
**Zandsuppletie in de Leuvenumse beek:
monitoring van de fysische en biologische effecten 2014-2015**



**Zoetwatersystemen, Alterra Wageningen UR
April 2016**

Auteurs

Ralf C.M. Verdonschot, Dorine D. Dekkers, Anna A. Besse-Lototskaya & Piet F.M. Verdonschot

Opdrachtgever

Waterschap Vallei en Veluwe; contactpersoon Maarten Veldhuis

Projectgroep

Maarten Veldhuis, Christian Huising, Peter van Beers, Marcel Timmer, Jaap Petersen & Rob van de Braak (Waterschap Vallei en Veluwe); Peter Dam, Mirte Kruit, Wijnand Francke & Robert Ketelaar (Natuurmonumenten)

Referaat

Verdonschot, R.C.M., Dekkers, D.D., Besse-Lotoskaya, A.A. & P.F.M. Verdonschot (2016) Zandsuppletie in de Leuvenumse beek: monitoring van de fysische en biologische effecten 2014-2015. Zoetwatersystemen, Alterra Wageningen UR, Wageningen.

Trefwoorden

beekherstel, Hierdense beek, laaglandbeek, macrofauna, kleinschalige maatregelen

Beeldmateriaal

Ralf Verdonschot

ISBN

978-94-6257-788-6

DOI

<http://dx.doi.org/10.18174/378701>

© 2016 Alterra Wageningen UR

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Samenvatting

Voorwoord

1	Inleiding en doel	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Theorie: het gedrag van zand in een beek	2
1.3	Doel en vraagstelling	3
2	Fysische effecten	6
2.1	Methode	6
2.2	Resultaten en discussie	9
3	Effecten op de macrofauna en de habitatkwaliteit voor deze groep	17
3.1	Methode	17
3.2	Resultaten en discussie	18
4	Effecten op de zuurstofhuishouding	25
4.1	Methode	25
4.2	Resultaten en discussie	26
5	Conclusies	29
6.	Aanbevelingen	31
	Literatuur	34
	Bijlage 1.	35
	Bijlage 2.	36

Samenvatting

In 2014-2105 zijn de fysische en biologische korte-termijn-effecten van het herhaaldelijk suppleren van zand op een drietal locaties in de Leuvenumse beek onderzocht. Er is gekeken naar de mate van ophoging en verspoeling van het ingebrachte zand, de interactie tussen het zand en houtpakketten, de consequenties van depositie van organisch materiaal als gevolg van verstuwings van de beek en tenslotte naar de effecten op de macrofauna.

De door de suppletie beïnvloedde beeklengte was relatief kort, 47-135 m bij een ingebracht volume van 220-340 m³ en werd sterk beïnvloed door de ligging van houtpakketten in de beek. De houtpakketten vormden drempels, die de maximaal te bereiken bodemhoogte bepaalden. De drempelwerking verschilde per houtpakket, afhankelijk van de hoogte en mate van verdichting, en resulteerde in een gemiddelde bodemophoging van 24-53 cm. De aanzanding resulteerde in eerste instantie in een homogene zandbodem met een verarmde levensgemeenschap. Echter, vier maanden na de suppletie was er een traject met een hoge substraatheterogeniteit en een relatief hoge stroomsnelheid ontstaan met een totale macrofauna-taxarijkdom en aantallen KRW-indicator taxa die weer op het oude niveau waren. Ook werd een positieve verschuiving in de levensgemeenschap waargenomen in de vorm van een verhoogd aantal stromingsminnende taxa, die indicatief zijn voor situaties met voldoende stroming en een goede zuurstofhuishouding. De depositie van organisch materiaal bovenstrooms van de suppletielocaties, waar door stuwing het water stagneerde, resulteerde niet in negatieve effecten op de zuurstofhuishouding en op de macrofauna-taxarijkdom.

Op basis van onze bevindingen in de onderzochte trajecten in de Leuvenumse beek concluderen we dat zandsuppletie verantwoord kan worden ingezet als beekherstelmaatregel in de Nederlandse laaglandbeken, met als doel de verbinding tussen beek en dal te herstellen in te diep ingesneden of genormaliseerde beektrajecten. Om de aanzanding beheersbaar te maken, moet de maatregel in combinatie met het inbrengen van houtpakketten of andere drempelvormende structuren uitgevoerd worden. Hiermee kan de bodemhoogte en de lengte van het te beïnvloeden traject worden bepaald. Verder is het vanuit het oogpunt van het behoud van biodiversiteit belangrijk de maatregel altijd kleinschalig toe te passen, zodat de ecologische veerkracht van het systeem niet aangetast wordt en er altijd voldoende bronpopulaties aanwezig blijven om de gesuppleerde trajecten te koloniseren.

Voorwoord

Deze studie is uitgevoerd binnen het ‘Synergieproject Hierdense beek’, deelproject ‘Beekherstel Hierdense beek’, dat gericht was op herstel en ontwikkeling van een zo natuurlijk mogelijk functionerend beekstelsel in het gehele beekdal van de Hierdense/Leuvenumse beek over een lengte van circa veertien kilometer (traject tussen landgoed Staverden en de monding in het Veluwemeer).

Ondanks extensief beheer en de aanwezigheid van bos- en natuurgebied in en rond het beekdal van de Hierdense/Leuvenumse beek zijn er namelijk diverse knelpunten aanwezig op het gebied van de ecologie, morfologie, afvoerregime en de waterkwaliteit die het natuurlijk functioneren en daarmee de doelrealisatie in de weg staan. Om deze knelpunten aan te pakken zijn de afgelopen jaren kleinschalige maatregelen genomen op het gebied van: i) natuurvriendelijke inrichting van de beek en directe omgeving, ii) natuurvriendelijk onderhoud in de beek, iii) herstel van een natuurlijk afvoerregime (inclusief inundatiezones) en iv) het verbeteren van de ecologische kwaliteit van het gehele beekdal (o.a. anti-verdrogingsmaatregelen). Bouwen-met-natuur (*building with nature*) principes waren leidend bij de maatregelkeuze: zo veel mogelijk gebruik maken van of aansluiten bij natuurlijke processen in de beek.

De synergie in het project bestaat uit het gelijktijdig realiseren van een aantal belangrijke wateropgaven, ingegeven vanuit verschillende beleidskaders:

- realisatie van het Goed Ecologisch Potentieel (GEP) in het KRW-waterlichaam Hierdense beek voor 2027;
- bijdragen aan de verdrogingsbestrijding in het TOP-cluster Noord (TOP-lijstgebieden Bloemkampen en Dal Leuvenumse beek);
- Positief bijdragen aan de instandhoudingsdoelstellingen van de Natura 2000 gebieden Veluwe en Veluwerandmeren;
- Bijdragen aan de provinciale HEN-doelstelling voor de Hierdense beek (categorie 1: primaat bij ecologie);
- Bijdragen aan de vermindering van wateroverlast boven- en benedenstrooms in het beekstelsel door het vergroten van het oppervlak aan overstromingsgebied in het beekdal (NBW-opgave);
- Bijdragen aan de EVZ Hierdense Poort.

Het uiteindelijke streefbeeld is: ‘Een ecologisch goed functionerende laaglandbeek met een grote variatie in structuren, bodemsubstraten en stroming. Het beekdal bestaat in de laagste delen uit beekbegeleidend broekbos, dat voor een deel kan overstromen vanuit de beek en natuurlijke kwelzones en gradienten bevat. Het beektraject is overwegend beschadwd, maar wordt lokaal afgewisseld met (half) open trajecten waar waterplanten kunnen groeien.’ Een van de toegepaste maatregelen om dit streefbeeld te bereiken was het gericht suppleren van zand in combinatie met het inbrengen van dood hout in het traject in het Leuvenumse bos. Het bezanden van een beek is een relatief nieuwe maatregel waarover nog niet veel kennis bestaat. Om de effecten van zandsuppletie op de ecologie en morfologie in kaart te brengen en eventueel bij te kunnen sturen wanneer dit noodzakelijk zou zijn, is deze studie uitgevoerd.

1 Inleiding en doel

1.1 Achtergrond

In 2014 is door Waterschap Vallei en Veluwe en Natuurmonumenten gestart met het inbrengen van zand en dood hout in de Leuvenumse beek in het Leuvenumse bos met als doel de plaatselijk diep ingesneden beek te verondiepen, zodat ecologisch waardevolle droog-nat gradiënten langs de beek hersteld en ontwikkeld kunnen worden en de afvoerdynamiek wordt verminderd. Deze beekherstelmaatregelen volgen op het pleksgewijs inbrengen van dood hout in de beek in februari 2011 (circa 15 pakketten in het kader van het project 'Beekdalbreed Hermeanderen') en het staken van onderhoud aan de watergang. Dit inbrengen van dood hout heeft tot gevolg gehad dat op deze plaatsen de stromingsvariatie is toegenomen en er een veel gevarieerder bodemmozaïek van substraten is ontstaan (Verdonschot et al., 2012). Verder zijn de aantallen individuen van typische laaglandbeek macrofauna toegenomen. De Leuvenumse beek zou als een 'natuurlijke' laaglandbeek kunnen functioneren en heeft door een aantal gunstige randvoorwaarden (o.a. veel beschaduwing, kwelplekken, duurzame populaties van bronsoorten, grote beeklengte in natuurgebied) een zeer hoge potentie. Echter, de combinatie van kanalisatie en diepe insnijdingen, waardoor de beek gefixeerd in een droog bos ligt, staat het bereiken van deze toestand op dit moment in de weg. De diepe insnijdingen zijn het gevolg van een sterke verhoging van de afvoerdynamiek in de beek als gevolg van menselijke ingrepen in het stroomgebied, die al eeuwen teruggaan. Met name de combinatie van een gewijzigd landgebruik in de bovenloop van de beek, waarbij de oorspronkelijk als een spons fungerende (veen)moerassen omgezet werden in landbouwgrond en kanalisatie en normalisatie ten behoeve van papiermolens hebben hun stempel op het systeem gedrukt. In de huidige situatie is het afvoerpatroon van de beek sterk dynamisch. Een ondoorlatende kleilaag dicht onder de oppervlakte — wat ook de reden is dat er überhaupt een beek in dit gebied kan voorkomen — van de bovenstroomse agrarische gebieden leidt tot een snelle en oppervlakkige afvoer bij hevige regenval. Langs de grotendeels rechtgetrokken beek zijn daarnaast weinig retentiemogelijkheden. Een natte oeverzone met beekbegeleidend bos, karakteristiek voor natuurlijke laaglandbeken, ontbreekt over vrijwel de gehele beeklengte in het Leuvenumse bos. Deze zone is essentieel voor een compleet laaglandbeekecosysteem; hydrologisch omdat het fungeert als een spons, waardoor water wordt vastgehouden tijdens hoge afvoeren en vervolgens weer geleidelijk wordt afgegeven aan het systeem, chemisch omdat het zorgt voor omzetting van stoffen en organisch materiaal en biologisch omdat een groot aantal dier- en plantensoorten (welke nu grotendeels in het systeem ontbreken) nu juist in deze droog-nat-gradiënten voorkomt.

De houtpakketten uit 2011 en het niet verwijderen van het op natuurlijke wijze ingevallen hout hebben de afgelopen jaren geen sterke aanzanding en daarmee bodemophoging bewerkstelligd. Het lijkt erop dat er simpelweg te weinig sediment beschikbaar komt om het grote hoogteverschil tussen het maaiveld en de beek te overbruggen. Erosie- en sedimentatieprocessen treden in de huidige situatie slechts zeer lokaal op. De dichte netwerken van wortels van de bomen langs de beek zorgen voor goed gefixeerde oevers, waardoor instortingen die nieuw zand in de beek brengen weinig voorkomen (bijv. na windworp). Alleen op plekken waar edelherten en zwijnen de beek oversteken of waar recreanten de oevers van de beek vaak betreden wordt regelmatig door afschuivingen zand ingebracht, maar deze plekken zijn kleinschalig ten opzichte van het volume van de beekbedding. Om de bodemophoging sneller te realiseren is daarom zand gesuppleerd op zeven locaties langs de beek (Figuur 1.1; Foto 1.1). In verschillende ronden in 2014 en 2015 is telkens met een kraan een hoeveelheid zand in de beek gebracht tot het punt bereikt werd dat de bovenstroomse opstuwing dusdanig was dat de beek buiten zijn oevers trad. Het zand

was afkomstig van het nabij gelegen Hulshorsterzand en bestond uit afgeplagd zand met een laag organische-stof-gehalte en wat grind. Locaties en suppletiemomenten werden zo gekozen dat het zand in de diepst gelegen delen van de beek terecht kon komen, maar werden ook voor een belangrijk deel gestuurd door de padenstructuur en de weersomstandigheden, omdat deze factoren de mogelijkheden om met machines de beek te bereiken bepaalden. Na de suppletie was het de bedoeling dat het zand zich naar benedenstrooms zou verspreiden en zo voor een gelijkmatige ophoging van de beekbodem zou zorgen.



Foto 1.1. *Suppletielocatie ter hoogte van De Doorbraak (oostelijke tak). Het zand wordt met behulp van een kraan opgescheept uit de zandberg en vervolgens in de beek gestort, net zolang totdat er te veel stuwing bovenstrooms optreedt.*

1.2 Theorie: het gedrag van zand in een beek

Een beek streeft altijd naar een evenwicht tussen het verhang en het sedimenttransport. Zonder obstakels heeft de verhanglijn een afgevlakte vorm van boven- naar benedenstrooms. Echter, in de praktijk zijn er altijd vaste punten in de beek aanwezig, zoals stuwten en drempels, boomwortels, veen- of klei/leemafzettingen, en in het geval van de Leuvenumse beek ook houtpakketten. Deze obstakels houden sediment vast voor langere perioden vast en zorgen zo voor verhogingen in de bodem (Gordon et al., 2004). De waterverhanglijnen lopen dan van vast punt tot vast punt, waardoor een trapstructuur ontstaat. In zo'n evenwichtstoestand is het sedimenttransport gering; pas bij extreme piekafvoeren komt het opgehoopte materiaal in beweging. Wordt het evenwicht echter plotseling verstoord, bijvoorbeeld door zand te suppleren, dan zorgt het samenspel tussen erosie en sedimentatie ervoor dat het evenwicht zich herstelt. De stroomsnelheid op de suppletielocatie neemt sterk toe waardoor het fijnste materiaal in suspensie en het

zwaardere materiaal over de bodem schuivend, in de vorm van een zandtong, naar benedenstrooms wordt verplaatst (Foto 1.2). Zo'n zandtong bestaat uit een geleidelijk oplopende helling aan de bovenstroomse zijde, waar de zandkorrels door de stroming van het water langzaam naar boven overheen rollen, om vervolgens aan de stroomafwaartste zijde naar beneden te vallen (Gordon et al., 2004). De bovenstroomse zijde is zeer stabiel en compact, de benedenstroomse steile zijde in eerste instantie zeer los. De beek snijdt zich dus bovenstrooms in de zandtong in, terwijl verder benedenstrooms (waar de stroomsnelheid lager is) de beekbodem omhoog komt door het aangevoerde materiaal. Dit proces gaat net zolang door totdat het evenwicht weer hersteld is en er een redelijk vloeiende beekverhanglijn is ontstaan. Zonder obstakels zou het toegevoegde zand dus uiteindelijk benedenstrooms in het Veluwemeer terecht komen. Echter, vaste obstakels in de beek of beekbodem stuwen het water op en zorgen eerder voor een vertraging van de stroomsnelheid. Fijn sediment slaat op deze plekken neer, grover sediment wordt tegengehouden. Gevolg hiervan is dat een nieuw evenwicht ontstaat met telkens een benedenstrooms obstakel als nieuw vast punt.



Foto 1.2. Zandtong benedenstrooms van de suppletielocatie. Deze tong vormt een steeds verder naar benedenstrooms opschuivend zandfront, net zolang totdat een obstakel wordt bereikt en zich een nieuw evenwicht kan instellen.

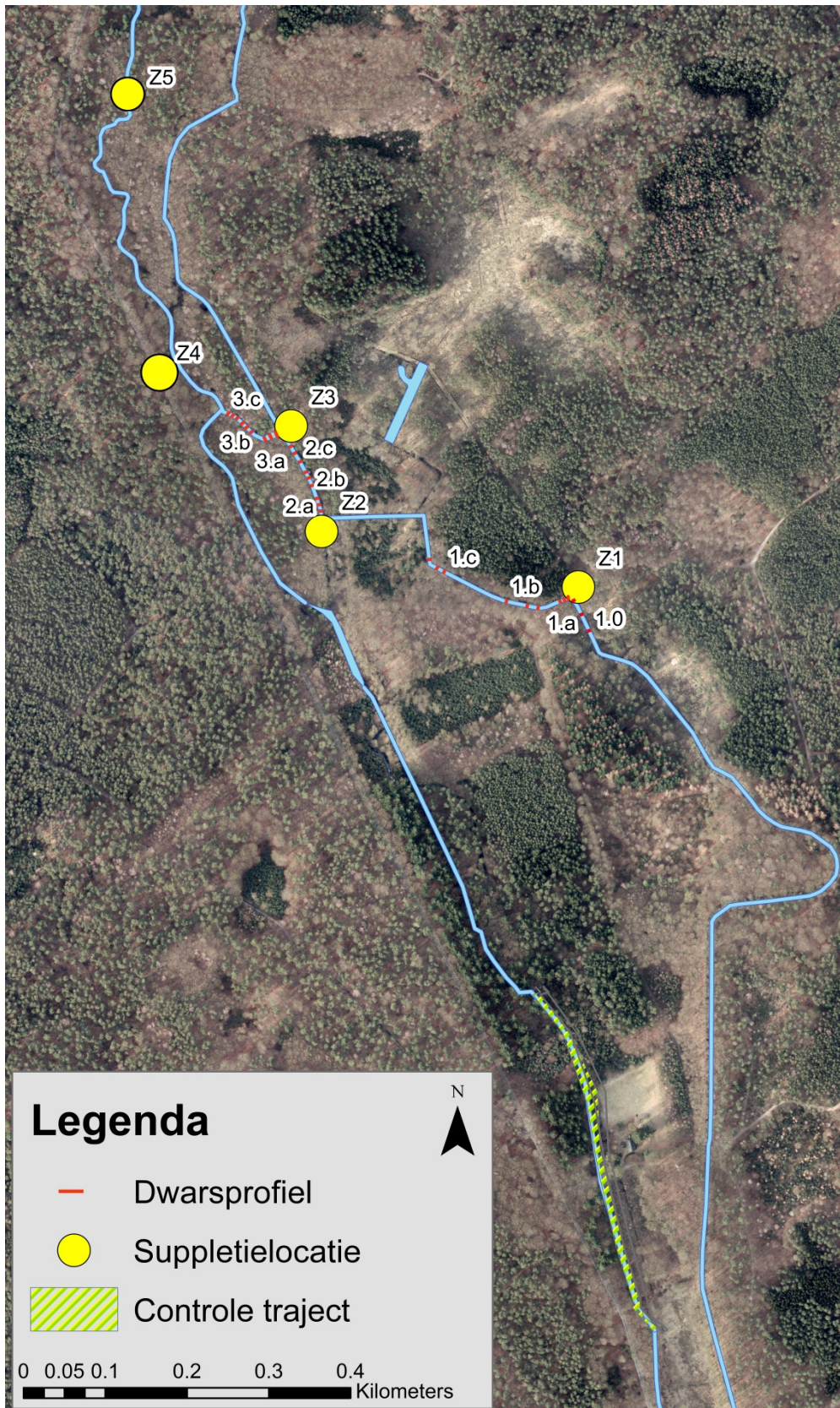
1.3 Doel en vraagstelling

Het suppleren van zand als beekherstelmaatregel is nog maar weinig toegepast in Nederland en daarbuiten en kennis van dit onderwerp is gebaseerd op de ervaringen met de effecten van inspoeling van sediment en het aanleggen van bodemdrempels in beken (o.a. in de Springendalse beek bij Ootmarsum, Verdonschot et al., 2004). Gerichte monitoring naar de effecten van zandsuppletie ontbreekt. Zo zijn er nog veel onduidelijkheden met betrekking tot het gedrag van het zand nadat de suppletie heeft plaatsgevonden. Ook is het de vraag

hoe de interactie met de vele houtpakketten in Leuvenumse beek verloopt; onderzoek aan het inbrengen van houtpakketten in de Jufferbeek bij Oldenzaal suggereert een sterke bodemophogende werking van houtpakketten in combinatie met zandaanvoer vanuit bovenstrooms gelegen beektrajecten (Didderen et al., 2008). Ook is niet bekend hoe de macrofaunalevensgemeenschap reageert op het inbrengen van grote hoeveelheden zand. Om dit kennishiaat op te vullen zijn in dit onderzoek een aantal fysische en biologische aspecten van de zandsuppleties in de Leuvenumse beek bestudeerd.

De volgende onderzoeksvragen worden in deze rapportage beantwoord:

1. Waar komt het gesuppleerde zand terecht binnen de meetperiode (15 maart 2014 tot 4 november 2015)?
 - a. hoeveel bodemophoging treedt er op na de suppleties?
 - b. hoe ver benedenstrooms is er een effect van de suppleties zichtbaar?
 - c. Hebben de houtpakketten effect op het gedrag van het ingebrachte zand?
2. Hoe wordt de macrofaunalevensgemeenschap beïnvloed door het inbrengen van zand?
 - a. Wordt de macrofauna verstikt of verdreven door de zandsuppletie, m.a.w. is er na suppletie nog macrofauna aanwezig in het zandtongtraject en daarbuiten?
 - b. Hoe snel komt de macrofauna weer terug (mocht deze verdwenen zijn) na de zandsuppletie?
3. Blijven de trajecten waar ophoping van organisch materiaal plaatsvindt als gevolg van de zandsuppletie voldoende zuurstofrijk om te kunnen dienen als habitat voor de beekfauna?

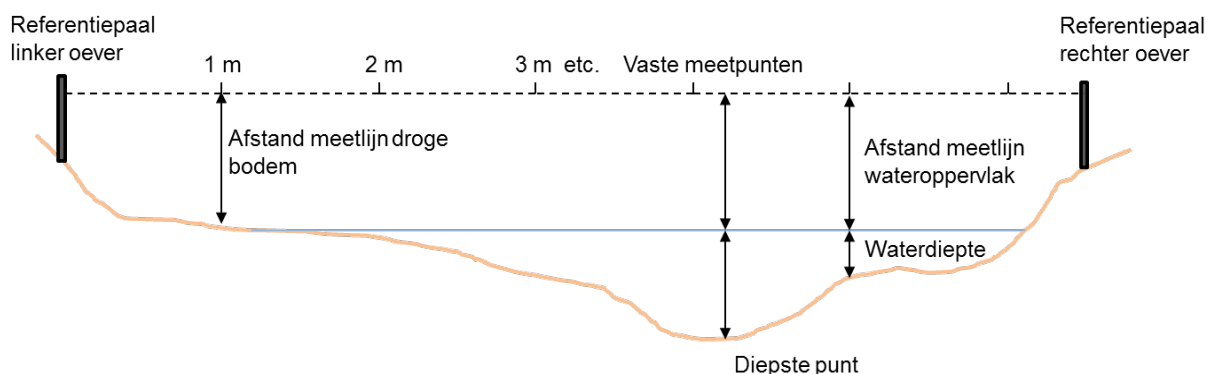


Figuur 1.1. Overzichtskaart studiegebied met hierop de op macrofauna onderzochte suppletielocaties (Z1-Z5 en controletraject) en de dwarsprofieltransecten waarin de bodemhoogteveranderingen (rode lijnen bij Z1-Z3) zijn vastgelegd.

2 Fysische effecten

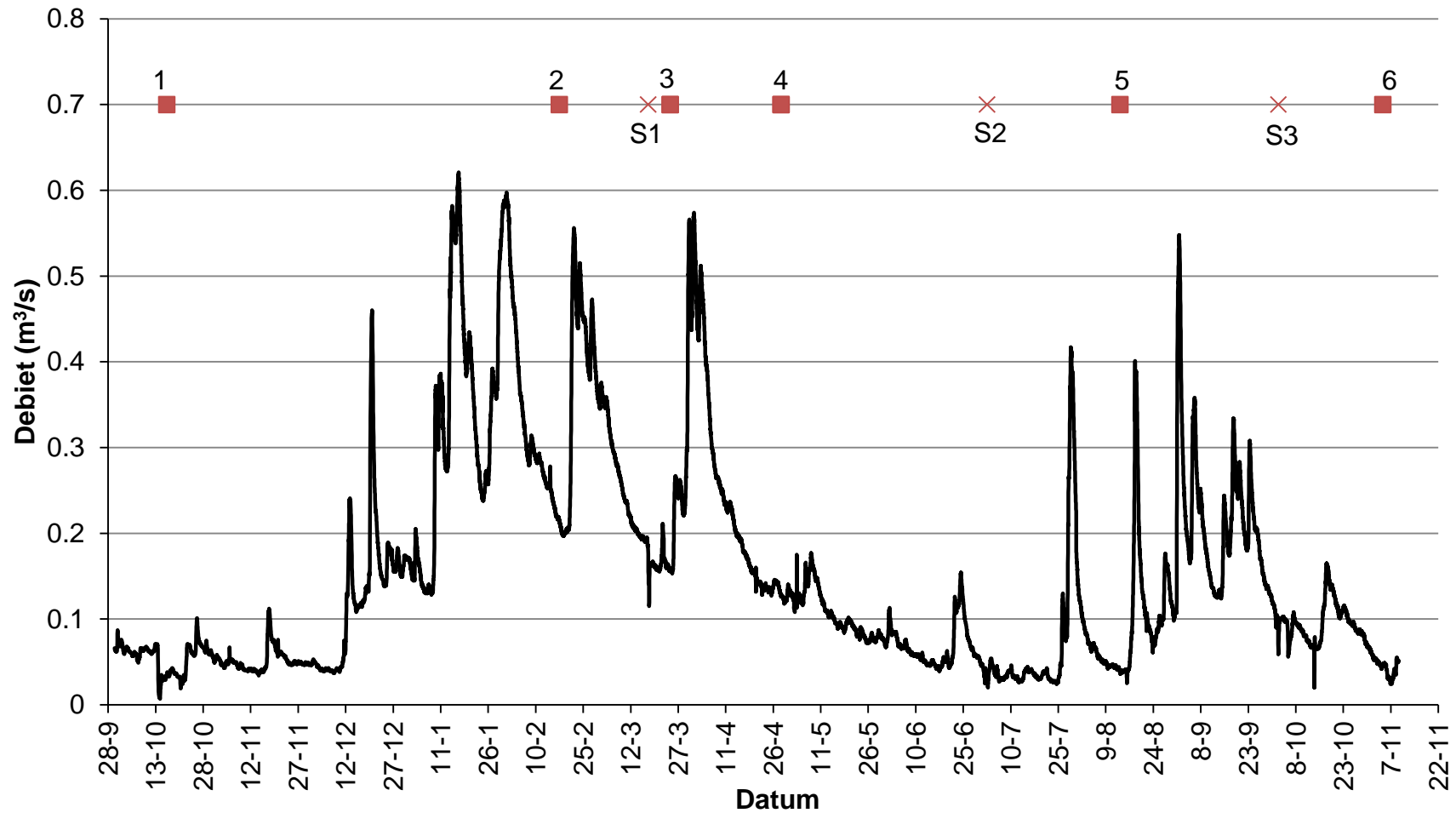
2.1 Methode

De veranderingen in bodemhoogte zijn voor drie suppletielocaties vastgelegd (Z1, Z2 en Z3) in de periode 15 maart 2014 tot 4 november 2015 (Tabel 2.1, Figuur 1.1). Benedenstrooms van de suppletielocaties werden telkens drie meettrajecten ingericht (Bijlage 1). De eerste lag direct benedenstrooms de suppletielocatie, de tweede na het eerste benedenstroomse houtpakket en de derde voorbij het tweede houtpakket. Om het meten te vergemakkelijken werden hiervoor qua beddingvorm en substraat zo homogeen mogelijke stukken beek gekozen, zonder losse boomstammen. Gevolg hiervan was dat de onderlinge afstand tussen de trajecten kon variëren. In elk traject zijn drie permanente dwarsprofielen uitgezet waar de bodemhoogte vijf maal is opgemeten (Figuur 2.1; Bijlage 2). Aan beide zijden van de beek plaatsten we palen waartussen met behulp van een laserwaterpas een horizontale lijn werd geprojecteerd. Deze punten werden gemarkeerd op de palen en dienden als referentiepunten bij de bodemhoogtemetingen. Ten opzichte van deze horizontale lijn werd op iedere meter: i) de hoogte tot de beekbodem of droge oever en ii) de waterdiepte gemeten tot op 1 cm nauwkeurig. Verder werden de ligging en de bodemhoogte van het diepste punt in de beek vastgelegd en ook de ligging van de oeverlijn. Omdat de beekbodem vaak niet geheel vlak was, opgebouwd was uit verschillende substraten en varieerde in stevigheid, werd gemeten met behulp van een meetstok met aan de onderzijde een schijf met een diameter van 20 cm. Als aanvulling op de dwarsprofielmetingen is visueel de lengte die de zandtong naar benedenstrooms heeft afgelegd bepaald.



Figuur 2.1. Parameters dwarsprofielmetingen.

