

DOORWERKING VAN LOKAAL BEEKHERSTEL OP DE ECOLOGISCHE KWALITEIT VAN HET HELE STROOMGEBIED

Een verkennende analyse van vier stroomgebieden
op basis van de macrofauna

►► KIWK 2022-13



Kennisimpuls
WATERKWALITEIT

DOORWERKING VAN LOKAAL BEEKHERSTEL OP DE ECOLOGISCHE KWALITEIT VAN HET HELE STROOMGEBIED

Een verkennende analyse van vier stroomgebieden
op basis van de macrofauna

►► KIWK 2022-13

Gea H. van der Lee,
Annalieke M. Bakker,
Ralf C.M. Verdonschot
& Piet F.M. Verdonschot



►► KIWK IN HET KORT

Dit rapport is geschreven in het kader van het project **Systeemkennis ecologie en waterkwaliteit** van de Kennisimpuls Waterkwaliteit.

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

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

Kennisimpuls Waterkwaliteit.

Beter weten wat er speelt en wat er kan.

►► COLOFON

Opdrachtgever	Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK) m.m.v. Waterschap Limburg, Waterschap de Dommel
Auteurs	Gea van der Lee, Annalieke Bakker, Ralf Verdonschot en Piet Verdonschot (correspondentie: gea.vanderlee@wur.nl)
Gebuikerscommissie Kennisimpuls waterkwaliteit Ketenverkenner	
Karin Lekkerkerker	Dunea, voorzitter
Saskia Onnink	Ministerie van IenW
Peter Ramakers	Provincie Noord-Brabant
Theo Cuijpers	Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard
Bert Palsma	STOWA
Marc de Rooy	Ministerie van IenW
Marga Limbeek	Waterschap Rijn en IJssel
Ben Blankvoort	Waterschap Drents Overijsselse Delta
Frans de Bles	Waterschap Vallei en Veluwe
Dorien ten Hulscher	Rijkswaterstaat
Werner Strikkeling	Waterschap Rijn en IJssel
Astrid Fischer	Evides
Leescommissie	Mark Scheepens, Barend van Maanen, Esther de Jong
Vormgeving	Shapeshifter.nl Utrecht
Beeldmateriaal	Cover: Hermeanderingstraject met hoogwaterbypass Groote Molenbeek (Ralf Verdonschot)
STOWA-rapportnummer	2022-13
ISBN	978.94.6447.158.8
DOI	https://doi.org/10.18174/567188
Wijze van citeren	van der Lee G.H., Bakker, A.M., Verdonschot R.C.M., Verdonschot P.F.M. (2021). Doorwerking van lokaal beekherstel op de ecologische kwaliteit van het hele stroomgebied. Een analyse van vier stroomgebieden. Notitie Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. 60 pp.
Trefwoorden	Vlootbeek, Tongelreep, Tungalroyse beek, Groote Molenbeek, uitstralingseffect, milieupreferentie macrofauna
Copyright	De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is kosteloos verkrijgbaar.
Disclaimer	Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteur(s) en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

▶▶ VOORWOORD

Geachte lezer,

Om in 2027 de goede ecologische kwaliteit in de Nederlandse oppervlaktewateren te bereiken is het van groot belang te weten welke en hoeveel maatregelen waar genomen moeten worden om een volledig waterlichaam te herstellen. We zijn als waterbeheerders vaak gewend om lokaal een of meerdere maatregelen uit te voeren. Het effect van deze maatregelen op de ecologische waterkwaliteit op regionale schaal is echter vaak onbekend.

In dit onderzoek is de ecologische verbetering in vier waterlichamen onderzocht. In deze wateren zijn verspreid meerdere maatregelen genomen en is er voldoende gemonitord voor een regionale analyse. De resultaten laten zien dat bij het nemen van maatregelen het van groot belang is de ecologisch relevante stressoren op en in een waterlichaam te kennen en bij voorkeur die stressoren tegelijk en over een grotere schaal aan te pakken. Deze grootschalige aanpak van meerdere stressoren vraagt om een intensieve en integrale interactie met de omgeving en externe belanghebbenden.

Dr. Nikki Dijkstra (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden)

Voorzitter gebruikerscommissie 'Systeemkennis en Ecologie' Kennisimpuls Waterkwaliteit

	Kennisimpuls Waterkwaliteit in het kort	2
	Voorwoord	4
	Beknopte samenvatting	7
1	INTRODUCTIE	8
1.1	Aanleiding	8
1.2	Doel	8
2	METHODEN	9
2.1	Datavraag waterbeheerders	9
2.2	Selectie casussen	9
2.3	Bewerking macrofaunagegevens casussen	10
2.4	Data-analyse	11
3	CASUS VLOOTBEEK	12
3.1	Beschrijving watersysteem	12
3.2	Maatregelen en meetpunten	13
3.3	Ontwikkelingen in ruimte en tijd	13
4	CASUS TONGELREEP	19
4.1	Beschrijving watersysteem	19
4.2	Maatregelen en meetpunten	19
4.3	Ontwikkelingen in ruimte en tijd	22
5	CASUS TUNGELROYSEBEEK	25
5.1	Beschrijving watersysteem	25
5.2	Maatregelen en meetpunten	25
5.3	Ontwikkelingen in ruimte en tijd	29
6	CASUS GROOTE MOLENBEEK	37
6.1	Beschrijving watersysteem	37
6.2	Maatregelen en meetpunten	37
6.3	Ontwikkelingen in ruimte en tijd	41
7	DISCUSSIE	49
8	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	52
9	LITERATUUR	53
BIJLAGE 1	Lijst van benodigde milieuparameters voor de casussen.	54
BIJLAGE 2	Meetpuntinformatie Vlootbeek	55
BIJLAGE 3	Meetpuntinformatie Tongelreep	56
BIJLAGE 4	Meetpuntinformatie Tungalroysebeek	57
BIJLAGE 5	Meetpuntinformatie Groote Molenbeek	59

►► SAMENVATTING

Herstelmaatregelen in aquatische systemen vinden vaak lokaal en gefaseerd plaats en het type ingrepen verschilt van plek tot plek. De vraag is in hoeverre deze aanpak bijdraagt aan het ecologisch herstel over grotere schaal van deze systemen. Daarom is geprobeerd meer inzicht te krijgen in de effecten van het nemen van meerdere maatregelen die ruimtelijk en in de tijd gespreid zijn binnen een stroomgebied, om daarmee inzicht in grootschaligere ecologische verbeteringen te verkrijgen. Hierbij worden aspecten als het type maatregel, de intensiteit van uitvoering, de omvang van de ingreep (aandeel of invloed in termen van hersteld oppervlak) en de spreiding van de ingrepen over een stroomgebied meegenomen.

Om het inzicht over grootschaligere effecten van gespreide lokale maatregelen te krijgen is bij de waterbeheerders een datavraag uitgezet om voor dit doel geschikte situaties, in het vervolg casussen genaamd, te verzamelen. Een casus is een stroomgebied waarbinnen veel (20-30) meetlocaties verspreid over het gebied liggen en waarvan data beschikbaar is over minimaal de laatste 10-12 jaar. De verkenning richtte zich op macrofauna. Ondanks dat er veel meetgegevens beschikbaar waren in de vorm van losse meetpunten verspreid over de tijd (jaren), was de voor het onderzoek vereiste frequentie en verdeling van de metingen over waterlichamen in de meeste gevallen onvoldoende om een effectanalyse op de schaal van een (deel)stroomgebied of (deel)waterbeheereenheid uit te voeren. Voor vier stroomgebieden bleek voor macrofauna wel voldoende datadekking in ruimte en tijd beschikbaar te zijn. Dit betrof in alle gevallen het watertype beken; de stroomgebieden van de Vlootbeek, Groote Molenbeek, Tungelroyse beek (alle drie waterschap Limburg) en de Tongelreep (waterschap de Dommel). Voor de analyse is de oorspronkelijke macrofaunadata taxonomisch afgestemd. Vervolgens is een diagnose van de stressoren op stroomgebiedsschaal door de tijd verricht door het per stressor berekenen van een milieupreferentiescore voor ieder monster op basis van de volledige soortensamenstelling. Alle resultaten zijn gevisualiseerd in een ruimte-versus-tijd diagram met daarin de indicatiewaarden van de fauna per meetpunt en daarop geprojecteerd de uitgevoerde maatregelen (type, omvang). Ook zijn extreme gebeurtenissen, bijvoorbeeld de droge zomers van 2018 en 2019, aangegeven. De milieupreferenties die gebruikt zijn voor de diagnose van stressoren zijn stroming, droogval, saprobie (mate van organische belasting) en toxiciteit. De patronen in de diagnostische stress-scores zijn gebruikt om zo locatie- en stroomgebied-specifieke veranderingen als gevolg van de herstelmaatregelen te identificeren.

Uit de analyses van de casussen, waarin in de tijd over grote schaal meerdere of grootschalige ingrepen zijn uitgevoerd, bleek dat niet zozeer de schaal van de ingreep maar juist het type en de aard ervan belangrijk waren. De onderliggende vraag hierbij was of de maatregelen in staat waren de knelpunten in het stroomgebied in voldoende mate op te heffen zodat aan de milieu-eisen van de soorten voldaan werd? De casus Tongelreep liet zien dat binnen het stroomgebied een combinatie van waterkwaliteitsverbetering, hermeandering, staken van het onderhoud en kleinschalige maatregelen in combinatie met een goed uitgangspunt wat betreft andere randvoorwaarden (voldoende stroming, natuur in beekdal, aanwezigheid bronpopulaties) tot positieve ecologische effecten heeft geleid en zo het streefbeeld in de tijd steeds dichterbij werd. In de andere casussen was op grote schaal herinrichting uitgevoerd en waren ook verbeteringen in de waterkwaliteit te zien maar bleef een verbetering op de schaal zoals die in de Tongelreep werd waargenomen uit. Hier bleken andere factoren, onder andere op het vlak van hydrologie (te weinig afvoer en daarmee stroming) beperkingen op te leveren, in de Vlootbeek nog eens versterkt door de extreme omstandigheden in de droge zomers van 2018 en 2019. Er kan dus sprake zijn van een hiërarchie of dominantie van stressoren; de doorwerking van één stressor in het stroomgebied kan ecologisch herstel blokkeren ondanks dat verschillende maatregelen zijn genomen.

De casussen benadrukken dat bij het nemen van maatregelen het van groot belang is dat eerst gekeken wordt naar de samenhang tussen en hiërarchie in verschillende groepen van factoren in het watersysteem. Hiervoor is een integrale aanpak nodig, want wanneer er knelpunten uit verschillende factoren voortkomen (multiple stress) dan moeten deze allemaal aangepakt worden om een substantiële ecologische verbetering te bewerkstelligen. Het wordt dan ook aanbevolen om vooraf aan een herstelproject een ecologische systeemanalyse op stroomgebiedsschaal uit te voeren om alle relevante stressoren voor de ecologie in beeld te krijgen zodat vervolgens passende maatregelpakketten opgesteld kunnen worden. Ook komen met een ecologische systeemanalyse de randvoorwaarden vanuit zowel het ecologische systeem als de gebruiksfuncties beter in beeld, zodat realistische doelen gesteld kunnen worden.

►► 1 INTRODUCTIE

1.1 AANLEIDING

Hoewel de meeste herstelprojecten in beken erin slagen (delen van) de chemische of hydromorfologische kwaliteit op habitat of trajectschaal te verbeteren, blijft de ecologische kwaliteit op basis van de levensgemeenschappen in de beek vaak ongewijzigd. Stoll *et al.* (2016) veronderstellen dat dit komt doordat de samenstelling van de levensgemeenschappen grotendeels wordt bepaald door omgevingskenmerken die op een grotere ruimtelijke schaal invloed uitoefenen, op bijvoorbeeld de schaal van een stroomgebied of regio. Bij de meeste beekherstelprojecten wordt er echter vanuit gegaan dat als de (hydro)morfologie van een beektraject wordt hersteld, dit ook de (lokale) biologische diversiteit ten goede zal komen (Palmer *et al.*, 1997; Kail & Hering, 2009). Deze benadering wordt de 'Field of Dreams'-hypothese (Palmer *et al.*, 1997) genoemd, die veronderstelt dat 'als je het bouwt, ze zullen komen'.

Inmiddels is duidelijk geworden dat lokale herstelingsrepen in beken vaak niet leiden tot de gewenste verbeteringen (Dos Reis Oliveira *et al.* 2020). Veel beekherstel beperkt zich overigens tot aanpassingen in het lengte- en dwarsprofiel, wat betekent dat veel hydrologische en sommige morfologische parameters onverbeterd blijven. Recente onderzoeken naar kleinschalige maatregelen en aangepast beheer laten bijvoorbeeld ook zien dat de maatregелеffectiviteit sterk gestuurd worden door de mate waarin op een grotere schaal opererende stressoren zijn weggenomen (Verdonschot *et al.* 2021a,b). Pas wanneer deze invloed wordt opgeheven of teruggedrongen zijn significante ecologische effecten te verwachten. Vaak zijn de invloeden op grote schaal diffuus, zoals verstoring van de hydrologie door drainage en wateronttrekking en in- en afspoeling van voedingsstoffen uit landbouwpercelen. Dit betekent dat het aanpakken van deze problemen grootschalige veranderingen met een omvang tot ver buiten de beek vraagt en niet alleen het beekdal maar ook de infiltratiegebieden beslaat.

Op de schaal van (deel)stroomgebieden beeksystemen herstellen is echter vaak (op korte termijn) niet realistisch als gevolg van andere gebruiksfuncties, waardoor de waterbeheerder gebonden is aan maatregelen op trajectschaal. Hierbij wordt wel steeds vaker het beekdal betrokken, waarbij herstel met een beekdalbrede insteek wordt uitgevoerd en worden maatregelen opgeschaald door langere trajecten tegelijkertijd aan te pakken en meerdere knelpunten weg te nemen. In stroomgebieden zie je vaak een lappendeken van herstellende en niet-herstellende trajecten met, door verschillen in de mogelijkheden, variatie in de genomen maatregelen tussen de herstellende trajecten.

Dit roept de vraag op wanneer deze lokale herstelingsrepen positieve ecologische effecten teweeg kunnen brengen, bijvoorbeeld wanneer deze op verschillende plekken en/of verschillende momenten in de tijd in een stroomgebied worden uitgevoerd en of meerdere lokale maatregelen kunnen leiden tot een regionaal (grootschaliger) effect. Daarnaast is het de vraag of er een bepaalde hiërarchie in effecten zichtbaar is wanneer er verschillende typen maatregelen worden genomen, werkt de ene maatregel sterker uit dan de andere en kan dit inzichtelijk worden gemaakt door op stroomgebiedsschaal naar maatregelen te kijken?

1.2 DOEL

Het doel van dit onderzoek is meer inzicht te krijgen in de effecten van het nemen van meerdere maatregelen die ruimtelijk en in de tijd gespreid zijn binnen een stroomgebied om daarmee ecologische verbeteringen te bewerkstelligen. Hierbij worden aspecten als het type maatregel, de intensiteit van uitvoering, de omvang van de ingreep (aandeel of invloed in termen van hersteld oppervlak) en de spreiding van de ingrepen over een stroomgebied meegenomen.

Met andere woorden: Wat is er nodig aan lokale maatregelen om regionale effecten te bereiken?

►► 2 METHODEN

2.1 DATAVRAAG WATERBEHEERDERS

Bij de start van het project is bij de Nederlandse waterbeheerders een datavraag uitgezet om casussen te verzamelen waarmee de onderzoeksvragen kunnen worden beantwoord en waarbij onderscheid gemaakt is tussen vier casustypen:

- I Casussen die (deel)stroomgebieden omvatten waarin één of enkele grootschalige maatregelen zijn uitgevoerd. Groot-schalig is hierbij gedefinieerd als een hersteld deel van de beek van tenminste 5-10 kilometer lengte.
- II Casussen die (deel)stroomgebieden omvatten waarin op verschillende locaties meerdere tot veel kleinschalige maatregelen zijn uitgevoerd, waardoor in het stroomgebied als gevolg van de maatregelen variatie - een 'lappendeken' - in milieu-omstandigheden en ecologische kwaliteit is ontstaan (kwaliteitsklasse matig-goed).
- III Casussen die (deel)stroomgebieden van slechte of ontoereikende kwaliteit omvatten waar geen maatregelen zijn getroffen.
- IV Casussen die (deel)stroomgebieden met een goede of uitstekende ecologische kwaliteit omvatten en waar geen maatregelen zijn getroffen.

De casussen omvatten (deel)stroomgebieden, polders of waterbeheereenheden met één van de volgende vijf hoofdwater-typen: sloten en kanalen; plassen, meertjes en meren; beken en riviertjes; grote rivieren; grote meren.

De uitgangspunten bij de data-inzamelingen waren:

- We verzamelen data die betrekking hebben op de laatste 10-12 jaar, m.a.w. ruwweg sinds het begin van de eerste stroomgebiedsbeheersplannen (SGBPen).
- We streven ernaar dat een casus veel (20-30) meetlocaties verspreid over het gebied bevat. Het minimum aantal is 5 meetlocaties.
- Per meetlocatie waar ingrepen zijn gedaan zijn tenminste 3 metingen voor en 4 metingen na de ingreep beschikbaar.

De datavraag per casus omvatte daarbij twee parametergroepen:

a Abiotiek

Welke maatregel of maatregelen zijn waar en wanneer genomen? Voor de gevraagde milieuparameters is een lijst op-gesteld ([Bijlage 1](#)).

b Biotiek

We verzamelen informatie van alle organismegroepen die gemeten zijn (vooral de KRW-groepen macrofyten, algen, macrofauna, vissen), bij voorkeur zover mogelijk gedetermineerd tot op een zo laag mogelijk taxonomisch niveau.

2.2 SELECTIE CASUSSEN

Tijdens de gegevensinzameling bleken maar weinig stroomgebieden of waterbeheereenheden voldoende data te bevatten om de beoogde analyses te kunnen uitvoeren. De vereiste minimaal 5 locaties in het gebied met per locatie 3 metingen voor en 4 metingen na ingrepen ontbraken in de meeste gevallen. Alleen voor beken waren voldoende gegevens beschik-baar.

De analyse van casussen is uiteindelijk uitgevoerd voor vier stroomgebieden met langzaam stromende beken in Zuid-oost-Nederland ([Figuur 1](#)): Vlootbeek, Grootte Molenbeek, Tungalroyse beek (alle drie waterschap Limburg) en Tongelreep (waterschap de Dommel). Dit zijn casussen die vallen in de casustypen I en II, zoals hierboven beschreven.

In deze studie zijn alleen de macrofaunagegevens uitgewerkt. Hiervoor zijn de macrofaunagegevens verzameld en in ruimte en tijd gekoppeld aan de ingrepen binnen de stroomgebieden.

FIGUUR 1

Ligging van de vier onderzochte stroomgebieden.



