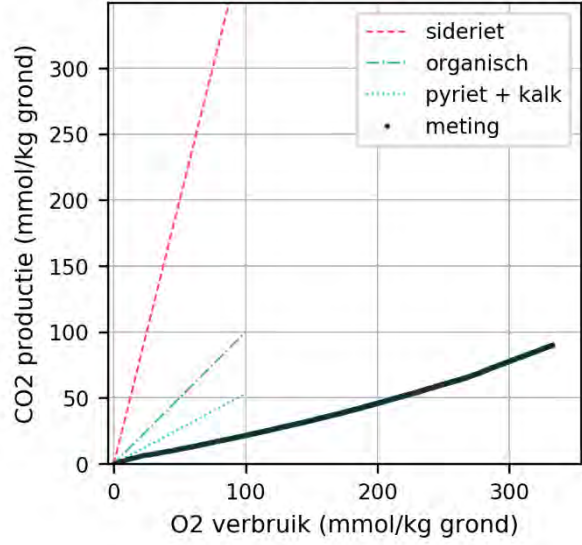




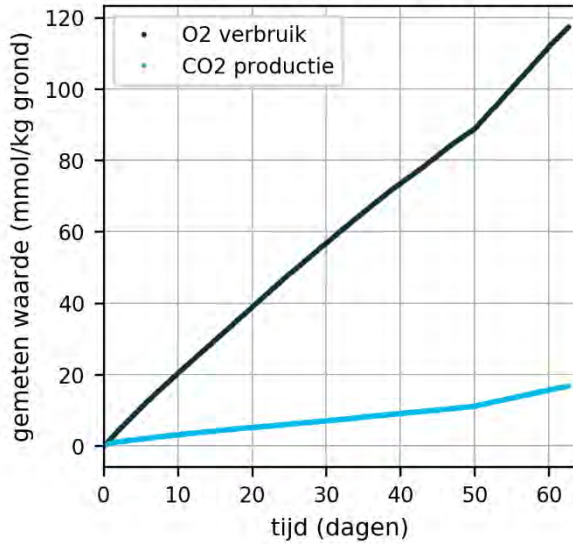
**Samplediepte = 31.78 m**



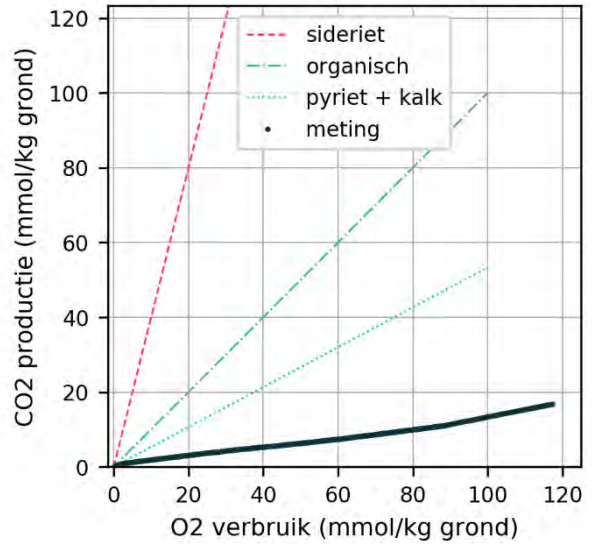
**Samplediepte = 31.78 m**