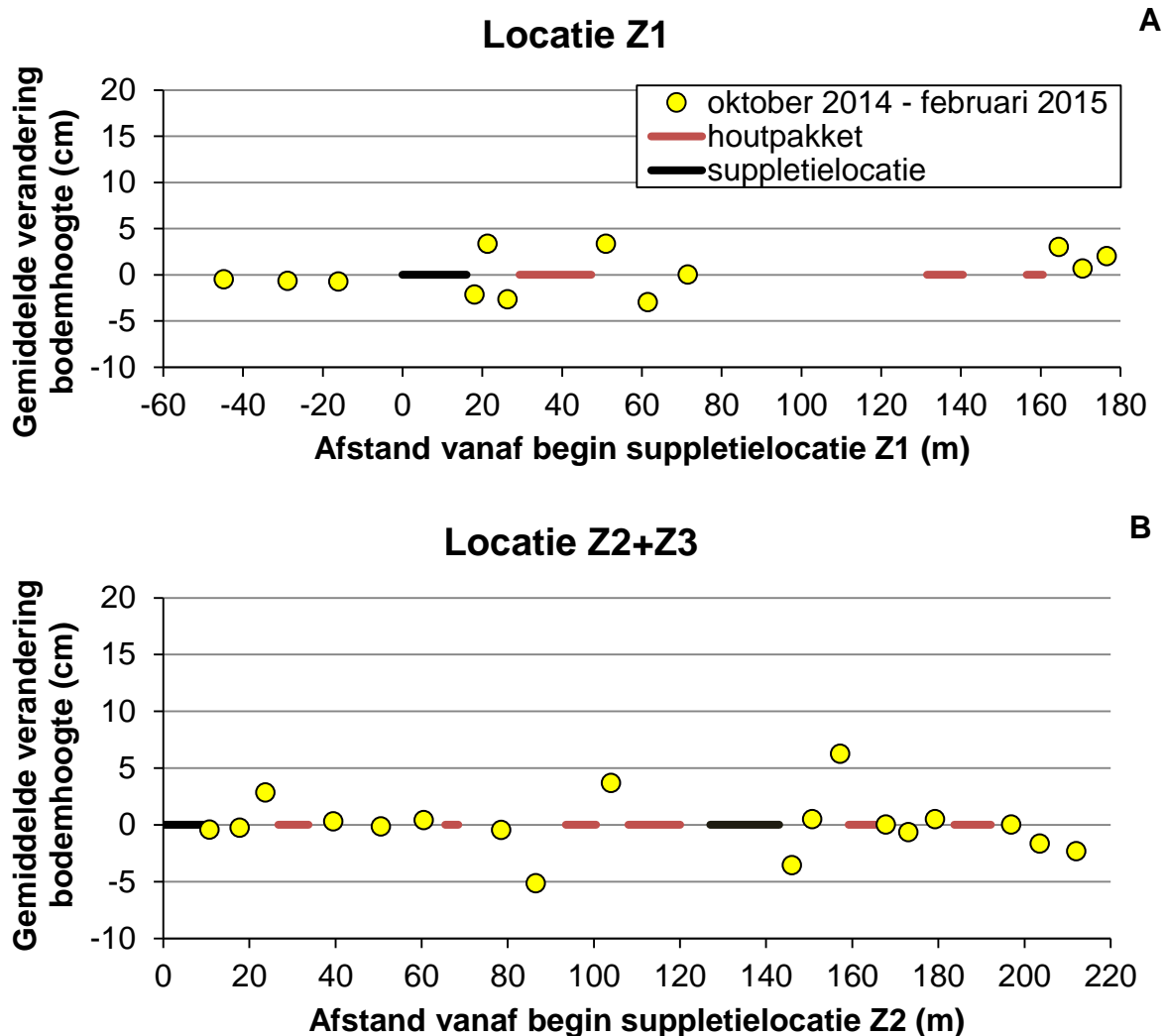
De verandering in bodemhoogte is in de tijd vastgelegd (Bijlage 2) en deze informatie is samengevat door de gemiddelde bodemhoogteverandering in de dwarsprofielen in de tijd te vergelijken. Hiervoor zijn verschillende meetmomenten bestudeerd: i) in de periode voorafgaand aan de suppleties van 2015 ('uitgangssituatie'), ii) het verschil 1 week en 1 maand nadat een suppletie is uitgevoerd, en iii) telkens 1 maand na de serie opeenvolgende suppleties in 2015. Tenslotte is een schatting gemaakt van de hoeveelheid zand die in de beek aanwezig was in november 2015 en deze getallen zijn vergeleken met de schatting van de hoeveelheid zand die in 2015 is gesuppleerd. Metingen werden altijd uitgevoerd in suppletieloze perioden, dus niet op het moment dat er zand werd ingebracht.



Figuur 2.2. Afvoer Leuvenumse beek in 2014-2015 ter hoogte van de meetstuw net benedenstrooms de A28 (enkele kilometers benedenstrooms van de suppletielocaties). De rode kruisjes aangeduid met S1-S3 geven de suppletiemomenten in 2015 aan, de rode vierkantjes de data waarop de dwarsprofielmetingen zijn verricht.

Tabel 2.1: Suppletie- en meetmomenten. Per suppletie is de geschatte hoeveelheid ingebracht zand aangegeven.

Datum	Zandsuppletie per locatie (m ³)			Dwarstransectmeting
	Z1	Z2	Z3	
15-03-2014		50		
26-06-2014	20	50	100	
16-10-2014				1
17-02-2015				2
17-03-2015	50	80	90	
24-03-2015				3
28-04-2015				4
02-07-2015	50	40	50	
13-08-2015				5
02-10-2015	100	70	100	
04-11-2015				6



Figuur 2.3. Veranderingen in gemiddelde bodemhoogte tussen oktober 2014 en februari 2015. Op locatie Z1 (A) zijn ook drie dwarsprofielen bovenstrooms de suppletielocatie opgenomen. Op locatie Z1 is op 26 juni 2014 20 m³ gesuppleerd, op locatie Z2 twee maal 50 m³ op 15 maart en 26 juni 2014 en op locatie Z3 eenmalig 100 m³ op 26 juni 2014.

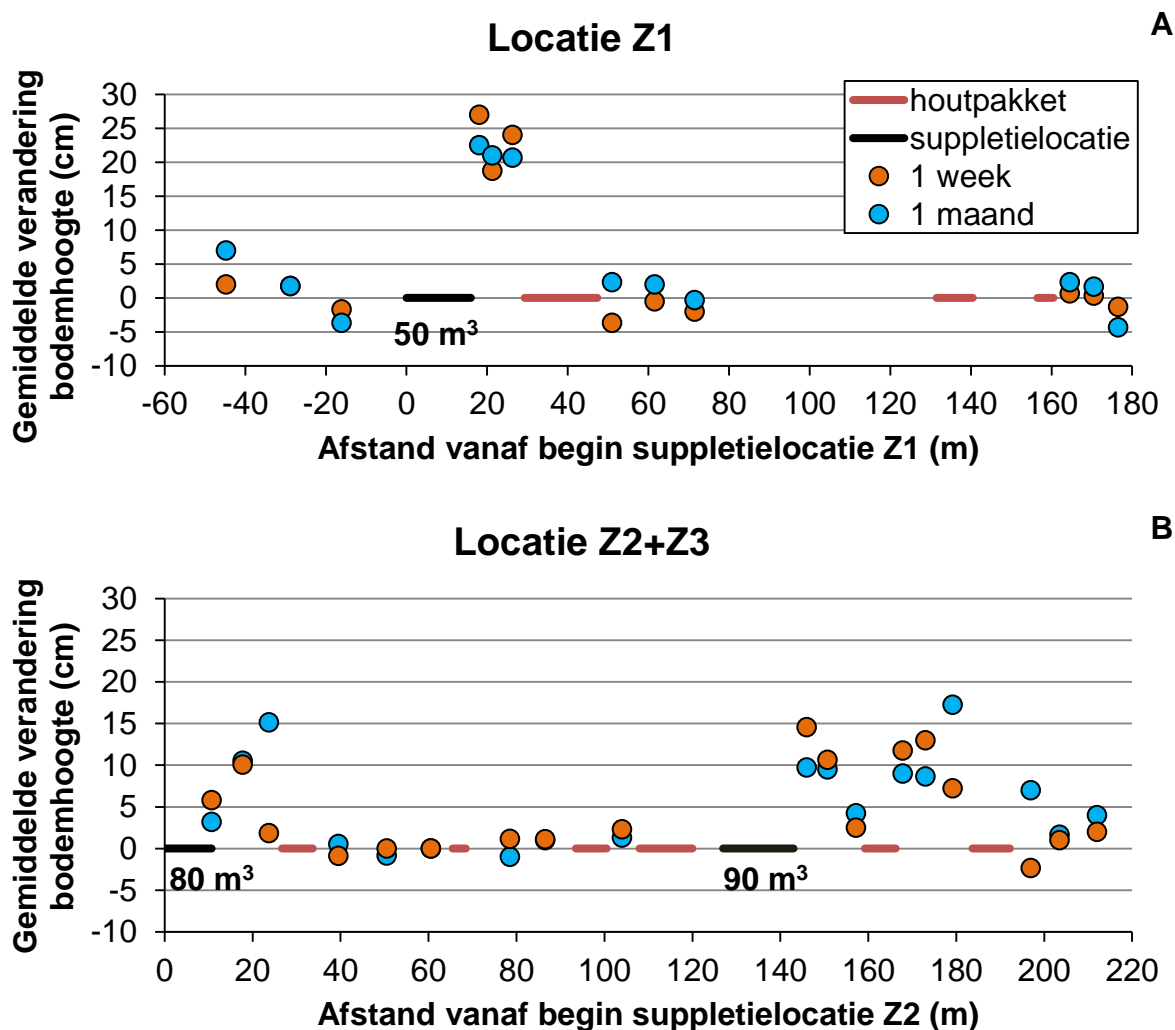
2.2 Resultaten en discussie

Uitgangssituatie

Omdat de metingen zijn gestart nadat er in het voorjaar 2014 al zand in de beek gesuppleerd was, is er in het onderzoek geen sprake van een zuivere uitgangssituatie. Daarom is de periode van negen maanden tussen de eerste twee suppleties in 2014 en de nieuwe ronde suppleties in 2015 gebruikt om een gevoel te krijgen van de veranderingen die optreden in de gemiddelde bodemhoogte. Deze periode kende drie duidelijke afvoerpieken (Figuur 2.2), waardoor er potentieel sedimentverplaatsing mogelijk was. De vergelijking van de situatie vier maanden na de suppletie en de situatie 8 maanden na de suppletie laat zien dat er schommelingen in de gemiddelde bodemhoogte op zijn getreden, zowel in de dwarsprofielmetingen direct na de suppletielocaties als verder benedenstrooms (Fig. 2.3). Bovenstrooms van Z1 is geen beïnvloeding van de gemiddelde bodemhoogte waargenomen (Fig. 2.3A). In hoeverre de schommelingen benedenstrooms van de suppletielocaties zijn toe te schrijven aan het inbrengen van zand is niet duidelijk, omdat ook veranderingen in ver benedenstrooms gelegen dwarsprofielen optraden, waar in het veld geen zichtbare invloed van de suppletie waarneembaar was. Mogelijk geven deze schommelingen voor een deel de 'natuurlijke' variatie in bodemhoogte weer, waarbij de bandbreedte kan worden afgeleid van de maximale verandering in de ver van de suppletielocatie af gelegen dwarsprofielen. Deze zogenoemde achtergrondverandering in bodemhoogte bedraagt circa 5 cm (Fig. 2.3B).

Suppletie maart 2015

Op 17 maart 2015 vond de eerste suppletie plaats waarbij we beschikten over gegevens over de bodemhoogte voorafgaand aan het inbrengen van zand. Om te bekijken of de grootste veranderingen binnen korte tijd of pas later optraden, werd zowel 1 week na het suppleren als 1 maand later de bodemhoogtes in de dwarsprofielen gemeten (Fig. 2.4). Tussen beide metingen was er sprake van een afvoerpiek ($0,57 \text{ m}^3/\text{s}$), waardoor potentieel sedimentverplaatsingen mogelijk waren. Als we de bandbreedte van 5 cm aanhouden als achtergrondvariatie, dan is duidelijk na 1 week een sterke stijging van de gemiddelde bodemhoogte te zien tussen de suppletielocatie Z1 en het eerste houtpakket (Fig. 2.4A). Na 1 maand neemt de bodemhoogte weer hier licht af, ofwel omdat zand naar benedenstrooms verplaatst, ofwel door zetting en klink. Opvallend is een verandering in bodemhoogte op het meest bovenstroomse punt ten opzichte van Z1, waar de gemiddelde bodemhoogte een kleine stijging liet zien. Zowel suppletielocatie Z2 als Z3 laten een vergelijkbare sterke stijging zien 1 week na het suppleren (Fig 2.4B). Op deze twee locaties is duidelijk in de opeenvolgende dwarsprofielen te zien dat het zand zich na 1 maand verder naar benedenstrooms heeft verplaatst ten opzichte van de situatie na 1 week. Met name in Z3 neemt in de bovenstroomse dwarsprofielen de gemiddelde bodemhoogte af, terwijl benedenstrooms de bodemhoogte stijgt. In de verder benedenstrooms gelegen dwarsprofielen is deze stijging niet duidelijk terug te zien, wat aangeeft dat het zand naar benedenstrooms opschuift. De snelheid waarmee de zandtong zich heeft verplaatst tussen maart en april 2015 is lastig in te schatten op basis van de dwarsprofielen. Op basis van de dwarsprofielen met de grootste veranderingen in bodemhoogte van erosie naar sedimentatie lijkt dit maximaal enkele tientallen meters te zijn.



Figuur 2.4: Verandering in gemiddelde bodemhoogte in de beektrajecten 1 week (oranje bolletjes) en 1 maand (blauwe bolletjes) na de suppletie ten opzichte van de situatie 1 maand voor de suppletie. De getallen onder de zwarte lijnen (positie suppletielocaties in het beektraject) geven een schatting van de hoeveelheid ingebracht zand. Het aantal meetpunten in de dwarsprofielen bedroeg gemiddeld 3,3 in Z1, 7,2 in Z2 en 4,6 in Z3.

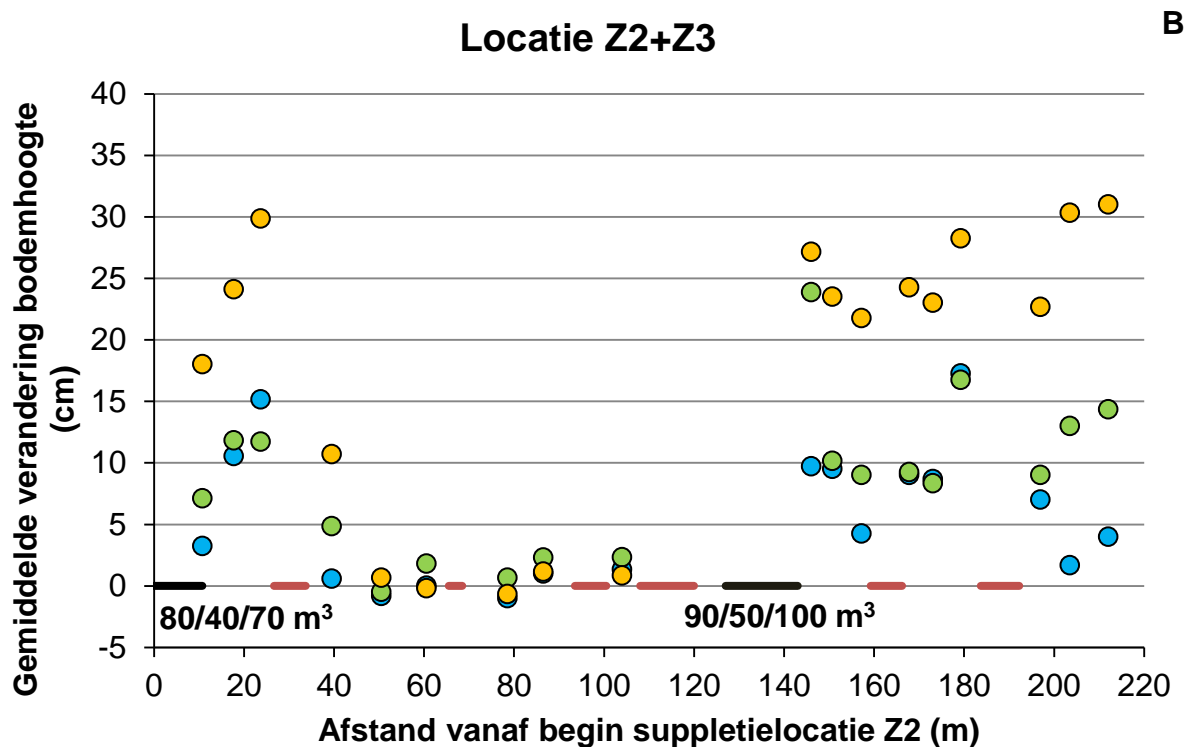
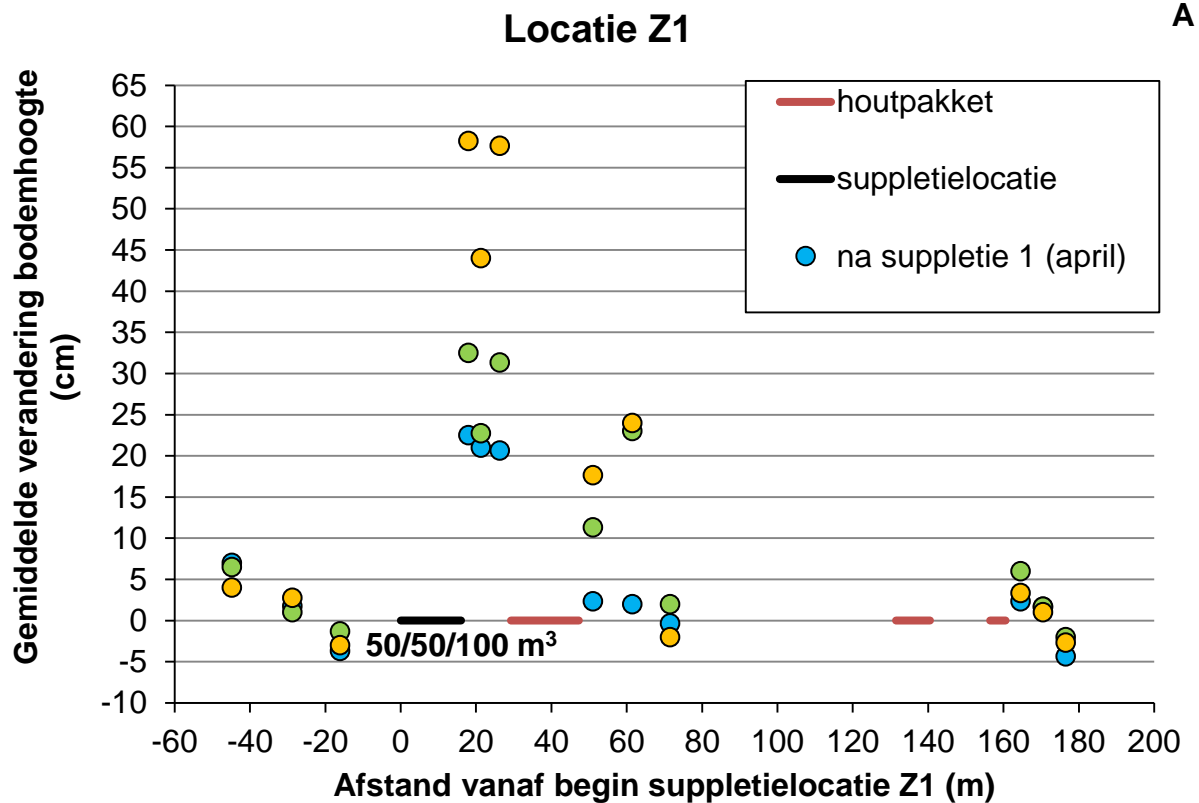
Reeks suppleties 2015

Op suppletielocatie Z1 is in 2015 in totaal 200 m^3 zand gesuppleerd. De impact van dit zand reikte tenminste tot en met dwarsprofiel Z1.5b, 62 m benedenstrooms het begin van de suppletie. Op 72 m benedenstrooms in dwarsprofiel Z1.6b werd geen effect meer gemeten. Dit beeld klopte met de visuele inschatting van de lengte van de zandtong (Tabel 2.2). In november 2015 was de bodemophoging tot het eerste houtpakket maximaal 58 cm. De volledige hoogte tot de bovenzijde van het houtpakket was opgevuld, waarschijnlijk geholpen door de extra verdichting van het houtpakket als gevolg van bladinvall (Foto 2.1). Het hout fungeerde dus als een drempel. De consequentie was sterke opstuwing, waardoor de beek buiten zijn oevers trad. Een deel van het zand werd op het moment van de laatste dwarsprofielmeting dan ook buiten de oorspronkelijke bedding afgezet. Op suppletielocatie Z2 is een vergelijkbare hoeveelheid zand gesuppleerd (190 m^3), maar de zandtong eindigde minder ver benedenstrooms (dwarstransect Z2.4b, visueel op 47 m benedenstrooms; Figuur 2.5B) en de bodemophoging voor het eerste benedenstroomse houtpakket was lager (maximaal 30 cm). Dit is echter goed verklaarbaar doordat de beek op dit punt veel breder is dan Z1; 10 meter Z2.1a-Z2.3a versus 4 meter Z1.1a-Z1.3a). De ruimte die de beek had

benedenstreams Z2 maakte ook een verplaatsing van de stroomgeul mogelijk, die zich na de laatste suppletie van de ene oever naar de andere oever verlegde (Figuur 2.6, Foto 2.2). De situatie op Z3 ontwikkelde zich anders dan op Z1 en Z2, omdat het zand zich hier veel sneller naar benedenstreams verplaatste. De houtpakketten leken hier minder als drempels te fungeren, waardoor het zand veel sneller naar benedenstreams werd verplaatst ten opzichte van Z1 en Z2 (Figuur 2.5B). In de zomer passeerde de zandtong al het meest benedenstroomse dwarsprofiel en de zandtong eindigde op basis van de visuele inschatting op 135 m benedenstreams van de suppletie. De maximale gemeten bodemhoogte bedroeg 31 centimeter en werd in november 2015 in het meest benedenstroomse dwarsprofiel gemeten (Z3.9C). Het hele traject was relatief gelijkmatig opgevuld (Foto 2.3): gemiddeld genomen schommelde in het hele traject de bodemhoogte rond de 26 centimeter (spreiding 23 – 31 cm).



Foto 2.1. *Situatie in november 2015 tussen suppletielocatie Z1 en het eerste benedenstroomse houtpakket. De beekbodem is omhoog gekomen tot vrijwel de bovenzijde van het houtpakket (maximaal 58 cm), waarschijnlijk geholpen door de verdichting van het pakket door bladval. Door opstuwning is de beek buiten zijn oevers getreden en vindt via diverse stroompjes zijn weg door het beekdal: beek en dal zijn verbonden.*



Figuur 2.5. Verandering in gemiddelde bodemhoogte in de beektrajecten in 2015; telkens gemeten 1 maand nadat suppletie had plaatsgevonden ten opzichte van de situatie 1 maand voor de eerste suppletie in 2015. De getallen onder de zwarte lijnen (positie suppletie locaties in het beektraject) geven een schatting van de hoeveelheid ingebracht zand. Het aantal meetpunten in de dwarsprofielen bedroeg gemiddeld 3,3 in Z1, 7,2 in Z2 en 4,6 in Z3.



Foto 2.2. Traject benedenstrooms suppletielocatie Z2 in augustus (boven) en november (onder) 2015. De geul heeft zich verlegd van de ene naar de andere oever.

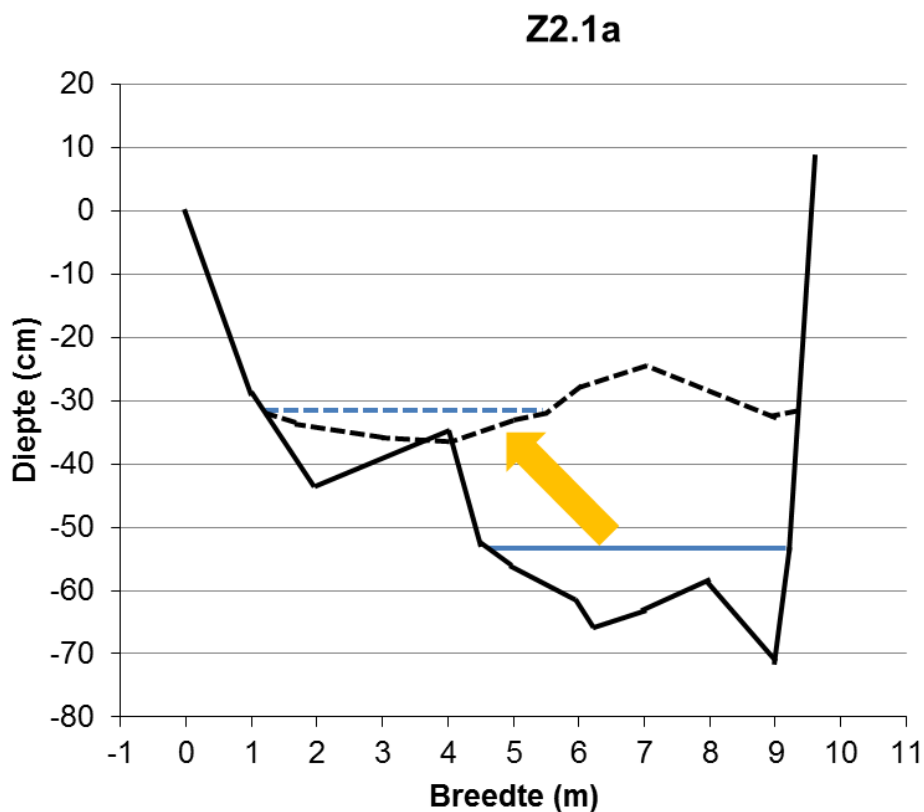


Foto 2.3. Traject benedenstrooms de suppletielocatie Z3, gelijkmatig met zand opgevuld.

Tabel 2.2. Visuele inschatting van de beeklengte bedekt met de zandtong ten opzichte van het begin van iedere suppletielocatie in oktober 2014 en november 2015.

Locatie	Totaal gesuppleerd 2015 (m ³)	Visuele inschatting impact op basis van aanwezigheid zandtong (m benedenstrooms begin suppletielocatie)	
		14-10-2014	4-11-2015
Z1	200	20	65
Z2	190	19	47
Z3	240	52	135

Voor Z1 en Z2 kan de inhoud van de zandtong globaal geschat worden op basis van de verzamelde gegevens, waarbij de beeklengte vanaf het begin van de suppletielocatie tot het begin van het houtpakket gezien wordt als volledig opgevuld, en de daaropvolgende tong als geleidelijk aflopend (Figuur 2.7, 2.8). Wanneer de vanaf de kant gesuppleerde volumes worden vergeleken met het geschatte volume in het water in de zandtongen van Z1 en Z2, dan bedraagt de afwijking tussen beide volumes respectievelijk 47% en 49%. Er zijn geen aanwijzingen dat het ontbrekende volume naar benedenstrooms is afgevoerd, omdat er geen sporen van het zand benedenstrooms zijn waargenomen (Tabel 2.2). Dit wil zeggen dat het verschil het gevolg is van de verwerking van het materiaal in de beek. Wanneer het zand in een beek wordt gestort, treedt er dus een herverdeling van het materiaal op waardoor het een andere pakking krijgt. Vergelijkbare waarden worden ook gegeven in andere onderzoeken naar de effecten van het storten van zand op het volume: storten van zand onder water kan een relatieve dichtheidsverandering (D_r) geven van 30 tot meer dan 50% (Veldhuis, 1992).



Figuur 2.6. Geulverlegging na bodemophoging benedenstrooms suppletielocatie Z2. Stippellijnen bodemprofiel en waterlijn (blauw) november 2015, ononderbroken lijnen situatie in oktober 2014.



Figuur 2.7. Geschatte bodemophoging op suppletielocatie Z1 in november 2015 op basis van extrapolatie dwarsprofielmetingen met als uitgangssituatie februari 2015.



Figuur 2.8. Geschatte bodemophoging op suppletielocatie Z2 in november 2015 op basis van extrapolatie dwarsprofielmetingen met als uitgangssituatie februari 2015.

3 Effecten op de macrofauna en de habitatkwaliteit voor deze groep

3.1 Methode

De effecten op de macrofauna zijn gemeten op vijf suppletielocaties (Z1 t/m Z5) (Figuur 1.1, Bijlage 1). De metingen vonden plaats van 14 t/m 22 oktober 2014, circa vier maanden na de eerste twee suppletieronden. Op iedere locatie werden vier plekken bemonsterd, van boven naar benedenstrooms de suppletielocatie: positie A.) de organische depositiezone net bovenstrooms de plek waar gesuppleerd was, positie B.) ter hoogte van de plek waar het zand oorspronkelijk was ingebracht en waar alweer verschillende substraten zichtbaar waren, positie C.) in het zandfront, waar het beddingsubstraat vrijwel volledig bestond uit zand en positie D.) direct voor het zandfront, waar de tong met zand nog niet al het organisch materiaal bedekt had (Figuur 3.1). Ter controle werden daarnaast monsters genomen in de west-tak, net benedenstrooms van de Zandmolen. In februari 2015 werd plek iii (in het zandfront) opnieuw bemonsterd om te kijken of er veranderingen waren opgetreden in de faunasamenstelling.