2.3 BEWERKING MACROFAUNAGEGEVENS CASUSSEN

De macrofaunagegevens van de casussen, afkomstig uit verschillende jaren en van verschillende meetpunten, lieten verschillen zien in taxonomische niveaus waarop de macrofauna was gedetermineerd. Voor de analyses is een eenduidig gegevensbestand noodzakelijk. Verschillen in het determinatieniveau kunnen anders in een later stadium de oorzaak blijken te zijn van waargenomen verschillen in de macrofaunagemeenschap. Om dit te vermijden is daarom voorafgaand aan de analyse de oorspronkelijke macrofaunadata taxonomisch afgestemd op basis van de frequentie van voorkomen van taxa in de monsters in combinatie met de totale abundantie per taxon (Nijboer & Verdonschot 2000). Voor de taxonomische afstemming zijn de volgende criteria gehanteerd:

- Afstemming heeft plaatsgevonden op een zo laag mogelijk taxonomisch niveau, bij voorkeur op het soortniveau.
- Indien een klasse, orde, familie of genus op een paar uitzonderingen na was gedetermineerd tot een lager niveau, is het hogere niveau verwijderd en het lagere niveau gehandhaafd.
- Indien de frequentie waarmee het hogere niveau voorkwam echter meer dan 10% van de frequenties van de onderliggende taxa gezamenlijk was, dan is het lagere niveau omgezet naar het hogere niveau.
- Het 10%-criterium was geen 'harde grens'. Bij grensgevallen is gekeken naar de indicatieve waarde van de onderliggende families, genera en soorten. Verschilden de onderliggende taxa nauwelijks van elkaar wat betreft ecologie (bijvoorbeeld verschillen in habitatvoorkeur of voedingsgroep) dan is gekozen voor het hogere niveau. Indien de taxa van het onderliggende niveau sterk(er) in ecologische preferenties van elkaar verschillen is het hogere niveau verwijderd en is gekozen voor het handhaven van de lagere niveaus.
- Voor soorten en groepen/aggregaten zijn dezelfde criteria gehanteerd als voor de keuze tussen genus en soort. Is de frequentie waarin de groep was gegeven meer dan 10% van de totale frequentie van de onderliggende soorten dan zijn de soorten onder de groep/het aggregaat geschaard.
- Alle mannetjes, vrouwtjes, poppen, larven, juvenielen en nimfen zijn samengevoegd onder de soort.
- Waarnemingen van exuviae (pophuidjes) zijn verwijderd, omdat deze van een ander meetpunt (bijv. verspreiding door wind) afkomstig kunnen zijn en op niet-representatieve wijze bemonsterd zijn. Ook waarnemingen van lege huisjes zijn verwijderd.
- Voor de genera *Glyptotendipes* en *Chironomus* zijn alle gegevens geaggregeerd naar genusniveau, omdat determinatie van deze groepen in verband met determinatieproblemen niet consistent is uitgevoerd en daardoor minder betrouwbaar is.
- Terrestrische dieren, niet representatief bemonsterde groepen en niet tot de gangbare macrofauna gerekende groepen, zoals Hydrozoa, Porifera, Bryozoa, Nematoda en Collembola, zijn uit het gegevensbestand verwijderd.

2.4 DATA-ANALYSE

Door het berekenen van milieupreferentiescores per monster en het projecteren van de uitkomsten in een ruimte-versus-tijd diagram is een diagnose van de stressoren op stroomgebiedsschaal door de tijd gesteld.

Hiervoor is een selectie gemaakt van milieupreferentieklassen uit de WEW-autecologielijst (Verberk *et al.* 2012), die in theorie inzicht zouden kunnen geven in de rol van bepaalde stressoren binnen het stroomgebied (Tabel 1). De milieupreferentiescores zijn beschikbaar op soortniveau. Wanneer een taxon tot op genus- of familieniveau was afgestemd, is de gemiddelde milieupreferentiescore berekend op basis van alle gedetermineerde soorten binnen het genus of familie uit het stroomgebied vóór de taxonomische afstemming. Per monster is daarna een gewogen gemiddelde milieupreferentiescore berekend door de som te nemen van de milieupreferentiescores van de aanwezige taxa vermenigvuldigd met hun $\log_{10}(x+1)$ getransformeerde abundantie. Dit totaal is vervolgens gedeeld door de som van de $\log_{10}(x+1)$ getransformeerde abundantie van alle taxa waarvoor een milieupreferentiescore bekend was.

TABEL 1

*Metrics gebruikt voor de diagnose van stressoren op stroomgebiedsschaal op basis van de WEW-autecologielijst (Verberk *et al.* 2012).*

Parameter	Milieupreferentieklaas(e)n	Stressor(en)
Stroomsnelheid	Matig stromend + snelstromend	Stroming/zuurstof
Droogval	Temporair (> 6 weken droog)	Droogval
Saprobie	α -mesosaproob + polysaproob	Zuurstof/toxiciteit

Daarnaast is de $\text{SPEAR}_{\text{pesticides}}$ -score berekend op basis van de afgestemde data om de invloed van toxische stoffen te bepalen (SPEAR, Liess & van der Ohe 2005; www.systemecology.de/indicate). Omdat een hogere $\text{SPEAR}_{\text{pesticides}}$ -score een betere kwaliteit aangeeft, hebben we de score omgezet naar toxische stress met de volgende formule: $1 - \text{SPEAR}_{\text{pesticides}}$. Hierdoor is de score vergelijkbaar met de andere stressorscores. Voor iedere stressor is het gemiddelde (μ) en de standaarddeviatie (sd) per stroomgebied berekend. Vervolgens zijn de scores geijkt van 0 tot 1 naar de minimale $\mu - 2 \cdot \text{sd}$ en de maximale $\mu + 2 \cdot \text{sd}$. Alle analyses zijn gedaan in R (versie 3.6.3).

►► 3 CASUS VLOOTBEEK

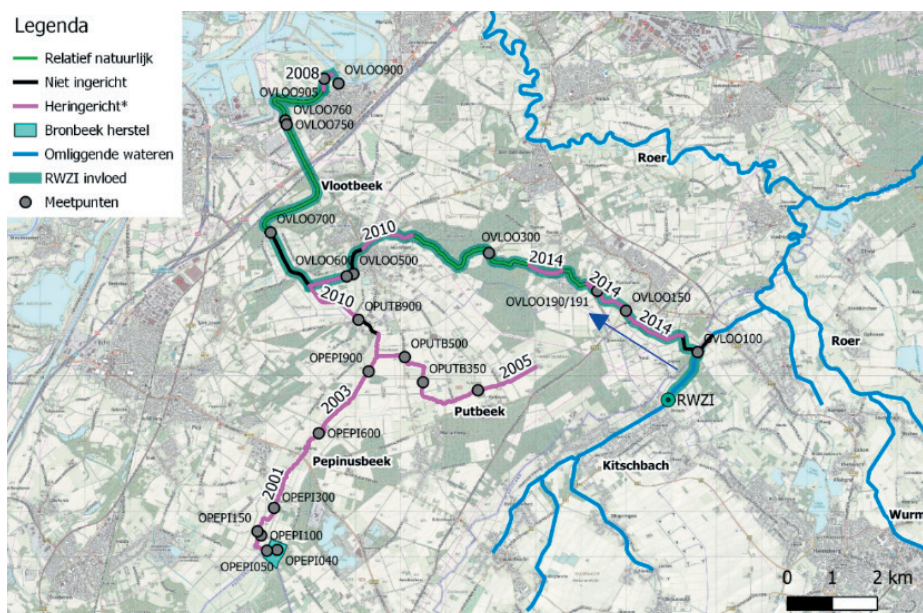
3.1 BESCHRIJVING WATERSYSTEEM

Het stroomgebied van de Vlootbeek omvat drie hoofdbeken: de Vlootbeek (VLOO; 18 km, Nederland), de Putbeek (PUTB; 7 km) en de Pepinusbeek (PEPI; 5 km) en ligt in het beheergebied van waterschap Limburg (Figuur 2). De Vlootbeek watert in de bovenloop diverse terrassen af en loopt vervolgens deels door historische lopen van de Roer. Hier is het een langzaam stromende bovenloop op zand in reliëfrij gebied (KRW watertype R4b). Delen van het bovenloopstelsel zijn gegraven waardoor er een kunstmatig afwateringsstelsel is ontstaan. Op de grens tussen Nederland en Duitsland is een verbinding gemaakt tussen de Vlootbeek en de Kitschbach (incl. zijbeek Flutgraben), die via de Schaafbach afwatert op de noordelijker gelegen Roer (Figuur 2). Waarschijnlijk lag het oorspronkelijke brongebied van de Vlootbeek in dit gebied, ter hoogte van Heinsberg. Tussen 1947 en 2000 was deze toevoer afgekoppeld en viel de beek 's zomers vaak droog, na het verbinden van de beken vond minder droogval plaats. De Kitschbach wordt deels gevoed door effluent van een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI; ongeveer 30% van afvoer).

De Vlootbeek vloeit na Montfort samen met de Pepinusbeek en Putbeek als langzaam stromende middenloop/benedenloop op zand (KRW watertype R5), om uiteindelijk in de Maas uit te monden. De Putbeek en Pepinusbeek zijn beide langzaam stromende bovenlopen op zand (KRW watertype R4b). De eerste honderden meters van de bovenloopjes vallen 's zomers vrijwel jaarlijks droog. Een deel van het infiltratiegebied van het aanwezige grondwater ligt op een hoger gelegen terras in Duitsland. Het kwelwater voedt tal van beekjes, die in de Pepinusbeek en Putbeek uitmonden. Vroeger lagen hier laagtes waarin doorstroommoerassen aanwezig waren. Een groot deel van de beken is enkele eeuwen geleden gegraven voor de ontginning en ontwatering van deze moerasgebieden. Tijdens ontginningen en ruilverkavelingen zijn de beeklopen voor een deel genormaliseerd en gekanaliseerd, beschoeid en gestuwd. Nu stromen de beken veelal door agrarisch gebied en zijn slecht verspreid relictten met broekbos en kwelmoeras over.

FIGUUR 2

Stroomgebied van de Vlootbeek met macrofaunameetpunten (grijze stippen). Met kleuren is aangegeven of de beek relatief natuurlijk (groene lijn), niet-ingericht (zwarte lijn) of heringericht is (roze lijn en het jaartal van de herinrichting met wit kader; *specifieke herinrichtingsmaatregel per traject in Tabel 2). Omgevende waterlichamen met mogelijke invloed op de Vlootbeek zijn aangegeven met blauwe lijnen. De benedenstroomse invloed van de koppeling van de Kitschbach in 2000 met de bijbehorende RWZI invloed is aangegeven met een turquoise band. De beek stroomt vanaf Duitsland richting de Maas (blauwe pijl).



3.2 MAATREGELEN EN MEETPUNTEN

Tussen 1996 en 2014 zijn diverse beekherstelprojecten verspreid over het stroomgebied uitgevoerd, waarbij de permanente stuwen zijn verwijderd en de morfologie en inrichting weer een natuurlijker karakter heeft gekregen (Tabel 2; Figuur 2). De beek is weer van bochten voorzien en in enkele beekdelen is een twee-fasenprofiel aangelegd, met een klein gedimensioneerde dieper gelegen loop met daarnaast een overstromingsvlakte die bij hoge afvoeren onder loopt en kan meestromen. Enkele beektrajecten in bosgebied zijn nog in een vrij natuurlijke staat en daar zijn geen herstelmaatregelen uitgevoerd. De monding van de Vlootbeek is in 2008 weer teruggelegd op de plek van de oorspronkelijk bedding. Figuur 2 geeft een overzicht van de heringerichte trajecten, het jaartal van herstel en het type herstel van de morfologie (d.w.z. of het een meander of het aanleggen van een twee-faseprofiel betrof).

De macrofauna is op 21 locaties in het stroomgebied van de Vlootbeek bemonsterd (Bijlage 2). Voor de homogeniteit van de analyse zijn alleen monsters uit het voorjaar en de vroege zomer (periode april – juni) gebruikt, omdat na 1993 geen monsters meer in het najaar zijn genomen. Meetpunt OVLOO900 is na het terugleggen van de monding in 2008 verplaatst naar meetpunt OVLOO905. Deze twee meetpunten zijn daarom samengevoegd en worden in het vervolg aangeduid als OVLOO900.

3.3 ONTWIKKELINGEN IN RUIMTE EN TIJD

De milieupreferenties van de macrofauna laten over ruimte en tijd zien dat in het stroomgebied van de Vlootbeek ondanks de herstelmaatregelen nog verschillende stressoren aanwezig zijn.

Met uitzondering van de meest benedenstroomse meetpunten in het mondingstraject van de Vlootbeek (OVLOO750 en OVLOO900) is de stromingsindicatie laag (Figuur 3). Dit geeft aan dat er sprake is van het periodiek wegvallen van stroming in de beken. Opvallend is dat op het meetpunt OPUB900, de locatie in de Putbeek na de samenvloeiing met de Pepinusbeek, de stromingsindicatie is afgenomen. In deze periode is de Putbeek heringericht. Mogelijk is het water door de aanleg van meanders bovenstrooms minder gaan stromen als gevolg van wegverlenging en profielaanpassingen. In het herstelde brongebied van de Pepinusbeek OPEPI50 is de stromingsindicatie juist toegenomen, waarschijnlijk door de aanleg van de bronloopjes. Opvallend is dat na de droogte van 2018-2019 de stromingsindicatie in het hele stroomgebied is afgenomen, wat afvoerproblemen indiceert. Een effect van extra aanvoer vanuit de Kitschbach op de stromingsindicatie is niet zichtbaar op basis van de data.

De indicatie voor droogval is het sterkst in de bovenlopen van de Pepinusbeek en Putbeek (Figuur 4). Indicatoren voor droogval kunnen duiden op volledige droogval of op lokale/gedeeltelijke droogval. Uit recente gegevens van de bovenloop van de Vlootbeek blijkt dat de indicatie voor droogval minder is dan in de Pepinusbeek en Putbeek, maar omdat er zeer beperkte data beschikbaar is van voor de aansluiting van de Kitschbach (in 1999-2000) is het niet mogelijk om veranderingen in de tijd goed te duiden. Wel is duidelijk dat de droogte van 2018-2019 in het hele stroomgebied tot een hogere droogvalindicatie heeft geleid.

Een indicatie voor organische belasting is met name hoog in de bovenloop van de Vlootbeek en lijkt daar te zijn toegenomen in de tijd, met name tijdens de droogte van 2018-2019 (OVLOO191, OVLOO300, OVLOO600; Figuur 5). Dit is een bekend verschijnsel tijdens perioden van lage afvoeren/stagnatie, waar door het wegvallen van stroming sediment neerslaat en wordt afgebroken, met saprobiëring tot gevolg. De indicatie voor organische belasting in het meest benedenstroomse meetpunt (OVLOO900) is lager en lijkt sinds 1996 geleidelijk iets te zijn afgenomen, wat wijst op een waterkwaliteitsverbetering. In de Pepinusbeek en Putbeek is de indicatie voor organische belasting relatief laag.

De indicatie voor toxische stress is met name hoog in de bovenloop van de Vlootbeek (OVLOO191, OVLOO300, OVLOO600; Figuur 6). Mogelijk heeft dit een relatie met het feit dat de beek sinds 2000 is aangekoppeld aan de Kitschbach, die wordt gevoed door effluentwater van een RWZI in Duitsland. Ook de intensieve landbouw op de terrassen en mogelijk ook bronnen van toxische stoffen in urbane gebieden (Montfort) kunnen aan de toxiciteitscore hebben bijgedragen.

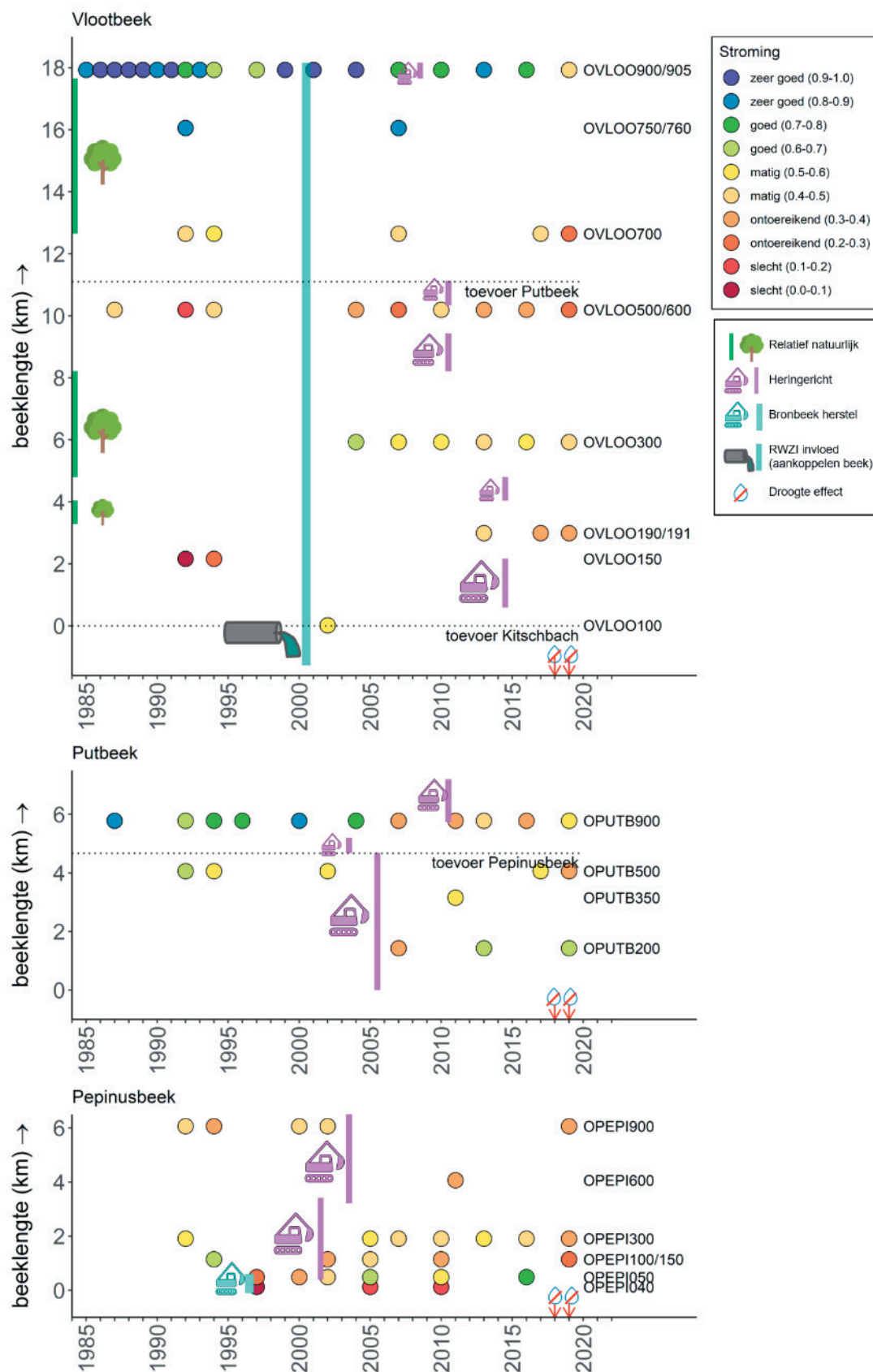
TABEL 2

Trajectgegevens van het stroomgebied van de Vlootbeek (VLOO), Putbeek (PUTB) en Pepinusbeek (PEPI). Maatregelen: N: niet-ingericht; RN: in relatief natuurlijke staat; Hlmps: heringericht door middel van meandering, profiel verondiepen en verruimen en ontstuwen; Hlps: heringericht door middel van profiel verondiepen en verruimen en ontstuwen; BB: bronbeek herstel door middel van dempen drainagegreppels, afgraven maaiveld tot natte laagte, graven bronloopjes, kappen naaldbos; ZU: RWZI gerelateerde maatregel.