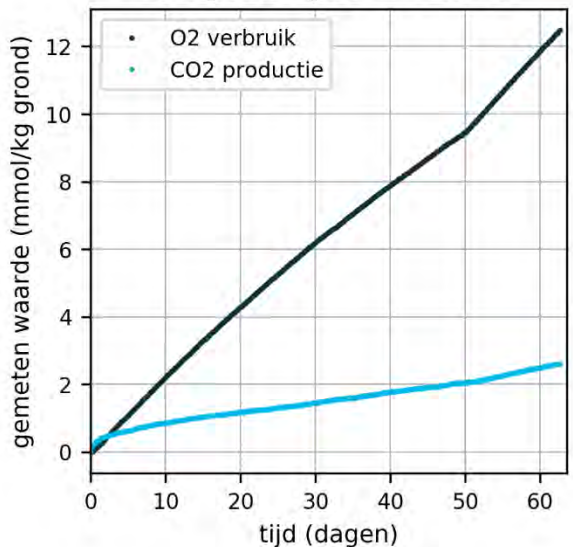
**Samplediepte = 32.32 m**



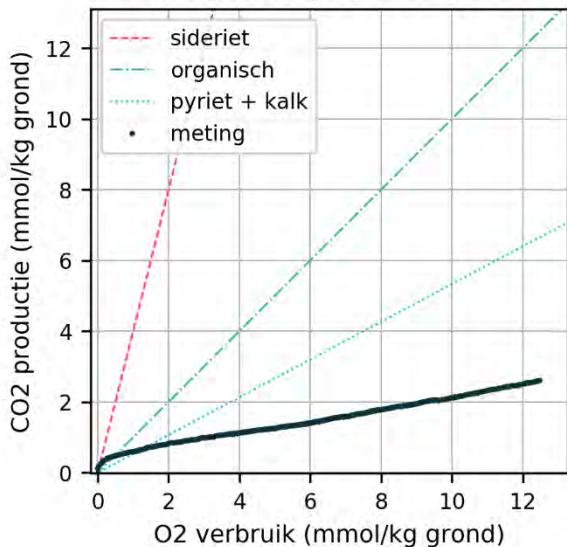
**Samplediepte = 32.32 m**

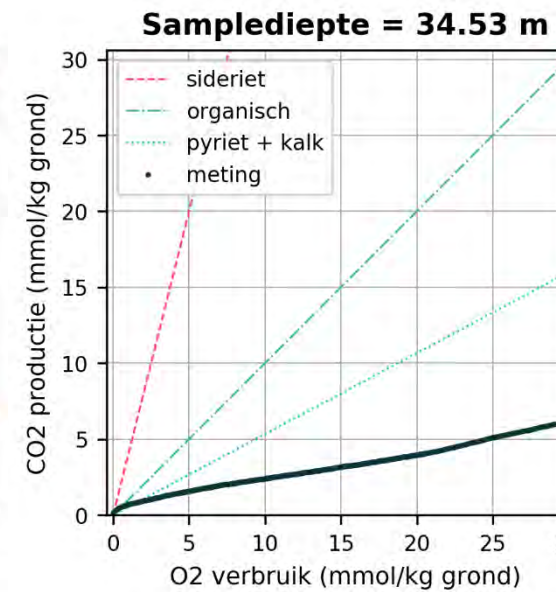