Iedere monsterplek werd eerst hydromorfologisch gekarakteriseerd door binnen een transect van 2 m een schatting te maken van het bedekkingspercentage van verschillende substraten (Tabel 2.1) en de diepte en de stroomsnelheid (op 0,4x de diepte) op het monsterpunt te meten. Ook werd vastgesteld hoe draagkrachtig het sediment was door te meten hoeveel centimeter een afgesloten PVC-buis met een diameter van 7,3 cm in het sediment gedrukt kon worden. Een karakterisering van de monsterpunten werd uitgevoerd door een Principal Component Analysis uit te voeren op de hydromorfologische parameters in Canoco for Windows 5 (Ter Braak & Šmilauer, 2012).

Tabel 3.1. Substraten opgenomen bij de substraatschattingen.

Type	Substraat	Toelichting
Mineraal	Grind	Diameter 20-80 mm
	Zand	Diameter 0,063-2 mm
	Klei/leem	Diameter <0,063 mm
Organisch	Stammen/takken/wortels	Dood hout en in het water groeiende boomwortels
	Grove detritus	Grof organisch materiaal, zoals blad, in het eerste stadium van afbraak (fragmenten duidelijk herkenbaar)
	Fijne detritus/organisch slib	Fijn organisch materiaal in een gevorderd afbraakstadium, kleine deeltjes waarbij fragmenten slecht herkenbaar zijn.
Vegetatie	Submerse vegetatie	Ondergedoken waterplanten
	Emerse vegetatie	Oever-/waterplanten met delen boven water
	Drijvende vegetatie	Planten met drijfbladeren. Kroos etc.
	Algen	Matten/draden van op de bodem groeiende algen

De macrofaunabemonstering vond plaats met een Surber-sampler (25 x 25 cm; 0,5 mm maaswijdte). Per plek werden telkens drie monsters genomen op willekeurige plekken in het midden van de beek, die dienden als replica's. Om de samenstelling van de levensgemeenschap vast te stellen werd een zogenoemde quickscan-techniek gebruikt. De inhoud van het net werd overgebracht in een witte uitzoekbak, waarna vervolgens alle aanwezige op het oog herkenbare taxa werden gescoord, meestal op familie- of genusniveau. Bij identificatieproblemen werd er materiaal geconserveerd en ter controle

meegenomen naar het laboratorium. Om de bemonstering te standaardiseren werd gewerkt met een vaste zoektijd (5 minuten). Van ieder taxa werd de abundantie in vijf klassen ingeschat (1: 1 exemplaar, 2: 2-5 exemplaren, 3: 5-25 exemplaren, 4: 25-100 exemplaren en 5: >100 exemplaren) om een indruk te krijgen van de aanwezige dichtheden. Het werk werd telkens door dezelfde personen verricht om inschattingsverschillen te voorkomen. In totaal zijn 75 monsters genomen in oktober 2014 en 15 in februari 2015.

De analyse bestond uit het statistisch toetsen van de verschillen tussen de monsterplekken in het totale aantal taxa en het aantal taxa dat als positief kenmerkend is aangeduid voor het KRW-watertype passend bij de Leuvenumse beek (R5). De KRW-beoordeling gaat grotendeels uit van soorten. Omdat in de quickscan veelal tot op een hoger taxonomisch niveau is gedetermineerd, zijn alleen die indicatoren geteld die terug te herleiden waren tot het juiste taxonomische niveau. Daarnaast is op een vergelijkbare wijze afgeleid welke taxa als rheofiel (stromingsminnend) konden worden geclassificeerd op basis van Verberk et al. (2012). De replica's per plek zijn telkens bij elkaar gevoegd en geanalyseerd met OneWay ANOVA's gevolgd door een Tukey post hoc procedure om de onderlinge verschillen tussen de plekken te bepalen (significantie $P < 0,05$). In sommige gevallen was een log-transformatie noodzakelijk om aan de randvoorwaarden van de test te voldoen. De herhaalde metingen in het zandfront in oktober 2014 en in februari 2015 werden getest met een gepaarde t-test.

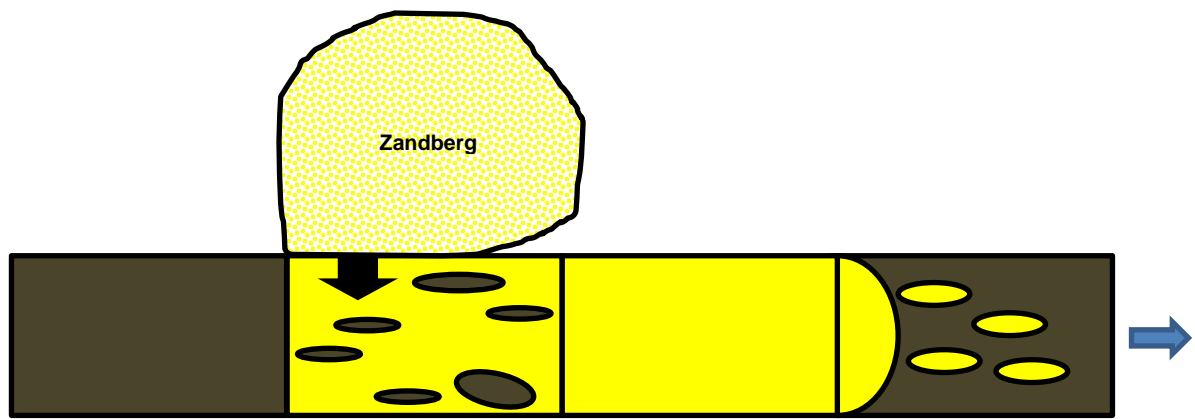
3.2 Resultaten en discussie

Hydromorfologische veranderingen na zandsuppletie

De suppletie had invloed op de hydromorfologische omstandigheden in het omliggende beektraject (Figuur 3.1 en 3.2, Tabel 3.2). Net bovenstrooms van de suppletielocaties (de organische depositiezone A.) was sprake van een ophoping van een grote hoeveelheid fijne detritus. Ook was er een slappe bodem ontstaan. Op de plek waar het zandfront al gepasseerd was (positie B) waren de omstandigheden sterk veranderd ten opzichte van bijvoorbeeld de controle of de situatie in het zandfront. Deze zone werd gekenmerkt door een heterogeen substraat met naast de op de andere plekken ook voorkomende substraten zand, grove en fijne detritus en hout ook grindbankjes, pleksgewijze groei van draadalgen op de bodem en (deels door hout ingevangen) submerse vegetatie, bestaande uit Sterrenkroos (*Callitriche* sp.) en Grote waterranonkel (*Ranunculus peltatus* var. *heterophyllus*) (Foto 3.1). De stroomsnelheid was er relatief hoog ten opzichte van de andere plekken. Zoals te verwachten was in het zandfront (positie C) zand sterk overheersend. Het zandpakket had een hoge pakking. De controle en het traject net benedenstrooms het zandfront (positie D) waren vergelijkbaar qua substraatsamenstelling.

Tabel 3.2. Gemiddelde waarden hydromorfologische parameters voor de verschillende posities t.o.v. de suppletielocatie ($n = 15$). –: niet aanwezig, 0: waarde $< 0,5$.

Parameter	Gemiddelde waarde per traject				Controle
	A	B	C	D	
Grind (% bedekking)	-	7	-	-	-
Zand (% bedekking)	13	65	89	47	46
Algen (% bedekking)	-	2	-	-	-
Submerse vegetatie (% bedekking)	0	3	0	0	0
Hout (% bedekking)	2	5	0	6	4
Grove detritus (% bedekking)	7	12	1	17	20
Fijne detritus (% bedekking)	65	7	10	30	31
Diepte (cm)	39	29	25	27	18
Stroomsnelheid (cm/s)	10	26	19	12	19
Draagkracht bodem (cm)	10	3	3	5	3

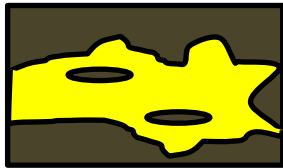


A. Bovenstroomse organische depositiezone

B. Suppletie; zandfront gepasseerd

C. Suppletie; in zandfront

D. Suppletie; vlak voor zandfront



Controle
(west-tak Zandmolen)



A



B

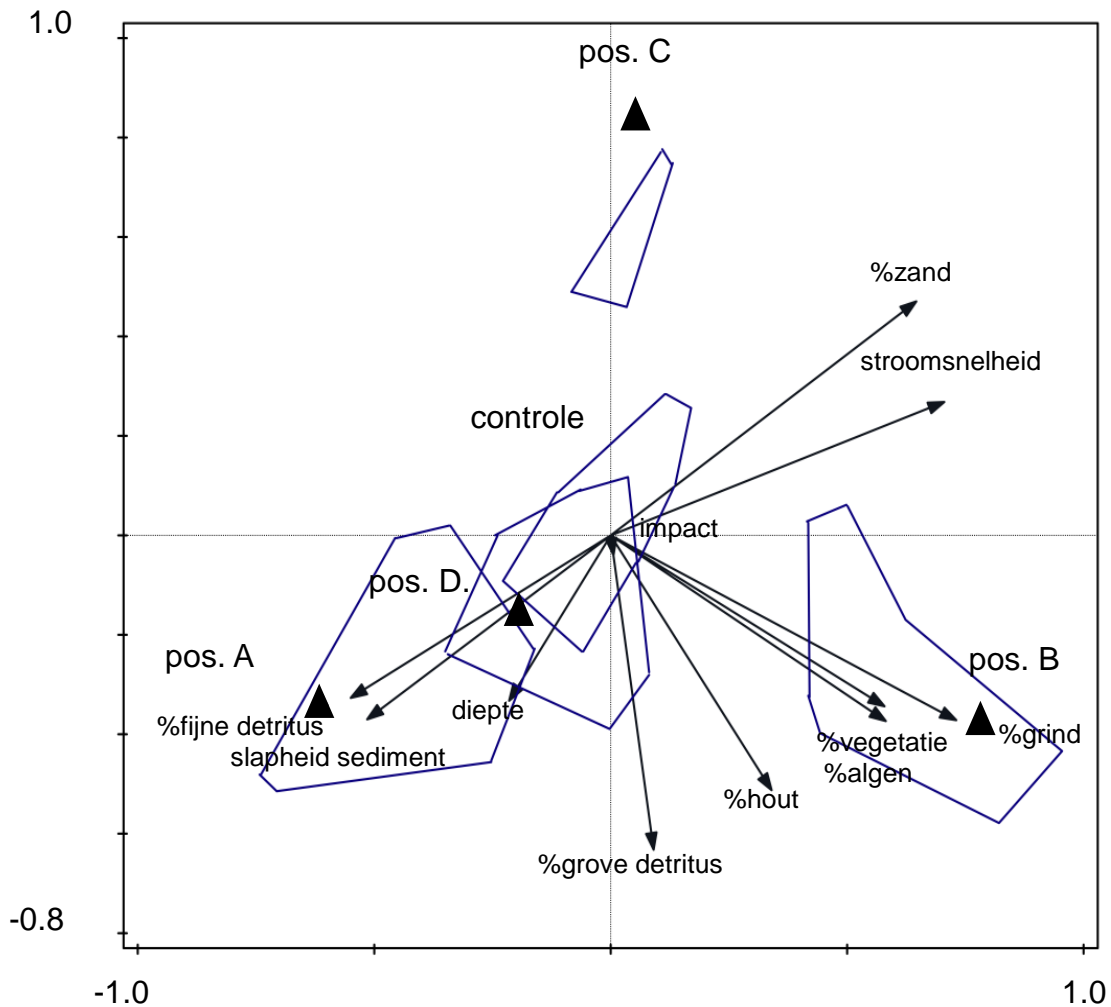


C



D

Figuur 3.1. Monsterlocaties macrofauna per suppletielocatie: A.) Bovenstroomse organische depositiezone, B.) Heterogeen substraat na passage zandfront, C.) in het zandfront, D.) vlak voor zandfront. Ter controle zijn monsters genomen in de westtak van de Leuvenumse beek benedenstrooms van de Zandmolen. De blauwe pijl geeft de stromingsrichting aan.



Figuur 3.2. Principal Component Analysis (PCA)-diagram van de hydromorfologische parameters opgenomen op de monsterlocaties. De blauwe blokken geven de monsterpunten weer, waarbij hoe kleiner het oppervlak des te vergelijkbaarder de hydromorfologische omstandigheden op deze plekken. De pijlen geven een positieve verandering in de parameterwaarden weer. Des te langer de pijl ten opzichte van de andere pijlen, des te groter het gewicht van deze factor. De hoek tussen de verschillende pijlen geeft de mate van correlatie tussen de parameters weer. Zie figuur 3.1 voor een beschrijving van de posities t.o.v. van de suppletielocatie A. t/m D.

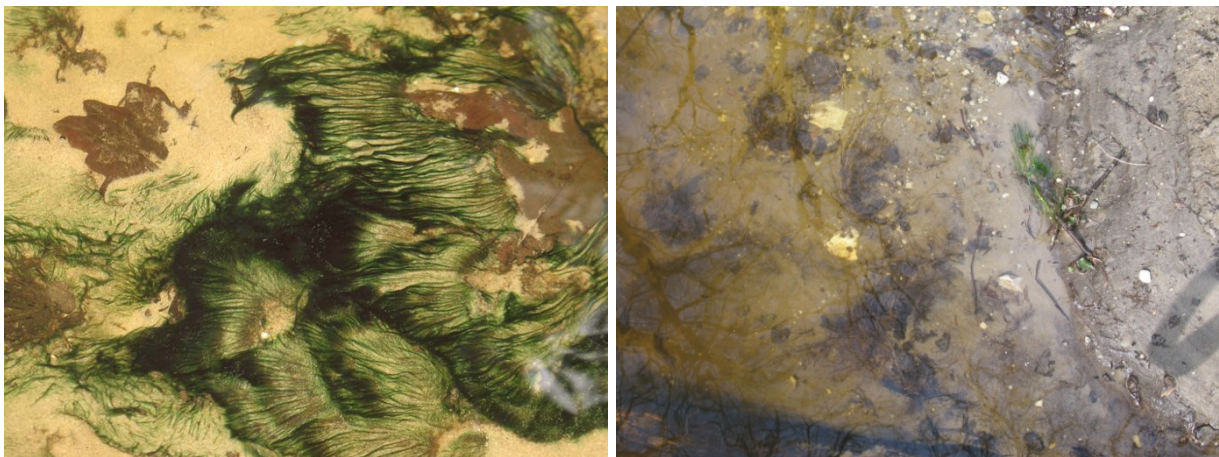
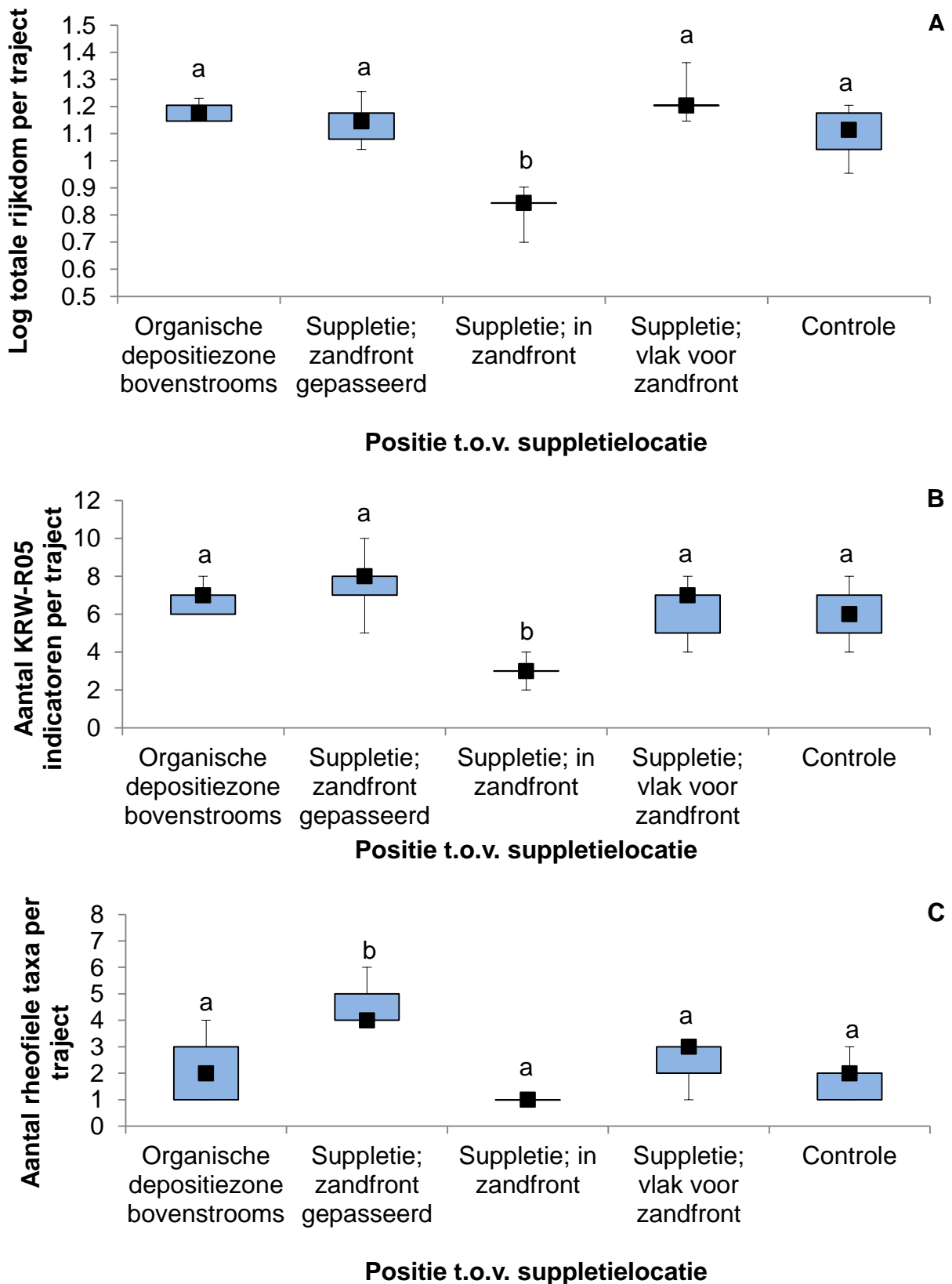


Foto 3.1. Algengroei op de bodem ter hoogte van de suppletielocatie (links) en een aangespoeld fragment van Grote waterranonkel op suppletielocatie Z1 (rechts).



Figuur 3.3: Effecten van de zandsuppletie op macrofauna voor A.) de totale taxarijkdome en B.) het aantal positief kenmerkende taxa voor KRW-type R5 per traject. C.) het aantal rheofiele (stromingsminnende) taxa ($n = 5$). Boxen geven het 25-75% percentiel weer rondom de mediaan (zwarte vierkant) en de lijnen de minimum en maximum waarde. De gemiddelden voor trajecten met verschillende letters zijn significant verschillend.

Tabel 3.3: Waargenomen taxa per traject. De maximale abundantieklasse is gegeven voor de monsters genomen in een bepaald traject (1: 1 exemplaar, 2: 2-5 exemplaren, 3: 5-25 exemplaren, 4: 25-100 exemplaren en 5: >100 exemplaren).

Taxon	Positie (maximale abundantieklasse)				
	A	B	C	D	Controle
Planariidae: <i>Polycelis nigra/tenuis</i> (Platwormen)	0	0	0	1	1
Dugesiiidae: <i>Schmidtea lugubris/polychroa</i> (Platwormen)	2	0	0	1	0
Physidae: <i>Physa fontinalis</i> (Slakken)	1	1	0	0	0
Planorbidae: <i>Anisus</i> sp. (Slakken)	1	0	0	0	0
Sphaeriidae: <i>Pisidium</i> sp. (Tweekleppigen)	3	2	0	3	2
Oligochaeta (Wormen)	4	3	3	3	2
Glossiphoniidae: <i>Glossiphonia complanata</i> (Bloedzuigers)	1	0	1	2	0
Erpobdellidae: <i>Erpobdella octoculata</i> (Bloedzuigers)	0	1	0	2	0
Erpobdellidae: <i>Trocheta</i> sp. (Bloedzuigers)	0	0	0	1	0
Hydracarina (Watermijten)	3	2	0	1	1
Asellidae (Waterpissebedden)	3	2	1	3	3
Gammaridae: <i>Gammarus pulex</i> (Vlokreeften)	4	3	2	5	4
Baetidae: <i>Baetis vernus</i> (Haften)	2	3	0	2	2
Leptophebiidae: <i>Leptophlebia marginata</i> (Haften)	4	3	2	3	4
Ephemeridae: <i>Ephemera danica</i> (Haften)	3	2	2	4	3
Nemouridae (Steenvliegen)	3	2	2	3	4
Sialidae: <i>Sialis</i> sp. (Gaasvliegen)	2	0	0	1	0
Dytiscidae: <i>Platambus maculatus</i> larve (Waterkevers)	2	0	0	1	2
Gyrinidae: <i>Orectochilus villosus</i> larve (Waterkevers)	2	2	0	1	0
Elmidae (Waterkevers)	0	1	0	0	0
Dryopidae: <i>Dryops</i> sp. larve (Waterkevers)	0	0	0	1	0
Ceratopogonidae (Muggen)	3	1	2	2	3
Chironomidae (Muggen)	3	3	2	2	3
Simuliidae (Muggen)	1	1	0	1	1
Limoniidae (Muggen)	1	3	2	1	2
Pediicidae: <i>Dicranota</i> sp. (Muggen)	1	2	0	1	0
Tabanidae (Vliegen)	1	0	0	1	1
Hydropsychiidae: <i>Hydropsyche pellicidula/angustipennis</i> (Kokerjuffers)	3	3	0	2	0
Polycentropodidae: <i>Polycentropus</i> sp./ <i>Plectrocnemia conspersa</i> (Kokerjuffers)	3	1	0	2	2
Bereidae: <i>Bereodes minuta</i> (Kokerjuffers)	1	1	0	1	0
Limnephilidae: <i>Halesus radiatus</i> (Kokerjuffers)	1	2	2	3	2
Limnephilidae: <i>Glyptotaelius pellicidulus</i> (Kokerjuffers)	1	1	0	1	3
Limnephilidae: <i>Potamophylax rotundipennis</i> (Kokerjuffers)	0	0	0	0	1
Phyrganeidae: <i>Phyrganea</i> sp. (Kokerjuffers)	0	0	0	1	0
Leptoceridae: <i>Athripsodes</i> sp. (Kokerjuffers)	1	1	0	0	0

Effecten van zandsuppletie op macrofauna

In totaal werden 35 taxa waargenomen (Tabel 3.3). Het gemiddeld aantal taxa bleek significant lager in het zandfront (positie C.), terwijl de andere trajecten rondom de suppletie locaties en de controle niet onderling verschilden (Oneway ANOVA $F_{4,24} = 19,6$, $P < 0,001$; Figuur 3.3A). Een vergelijkbaar beeld kwam naar voren wanneer alleen het gemiddeld aantal taxa dat positief kenmerkend was voor het KRW watertype R5 werd bekeken (One-Way ANOVA: $F_{4,24} = 7,9$, $P = 0,001$; Figuur 3.3B). De organische depositiezone bovenstrooms van de suppletie locaties was niet armer aan (indicator)taxa, een bevinding in lijn met de resultaten van een veldexperimenteel onderzoek naar de effecten van stagnatie op de macrofauna van de Leuvenumse beek, waarin ondanks de depositie van fijn organisch materiaal vrijwel geen veranderingen in de levensgemeenschap optraden (Verdonschot et al., 2015).

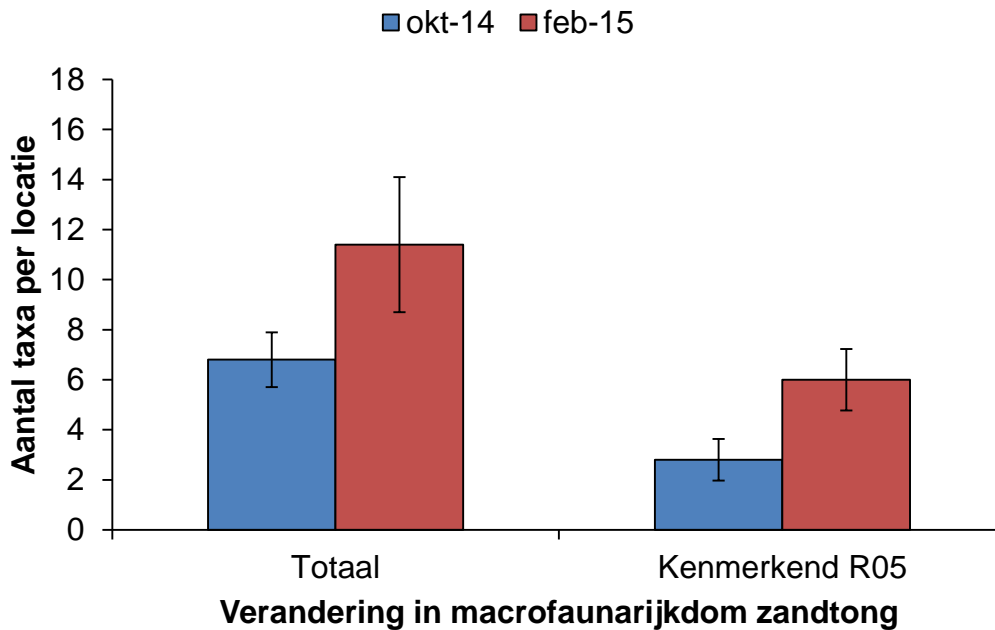
De waargenomen hoge stroomsnelheden op positie B werden bevestigd door de aanwezigheid van een significant hoger aantal stromingsminnende taxa in vergelijking met de andere trajecten, waaronder de controle (Figuur 3.3C). Gezien de hogere dichtheden van stromingsminnende soorten op deze nieuw ontstane plekken verloopt de kolonisatie dus relatief snel. Wel is het belangrijk om te weten dat de aangetroffen soorten al bekend waren van binnen het stroomgebied van de Hierdense beek (Verdonschot et al., 2013), ze zijn dus afkomstig van omliggende trajecten. Deze kolonisatie verloopt in de Leuvenumse beek zeer snel; uit onderzoek aan opnieuw aangetakte meanders blijkt dat deze al binnen enkele weken door een aanzienlijk deel van de levensgemeenschap gekoloniseerd zijn (J. Westveer, Universiteit van Amsterdam; mond. med.).

Herstel van de macrofaunalevensgemeenschap bij het verouderen van het zandfront

Acht maanden na het suppleren was de substraatsamenstelling veranderd ten opzichte van de situatie vier maanden na het suppleren (Tabel 3.4). De bedekking van grove detritus was significant toegenomen ten koste van de bedekking zand (Wilcoxon signed ranks test; $Z = -2,03$, $P = 0,042$). Ook waren er veranderingen in de levensgemeenschap opgetreden; er sprake van een significante toename van het totale aantal taxa (gepaarde t-test, $t = -3,57$, $P = 0,023$; Figuur 3.5, Tabel 3.5) en het aantal positief kenmerkende taxa in het zandfront (gepaarde t-test, $t = -3,72$, $P = 0,020$).

Tabel 3.4. Gemiddelde waarden hydromorfologische parameters in oktober 2014 (4 maanden na suppletie) en februari 2015 (8 maanden na suppletie) ($n = 15$). –: niet aanwezig, 0: waarde < 0,5. Significantie op basis van Wilcoxon Signed ranks tests (* $P < 0,05$; n.s. $P > 0,05$).

Parameter	Gemiddelde waarde		Significantie
	Oktober 2014	Februari 2015	
Zand (% bedekking)	89	66	n.s.
Hout (% bedekking)	0	2	n.s.
Grove detritus (% bedekking)	1	11	*
Fijne detritus (% bedekking)	10	22	n.s.
Diepte (cm)	25	18	n.s.
Stroomsnelheid (cm/s)	19	19	n.s.
Draagkracht bodem (in te drukken tot diepte in cm)	3	3	n.s.



Figuur 3.5: Gemiddeld aantal macrofaunataxa op positie C. (in het zandfront) in oktober 2014 (4 maanden na suppletie) en februari 2015 (8 maanden na suppletie). Totaal = totaal aantal macrofaunataxa; kenmerkend R05 = aantal kenmerkende taxa voor KRW-type R05.

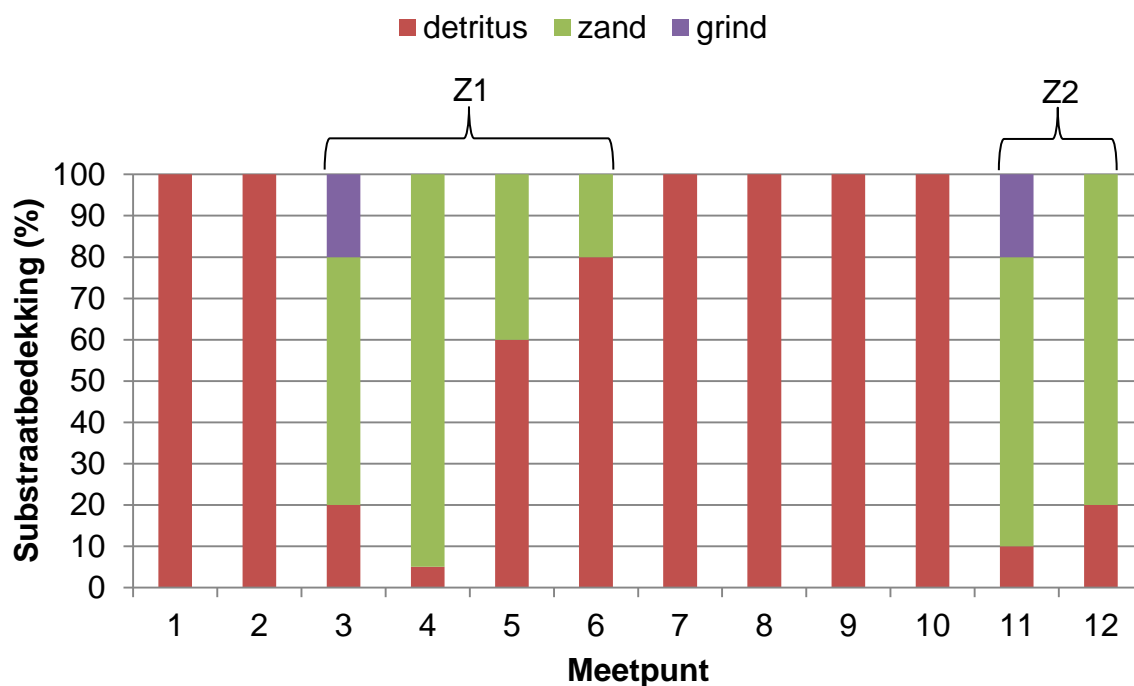
Tabel 3.5: Waargenomen macrofaunataxa op positie C. (in het zandfront) in oktober 2014 (4 maanden na suppletie) en februari 2015 (8 maanden na suppletie) (n = 5).