Traject	Trajectlengte 2021 (m)	Meetpunt binnen traject	KRW-watertype	Maatregelen	Toelichting	Jaar van uitvoering
Kitschbach: RWZI-Grens Duitsland	1280	-	-	ZU	Voeding RWZI water door aankoppeling	2000
VL00: Grens Duitsland - Borgsgang	598	OVLO0100	R4b	N	-	-
VL00: Borgsgang - Middenbroekzijweg	387	-	R4b	Hlmps	-	2014
VL00: Middenbroekzijweg - Brunssummerweg	873	-	R4b	Hlps	-	2014
VL00: Brunssummerweg - De donckerstraat	313	OVLO0150	R4b	Hlmps	-	2014
		OVLO0190/191	R4b	Hlmps		2014
VL00: De Donckerstraat - Landgoed Aerwinkel	762	-	R4b	RN	-	-
VL00: Landgoed Aerwinkel - Roskam	756	-	R4b	Hlps	-	2014
VL00: Roskam - Munnichsbos	3416	-	R4b	RN	-	-
VL00: Munnichsbos - Dijk Montfoort	1217	OVLO0300	R4b	Hlps	-	2010
VL00: Dijk Montfoort - Eerselenweg	907	-	R4b	N	-	-
VL00: Eerselenweg - instroom Putbeek	790	OVLO0500/600	R4b	Hlps	-	2010
VL00: Putbeek - Reigersbroek	1527	OVLO0700	R5	N	-	-
VL00: Reigersbroek - Linnerweerd	3035	-	R5	RN	houtwalbeek	-
VL00: Linnerweerd - nieuweloop	1963	OVLO0750/760	R5	RN	-	-
VL00: nieuweloop - monding	512	OVLO0900/905	R5	Hlmps	-	2008
PUTB: bron - instroom Pepinusbeek	4678	OPUTB200	R4b	Hlmps	-	2005
		OPUTB350	R4b	Hlmps	-	2005
		OPUTB500	R4b	Hlmps	-	2005
PUTB: Instroom Pepinusbeek - Echterbroek	521	-	R4b	Hlmps	-	2003
PUTB: Echterbroek - Aardonck	538	-	R4b	N	-	-
PUTB: Aardonck - Instroom Vlootbeek	1459	OPUTB900	R4b	Hlmps	-	2010
PEPI: brongebied	503	OPEPI040	R4b	BB	-	1996
		OPEPI050	R4b	BB	-	1996
PEPI: brongebied - Pepinusbrug	2816	OPEPI100/150	R4b	Hlmps	-	2001
		OPEPI300	R4b	Hlmps	-	2001
PEPI: Pepinusbrug - Instroom Putbeek	3143	OPEPI600	R4b	Hlmps	-	2003
		OPEPI900	R4b	Hlmps	-	2003

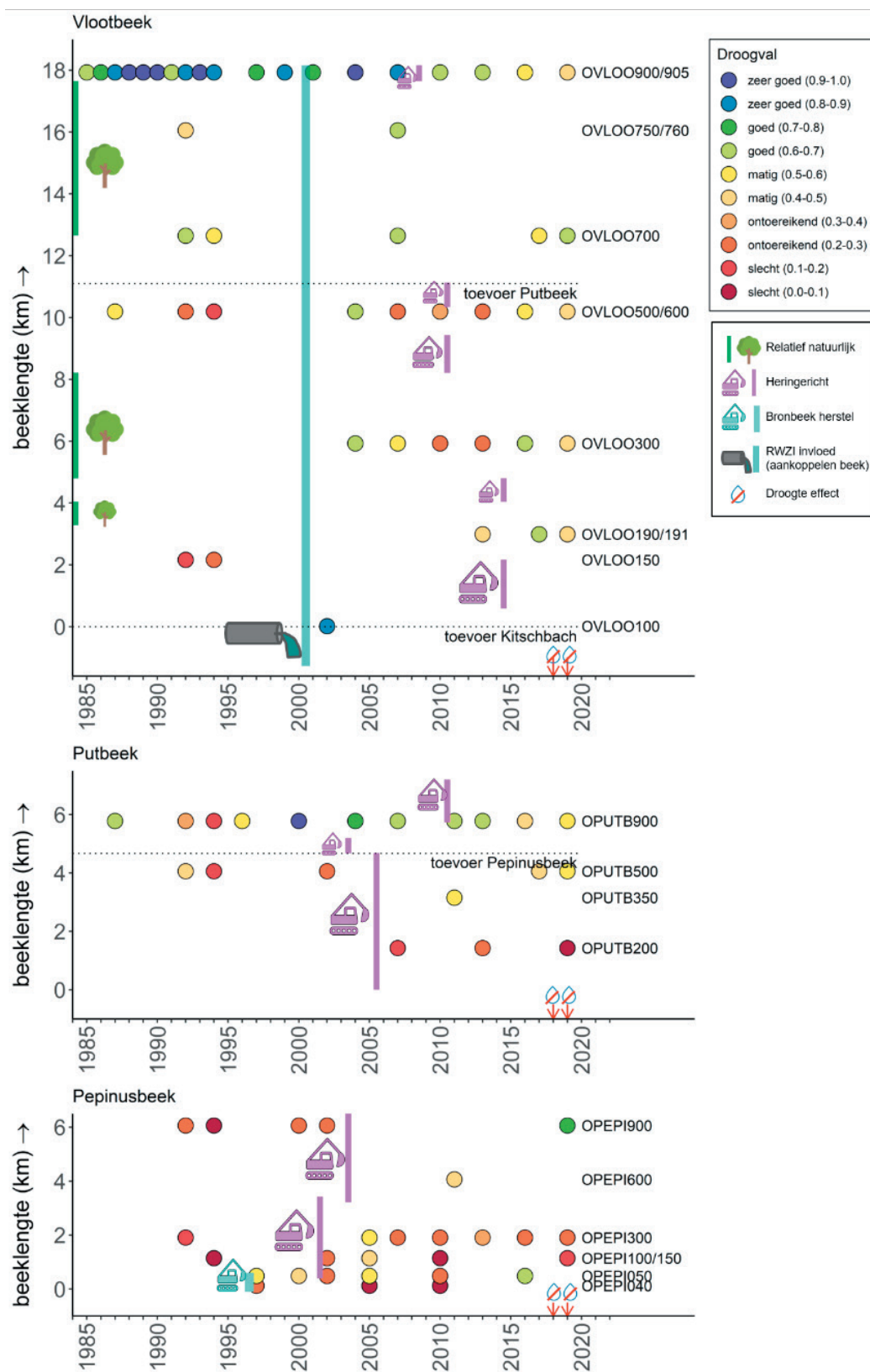
FIGUUR 3

Ruimte-tijd diagram van het stroomgebied van de Vlootbeek met genomen maatregelen en diagnostische stresscores per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor stroming. Details van de maatregelen per traject zijn weergegeven in Tabel 2.



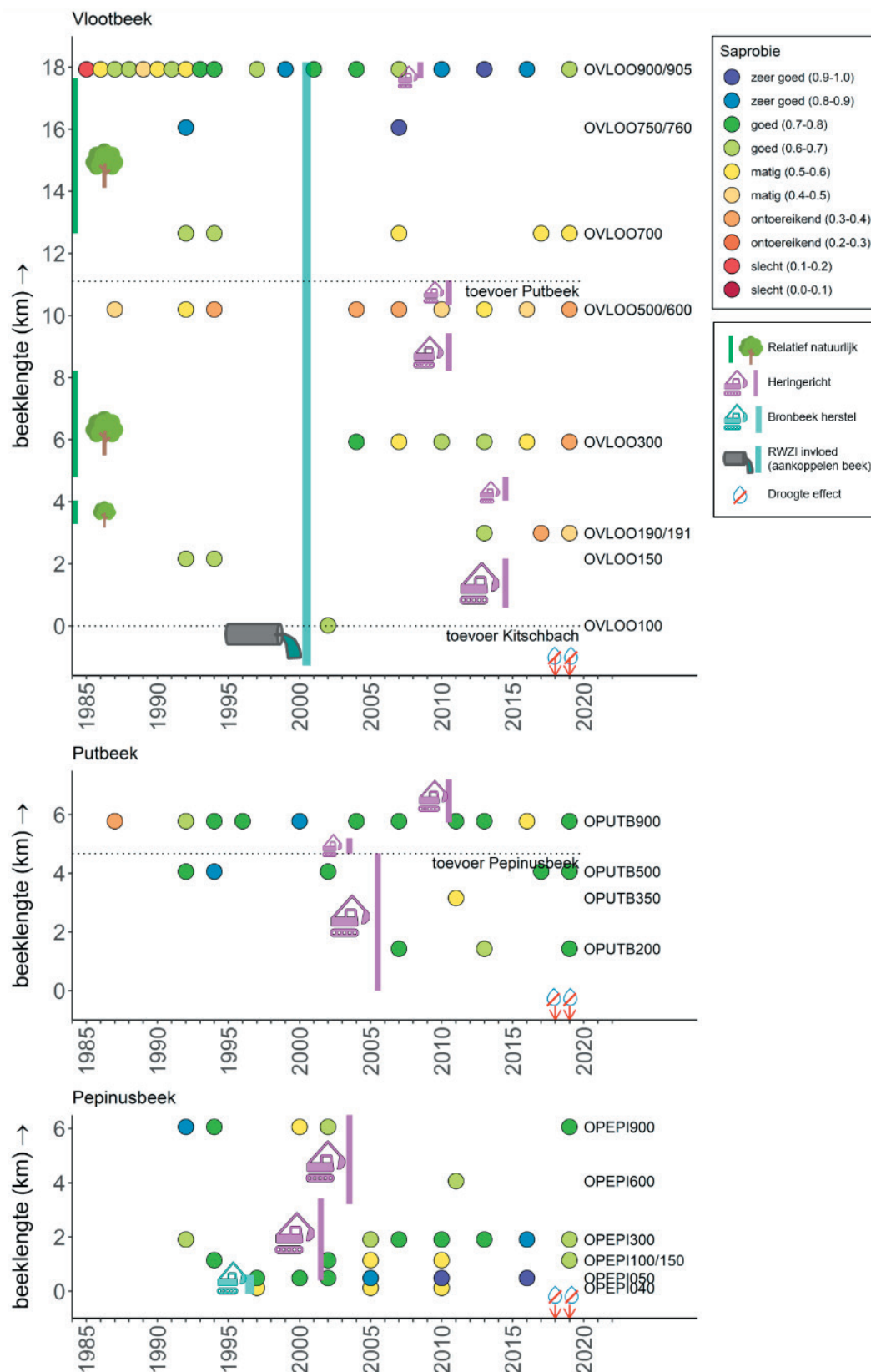
FIGUUR 4

Ruimte-tijd diagram van het stroomgebied van de Vlootbeek met genomen maatregelen en diagnostische stresscores per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor droogval. Details van de maatregelen per traject zijn weergegeven in Tabel 2.



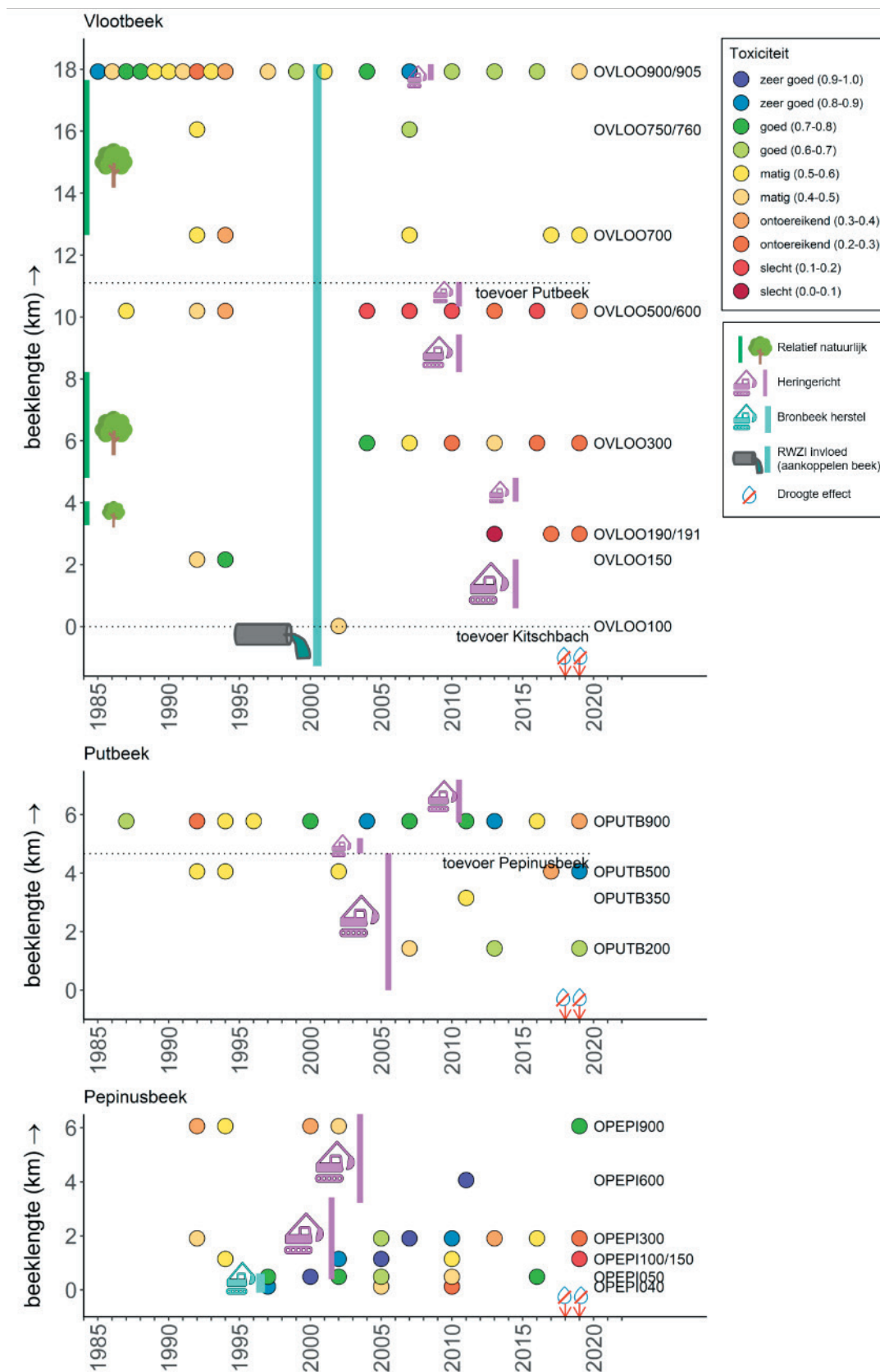
FIGUUR 5

Ruimte-tijd diagram van het stroomgebied van de Vlootbeek met genomen maatregelen en diagnostische stresscores per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor saprobie (organische belasting). Details van de maatregelen per traject zijn weergegeven in Tabel 2.



FIGUUR 6

Ruimte-tijd diagram van het stroomgebied van de Vlootbeek met genomen maatregelen en diagnostische stresscores per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor toxiciteit. Details van de maatregelen per traject zijn weergegeven in Tabel 2.



►► 4 CASUS TONGELREEP

4.1 BESCHRIJVING WATERSYSTEEM

De Tongelreep is een langzaam stromende midden/benedenloop op zand (KRW-watertype R5) in het beheergebied van Waterschap de Dommel. Het stroomgebied heeft een oppervlakte van ca. 130 km² en een verval van ca. 64 m over een beeklengte van ca. 36 kilometer. Door dit relatief grote verhang ligt de stroomsnelheid hoog voor een laaglandbeek. De Tongelreep ontspringt in België (nabij het dorp Erpekom) en wordt daar Warmbeek genoemd. Op vier plekken wordt de Warmbeek gevoed door Maaswater dat via het Bocholt-Herentalskanaal wordt aangevoerd, slechts twee plekken zouden een beperkte invloed kunnen hebben op de Tongelreep, maar dit water bereikt de beek alleen indirect. Grondwater is dan ook de belangrijkste voeding. Na de abdij de Achelse Kluis (Belgisch-Nederlandse grens) stroomt de beek Nederland binnen, waarna de Haagbroekerloop in de Tongelreep stroomt. Vervolgens loopt de beek langs Valkenswaard en Aalst om zich in Eindhoven bij de Dommel te voegen. Ter hoogte van Valkenswaard bevinden zich visvijvers, die worden gevoed door de Tongelreep. Voor uitmonding in de Dommel stroomt de Tongelreep door de slibvang de Vleut. Deze slibvang is aangelegd om vervuild sediment af te vangen (cadmium, zink). Het stroomgebied bevat een relatief groot aandeel natuur (bos-heide, ca. 38%), tegenover 45% landbouw en 15% urbaan gebied (Soresma 2007)

4.2 MAATREGELEN EN MEETPUNTEN

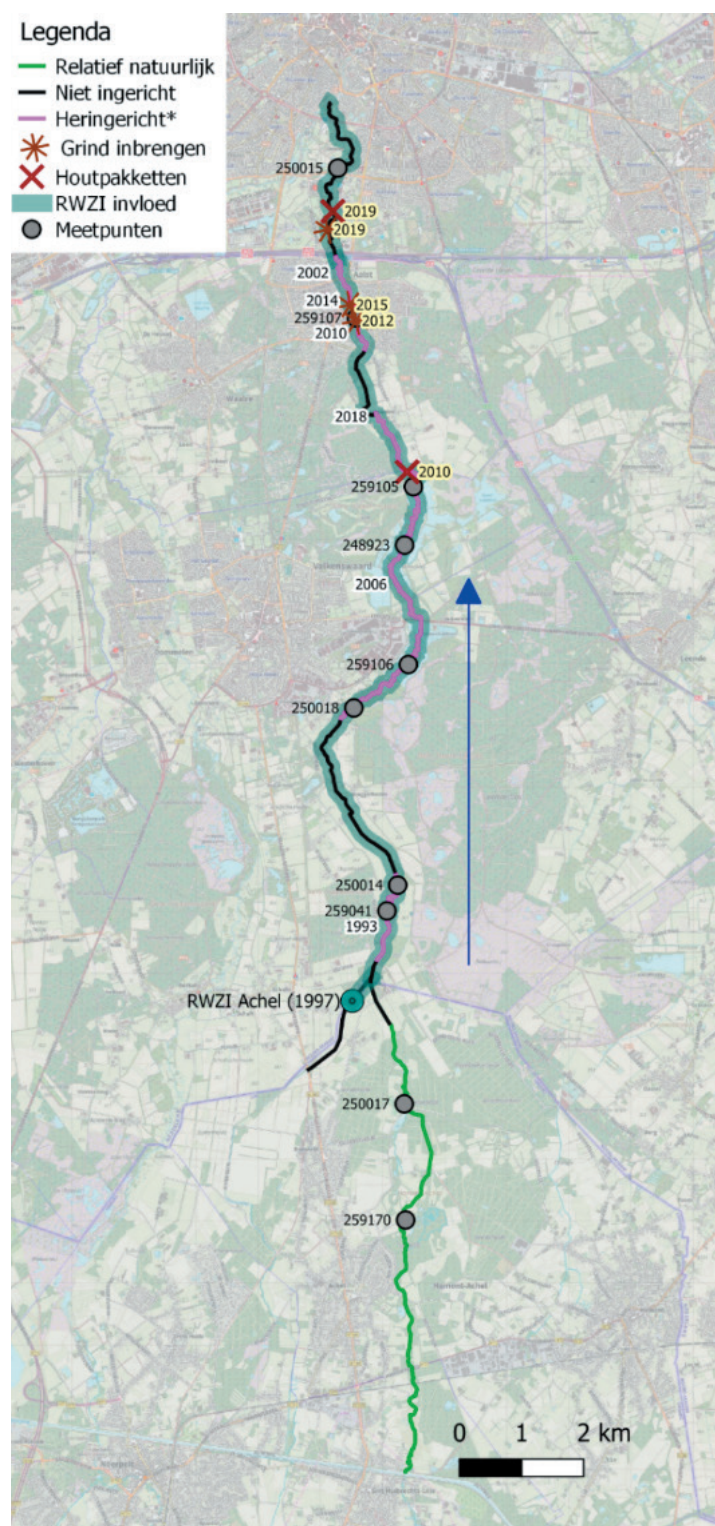
In het afwateringsgebied van de Tongelreep zijn acht gemengde overstorten aanwezig en de rioolwaterzuivering (RWZI) Achel in België, die haar effluent loost op de Tongelreep. Vanaf 1986 werd rioolwater ongezuiverd op de Tongelreep geloosd via de Haagbroekerloop vanuit België. Sinds 1997 is daar een RWZI operationeel, waarna alleen nog effluent de beek bereikte. Wel zijn er in het gebied nog diverse overstorten aanwezig: 2 in de Warmbeek en 8 in de Tongelreep. Het stroomgebied en met name de bovenlopen, zijn verontreinigd met zware metalen (cadmium, zink) als gevolg van depositie vanuit de zinkindustrie en de verwerking van zinkassen onder verhardingen, die vooral via het grondwater in de beek terecht komen (Project Impakt! 2021). Realisatie van de RWZI heeft tot een sterke reductie van de zinkbelasting geleid (Soresma 2007).

