



**inbo**



Instituut voor  
Natuur- en Bosonderzoek

## Plantendiversiteit in verschillende vooroevertypes in de Leie

*Maud Raman*

**Auteurs:**

Maud Raman  
Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek

*Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek*

Het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) is het Vlaams onderzoeks- en kenniscentrum voor natuur en het duurzame beheer en gebruik ervan. Het INBO verricht onderzoek en levert kennis aan al wie het beleid voorbereidt, uitvoert of erin geïnteresseerd is.

**Vestiging:**

INBO Brussel  
Kliniekstraat 25, 1070 Brussel  
www.inbo.be

**e-mail:**

maud.raman@inbo.be

**Wijze van citeren:**

Raman M. (2012). Plantendiversiteit in verschillende vooroevertypes in de Leie. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2012 (8). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

**D/2012/3241/047**

**INBO.R.2012.8**

**1782-9054**

**Verantwoordelijke uitgever:**

Jurgen Tack

**Druk:**

Managementondersteunende Diensten van de Vlaamse overheid.

**Foto cover:**

Vooroever opgebouwd met een houten palenrij (Maud Raman)

**Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van:**

Waterwegen en zeekanaal NV



Waterwegen en Zeekanaal NV  
weg van water

# **Plantendiversiteit in verschillende vooroevertypes in de Leie**

**Maud Raman**

INBO.R.2012.8

## **Dankwoord/Voorwoord**

Deze studie werd uitgevoerd in opdracht van en in samenwerking met Waterwegen en Zeekanaal NV (W&Z)- Afdeling Bovenschelde.

Een speciaal dankwoord gaat uit naar Gunther Van Ryckegem, Luc De Geest, Mathieu Pieters, Koen Vervaet, Koen Willems en Pieter Dhaluin (INBO) voor hun hulp bij de metingen en dataverwerking, naar Thierry Onkelinx, Hans Van Calster en Pieter Vershelde voor statistisch advies en naar Nathalie Devaere, Charlotte Beels, Johny Van Acker, Willem Van Crombrugge (W&Z) en Floris Vanderhaeghe (INBO) voor het nalezen van het document.

## Samenvatting

In geïntegreerde rivierherstelprojecten is het een uitdaging om ecologische processen, soorten- en habitatdiversiteit te herstellen in harmonie met andere functies van de rivier als scheepvaart en bescherming tegen overstroming.

In het project rivierherstel Leie zijn de eerste stappen gezet. In de periode 2009-2010 werden vooroevers in de vaarweg gecreëerd als een pilootproject. Om deze nieuwe constructies te evalueren vergeleken we de plantendiversiteit in oeverzones met en zonder vooroeverbescherming, verschillende types vooroevers (palenrijen versus azobébeschoeiing) en is gezocht naar het effect van inclinatie<sup>1</sup>, oeverzijde, positie op het talud en type vooroever op verschillende responsvariabelen (afstandsmaat, soortenaantal en aantal typische oeversoorten).

De vegetatie werd opgemeten gebruik makend van transecten in de vooroevers alsook in oeverzones waar de constructie van vooroevers is ingepland. Er werden slechts weinig significante verschillen aangetroffen tussen de oeverzones zonder en met recent geconstrueerde oeverzones. Metingen kort na aanleg en de aanwezigheid van golfslag in de vooroevers spelen hierbij een rol. De constructies met houten palenrijen hebben over het algemeen een hoger aantal (typische oever-) soorten langs de waterlijn. Redenen hiervoor zijn onduidelijk. Beide types zijn verschillend gelokaliseerd in de waterweg, maar hebben gelijkaardige dimensies en wateruitwisseling met de waterweg. Via stapsgewijze regressie werden significante effecten gevonden voor de zonering op de oevergradiënt, oevertype en hun interactie.

Zowel vooroevers geconstrueerd met azobé-beschoeiing als met palenrijen laten heel veel hydraulische uitwisseling met de waterweg toe. De sterke dynamiek is voornamelijk veroorzaakt door golfslag afkomstig van schepen en zorgt ervoor dat nauwelijks sedimentatie is waargenomen ter hoogte van de oeverzones. Er werd ook geen watervegetatie aangetroffen.

Op basis van doelstellingen geformuleerd voor de oeverzones in de gekanaliseerde Leie en op basis van de resultaten van voorliggend onderzoek zullen door W&Z nieuwe types natuurvriendelijke oeververdedigingen ontworpen worden, wat zal leiden tot de gefaseerde aanleg van een nieuwe reeks plasbermen en drasbermen in de periode 2012-2015.

---

<sup>1</sup> *Helling van de talud*

## Aanbevelingen voor het beleid

Volgende aanbevelingen kunnen reeds meegenomen worden bij de opmaak van nieuwe ontwerpen:

- meer afsluiten van de vooroeververdediging om meer luwe zones te creëren. Bijvoorbeeld door het aantal openingen te verminderen en de grootte van de resterende openingen te beperken. Alsook kan gewerkt worden met minder doorlaatbare materialen (breukstenen tegen de palenrijconstructie, kunststof beschoeiing op palenrij of damplank).
- optrekken van het niveau van de bovenkant van de vooroeververdediging
- wanneer de wateruitwisselingscapaciteit van de te construeren vooroever wordt berekend, houdt men best rekening met toenemende hydraulische krachten wanneer in de toekomst schepen worden ingezet met een grotere vracht of grotere dwarssectie.

## English abstract

Nowadays integrated river restoration projects are challenged by the restoration and creation of new nature values, where pressures like navigation and protection against flooding remain. Within the Lys river restoration project, shallow water areas in a navigable canalized river are realized as a pilot project. To evaluate these new constructions we compared vegetation responses in unsheltered versus protected zones and investigated the effect of inclination, bankside, design and position on bank slope to different response variables (an evaluation measure, the number of taxa and the number of helophyte species). The cover-abundance of the vegetation was determined along belt transects in the shallow water zones and in unprotected riparian zones where new nature friendly constructions are planned.

Few significant differences were found between unprotected and protected conditions. The constructions built with wooden piles had a higher number of (helophyte) species along the water line and lower Euclidian distance values (better developed riparian vegetation) higher on the riverbank than azobe constructions. Both types allow quite some hydraulic exchange with the navigation channel with almost no sediment accretion. Lower Euclidian distance values were found at the left riverbank facing downstream areas. Stepwise regression yielded significant effects of zone, type and their interaction.

While the first prototypes were built, goals were set for riverbank vegetation types along the Lys, based on an analysis and inventory of existing information. These goals will be translated in new designs which aim at more successful shallow water zones and marsh zones. The current monitoring scheme will be pursued, enlarging our insight as new protected riverbanks are constructed.

# Inhoud

<b>Dankwoord/Voorwoord</b> .....	<b>4</b>
<b>Samenvatting</b> .....	<b>5</b>
<b>Aanbevelingen voor het beleid</b> .....	<b>6</b>
<b>English abstract</b> .....	<b>7</b>
<b>1 Inleiding</b> .....	<b>9</b>
1.1 Aanleiding .....	9
1.2 Doelstellingen .....	12
<b>2 Methodiek</b> .....	<b>15</b>
2.1 Studieobject .....	15
2.2 Dataverzameling .....	16
2.3 Gegevensverwerking.....	18
2.3.1 Opgevolgde variabelen.....	18
2.3.2 Euclidische afstandsmaat.....	19
2.3.3 Dataverkenning.....	19
2.3.4 Statistische analyses.....	20
<b>3 Discussie</b> .....	<b>28</b>
<b>Kaartenbijlage</b> .....	<b>31</b>
<b>Bijlagen 32</b>	
<b>Bijlage 1: CEMT-klassen</b> .....	<b>33</b>
<b>Bijlage 2: Oeverherstelmaatregelen</b> .....	<b>34</b>
<b>Bijlage 3: Streefdoelen voor oeverzones in de gekanaliseerde waterweg</b> .....	<b>35</b>
<b>Bijlage 4: Fysico-chemische kwaliteit van de Leie</b> .....	<b>38</b>
<b>Bijlage 5: Erosiemetingen</b> .....	<b>39</b>
<b>Bijlage 6: Kwaliteitsklassen voor biologische kwaliteitselementen</b> .....	<b>41</b>
<b>Bijlage 7: Achtergrond evaluatiemethode voor oevervegetaties</b> .....	<b>43</b>
<b>Bijlage 8: Afstandsmaat gebruik makende van storingsindicatorwaarden (V) versus Ellenbergwaarden (N)</b> .....	<b>45</b>
<b>Referentielijst</b> .....	<b>50</b>



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Vele grote rivieren werden wereldwijd aangepast ten behoeve van maatschappelijke noden (Helfield et al., 2012; Huckstorf et al., 2011; Pedroli et al., 2002). Zo ook werd de Leie in de periode 1965-1982 rechtgetrokken en gekalibreerd om scheepvaart van CEMT klasse<sup>2</sup> IV (1350 ton) mogelijk te maken en de waterafvoer te verbeteren. Hierbij werden oevers verstevigd met licht gewapende betonplaten (Raman & Decler, 2009). De verdieping, rechttrekking, stabilisatie van oevers samen met een veranderd waterregime zorgden voor een degradatie van oeverhabitat met een afname van soorten- en habitatdiversiteit (Helfield et al., 2012; Wolter, 2001).

De erkenning van oeverecosystemen als 'hot spots' van biodiversiteit (Naiman et al., 1993), alsook een toenemend bewustzijn van bedreigingen en de gevolgen voor die biodiversiteit hebben geleid tot een toename van rivierherstelmaatregelen (Bernhardt & Palmer, 2007; Helfield et al., 2012; Palmer et al., 2005) en geïntegreerde rivierherstelprojecten in overeenstemming met de Europese kaderrichtlijn water (EKRW). In geïntegreerde rivierherstelprojecten wordt men uitgedaagd om naast maatregelen voor scheepvaart en recreatie ecosystemendiensten van de waterloop te herstellen en om mogelijkheden te creëren voor habitatontwikkeling of habitattherstel in en langs de rivier rekening houdend met andere functies als scheepvaart, bescherming tegen overstromingen en aanwezigheid van nutsleidingen. Er moet worden gezocht naar een nieuw evenwicht tussen de verschillende gebruikers, leidend tot nieuwe habitats met een andere soortensamenstelling afwijkend van gereguleerde condities van de rivier (Johnson, 2002).

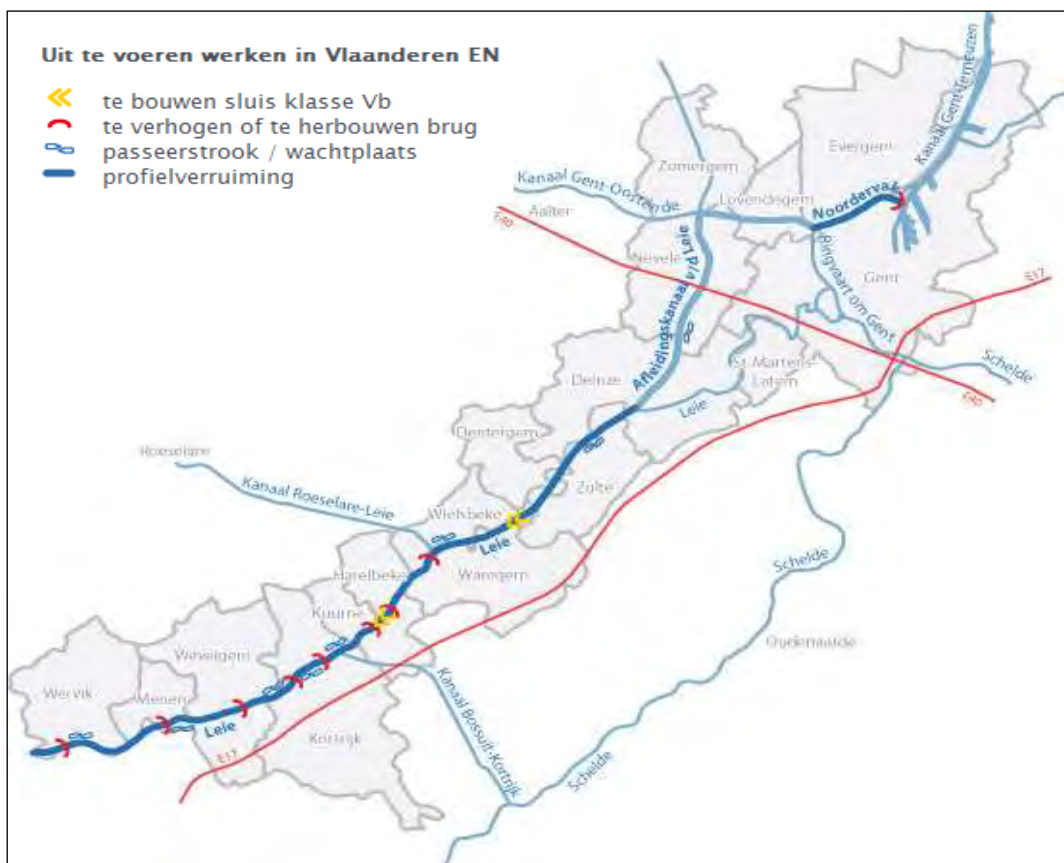
Seine-Schelde (Frankrijk, België) is zo'n geïntegreerd rivierherstelproject. Het is een groot Europees project, welke deel uitmaakt van de realisatie van het TEN (Trans European Network) en beoogt een vlotte binnenvaartverbinding voor grote schepen tussen de bekkens van de Seine en de Schelde. De bevaarbaarheid van de Leie zal opgevaardeerd worden van de Franse grens tot Deinze (Vlaanderen, België). Zie ook Figuur 1. Hieraan is een luik rivierherstel gekoppeld met als doel natuurlijke condities en processen te versterken en doelstellingen opgelegd door de EKRW na te streven (Maes et al., 2011). Naast de heraanpakking van meanders en oeverherstelmaatregelen is ook de creatie van 500 ha natte natuur gepland. Deze ingrepen moeten de Leie en haar vallei ecologisch opwaarderen en terug aantrekkelijk maken op landschappelijk en recreatief vlak.

Oeverherstel zal worden gerealiseerd door het uitgraven en of verbinden van nabijgelegen (parallele) meanders met het Leiekanaal, het afgraven van gedeelten van de oeverzone in de nabijheid van meanders, constructie van ecologische oeververstevigingen en door de verwijdering van gedeelten van aanliggende opgehoogde dijken (zie ook bijlage 2).

In 2008 heeft Waterwegen en Zeekanaal NV (W&Z) het startsein gegeven voor de realisatie van vooroevers opgebouwd uit palenrijen in de Leie. Dit is een eerste stap van de reeks oeverherstelmaatregelen in het kader van het project rivierherstel Leie. In 2009-2010 werden ook vooroevers geconstrueerd met azobé-beschoeiing.

---

<sup>2</sup> De binnen- of rivierscheepvaart is in Europa opgedeeld in CEMT-classes om de afmetingen van vaarwegen in West-Europa op elkaar af te stemmen. De klasse-indeling is bepaald door de Conférence Européenne des Ministres de Transport (vandaar de term CEMT-klasse). Voor een verduidelijking van de klasse-indeling wordt verwezen naar Bijlage 1. (<http://nl.wikipedia.org/wiki/CEMT-klasse>)



Figuur 1: Weergave van het projectgebied Seine-Schelde op Vlaams grondgebied. Een aantal uit te voeren maatregelen worden schematisch weergegeven ©Waterwegen & Zeekanaal NV.

Deze reeks vooroevers kan als een pilotproject gezien worden. In de toekomst zullen meerdere vooroevers worden bijgebouwd.

Afhankelijk van de heersende randvoorwaarden (type waterloop, abiotische condities, huidige functies, ecologische doelstellingen) is voor een bepaald type vooroever of drasberm een specifiek design vereist (Boeters et al., 1991). Gedetailleerde gebiedsspecifieke of waterloop gerelateerde informatie is dan ook nodig om het succes van een technisch ontwerp te garanderen. Ook is bijkomende kennis met betrekking tot achterliggende processen die het al dan niet voorkomen van een welbepaalde responsvariabele -zoals vegetatie- bepalen wenselijk.

Een oplijsting van verschillende monitoringsrapporten en publicaties die reeds handelen over vooroevers of bevaarbare waterlopen wordt gegeven in Tabel 1.

Tabel 1: Weergave van referenties van rapporten, artikels en congresbijdragen die handelen over oeverzones of bevaarbare waterlopen.

Rapporten, artikels, congresbijdragen	Referenties
Monitoringsrapporten met betrekking tot vooroevers	(Boks et al., 2011; Bureau Waardenburg, 1995; De Groote et al., 2010; Mouton et al., 2009; Rijkswaterstaat Noord-Brabant & Rijksinstituut voor Natuurbeheer, 1989; Van Kerckvoorde & Decler, 2011; Vanderhaeghe et al., 2010; Vermeersch & Decler, 2007; Van Ballaer et al., 2007)
Artikels met betrekking tot vooroevers in bevaarbare waterlopen	(Boedeltje et al., 2002; Boedeltje et al., 2003; Weber et al. 2012)
PIANC <sup>3</sup> -congresbijdragen (casestudies; effect van golfslag afkomstig van schepen op oeverzones)	(Boeters et al., 1991; Boeters et al., 1997; De Roo et al., 2010)
Artikels die handelen over de impact van schepen op vispopulaties	(Arlinghaus et al., 2002; Huckstorf et al., 2011; Wolter & Arlinghaus, 2001; Wolter & Arlinghaus, 2003)

Door W&Z werd gevraagd om de eerste reeks vooroevers geconstrueerd in de periode 2008-2010, opgebouwd uit palenrijen en azobé-beschoeiing (zie Foto 1) ecologisch op te volgen en te evalueren. Een aantal resultaten zijn reeds gepubliceerd in een voortgangsrapport (Vanderhaeghe et al., 2010). In voorliggend rapport ligt vooral de klemtoon op het verschil in vegetatieontwikkeling en plantendiversiteit voor de twee verschillende types vooroevers kort na constructie. W&Z vond het nuttig om aan de hand van resultaten van een eerste meetreeks reeds aanwijzingen te kunnen geven om de respectievelijke ontwerpen van de gebouwde vooroevers bij te sturen in functie van nieuwe constructies.



Foto 1: Vooroever opgebouwd uit palenrijen (links) en azobé-beschoeiing (rechts)

<sup>3</sup> PIANC= Globale organisatie die kennis verzamelt rond duurzame watertransportinfrastructuur voor havens en waterwegen

## 1.2 Doelstellingen

### Doelstellingen met betrekking tot oeverzones

Voor de oeverzones langs de gekanaliseerde waterloop wordt gestreefd naar meer natuurlijkheid met spontane ontwikkeling van water- en oevervegetatie. Plaatselijk en in relatie met de vooropgestelde habitats (zie verder) kunnen wel rietaanplantingen worden voorzien in functie van bijkomende oeververstevingen. Algemeen gesteld wordt er gestreefd naar een toename van typische oeversoorten<sup>4</sup> (zie Tabel 2 en Foto 2) volgens (Leyssen et al., 2005) en een afname van storingsindicatoren<sup>5</sup> (hier wordt gewerkt met N-Elzenbergwaarden). Wat de watervegetatie betreft, wordt gestreefd naar structuurrijke oevers met een grote verscheidenheid aan groeivormen, conform decreet integraal waterbeheer en conform de EKRW.

Voor een bredere omkadering van deze doelstellingen wordt verwezen naar volgende rapporten (Raman, 2010): p. 39-41 en (Verboven et al., 2008): p. 245-250. Hierin werden reeds op verschillende schaalniveaus (Raman, 2010) en voor verschillende scenario's (Verboven et al., 2008) doelstellingen geformuleerd voor de oeverzones langs de gekanaliseerde Leie, alsook na te streven habitattypes en aandachtsoorten. Deze worden vermeld in bijlage 3.

In 2011 werd gelijktijdig met deze studie een diepgaandere visie uitgewerkt voor de oeverzones in de gekanaliseerde Leie uitgaande van een analyse van de huidige situatie, bestaande plannen en documenten, rekening houdend met vele randvoorwaarden als huidige infrastructuur, scheepvaart, ecologische doelstellingen en randvoorwaarden geformuleerd door het beleid (Raman & Vanderhaeghe, 2011). Deze visie zal geïmplementeerd worden in nieuwe ontwerptekeningen en nieuwe constructies van vooroevers (zie ook hoofdstuk 4, paragraaf *Perspectieven*). Gezien de huidige te evalueren vooroevers dateren van vóór deze visie, wordt deze visie niet meegenomen in voorliggend rapport.