Taxon	Maximale abundantieklasse	
	Oktober 2014	Februari 2015
Sphaeriidae: <i>Pisidium</i> sp. (Tweekleppigen)	0	2
Oligochaeta (Wormen)	3	3
Glossiphoniidae: <i>Glossiphonia complanata</i> (Bloedzuigers)	1	0
Hydracarina (Watermijten)	0	2
Asellidae (Waterpissebedden)	1	2
Gammaridae: <i>Gammarus pulex</i> (Vlokkreeften)	2	3
Leptophlebiidae: <i>Leptophlebia marginata</i> (Haften)	2	3
Ephemeroidea: <i>Ephemera danica</i> (Haften)	2	2
Nemouridae (Steenvliegen)	2	3
Gyrinidae: <i>Orectochilus villosus</i> larve (Waterkevers)	0	1
Ceratopogonidae (Muggen)	2	2
Chironomidae (Muggen)	2	4
Simuliidae (Muggen)	0	2
Limoniidae (Muggen)	2	2
Pediicidae: <i>Dicranota</i> sp. (Muggen)	0	2
Tabanidae (Vliegen)	0	2
Polycentropodidae: <i>Polycentropus</i> sp./ <i>Plectrocnemia conspersa</i> (Kokerjuffers)	0	1
Limnephilidae: <i>Halesus radiatus</i> (Kokerjuffers)	2	4
Limnephilidae: <i>Potamophylax rotundipennis</i> (Kokerjuffers)	0	1

4 Effecten op de zuurstofhuishouding

4.1 Methode

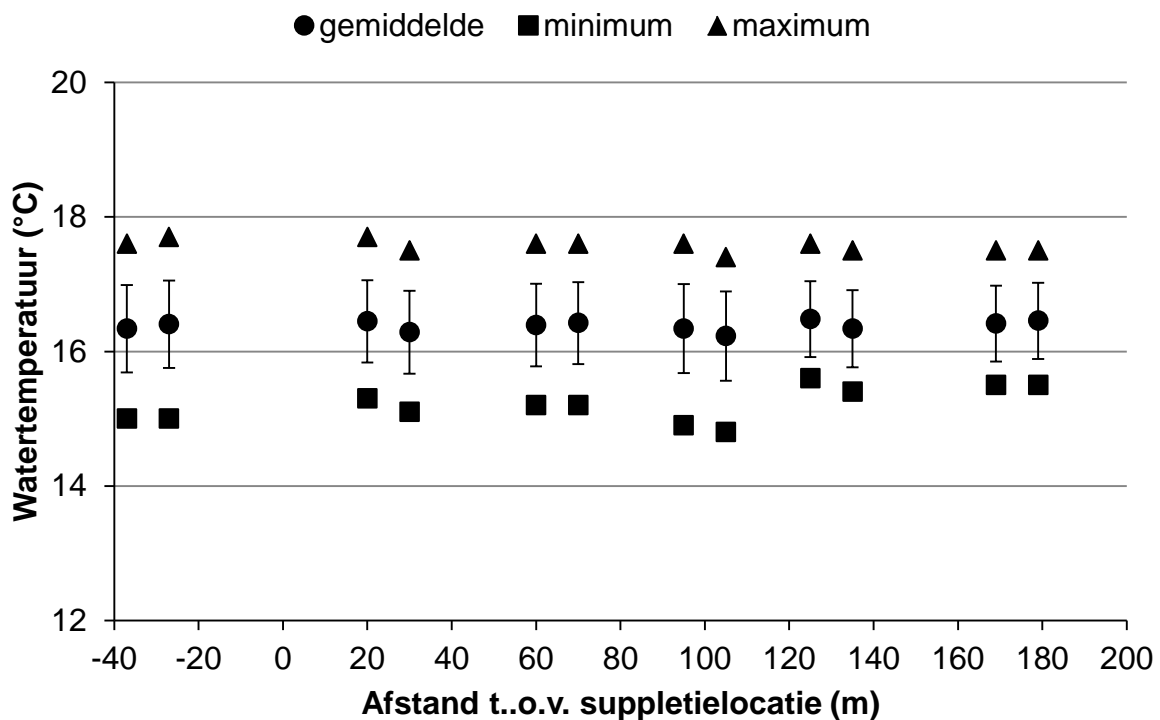
Van 24 tot 28 augustus 2015 is een continue zuurstofmeting uitgevoerd in een transect met twaalf meetpunten, startend bovenstrooms van suppletielocatie Z1 en lopend tot aan suppletielocatie Z2. De meetpunten zijn zo gekozen dat er variatie in substraat en diepte aanwezig was (Figuur 4.1). Meetpunt 1 en 2 lagen in de organische depositiezone van suppletielocatie 1, meetpunt 3 op een plek waar het zandfront al gepasseerd was en een heterogeen substraat te vinden was, meetpunt 4 t/m 6 van in tot vlak voor de zandtong en meetpunten 7 t/m 10 in een relatief diepe organische zone. Met name meetpunt 9 lag in een dieper gedeelte met een maximaal gemeten waterdiepte van ongeveer 0,8 m. De laatste twee meetpunten lagen bij suppletielocatie Z3. Op elk meetpunt werd een Hach HQ40d met een LDO zuurstofsensoren aan een metalen pin op circa 5 centimeter boven het substraat geplaatst, die ieder half uur het zuurstofgehalte en de watertemperatuur registreerde. Het weer tijdens de meetperiode werd gekenmerkt door een relatief warme dag met een luchttemperatuur 25 °C en een dag met veel neerslag (12 mm) (Tabel 4.1). De watertemperatuur van de beek was gedurende de meetperiode zeer stabiel (Figuur 4.2).



Figuur 4.1. Relatieve verdeling substraatbedekking per meetpunt. De meetpunten 3 t/m 6 liggen in de zandtong van suppletielocatie Z2. Meetpunten 11 en 12 liggen ter hoogte van suppletielocatie Z3.

Tabel 4.1. Weersomstandigheden tijdens meetperiode. Bron: KNMI.

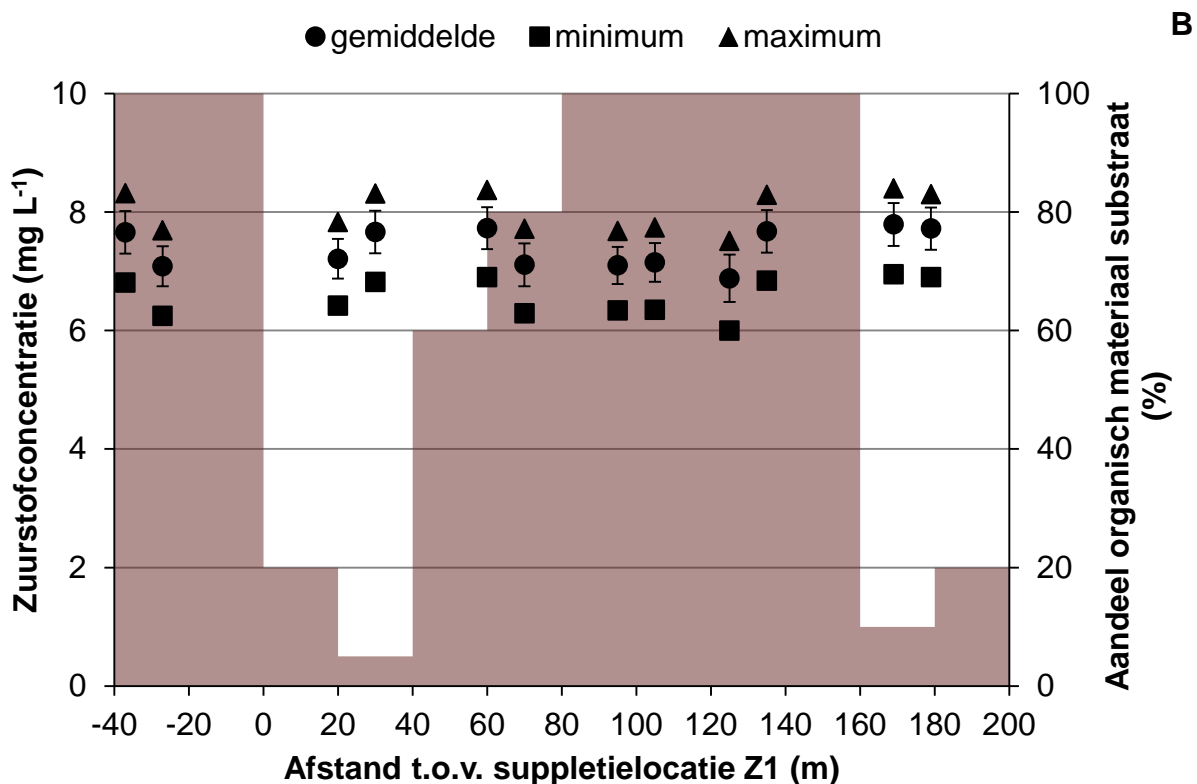
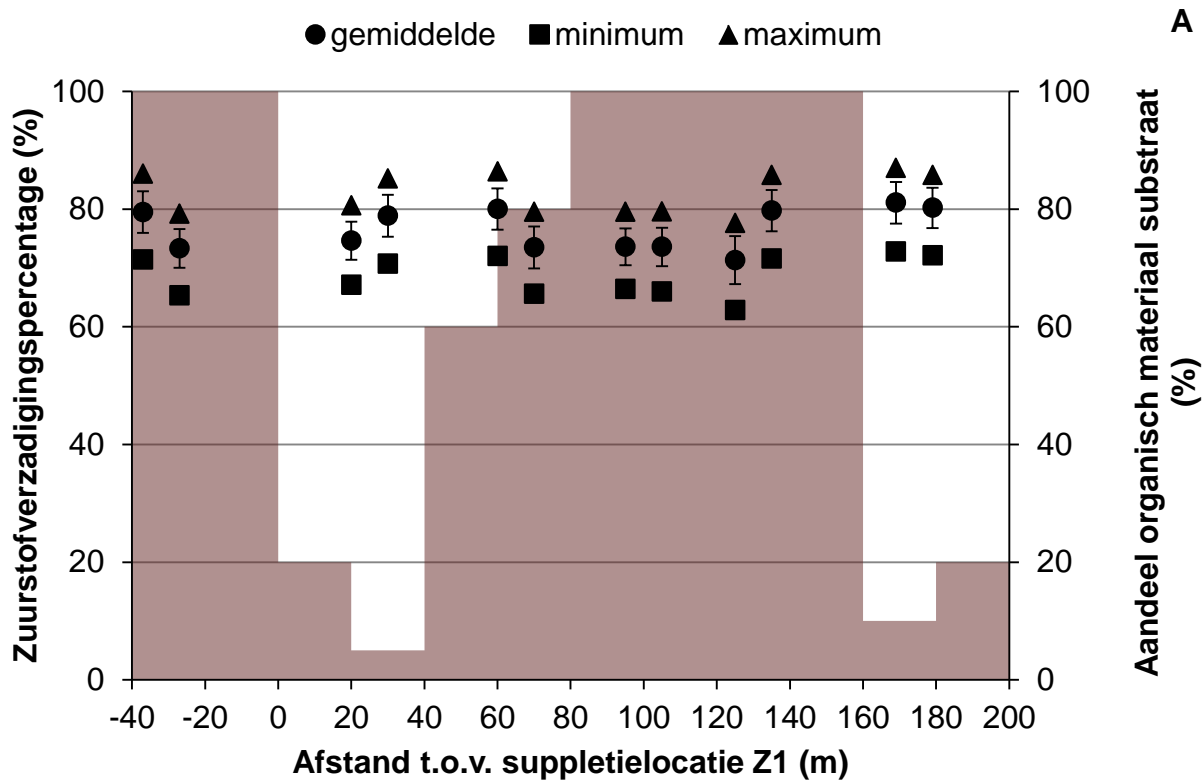
Datum	T _{min} (°C)*	T _{max} (°C)*	Zonuren (uur/dag)*	Neerslag (mm/dag) **
24-8-2015	15,3	22,9	0,46	2,6
25-8-2015	13,8	18,9	0,29	8,2
26-8-2015	16,1	25,1	0,46	2,8
27-8-2015	13,5	18,5	0	11,8
28-8-2015	10,6	20,0	0,69	2,7



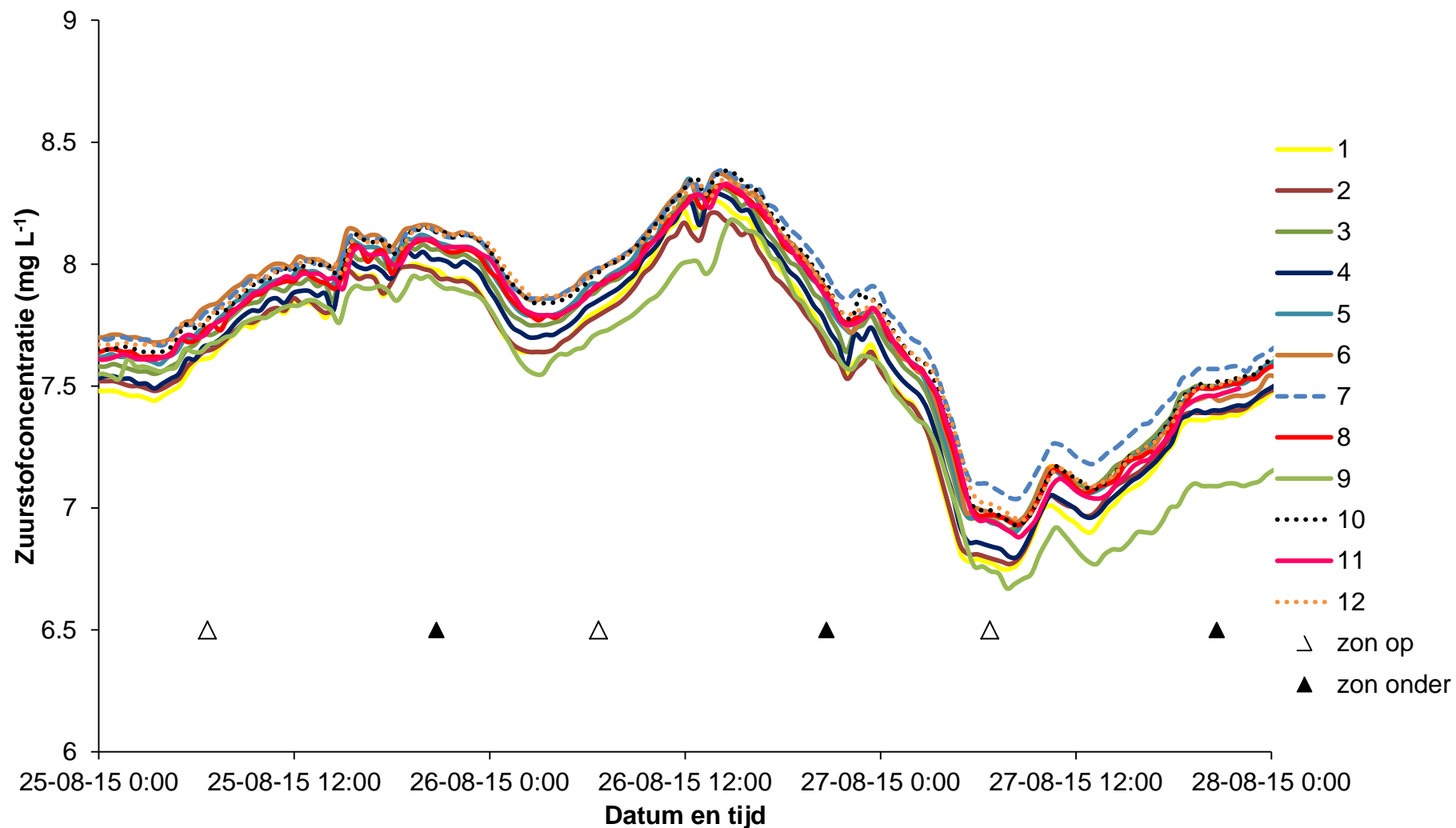
Figuur 4.2. Gemiddelde, minimum en maximum watertemperatuur op vijf centimeter boven het substraat op twaalf plekken ten opzichte van suppletielocatie Z1 tussen 24 en 28 augustus 2015 (op basis van twee metingen per uur).

4.2 Resultaten en discussie

Zowel het gemiddelde als het minimum zuurstofgehalte en zuurstofverzadigingspercentage in de beek was in de periode 24 tot 28 augustus 2015 op alle meetpunten hoog, gemiddeld tussen de 71 en 81% verzadiging (Figuur 4.3). Ter vergelijking, een zuurstofverzadiging tussen de 11-22% (1-2 mg/L bij 20°C) wordt gezien als kritiek voor beekmacrofauna (McCahon et al., 1991). Wanneer de concentratie opgelost zuurstof in de tijd uitgezet werd, bleek dat de zuurstofconcentraties op de verschillende meetpunten langs het transect dicht bij elkaar in de buurt lagen (Figuur 4.4). De laagste concentraties werden gevonden in de diepe put (meetpunt 9). De meetpunten in de organische zones en op de suppletieplekken lagen door elkaar. Er was dus geen sprake van een daling van de zuurstofconcentratie in de organische depositiezones, maar ook geen aanrijking met zuurstof in de ondiepe snelstromende delen op de plekken waar zand was gesuppleerd. Deze bevinding is in lijn met de resultaten van een veldexperimenteel onderzoek naar de effecten van stagnatie in de Leuvenumse beek, waarin ondanks de depositie van fijn organisch materiaal vrijwel geen veranderingen in de fysisch-chemische omstandigheden optraden (Verdonschot et al., 2015). Opvallend is dat er in de beek dikke lagen organisch materiaal op de bodem aanwezig zijn, maar dat deze kennelijk weinig zuurstof verbruiken uit de waterkolom. De sterk gebufferde en relatief lage watertemperatuur als gevolg van de zware beschaduwning van de beek in combinatie met relatief ondiep water met een continue doorstroming kan een rol spelen bij het relatief lage zuurstofverbruik, maar mogelijk hangt dit ook samen met de relatief slechte verteerbaarheid van het type blad waaruit de organische laag op de meeste plaatsen bestaat (eik, beuk). Aandachtspunt is een daling van het zuurstofgehalte op alle punten op 27 augustus, samenhangend met hevige regen en een afvoerpiek (Tabel 4.1, Figuur 2.2). Het lijkt erop dat een overstort (Elspeet), het inspoelen van materiaal vanaf de aanliggende gronden en/of het in suspensie raken van fijne deeltjes leidt tot een verhoogde consumptie van zuurstof in de waterkolom.



Figuur 4.3. Gemiddelde, minimum en maximum A.) zuurstofverzadiging en B.) zuurstofconcentratie op vijf centimeter boven het substraat op twaalf plekken ten opzichte van suppletielocatie Z1 tussen 24 en 28 augustus 2015 (op basis van twee metingen per uur). Het aandeel organisch materiaal op de bodem op de meetpunten is aangegeven met bruine balken.



Figuur 4.4. Half-uurs zuurstofconcentratiemetingen uitgezet tegen de tijd voor de verschillende meetpunten (voor nummering meetpunten zie Fig. 4.1).

5 Conclusies

Fysische effecten

Houtpakketten bepalen de maximaal haalbare bodemhoogte in de onderzochte trajecten

Uit de metingen aan de drie zandsuppletielocaties in 2015 blijkt dat de benedenstroomse invloed van een suppletie in eerste instantie bepaald wordt door de aanwezigheid van houtpakketten. Deze vormen de drempels die die maximaal haalbare bodemhoogte bepalen. Wanneer er meer zand wordt aangevoerd dan dit maximum, dan wordt dit zand over/door het houtpakket heen verder naar benedenstrooms getransporteerd, tot het een nieuw houtpakket tegenkomt en het proces van aanvulling opnieuw begint. Uiteraard speelden de dimensies van de beekbedding hierbij ook een rol.

De drempelwerking verschilde per houtpakket, afhankelijk van de hoogte en mate van verdichting; dit laatste was bijvoorbeeld duidelijk zichtbaar in november 2015 op suppletielocatie Z1, waar ophopingen van afgevallen bladeren zorgden voor extra drempelwerking en zandinvang, waardoor de bodem gemiddeld een 53 centimeter omhoog kon komen ten opzichte van de situatie aan het begin van het jaar. Hier ontstond met de bodemophoging uiteindelijk de gewenste verbinding tussen de beek en het dal en is meer inundatie-oppervlak verkregen. Op de langere termijn zal het gevolg hiervan zijn dat de dynamiek in de stroomgeul kleiner zal worden, omdat de kracht van het water bij piekafvoeren gedempt wordt door de verdeling van het beekwater over de kleinere loopjes en geïnundeerde zones in het dal. Dit heeft weer het gevolg dat het zand minder kans heeft te eroderen, waardoor dus een zelfversterkend effect optreedt. Op de andere twee locaties was de gemiddelde ophoging lager, respectievelijk 24 en 26 centimeter en bleef er een grote afstand tussen het maaiveld en de beek.

Wanneer suppleties in combinatie met houtpakketten uitgevoerd worden, is het belangrijk dat deze pakketten ook daadwerkelijk als een drempel fungeren. Uitgaande van een vlechtwerkstructuur (Verdonschot et al., 2012) moet deze voldoende verdicht zijn om zand te kunnen vasthouden, idealiter tot op een niveau dat er een verbinding ontstaat tussen de beek en het dal (water op maaiveld), terwijl dit niet te veel ten koste mag gaan van de doorstroming, omdat dan de positieve effecten van hout op bijvoorbeeld de biologie en de substraatdifferentiatie teniet gedaan worden. Het vinden van deze balans tussen een goede drempelwerking van een houtpakket, maar wel met behoud van een dusdanige openheid dat het houtpakket ecologisch voldoende blijft functioneren vraagt nog om een nadere kwantificering.

De door de suppletie beïnvloede beeklengte is relatief klein en is afhankelijk van de afstand tussen de aanwezige houtpakketten

De beïnvloede benedenstroomse beeklengte na twee jaar zand suppleren varieerde op de onderzochte locaties tussen de 47 en 135 m bij een ingebracht volume van 220-340 m³. De metingen lieten zien dat het zand langzaam in stroomafwaartse richting schoof: de dwarsprofielmetingen lieten duidelijke verschillen zien tussen de opgehoogde en de niet opgehoogde dwarsprofielen en in het veld was altijd duidelijk een zandtong zichtbaar in de beek, die de overgang tussen het beïnvloede en niet beïnvloede deel van de beek aangaf. Er waren geen visuele aanwijzingen voor grootschalig transport van zand door de kolom, omdat benedenstrooms van de zandtongen geen zones met verstrooid zand aanwezig waren. Dit is echter niet met metingen van transport van sediment op verschillende hoogtes in de waterkolom gevalideerd. Op locatie Z3 was zichtbaar dat wanneer de afstand tussen houtpakketten relatief groot was en er dus geen drempelwerking optrad, het zand zich sneller en verder naar benedenstrooms verplaatste (zie hierboven). Toch was deze

verplaatsing niet dusdanig dat dit grote risico's voor benedenstrooms met zich meebracht, zoals ongewenste aanzandingen; bij het eerstvolgende houtpakket stopte de zand tong weer. Anderzijds heeft de relatief geringe mobiliteit van het zand (tenminste binnen de meetperiode) tot gevolg dat suppleren op grote afstand van een doeltraject, bijvoorbeeld omdat een locatie niet bereikt kan worden met machines, weinig effectief is. Deze effectiviteit wordt ook nog eens verminderd wanneer er houtpakketten aanwezig zijn tussen doeltraject en de suppletielocatie. Deze drempels moeten dan eerst overwonnen worden voordat het zand het doeltraject kan bereiken.

Het volume dat het zand inneemt, wordt kleiner na suppletie in de beek

Opvallend was dat bijna de helft van het gesuppleerde volume zand na het inbrengen verdween, waarschijnlijk als gevolg van veranderingen in de pakking van de zandkorrels. Bij het bepalen van de benodigde volumes bij een zandsuppletie is het dus belangrijk hiermee rekening te houden, zodat de juiste volumes gesuppleerd worden. De pakking van het zand bleek hoog; een vergelijking van de indrukbaarheid van de bodem tussen verschillende beektrajecten liet zien dat niet de zand tong, maar vooral de organische depositiezone bovenstrooms de suppletielocaties een zeer zachte bodem had.

Biologische effecten

Na suppletie treedt in de zand tong een verlaging van de taxonrijkdome en een daling van het aantal KRW-indicatoren op, gevolgd door een volledig herstel nadat het zandfront gepasseerd is. Een beïnvloeding van 4-12% van de beek lengte door zandsuppleties lijkt in de Leuvenumse Beek verantwoord, gezien het gunstige verloop van de herkolonisatie van de beïnvloede trajecten door macrofauna in relatief korte tijd.

In de zand tong werden vier maanden na de tweede suppletie van 2014 lagere aantallen taxa en KRW-indicatoren gevonden. Dit geeft aan dat macrofauna verstikt of verdreven wordt door de zandsuppletie. Daarbuiten, inclusief de zone waar het zandfront al gepasseerd was, weken de aantallen niet af van de controle. Een herhaling van de metingen op de locaties in het zandfront nog eens vier maanden later liet een herstel van de levensgemeenschap zien; er treedt 'rijping' op van het systeem. Er is dus duidelijk sprake van kolonisatie vanuit de omliggende niet beïnvloede delen van de beek; via de lucht (volwassen insecten), drift vanuit stroomopwaarts gelegen populaties of dieren die zich actief naar de nieuw gevormde plekken hebben verplaatst.

Gezien deze bevindingen is het is dus belangrijk dat er altijd trajecten in de beek onaangetast blijven, zodat deze als bron van kolonisten kunnen dienen voor de beïnvloede trajecten. De zogenoemde veerkracht van het systeem (in de ecologie aangeduid met de engelse term 'resilience') moet op peil blijven, omdat de situatie in de zand tong negatief is voor de beekmacrofauna (maar weinig soorten in staat zijn de suppletie te weerstaan; de zogenoemde 'resistance' is laag. Er moet dus naar gestreefd worden de zand tong in omvang zo beperkt mogelijk te houden ten opzichte van de totale beek lengte. Als er van de hier gemeten benedenstroomse beek lengtes met een impact van de suppleties wordt uitgegaan (Z1-Z3) dan gaat het in de Leuvenumse beek om een beïnvloeding die ligt tussen de 4 tot 12% van de totale beek lengte (op basis van de 7 suppletielocaties en een beek lengte van 8 kilometer tussen A28-Oude Zwolseweg). Naast de keuze van de beek lengte waarover gesuppleerd wordt en de hoeveelheid materiaal die wordt ingebracht, kan de grootte van de zand tong worden bepaald aan de hand van de afstand tussen houtpakketten of andere structuren die als drempel kunnen fungeren.

De suppletie heeft geleid tot een verhoging van de substraatheterogeniteit en de stroomsnelheid op plekken waar het zandfront gepasseerd is. Stromingsminnende soorten macrofauna profiteerden van deze situatie.

Op de plekken waar het zandfront gepasseerd was, ontstond een mozaïek van verschillende substraten (gedomineerd door zand, grind, fijne en grove detritus en hout) en lag de stroomsnelheid hoger dan in de andere trajecten. Opvallend was de vorming van grindbedden. Dit grind was meegekomen met het plagzand en werd door het water uitgesorteerd, waardoor het als zwaarste materiaal op de plek van inbrengen achterbleef. Submerse vegetatie, met name Grote waterranonkel, werd ingevangen in de snelstromende delen door het hout en kwam daar tot ontwikkeling. In de macrofaunamonsters van deze trajecten werden relatief veel stromingsminnende soorten aangetroffen, die blijkbaar in staat waren deze plekken binnen vier maanden te koloniseren. Hoe de situatie zich op de langere termijn ontwikkelt, wanneer er niet telkens een 'pioniersituatie' ontstaat door nieuwe suppleties is niet duidelijk; zijn de positieve effecten op de habitatheterogeniteit en de macrofauna duurzaam of slechts een tijdelijk fenomeen?

De organische depositiezones en diepe delen met een lage stroomsnelheid doen wat betreft taxarijkdom en het aantal KRW-indicatoren niet onder voor andere beektrajecten, wat waarschijnlijk samenhangt met het feit dat ook op deze plekken de zuurstofconcentraties in orde zijn.