In de eerste helft van de 20ste eeuw is een groot deel van de beek gekanaliseerd. Inmiddels is ongeveer 70% van de beek hersteld, verdeeld in verschillende fases in de tijd. De eerste herstelmaatregelen zijn in 1993 afgerond bij de Achelse kluis (meetpunt 259041; Figuur 7), waar een beektraject is heringericht door middel van hermeandering. Later volgden andere trajecten, o.a. in 2006 ter hoogte van Valkenswaard, waar een meanderend traject door het bos is aangelegd (Tabel 3). Hier zijn in 2010 ook houtpakketten ingebracht. In de periode 2010-2018 is bij Achtereind-Aalst hermeandering toegepast in gedeelten van de beek. Ook zijn daar in 2012-2015 grindbedden aangebracht die paaimogelijkheden bieden aan vissen. Deze kleinschalige maatregel is in 2019 ook in het meest benedenstroomse traject in Eindhoven uitgevoerd, waar ook houtkribben zijn aangebracht. Er vindt momenteel nagenoeg geen machinaal onderhoud meer plaats in grote delen van de beek, waardoor ook buiten de houtinbreng-locaties de hoeveelheid dood hout toeneemt.

De macrofauna is op 24 locaties in het Nederlandse deel van het stroomgebied van de Tongelreep bemonsterd. Daarnaast heeft Waterschap De Dommel in 2016 ook een monitoring uitgevoerd op 2 meetpunten (250017 en 259170) in de Warmbeek in België. Zes Nederlandse locaties zijn echter niet meegenomen in de analyses, omdat deze alleen in 2018 zijn bemonsterd en de exacte locatie niet beschikbaar was. Daarnaast zijn nog eens 10 Nederlandse locaties niet gebruikt, omdat de data niet vergelijkbaar waren met de overige monsters als gevolg van een afwijkende bemonsteringsmethode (project-monitoring grindbedden met Surber sampler). Een overzicht van de resterende 12 locaties staat in [Figuur 7](#) en [Tabel 3](#). Van deze locaties zijn de meeste monsters in de late zomer en het najaar (augustus t/m november) genomen en een beperkt aantal in de voorjaar en de vroege zomer (maart-juni) en dan met name voor 2002 ([Bijlage 3](#)). Voor de homogeniteit van de analyse zijn alleen monsters uit de late zomer en het najaar meegenomen. Alleen data van na 1990 is meegenomen omdat daarvoor op een te laag taxonomisch niveau is gedetermineerd.

FIGUUR 7

Stroomgebied van de Tongelreep met macrofaunameetpunten (grijze stippen). Met kleuren is aangegeven of de beek relatief natuurlijk (groene lijn), niet-ingericht (zwarte lijn), of heringericht is (roze lijn en het jaartal van de herinrichting met wit kader; *specifieke herinrichtingsmaatregel per traject in Tabel 3). Kleinschalige maatregelen zijn aangegeven met een symbool, waaronder het inbrengen van houtpakketten (X) en grind (*). De benedenstroomse invloed van de ingebruikname van de RWZI in 1997 is aangegeven met een turquoise band. Vanaf ca. 2011 is het onderhoud in de hele Tongelreep (NL) gestopt. De beek stroomt vanaf België richting Eindhoven (blauwe pijl).



TABEL 3

Trajectgegevens van het stroomgebied van de Tongelreep (NL) en Warmbeek (BE). Maatregelen: N: niet-ingericht; RN: in relatief natuurlijke staat; HIm: heringericht door middel van hermeandering; KH: houtpakketten; KG: grind inbrengen; OV: geen onderhoud vanaf ca. 2011; ZU: RWZI gerelateerde maatregel. KRW watertype België KKB: Kleine Kempense beek.

Traject	Trajectlengte 2021 (m)	Meetpunt binnen traject	KRW-watertype	Maatregelen	Toelichting	Jaar van uitvoering
BE: Bron Erpekom – Rooie Pier	12020	-	KKB	N	-	-
BE: Rooie Pier - Kanaal van Bocholt naar Herentals	3260	-	KKB	RN	-	-
BE: Kanaal van Bocholt naar Herentals – Natuurgebied Achelse Kluis	9060	259170	KKB	RN	-	-
		250017	KKB	RN	-	-
BE: Natuurgebied Achelse Kluis – Prinsenloop	1040	-	KKB	N	-	-
NL: Prinsenloop-Abdijweg	290	-	R5	ZU	RWZI in gebruik	1997
NL: Abdijweg-Brugseheide	2040	259041	R5	HIm, OV	-	1993
		250014	R5	HIm, OV	-	1993
NL: Brugseheide-stuw Driebruggen	2980	-	R5	N	-	-
NL: Stuw Driebruggen - Achtereind	7540	250018	R5	HIm, OV	HIm (2006), 9 KH type	2006
		259106	R5	HIm, OV	vlechtwerk 500 m bene-	2006
		259023	R5	HIm, OV	denstrooms meetpunt	2006
		259105	R5	HIm, KH, OV	259105 (2010)	2006, 2010
NL: Achtereind	610	-	R5	HIm, OV	-	2018
NL: Achtereind-Koningin Wilhelminalaan	1700	-	R5	N	-	-
NL: Koningin Wilhelminalaan – Brabantialaan	770	259107	R5	HIm, KG, OV	HIm (2010), KG 3 bedden over 200 m (2012)	2010, 2012
NL: Brabantialaan-Eindhovenseweg	630	-	R5	HIm, KG, OV	HIm (2014), KG 2 bedden over 50 m (2015)	2015
NL: Eindhovenseweg-A67	770	-	R5	HIm, OV	Bij aanleg randweg?	2002?
NL: A67-zandvang	2350	250015	R5	KH, KG, OV	KH type kribben over 250 m, KG 1 bed over 50 m	2019/2020?

4.3 ONTWIKKELINGEN IN RUIMTE EN TIJD

De twee meetpunten in het Belgische deel van de Tongelreep (Warmbeek 250017 en 259170, gemeten in 2016) indiceren goede ecologische condities met een hoge indicatie voor stroming en weinig organische belasting (Figuur 8, 10). Alleen toxische stress is aanwezig (Figuur 11), mogelijk als gevolg van lokale verontreinigingen van de zinkindustrie in de bovenlopen die het systeem voeden of af- en inspoeling vanuit de aanliggende landbouwpercelen bovenstrooms.

In het Nederlandse deel van de Tongelreep is het effect van de bouw van de RWZI Achel op de macrofauna duidelijk zichtbaar. Op 250014, het meetpunt met de meest complete tijdsreeks, is te zien dat de indicatie voor organische belasting en voor toxiciteit in de begin jaren '90 zeer hoog is (Figuur 10 en 11). In deze periode werd rioolwater zonder zuivering in de Tongelreep geloosd. Deze belasting neemt vervolgens af als de RWZI in werking wordt gesteld, welke in 1997 volledig operationeel was. De organische belasting neemt vervolgens rond 2006 verder af. Deze trend lijkt ook op de andere meetpunten benedenstrooms te hebben plaatsgevonden, maar omdat er in deze periode beperkt aantal metingen zijn is het verloop moeilijker te bepalen. Mogelijk hangt dit samen met de grootschalige herinrichting van de beek in 2006, maar ook kan het geleidelijk steeds verder saneren van overstorten een rol hebben gespeeld (ons niet bekend wanneer dit heeft plaatsgevonden).

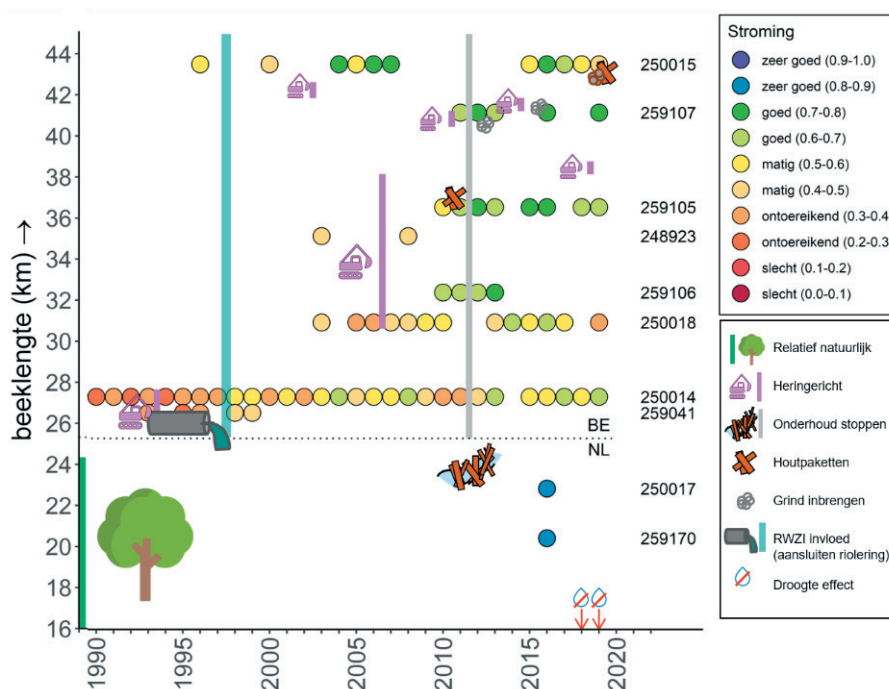
De indicatie voor toxische druk is relatief hoog, maar opvallend is dat 2019 een plotseling verbetering laat zien (Figuur 11). Of dit samenhangt met de periode van droogte en warmte (lagere afvoer dus minder aanvoer toxische stoffen uit bovenlopen) is niet duidelijk, omdat het aan het einde van de meetreeks optrad. Van een stijging van de droogvalindicatie was overigens geen sprake, deze parameter speelt in het systeem geen rol van betekenis omdat het een relatief snelstromend, permanent systeem betreft (Figuur 9).

De indicatie voor stroming is in het hele Nederlandse deel van het stroomgebied relatief goed, maar haalt nog niet het niveau van de waarden op de meetpunten in het Belgische deel (Figuur 8). Een toename van de stromingsindicatie lijkt ook samen te vallen met de ingebruikname van de RWZI. Dit hangt waarschijnlijk samen met de hoge mate van organische belasting destijds, waardoor zuurstofminnende soorten (vaak ook de soorten met preferentie voor hoge stroomsnelheden) niet voor konden komen.

Kleinschalige maatregelen als hout inbrengen, grindbedden aanleggen en op een grotere ruimtelijke schaal het staken van het onderhoud in de heringerichte trajecten lijkt een aanvullend positief effect gehad te hebben op de stromingsindicatie. Met herinrichting alleen was dit effect niet zichtbaar.

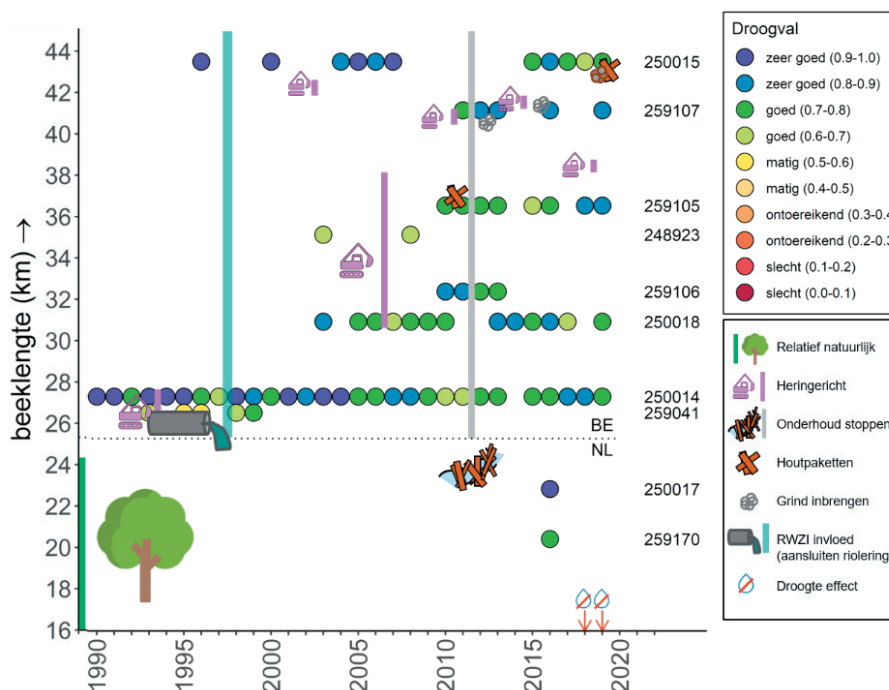
FIGUUR 8

Ruimte-tijd diagram van het stroomgebied van Tongelreep (NL) en Warmbeek (BE) met genomen maatregelen en diagnostische stresscores per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor stroming. Details van de maatregelen per traject zijn weergegeven in Tabel 3.



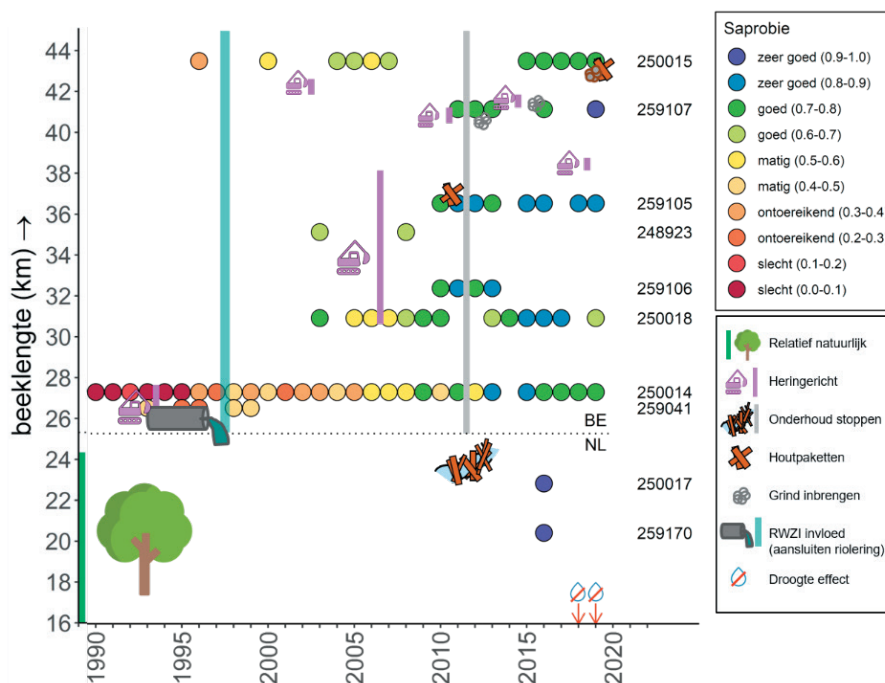
FIGUUR 9

Ruimte-tijd diagram van het stroomgebied van de Tongelreep (NL) en Warmbeek (BE) met genomen maatregelen en diagnostische stresscores per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor droogval. Details van de maatregelen per traject zijn weergegeven in Tabel 3.



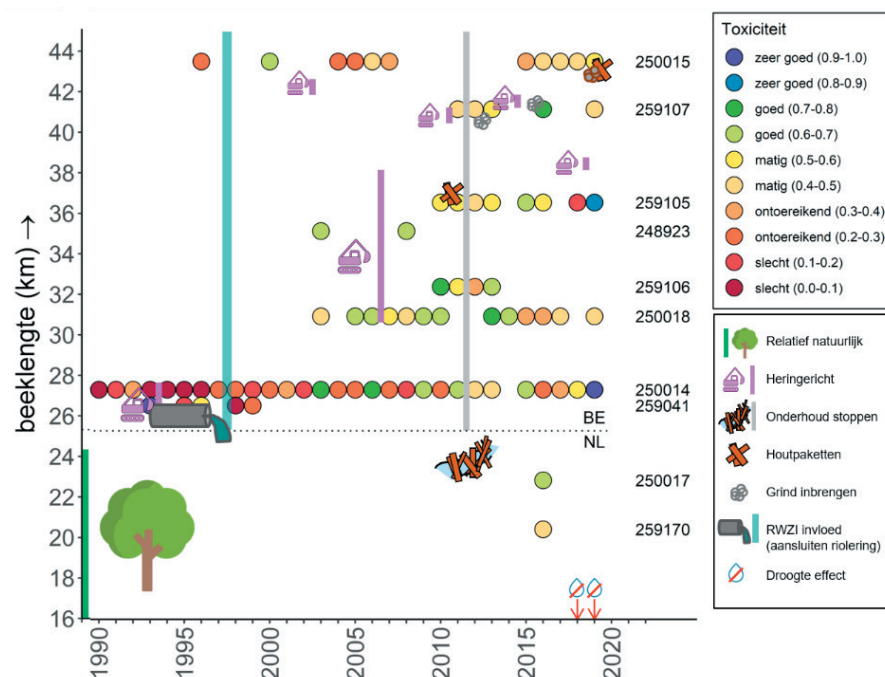
FIGUUR 10

Ruimte-tijd diagram van het stroomgebied van de Tongelreep (NL) en Warmbeek (BE) met genomen maatregelen en diagnostische stress-scores per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor saprobie (organische belasting). Details van de maatregelen per traject zijn weergegeven in Tabel 3.