Foto 2: Overzegge is een typische oeversoort volgens (Leyssen et al., 2005)  
© <http://www.boschemilieugroep.nl/Heempark/images/Planten/>

---

<sup>4</sup> Kenmerkende en aspectbepalende soorten van het type 'grote rivier'. Bij een wat lagere dynamiek (stroomafwaartse riviertrajecten, tijdelijk geïsoleerde wateren en eenzijdig aangetakte rivierarmen) kan zich een sterke waterplantenontwikkeling voordoen, vaak gedomineerd door drijfbladplanten, met daarnaast fonteinkruidvegetaties en emergenten. In de stromende wateren van het zomerbed komen waterplanten voor in de luwte van obstakels in de rivier (eilanden, zandbanken, dode bomen). In snelstromende delen is de watervegetatie kortstondig en spaarzaam aanwezig. Het aantal soorten is beperkt en omvat soorten die bestand zijn tegen veel waterstandsschommelingen en stroming. De vegetatie van de oever bestaat uit pioniervegetaties en moerasruigtes. (Leyssen et al., 2005; Leyssen et al., 2006)

<sup>5</sup> Indicatoren die een verstoring van de habitat aangeven (Heutz & Paelinckx, 2005).

Tabel 2: Typische oeversoorten volgens Leyssen (2005) aangetroffen in de gekanaliseerde Leie.

<i>Agrostis stolonifera</i>	Fioringras
<i>Alnus glutinosa</i>	Zwarte els
<i>Angelica sylvestris</i>	Gewone engelwortel
<i>Atriplex prostrata</i>	Spiesmelde
<i>Bidens frondosa</i>	Zwart tandzaad
<i>Bidens tripartita</i>	Veerdelig tandzaad
<i>Calystegia sepium</i>	Haagwinde
<i>Carex hirta</i>	Ruige zegge
<i>Carex pseudocyperus</i>	Hoge cyperzegge
<i>Carex riparia</i> Curt.	Oeverzegge
<i>Cyperus fuscus</i>	Bruin cypergras
<i>Epilobium hirsutum</i>	Harig wilgeroosje
<i>Epilobium obscurum</i>	Donkergroene basterdwederik
<i>Filipendula ulmaria</i>	Moerasspirea
<i>Glyceria declinata</i>	Getand vlotgras
<i>Hypericum tetrapterum</i>	Gevleugeld hertshooi
<i>Iris pseudacorus</i>	Gele lis
<i>Juncus bufonius</i>	Greppelrus
<i>Juncus effusus</i>	Pitrus
<i>Lycopus europaeus</i>	Wolfspoot
<i>Lythrum salicaria</i>	Grote kattestaart
<i>Mentha aquatica</i>	Watermunt
<i>Phalaris arundinacea</i>	Rietgras
<i>Phragmites australis</i>	Riet
<i>Poa trivialis</i>	Ruw beemdgras
<i>Polygonum amphibium</i>	Veenwortel
<i>Polygonum hydropiper</i>	Waterpeper
<i>Polygonum lapathifolium</i>	Beklierde duizendknoop
<i>Pulicaria dysenterica</i>	Heelblaadjes
<i>Ranunculus sceleratus</i>	Blaartrekkende boterbloem
<i>Rorippa amphibia</i>	Gele waterkers
<i>Rorippa palustris</i>	Moeraskers
<i>Rumex conglomeratus</i>	Kluwenzuring
<i>Rumex palustris</i>	Moeraszuring
<i>Rumex sanguineus</i>	Bloedzuring
<i>Salix alba</i>	Schietwilg
<i>Salix aurita</i>	Geoorde wilg
<i>Scrophularia auriculata</i>	Geoord helmkruid
<i>Scrophularia nodosa</i>	Knopig helmkruid
<i>Scutellaria galericulata</i>	Blauw glidkruid
<i>Stachys palustris</i>	Moerasandoorn
<i>Stellaria alsine</i>	Moerasmuur
<i>Symphytum officinale</i>	Gewone smeerwortel

### Doelstelling rapportage

Doelstelling van deze rapportage is het evalueren van de vegetatieontwikkeling en soortendiversiteit opgemeten in de verschillende types vooroevers met specifieke aandacht voor typische oeversoorten en storingsindicatoren.

### Onderzoeksvragen

Volgende onderzoeksvragen kunnen gesteld worden, werkende met een Euclidische afstandsmaat -gebaseerd op de abundantie van typische oeversoorten en Ellenberg-N-waarden-, soortenaantal en het aantal typische oeversoorten als responsvariabelen:

- Is er in een vroeg stadium reeds een significant verschil waar te nemen voor de responsvariabelen tussen vooroevers en locaties waar nog geen vooroevers zijn opgebouwd? Is er een toenemende abundantie van typische oeversoorten en afnemende abundantie van storingsindicatoren na aanleg van een oeerverdediging? Is er een toename van het aantal soorten na aanleg van een oeerverdediging?
- Zijn er significante verschillen voor de responsvariabelen tussen de vooroevers opgebouwd uit palenrijen en vooroevers opgebouwd uit azobé?
- In welke mate wordt de variatie verklaard door volgende variabelen: oeverkant, zonering oevergradiënt, inclinatie?

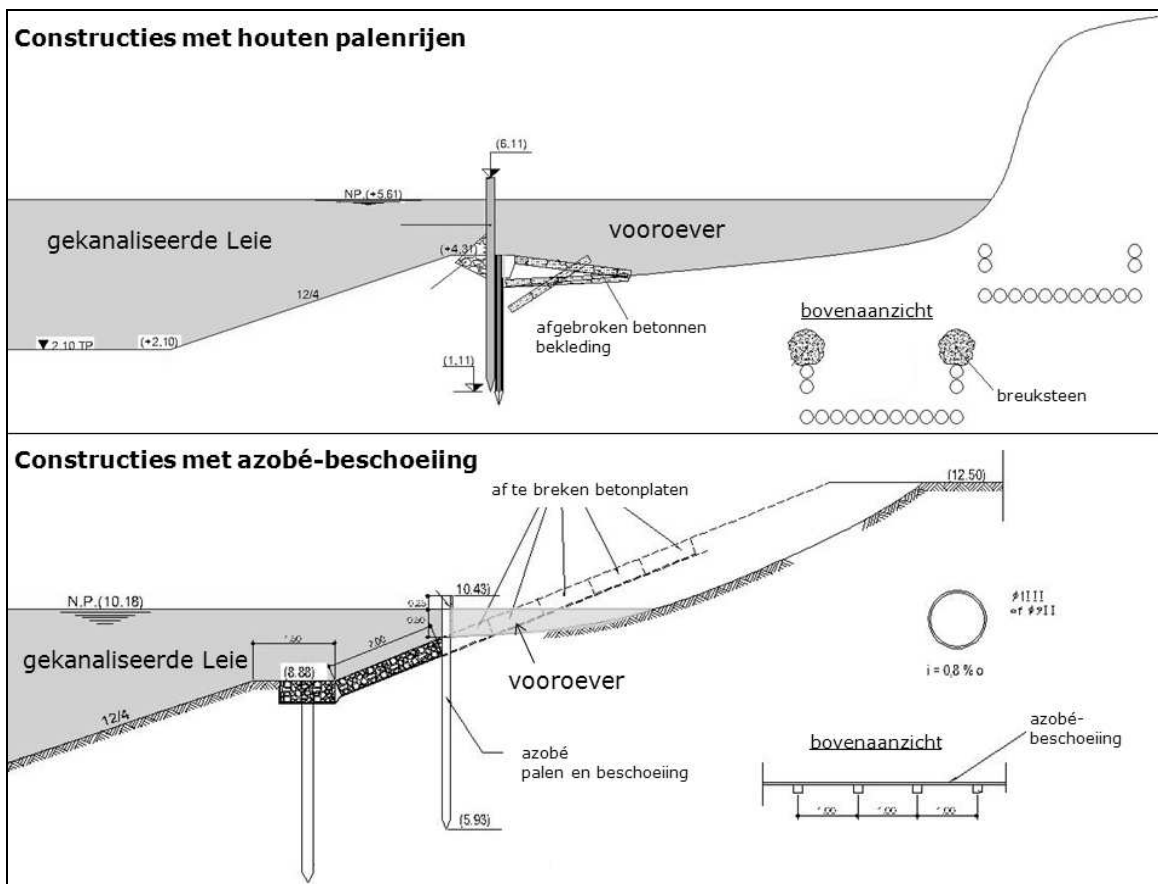
## 2 Methodiek

### 2.1 Studieobject

De Leie is een niet getijde-gebonden rivier met een bekkenoppervlakte van 982 km<sup>2</sup>. De rivier is vanaf de Franse grens tot Deinze gekalibreerd voor CEMT klasse IV schepen met een capaciteit tot 1350 ton. Momenteel worden schepen met een CEMT klasse Va toegelaten. In de toekomst wordt de waterweg opgewaardeerd voor CEMT klasse Vb schepen, 4500 ton duwvaart (voor verdere toelichting van de CEMT klassen wordt verwezen naar Bijlage 1). Dit betekent dat er een verdieping nodig is van de vaarweg met 1 m (Maes et al., 2011). Om eenrichtingsverkeer voor klasse Vb schepen op de Leie mogelijk te maken dient de waterweg een gekalibreerd trapziumprofiel te hebben met een waterdiepte van 4,5 m met behoud van de huidige waterlijn. Het standaardprofiel loopt af met een helling 10/4 tot een diepte van 1,30 m onder de waterlijn en loopt dan minder steil af met een helling 12/4 tot een waterdiepte van 4,5 m. Bepaalde bochten worden verbreed om het kruisen van een klasse IV-schip en Vb-schip mogelijk te maken. De bochtverbreding wordt zoveel mogelijk aan de binnenzijde van de bocht toegepast en over de gehele lengte van de verbreding. Om kruisend verkeer voor klasse Vb schepen mogelijk te maken worden passeerstroken voorzien met een lengte van 250 à 300 m (Ecorem 2008).

27 meanders zijn afgesneden of opgevuld met materiaal afkomstig van het uitgraven van de nabijgelegen gekanaliseerde Leie. Om natuurlijke erosieprocessen te verhinderen en de watervoerende sectie te maximaliseren werden oevers verstevigd en het waterpeil gestabiliseerd door de bouw van 3 sluizen. Stroomsnelheden zijn gewoonlijk laag (<0.3 m/s). Concentraties van totaal stikstof (met een gemiddelde van > 7.5 mgNL<sup>-1</sup> tijdens groeiseizoen), totaal fosfor (met een gemiddelde van > 0.7 mgPL<sup>-1</sup> tijdens groeiseizoen) en orthofosfaat (met een gemiddelde van > 0.4 mgL<sup>-1</sup>) zijn hoog (VMM, 2009a)(zie ook Bijlage 4).

De vooroevers zijn gebouwd in het bevaarbare gedeelte van de Leie. Twee types zijn geconstrueerd in de periode 2008-2010: een type opgebouwd met palenrijen en een type opgebouwd met azobé-beschoeiing (zie Figuur 2). Beide zijn gelegen in het scheepvaartkanaal en ermee verbonden door middel van één of meerdere openingen in de vooroever (afhankelijk van de lengte van de vooroever). De constructies met azobé-beschoeiing situeren zich stroomopwaarts (lagere achterliggende oevers) en zijn open aan de beide dwarse zijden (hierbij een instroom- en uitstroomopening creërend). De constructies met palenrijen zijn meer stroomafwaarts gelegen, meestal met een smallere in- en uitstroomopening. De breedte van deze vooroevers varieert van 6-17 m, de diepte varieert van 0 m (ter hoogte van de achterliggende oever) tot hooguit ca. 3 m (vooroever). De achterliggende oevers zijn onverstevigd en in een paar gevallen gedeeltelijk versterkt met breuksteen.



Figuur 2: Dwarsdoorsneden van constructies opgebouwd met palenrijen (boven) en constructies met azobé-beschoeiing (onder) ©Waterwegen & Zeekanaal NV.

## 2.2 Dataverzameling

Wand- en bodemerosie werden bemeaten. Voor de gebruikte methoden en een weergave van enkele resultaten wordt verwezen naar Bijlage 5. Gedurende een periode van 2,5 maand (9/06-22/09/2009) werd erosie van de oever van 20-80 cm geobserveerd. Erosieprocessen waren vrij gelijkaardig in verdedigde en onverdedigde zones. Wat het bodemprofiel betreft werd een netto erosie vastgesteld.

De vegetatie is bemeaten aan de hand van transecten in 2009 (referentiesituatie en vooroevers met houten palenrijen) en 2010 (vooroevers met azobé-beschoeiing). In eerste instantie werd gestreefd naar het bemeaten van een referentiesituatie zonder vooroeververdediging. Gezien kort voor de metingen reeds gestart werd met de bouw van vooroevers met palenrijen werd beslist om de vegetatie in deze recent aangelegde constructies eveneens te bemeaten om vergelijkingen met latere meetreeksen mogelijk te maken en om reeds een aantal aanwijzingen te kunnen geven bij herziening van de ontwerpen in functie van nieuwe constructies.

Een transect bevat drie vegetatieopnamen, die hier verder ook plots worden genoemd: een plot in het wateroppervlak, een plot langs de oeverlijn en een plot op het oevertalud (Figuur 3).





Figuur 3: Transect bestaande uit 3 plots loodrecht op de vooroever. De rechthoek van de bovenste plot is gemarkeerd met behulp van een betonijzer voorzien van veiligheidslint.



Foto 3: Inventarisatie van watervegetatie met hark (links). Maken van een vegetatieopname op talud van de oevers (rechts)

De permanente transecten werden ad random uitgezet in de vooroevers loodrecht op de waterweg, alsook in zones waar de bouw van vooroevers gepland was. Bij deze laatste was de oevers voornamelijk onverdedigd (en geërodeerd), (gedeeltelijk) verdedigd met betonplaten of gedeeltelijk verdedigd met breuksteen. Het aantal transecten per vooroevers varieert van 0 tot 4, gerelateerd aan de afmetingen van de vooroevers en bereikbaarheid. De rechthoek (staande met de rug naar de waterloop) van het bovenste plot werd

gemarkeerd met behulp van een betonijzer en veiligheidslint. Dit punt wordt eveneens opgemeten een RTK GPS.

Elk plot heeft een afmeting van 3m x 1m, waarvan de lange zijde evenwijdig loopt met de waterlijn. De bedekking en het aantal van de aanwezige plantensoorten werden ingeschat gebruik makend van de schaal van Demeulenaere (Demeulenaere et al., 2002) (zie Tabel 3). De vegetatie in het water werd bemonsterd door middel van een hark met telescopische steel, waaraan een rooster is bevestigd. Voor de bedekking van de submerse vegetatie werd eveneens de schaal van Demeulenaere gebruikt. Tevens werden voor elke waargenomen soort van de watervegetatie de groeivormen<sup>6</sup> genoteerd.

Tabel 3: Beheermonitoringsschaal (Demeulenaere et al., 2002).

Symbol	Beschrijving	Bedekking	Aantal
D	Dominant	> 75%	irrelevant
H	Halfbedekkend	50-75%	irrelevant
K	Kwartbedekkend	25-50%	irrelevant
B	Bedekkend	5-25%	irrelevant
A	Abundant	<5%	> 1001
F	Frequent	<5%	101-1000
V	Verspreid	<5%	11-100
S	Schaars	<5%	4-10
ZS	Zeer schaars	<5%	1-3

P = Plaatselijk: planten groeiend in aaneengesloten vlekken (éénsoortig of gemengd) waarvan de begrenzing zich op minder dan ¼ van de oppervlakte concentreert.

## 2.3 Gegevensverwerking

### 2.3.1 Opgevolgde variabelen

#### Responsvariabelen:

- Euclidische afstandsmaat X (zie 2.3.2)
- soortenaantal
- aantal typische oeversoorten (Leyssen et al., 2005)

#### Verklarende variabelen:

- inclinatie (helling talud)
- oeverkant (rechteroever, linkeroever)
- zonering talud (zone 1: gelegen langs de oeverlijn; zone 2 gelegen hogerop het talud)
- type (geen vooroever, palenrijen, azobé-beschoeiing)

<sup>6</sup> Voor meer info en weergave van een maatlat voor groeivormen wordt verwezen naar Bijlage 7.

Andere sturende variabelen die niet bemeten zijn in 2009-2010: water- en waterbodempkwaliteit, troebelheid, golfslag.

### 2.3.2 Euclidische afstandsmaat

De afstand tot goed ontwikkelde oeverzones werd berekend met behulp van volgende formule:

$$X = \sqrt{(0,526 (TS - TS_0)^2) + 0,474 (N - N_0)^2}$$

**TS** = gewogen gemiddelde van typespecificiteit-waarden (tsi: de typespecificiteitswaarde van soort i (typische oeversoort=1, geen typische soort=0) (Leyssen et al., 2006; VMM, 2009)

**TS<sub>0</sub>** = 0,8 (Leyssen et al., 2006; VMM, 2009)

**N** = gewogen gemiddelde van N-Ellenbergwaarden<sup>7</sup>

**N<sub>0</sub>** = 0,222

Voor de berekening van TS wordt verwezen naar Bijlage 7. TS<sub>0</sub> en N<sub>0</sub> werden bepaald door het midden te nemen van de range van de criteria 'matig' naar 'zeer goed' (zie Figuur 4). De coëfficiënten 0,526 en 0,474 zijn correcties voor het verschil in klassebreedte. Voor een verdere omkadering wordt verwezen naar bijlage 6.

Bij de opmaak van de afstandsmaat werd eveneens uitgetest welke indicatorwaarden voor verstoring het meest geschikt zijn om te gebruiken: de verstoringsswaarde V (Leyssen et al., 2006) of N-Ellenbergwaarden (Ellenberg H., 1974). Deze afweging wordt weergegeven in Bijlage 8. Er is geopteerd voor N-Ellenbergwaarden.

	<b>0</b>	<b>0.111</b>	<b>0.222</b>	<b>0.333</b>	<b>0.444</b>	<b>0.556</b>	<b>0.667</b>	<b>0.778</b>	<b>0.889</b>	<b>1</b>	
<b>N</b>	zr arm	zr arm-arm	arm	arm-matig	matig	matig-rijk	rijk	rijk-uitgesproken rijk	uitgesproken rijk		
	<b>GOED</b>				<b>SLECHT</b>						
<b>TS</b>	<b>SLECHT</b>						<b>GOED</b>				
	<b>0</b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.3</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>1</b>

Figuur 4: Range van Ellenberg-N waarden en waarden voor typespecificiteit (TS) ingedeeld in klassen.

Per opname wordt de afstand tot een goed ontwikkelde oeverzone berekend (X). X varieert tussen 0 (goed ontwikkelde oeverzone) en 1 (slecht ontwikkelde oeverzone).

### 2.3.3 Dataverkenning

In de dataverkenning werden volgende elementen nagegaan:

- Aanwezigheid van ontbrekende waarden?
- Verdeling van de responsvariabele. Is deze normaal verdeeld? Zijn er uitschieters?
- Testen van homogeniteit van de responsvariabelen?
- Verdeling van de verklarende variabelen?

<sup>7</sup> Ellenberg-N waarden zijn indicatorwaarden die afgeleid werden per soort voor het nutriëntgehalte (Ellenberg H., 1974).



- Verband tussen respons en verklarende variabelen?

Resultaten van deze dataverkenning werden niet in deze rapportage weergegeven.

### 2.3.4 Statistische analyses

De vegetatieopnamen werden digitaal ingevoerd met behulp van Excel en TURBOVEG. Daarop volgde een analyse met behulp van TWINSPAN. Volgende verbonden werden aangetroffen: *Arrhenaterion*, *Bidention tripartitae*, *Salsolion ruthenicae* en *Phragmition*. Vooral in de drogere zone hogerop het talud (zone 1) werd een lagere bedekking van de vegetatie geobserveerd met een hogere aanwezigheid en abundantie van ruderaal plantensoorten<sup>8</sup>. Op verschillende plaatsen werd een strook vegetatie aangetroffen langs de waterlijn behorende tot het verbond *Arrhenaterion*. Deze vegetatie bevindt zich normaal op de kruin van naastliggende bermen. Als het gevolg van het ineenstorten van de oeverwand vallen grote brokstukken bermvegetatie naar beneden die langs de waterlijn een tijdje stand houden.



Figuur 5: Bermvegetatie die door erosie afgescheurd is van het hoger gelegen gedeelte en nu langs de waterlijn stand houdt.

Er werd geen watervegetatie aangetroffen, behalve draadwier en schedefonteinkruid (*Potamogeton pectinatus*) in enkele vooroevers.