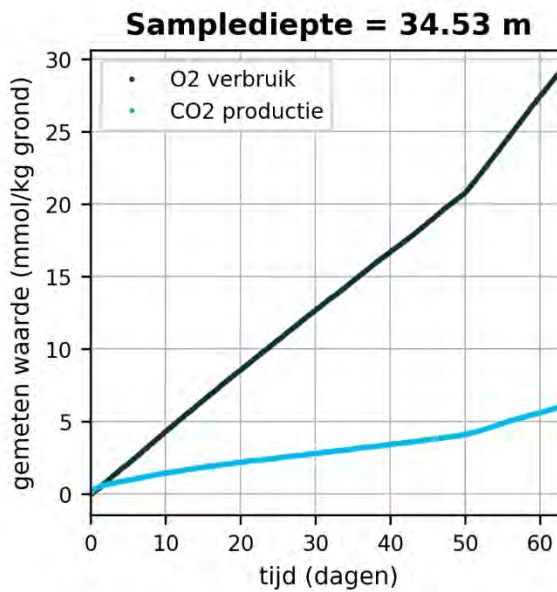
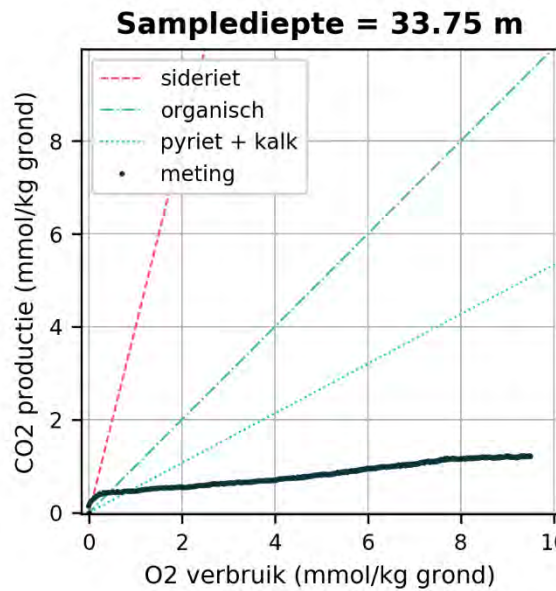
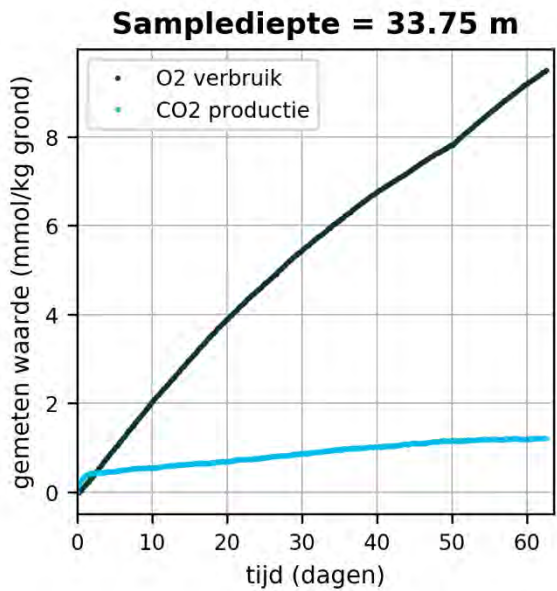
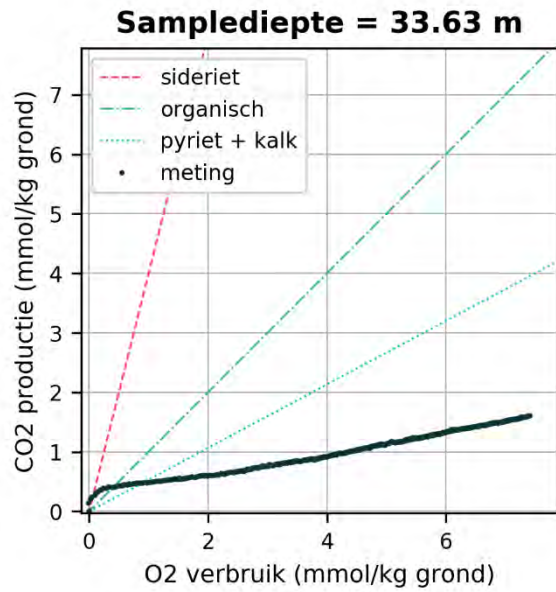
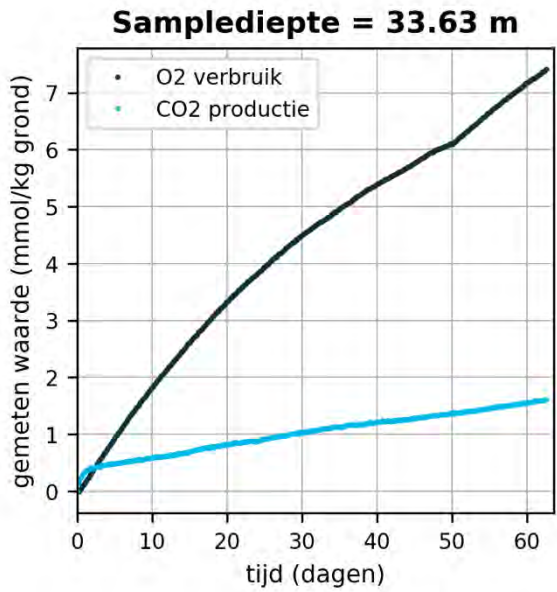