FIGUUR 11

Ruimte-tijd diagram van het stroomgebied van de Tongelreep (NL) en Warmbeek (BE) met genomen maatregelen en diagnostische stress-scores per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor toxiciteit. Details van de maatregelen per traject zijn weergegeven in Tabel 3.



►► 5 CASUS TUNGELROYSEBEEK

5.1 BESCHRIJVING WATERSYSTEEM

Het stroomgebied van de Tungelroyse beek beslaat een oppervlak van ongeveer 15.700 hectare en ligt in het beheergebied van Waterschap Limburg. De hoofdloop van de Tungelroyse beek is ongeveer 35 km lang. De beek ontspringt in België (ter hoogte van Hamond) als de Hamonterbeek en mondt uit in de Maas bij Neer als de Neerbeek (Figuur 12). Op de Tungelroyse beek monden een aantal zijbeken uit, waaronder de Raam, de Vliet, de Leukerbeek, de Rijdt, de Roggelsche beek en de Uffelse/Haelense beek. De Tungelroyse beek is geclassificeerd als KRW-watertype R4 (permanente langzaam stromende bovenloop op zand) bovenstrooms van de monding van de Raam en als KRW-type R5 (langzaam stromende middenloop/benedenloop op zand) bovenstrooms van de monding van de Roggelsche beek. Het laatste traject (Neerbeek) tot aan de monding in de Maas is geclassificeerd als KRW-watertype R6 (langzaam stromend riviertje op zand/klei).

Grote delen van de beek zijn in het verleden gekanaliseerd en meanders zijn afgesneden, waardoor de lengte van de beek aanzienlijk is ingekort. Het gedeelte van de beek dat door het natuurgebied het Leudal loopt is daarbij gespaard gebleven. Ook zijn de moerassen in het beekdal van de bovenloop drooggelegd en ontgonnen. Bij de Loozerheide, ter hoogte van Budel, heeft de zinkindustrie voor veel vervuiling gezorgd, zowel in de beek als in de aanliggende gronden. De vervuiling in de omgeving vindt al ongeveer honderd jaar lang plaats en bestaat onder andere uit verontreiniging met de metalen zink en cadmium. Door een aanpassing in het productieproces in 1973 is de vervuiling vanuit de fabriek gereduceerd. Ook vindt verbeterde zuivering van het proceswater plaats. De lozing van vervuild proceswater door de zinkfabriek is echter nog steeds gaande. Het water dat wordt geloosd bevat voornamelijk zink en cadmium, maar ook sulfaat en chloride worden geloosd. Verder worden er in het stroomgebied ook nikkel en koper gevonden. Koper heeft mogelijk ook een diffuse bron; niet alleen afkomstig uit de zinkfabriek, maar ook van de bemesting van percelen met varkensmest.

5.2 MAATREGELEN EN MEETPUNTEN

Tussen 1999 en 2011 is de Tungelroyse beek in 4 fases heringericht. Maatregelen bestonden onder andere uit het verwijderen van verontreinigde sediment (vooral veroorzaakt door de zinkfabriek bij Budel), het aanpassen van het profiel en het terugbrengen van de oorspronkelijke meanders.

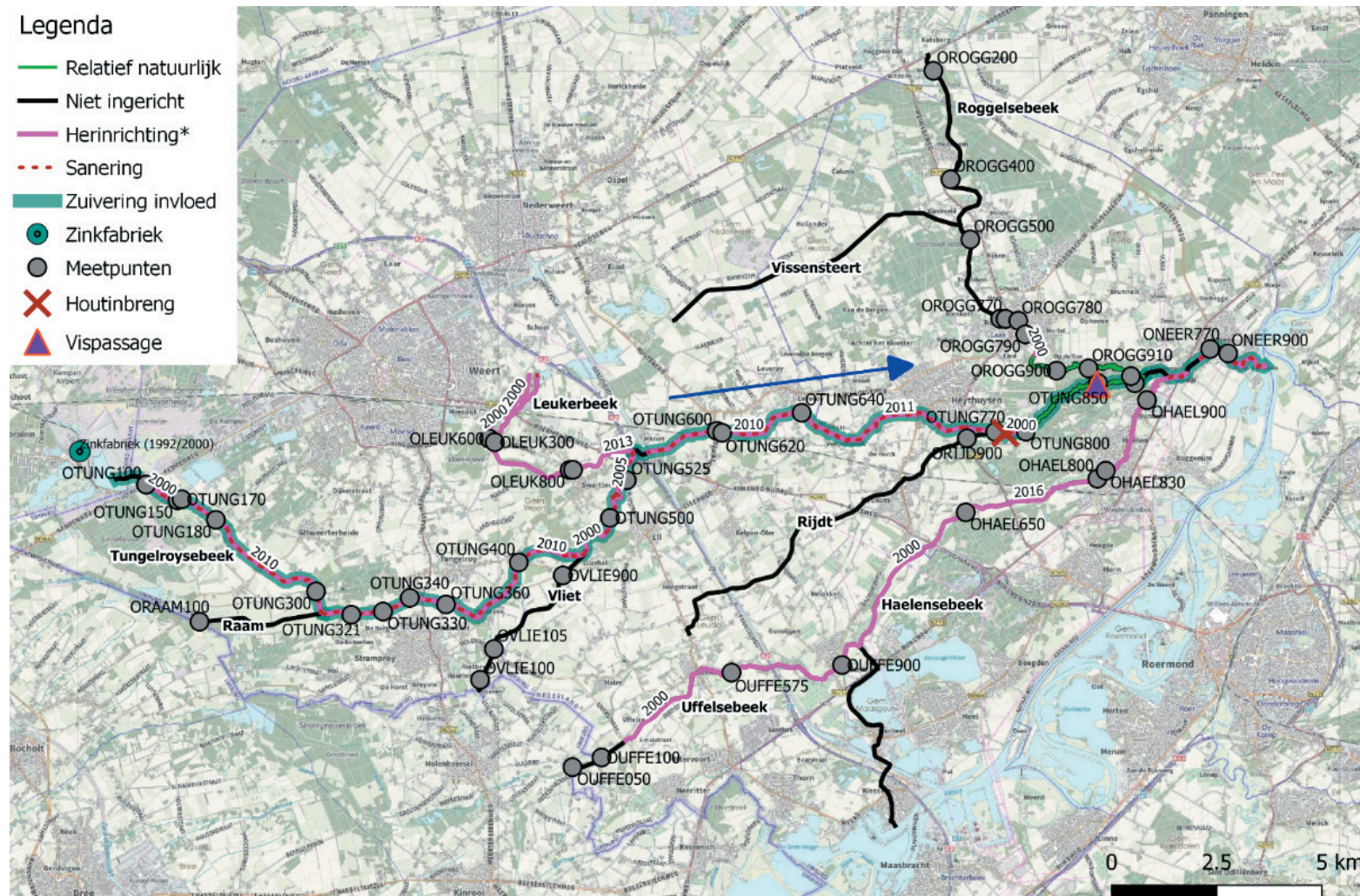
Fase 1 (1999-2001) bestond uit herstel van drie trajecten met een totale lengte van 5.8 km. Het voornaamste doel van deze fase was de sanering van verontreinigd sediment in de beek en van de oevers. Ook zijn de zandvang, het zanddepot en het speciedepot (allen bij Neer) gesaneerd om wegzijging van zink en cadmium naar het grondwater te voorkomen. Het speciedepot bevatte een deel van de verontreiniging van het eerder gesaneerde deel van de bovenloop (2000). Na de sanering is licht verontreinigd sediment achtergebleven in de gesaneerde trajecten. Fase 2 (2005) bestond uit het aanpakken van vier trajecten van in totaal 7.5 km. Ook in die trajecten zijn het zwaarst vervuilde beeksediment en de oevers gesaneerd. Minder vervuild sediment is gebruikt om de oever en de loop opnieuw vorm te geven. De oevers zijn geprofileerd naar een twee-faseprofiel in de twee meest bovenstrooms gelegen trajecten. In één van de trajecten zijn ook steile wanden aangelegd om broedplaatsen voor ijsvogels te faciliteren. In de twee meest benedenstroomse trajecten zijn meanders aangebracht. Fase 3 en 4 (2010-2011) bestond uit ingrepen in de tussenliggende trajecten die in de eerdere fases waren overgeslagen. De maatregelen bestonden onder andere uit hermeandering. Ook zijn in 2011 houtpakketten ingebracht bij Heythuysen.

In de zijbeken van de Tungelroyse beek zijn eveneens maatregelen uitgevoerd. In de Uffelse beek (2000), de Haelense beek (2000/2016) Roggelsche beek (2000) en de Leukerbeek (2000/2013) hebben herstelprojecten plaatsgevonden. Deze bestonden voornamelijk uit hermeandering.

De macrofauna is op 51 locaties in het stroomgebied van de Tungelroyse beek bemonsterd (Tabel 7, Bijlage 4). De meeste monsters zijn in het voorjaar en de vroege zomer (april t/m juni) genomen en een beperkt aantal in de late zomer en het najaar (augustus-oktober) (Bijlage 4). Voor de homogeniteit van de analyse zijn alleen monsters uit het voorjaar en de vroege zomer meegenomen; dit betrof 47 locaties (Figuur 12, Tabel 4).

FIGUUR 12

Stroomgebied van de Tungelroyse beek met macrofaunameetpunten (grijze stippen). Met kleuren is aangegeven of de beek relatief natuurlijk (groene lijn), niet-ingericht (zwarte lijn), of heringericht is (roze lijn) en het jaartal van de herinrichting met wit kader; *specifieke herinrichtingsmaatregel per traject in Tabel 4). Sanering van de beekbodem en oevers van zware metalen is aangegeven met bruine stippellijn. Kleinschalige maatregelen zijn aangegeven met een symbool, waaronder het inbrengen van houtpakketten (X) (het jaartal van de kleinschalige maatregel met geel kader). De benedenstroomse invloed van de zuivering van het proceswater van de metaalindustrie is aangegeven met een turquoise band. De beek stroomt vanaf België richting de Maas (blauwe pijl).



TABEL 4

Trajectgegevens van de meetpunten in het stroomgebied van de Tungelroyse beek (TUNG) en Neerbeek (NEER) met daarin de Raam (RAAM), Vliet (VLIE), Leukerbeek (LEUK; vanaf samenkomst Einderbeek en Roevenlossing), Rijdt (RIJD), Roggelsche beek (ROGG), Uffelse beek (UFFE) en Haelense beek (HEAL). Maatregelen: N: niet-ingericht, RN: in relatief natuurlijke staat; HIp: heringericht door middel van twee-fasenprofiel; HImp: heringericht door middel van twee-fasenprofiel en meandering; HIm: heringericht door middel van meandering; KH: houtpakketten; VP: meander gegraven als vispassage watermolen; SAN: sanering beekbodem en oevers zware metalen; ZU: RWZI gerelateerde maatregel.

Traject	Trajectlengte 2021 (m)	Meetpunt binnen traject	KRW-water-type	Maatregelen	Toelichting	Jaar van uitvoering
TUNG: Nyrtar - Lozerweg	39587	-	R4a	ZU	Proceswater metaalindustrie voedt beek; geohydrologisch beheerssysteem (GBS) (1992), nieuwe waterzuivering BDS-SRB (2000)	1992, 2000
TUNG: Lozerweg - Kruispeel	872	OTUNG100	R4a	HIp, SAN	-	2000
		OTUNG150	R4a	HIp, SAN	-	2000
TUNG: Kruispeel - Diesterbaan	1602	OTUNG170	R4a	HImp, SAN	-	2005
		OTUNG180	R4a	HImp, SAN	-	2005
TUNG: Diesterbaan - instroom Raam	3491	OTUNG300	R4a	SAN, HImp	2000 (SAN), 2010 (SAN + HImp)	2000, 2010
TUNG: Instroom Raam - Wisbroek	4546	OTUNG321	R5	HImp, SAN	-	2005
		OTUNG330	R5	HImp, SAN	-	2005
		OTUNG340	R5	HImp, SAN	-	2005
		OTUNG360	R5	HImp, SAN	-	2005
TUNG: Wisbroek – instroom Vliet	3615	OTUNG400	R5	HImp, SAN	-	2010
TUNG: Instroom Vliet - Swartbroekstraat	1354	OTUNG500	R5	HIm, SAN	-	2000
TUNG: Swartbroekstraat – instroom Leukerbeek	2513	OTUNG525	R5	HIm, SAN	-	2005
TUNG: Instroom Leukerbeek - Kanaalweg	418	-	R5	N	-	-
TUNG: Kanaalweg - Conenweg	6072	OTUNG600	R5	HImp, SAN	-	2010
		OTUNG620	R5	HImp, SAN	-	2010
		OTUNG640	R5	HImp, SAN	-	2010
TUNG: Conenweg - Heythuysen	3188	-	R5	HImp, SAN	-	2011
TUNG: Heythuysen – Spikkerhoeve	1606	OTUNG770	R5	HIm, SAN, KH	2000 (M, SAN), 2010 (KH) hout ingebracht over ca 500 m	2000, 2010
TUNG: Spikkerhoeve – Spickerbrug	731	OTUNG800	R5	HIm, SAN		2000
TUNG: Spickerbrug – Langepad	2399	-	R5	RN	-	-
TUNG: Langepad - Leumolen	429	OTUNG850	R5	VP	Nevengeul om molen	1996
TUNG: Leumolen – instroom Zelsterbeek	1747	OTUNG900	R5	RN	-	-
TUNG: Instroom Zelsterbeek – instroom Haelense beek	719	-	R5	N		-
NEER: instroom Haelense beek - Napoleonsweg	322	-	R6	HIm, SAN	-	2005

NEER: Napoleonsweg - Gendijk	234	-	R6	HIm, SAN	-	2010
NEER: Gendijk - stuw	504	-	R6	N	-	-
NEER: Stuw - Eiland	524	ONEER770	R6	HIm, SAN	-	2011
NEER: Eiland - Hagendoorn	632	ONEER900	R6	N	-	-
NEER: Hagendoorn – Klein Hanssum	569	-	R6	HIm, SAN	-	2011
NEER: Klein Hanssum – monding Maas	549	-	R6	HIm, SAN	-	2006
RAAM: Raam	3105	ORAAM100	R5	N	-	-
VLIE: Vliet	4830	OVLIE100	R4a	N	-	-
		OVLIE105	R4a	N	-	-
		OVLIE900	R4a	N	-	-
LEUK: Roeventerpeel – Roermondseweg	1118	-	R5	HImp	Oude loop afgedamd, verlegd tbv herstel Roeventerpeel	2000
LEUK: Roermondseweg -Breijbaan	1187	OLEUK300	R5	HIp	Oude loop afgedamd, verlegd tbv herstel Kootspeel	2000
LEUK: Breijbaan- Ittervoorteweg	2324	OLEUK600	R5	HIp	Oude loop afgedamd, verlegd tegen ontwatering Moesterpeel	2013
		OLEUK800	R5			
LEUK: Ittervoorteweg - Roermondseweg	1070	OLEUK805	R5	HImp	-	2000
LEUK: Roermondseweg – instroom Tungelroyse beek	788	-	R5	HIm	-	2013
RIJD: Rijdt	9622	ORIID900	R4a	N	-	-
ROG: Kanaaldijk-Vossenveld	7881	OROGG200	R5	N	-	-
		OROGG400	R5	N	-	-
		OROGG500	R5	N	-	-
ROG: Vossenveld-Winkelveld	1562	OROGG760	R5	HIm	-	2000
		OROGG770	R5	HIm	-	2000
		OROGG780	R5	HIm	-	2000
		OROGG790	R5	HIm	-	2000
ROG: Winkelveld-instroom Tungelroyse beek	4121	OROGG900	R5	RN	-	-
(Zelsterbeek)		OROGG910	R5	RN	-	-
		OROGG920	R5	RN	-	-
UFFE: grens - Sniekstraat	1449	OUFFE050	R5	N	-	-
		OUFFE100	R5	N	-	-
UFFE: Sniekstraat – instroom Uffelse beek	7992	OUFFE575	R5	HIm	-	2000
		OUFFE900	R5	HIm	-	2000
HAEL: Instroom Uffelse beek - Heythuyserweg	5462	OHAEL650	R5	HIm	-	2000
HAEL: Heythuyserweg – Nunhem	4317	OHAEL800	R5	HIm	-	2016
		OHAEL830	R5	HIm	-	2016
HAEL: Nunhem - instroom Tungelroyse beek	1551	OHAEL900	R5	HIm	-	2000

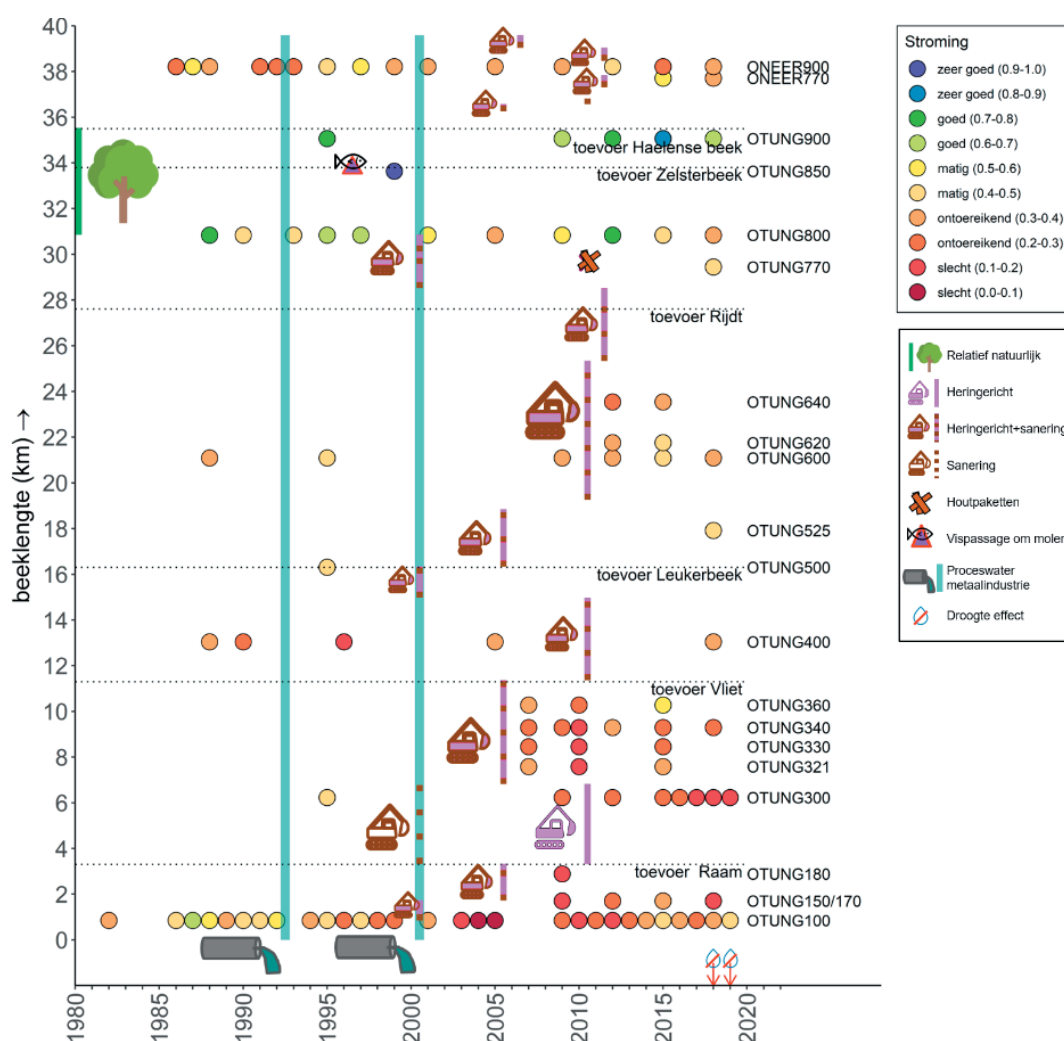
5.3 ONTWIKKELINGEN IN RUIMTE EN TIJD

De stressoren die spelen in het stroomgebied van de Tungelroyse beek laten grote ruimtelijke verschillen zien, zowel binnen de Tungelroyse beek als in de zijbeken.