Omwille van het ontbreken van de watervegetatie werden de opnamen in het wateroppervlak niet meegenomen bij de analyses. Opnamen met struweelvegetatie werden eveneens buiten beschouwing gelaten om de analyses op een zo homogeen mogelijke dataset te kunnen toepassen. Per vooroever werd slechts 1 transect (random gekozen) weerhouden om nadelige effecten van spatiale correlatie te vermijden.

---

<sup>8</sup> Vaak eenjarige, maar ook overblijvende soorten behorende tot ruderaal gemeenschappen. Deze komen tot ontwikkeling op allerlei plekken die sterk onderhevig zijn aan menselijke verstoring. Vaak is er sprake van een overmaat aan voedingsstoffen (vooral stikstof) (<http://www.floravannederland.nl/G-130-ruderaal/>).

Statistische analyses gebeurden met behulp van S-PLUS. Verschillen tussen de responsvariabelen (afstandsmaat, soortenaantal, aantal typische oeversoorten) tussen oeverzones met en zonder vooroevers werden geanalyseerd door middel van een t-test. De steekproef betrof 59 oeverzones waarvan 26 vooroevers en 33 onverdedigde oeverzones. Op eenzelfde manier werden ook de verschillen tussen de responsvariabelen onderzocht voor constructies met palenrijen ten opzichte van constructies met azobé-beschoeiing. De steekproef omvatte 26 vooroevers, waarvan 10 vooroevers opgebouwd met azobé-beschoeiing en 16 met palenrijen. De effecten van inclinatie, oeverkant, type en zonering talud op de verschillende responsvariabelen werden geanalyseerd gebruik makende van gemengde modellen (mixed models). Een 'linear mixed model' werd opgesteld om het effect op de afstandsmaat na te gaan, terwijl linear generalized mixed models met poisson link opgesteld werden voor het effect op soortenaantal en het aantal typische oeversoorten, aangezien deze laatste aantallen betreffen. Er werd een random effect toegevoegd in de modellen om rekening te houden met het feit dat plots van eenzelfde transect op een zelfde manier worden beïnvloed. Het transectnummer werd gebruikt als een 'grouping variable'. De respectievelijke modellen werden geselecteerd via backward stepwise regression. De modellen werden op een objectieve manier met elkaar vergeleken aan de hand van AIC-waarden. AIC staat voor Akaike Information Criterion en is een maat voor de betrouwbaarheid van het model. De laagste AIC-waarde geeft het beste model. Er wordt vertrokken van de meest complexe fixed effects (Onkelinx et al., 2008). 'Goodness of fit' werd ingeschat door analyse van de residuen (plot residuals versus fitted values).

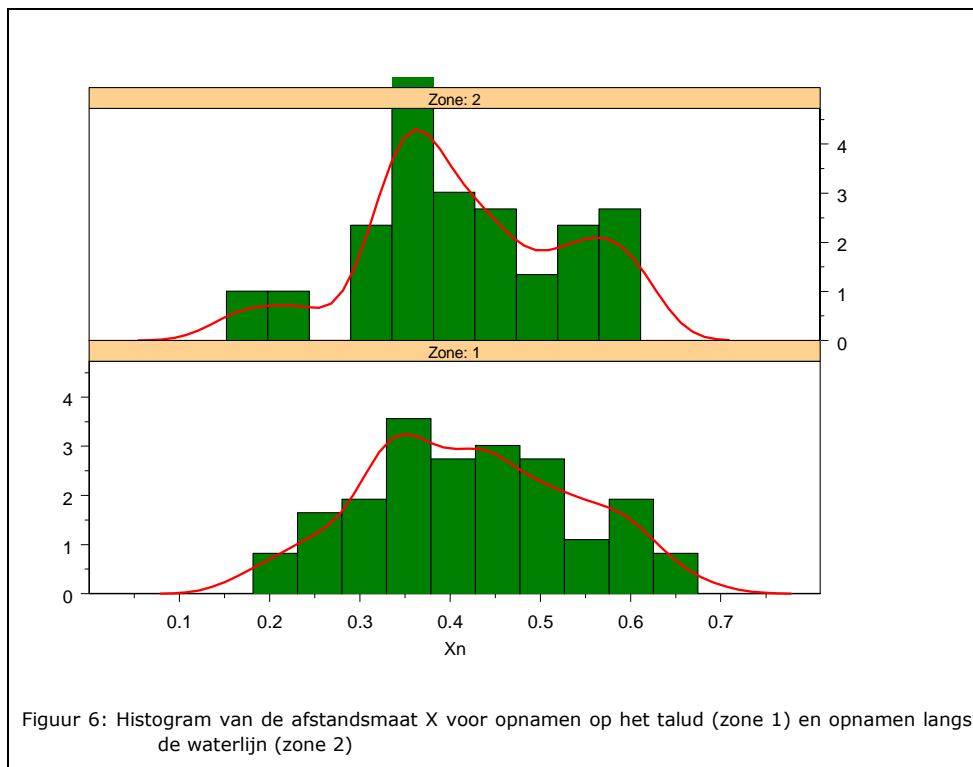
Wat is de afstand tot goed ontwikkelde oeverzones?

In Tabel 4 worden de beschrijvende statistieken weergegeven voor de afstandsmaat. De verschillende types hebben een gelijkaardig gemiddelde dat rond 0.4 schommelt. Lagere waarden worden aangetroffen voor het type palenrijen (zone 1), evenals voor het type onverdedigd (zone 2).

Tabel 4: Samenvattende statistiek voor de afstandsmaat voor de twee zones (zone 1: opnamen op het talud, zone 2: opnamen langs de waterlijn)

<b>Zone 1</b>	<b>Zone 2</b>
<i>Type: Azobé-beschoeiing</i> Aantal opnamen:10 Min: 0.34 Mean: 0.45 Median: 0.45 Max: 0.61 Std Dev.: 0.07	<i>Type: Azobé-beschoeiing</i> Aantal opnamen:10 Min: 0.31 Mean: 0.48 Median: 0.52 Max: 0.60 Std Dev.: 0.10
<i>Type:Palenrijen</i> Aantal opnamen:19 Min: 0.19 Mean: 0.41 Median: 0.43 Max: 0.63 Std Dev.: 0.12	<i>Type: Palenrijen</i> Aantal opnamen:20 Min: 0.34 Mean: 0.39 Median: 0.38 Max: 0.49 Std Dev.: 0.04
<i>Type:Zonder vooroever</i> Aantal opnamen:40 Min: 0.25 Mean: 0.43 Median: 0.40 Max: 0.67 Std Dev.: 0.12	<i>Type: Zonder vooroever</i> Aantal opnamen:34 Min: 0.15 Mean: 0.41 Median: 0.39 Max: 0.61 Std Dev.: 0.14

De distributie van de waarden van de afstandsmaat voor zone 1 en zone 2 ongeacht het type wordt weergegeven in onderstaand histogrammen (Figuur 6).



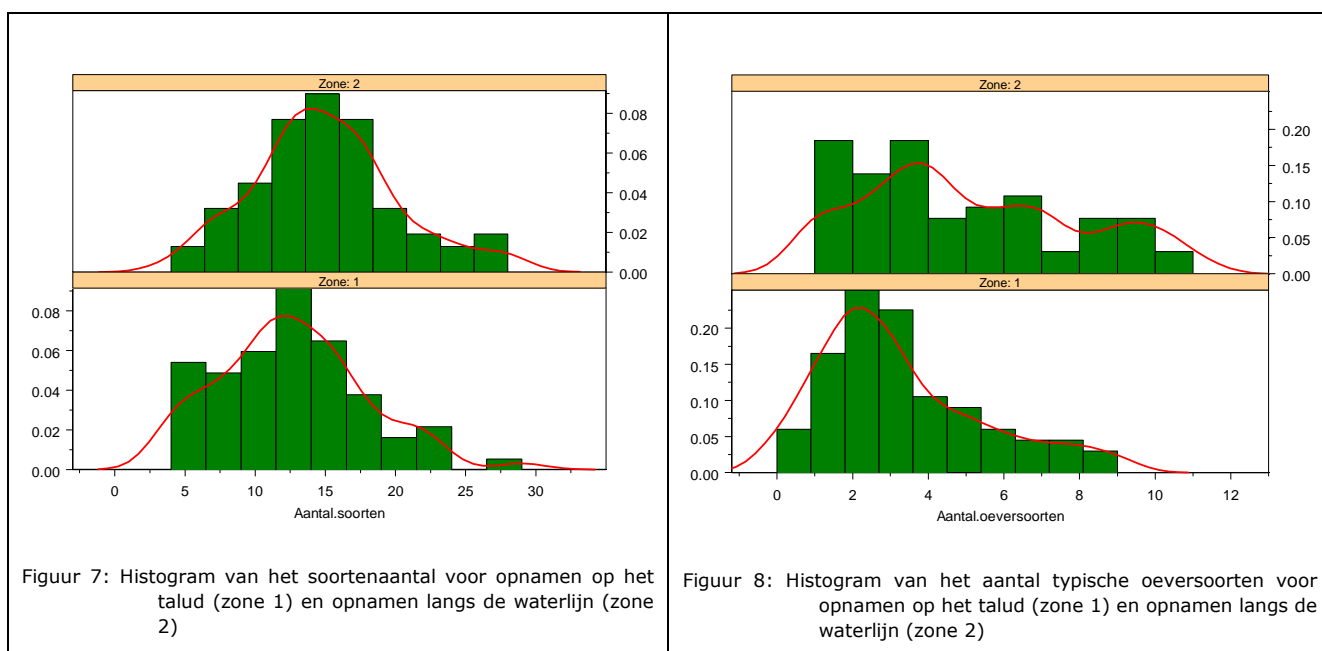
Figuur 6: Histogram van de afstandsmaat X voor opnamen op het talud (zone 1) en opnamen langs de waterlijn (zone 2)

De distributie van de afstandsmaat voor zone1 en zone2 is vrij gelijkaardig. De vorm van de verdeling voor de zone langs de waterlijn is eerder bimodaal, terwijl deze voor zone1 unimodaal en meer afgeplat is. Zowel langs de waterlijn als hogerop het talud zijn er weinig opnamen met een lage waarde voor de afstandsmaat, duidend op een goed ontwikkelde oevervegetatie, alsook weinig opnamen met een erg hoge waarde voor de afstandsmaat.

### Soortenrijkdom vooroevers

Ook voor het aantal soorten en het aantal typische soorten worden onderstaand histogrammen weergegeven (Figuur 7 en Figuur 8).

Hoger op het talud werden meer opnamen met minder soorten en een kleiner aantal typische oeversoorten aangetroffen. Langs de waterlijn zijn de waarden voor de responsvariabele soortenaantal benaderend normaal verdeeld. Voor de responsvariabele aantal typische oeversoorten is de vorm van de verdeling meer afgeplat. Er is een grotere spreiding van de waarden.



### Oeverzones met versus zonder vooroever

Het aantal typische oeversoorten voor opnamen gelegen langs de waterlijn is significant hoger in vooroevers dan oeverzones zonder vooroever. De overige verschillen zijn niet significant (Tabel 5).

Tabel 5: Gemiddelde van responsvariabelen in onverdedigde en verdedigde oeverzones voor opnamen op het talud (zone 1) en opnamen langs de waterlijn (zone 2)

Zone 1	Gemiddelde van geen vooroever	Gemiddelde van vooroever	t	df	p-waarde
Afstandsmaat	0.446	0.44	0.215	56.981	0.831
Soortenaantal	12.424	11.769	0.458	54.14	0.649
Aantal typische oeversoorten	2.454	2.885	-0.898	51.87	0.373
Zone 2	Gemiddelde van geen vooroever	Gemiddelde van vooroever	t	df	p-waarde
Afstandsmaat	0.417	0.43	-0.46	49.168	0.647
Soortenaantal	15.367	14.481	0.621	45.406	0.538
Aantal typische oeversoorten	4.233	5.852	-2.1504	48.7	<b>0.037</b>

Samenvatting van t-test (Welch Modified Two-Sample t-Test); significante verschillen zijn in vet weergegeven.

### Constructies met azobé-beschoeiing versus constructies met houten palenrijen

Voor de opnamen op het talud van de oeverwand werd een significant hoger soortenaantal en hoger aantal typische oeversoorten gevonden in vooroevers opgebouwd uit palenrijen (Tabel 6). Voor de opnamen langs de waterlijn werd een significant lagere afstandsmaat geobserveerd in constructies met palenrijen, wat duidt op een betere vegetatieontwikkeling.

Tabel 6: Gemiddelde van responsvariabelen in vooroevers opgebouwd met azobé-beschoeiing of houten palenrijen voor opnamen op het talud (zone 1) en opnamen langs de waterlijn (zone 2)

Zone 1	Gemiddelde van azobé-beschoeiing	Gemiddelde van houten palenrijen	t	df	p-waarde
Afstandsmaat	0.452	0.433	0.525	23.919	0.604
Soortenaantal	8	14.125	-3.433	21.374	<b>0.002</b>
Aantal typische oeversoorten	1.5	3.75	-4.439	18.406	<b>0.0003</b>
Zone 2	Gemiddelde van azobé-beschoeiing	Gemiddelde van houten palenrijen	t	df	p-waarde
Afstandsmaat	0.484	0.399	2.464	10.993	<b>0.032</b>
Soortenaantal	15.8	13.706	0.803	16.456	0.433
Aantal typische oeversoorten	4.8	6.471	-1.291	16.62	0.214

Samenvatting van t-test (Welch Modified Two-Sample t-Test); significante verschillen zijn in vet weergegeven.

### Effect van inclinatie, oeverkant, type en positie op het talud

#### **Weerhouden modellen**

Volgende modellen zijn weerhouden:

##### *Linear mixed model*

- Afstandsmaat  $Y_i = \alpha + \beta_1 \text{Oeverkant}_1 + \beta_2 \text{Inclinatie} + a_i + \varepsilon_i$
- $a_i \sim N(0, \sigma^2)$ ;  $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

##### *Generalized linear mixed models*

(met Poisson link en transectnummer als random effect)

- Aantal.soorten  $Y_{ij} = \alpha + \beta_1 \text{Zone}_{ij} + \beta_2 \text{Oeverkant}_{ij} + \beta_3 \text{Type}_{ij} + \beta_4 \text{Type:Zone}_{ij} + a_i + \varepsilon_{ij}$   
 $a_i \sim N(0, \sigma^2)$ ;  $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$
- Aantal.oeversoorten  $Y_{ij} = \alpha + \beta_1 \text{Zone}_{ij} + \beta_2 \text{Type}_{ij} + \beta_3 \text{Inclinatie}_{ij} + \beta_4 \text{Type:Zone}_{ij} + a_i + \varepsilon_{ij}$   
 $a_i \sim N(0, \sigma^2)$ ;  $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

#### **Significante effecten**

De significante voorspellers resulterend uit bovenstaande beschreven modellen zijn weergegeven in Tabel 7. Er is enkel een zwak effect van de oeverkant op de afstandsmaat. Lagere waarden voor de afstandsmaat werden aangetroffen in oeverzones op de linkeroever. Sterkere effecten werden aangetoond met de 'generalized linear mixed models'. Via stapsgewijze regressie werden significante effecten gevonden van zone, type en hun interactie op de responsvariabelen soortenaantal en het aantal typische oeversoorten.



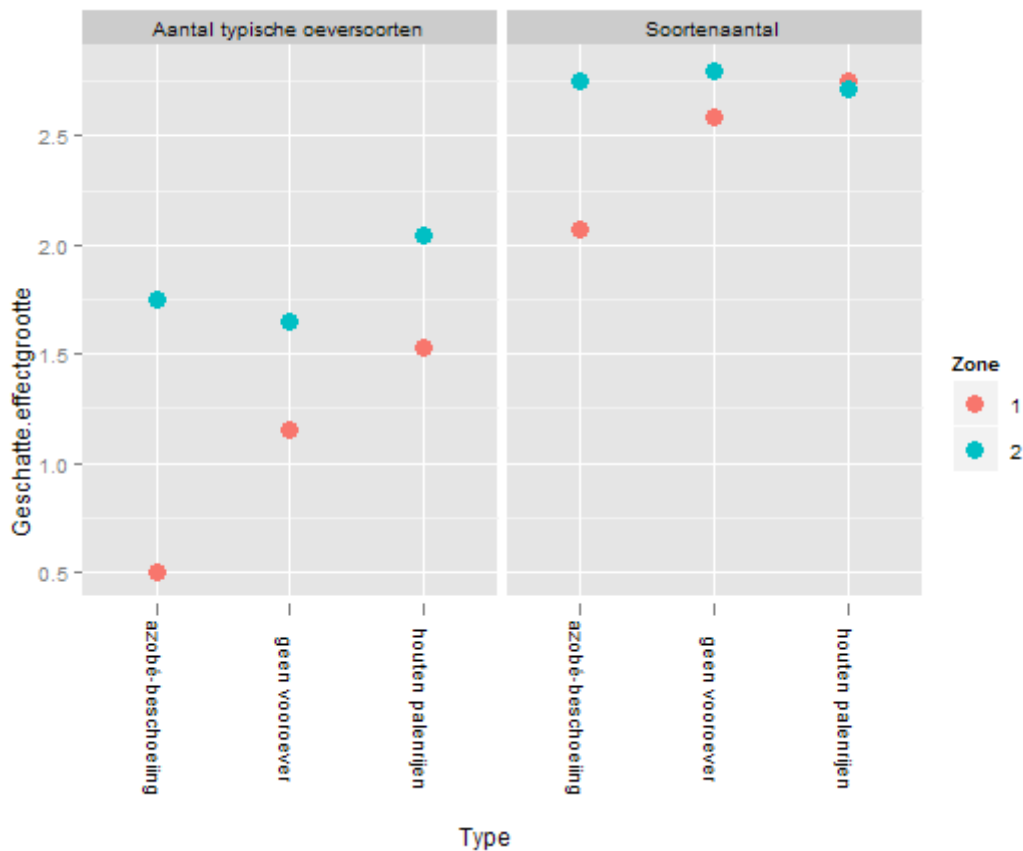
Tabel 7: Resultaten van stapsgewijze regressie. Enkel de variabelen en enkele interacties van variabelen met een significant effect op de verschillende responsvariabelen worden weergegeven.

respons	intercept	oeverkant (linkeroever=0, rechteroever=1)	inclinatie	zone (z1=0, z2=1)	type (azobé- beschoeiing=0, houten palenrijen=1)	type (azobé- beschoeiing=0, geen vooroever=1)	zone.type (houten palenrijen)	zone.type (geen vooroever)	$\sigma^2$ (Intercept)	$\sigma^2$ Residual
<b>Afstandsmaat</b>	0,42 (0,03)	-0,05 (0,02) *	0.00 (0.00)						0,05	0,09
<b>Soortenaantal</b>	2,07 (0,15)	-0,14 (0,09)		0,68 (0,17) ***	0,68 (0,19) ***	0,52 (0,17) **	-0,71(0,21) **	-0,47 (0,19) *	0,16	1,27
<b>Aantal typische oeversoorten</b>	0,50 (0,27)		-0.00 (0.00)	1,25 (0,29) ***	1,03 (0,31) ***	0,65 (0,30) *	-0,74 (0,33) *	-0,75 (0,32) *	0,29	0,95

Coefficiënten (standaardfout tussen haakjes). \* $p \leq 0.05$ , \*\* $p \leq 0.01$ , \*\*\* $p \leq 0.001$ .