**Samplediepte = 32.7 m**

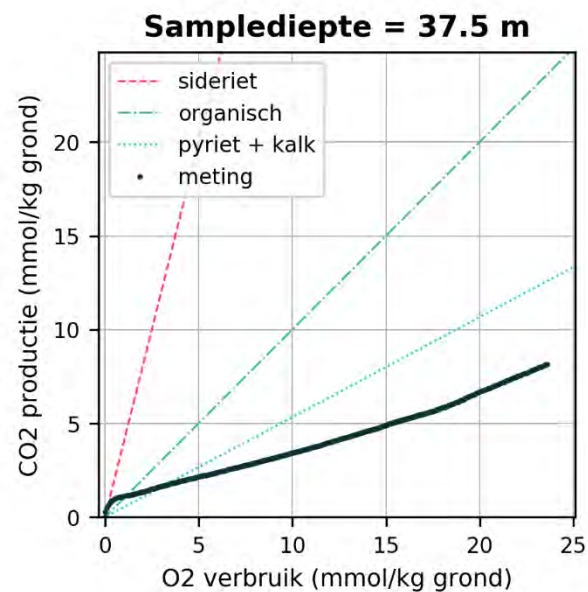
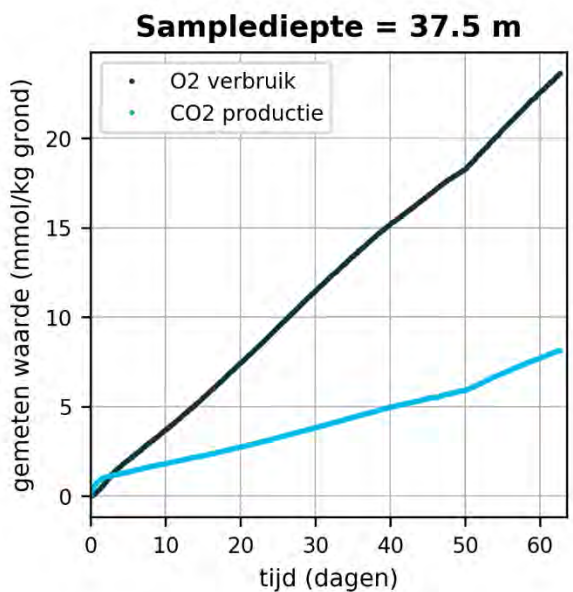
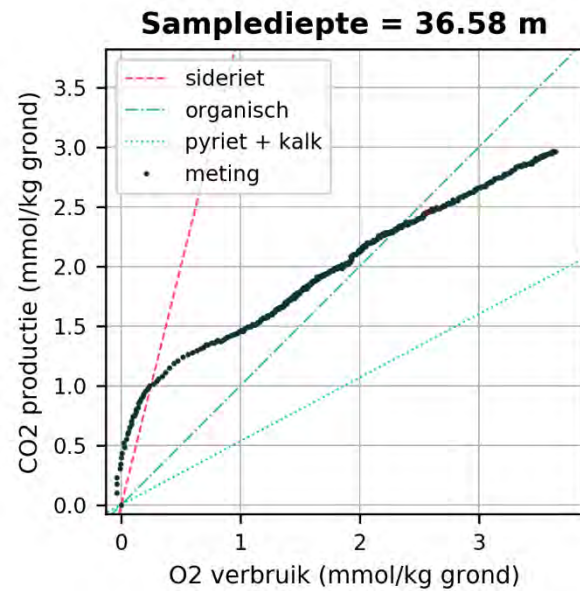