De stromingsindicatie is alleen hoog in het natuurlijke traject in het Leudal (OTUNG800, OTUNG850 en OTUNG900; [Figuur 13](#)). Echter lijken de stromingscondities in dit gedeelte van de Tungelroyse beek bovenstrooms recentelijk te verslechteren, mogelijk samenhangend met verstuwung bij lage afvoeren door de watermolens in het gebied. In de Roggelsche beek neemt de stromingsindicatie naar benedenstrooms toe, met name benedenstrooms waar de beek door het Leudal stroomt zijn goede stromingscondities aanwezig ([Figuur 14](#)). In de rest van de Tungelroyse beek en het mondingstraject (Neerbeek; ONEER770, ONEER900) liggen de stromingsindicaties veel lager dan in het Leudal ([Figuur 13](#)). Hetzelfde geldt voor de zijbeken meer bovenstrooms; de Raam, de Vliet, de Leukerbeek, de Rijdt en de Uffelse /Haelense beek ([Figuur 14](#)). De Raam was de oorspronkelijke bovenloop van de Tungelroyse beek en de huidige bovenloop was een natte laagte ([Figuur 15](#)). Dit betekent dat in de huidige bovenloop minder potentie is om een stromend beekmilieu te krijgen dan in de Raam. Er is geen relatie zichtbaar met de herinrichtingsmaatregelen.

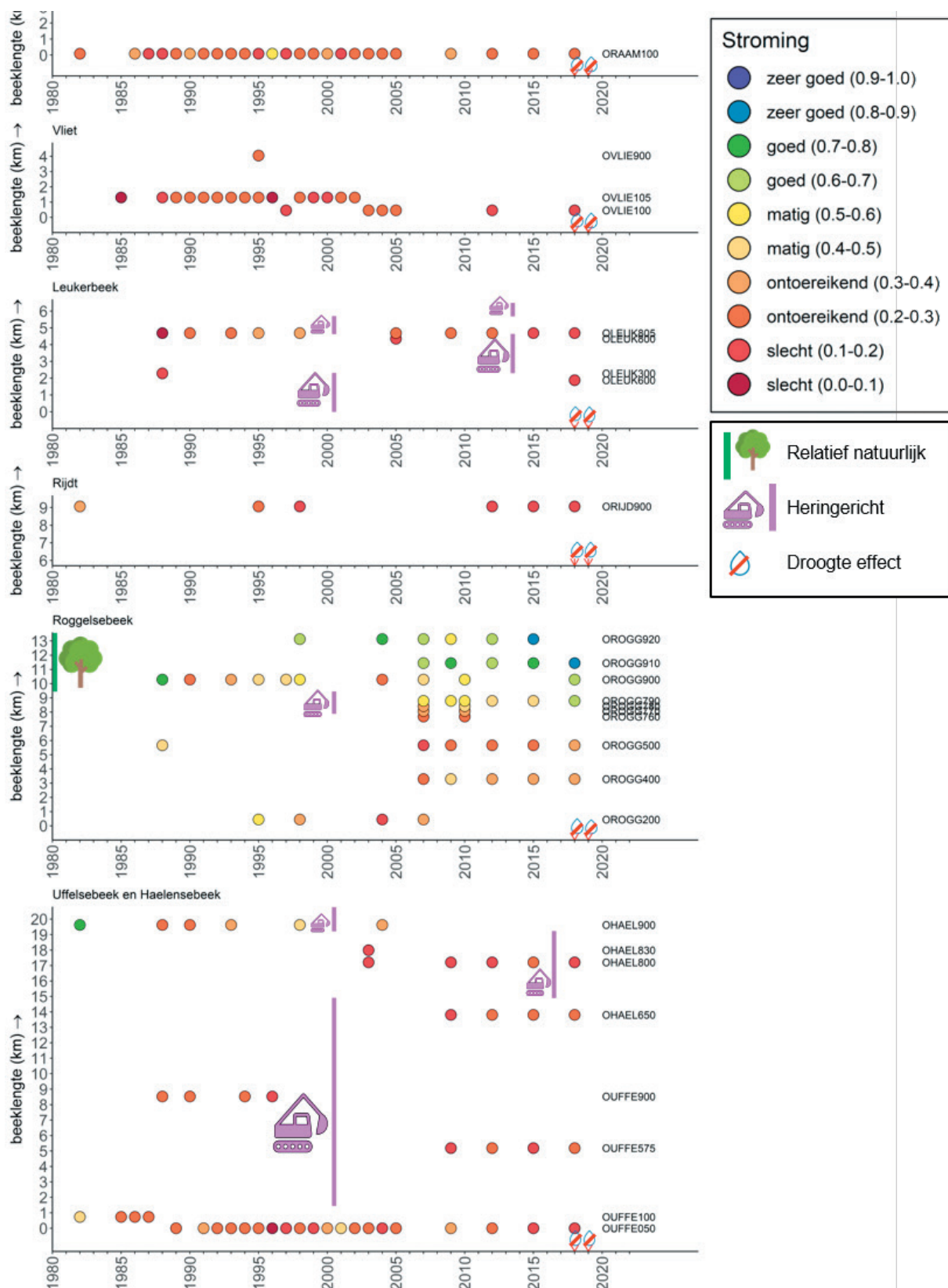
FIGUUR 13

Ruimte-tijd diagram van de Tungelroyse beek (TUNG) en Neerbeek (NEER) met genomen maatregelen en diagnostische stresscores per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor stroming. Details van de maatregelen per traject zijn weergegeven in Tabel 4.



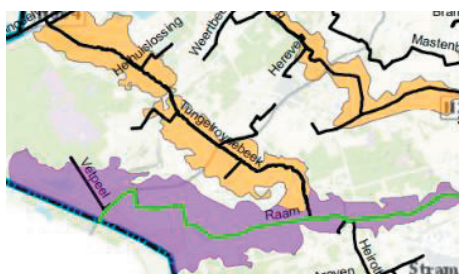
FIGUUR 14

Ruimte-tijd diagram van de zijbeken in het stroomgebied van de Tungelroyse beek met genomen maatregelen en diagnostische stresscores per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor stroming. Details van de maatregelen per traject zijn weergegeven in Tabel 4.



FIGUUR 15

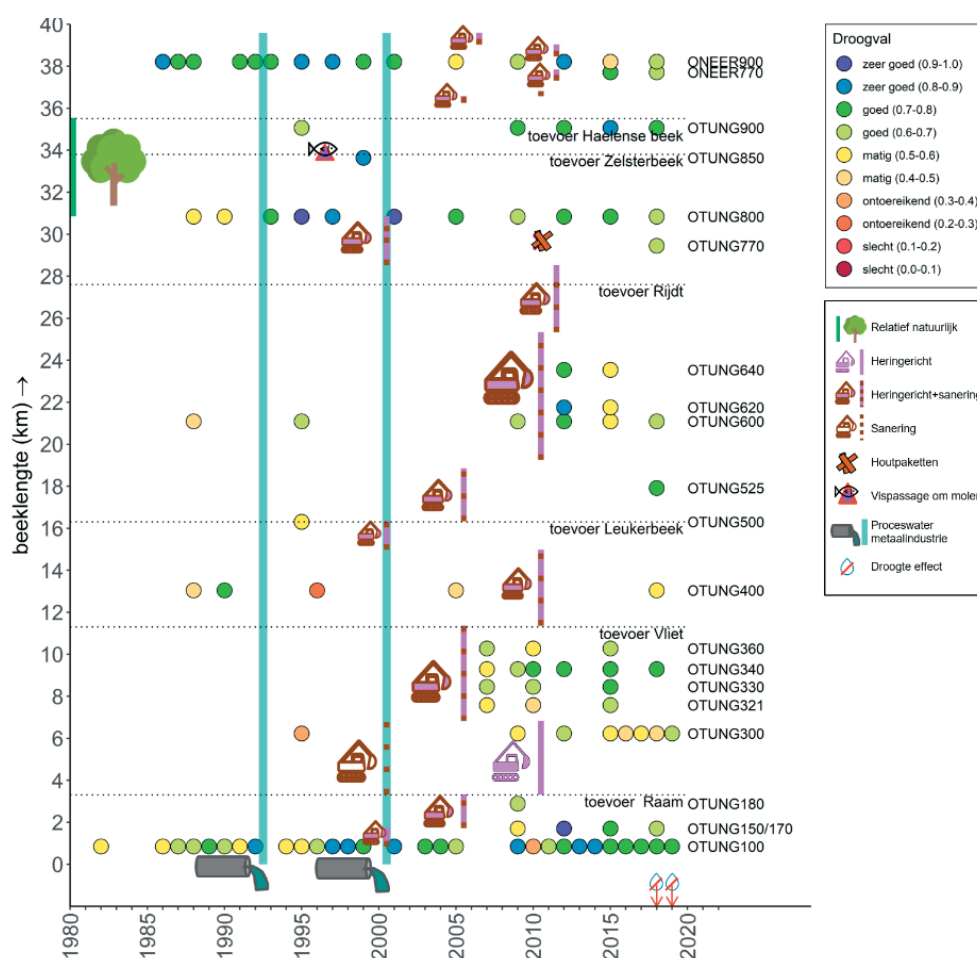
Bovenloop van de Tungelroyse beek en de Raam waarbij met groen de oorspronkelijke loop van de Tungelroyse beek in het geomorfologisch dal (paars) van de huidige Raam.



Een indicatie voor droogval is niet duidelijk aanwezig in de Tungelroyse beek (Figuur 16). Wel indiceert de macrofauna in de bovenlopen droogval, bijvoorbeeld in het bovenstroomse deel van de Roggelsche beek, Rijdt, Vliet en Leukerbeek (Figuur 17). In de Raam is de droogvalindicatie in de tijd opvallend toegenomen, mogelijk samenhangend met de waterverdeling/stuwpeilen aldaar. Een relatie met de herinrichtingsmaatregelen is niet zichtbaar.

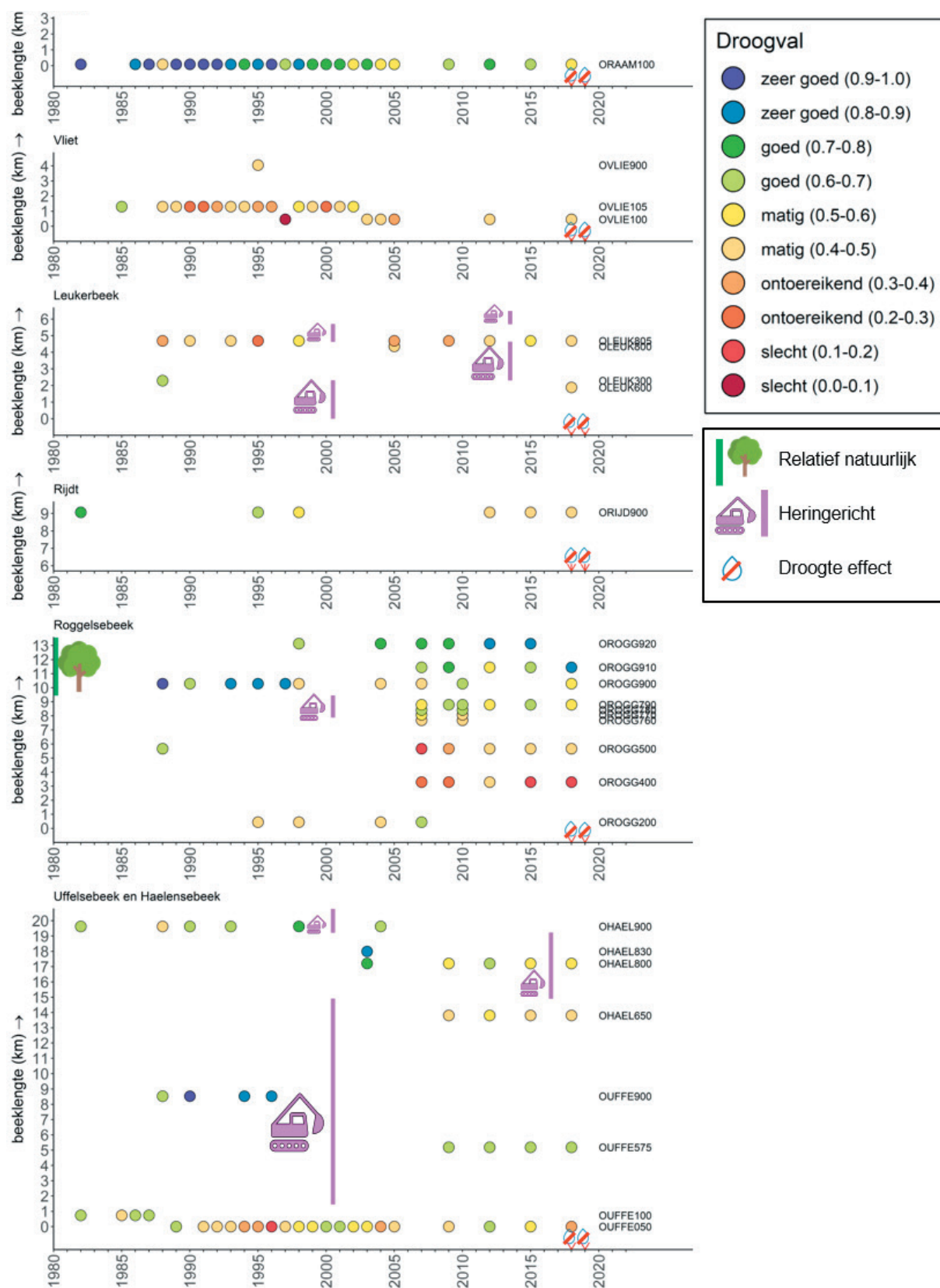
FIGUUR 16

Ruimte-tijd diagram van de Tungelroyse beek (TUNG) en Neerbeek (NEER) met genomen maatregelen en diagnostische stresscores per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor droogval. Details van de maatregelen per traject zijn weergegeven in Tabel 4.



FIGUUR 17

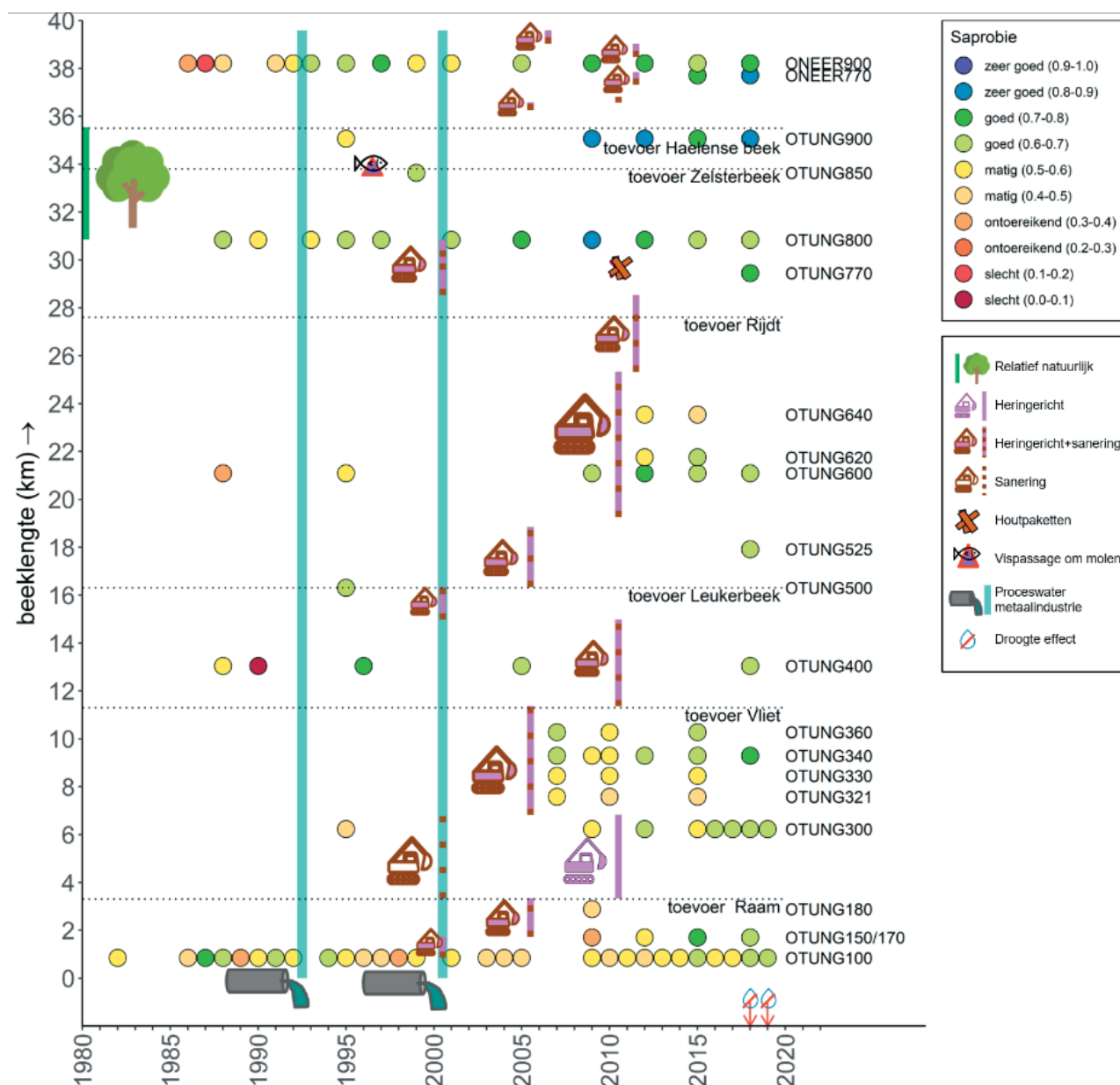
Ruimte-tijd diagram van de zijbeken in het stroomgebied van de Tungelroyse beek met genomen maatregelen en diagnostische stresscores per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor droogval. Details van de maatregelen per traject zijn weergegeven in Tabel 4.