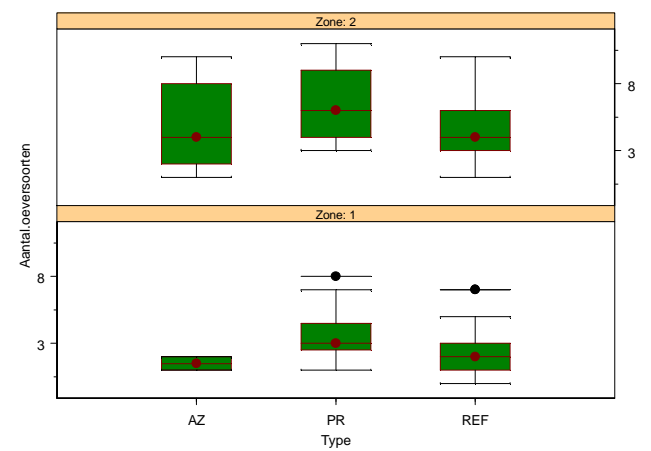
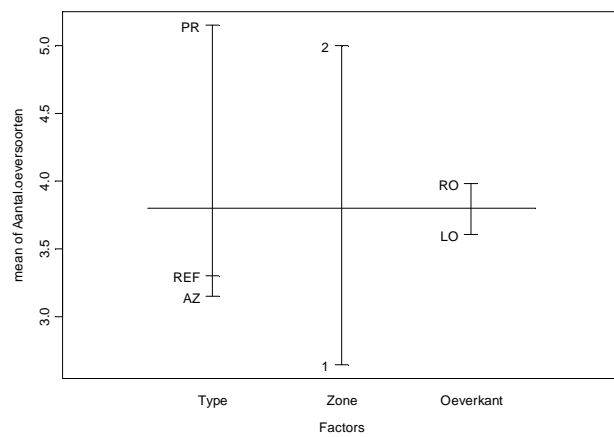
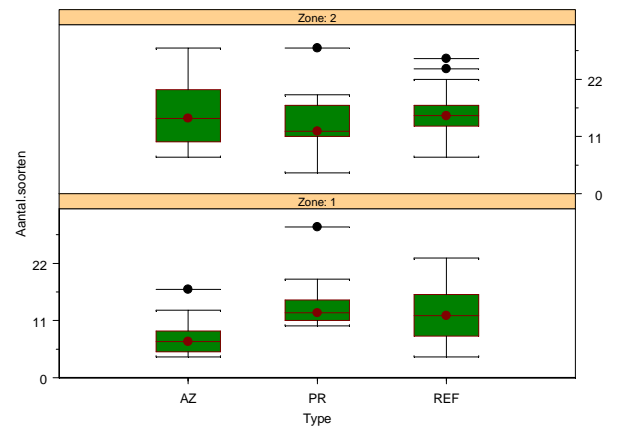
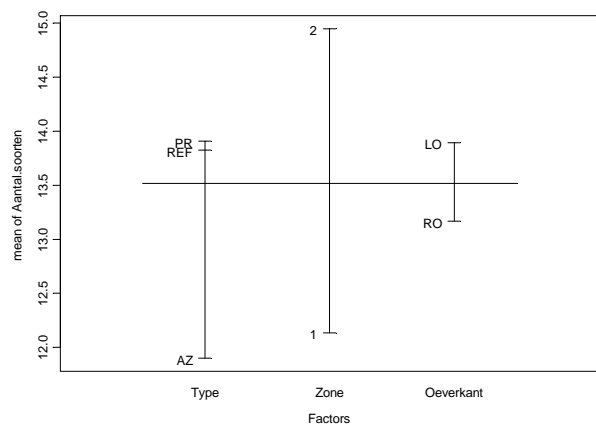
Opnamen gelegen langs de waterlijn (zone 2) hebben een hoger soortenaantal dan opnamen hoger gelegen op het talud (zone 1) zoals ook weergegeven werd door de histogram (Figuur 7). De interactie tussen zone en type is significant.

In onderstaande figuur (Figuur 9) wordt de geschatte effectgrootte weergegeven van de verschillende vooroevertypes op de responsvariabelen aantal typische soorten en soortenaantal, opgesplitst voor zone 1 en zone 2.



Figuur 9: Geschatte effectgrootte van de verschillende vooroevertypes op de responsvariabelen aantal typische soorten en soortenaantal, opgesplitst voor zone 1 en zone 2.

In Figuur 10 worden designplots en boxplots weergegeven voor diezelfde responsvariabelen. Er werd een hoger soortenaantal en hoger aantal typische soorten waargenomen in opnamen gelegen op hoger liggende oeverzones beschermd door palenrijen ten opzichte van opnamen hoger op het talud beschermd door een azobévooroever.



Figuur 10: Links worden designplots weergegeven voor de responsvariabelen aantal soorten (boven) en aantal typische soorten (onder). De horizontale lijn is het algemeen gemiddelde. Ten opzichte van dit gemiddelde wordt de effectgrootte per niveau weergegeven. Rechts: boxplots voor dezelfde responsvariabelen opgesplitst voor zone 1 (hoger op het talud) en zone 2 (langs de waterlijn).

### 3 Discussie

Er werden slechts weinig significante veranderingen aangetroffen tussen oeverzones met en zonder vooroever. De constructies met houten palenrijen hebben langs de waterlijn een hogere soortenrijkdom en meer typische oeversoorten en lagere waarden voor de afstandsmaat (beter ontwikkelde oeverzones) hoger op het talud dan constructies met azobé-beschoeiing. Er zijn lagere waarden voor de euclidische afstandsmaat gevonden op de linkeroever. Via stapsgewijze regressie werden significante effecten van zone, type en hun interactie aangetoond.

Er werden weinig significante effecten gevonden voor de afstandsmaat als responsvariabele. De afstandsmaat maakt gebruik van zowel typespecificiteitsscores vastgelegd voor het type grote rivieren alsook van N-Ellenberggetallen. Ellenberggetallen werden oorspronkelijk vooral in terrestrische systemen gebruikt maar dringen ook vaker door in de aquatische beoordelingssystemen (Triest 2000; Triest *et al.* 2001). Er is gewerkt met Ellenberg N-getallen gezien macrofyten als producenten van biomassa, algemeen beschouwd worden als goede indicatoren voor eutrofiëring. Het Ellenberggetal N ('Stickstoffzahl') is een maat voor mineraalstikstof, maar Ellenberg geeft wel aan dat, vooral in aquatische systemen, fosfaatconcentraties vaak meer de vegetatiesamenstelling bepalen dan nitraatconcentraties. Het N-getal dient dan ook eerder als een trofiescore<sup>9</sup> geïnterpreteerd te worden. Schneiders (2004) onderzocht in welke mate Ellenberg N- en R-getallen<sup>10</sup> gecorreleerd waren met andere trofiescores. Alle indicatorwaarden bleken significant met elkaar gecorreleerd te zijn. De correlaties met Ellenbergwaarden zijn wel lager dan met de meeste andere indicatorwaarden. Ellenberggetallen steunen op heel wat vegetatiekundig en experimenteel ecologisch onderzoek (Hill *et al.*, 1999). Het totaal aantal soorten met een indicatorgetal is ook beduidend hoger dan voor de andere scoresystemen en het zwaartepunt ligt bij de landplanten. Ellenberg-R is het slechtst gecorreleerd met de andere indicatorgetallen (Schneiders *et al.*, 2004). In bijlage 8 wordt de afstandsmaat met een andere verstoringindicator uitgetest. Dit blijkt geen betere resultaten op te leveren.

Er is ook gewerkt met soortenrijkdom als responsvariabele. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de soortenrijkdom in relatie tot trofie eerder een optimumcurve vertoont. Zeer voedselrijke, maar ook voedselarme systemen hebben van nature vaak een lagere soortenrijkdom (Schneiders *et al.*, 2004). In de gekanaliseerde Leie is de realisatie van voedselarme systemen echter onwaarschijnlijk.

Doordat de opnamen kort na de constructie van de vooroevers zijn gemaakt, is het niet zo verwonderlijk dat vrij gelijkaardige resultaten worden gevonden in oeverzones met of zonder vooroeverversteving in de gekanaliseerde Leie. Gedurende de bouw van vooroevers wordt de betonnen bekleding -indien die nog aanwezig is- op het talud opgebroken en zoveel mogelijk herbruikt als steun aan de voet van de vooroeververdediging. Deze ingreep zorgt voor een verstoorde oeverzone, gelijkaardig aan verstoorde oeverzones gecreëerd door erosieprocessen op plaatsen zonder vooroeververdediging.

Zowel in onverdedigde als verdedigde oeverzones treden erosieprocessen op. De constructies laten nog heel veel golfslag toe. De afstand tot het scheepvaartkanaal is ook

---

<sup>9</sup> Macrofyten worden, als producenten van biomassa, algemeen beschouwd als goede indicatoren voor eutrofiëring. Op basis van indicatorgetallen zijn trofiescores uitgewerkt en geïmplementeerd in nationale monitoringsystemen (Schneiders *et al.*, 2004).

<sup>10</sup> Het Ellenberggetal R ('Reaktionzahl') is een maat voor de zuurtegraad. Het varieert van 1 (sterk zuur) tot 9 basen- en kalkrijk. (Ellenberg H., 1974).

kort. Deze waterbeweging kan zorgen voor ontworteling van de vegetatie, alsook van resuspensie van het sediment wat een hoge turbiditeit<sup>11</sup> veroorzaakt (Murphy et al., 1995; Murphy & Eaton, 1983). Gesuspendeerde partikels<sup>12</sup> kunnen op een negatieve manier fotosynthese beïnvloeden en zo ook een nadelige invloed hebben op de ontwikkeling van watervegetatie (wortelende macrofyten). Groei van filamenteuze algen zoals aangetroffen in enkele vooroevers kan door beschaduwning ook de groei van waterplanten reduceren (Boedeltje et al., 2002).

Turbiditeit is vooral hoog wanneer een schip passeert. De beweging van een schip verplaatst grote waterhoeveelheden, daarbij een boeggolf creërend resulterend in een toenemende hydraulische druk. Het waterniveau daalt langs de romp van het schip waardoor het water voor de oeverzone wordt weggetrokken of de vooroever bijna 'leeggezogen' wordt alsook een tegenstroming creërend tegengesteld aan de vaarrichting, gevolgd door een stroming in de richting van de oever eindigend met een hek<sup>13</sup>golf (Bhowmik & Mazumder, 1990; De Roo et al., 2010; Sorensen, 1997; Stockstill & Berger, 2001). De ontwatering ter hoogte van de oeverzone heeft een tijdsduur gelijk aan de tijd dat een schip nodig heeft om te passeren. De sterke dynamiek zorgt in enkele vooroevers met een goed ontwikkelde rietkraag voor steile overgangen tussen diepere gedeelten in de vooroever en ondiepe gedeelten met riet waar sedimentatie plaats vindt. Deze dynamische situatie bepaalt wellicht mede waarom geen duidelijke expansie van de rietkraag wordt vastgesteld (Vanderhaeghe et al., 2010). Ondanks de tijdelijke ontwatering werd een hoger soortenaantal en een hogere bedekking voor opnamen langs de waterlijn (zone 2) vastgesteld, vergeleken met opnamen hoger op het talud. Zelfs neergestorte delen met bermvegetatie (behorende tot *Arrhenaterion*) kon (tijdelijk) weerstaan aan deze dynamische situatie. Er werd geen significant effect van de hellingsgraad vastgesteld. Opnamen op het talud hebben namelijk over het algemeen een hogere hellingsgraad dan deze gelegen langs de waterlijn. Opnamen hoger op het talud worden minder frequent overspoeld.

In de toekomst zal met toenemende vracht of breedte van de schepen de dwarsdoorsnede van de schepen vergroten en daardoor ook de ratio tot de natte sectie van het scheepvaartkanaal. Deze ratio is direct gerelateerd aan toenemende hydraulische krachten (Wolter & Arlinghaus, 2003). Ontwerpen van vooroevers zouden daarom sterkere hydraulische krachten in rekening moeten brengen dan deze die in de huidige situatie worden ervaren.

Er werden kleinere waarden voor de afstandsmaat aangetroffen voor opnamen gesitueerd op de linkeroever. Dit is mogelijk te wijten aan de expositie. De linkeroever is georiënteerd naar het zuidoosten, de tegenoverliggende zijde naar het noordwesten. Beschaduwning kan eveneens een rol spelen. Dit is het geval wanneer bomenrijen of struweel op naastliggend talud of berm aanwezig zijn.

Het is onduidelijk wat het verschil in resultaten creëert voor vooroevers opgebouwd met azobé-beschoeiing ten opzichte van vooroevers opgebouwd uit palenrijen. Gezien de opnamen gemaakt zijn kort na constructie verwachten we dat dit patroon alsnog kan veranderen. Beide types laten redelijk veel hydraulische uitwisseling toe met de waterweg met vrijwel geen netto-aanvoer van sediment. In de winterperiode werd zelfs waargenomen

---

<sup>11</sup> *troebelheid van een vloeistof, is de mate van helderheid van die vloeistof (<http://nl.wikipedia.org/wiki/Troebelheid>)*

<sup>12</sup> *deeltjes in suspensie; suspensie is een mengsel van twee stoffen waarvan de ene stof in zeer kleine deeltjes is gemengd met de andere stof en het mengsel zich niet snel laat scheiden [http://nl.wikipedia.org/wiki/Suspensie\\_\(scheikunde\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Suspensie_(scheikunde))*

<sup>13</sup> *achterste deel van een schip*

dat de vooroeververdediging van enkele vooroevers volledig onder water kwam te liggen. Dit maakt het voorkomen van anoxische condities en een afname van redoxpotentiaal onwaarschijnlijk. In dit pilootproject werden de verschillende vooroevertypes niet at random verdeeld in de waterloop. De vooroevers opgebouwd met azobé-beschoeiing zijn meer stroomopwaarts gesitueerd, terwijl de vooroevers geconstrueerd met palenrijen meer stroomafwaarts zijn gelegen. Andere factoren gebonden aan deze verschillende positie in de waterloop kunnen een effect hebben op de ontwikkeling van de vegetatie.

#### *Aanbevelingen voor het beleid*

Gezien de negatieve impact van scheepsgolven op de oeverzone wordt aangeraden om de vooroeververdediging meer af te sluiten, om meer luwe zones te creëren nodig voor een goede ontwikkeling van flora en fauna. Dit kan gerealiseerd worden door het aantal openingen te verminderen, bijvoorbeeld door de laterale openingen af te sluiten en de grootte van de resterende openingen te beperken. De wijze van constructie hierbij is belangrijk. Hoe slechter palen naast elkaar geheid worden of azobé-planken bevestigd worden, hoe meer bijkomende openingen ontstaan waarlangs laterale uitwisseling van de watermassa tussen de vooroever en het scheepvaartkanaal mogelijk wordt. De haalbaarheid van een succesvolle uitvoering is een belangrijk aandachtspunt bij de keuze van het materiaal van een vooroeververdediging. Om hydraulische uitwisseling te beperken kan geopteerd worden om minder doorlaatbare materialen te gebruiken zoals een palenrij verstevigd met breukstenen, een kunststof beschoeiing op de palenrij of damplank. Indien men een geërodeerde achterliggende wand wenst te behouden ten behoeve van oeverwaluwkolonies volstaat de huidige vooroeververdediging.

Ook het niveau van de bovenkant van de vooroeververdediging wordt best opgetrokken rekening houdend met waterpeilen van de waterloop in natte periodes tijdens het winterseizoen, zodat overtopping van de constructie door het water minder snel mogelijk wordt.

De wateruitwisselingscapaciteit van de te construeren vooroever wordt best berekend rekening houdend met hogere hydraulische krachten in de toekomst, die veroorzaakt kunnen worden door een grotere vracht of grotere dwarssectie van het schip.

#### *Perspectieven*

In 2011 werd voor de oevers van de gekanaliseerde Leie een voor ecologie optimale visie ontwikkeld op basis van een analyse en inventaris van de huidige situatie en bestaande plannen (Raman & Vanderhaeghe, 2011). Deze beschrijft doelstellingen (vertaald naar gewenste plasberm- en drasbermtypes) en gewenste natuurverbindingen rekening houdend met vele randvoorwaarden als huidige infrastructuur, scheepvaart, ecologische doelstellingen en randvoorwaarden geformuleerd door het beleid. De combineerbaarheid met fauna-uitstapplaatsen en hengelplaatsen is eveneens besproken. Aanvullend zijn kaarten opgemaakt met gelocaliseerde doelstellingen voor de oevers.

Op basis van deze doelstellingen en op basis van de resultaten van voorliggend onderzoek en het onderzoek uitgevoerd door de universiteit van Gent (UG, labo hydraulica)<sup>14</sup> zullen door W&Z nieuwe verschillende types natuurvriendelijke oeververdedigingen ontworpen worden, wat zal leiden tot de gefaseerde aanleg van een nieuwe reeks plasbermen en drasbermen in de periode 2012-2015.

---

<sup>14</sup> UG voert onderzoek naar de impact van scheepsgolven op onverdedigde en verdedigde oevers in de Leie

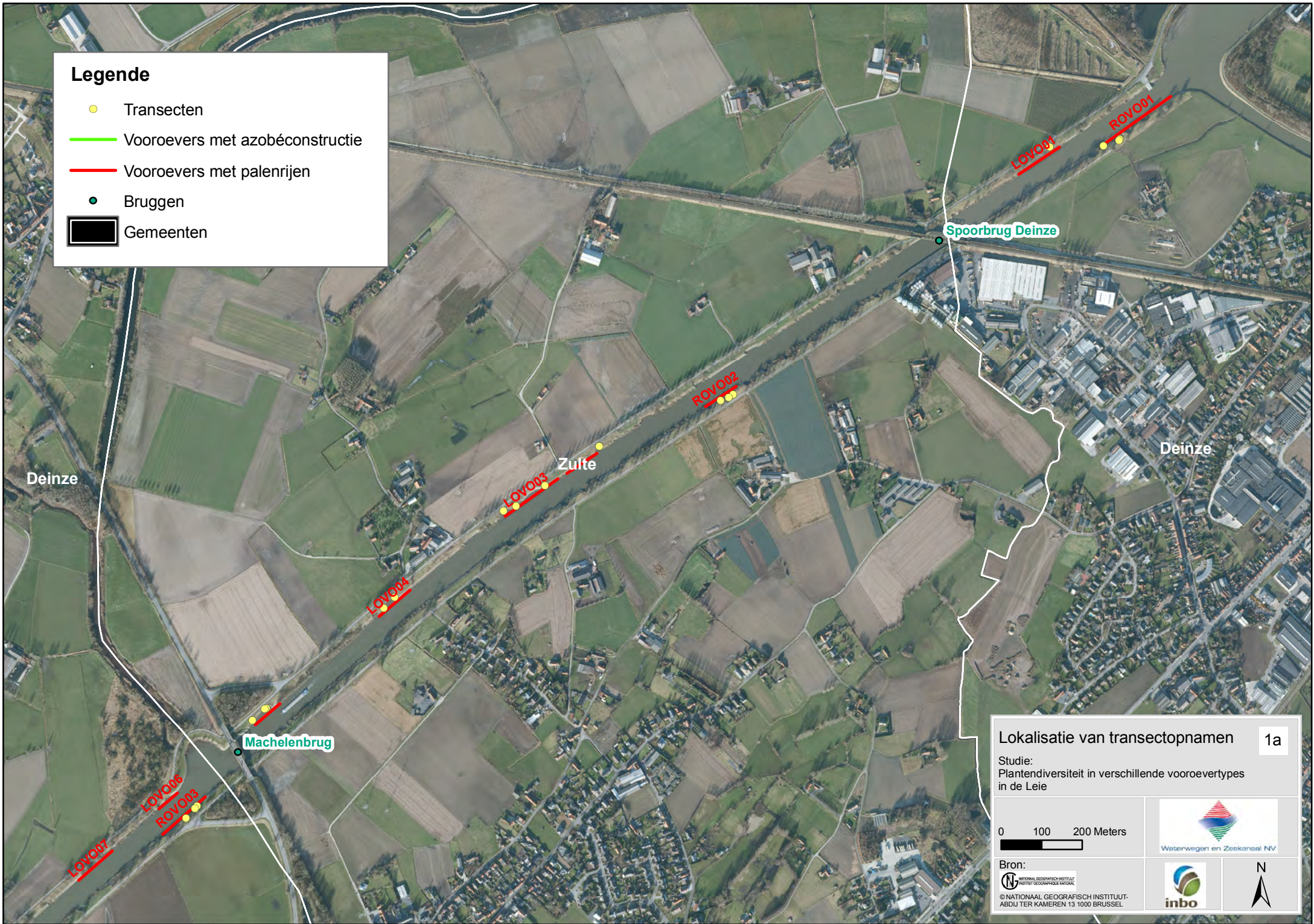
## **Kaartenbijlage**

Kaart 1a-1f: Situering van transectopnamen en vooroevers opgebouwd uit azobé-beschoeiing en palenrijen.