Beektrajecten met een organische bodem van fijne en grove detritus, zoals deze voor de suppleties al aanwezig waren over grote lengte en nieuw zijn ontstaan als gevolg van de opstuwung van water net bovenstrooms de suppletielocaties, bleken vergelijkbare aantallen taxa en KRW-indicatoren te bevatten in vergelijking met andere trajecten met een meer gevarieerde substraatbedekking. Belangrijk hiervoor was de bevinding dat het zuurstofgehalte van het beekwater vlak boven de bodem relatief hoog was (meetpunt met de laagste waarden had een gemiddeld verzadigingspercentage van 71%) en geen grote fluctuaties tussen dag en nacht kende. Perioden met zuurstoftekorten traden dus niet op in de organische trajecten, zelfs niet in een relatief diep deel van beek. Dit ondanks zomerse omstandigheden met een luchttemperatuur van maximaal 25 graden Celsius in de meetperiode. De depositie van organisch materiaal in de stagnerende zone bovenstrooms de suppletie heeft dus geen negatieve effecten op de macrofaunalevensgemeenschap van de Leuvenumse beek.

6. Aanbevelingen

Waar kan in de toekomst het beste gesuppleerd worden

Het onderzoek laat zien dat de zandtong zich traag stroomafwaarts verplaatst. Om de gestelde doelen op korte termijn te bereiken, is het dus efficiënter zand te suppleren op die plekken waar dit nodig is, in plaats van verder bovenstrooms suppleren en de stroming het werk te laten doen. De doelen van het project waren het opvullen van diepe putten in de beekbodem en het verbinden van beek en beekdal. De zuurstofmetingen en macrofaunabemonsteringen laten echter zien dat het opvullen van de diepe putten in de beekbodem geen ecologische meerwaarde heeft, omdat deze organische zones zowel typische beeksoorten bevatten (KRW-indicatoren voor het type R5) als dat het zuurstofniveau in de zomer vlak boven de bodem voldoende hoog is voor de levensgemeenschap. Morfologisch gezien kan het opvullen van de putten wel terugschrijdende erosie voorkomen.

De grootste ecologische winst is dus te bereiken op plekken waar bodemophoging op korte termijn leidt tot verbinding tussen de beek en het beekdal; oftewel de plekken waar de beek het snelst op het niveau van het maaiveld gebracht kan worden. Zandsuppletie als beheersmaatregel kan dus het beste gericht ingezet worden op plekken waar al laagtes in het landschap aanwezig zijn. De combinatie houtpakketten (die als bodemdrempel fungeren) en zandsuppletie zal hier relatief snel tot resultaat leiden. Om de meest kansrijke plekken te

kunnen selecteren is het noodzakelijk goed in beeld te hebben waar exact de lage delen in het landschap aanwezig zijn.

Effectiviteit van de maatregel op de langere termijn

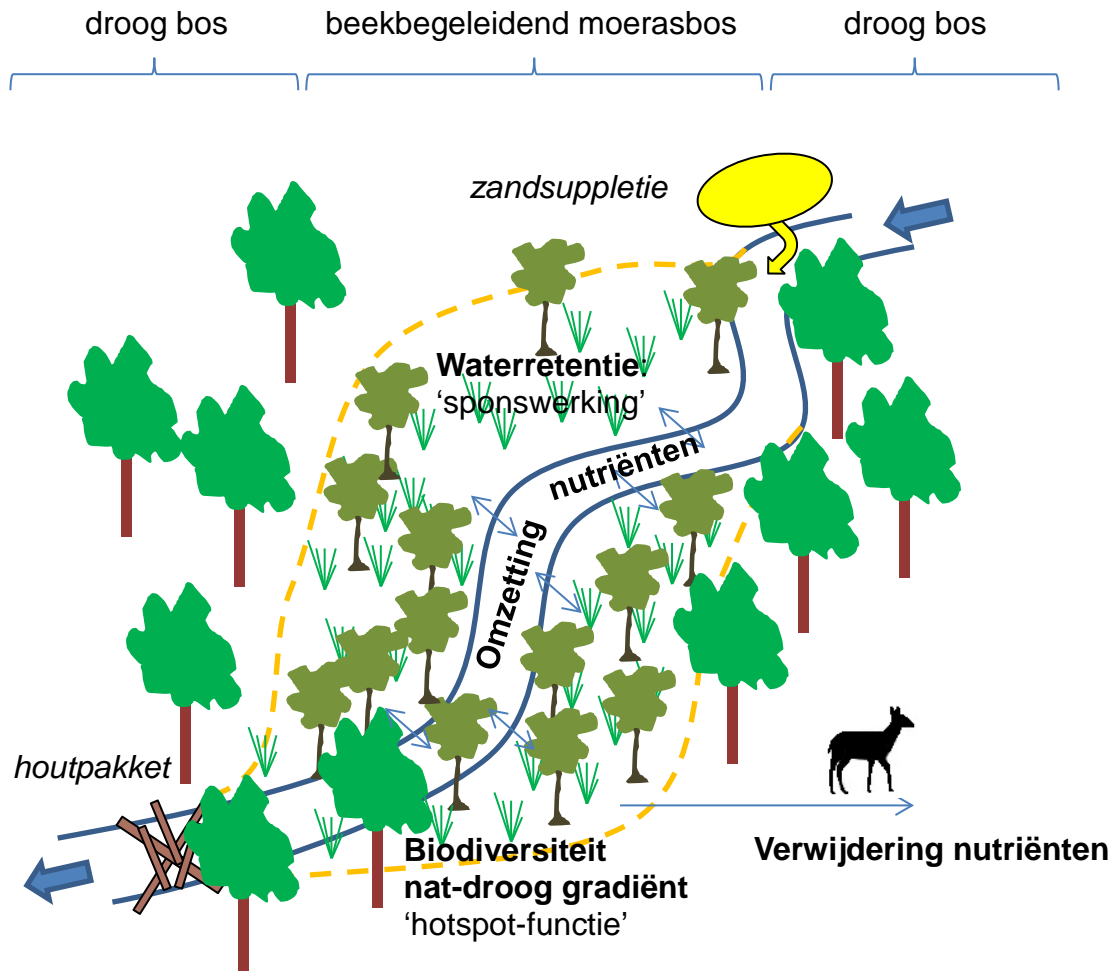
Op basis van de metingen, die één jaar beslaan, is nog niet veel te zeggen over de situatie in de beek op de langere termijn. We adviseren dan ook de dwarsprofielmetingen nog enige jaren te herhalen om een beter beeld te krijgen van de stabiliteit van de opgehoogde beekbodem. Een lagere meetfrequentie (1x per jaar in het voorjaar) is hierbij voldoende om deze ontwikkelingen in beeld te krijgen. Daarnaast is het zinvol om ook de lange-termijneffecten van de uitgevoerde maatregelen op de beeklevensgemeenschap in beeld brengen en hier ook vissen en waterplanten in te betrekken.

De omvorming van het droge beekdal tot een beekbegeleidend moeras en moerasbos biedt mogelijkheden voor het verhogen van de biodiversiteit, waterretentie en het verwijderen van voedingsstoffen uit het beekwater.

Het verbinden van beek en beekdal heeft inmiddels plaatsgevonden bij suppletielocatie Z1. Gevolg op deze locatie was het vernatten van de oeverzone en het ontstaan van nat-drooggradiënten met een duidelijk zichtbare verandering in de oevervegetatie en ook in de vegetatie verder van de beek af. Waarschijnlijk heeft dit ook positieve consequenties voor de rest van de levensgemeenschap, zoals ongewervelden (habitat en voedsel) en (grote) zoogdieren (voedsel). Gezien de situering van de beek in een groot natuurgebied en de grote beeklengte die hierbinnen ligt, zou het in de toekomst kunnen leiden tot de terugkeer van de typische beekdalflora en -fauna: planten, ongewervelden, maar mogelijk ook aansprekende grotere beekdalbewonende soorten, zoals misschien wel ooit de zwarte ooievaar (Boele, 2013)? Eventuele veranderingen worden op dit moment echter niet goed gekwantificeerd. Hiervoor zouden jaarlijks in de zomer vegetatieopnamen gemaakt moeten worden in permanente kwadraten in combinatie met monitoring van indicatoren voor beekbegeleidende zones (bijv. ongewervelden). Uiteindelijk zou deze vernatte zone langs de beek kunnen veranderen van een droog bos naar een beekbegeleidend bos (elzenbroek). Echter, zaden moeten wel de laagtes bereiken, de kans krijgen te kiemen en de zaailingen zich te ontwikkelen. Gezien de mate van isolatie van het beekstelsel en hoge dichtheden aan wild in het Leuvenumse bos is dit nog wel een aandachtspunt, omdat het onduidelijk is waar i) eventuele kolonisatiebronnen liggen, en ii) te hoge graasdruk ervoor kan zorgen dat een beekbegeleidend bos niet tot ontwikkeling kan komen. Deze ontwikkelingsrichtingen zouden verder onderzocht moeten worden. Een 'hotspot'-meting, waarbij gekeken wordt waar momenteel de hoogste biodiversiteitswaarden en dus kolonisatiebronnen in het systeem liggen is hierbij nuttig, net zoals het bekijken van de invloed van zoogdieren op de moerasontwikkeling in het beekstelsel.

Voordeel van een goed ontwikkeld beekbegeleidend bos is, naast de hoge biodiversiteitswaarde, dat deze zones optreden als een 'spons'; water wordt langer vastgehouden, waardoor het bos kan worden ingezet als buffer van afvoerpieken en voor water conservering in perioden van droogte (Figuur 6.1). Verder heeft het beekbegeleidend bos een open bladerdak, waardoor meer licht de beek kan bereiken dan bij beschaduwing door bijvoorbeeld beuk of eik. Ook ontstaan open plekken op de natste locaties, omdat bomen hier niet stand kunnen houden. Dit leidt tot plaatselijke waterplantenontwikkeling (bijv. meer velden met waterranonkels) in de beek, wat weer positief doorwerkt op de aquatische levensgemeenschap, omdat het habitat, voedsel en schuilplaatsen biedt voor bijvoorbeeld macrofauna en vis. Op grotere open plekken ontstaat een moeras. Deze moerassen kunnen een belangrijke invloed uitoefenen op de nutriëntengehalten in de beek (Figuur 6.1). De metingen lieten bijvoorbeeld zien dat er tijdens afvoerpieken nog altijd te hoge fosfaatgehalten gemeten worden in de beek. Deze voedingsstoffen kunnen door moerasvegetaties worden afgevangen, zeker wanneer door begrazing van de moerasvegetatie door groot wild een deel van de biomassa afgevoerd wordt verder het bos in. Op zijn beurt stimuleert de mest van de dieren weer de productie in het verder voedselarme droge bos. Dit proces zou verder gekwantificeerd kunnen worden door gerichte

metingen uit te voeren in de nieuw ontstane moerassen wat betreft nutriëntenbudgetten (waar worden voedingsstoffen opgenomen en dalen de nutriëntengehaltes tijdens piekafvoeren?) en de mate van sponswerking van verschillende delen van het gebied (waar wordt het water het meest efficiënt vastgehouden?).



Figuur 6.1 Schematisch overzicht van de functies van met de beek verbonden laagtes.

Oplossingsrichtingen voor de gekanaliseerde, diep liggende trajecten

In twee situaties is verbinding tussen beek en beekdal niet goed mogelijk: daar waar de beek zeer diep ligt omdat daar een voormalig stuifduin doorgraven is en op plekken waar wallen langs de (gekanaliseerde) beek opgeworpen zijn. Suppleren heeft hier weinig zin, omdat het maaiveld niet bereikt kan worden met de huidige maatregelen. Alternatief voor het suppleren van zand in de beek zou hier het plaatselijk in de beek schuiven van de wallen zijn, waardoor de beek hoger in het landschap komt te liggen en de bovengenoemde verbinding tussen beek en beekdal hersteld kan worden. In het geval van de stuifduinen kan bekeken worden of de beek een meer natuurlijke weg zou kunnen volgen door de laagtes die al in het gebied aanwezig zijn. Ook dit vraagt om nader hydrologisch onderzoek om de waterstromen in het gebied te kwantificeren en de effecten op de benedenstroomse delen van de beek te kunnen voorspellen.

Literatuur

- Boele, A. 2013. Kuifaalscholver nieuwe broedvogel voor Nederland; Zwarte Ooievaar de volgende? SOVON-nieuws 26: 20.
- ter Braak C.J.F. & P. Šmilauer, 2012. Canoco reference manual and user's guide: software for ordination, version 5.0. Microcomputer Power, Ithaca, USA, 496 pp.
- Didderen, K., Verdonschot, R.C.M. & P.F.M. Verdonschot, 2008. Herstel Jufferbeek door houtinbreng. Alterra rapport 1737, Alterra, Wageningen.
- Gordon, N.D., McMahon, T.A., Finlayson, B.L., Gippel, C.J. & R.J. Nathan, 2004. Stream hydrology: an introduction for ecologists. Second edition. John Wiley & Sons Ltd, Chichester.
- McCahon, C.P., Poulton, M.J., Thomas, P.C., Xu, Q., Pascoe, D. & C. Turner, 1991. Lethal and sub-lethal toxicity of field simulated farm waste episodes to several freshwater invertebrate species. Water Research 25: 661-671.
- Veldhuis, A., 1992. Uitlevering van zand. Bepaling van de relatieve dichtheid. Afstudeerverslag, Faculteit der Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft, Delft.
- Verberk, W.C.E.P., Verdonschot, P.F.M., van Haaren, T. & B. van Maanen, 2012. Milieu- en habitatpreferenties van Nederlandse zoetwatermacrofauna. WEW Themanummer 23, Van de Garde-Jémé, Eindhoven. 32 pp.
- Verdonschot, P., Besse, A., de Brouwer, J., Eekhout, J. & R. Fraaije, 2012. Beekdalbreed hermeanderen. STOWA 2012-36, STOWA, Amersfoort.
- Verdonschot, P.F.M., van der Hoek, Tj.H. & M.W. van den Hoorn, 2004. De effecten van bodemverhoging op het beekecosysteem van de Springendalse beek. Alterra rapport 1075, Alterra, Wageningen.
- Verdonschot, R.C.M., van Oosten-Siedlecka, A.M., ter Braak, C.J.F. & P.F.M. Verdonschot, 2015. Macroinvertebrate survival during cessation of flow and streambed drying in a lowland stream. Freshwater Biology 60: 282-296.
- Verdonschot, R.C.M., van Puijenbroek, P.J.T.M. & P.F.M. Verdonschot, 2013. Bomen en stroming verhogen ecologische kwaliteit. Herstel Hierdense beek. Landschap 30: 83-92.

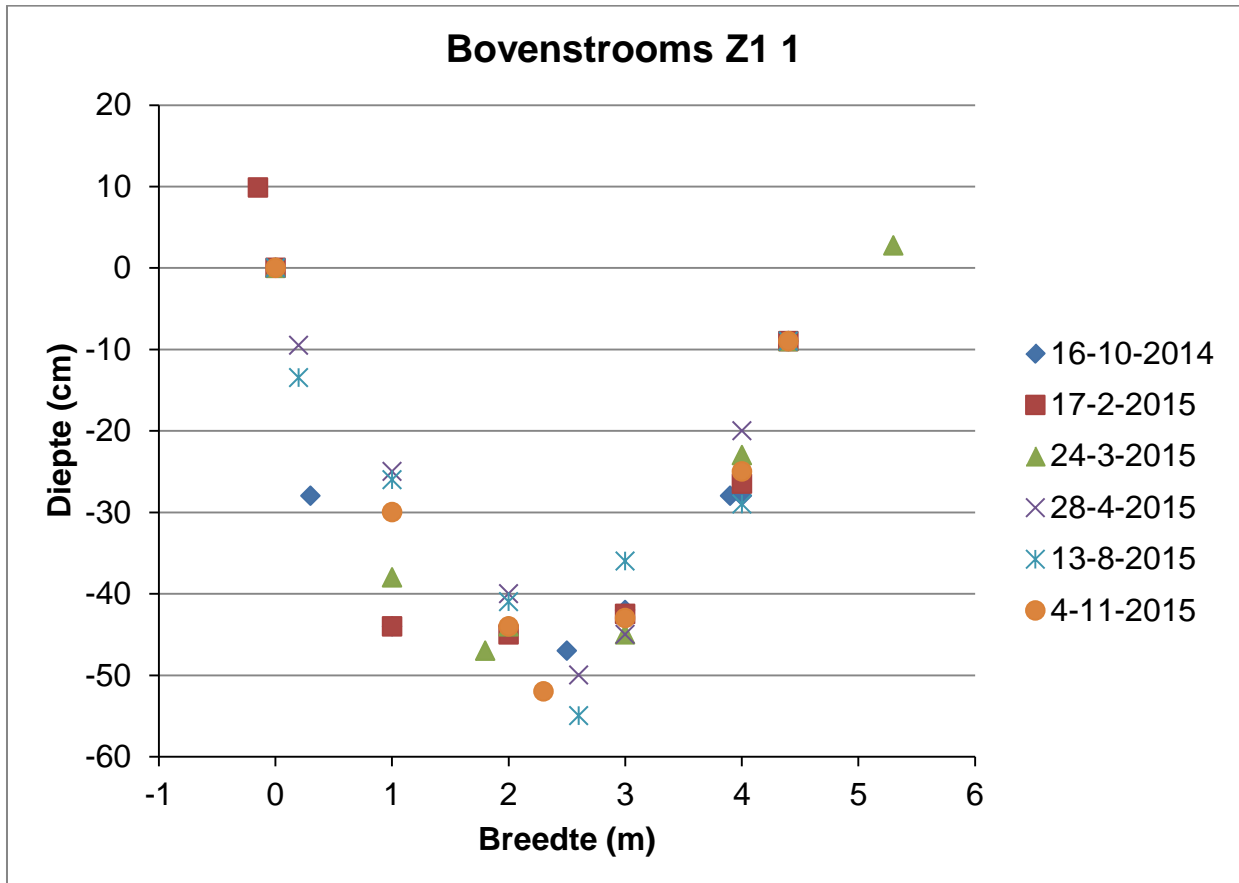
Bijlage 1

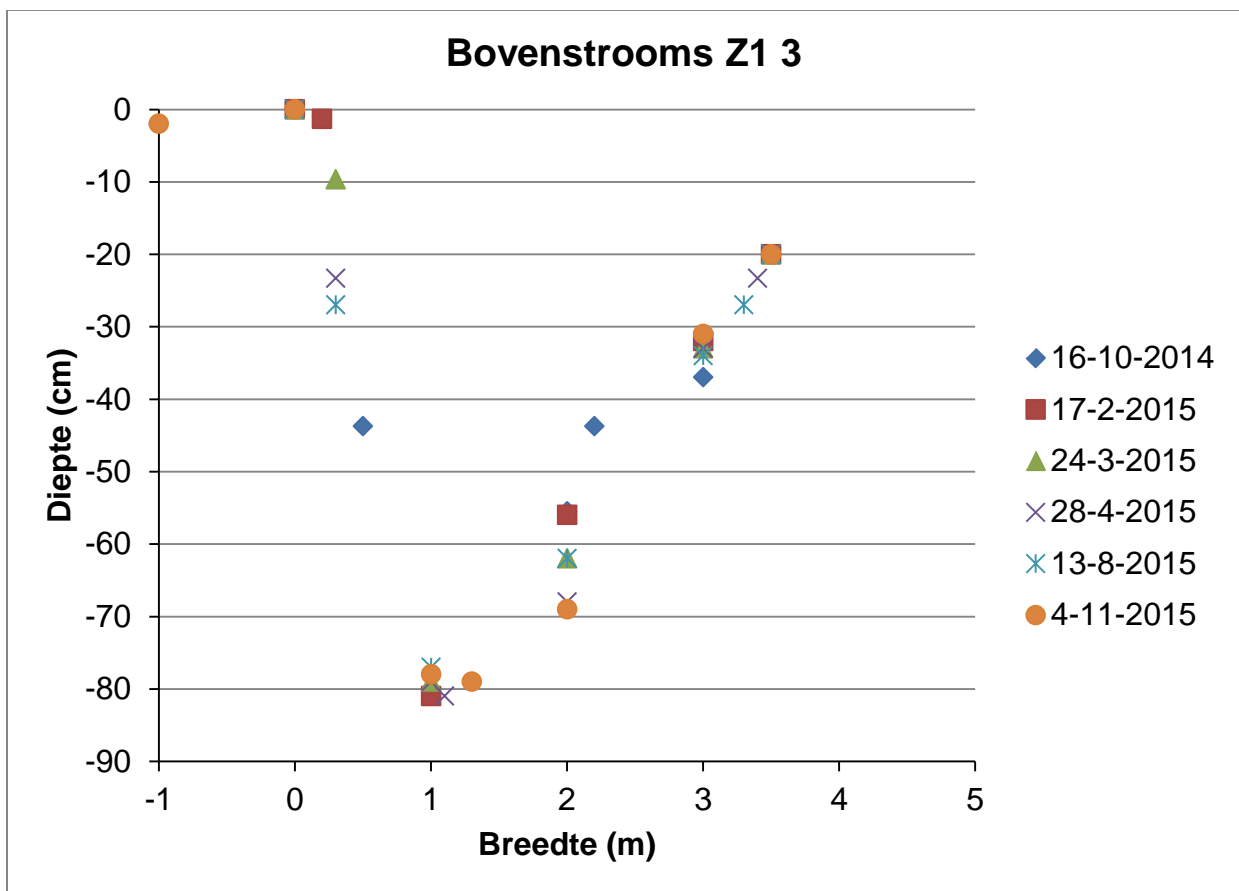
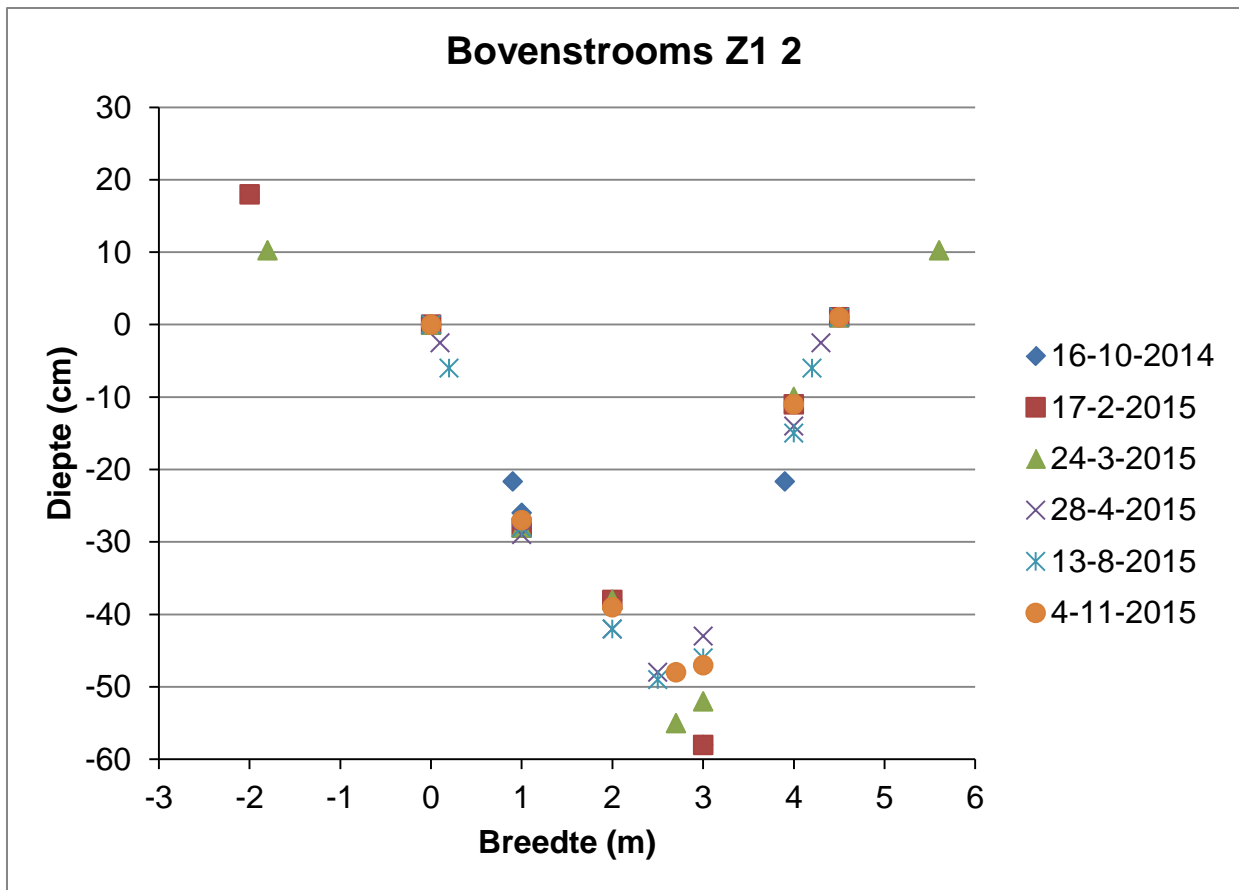
Ligging dwarsprofieltransecten en de onderzochte suppletielocaties langs de Leuvenumse beek en het aantal vaste meetpunten per dwarsprofiel (afhankelijk van de breedte van de beek).