De Tungelroyse beek en Neerbeek scoren relatief goed op saprobie, waarbij de organische belasting ook nog eens in de tijd lager lijkt te zijn geworden (Figuur 18). Ook van boven- naar benedenstrooms is een verbetering in de scores zichtbaar. Een vergelijkbaar patroon is zichtbaar in de Roggelsche beek, waarbij de stress in het bovenstroomse gedeelte wel aanzienlijk hoger is dan in het benedenstroomse natuurlijke traject in het Leudal (Figuur 19). De stress door organische belasting is in andere zijbeken relatief hoog: de Raam, Vliet, Leukerbeek, Rijdt in de Uffelse beek. In de Raam is de stress van organische belasting sinds 2000 wel afgenomen. In de Vliet is juist een toename te zien.

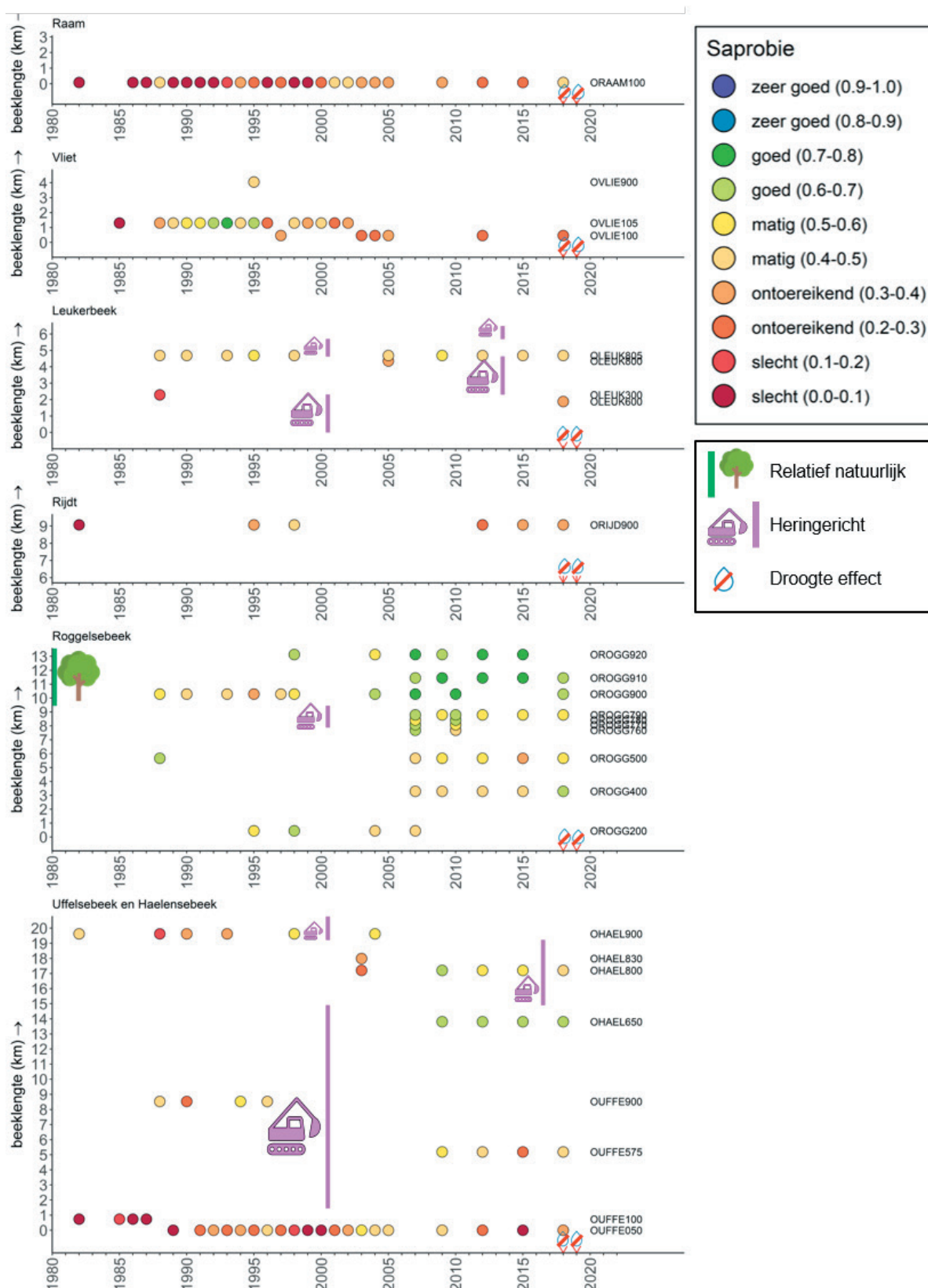
FIGUUR 18

Ruimte-tijd diagram van de Tungelroyse beek (TUNG) en Neerbeek (NEER) met genomen maatregelen en diagnostische stresscores per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor saprobie (organische belasting). Details van de maatregelen per traject zijn weergegeven in Tabel 4.



FIGUUR 19

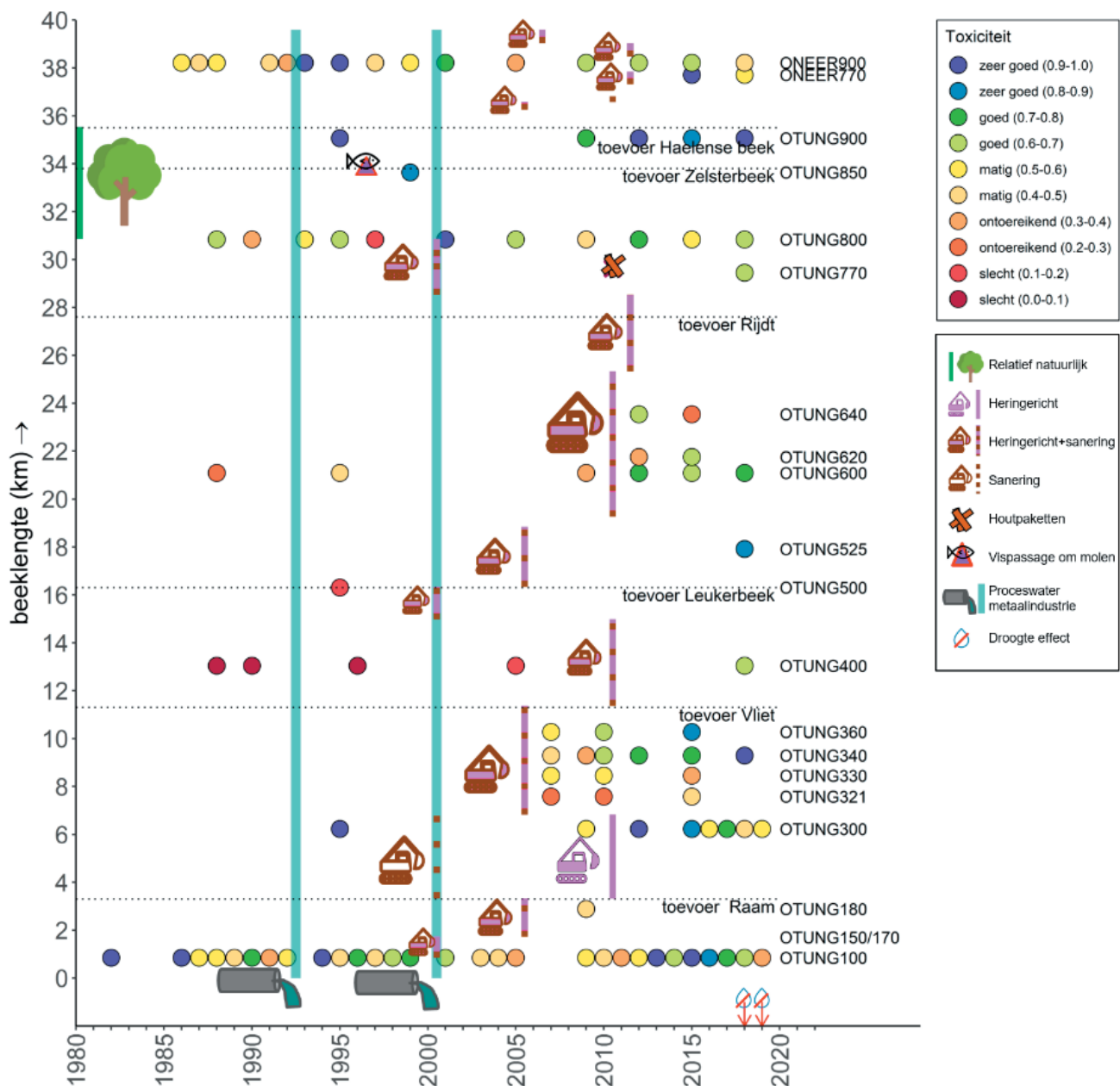
Ruimte-tijd diagram van de zijbeken in het stroomgebied van de Tungelroyse beek met genomen maatregelen en diagnostische stresscores per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor saprobie (organische belasting). Details van de maatregelen per traject zijn weergegeven in Tabel 4.



In de Tungelroyse beek is de indicatie voor toxiciteit relatief laag, met uitzondering van het laatste meetjaar (na de droge warme zomers) waar een verslechtering lijkt te zijn opgetreden (Figuur 20). De bovenstroomse meetpunten in de Tungelroyse beek schommelen opvallend in indicatiewaarden. Stress door toxiciteit is zeer hoog in de Raam, de Vliet, de Leukerbeek, de Rijdt en in de bovenstroomse delen van de Uffelse beek en de Roggelsche beek (Figuur 21). Van de zijbeken springt alleen het natuurlijke traject van de Roggelsche beek benedenstrooms in het Leudal er in positieve zin uit.

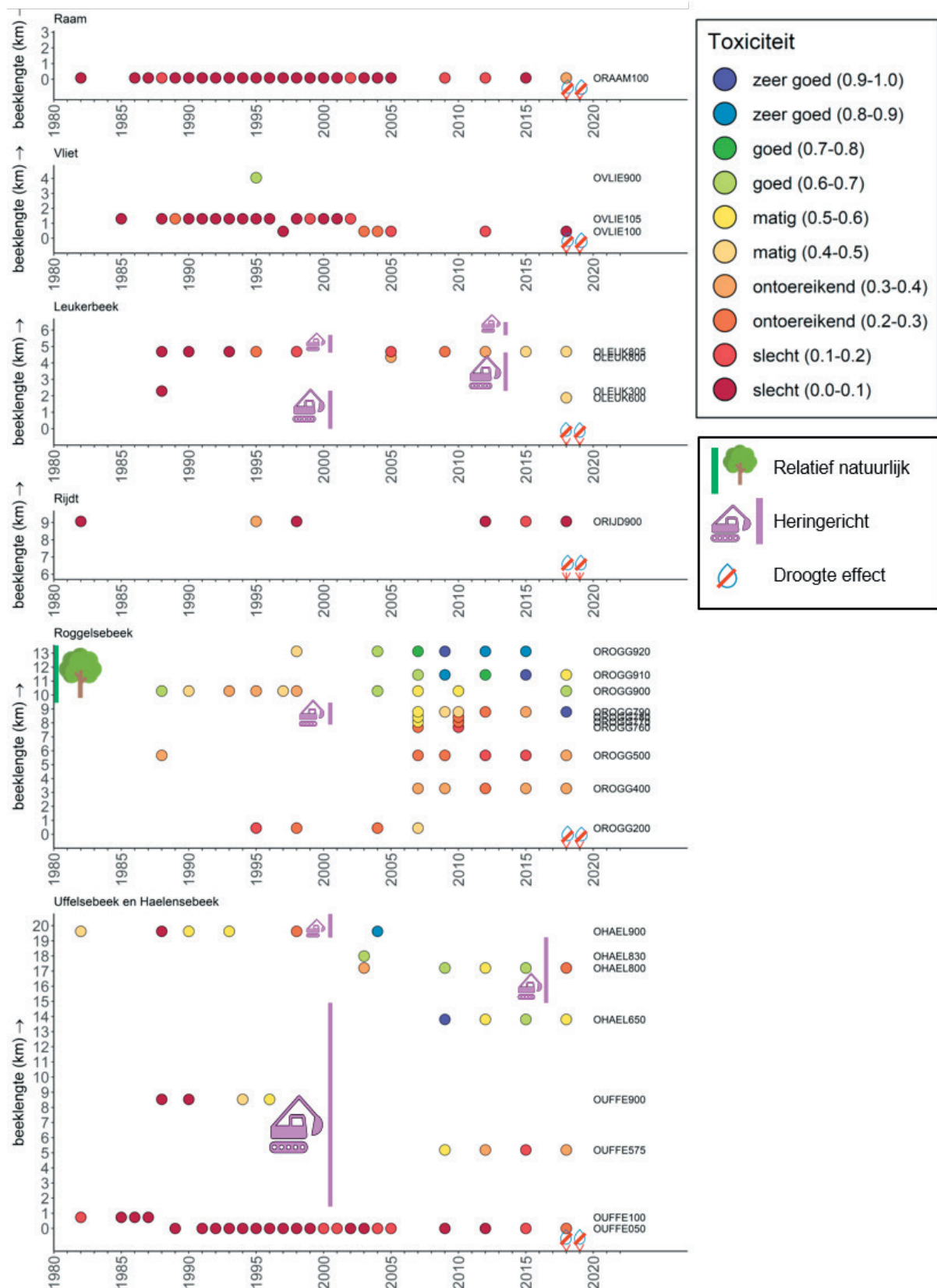
FIGUUR 20

Ruimte-tijd diagram van de Tungelroyse beek (TUNG) en Neerbeek (NEER) met genomen maatregelen en diagnostische stresscores per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor toxiciteit. Details van de maatregelen per traject zijn weergegeven in Tabel 4.



FIGUUR 21

Ruimte-tijd diagram van de zijbeken in het stroomgebied van de Tungelroyse beek met genomen maatregelen en diagnostische stresscores per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor toxiciteit. Details van de maatregelen per traject zijn weergegeven in Tabel 4.



►► 6 CASUS GROOTE MOLENBEEK

6.1 BESCHRIJVING WATERSYSTEEM

Het stroomgebied van de Groote Molenbeek beslaat een oppervlak van ongeveer 18.000 hectare en ligt in het beheergebied van Waterschap Limburg. De hoofdloop van de Groote Molenbeek is ongeveer 35 km lang. De beek ontspringt bij Grashoek en mondt uit in de Maas bij Wanssum ([Figuur 22](#)). Vijf zijbeken monden uit in de Groote Molenbeek. Op volgorde van uitmonden van bovenstrooms naar benedenstrooms zijn dit de Elsbeek, de Kattenstaartse beek, de Blakterbeek, de Kabroekse beek en de Lollebeek. De Groote Molenbeek bestaat van boven- naar benedenstrooms uit 3 KRW-watertypen: een permanente langzaam stromende bovenloop op zand met een laag verhang (tot uitmonding Blakterbeek, KRW-watertype R4A) inclusief alle zijbeken, een langzaam stromende middenloop/benedenloop op zand (tot uitmonding Lollebeek, KRW-watertype R5) en een langzaam stromend riviertje op zand/klei (tot uitmonding Maas, KRW-watertype R6).

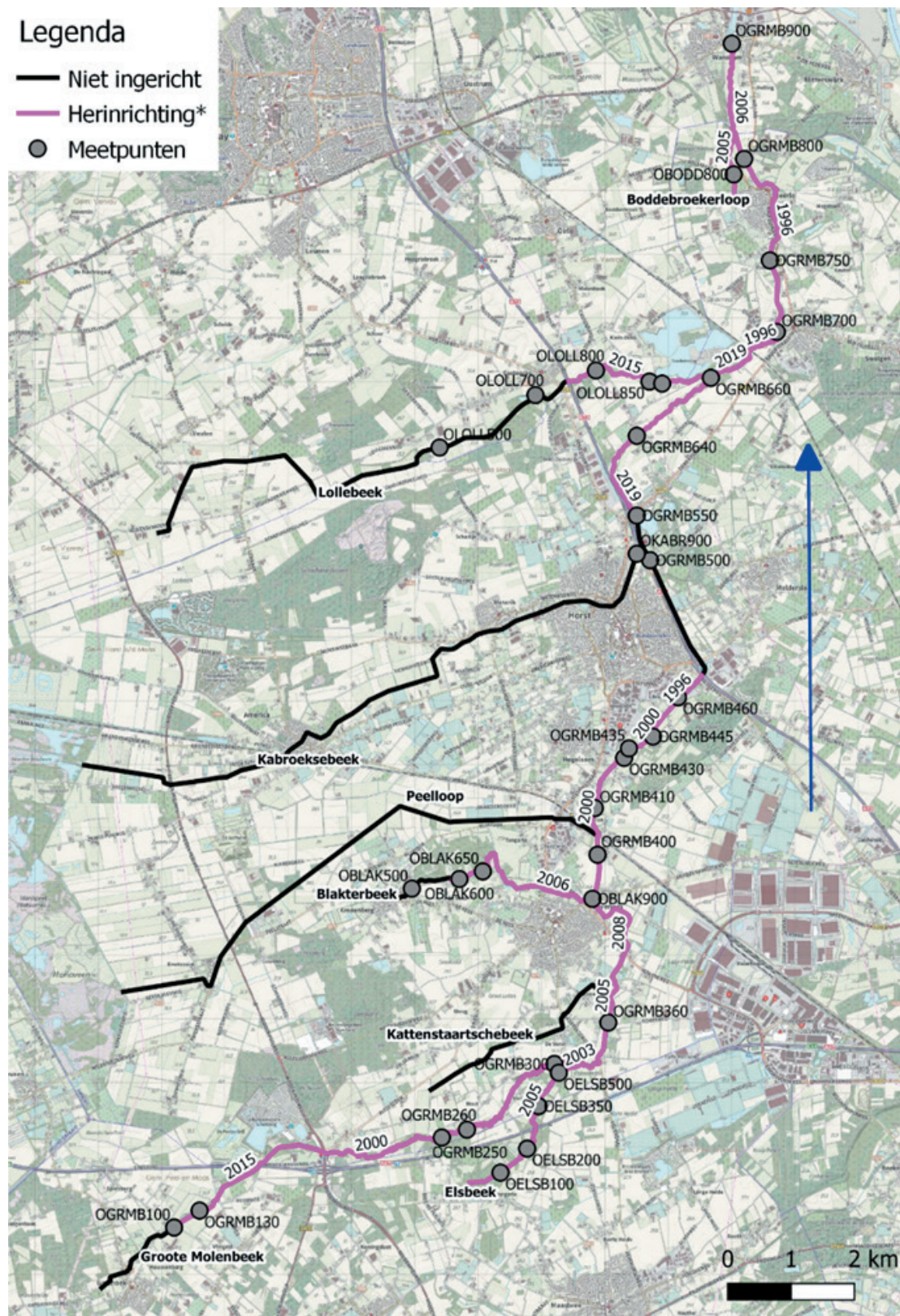
6.2 MAATREGELEN EN MEETPUNTEN

In het begin van de vorige eeuw is de beek gekanaliseerd. De afgelopen decennia zijn er maatregelen getroffen om de beek weer een meer natuurlijke loop te geven. In 1996 zijn delen van Groote Molenbeek bij Broek-Horst (OGRMB460), Tienray (OGRMB700) en Stendert-Meerlo (OGRMB750) heringericht door het aanleggen van een smal twee-fasenprofiel. In de periode 1997-2015 zijn verschillende maatregelen in de hoofdloop en de zijbeken van de Groote Molenbeek genomen, waaronder hermeandering en het aanplanten van bomen langs sommige trajecten. De maatregelen bovenstrooms van de A73 zijn uitgevoerd tussen 1996 en 2008 en de maatregelen benedenstrooms tussen 1996 en 2015 ([Figuur 22](#)). In de Kabroekse beek en de Kattenstaartse beek zijn geen maatregelen genomen. In 2019 zijn trajecten ten oosten van de A73 heringericht. De maatregelen bestonden uit het aanleggen van overstromingsvlaktes die in het geval van een hoge afvoer kunnen overstromen, hermeandering en het aanplanten van bomen langs delen van het traject.