## Legende

- Transecten
- Vooroevers met azobéconstructie
- Vooroevers met palenrijen
- Bruggen
- Gemeenten



### Lokalisatie van transectopnamen 1a

Studie:  
Plantendiversiteit in verschillende vooroevertypen  
in de Leie

0 100 200 Meters

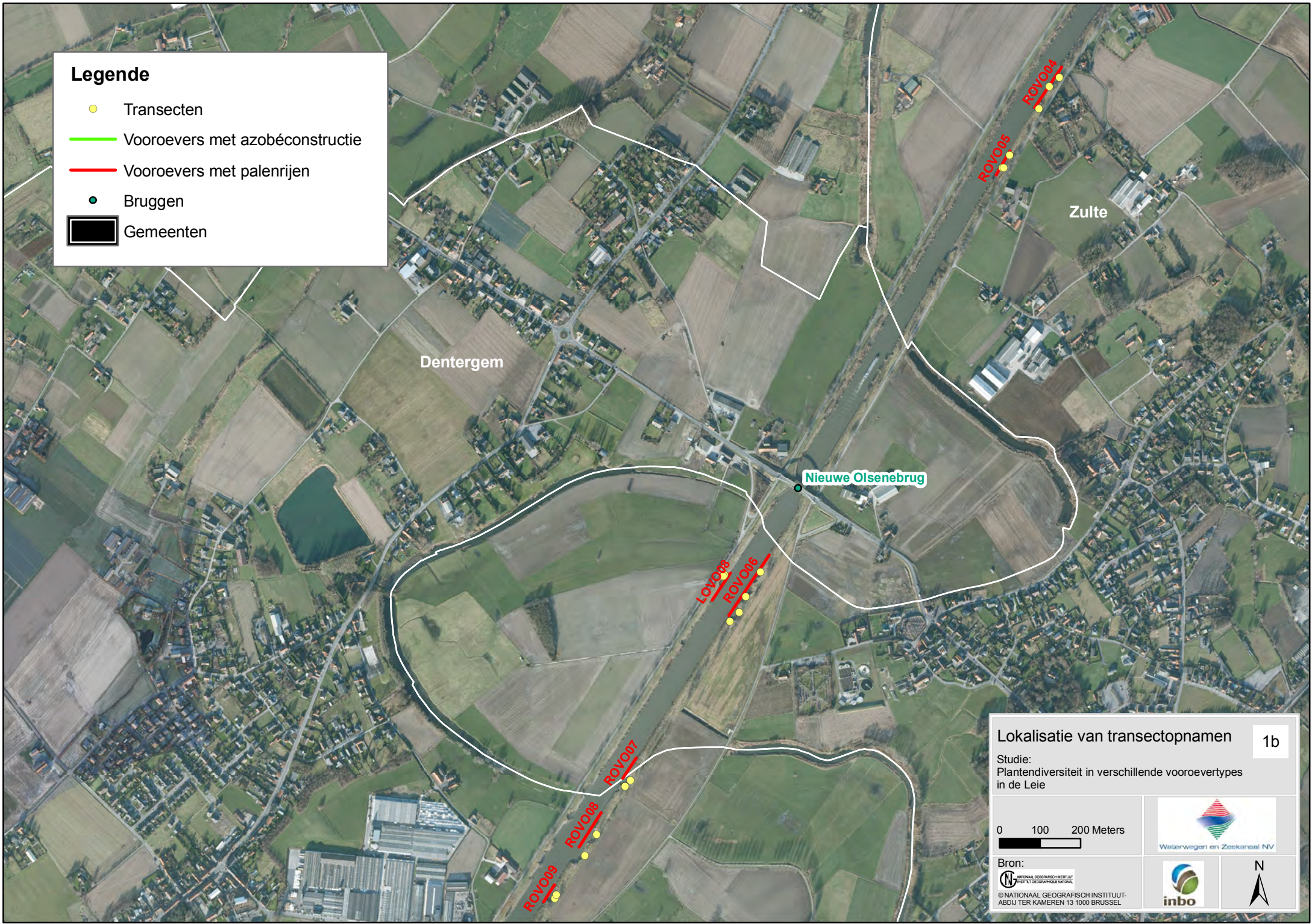
Bron:  
NATIONAAL GEOGRAFISCH INSTITUUT  
ABDIJ TER KAMEREN 13 1000 BRUSSEL





## Legende

- Transecten
- Vooroevers met azobéconstructie
- Vooroevers met palenrijen
- Bruggen
- Gemeenten



## Lokalisatie van transectopnamen 1b

Studie:  
Plantendiversiteit in verschillende vooroevertypes  
in de Leie

0 100 200 Meters

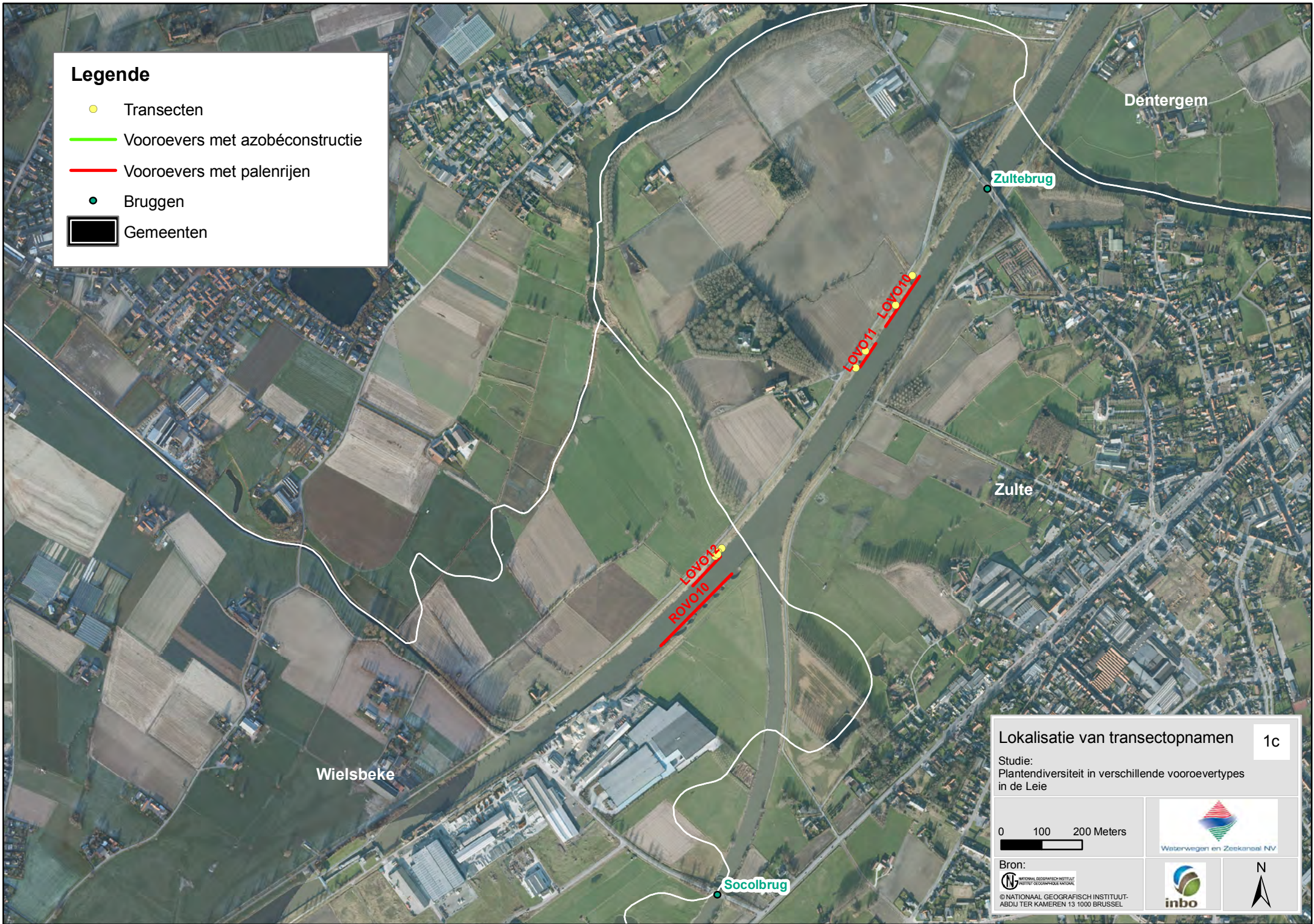
Bron:  
NATIONAAL GEOGRAFISCH INSTITUUT  
ABDIJ TER KAMEREN 13 1000 BRUSSEL





## Legende

- Transecten
- Vooroevers met azobéconstructie
- Vooroevers met palenrijen
- Bruggen
- Gemeenten



Lokalisatie van transectopnamen 1c

Studie:  
Plantendiversiteit in verschillende vooroevertypen  
in de Leie






0 100 200 Meters

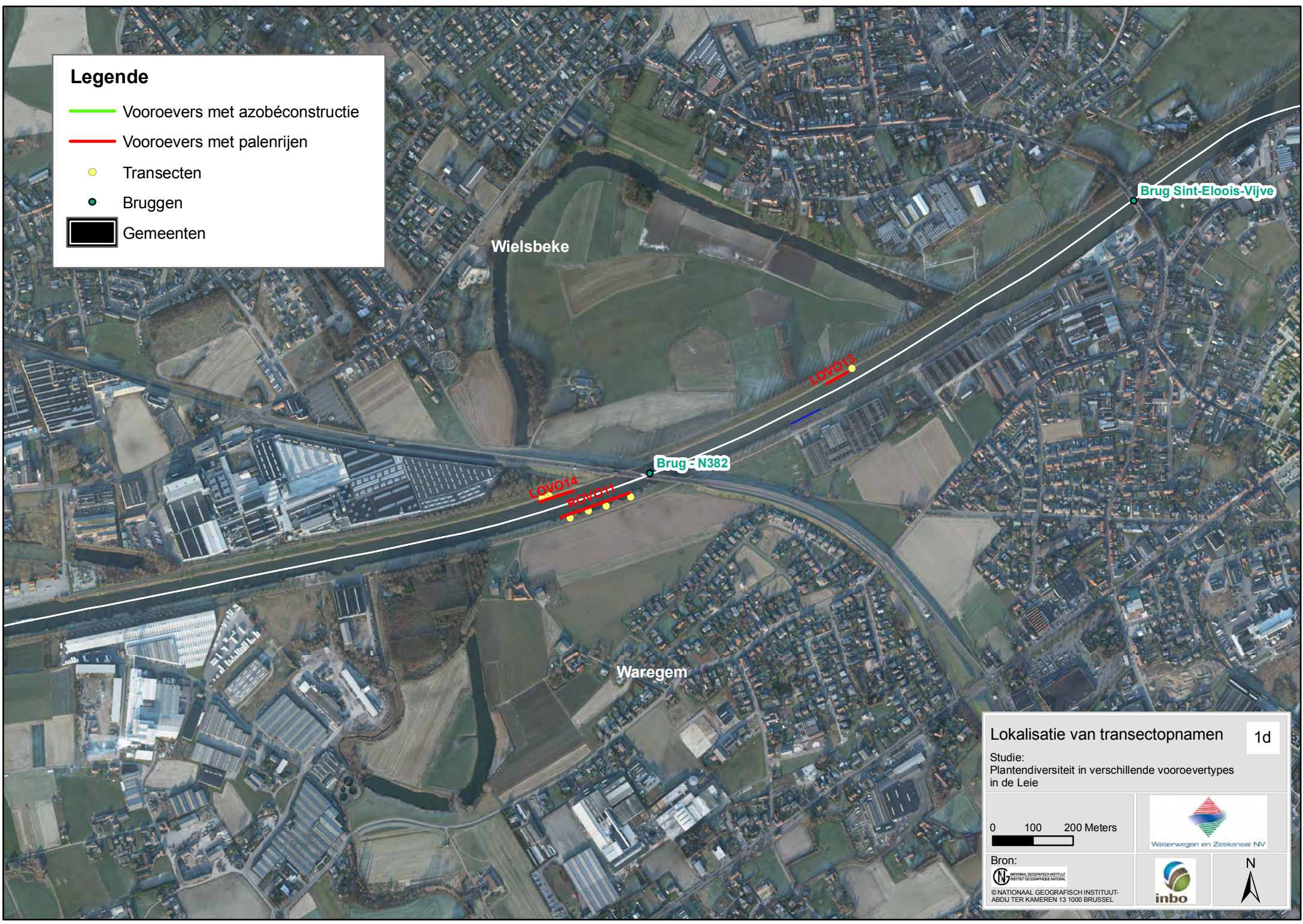
Bron:  
NATIONAAL GEOGRAFISCH INSTITUUT  
ABDIJ TER KAMEREN 13 1000 BRUSSEL





## Legende

-  Vooroevers met azobéconstructie
-  Vooroevers met palenrijen
-  Transecten
-  Bruggen
-  Gemeenten



Lokalisatie van transectopnamen 1d

Studie:  
Plantendiversiteit in verschillende vooroevertypes  
in de Leie

0 100 200 Meters



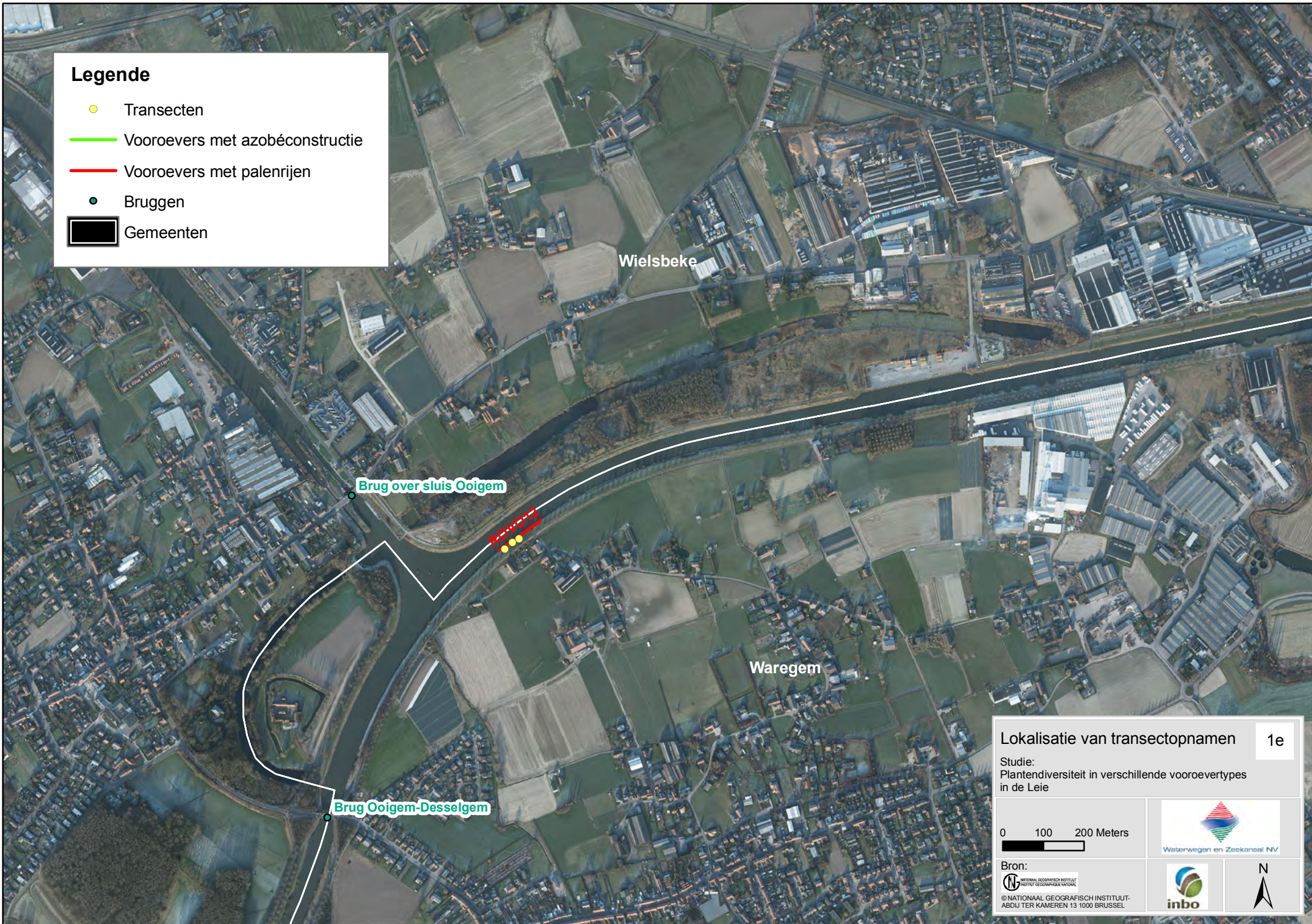
Bron:  
  
© NATIONAAL GEOGRAFISCH INSTITUUT-  
ABDIJ TER KAMEREN 13 1000 BRUSSEL





## Legende

- Transecten
- Vooroevers met azobéconstructie
- Vooroevers met palenrijen
- Bruggen
- Gemeenten



Lokalisatie van transectopnamen 1e

Studie:  
Plantendiversiteit in verschillende vooroevertypen  
in de Leie

0 100 200 Meters

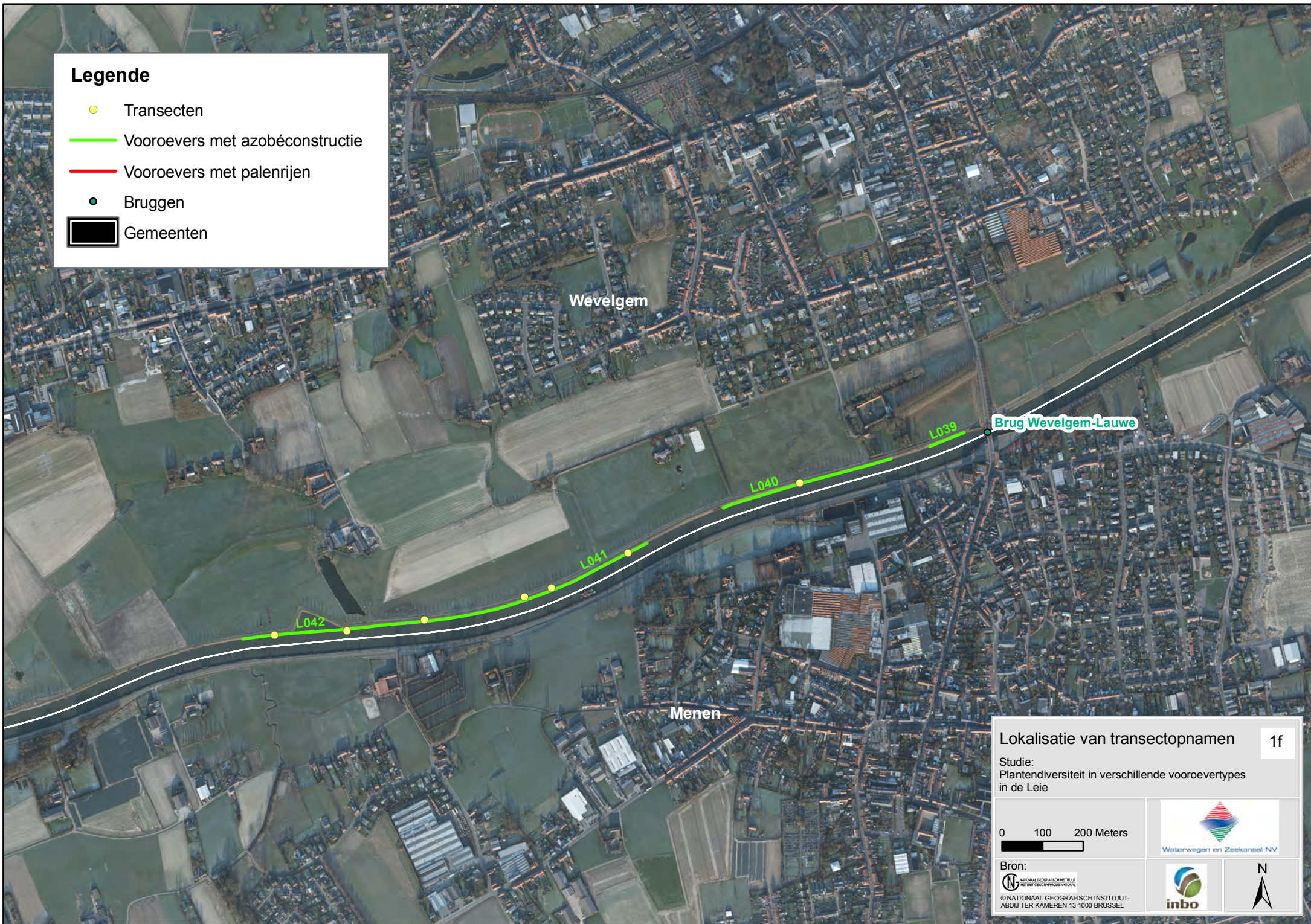
Bron:  
NATIONAAL GEOGRAFISCH INSTITUUT  
ABDIJ TER KAMEREN 13 1000 BRUSSEL





## Legende

- Transecten
- Vooroevers met azobéconstructie
- Vooroevers met palenrijen
- Bruggen
- Gemeenten