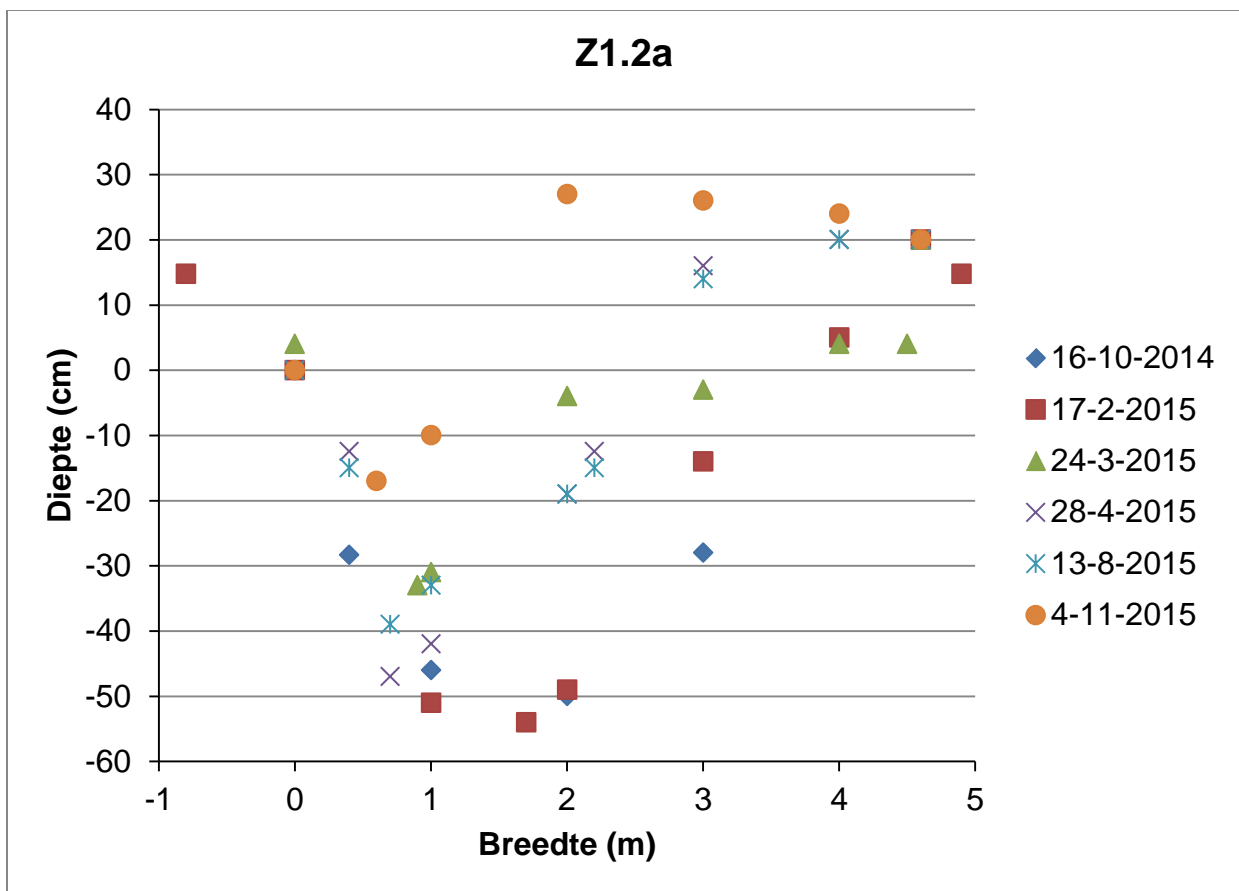
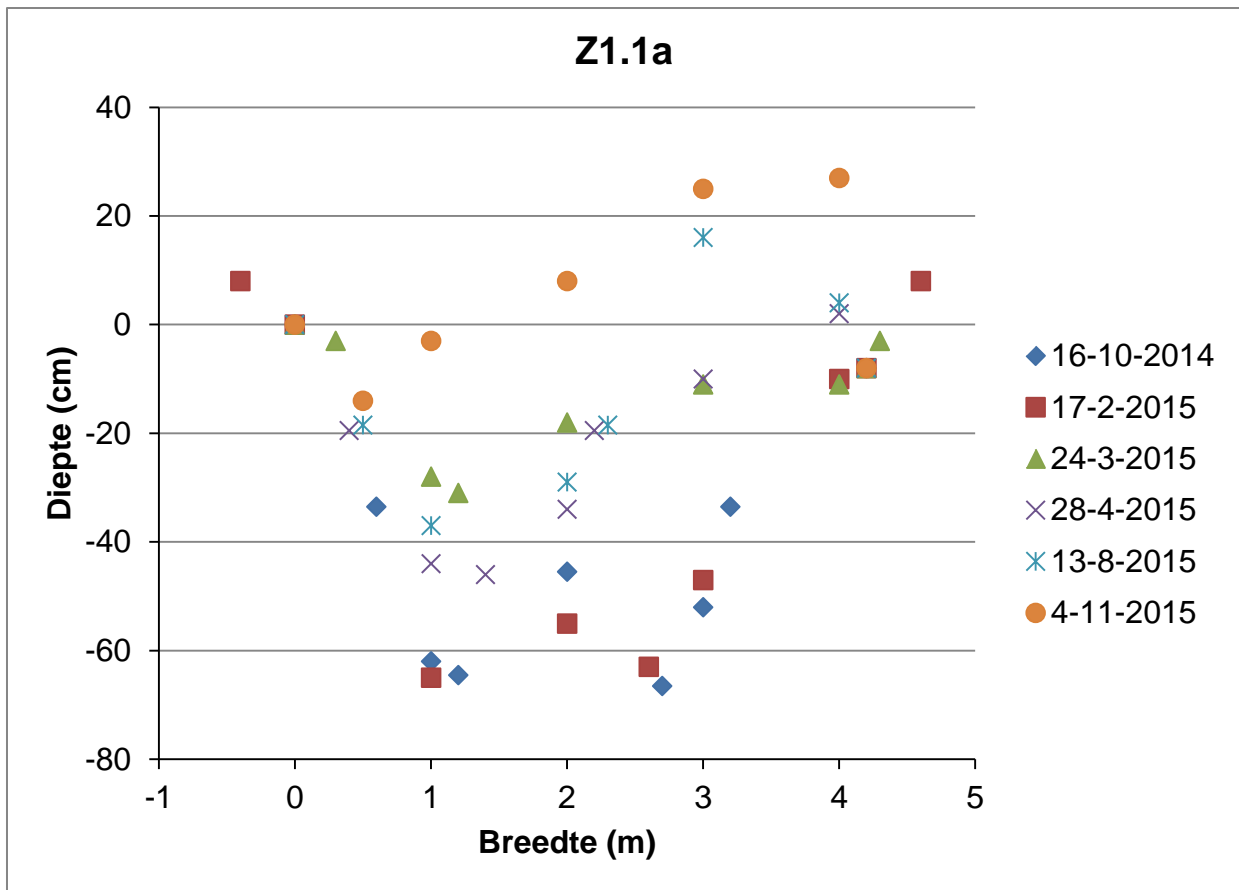
Dwarsprofieltransect-code	Coördinaten		Aantal vaste meetpunten
	x	y	
bovenstrooms z1 1	177.141	481.107	4
bovenstrooms z1 2	177.135	481.123	4
bovenstrooms z1 3	177.126	481.148	3
suppletielocatie 1 (Z1)	177.105	481.145	-
z1.1a	177.101	481.148	4
z1.2a	177.100	481.146	4
z1.3a	177.093	481.151	3
z1.4b	177.068	481.149	3
z1.5b	177.057	481.151	3
z1.6b	177.032	481.148	3
z1.7c	176.944	481.192	3
z1.8c	176.941	481.189	3
z1.9c	176.937	481.191	3
suppletielocatie 2 (Z2)	176.812	481.252	-
z2.1a	176.804	481.247	9
z2.2a	176.801	481.260	11
z2.3a	176.800	481.264	8
z2.4b	176.794	481.281	7
z2.5b	176.790	481.284	6
z2.6b	176.786	481.302	5
z2.7c	176.780	481.310	6
z2.8c	176.779	481.315	7
z2.9c	176.774	481.332	6
suppletielocatie 3 (Z3)	176.752	481.346	-
z3.1a	176.740	481.352	7
z3.2a	176.738	481.354	6
z3.3a	176.732	481.350	4
z3.4b	176.722	481.353	4
z3.5b	176.716	481.356	4
z3.6b	176.712	481.359	4
z3.7c	176.698	481.368	4
z3.8c	176.698	481.363	4
z3.9c	176.691	481.367	4

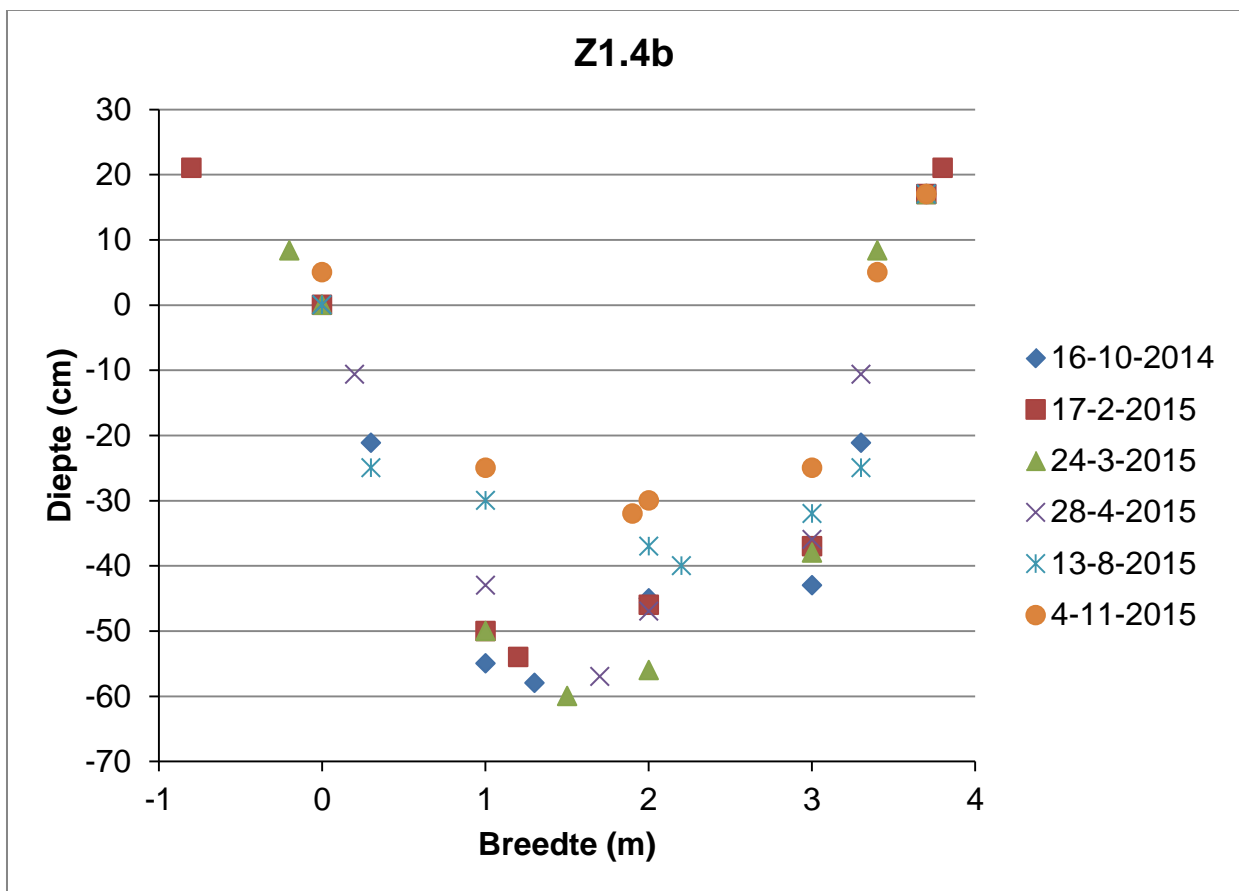
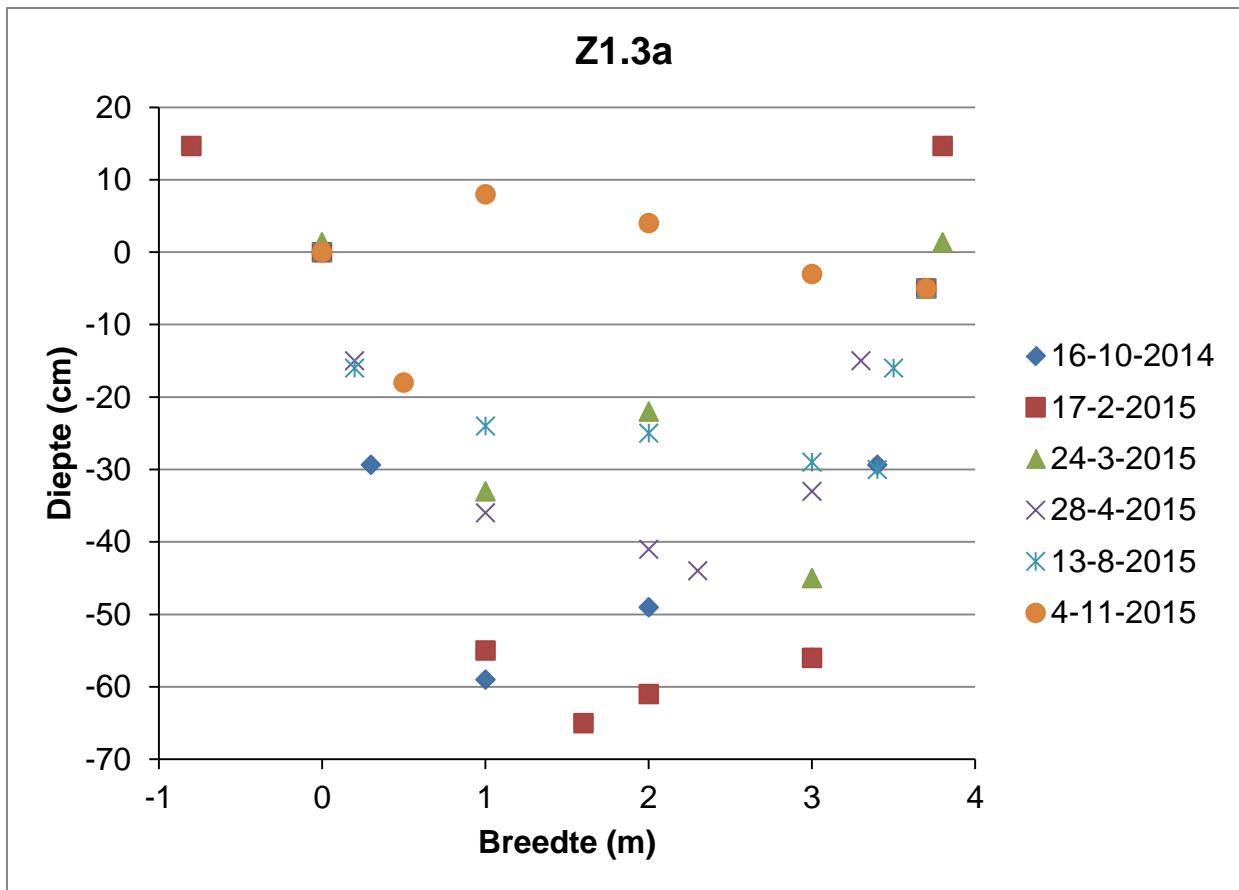
Bijlage 2

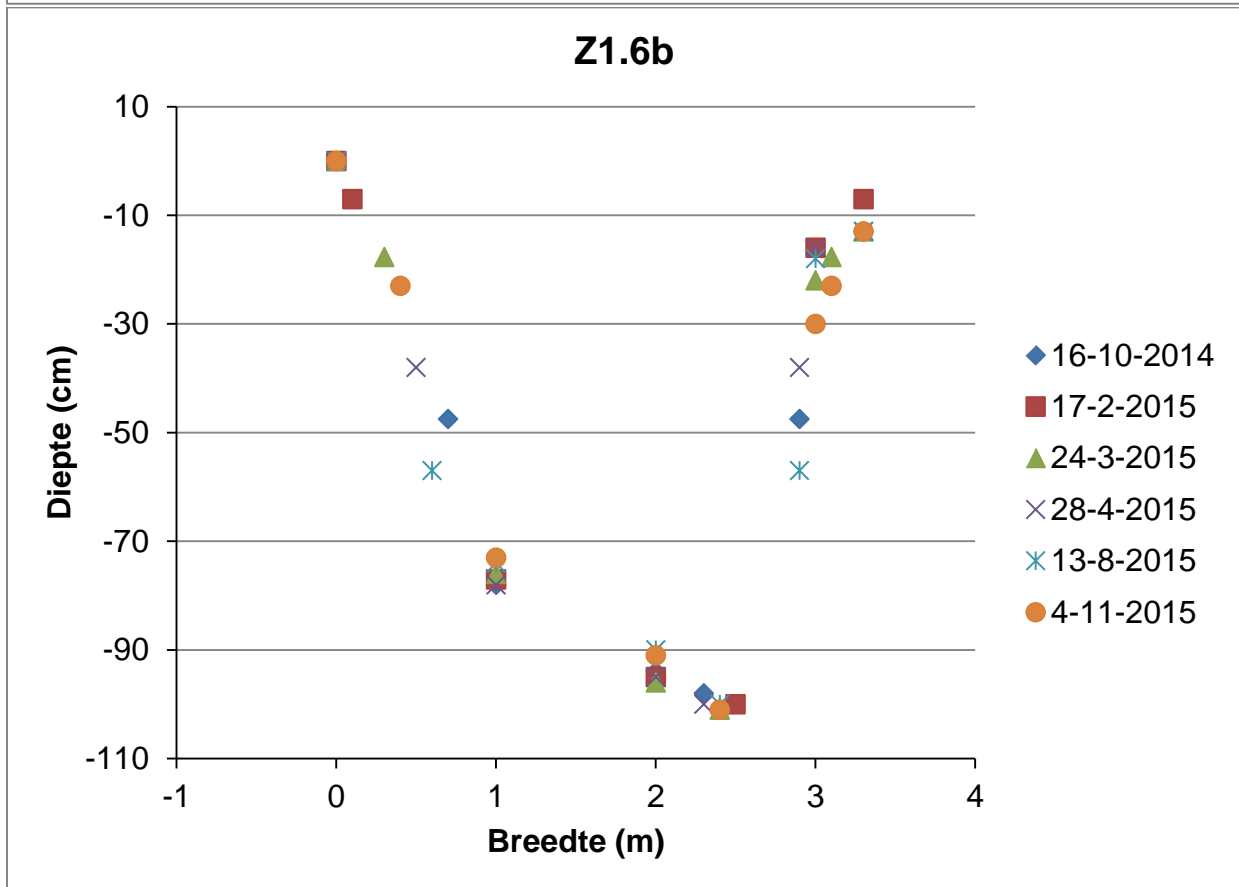
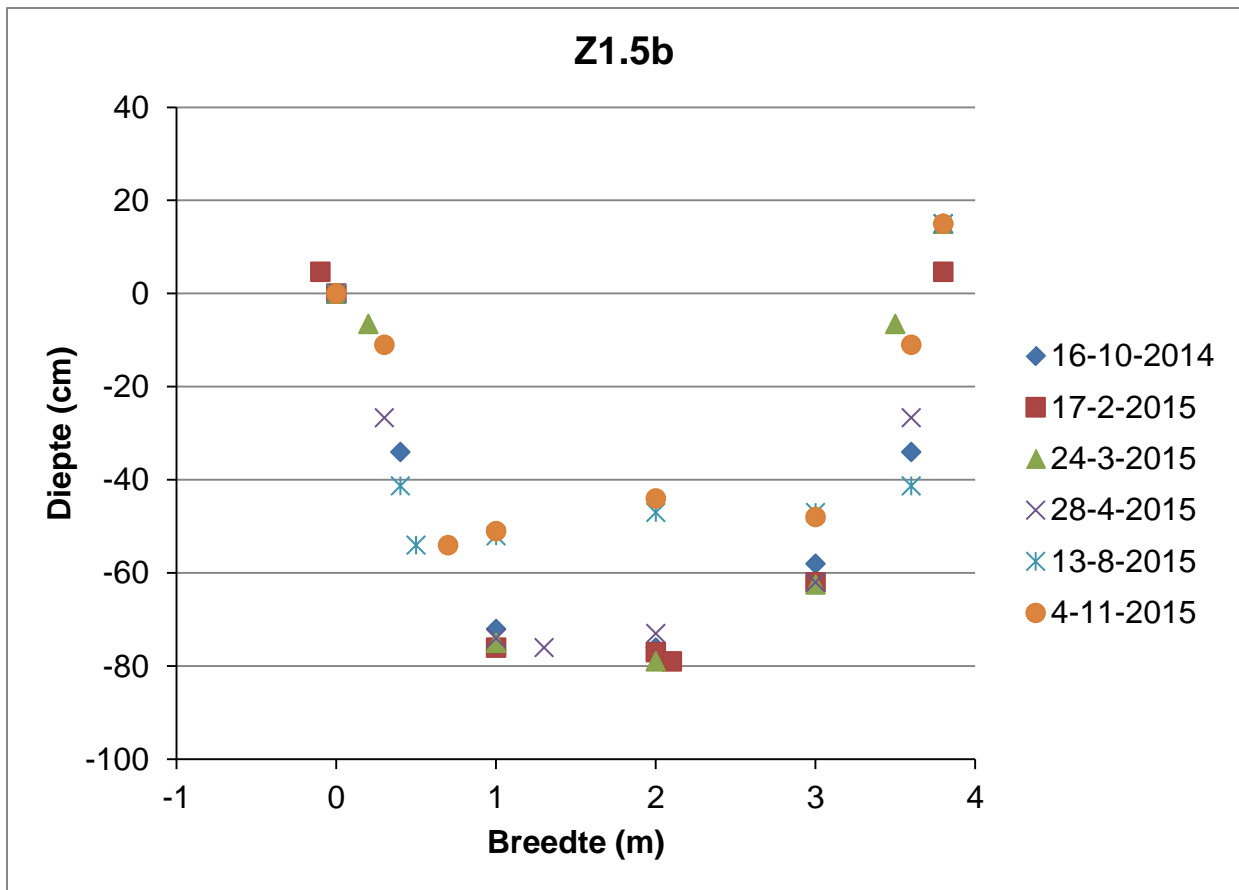
Overzicht van de veranderingen in het dwarsprofiel in de tijd per dwarsprofieltransect. De dimensies zijn gestandaardiseerd op het vaste ijkpunt op de linkeroever.

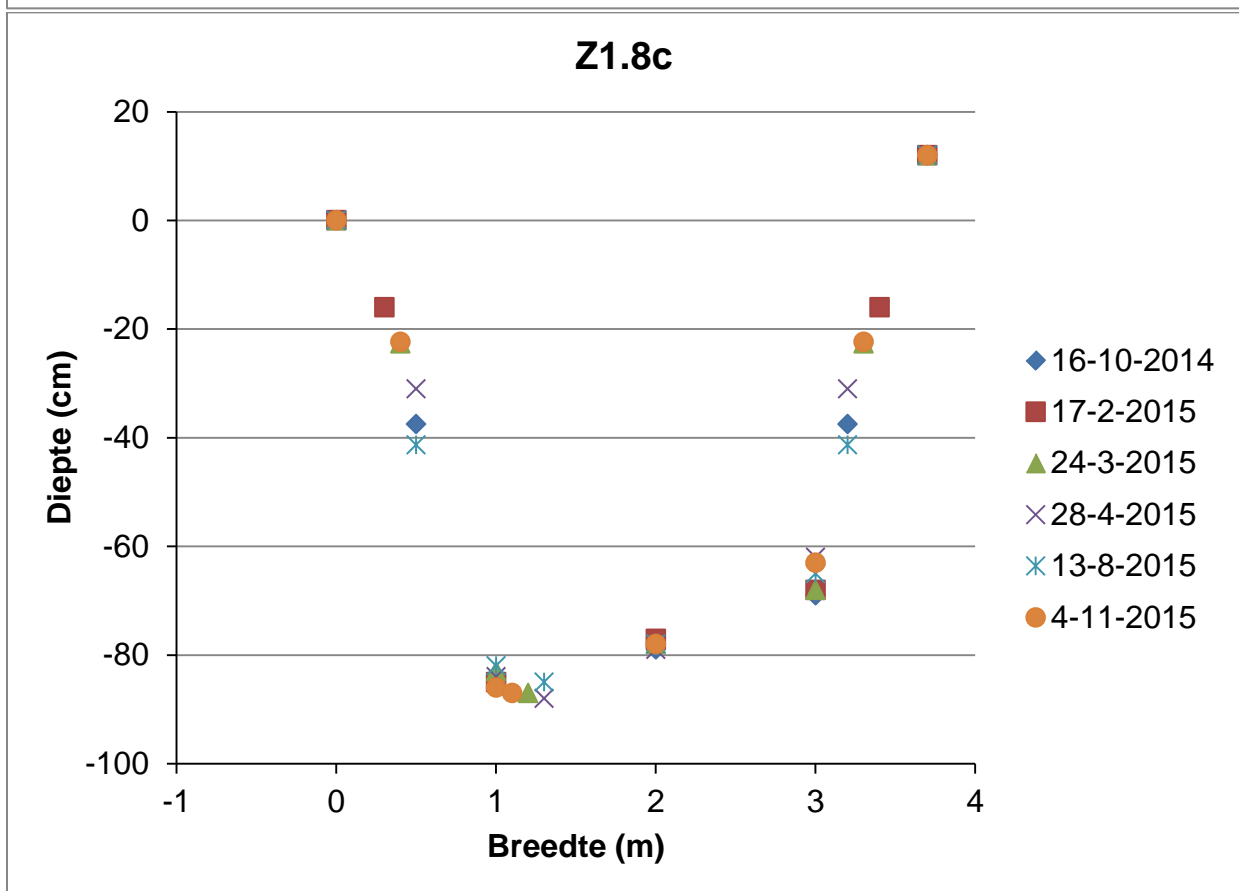
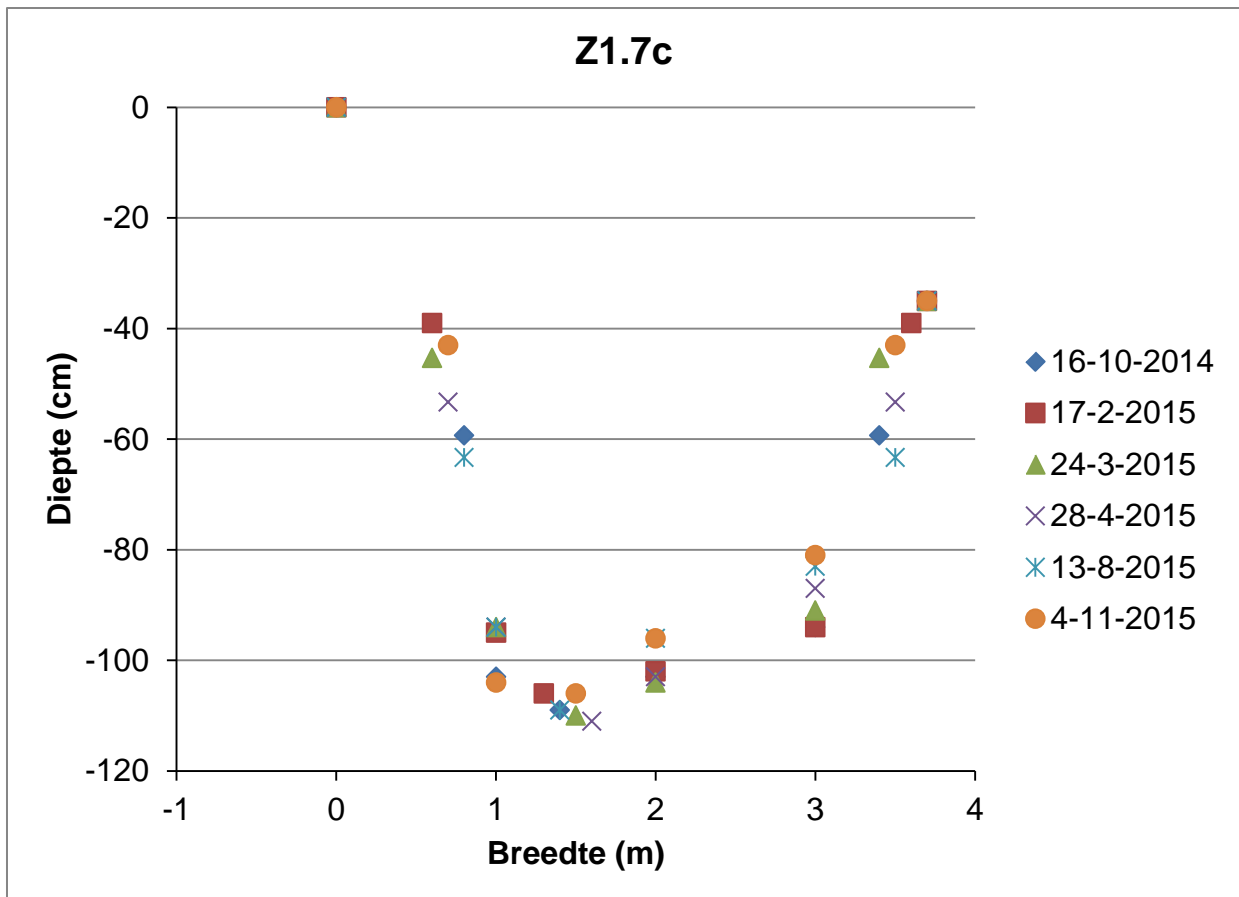


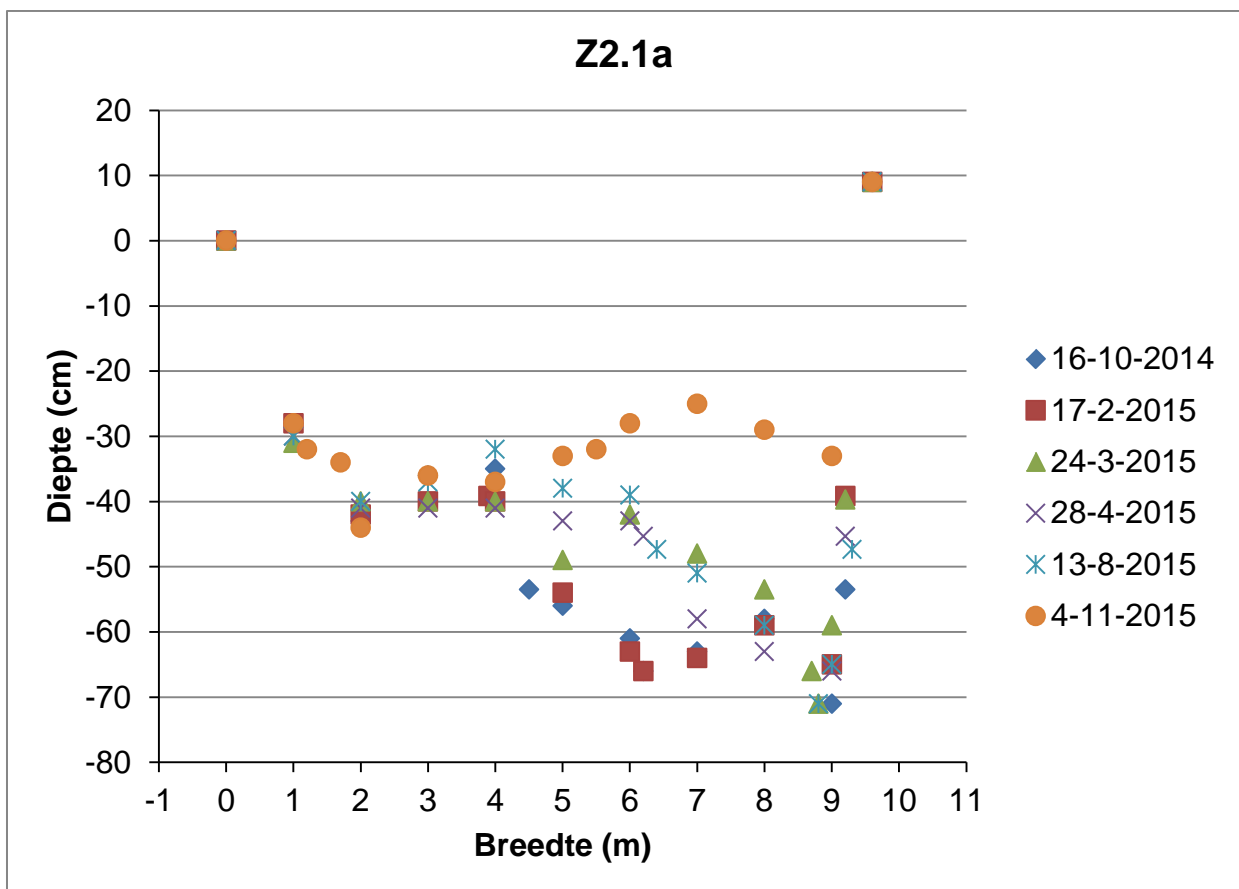
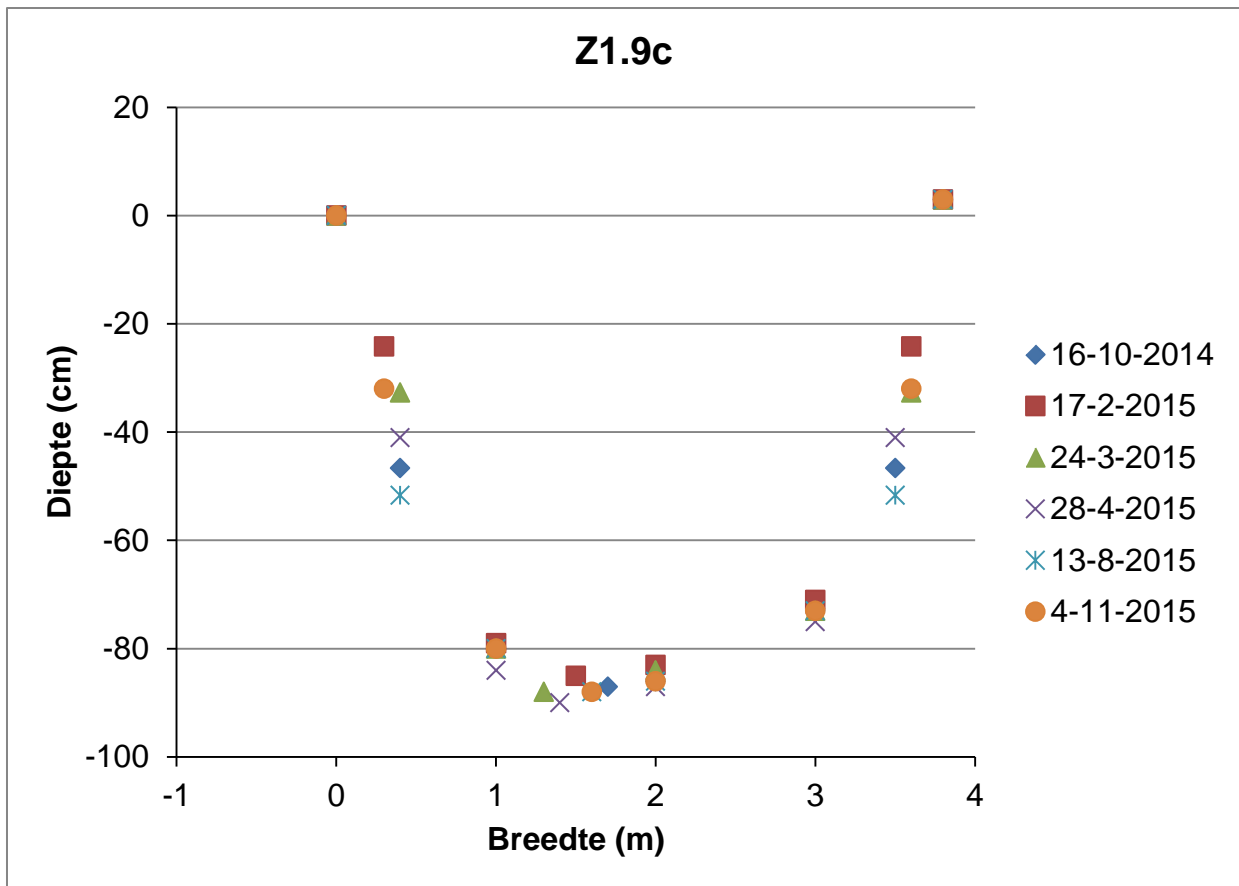