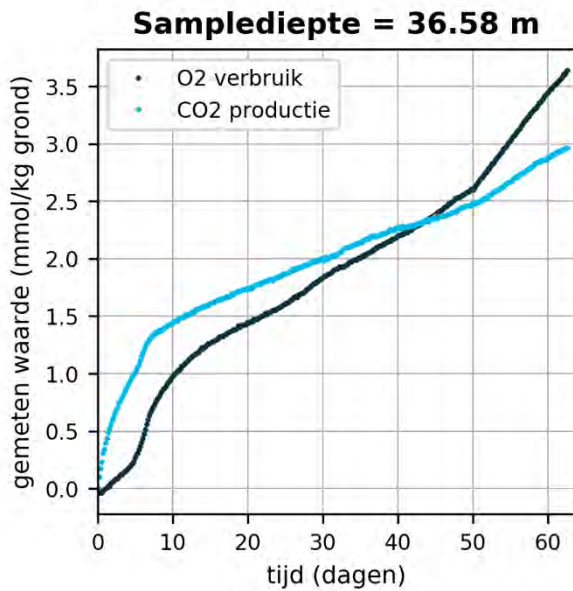
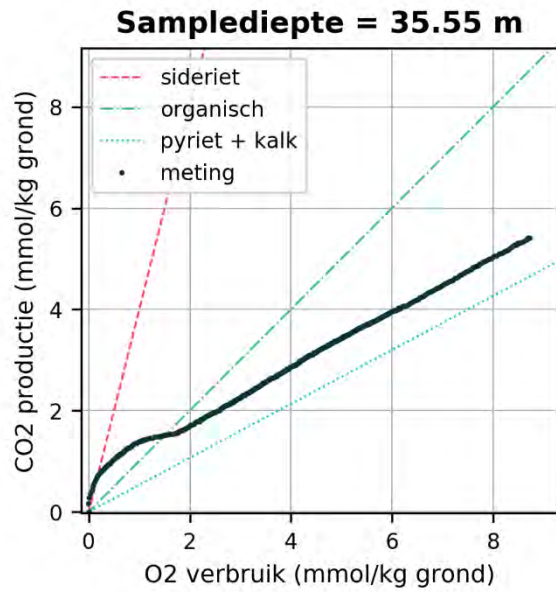
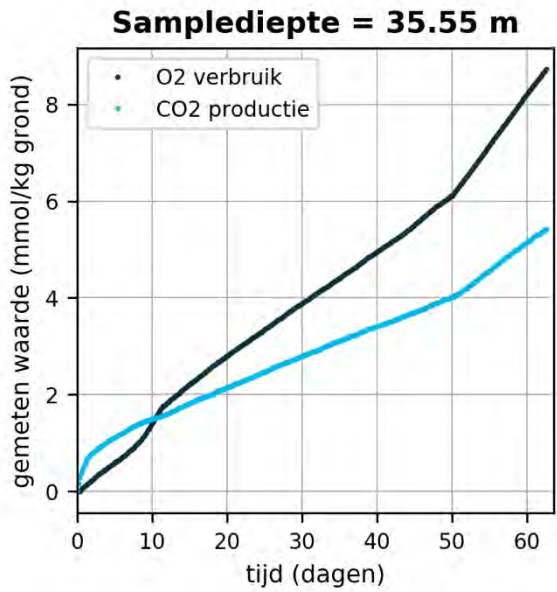