## Lokalisatie van transectopnamen

1f

Studie:  
Plantendiversiteit in verschillende vooroevertypes  
in de Leie

0 100 200 Meters

Bron:  
NATIONAAL GEOGRAFISCH INSTITUUT  
ABDIJ TER KAMEREN 13 1000 BRUSSEL





## **Bijlagen**

Bijlage 1: CEMT-classes

Bijlage 2: Oeverherstelmaatregelen

Bijlage 3: Streefdoelen voor oeverzones in de gekanaliseerde waterweg

Bijlage 4: Fysico-chemische kwaliteit van de Leie

Bijlage 5: Erosiemetingen

Bijlage 6: Kwaliteitsklassen voor biologische kwaliteitselementen

Bijlage 7: Achtergrond evaluatiemethode voor oevervegetaties

Bijlage 8: Afstandsmaat gebruik makende van verstoringswaarde (V) versus Ellenbergwaarden (N)

## Bijlage 1: CEMT-classes

(<http://nl.wikipedia.org/wiki/CEMT-klasse>)

Tabel 8: Klasse-indeling van binnen- of rivierscheepvaart

Klasse	Type
0	Kleinere vaartuigen
I	Spits
II	Kempenaar
III	Dortmund-Eemskanaalschip
IV	Rijn-Hernekanaalschip
V	Groot Rijnschip en duwvaart
VI	Duwvaart
VII	Duwvaart

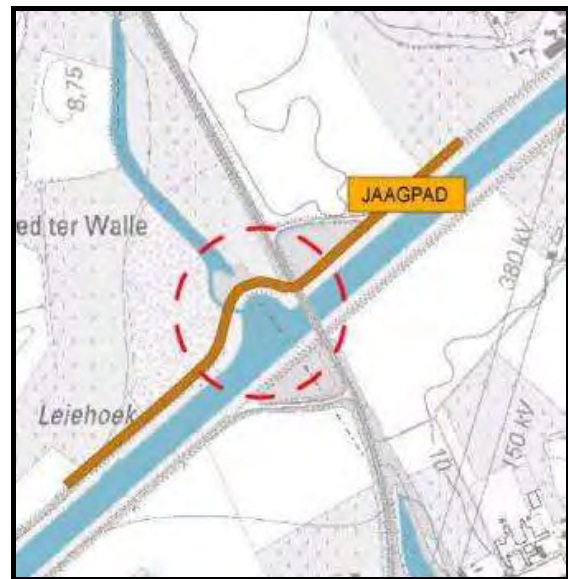
Tabel 9: CEMT-classes voor binnen- of rivierscheepvaart

Klasse	Lengte	Breedte	Diepgang	Hoogte	Laadvermogen (ton)
I	38,50	5,05	1,8-2,2	4	250-400
II	50-55	6,6	2,5	4-5	400-650
III	67-80	8,2	2,5	4-5	650-1000
IV	80-85	9,5	2,5	5,25-7	1000-1500
Va	95-110	11,4	2,5-4,5	5,25-7	1500-3000
Vb	172-185	11,4	2,5-4,5	9,1	3200 (duwkonvooi 1x 2 bakken in de lengte)
VIa	95-110	22,8	2,5-4,5	7-9,1	3200-6000 (duwkonvooi 1x 2 bakken naast elkaar)
VIb	185-195	22,8	2,5-4,5	7-9,1	6400-12000 (duwkonvooi 2x 2 bakken naast elkaar)
VIc	193-200	34,2	2,5-4,5	9,1	9600-18000 (duwkonvooi 2x 3 bakken naast elkaar)
VIIb	195/285	34,2	2,5-4,5	9,1	14500-27000 (duwkonvooi 3x 3 bakken naast elkaar)

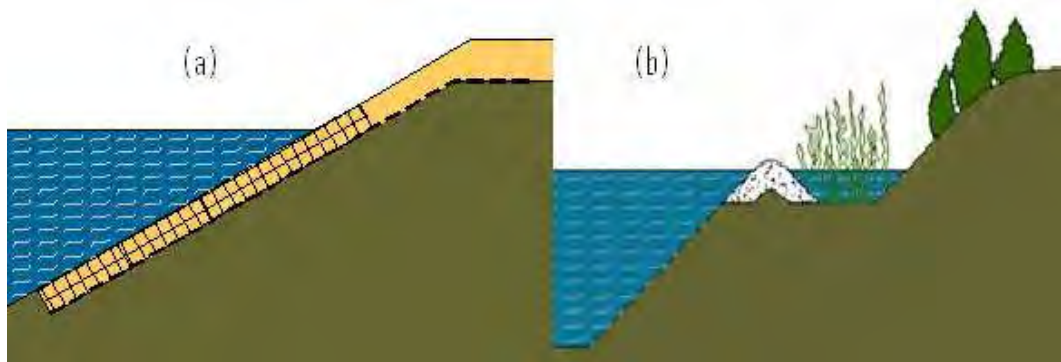
## Bijlage 2: Oeverherstelmaatregelen



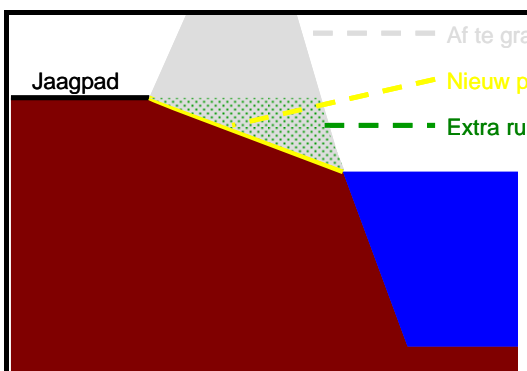
Figuur 11: Verbinden van nabijliggende parallelle meander met het Leiekanaal



Figuur 12: Afgraven van gedeelten van de oeverzone in de nabijheid van meanders



Figuur 13: Constructie van ecologische oeververstevingen



Figuur 14: Verwijdering van gedeelten van aanliggende opgehoogde dijken



## Bijlage 3: Streefdoelen voor oeverzones in de gekanaliseerde waterweg

Voor een verdere omkadering wordt verwezen naar (Raman, 2010).

De oeverzone wordt hier omschreven als de zone vanaf de bodem van de vaargeul tot de kruin van de dijk. Daar waar inspanningen gedaan worden om de oevers natuurlijker te maken, wordt gestreefd naar meer abiotische en biotische diversiteit, natuurlijkheid, kenmerkendheid en volledigheid (Vermeersch & Decler, 2007) (Cuperus & Canters, 1992). De breedte noodzakelijk voor de vaargeul, oeverstabiliteit en (voor de meeste locaties) waterkerende functie blijven harde randvoorwaarden voor ondermeer de scheepvaart en achterliggende infrastructuur.

### Streefdoelen

- Herstel van een goede water- en waterbodemkwaliteit.
- Ontwikkeling van voldoende verscheidenheid aan abiotische condities:
  - variatie in topografie;
  - variatie in het toelaten van stroomsnelheden, -patronen en golfslag;
  - variatie in het toelaten van natuurlijke verstoringsprocessen (zoals seizoensale piekdebieten die variëren in grootte, duur en tijdstip van jaar tot jaar).
- Realiseren van een variatie aan habitats verspreid over de lengte van de rivier. In de oeverzones wordt voornamelijk gestreefd naar volgende habitats:
  - *open water met waterplanten en oevervegetatie*
  - *open water in combinatie met een steile afgekalfde (of afgestoken) wand* (voor Oeverwaluwen)
  - *rietruigte*
  - *vochtige-natte struwelen*
- Streven naar een goed evenwicht tussen voldoende doorstroming en het tegenhouden van golfslag wanneer gestreefd wordt naar de habitats: open water met vegetatie en rietkragen. Voor deze habitats is het belangrijk sedimentatieprocessen en zo ook de slibdikte te beperken.
- Creëren van een brede oeverzone (zo breed mogelijk binnen de gestelde randvoorwaarden) met een flauw talud.
- Beperken van harde substraten in de oeverzone. Er wordt best gewerkt met duurzaam materiaal.
- Duurzaam beheer voor de verschillende habitats:
  - *open water met waterplanten en oevervegetatie*: periodiek (agitatie)baggeren;
  - *open water in combinatie met een steile afgekalfde (of afgestoken) wand*: periodiek (agitatie)baggeren;

- *rietruigte*: cyclisch maaibeheer, kort omlooptijd;
- *vochtige-natte struwelen*: cyclisch maaibeheer en kappen, lange omlooptijd tot nulbeheer.
- Streven naar een goed ontwikkelde oeverzone die qua structuur als soortensamenstelling (voor de verschillende biologische kwaliteitselementen) zeer divers is. Dit zou eerder een gevolg moeten zijn van de realisatie van de eerder geschetste doelstellingen.
- Streven naar de aanwezigheid van aandachtsoorten die de oeverzones gebruiken als rust-, foerageer-, schuil-, broed-, of opgroeigebied. De aandachtsoorten die van belang zijn voor deze oeverzones van internationaal, nationaal en lokaal belang worden hierna vermeld.
- Streven naar connectiviteit tussen de oeverzones langsheen de Leie (natte verbindingszone, zie verder).

## Aandachtsoorten

Tabel 10: Aandachtsoorten geformuleerd voor oeverzones in de gekanaliseerde Leie.

<b>Amfibieën</b>	Groene kikker
<b>Libellen</b>	Weidebeekjuffer, Vuurjuffer, Breedscheenjuffer
<b>Vissen</b>	Grote en Kleine modderkruiper, Kwabaal, Winde, Vetje, Rietvoorn, Zeelt, Snoek
<b>Vogels</b> <i>Water, oeverzone</i> <i>Vertikale wanden</i> <i>Rietruigte</i> <i>vochtige-natte struwelen</i>	Dodaars, Fuut Oeverwaluw, Ijsvogel Blauwborst, Bruine kiekendief, Rietzanger, Sprinkhaanzanger, Waterral, Roerdomp Houtsnip, Boomvalk, Sperwer

## Natura 2000 habitattypen en regionaal belangrijke biotopen

Tabel 11: Overzicht van de natuurlijke habitats van communautair belang die (kunnen) voorkomen in oeverzones langs de gekanaliseerde Leie.

Typen natuurlijke habitats van communautair belang voor de Leie (bron Verboven et al. 2008)		
Code	Type natuurlijk habitat	Prioritair
<b>Zoete wateren</b>		
3260	Submontane en laaglandrivieren met vegetaties behorend tot het Ranunculion fluitantis en het Callitricho-Batrachion	
3270	Rivieren met slikoevers met vegetaties behorend tot het Chenopdietum rubri en Bidenton (niet aangemeld voor Vlaanderen)	
<b>Bossen</b>		
91	Bossen van het Europese gematigd gebied	
91E0	Bossen op alluviale grond met <i>Alnus glutinosa</i> en <i>Fraxinus excelsior</i> ( <i>Alno-Padion</i> , <i>Alnion incanae</i> , <i>Salcion albae</i> )	X
91F0	Gemengde eiken-iepen-essenbossen langs de oevers van grote rivieren met <i>Quercus robur</i> , <i>Ulmus laevis</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> of <i>fraxinus angustifolia</i> ( <i>Ulmion minoris</i> ).	

Tabel 12: Overzicht van de regionaal belangrijke biotopen die (kunnen) voorkomen in oeverzones langs de gekanaliseerde Leie.

<b>Regionaal belangrijke biotopen</b>	
<b>Code</b>	<b>Type natuurlijk habitat</b>
rbbmr	Rietland en andere Phragmitionvegetaties
rbbmc	Grote zeggenvegetaties
Rbbsf	Moerasbos van breedbladige wilgen
Rbbsp	Doornstruwelen van leemhoudende gronden

### **Op te volgen variabelen**

*abiotisch*: milieutechnische variabelen (lengte, breedte, diepte, ratio breedte/diepte, datum aanleg, materiaal, datum aanplant, grootte en positie in- en uitstroomopening), waterkwaliteit ( $O_2$ , Cl, EC,  $SO_4$ , pH,  $NO_3$ ,  $NO_2$ ,  $PO_4$ , Na,  $NH_4$ , K, Mg, Ca,  $HCO_3$ ), turbiditeit, waterbodempkwaliteit (textuur, pH, N, P, organisch materiaal, metalen), erosie, sedimentatie.

*biotisch*: habitat (aandeel lengte vooroever), planten (bedekkingsgraad, abundantie), broegvogels (territoriumaantal), macroïnvertebraten (diversiteit, abundantie), fythobenthos (diversiteit, abundantie), vis (diversiteit, biomassa).

## Bijlage 4: Fysico-chemische kwaliteit van de Leie

fyto <b>benthos</b>	fyto <b>plankton</b>	macro <b>fyten</b>	macro <b>invertebraten</b>	vis
Goed	niet bepaald	Ontoereikend	Slecht	Matig

Evaluatie biologie ondersteunende fysisch-chemische elementen: **Slecht** Toetstype: Rg\_4

jaar: 2007

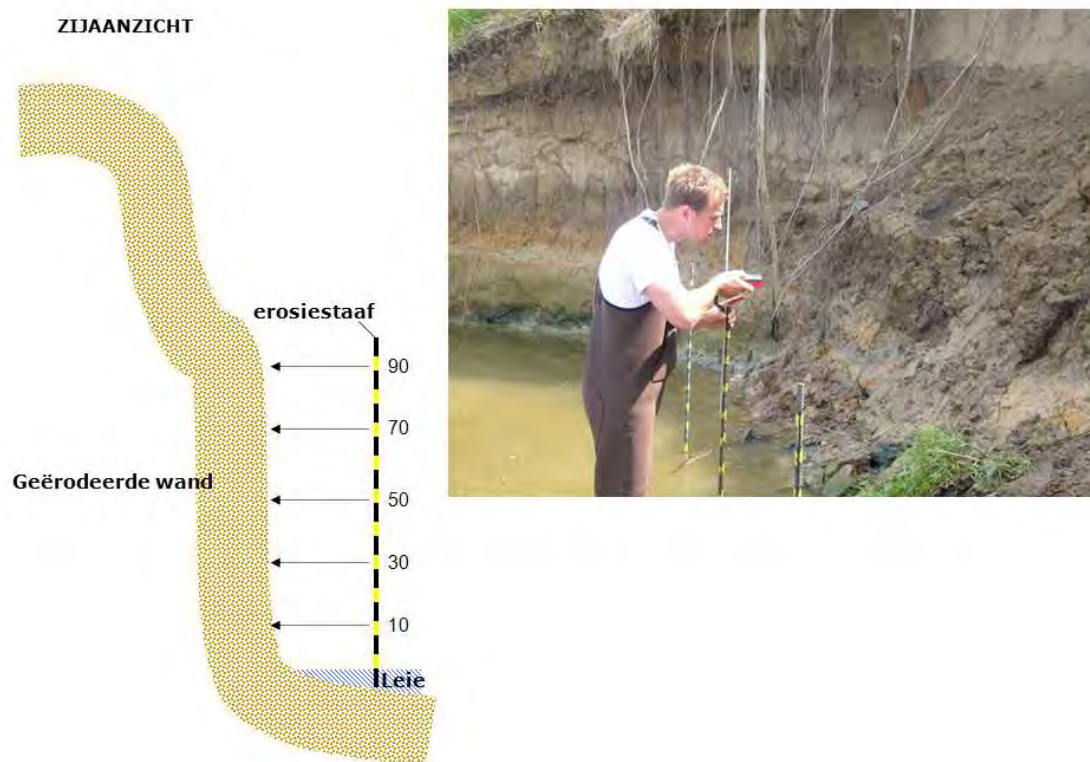
Parameter	Evaluatie	Toets	Klassegrenzen	Eenheid
Temperatuur	Zeer goed	maximum	<=23	°C
pH	Zeer goed	minimum	>=6,5 <=8,5	-
pH	Zeer goed	maximum	>=6,5 <=8,5	-
Opgeloste zuurstof (verzadiging)	Zeer goed	maximum	>60 <=110	%
Opgeloste zuurstof (concentratie)	Goed	percentiel_10	>=4	mg/L
Elektrische geleidbaarheid	Matig	percentiel_90	>1000 <=1250	µS/cm
Chloride	Zeer goed	percentiel_90	<=150	mg/L
Biochemisch zuurstofverbruik (BZV)	Goed	percentiel_90	>3 <=6	mgO2/L
Chemisch zuurstofverbruik (CZV)	Matig	percentiel_90	>30 <=40	mgO2/L
Kjeldahl-stikstof	Goed	percentiel_90	>1,5 <=6	mgN/L
Nitraat	Matig	percentiel_90	>5,65 <=11,3	mgN/L
Totaal stikstof	Slecht	zomerhalfjaargemiddelde	>7,5	mgN/L
Totaal fosfor	Slecht	zomerhalfjaargemiddelde	>0,7	mgP/L
Orthofosfaat	Slecht	gemiddelde	>0,4	mgP/L
Sulfaat	Zeer goed	gemiddelde	<=100	mg/L
Zwevende stoffen	Matig	percentiel_90	>50 <=100	mg/L

## Bijlage 5: Erosiemetingen

(Vanderhaeghe Floris, Maud Raman)

Erosie en sedimentatie werd gemeten in 3 verdedigde (vooroevers met palenrijen) en 3 onverdedigde oevers (geërodeerde zones) in de gekanaliseerde Leie.

**Wanderosie** werd opgemeten met een distometer. Bij elke meetplaats werden 3 metalen staven in de onderwaterbodem geplaatst van 2m hoogte en om de 10 cm werd een merk aangebracht met gele verf. Ter hoogte van elk merk, voor elke staaf en tussen 2 staven in (midden) werd de afstand loodrecht tot de oever gemeten (Figuur 15). Deze metingen werden maandelijks uitgevoerd in 2009 en in 2010-2011 werd 2 maal per jaar gemeten.

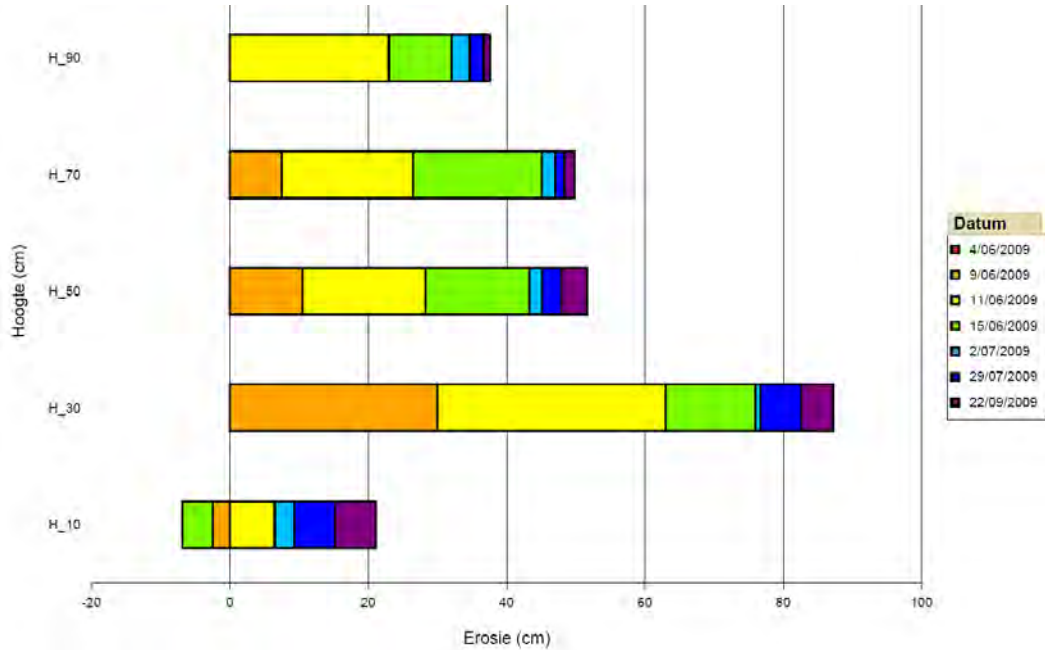


Figuur 15: Opmeting van wanderosie

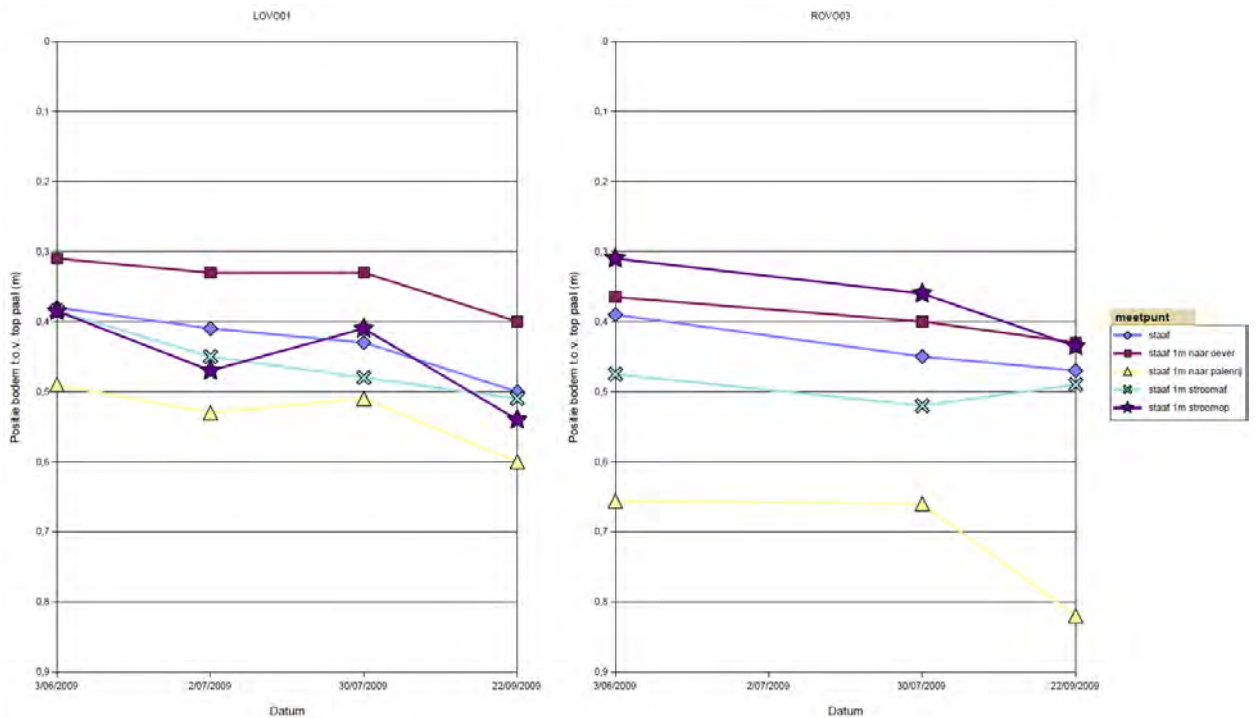
**Bodemerosie** werd opgemeten langs transecten loodrecht op de waterweg in 6 vooroevers van de vooroeverzijde tot de achterliggende oevers met een streamprofiler (Aquadopp Doppler current profiler) en later manueel om de 30 cm met een meetlat, twee maal per jaar van 2009-2011.