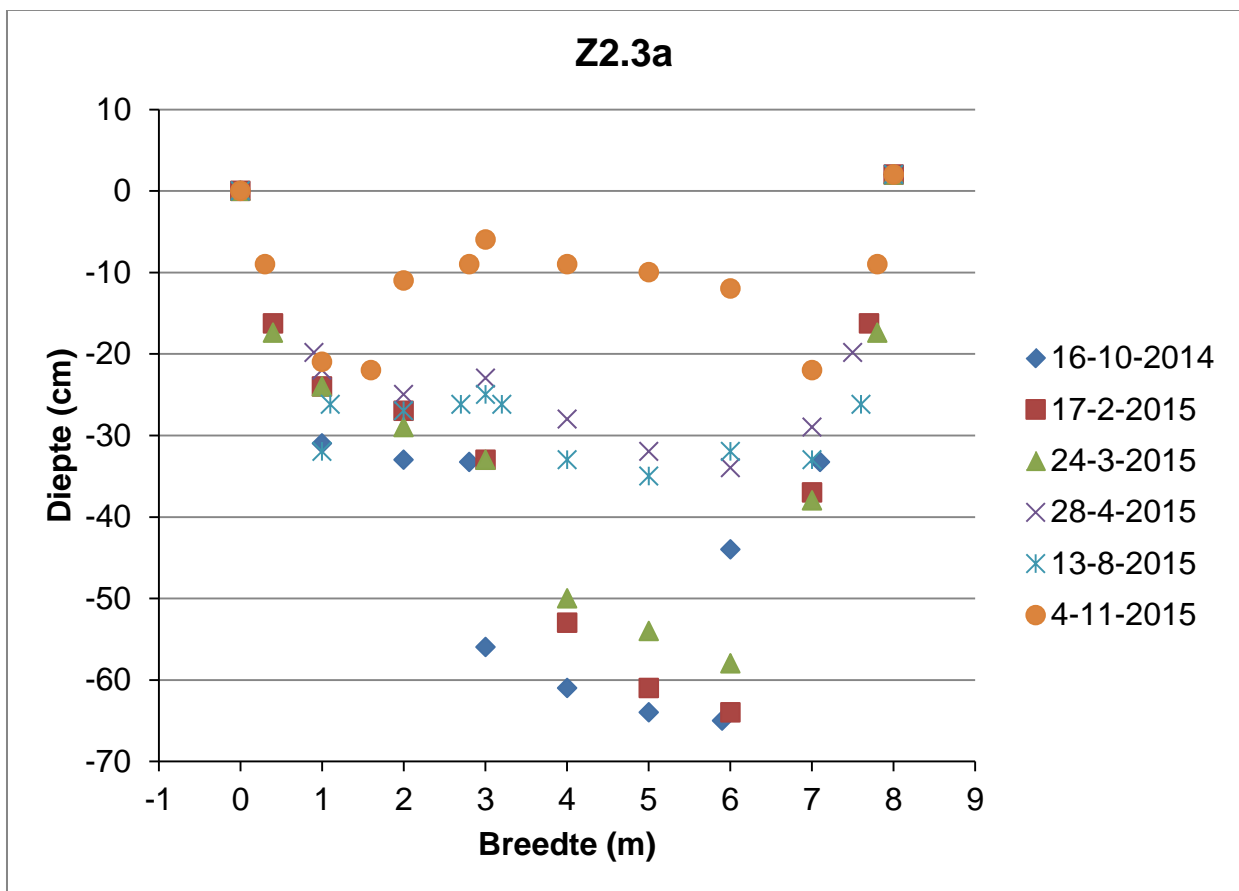
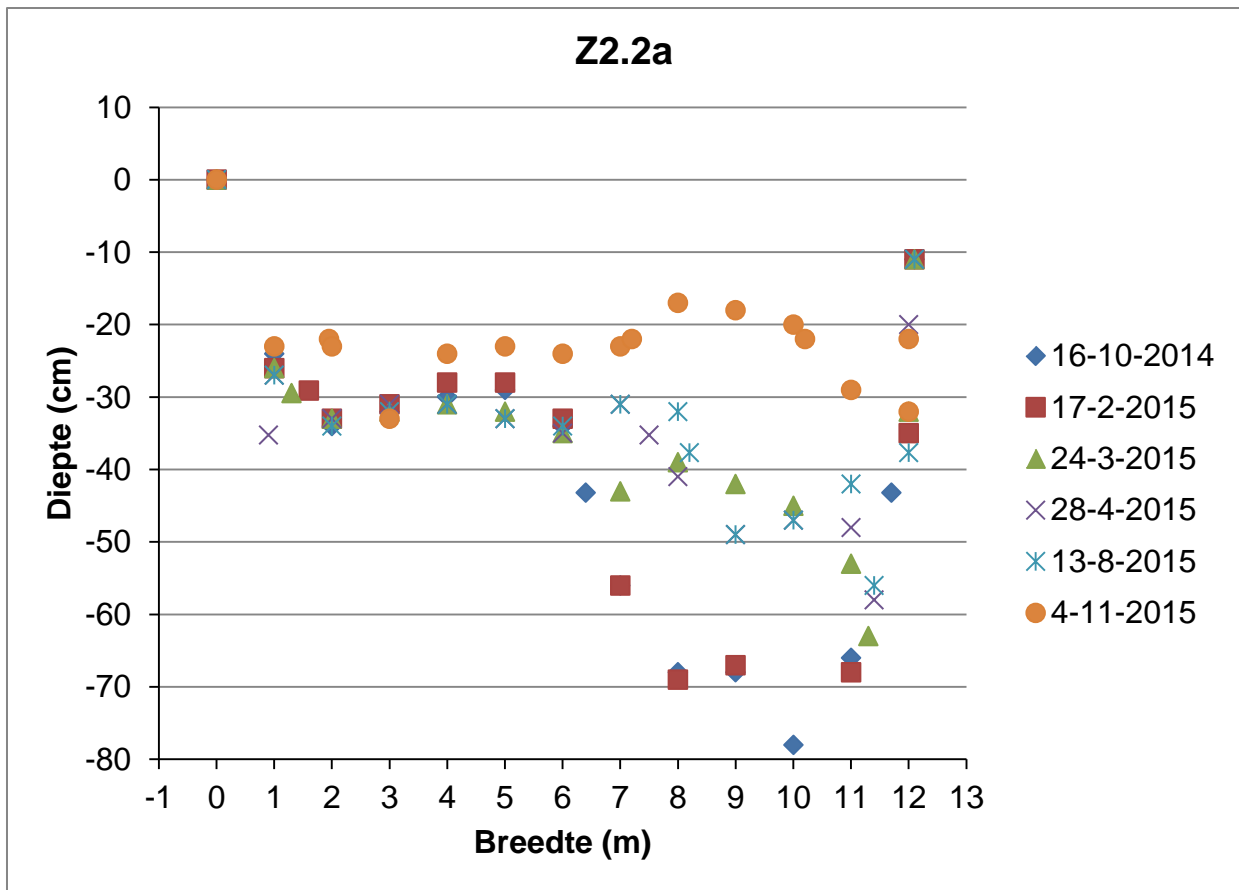


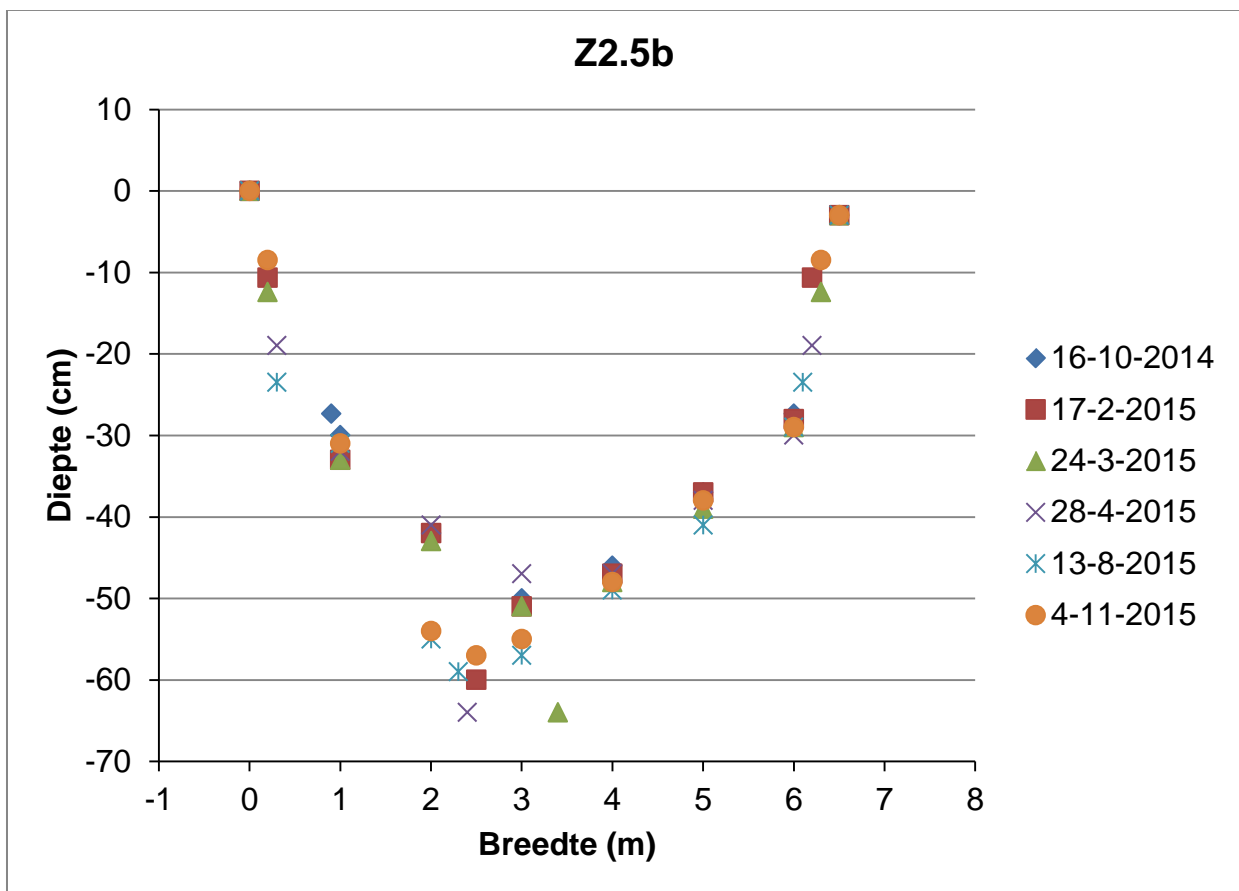
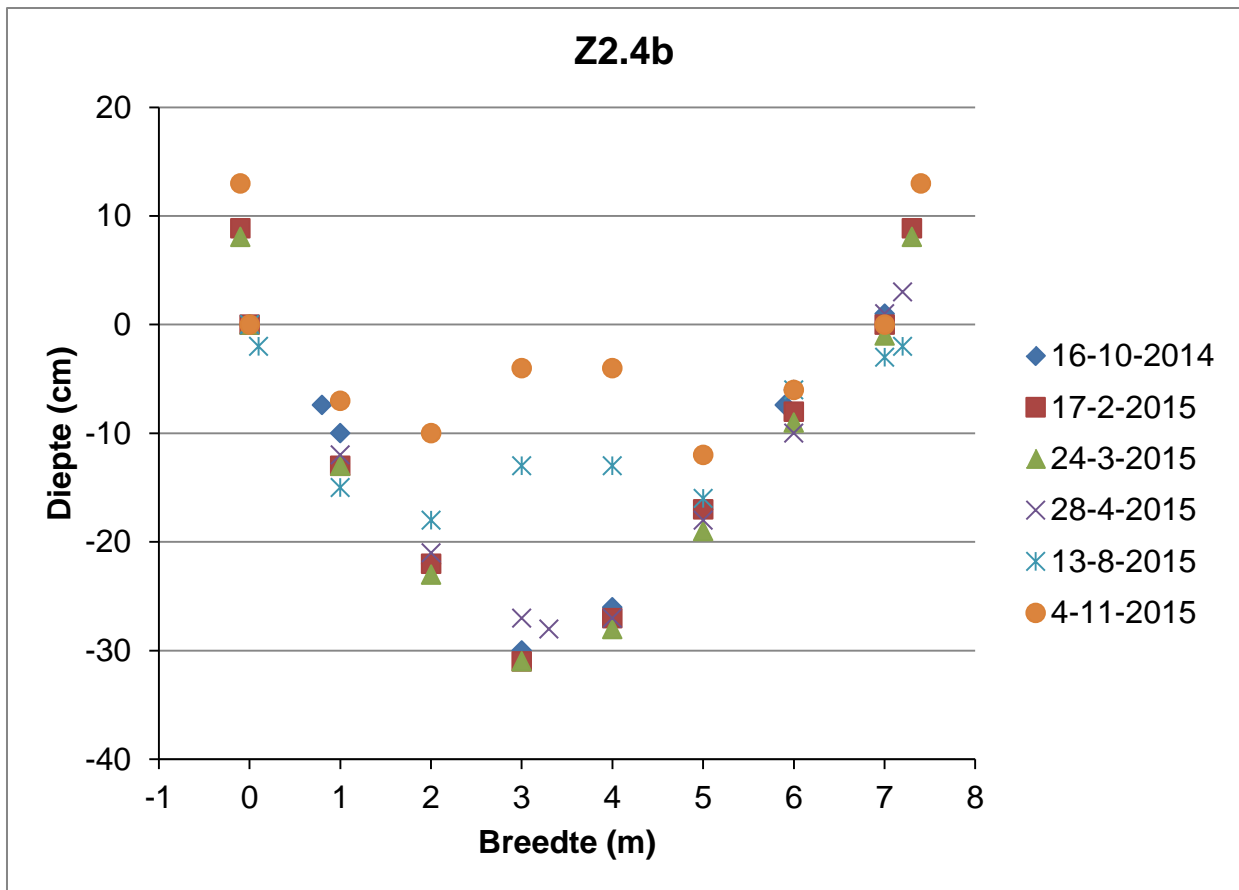


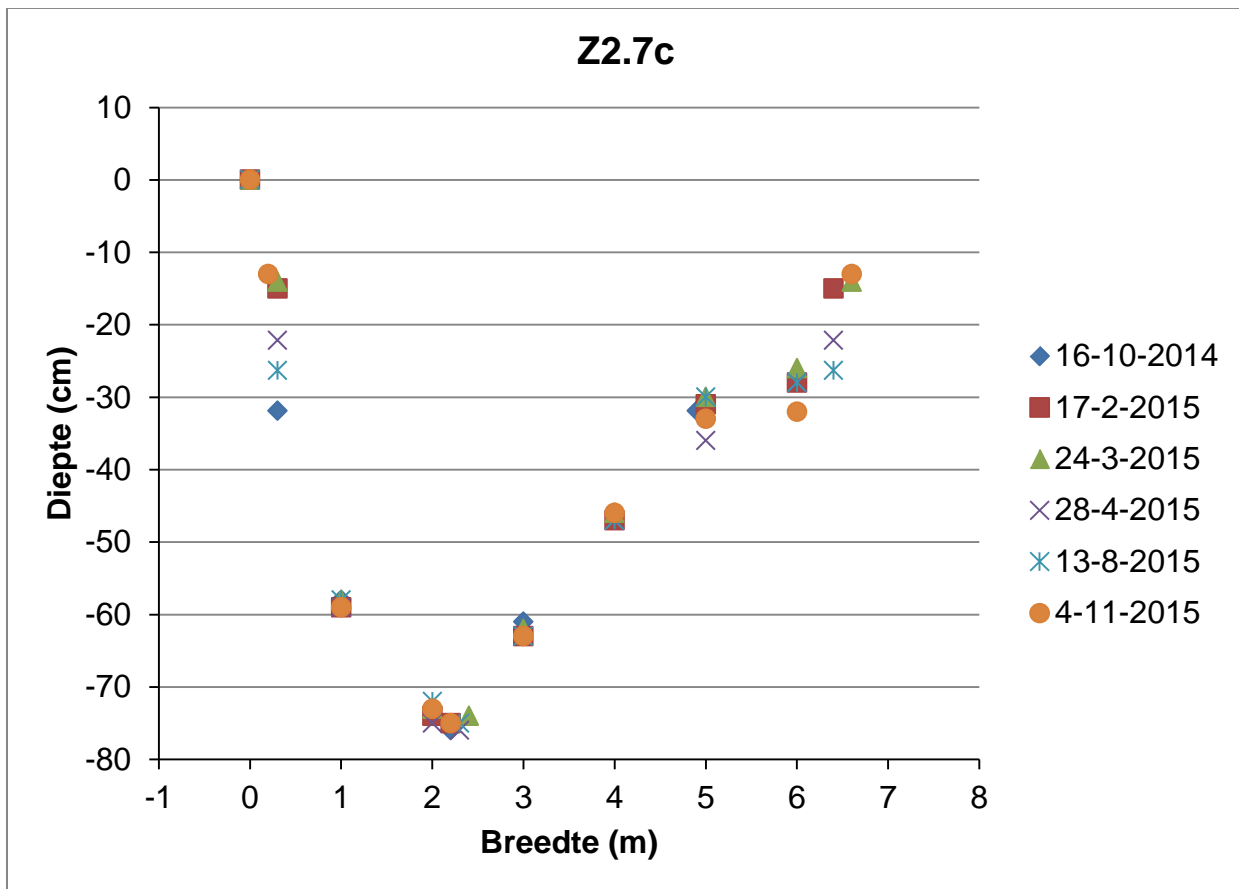
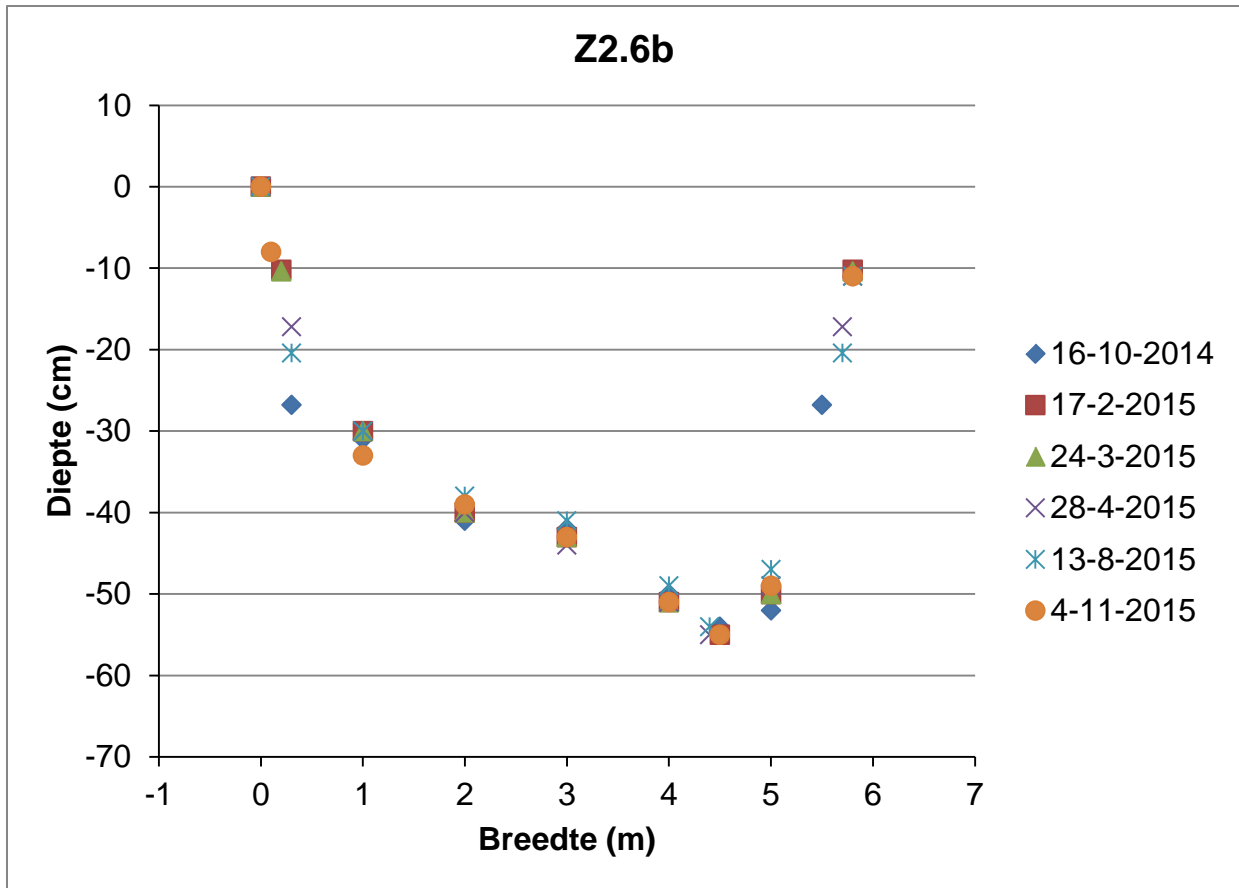


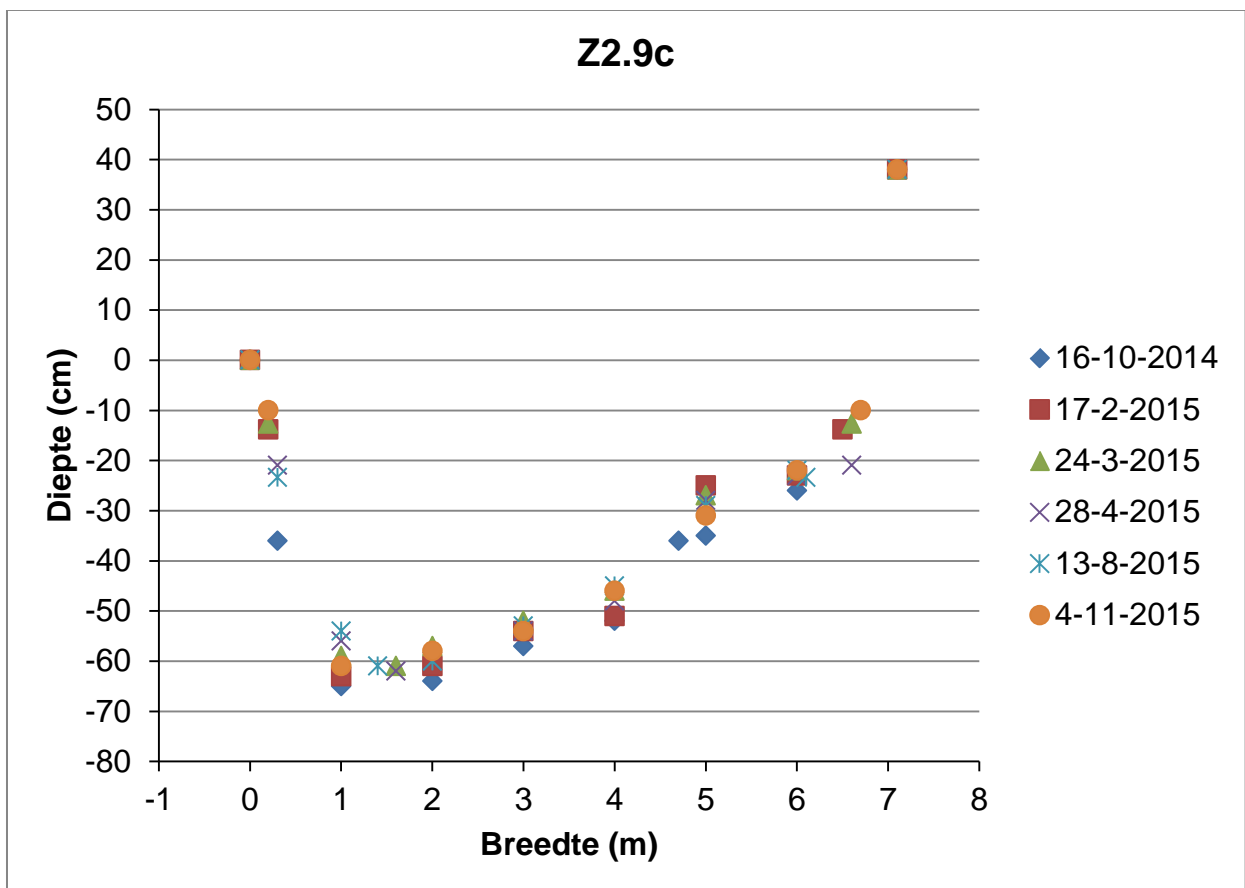
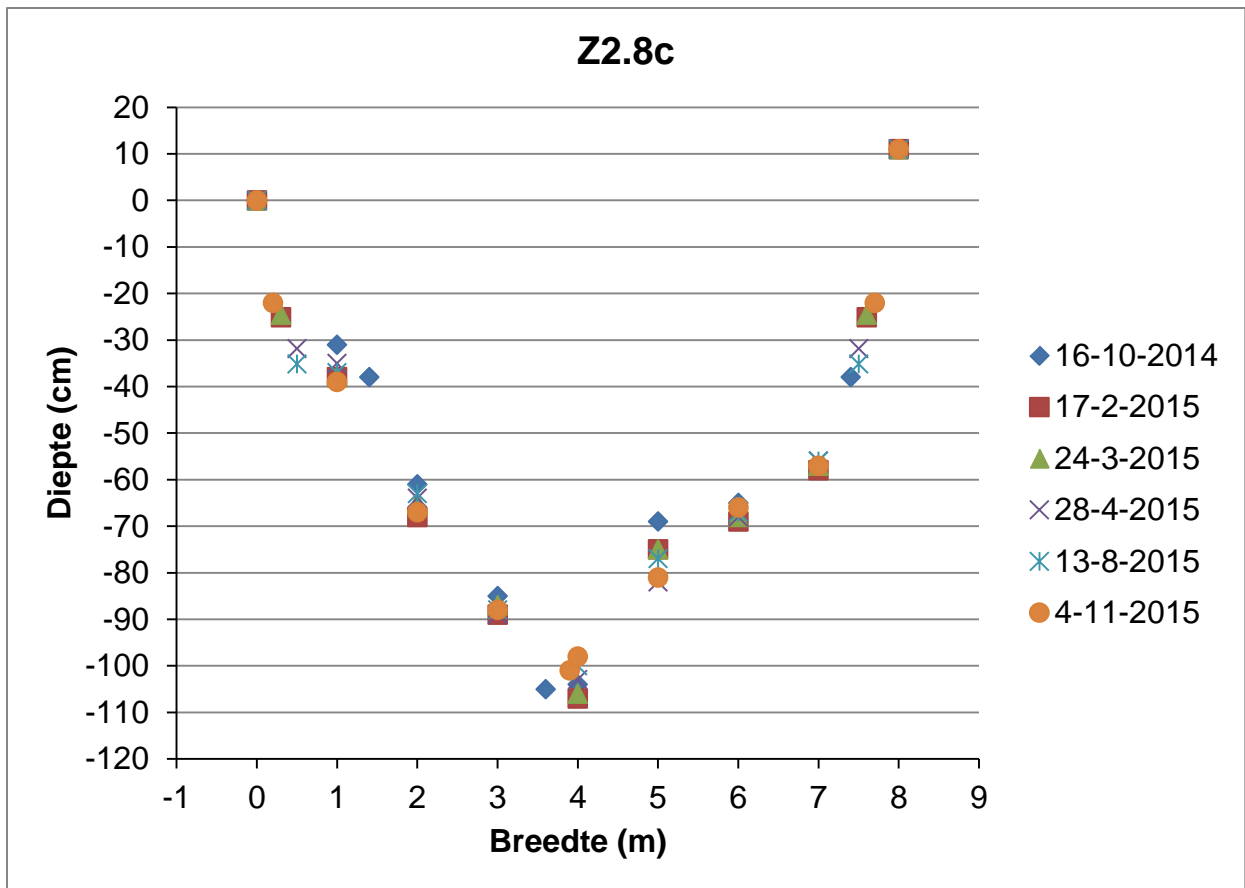