**Samplediepte = 32.7 m**

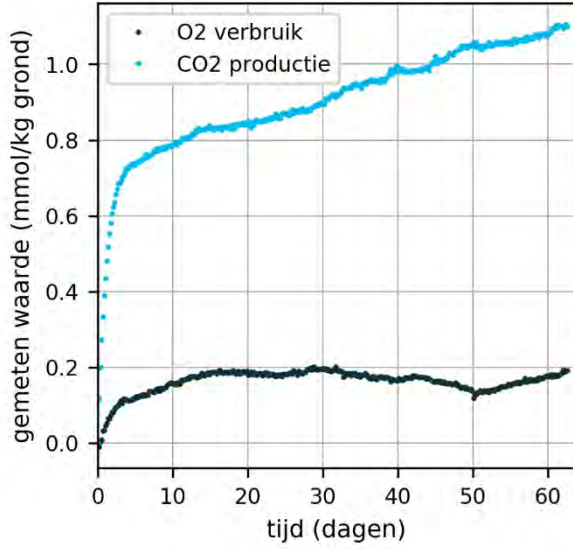




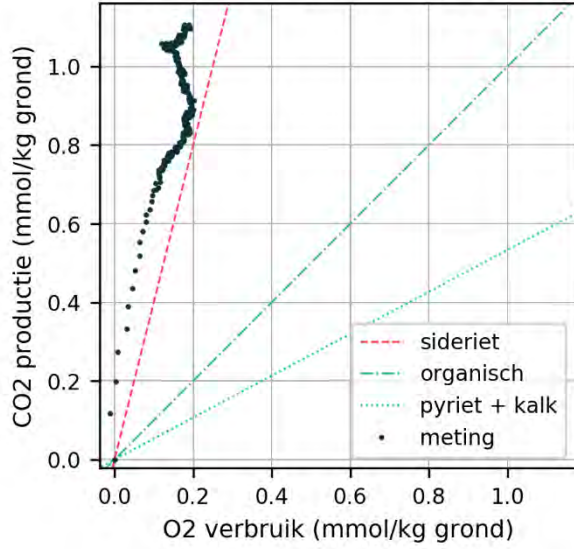




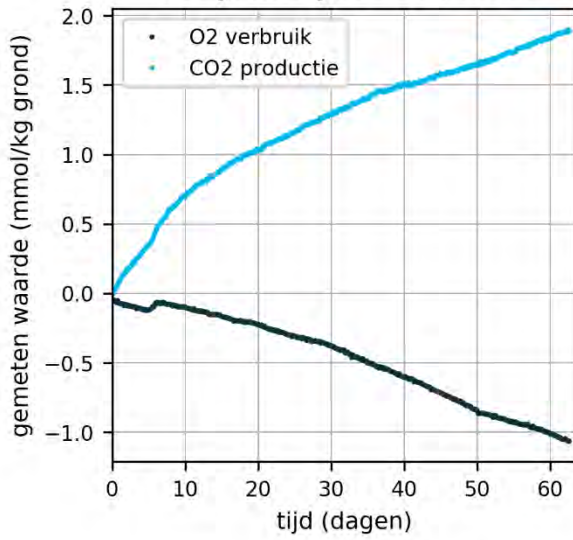
**Sampldiepte = 38.83 m**



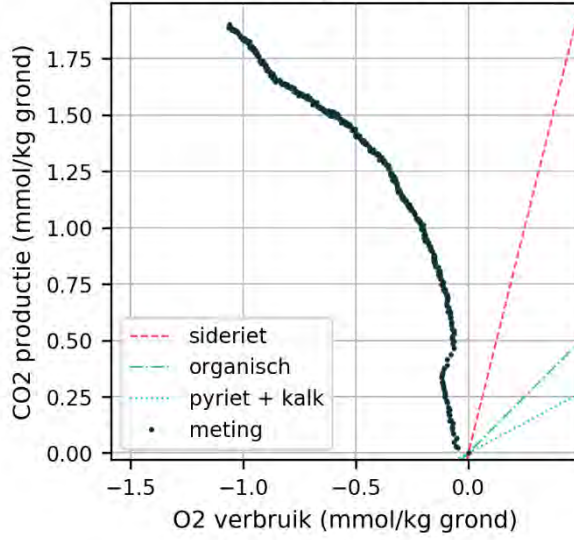
**Sampldiepte = 38.83 m**



**Sampldiepte = 39.68 m**



**Sampldiepte = 39.68 m**





Kennisimpuls  
**WATERKWALITEIT**