De erosiesnelheid verschilt voor verschillende posities langs de Leie. In 2009 werd over een periode van 2,5 maanden erosie van de oever van 20-80 cm geobserveerd afhankelijk van de hoogte van de oever (fig 14). Bij de bodem is de geobserveerde erosie vaak kleiner doordat afgekalfde gedeelten aan de voet van de oever kunnen blijven liggen. De geobserveerde erosieprocessen zijn vrij gelijkaardig in verdedigde en onverdedigde oeverzones.

Wanneer naar het bodemprofiel gekeken wordt, kan een netto erosie van de bodem gedetecteerd worden (verlaging van de bodemdiepte). In Fig 15 worden bodemniveaus weergegeven relatief tot de top van de metalen staaf.



Figuur 16: Wandererosie. De bemeten wanden erodeerden gemiddeld 20 tot meer dan 80 cm (netto; afhankelijk van de hoogte) gedurende 2,5 maand observeren in 2009. De bijdrage aan erosie per observatie is in kleur onderscheiden. De waarden zijn gemiddelden over alle erosiepinnen in alle oevers.



Figuur 17: Bodemerosie in twee vooroevers. Waarden van bodemniveau relatief ten opzichte van de top van de metalen staaf zijn weergegeven. Het zijn gemiddelden van 3 metingen.

## Bijlage 6: Kwaliteitsklassen voor biologische kwaliteitselementen

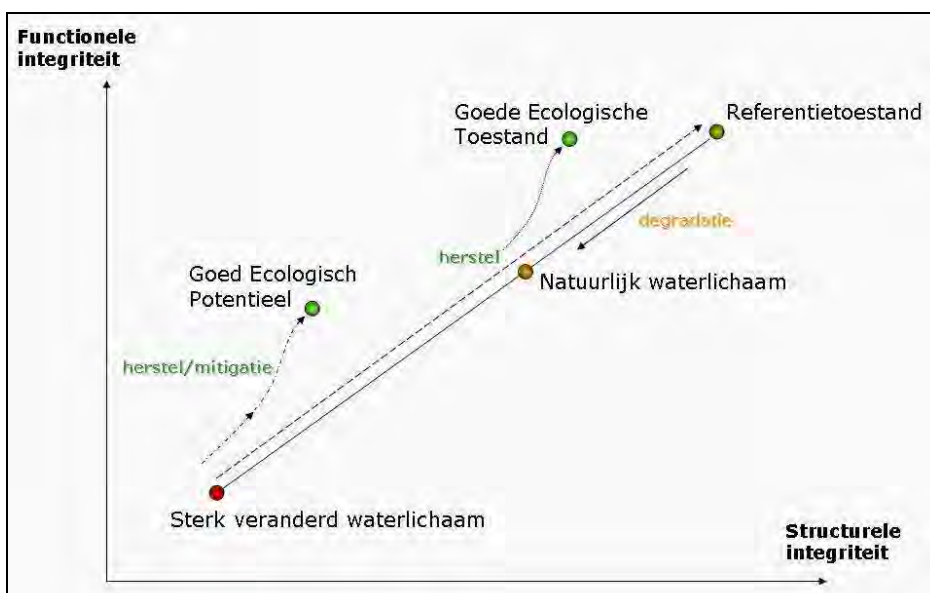
De Europese Kaderrichtlijn Water (2000) heeft voor de natuurlijke waterlichamen als doelstelling een **Goede Ecologische Toestand** (GET) te bereiken tegen 2015. De beoordeling hiervan gebeurt aan de hand van onder meer een aantal biologische **kwaliteitselementen** (waaronder fyto bentos, fytoplankton, macrofyten, macroinvertebraten en vissen) (Schneiders et al., 2004; VMM, 2009a). De goede toestand is onderverdeeld in een goede chemische en een goede ecologische toestand. De goede ecologische toestand is op haar beurt terug onderverdeeld in een goede biologische toestand en eisen ten aanzien van hydromorfologie, algemene fysisch-chemische parameters en geloosde overige verontreinigende stoffen. De biologische toestand is leidend bij het opstellen van de ecologische beoordeling. Hydromorfologische en fysisch-chemische kwaliteitselementen worden afgeleid van de biologische toestand (Haskoning, 2007).

De toestand van een waterlichaam moet volgens de KRW beoordeeld worden ten opzichte van een **referentie** (= zeer goede ecologische toestand van natuurlijk waterlichaam) (Haskoning, 2007). De Leie is te sterk veranderd om de ecologische toestand af te meten ten aanzien van een onverstoorde referentietoestand. De Kaderrichtlijn Water voorziet een alternatieve beoordeling voor sterk veranderde waterlopen. De ecologische toestand wordt getoetst aan een '**maximaal ecologisch potentieel**' (MEP). Dit MEP is de maximaal ecologisch haalbare toestand rekening houdend met de aanwezige drukken en vormt de bovengrens van het ecologische beoordelingssysteem. Het 'goed ecologisch potentieel' (GEP) is de minimumgrens. Het is de doelstelling die moet behaald worden tegen 2015. Dit is schematisch uitgezet ten opzichte van de goede ecologische toestand voor natuurlijke lichamen en ten opzichte van de referentietoestand in Figuur 18.

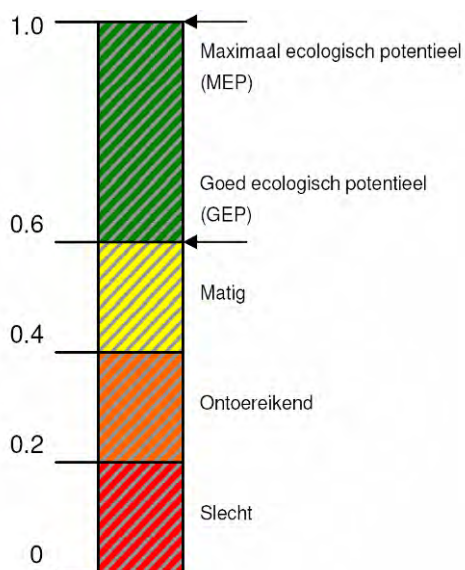
Het vertrekpunt voor het opstellen van het GEP voor een kunstmatig of sterk veranderd waterlichaam is steeds de doelstelling voor het meest overeenkomstige type natuurlijk waterlichaam. Deze doelstelling wordt vervolgens aangepast in functie van de specifieke drukken op het waterlichaam die niet weggenomen kunnen worden vanwege de ermee geassocieerde nuttige doelen. Deze eventuele aanpassingen zijn tevens afhankelijk van het biologische kwaliteitselement. Wanneer minstens het GEP bereikt is, wordt de klasse "goed en hoger" toegekend, de lagere **kwaliteitsklassen** worden net als bij de natuurlijke waterlichamen opgedeeld in "matig", "ontoereikend" en "slecht" (CIW, 2010; Van Looy et al., 2008; VMM, 2009a).

Binnen de biologische kwaliteitselementen dienen zowel de soortensamenstelling als de mate van het voorkomen bekeken te worden. Voor vissen ook de leeftijdsopbouw (Haskoning, 2007). Dit wordt verwerkt in **deelmaatlaten** per biologisch kwaliteitselement. Biologische kwaliteitselementen worden beoordeeld aan de hand van een **Ecologische Kwaliteitscoëfficiënt (EKC)**. De EKC geeft de verhouding aan tussen de waarde voor een bepaald waterlichaam vastgestelde biologische parameter en de waarde van die parameter onder de voor dat lichaam geldende referentieomstandigheden (CIW, 2010). De EKC kan een waarde aannemen tussen 1 (zeer goed) en 0 (zeer slecht) (zie ook Figuur 19). De integratie van de beoordelingen van de verschillende kwaliteitselementen tot één eindbeoordeling gebeurt volgens het one out, all out principe. Dit betekent dat de eindbeoordeling gelijk is aan het slechtste cijfer dat bekomen is over alle kwaliteitselementen samen (VMM, 2009b).





Figuur 18: Schematisch overzicht van degradatie- en hersteltrajecten voor natuurlijk en sterk veranderde waterlichamen. Naar (Van Looy et al., 2007).



Figuur 19: Omschrijving van de kwaliteitsklassen van de biologische kwaliteitselementen voor sterk veranderde waterlichamen (Haskoning, 2007)



## Bijlage 7: Achtergrond evaluatiemethode voor oevervegetaties

Voor een verdere omkadering wordt verwezen naar (Raman, 2010).

De typespecificiteitsscore (TS) kan als volgt berekend worden (Leysen et al., 2005; Leysen et al., 2006; VMM, 2009a):

$TS = \frac{\sum_{i=1}^n (Ab_i \cdot ts_i)}{\sum_{i=1}^n Ab_i}$	<p><math>Ab_i</math>: de abundantie van soort <math>i</math></p> <p><math>ts_i</math>: de typespecificiteitswaarde van soort <math>i</math> (typische oeversoort=1, geen typische soort=0)</p> <p><math>n</math>: het aantal waargenomen soorten opgenomen</p>
---	--

Deze score geeft aan in welke mate de soortensamenstelling overeenkomt met deze van het referentiebeeld. Het resultaat van deze berekening kan beoordeeld worden aan de hand van onderstaande tabel.

Tabel 13: Klassengrenzen voor de beoordeling van de typespecificiteit (TS) en verstoring (V, zie verder) (VMM, 2009a).

TS	Klassengrens
0.8 - 1	Zeer goed
0.6 - < 0.8	Goed
0.4 - < 0.6	Matig
0.2 - < 0.4	Ontoereikend
0 - < 0.2	Slecht

### Deelmaatlat groeivormen

Voor de beoordeling van de kwaliteit van sterk veranderde waterlopen conform de Europese Kaderrichtlijn Water wordt er bij de watervegetatie gekeken naar de diversiteit aan groeivormen van de watervegetatie. Deze paragraaf handelt dus over de structurele component van de vegetatie. De verscheidenheid aan groeivormen bepaalt mee de ontwikkelingsmogelijkheden van de andere organismegroepen. Het een maat voor rijkdom aan habitats en voedselaanbod. Macrofyten zijn belangrijk als broedplaatsen, rust- en schuilgelegenheid voor macro-invertebraten, vissen, vogels etc. Bovendien is de groeivormendiversiteit een maat voor de volledigheid van de vegetatie. Bij een verstoring zullen er vaak bepaalde groeivormen bevoordeeld worden, terwijl andere verdwijnen (Schneiders et al., 2004).

Voor de beoordeling van de diversiteit aan groeivormen wordt de maatlat gebruikt, opgesteld door de VMM (VMM, 2009a) in functie van de KRW. Onderstaande tabel geeft de maatlat weer opgesteld voor het type Grote rivier. Wij achten het verantwoord ook deze tabel te gebruiken bij de evaluatie van ingrepen die betrekking hebben op oeverherstel, aangezien deze meer natuurlijkheid beogen met spontane ontwikkeling van water- en oevervegetatie. Plaatselijk worden door W&Z wel aanplantingen voorzien in kader van oeverversteving. Let wel: deze evaluatie is ontworpen voor watervegetatie en enkel bruikbaar voor de opnames die in de vooroever zijn gelegen.

Tabel 14: Maatlat voor groeivormen van macrofyten voor het type Grote rivier (VMM, 2009a).

Groeivorm	Score
Lemniden	1
Riccielliden	1
Ceratophylliden	1
Parvopotamiden	1
Magnopotamiden	1
Nymphaeïden	1
Vallisneriden	1
oever-/moerasplanten (klein)	1
oever-/moerasplanten (groot)	1

Tabel 15: Klassengrenzen voor de beoordeling van de diversiteit aan groeivormen voor grote rivieren Gr (VMM, 2009a).

Som scores	Klassengrens
$\geq 7$	Zeer goed
5-6	Goed
4	Matig
2-3	Ontoereikend
0-1	Slecht

Om een score te bekomen die ligt tussen 0 en 1 dient dit getal gedeeld te worden door de maximale score (9).

## Bijlage 8: Afstandsmaat gebruik makende van storingsindicatorwaarden (V) versus Ellenbergwaarden (N)

### Verstoringswaarde

Aan elke soort wordt een storingsindicatorwaarde toegekend (Leyssen et al., 2005; Leyssen et al., 2006; VMM, 2009a):

Storingswaarde 1: soorten die een verstoring van de milieukwaliteit aangeven cf (Leyssen et al., 2005);

Storingswaarde 0: soorten die geen duidelijke verstoring van de milieukwaliteit aangeven.

De storingsindicatorwaarde (V) wordt als volgt berekend:

$$V = 1 - [\sum_{i=1}^n (Ab_i \cdot v_i) / \sum_{i=1}^n Ab_i]$$

$Ab_i$ : de abundantie van soort i

$v_i$ : de storingswaarde van soort i (0 of 1) volgens de standaardlijst;

Het resultaat van deze berekening kan beoordeeld worden aan de hand van tabel 13 (zie Bijlage 7).

Op een zelfde manier kan de afstandsmaat X berekend worden:

De afstand tot goed ontwikkelde oeverzones werd berekend met behulp van volgende formule:

$$X = \sqrt{((TS - TS_0)^2) + (N - N_0)^2}$$

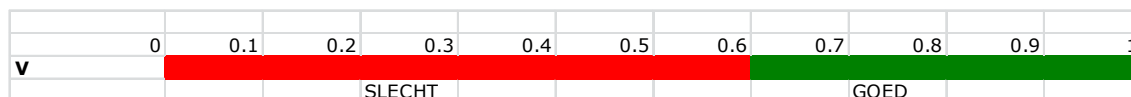
**TS** = gewogen gemiddelde van typespecificiteit-waarden (tsi: de typespecificiteitswaarde van soort i (typische oeversoort=1, geen typische soort=0) (Leyssen et al., 2006; VMM, 2009)

**TS<sub>0</sub>** = 0,8 (Leyssen et al., 2006; VMM, 2009)

**V** = gewogen gemiddelde van verstoringswaarden

**V<sub>0</sub>** = 0,8 (Leyssen et al., 2006; VMM, 2009)

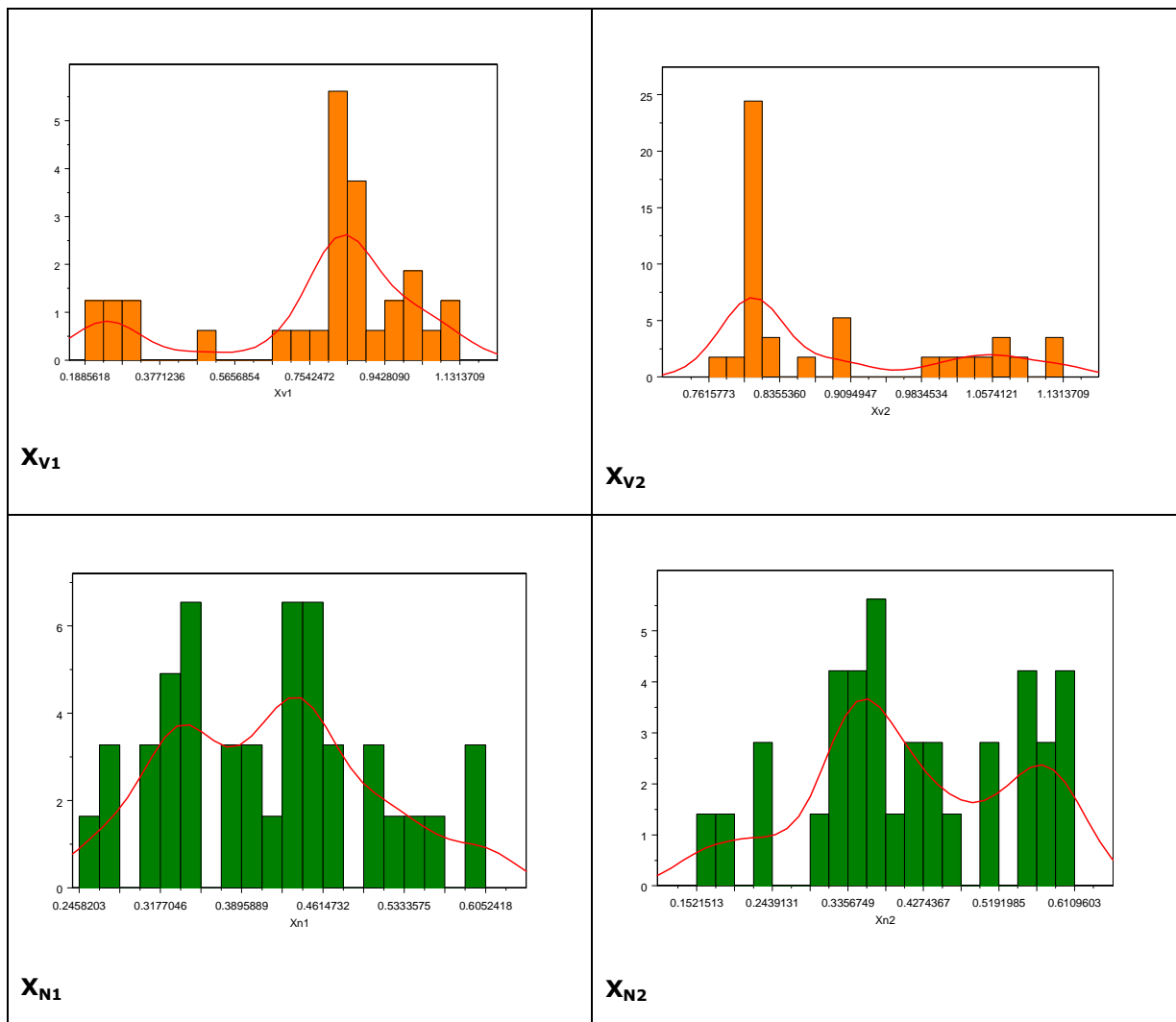
Voor de berekening van TS wordt verwezen naar Bijlage 7.  $T_0$  en  $V_0$  werden bepaald door het midden te nemen van de range van de criteria 'matig' naar 'zeer goed' (zie Figuur 4). Er is geen verschil in klassebreedte. Er hoeft dan ook geen correctie hiervoor te worden uitgevoerd.



Figuur 20: Range van Ellenberg-N waarden en waarden voor typespecificiteit (TS) ingedeeld in klassen.