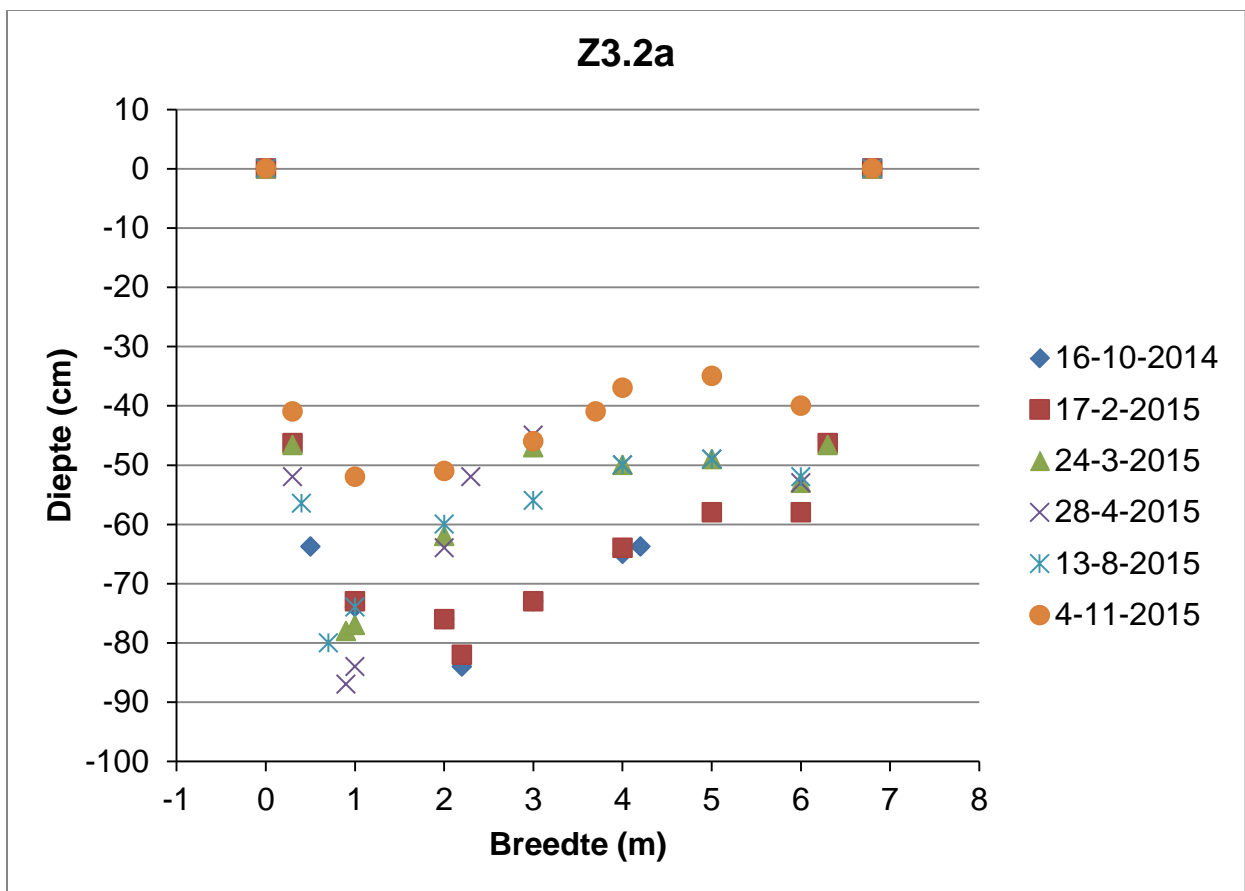
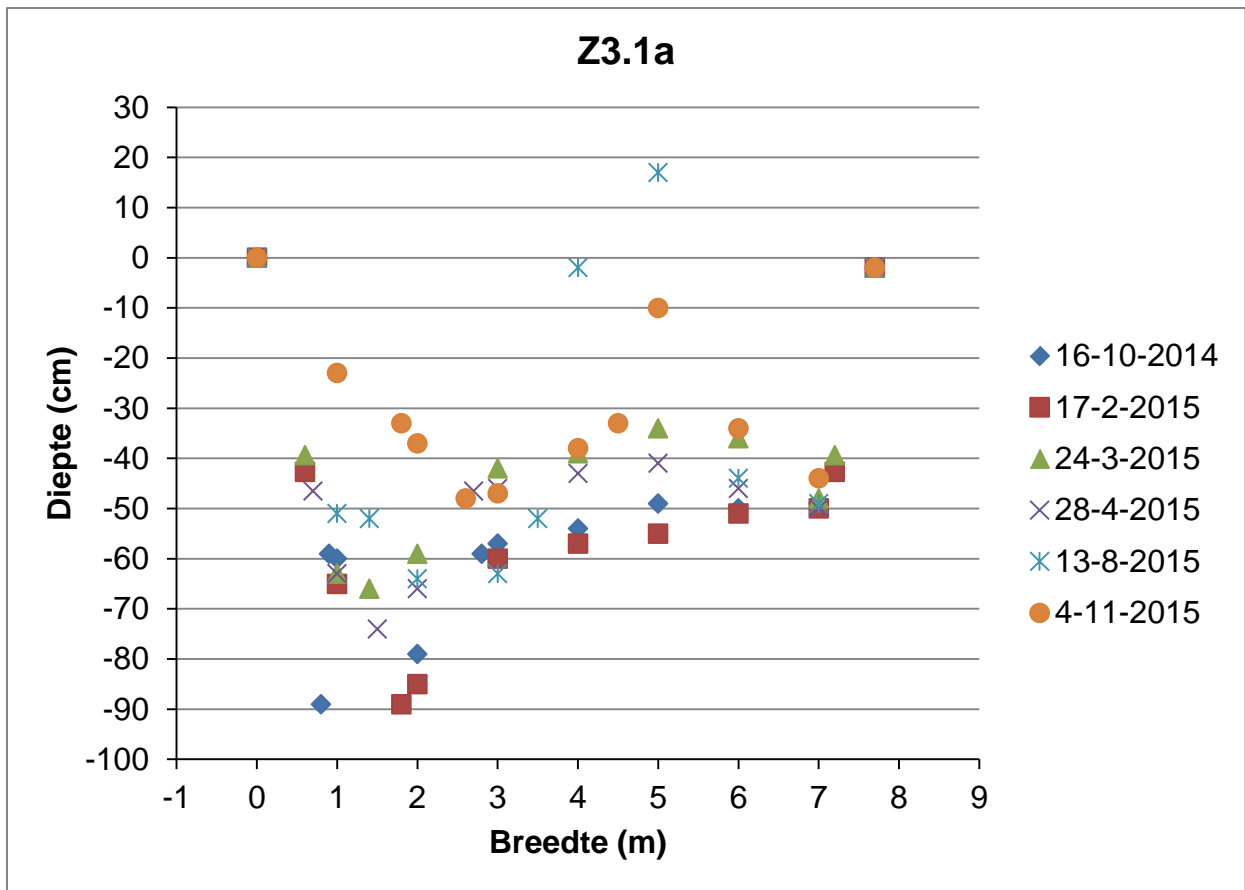


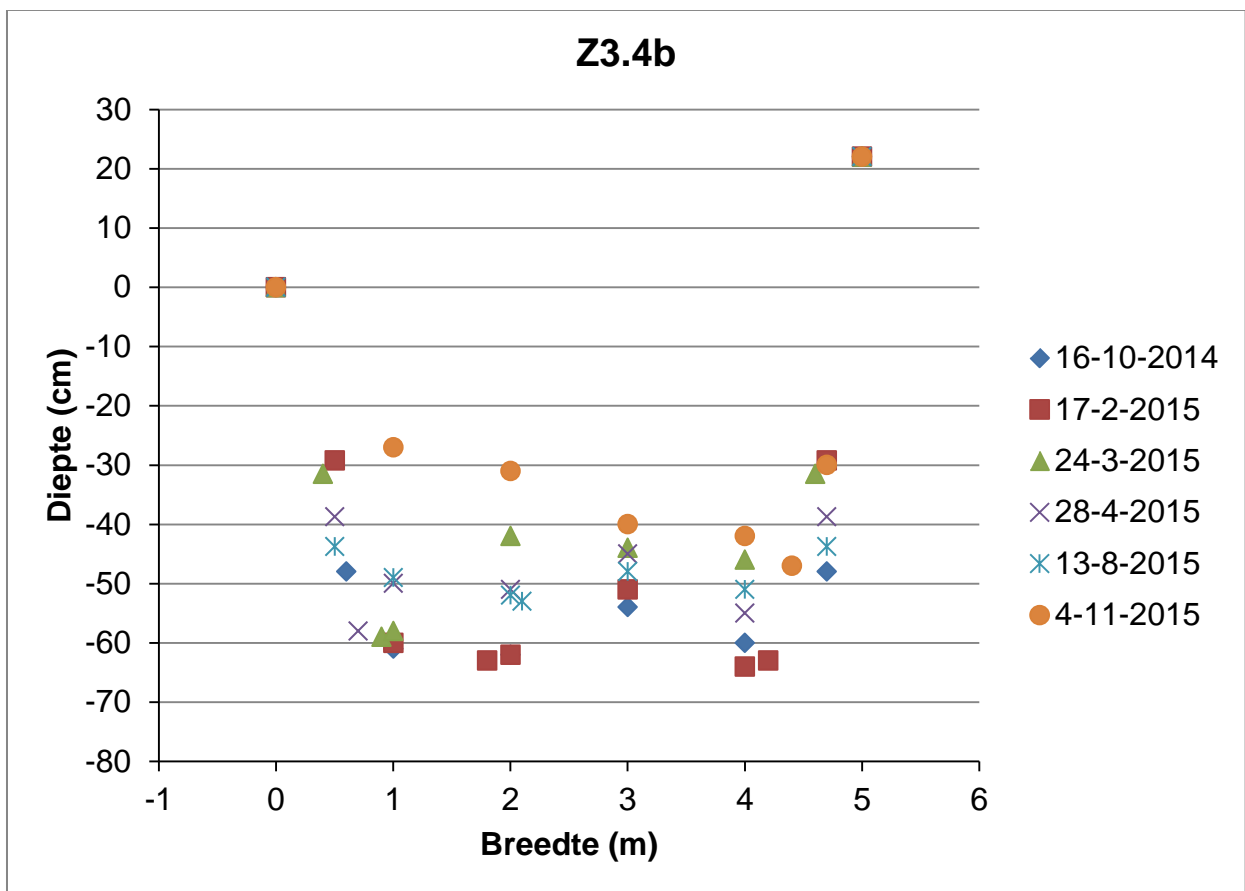
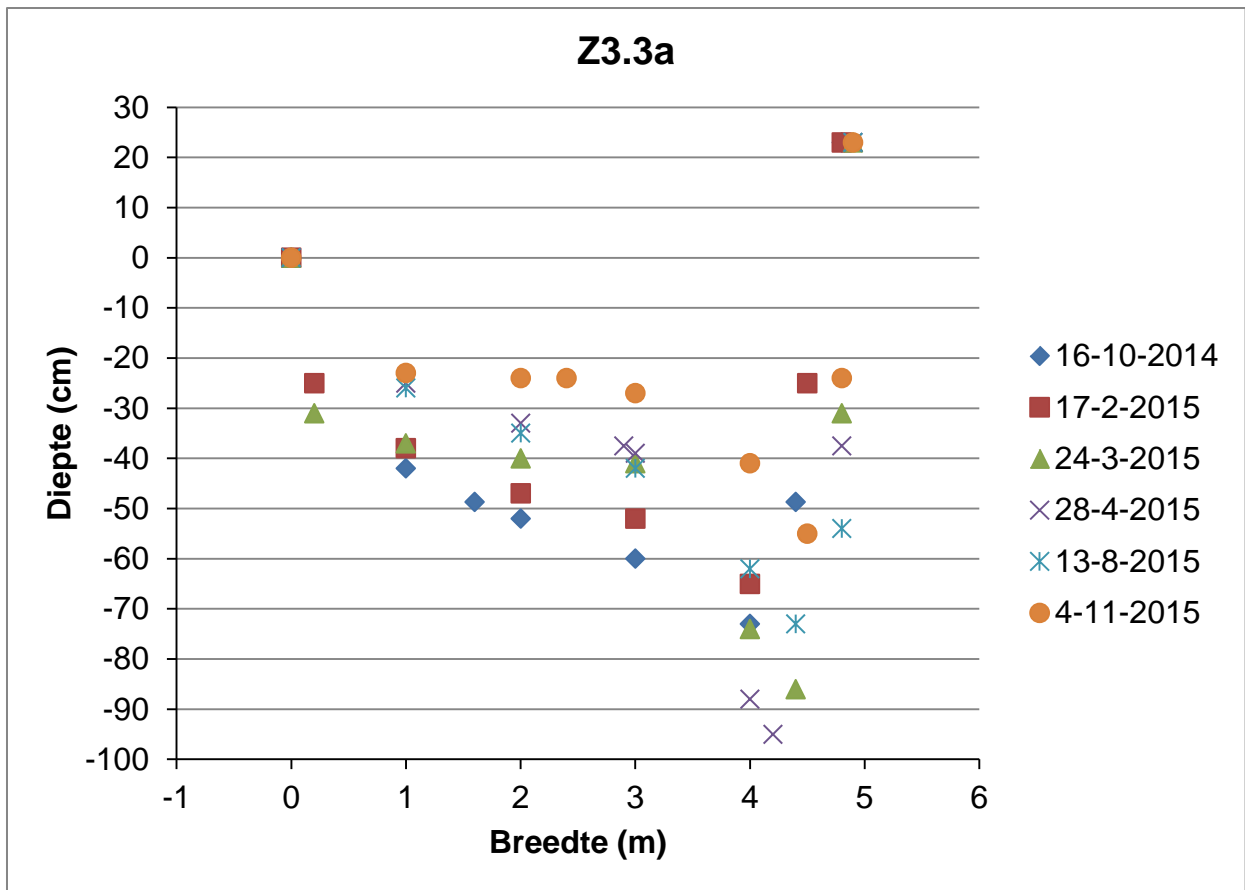


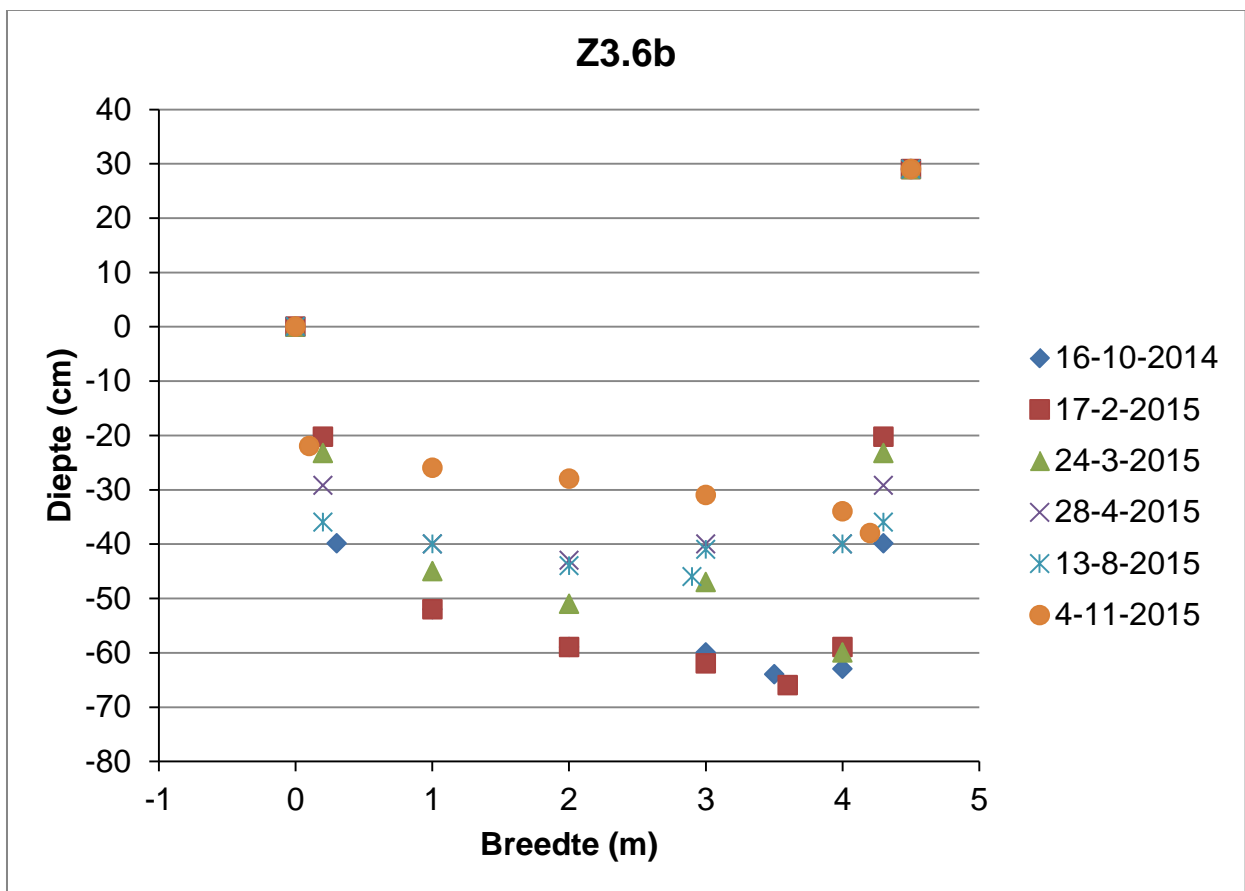
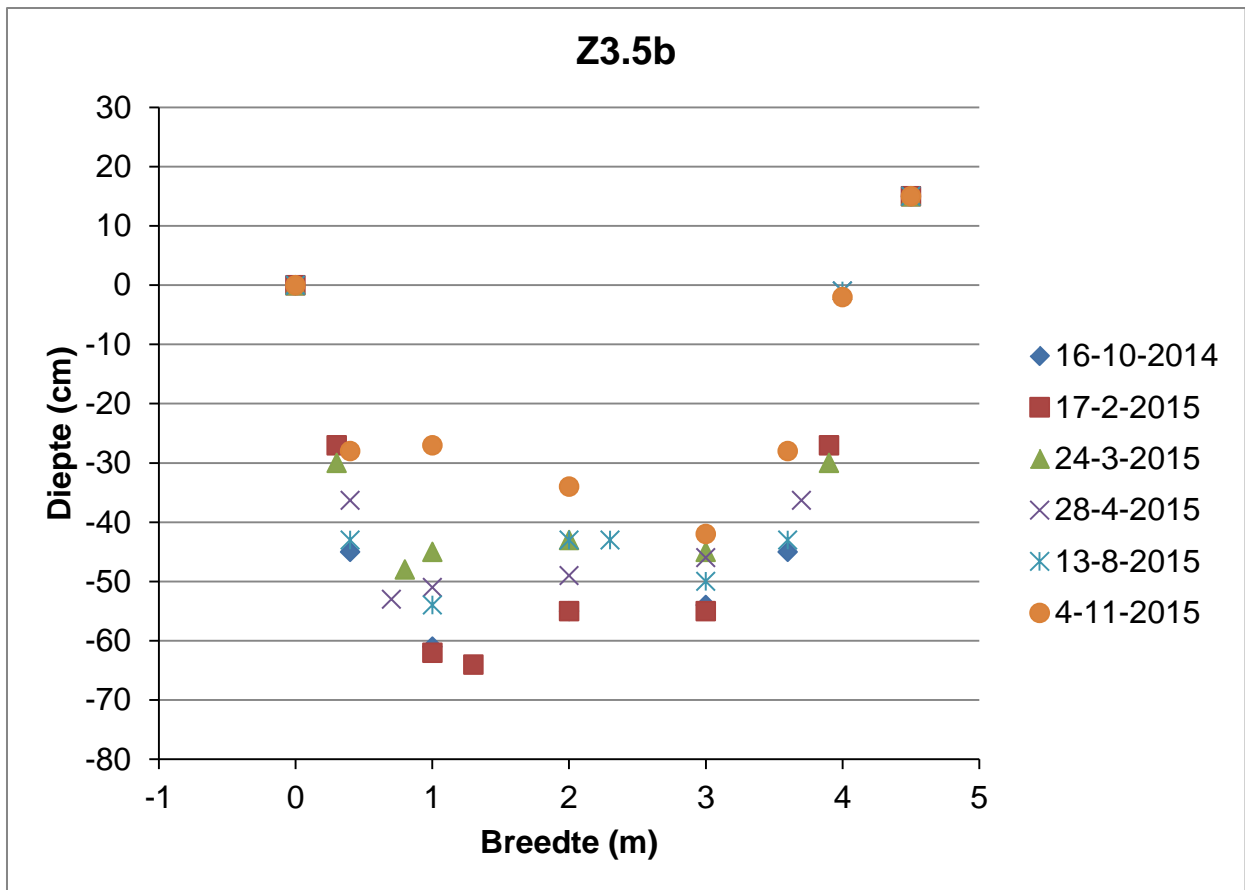


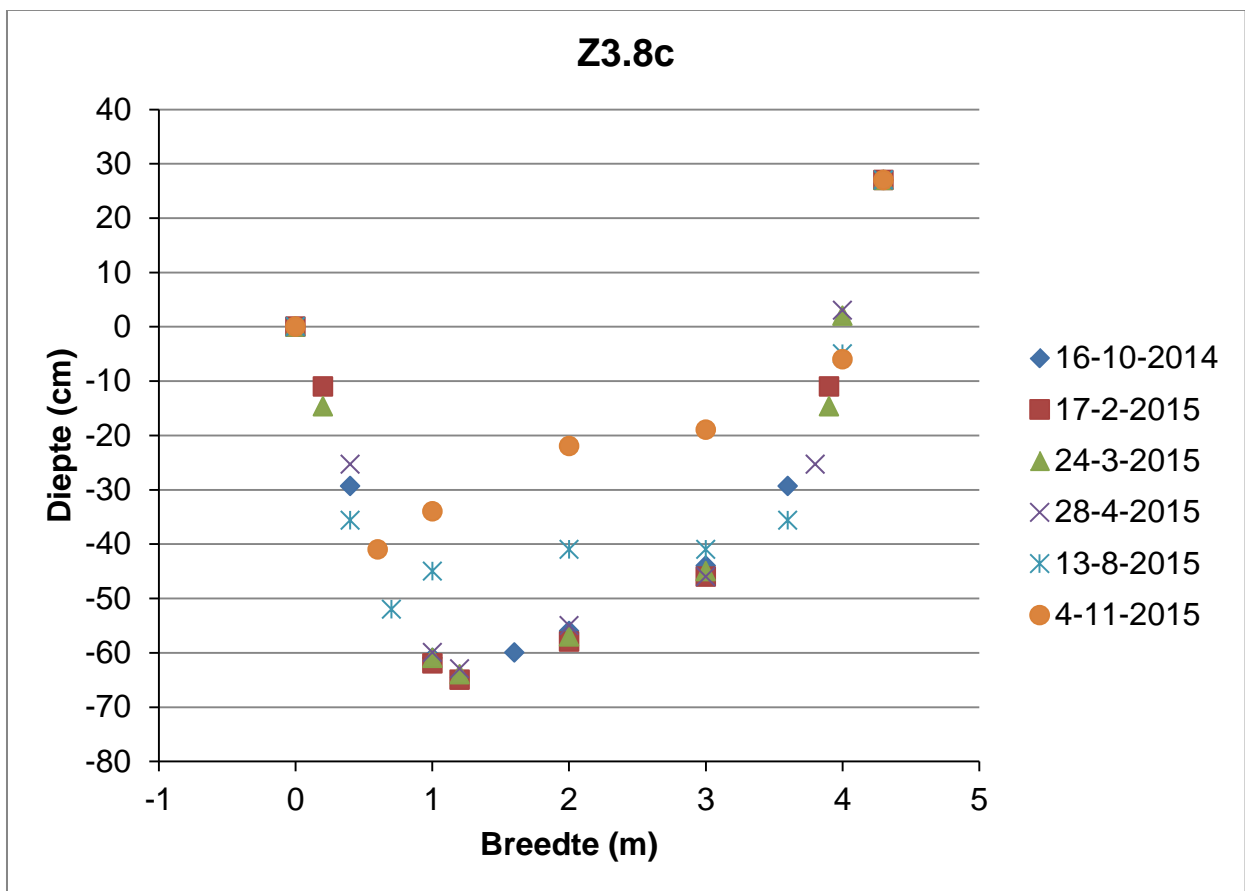
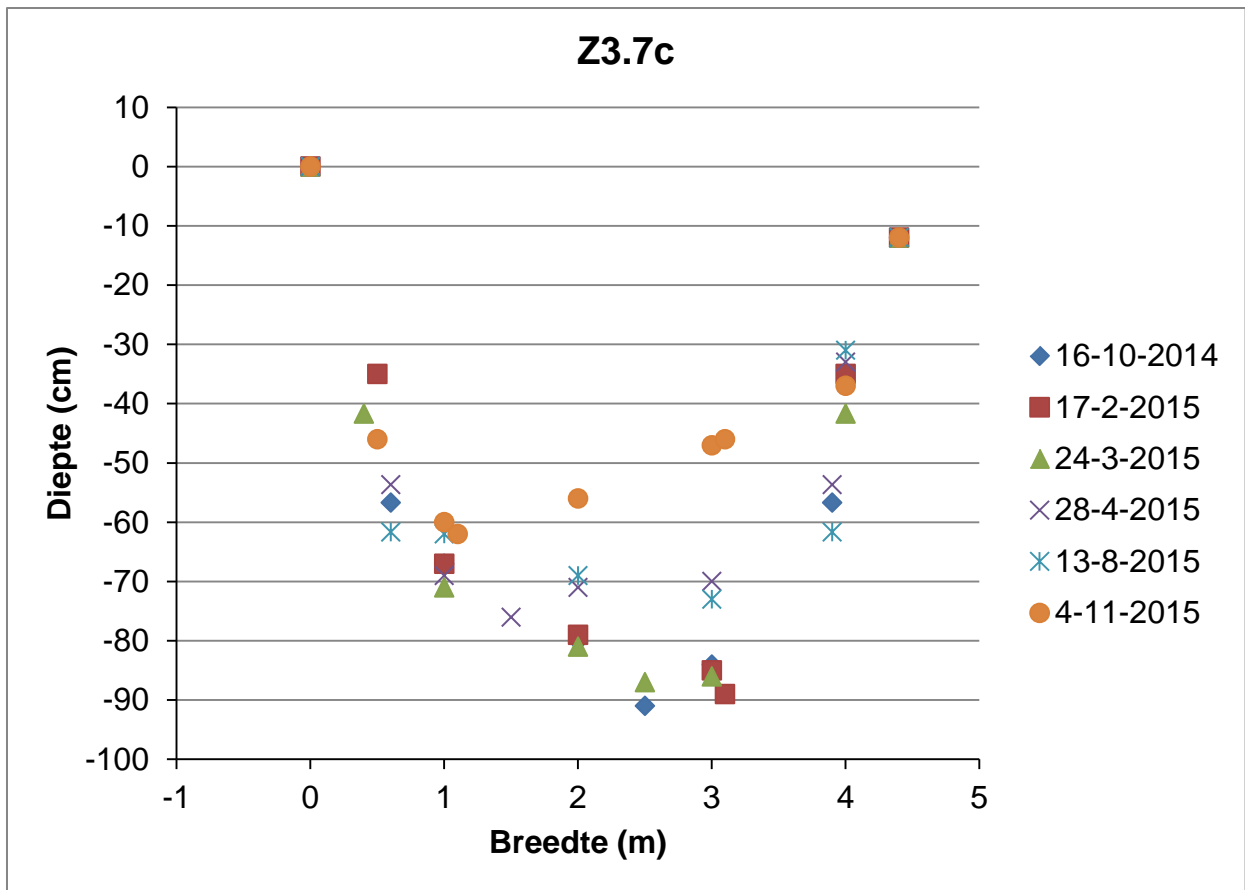












Z3.9c