Per opname wordt de afstand tot een goed ontwikkelde oeverzone berekend (X). X varieert tussen 0 (goed ontwikkelde oeverzone) en 1 (slecht ontwikkelde oeverzone).

## Afweging van de afstandsmaat gebruik makende van verstoringswaarde ( $X_V$ ) versus Ellenbergwaarden ( $X_N$ )



Figuur 21: Histogrammen van de afstandsmaat gebruik makende van verstoringswaarde ( $X_V$ ) versus Ellenbergwaarden ( $X_N$ ) voor zone 1 (op het talud,  $X_{V1}$ ,  $X_{N1}$ ) en zone 2 (langs de waterlijn,  $X_{V2}$ ,  $X_{N2}$ )

Logaritmische transformatie of een vierkantsworteltransformatie van de respectievelijke waarden geven vergelijkbare resultaten.

### Beschrijvende statistieken van de verschillende afstandswaarden

	$X_v$	$X_n$
Min:	0.1885618	0.1521513
1st Qu.:	0.8029206	0.3367411
Mean:	0.8214727	0.4135154
Median:	0.8198489	0.4070782
3rd Qu.:	0.9510467	0.4973530
Max:	1.1313708	0.6109603
Total N:	65.0000000	65.0000000
NA's :	0.0000000	0.0000000
Std Dev.:	30.23797	0.2212362

Modelbouw werkende met de verschillende afstandsmaten

Xv1 ~ Oeverkant + Inclinatie + Oeverkant:Inclinatie

Coefficients:

(Intercept) Oeverkant Inclinatie Oeverkant:Inclinatie  
0.6010827 0.1005001 0.003597004 -0.001010982

Degrees of freedom: 29 total; 25 residual  
Residual standard error: 0.2820279

Analysis of Variance Table

Response: Xv1

Terms added sequentially (first to last)

	Df	Sum of Sq	Mean Sq	F Value	Pr(F)
Oeverkant	1	0.138445	0.1384450	1.740576	0.1990222
Inclinatie	1	0.198524	0.1985243	2.495913	0.1267129
Oeverkant:Inclinatie	1	0.014702	0.0147020	0.184838	0.6709312
Residuals	25	1.988494	0.0795398		

Xn1 ~ Oeverkant + Inclinatie + Oeverkant:Inclinatie

Coefficients:

(Intercept) Oeverkant Inclinatie Oeverkant:Inclinatie  
0.4289172 -0.004481017 -0.0001630219 -0.0001768415

Degrees of freedom: 29 total; 25 residual  
Residual standard error: 0.09293066

Analysis of Variance Table

Response: Xn1

Terms added sequentially (first to last)

	Df	Sum of Sq	Mean Sq	F Value	Pr(F)
Oeverkant	1	0.0048739	0.004873852	0.5643575	0.4595237
Inclinatie	1	0.0003077	0.000307749	0.0356351	0.8517950
Oeverkant:Inclinatie	1	0.0004498	0.000449839	0.0520882	0.8213252
Residuals	25	0.2159027	0.008636108		

## Lijst van figuren

Figuur 1: Weergave van het projectgebied Seine-Schelde op Vlaams grondgebied. Een aantal uit te voeren maatregelen worden schematisch weergegeven ©Waterwegen & Zeekanaal NV. ....	10
Figuur 2: Dwarsdoorsnedes van constructies opgebouwd met palenrijen (boven) en constructies met azobé-beschoeiing (onder) ©Waterwegen & Zeekanaal NV.....	16
Figuur 3: Transect bestaande uit 3 plots loodrecht op de vooroever. De rechteronderhoek van de bovenste plot is gemarkeerd met behulp van een betonijzer voorzien van veiligheidslint.....	17
Figuur 4: Range van Ellenberg-N waarden en waarden voor typespecificiteit (TS) ingedeeld in klassen. ....	19
Figuur 5: Bermvegetatie die door erosie afgescheurd is van het hoger gelegen gedeelte en nu langs de waterlijn stand houdt.....	20
Figuur 6: Histogram van de afstandsmaat X voor opnamen op het talud (zone 1) en opnamen langs de waterlijn (zone 2) .....	22
Figuur 7: Histogram van het soortenaantal voor opnamen op het talud (zone 1) en opnamen langs de waterlijn (zone 2) .....	23
Figuur 8: Histogram van het aantal typische oeversoorten voor opnamen op het talud (zone 1) en opnamen langs de waterlijn (zone 2).....	23
Figuur 9: Geschatte effectgrootte van de verschillende vooroevertypes op de responsvariabelen aantal typische soorten en soortenaantal, opgesplitst voor zone 1 en zone 2.....	26
Figuur 10: Links worden designplots weergegeven voor de responsvariabelen aantal soorten (boven) en aantal typische soorten (onder). De horizontale lijn is het algemeen gemiddelde. Ten opzichte van dit gemiddelde wordt de effectgrootte per niveau weergegeven. Rechts: boxplots voor diezelfde responsvariabelen opgesplitst voor zone 1 (hoger op het talud) en zone 2 (langs de waterlijn).....	27
Figuur 11: Verbinden van nabijliggende parallelle meander met het Leiekanaal .....	34
Figuur 12: Afgraven van gedeelten van de oeverzone in de nabijheid van meanders .....	34
Figuur 13: Constructie van ecologische oeververstevigingen .....	34
Figuur 14: Verwijdering van gedeelten van aanliggende opgehoogde dijken .....	34
Figuur 15: Opmeting van wanderosie .....	39
Figuur 16: Wanderosie. De bemeten wanden erodeerden gemiddeld 20 tot meer dan 80 cm (netto; afhankelijk van de hoogte) gedurende 2,5 maand observeren in 2009. De bijdrage aan erosie per observatie is in kleur onderscheiden. De waarden zijn gemiddelden over alle erosiepinnen in alle oevers. ....	40
Figuur 17: Bodemosie in twee vooroevers. Waarden van bodemniveau relatief ten opzichte van de top van de metalen staaf zijn weergegeven. Het zijn gemiddelden van 3 metingen.....	40
Figuur 18: Schematisch overzicht van degradatie- en hersteltrajecten voor natuurlijk en sterk veranderde waterlichamen. Naar (Van Looy et al., 2007). ....	42
Figuur 19: Omschrijving van de kwaliteitsklassen van de biologische kwaliteitselementen voor sterk veranderde waterlichamen (Haskoning, 2007) .....	42
Figuur 20: Range van Ellenberg-N waarden en waarden voor typespecificiteit (TS) ingedeeld in klassen.....	45

Figuur 21: Histogrammen van de afstandsmaat gebruik makende van verstoringswaarde (XV) versus Ellenbergwaarden (XN) voor zone 1 (op het talud, $X_{V1}$ , $X_{N1}$ ) en zone 2 (langs de waterlijn, $X_{V2}$ , $X_{N2}$ ) .....	46
---	----

## Lijst van tabellen

Tabel 1: Weergave van referenties van rapporten, artikels en congresbijdragen die handelen over oeverzones of bevaarbare waterlopen. ....	11
Tabel 2: Typische oeversoorten volgens Leyssen (2005) aangetroffen in de gekanaliseerde Leie. ....	13
Tabel 3: Beheermonitoringsschaal (Demeulenaere et al., 2002).....	18
Tabel 4: Samenvattende statistiek voor de afstandsmaat voor de twee zones (zone 1: opnamen op het talud, zone 2: opnamen langs de waterlijn) .....	21
Tabel 5: Gemiddelde van responsvariabelen in onverdedigde en verdedigde oeverzones voor opnamen op het talud (zone 1) en opnamen langs de waterlijn (zone 2) .....	23
Tabel 6: Gemiddelde van responsvariabelen in vooroevers opgebouwd met azobé-beschoeiing of houten palenrijen voor opnamen op het talud (zone 1) en opnamen langs de waterlijn (zone 2) .....	24
Tabel 7; Resultaten van stapsgewijze regressie. Enkel de variabelen en enkele interacties van variabelen met een significant effect op de verschillende responsvariabelen worden weergegeven. ....	25
Tabel 8: Klasse-indeling van binnen- of rivierscheepvaart .....	33
Tabel 9: CEMT-classes voor binnen- of rivierscheepvaart .....	33
Tabel 10: Aandachtsoorten geformuleerd voor oeverzones in de gekanaliseerde Leie. ....	36
Tabel 11: Overzicht van de natuurlijke habitats van communautair belang die (kunnen) voorkomen in oeverzones langs de gekanaliseerde Leie. ....	36
Tabel 12: Overzicht van de regionaal belangrijke biotopen die (kunnen) voorkomen in oeverzones langs de gekanaliseerde Leie.....	37
Tabel 13: Klassengrenzen voor de beoordeling van de typespecificiteit (TS) en verstoring (V, zie verder) (VMM, 2009a).....	43
Tabel 14: Maatlat voor groeivormen van macrofyten voor het type Grote rivier (VMM, 2009a).....	44
Tabel 15: Klassengrenzen voor de beoordeling van de diversiteit aan groeivormen voor grote rivieren Gr (VMM, 2009a). ....	44

## Lijst van foto's

Foto 1: Vooroever opgebouwd uit palenrijen (links) en azobé-beschoeiing (rechts) .....	11
Foto 2: Overzegge is een typische oeversoort volgens (Leyssen et al., 2005) .....	12
Foto 3: Inventarisatie van watervegetatie met hark (links). Maken van een vegetatieopname op talud van de oever (rechts) .....	17



## Referentielijst

- Arlinghaus R., Engelhardt C., Sukhodolov A., & Wolter C. (2002). Fish recruitment in a canal with intensive navigation: implications for ecosystem management. *Journal of Fish Biology* 61: 1368-1402.
- Bernhardt E.S. & Palmer M.A. (2007). Restoring streams in an urbanizing world. *Freshwater Biology* 52(4): 738-751.
- Bhowmik N.G. & Mazumder B.S. (1990). Physical forces generated by barge-tow traffic within a navigable waterway. In: Chang H.H. & Hill J.C. *Hydraulic Engineering*. p. 604-609.
- Boedeltje G., Bakker J.P., & ter Heerdt G.N.J. (2003). Potential role of propagule banks in the development of aquatic vegetation in backwaters along navigation canals. *Aquatic Botany* 77(1): 53-69.
- Boedeltje G., Smolders A.J.P., Roelofs J.G.M., & Van Groenendael J.M. (2002). Constructed shallow zones along navigation canals: Vegetation establishment and change in relation to environmental characteristics. *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems* 12(2): 251-251.
- Boeters R.E.A.M., Havinga H., Litjens G., & Verheij H.J. (1997). Ten years of experience in combining ecology and navigation on Dutch waterways.
- Boeters R.E.A.M., Verheij H.J., & van der Wal M. (1991). Environment-friendly bank protections.
- Boks G., van den Burg A., van de Laak W.J., van de Paverd M., & Verbraak P. (2011). Natuurvriendelijke oevers te velden en Grubbenvorst. Projectbeschrijving en monitoringsprogramma. Rijkswaterstaat.Dienst Weg- en Waterbouwkunde., Delft, Netherlands.
- Bureau Waardenburg (1995). Monitoring Natuurvriendelijke Oevers langs het Wilhelminakanaal.
- CIW (2010). Stroomgebiedbeheerplan voor de Schelde., Erembodegem.
- Cuperus R. & Canters K.J. (1992). Met oevers meer natuur: op zoek naar referentiebeelden en maatregelen voor aanleg, inrichting en beheer van natuurvriendelijke oevers. Cml report. Centrum Voor Milieukunde, Leiden : The Netherlands.
- De Groot D., De Rycke A., Verelst I., & Declerck K. (2010). Preliminaire evaluatie van verschillende NTMB oeververdedigingstechnieken langs de IJzer. Research Institute for Nature and Forest, Brussels.
- De Roo S., Van Crombrugge W., Troch P., Van Acker J., & Maes E. (2010). Field monitoring of ship-induced loads on (alternative) bank protections of non-tidal waterways.
- Demeulenaere E., Schollen K., Vandomme V., T'Jollyn F., Hendrickx F., Maelfait J.P., & Hoffmann M. (2002). Een hiërarchisch monitoringssysteem voor beheer-evaluatie van natuurreservaten in Vlaanderen. Instituut voor Natuurbehoud, Brussel.
- Ellenberg H. (1974). Indicator values of vascular plants in Central Europe. *Scripta geobotanica* 9: 1-122.

- Haskoning (2007). Omschrijving MEP en maatlatten voor sloten en kanalen voor de kaderrichtlijn water. STOWA, Utrecht.
- Helfield J.M., Engstrom J., Michel J.T., Nilsson C., & Jansson R. (2012). Effects of river restoration on riparian biodiversity in secondary channels of the Pite River, Sweden. *Environmental Management* 49: 130-141.
- Heutz G. & Paelinckx D. (2005). Natura 2000 habitats: doelen en staat van instandhouding. Versie 1.0 (ontwerp). Onderzoeksverslag Instituut voor Natuurbehoud en Afdeling Natuur. IN.O.2005.03. Instituut voor Natuurbehoud, Brussel.
- Hill M.O., Mountford J.O., Roy D.B., & Bunce R.G.H. (1999). Ellenberg's indicator values for British plants. Institute of Terrestrial Ecology (ITE), Huntingdon, Cumbria.
- Huckstorf V., Lewin W.-C., Mehner T., & Wolter C. (2011). Impoverishment of YOY-fish assemblages by intense commercial navigation in a large lowland river. *River Research and Applications* DOI: 10.1002/rra.1420.
- Johnson W.C. (2002). Riparian vegetation diversity along regulated rivers: contribution of novel and relict habitats. *Freshwater Biology* 47(4): 749-759.
- Leyssen A., Adriaens P., Denys L., Packet J., Schneiders A., Van Looy K., & Vanhecke L. (2005). Toepassing van verschillende biologische beoordelingssystemen op Vlaamse potentiële interkalibratielocaties overeenkomstig de Europese Kaderrichtlijn Water partim "macrofyten". Instituut voor Natuurbehoud, Brussel.
- Leyssen A., Denys L., Schneiders A., Van Looy K., Packet J., & Vanhecke L. (2006). Afstemmen van referentiecondities en evaluatiesystemen voor de biologische kwaliteitselementen macrofyten en fyto-benthos en uitwerken van een meetstrategie in functie van de Kaderrichtlijn Water. Instituut voor Natuurbehoud, Brussel.
- Maes E., Van Crombrugge W., & D'Hoekers C. (2011). Implementation of the European Union Water framework Directive. Lys River restoration in the Seine-Scheldt connection.
- Mouton A., Gelaude E., Buysse D., Stevens M., Van den Neucker T., Martens S., Baeyens R., Jacobs Y., & Coeck J. (2009). Evaluatie van NTMB-projecten langs de IJzer uitgevoerd door W&Z. Luik visfauna - Studie in opdracht van W&Z, Afdeling Bovenschelde. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.
- Murphy K., Willby N.J., & Eaton J.W. (1995). Ecological impacts and management of boat traffic on navigable inland waterways. In: Harper D.M. & Ferguson A.J.D. *The ecological basis for river management*. p.
- Murphy K.J. & Eaton J.W. (1983). Effects of pleasure boat traffic on macrophyte growth in canals. *Journal of Applied Ecology* 20: 713-729.
- Naiman R.J., Décamps H., & Pollock M.M. (1993). The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity. *Ecological Applications* 3: 209-212.
- Onkelinx T., Bauwens D., & Quataert P. (2008). Potentie van ruimtelijke modellen als beleidsondersteunend instrument mbt het voorkomen van watervogels in de Zeeschelde. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.
- Palmer M.A., Bernhardt E.S., Allan J.D., Lake P.S., Alexander G., Brooks S., Carr J., Clayton S., Dahm C.N., Shah J.F., Galat D.L., Loss S.G., Goodwin P., Hart D.D., Hassett B., Jenkinson R., Kondolf G.M., Lave R., Meyer J.L., O'Donnell T.K., Pagano L., & Sudduth E. (2005). Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology* 42(2): 208-217.

- Pedroli B., De Blust G., Van Looy K., & Van Rooij S. (2002). Setting targets in strategies for river restoration. *Landscape Ecology* 17(1): 5-18.
- Raman M. (2010). Beoordelingskader voor rivierherstel Leie. Een referentiekader voor de ecologische opvolging van inrichtingsmaatregelen genomen in het kader van rivierherstel Leie. Instituut voor natuur- en bosonderzoek, Brussel.
- Raman M. & Decler K. (2009). Randvoorwaarden voor een duurzame populatieontwikkeling van oeverwaluven langs de Leie. Voorstellen voor inrichting en beheer van oeverwaluwranden langs de Leie. Instituut voor natuur- en bosonderzoek, Brussel.
- Raman M. & Vanderhaeghe F. (2011). Natuurdoelstellingen voor de oevers van de Leie. Richtinggevend plan voor oeverherstel langs de Leie. Instituut voor natuur- en bosonderzoek, Brussel.
- Rijkswaterstaat Noord-Brabant & Rijksinstituut voor Natuurbeheer (1989). Onderzoek aan natte oeverstroken langs het Wilhelminakanaal.
- Schneiders A., Denys L., Jochems H., Vanhecke L., Triest L., Es K., Packet J., Knuysen K., & Meire P. (2004). Ontwikkelen van een monitoringsysteem en een beoordelingsysteem voor macrofyten in oppervlaktewateren in Vlaanderen overeenkomstig de Europese Kaderrichtlijn Water. Instituut voor Natuurbehoud, Nationale Plantentuin van België, UA en VUB, Brussel.
- Sorensen R.M. (1997). Predicting of vessel-generated waves with reference to vessels common to the upper Mississippi River System. U.S.Army Corps of Engineers, Upper mississippi River - Illinois Waterway System Navigation Study ENV Report 4: -50.
- Stockstill R.L. & Berger R.C. (2001). Simulating barge drawdown and currents in channel and backwater areas. *J.Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.* 127: 290-298.
- Van Ballaer, B., Van Liefferinge, C. & Meire, P. (2007). Evaluatie van de effectiviteit van natuurtechnische maatregelen in het waterbeheer. Rapport Universiteit Antwerpen, Onder-zoeksgroep Ecosysteembeheer - ECOBE 07-R97.
- Van Kerckvoorde A. & Decler K. (2011). Resultaten van de ecologische opvolging in 2006 langs het kanaal Gent-Brugge. Plasbermen, broedvogels, dagvlinders en struweelontwikkeling in de bermen, vegetatieontwikkeling restgronden. Research Institute for Nature and Forest, Brussels.
- Van Looy K., Denys L., & Schneiders A. (2008). Methodiek vaststelling Maximaal en Goed Ecologisch Potentieel (MEP-GEP) voor sterk veranderde waterlopen. Instituut voor natuur- en bosonderzoek, Brussel.
- Vanderhaeghe F., Raman M., Van Ryckegem G., & Vermeersch S. (2010). Natuurvriendelijke oeververdedigingen langs de Leie. Voortgangsrapport 2010. Research Institute for Nature and Forest, Brussels.
- Verboven A., Raman M., & Decler K. (2008). Verkennende ecologische gebiedsvisie voor de vallei van de Gouden Leie (Wervik-Deinze). Instituut voor natuur- en bosonderzoek, Brussel.
- Vermeersch S. & Decler K. (2007). Toekomstgerichte opvolging van de verschillende natuurvriendelijke oeververdedigingstechnieken langs de Moervaart – 1<sup>e</sup> tussentijds rapport., Brussel.

- VMM (2009a). Biologische beoordeling van de natuurlijke, sterk veranderde en kunstmatige oppervlaktewaterlichamen in Vlaanderen conform de Europese Kaderrichtlijn Water. VMM.
- VMM (2009b). Biologische beoordeling van de natuurlijke, sterk veranderde en kunstmatige oppervlaktewaterlichamen in Vlaanderen conform de Europese Kaderrichtlijn Water. December 2009. Vlaamse Milieumaatschappij, Erembodegem.
- Weber A., Lautenbach S. & Wolter C. (2012). Improvement of aquatic vegetation in urban waterways using protected artificial shallows. *Ecological Engineering* 42: 160-167.
- Wolter C. & Arlinghaus R. (2001). A model of Navigation-Induced Currents in Inland Waterways and Implications for Juvenile Fish Displacement. *Environmental Management* 34(5): 656-668.
- Wolter C. (2001). Conservation of fish species diversity in navigable waterways. *Landscape and Urban Planning* 53: 135-144.
- Wolter C. & Arlinghaus R. (2003). Navigation impacts on freshwater fish assemblages: the ecological relevance of swimming performance. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 13: 63-89.