De macrofauna is op 36 locaties in het stroomgebied van de Grote Molenbeek bemonsterd ([Tabel 5](#)). De meeste monsters zijn in het voorjaar en de vroege zomer (april t/m juni) genomen en een beperkt aantal monsters in de late zomer en het najaar (augustus-oktober) ([Bijlage 5](#)). Voor de homogeniteit van de analyse zijn alleen monsters uit het voorjaar en vroege zomer gebruikt. Van de zijbeek de Kattenstaartse beek zijn geen monsters beschikbaar.

FIGUUR 22

Stroomgebied van de Grootte Molenbeek met macrofaunameetpunten (grijze stippen). Met kleuren is aangegeven of de beek niet-ingericht (zwarte lijn) of heringericht is (roze lijn en het jaartal van de herinrichting met wit kader; *specifieke herinrichtingsmaatregel per traject in Tabel 5). De beek stroomt vanaf Grashoek richting de Maas (blauwe pijl).



TABEL 5

Trajectgegevens van de meetpunten in het stroomgebied van de Grootte Molenbeek (GRMB) met de Elsbeek (ELSB), Blakterbeek (BLAK), Kabroekse beek (KABR), de Lollebeek (LOLL) en de Boddebroekerloop (BODD).
Maatregelen: N: niet-ingericht, HIp: heringericht door middel van twee-fasenprofiel, HImp: heringericht door middel van meandering en twee-fasenprofiel, HIpz: heringericht door middel van twee-fasenprofiel met slingerend zomerbed.

Traject	Trajectlengte 2021 (m)	Meetpunt binnen traject	KRW-watertype	Maatregelen	Toelichting	Jaar van uitvoering
GRMB: Grashoek - Spiesberg	1655	OGRMB100	R4a	N	-	-
GRMB: Spiesberg-Midden Peelweg	2845	OGRMB130	R4a	HIp	-	2015
GRMB: Midden Peelweg – instroom Elsbeek	5301	OGRMB250	R4a	HImp	Rieterdijk	2000
		OGRMB260	R4a	HImp	moerasbeekontwikkeling	2000
		OGRMB300	R4a	HImp		2000
GRMB: Instroom Elsbeek - Maasbreese weg	522	-	R4a	HImp	-	2003
GRMB: Maasbreese weg – Venlose weg	2048	OGRMB360	R4a	HImp	-	2005
GRMB: Venlose weg - spoorlijn	2434	OGRMB400	R5	HIpz	-	2008
GRMB: Spoorlijn – St Jorismweg	842	OGRMB410	R5	HImp	-	2000
GRMB: St Jorismweg - Reulsweg	1835	OGRMB430	R5	HImp	-	2000
		OGRMB435	R5	HImp	-	2000
		OGRMB445	R5	HImp	-	2000
GRMB: Reulsweg - Venloseweg	814	OGRMB460	R5	HIp	-	1996
GRMB: Venloseweg - Tienrayseweg	2836	OGRMB500	R5	N	-	-
		OGRMB550	R5	N	-	-
GRMB: Tienrayseweg - spoorlijn	4082	OGRMB640	R5	HImp	-	2019
		OGRMB660	R6	HImp	-	2019
GRMB: Spoorlijn – Burg. van den Berghlaan	683	OGRMB700	R6	HImp	-	1996
GRMB: Burg. van den Berghlaan – instroom		OGRMB750	R6	HIpz	-	1996
Boddenbroek		OGRMB800	R6	HIpz	-	1996
GRMB: Instroom Boddenbroek - haven Wanssum	1417	OGRMB900	R6	HImp	-	2006
ELSB: Elsbeek	3012	OELSB100	R4a	HIpz	-	2005

		OELSB200	R4a	Hlpz	-	2005
		OELSB350	R4a	Hlpz	-	2005
		OELSB500	R4a	Hlpz	-	2005
BLAK: Kronenberg - Heesbeemd	939	OBLAK500	R4a	N	-	-
BLAK: Heesbeemd - Instroom Groote Molenbeek		OBLAK600	R4a	HImp	-	2006
		OBLAK650	R4a	HImp	-	2006
		OBLAK900	R4a	HImp	-	2006
KABR: Kabroekse beek	10591	OKABR900	R4a	N	-	-
LOLL: Lorbaan – A73	8272	OLOLL500	R4a	N	-	-
		OLOLL700	R4a	N	-	-
LOLL: A73-instroom Groote Molenbeek	2703	OLOLL800	R4a	HImp	-	2015
		OLOLL850	R4a	HImp	-	2015
		OLOLL900	R4a	HImp	-	2015
BODD: Boddebroekerloop	1225	BODD800	R4a	HIm	-	2005

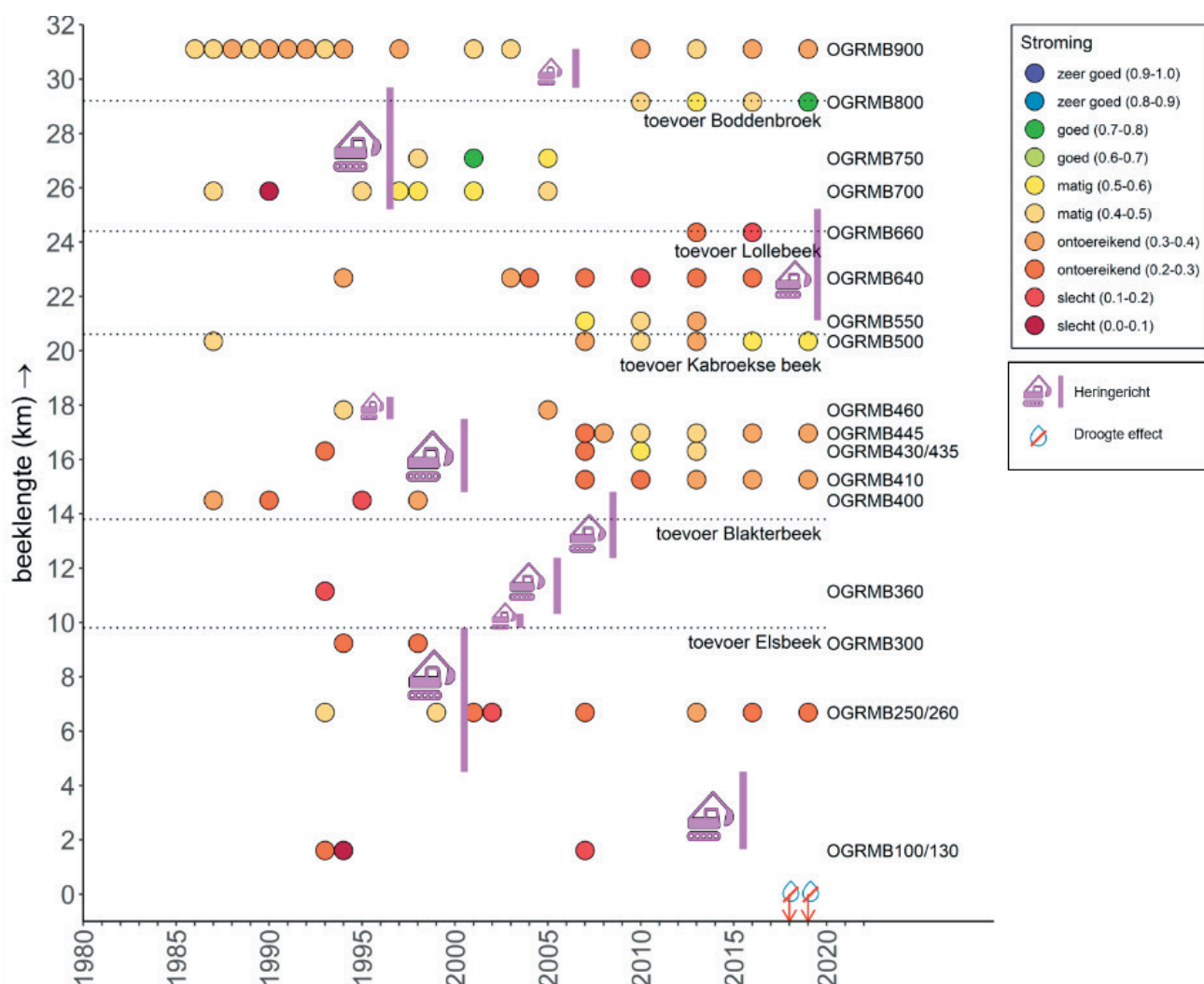
6.3 ONTWIKKELINGEN IN RUIMTE EN TIJD

De macrofauna in het stroomgebied van de Groote Molenbeek indiceert een hoge mate van stress, met name in de bovenloop en in de verschillende zijbeken.

De stromingsindicatie in grote delen van de Groote Molenbeek en in de zijbeken (o.a. Elsbeek, Lollebeek, Blakterbeek, Kabroekse beek) is zeer beperkt (Figuur 23 en 24). De macrofauna lijkt wat gunstigere stromingscondities te indiceren in het benedenstroomse gedeelte (OGRMB750 – 800). Opvallend is dat het verder benedenstrooms gelegen meetpunt OGRMB900 weer een lagere stromingsindicatie heeft. Dit traject nabij de monding is zeer breed en de stroming ondervindt waarschijnlijk de effecten van de constructies net bovenstrooms de jacht- en vrachthaven in de vorm van een aantal drempels en een zandvang. Een duidelijke koppeling met de herinrichtingsmaatregelen is niet aanwezig.

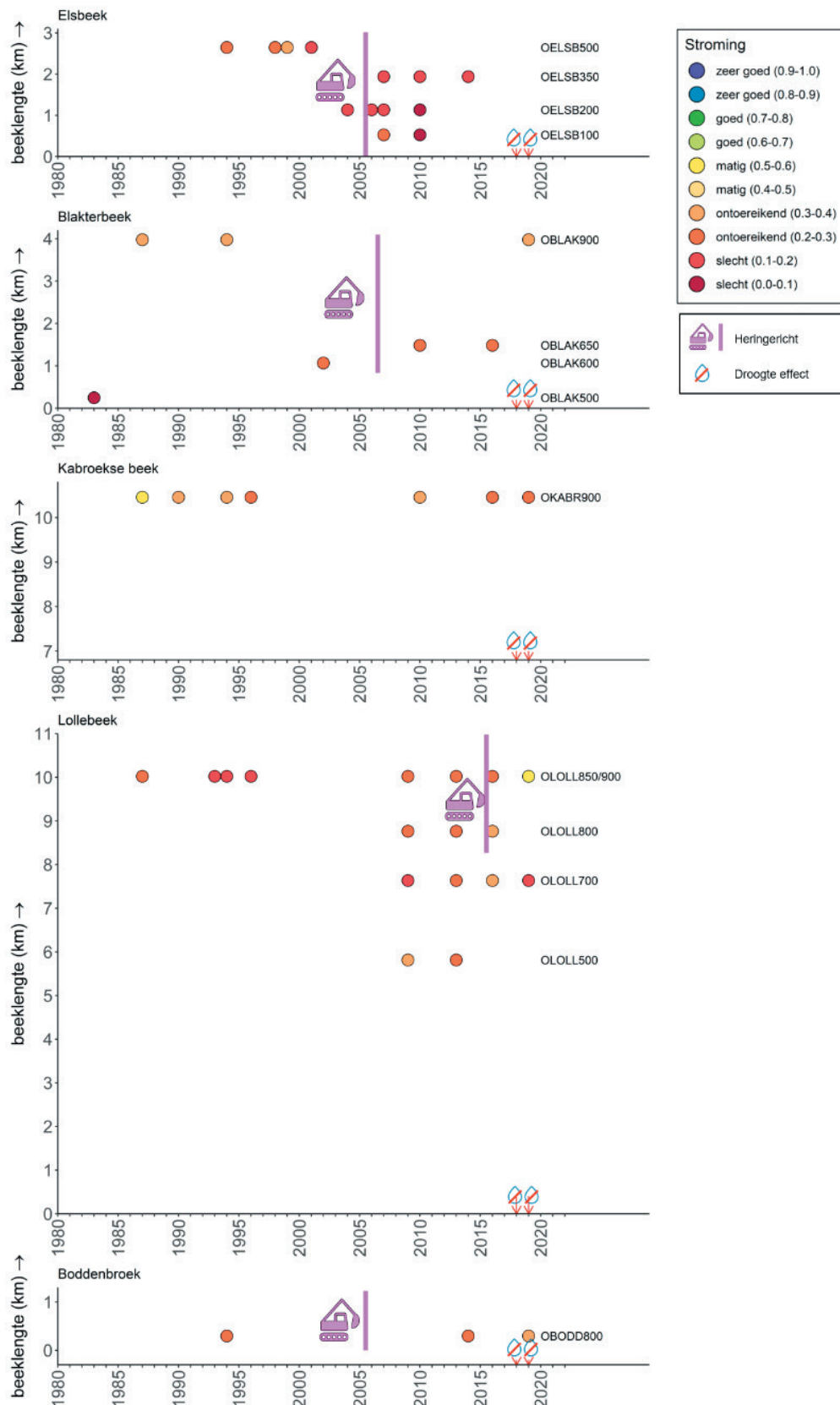
FIGUUR 23

Ruimte-tijd diagram van de Groote Molenbeek met genomen maatregelen en diagnostische stresscores per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor stroming. Details van de maatregelen per traject zijn weergegeven in Tabel 5.



FIGUUR 24

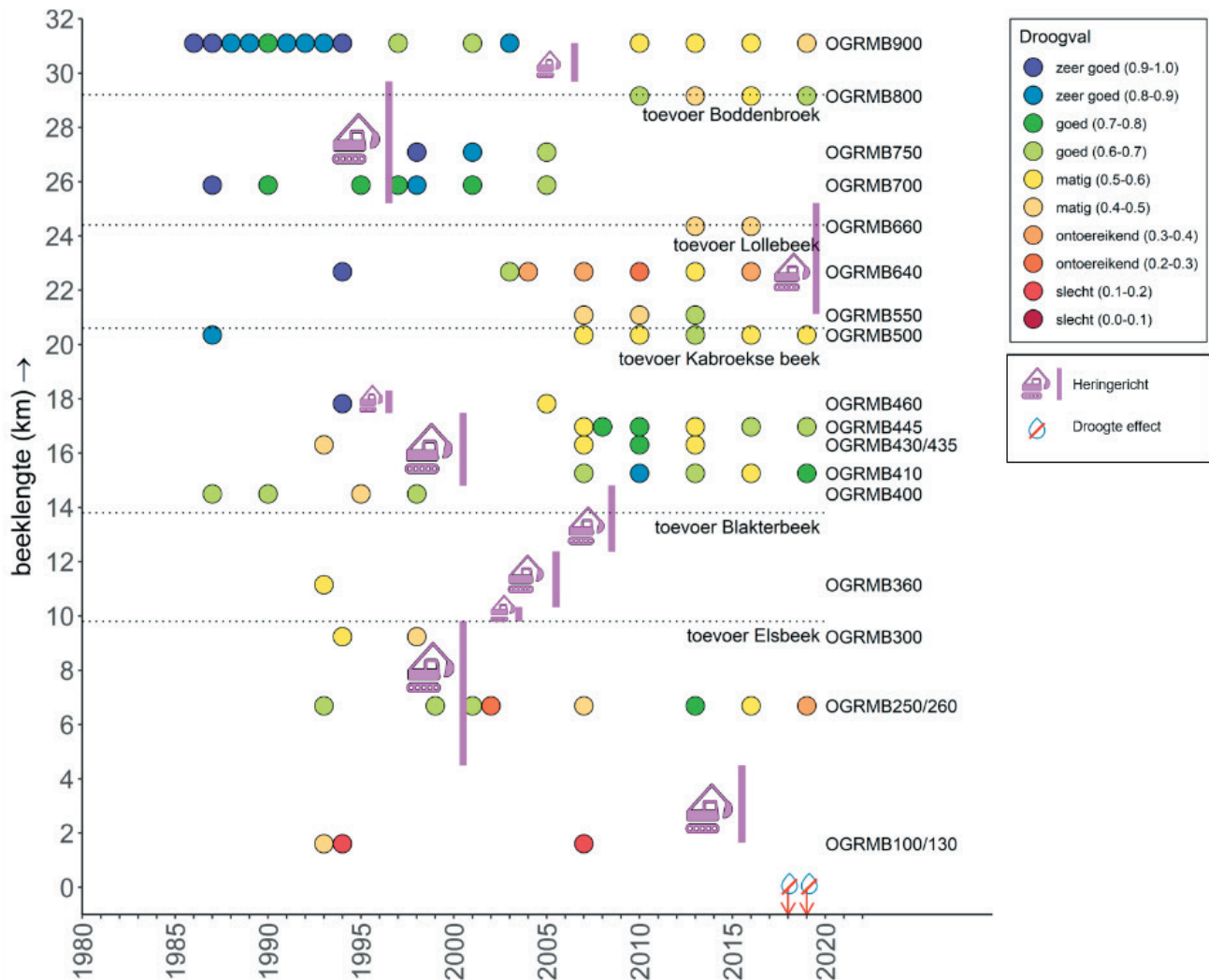
Ruimte-tijd diagram van de zijbeken in het stroomgebied van de Grootte Molenbeek met genomen maatregelen en diagnostische stresscores per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor stroming. Details van de maatregelen per traject zijn weergegeven in Tabel 5.



In de Groote Molenbeek indiceert de macrofauna met name in de bovenloop droogval (Figuur 25). Opvallend is een toegenomen droogvalscore op het meest benedenstroomse meetpunt. Mogelijk dat hier de achterliggende oorzaak stagnatie is. Met uitzondering van de Kabroekse beek wordt in de zijbeken droogval geïndiceerd, met de sterkste indicatie in de Elsbeek (Figuur 26). De herinrichtingsmaatregelen lijken geen relatie te hebben met de gevonden patronen.

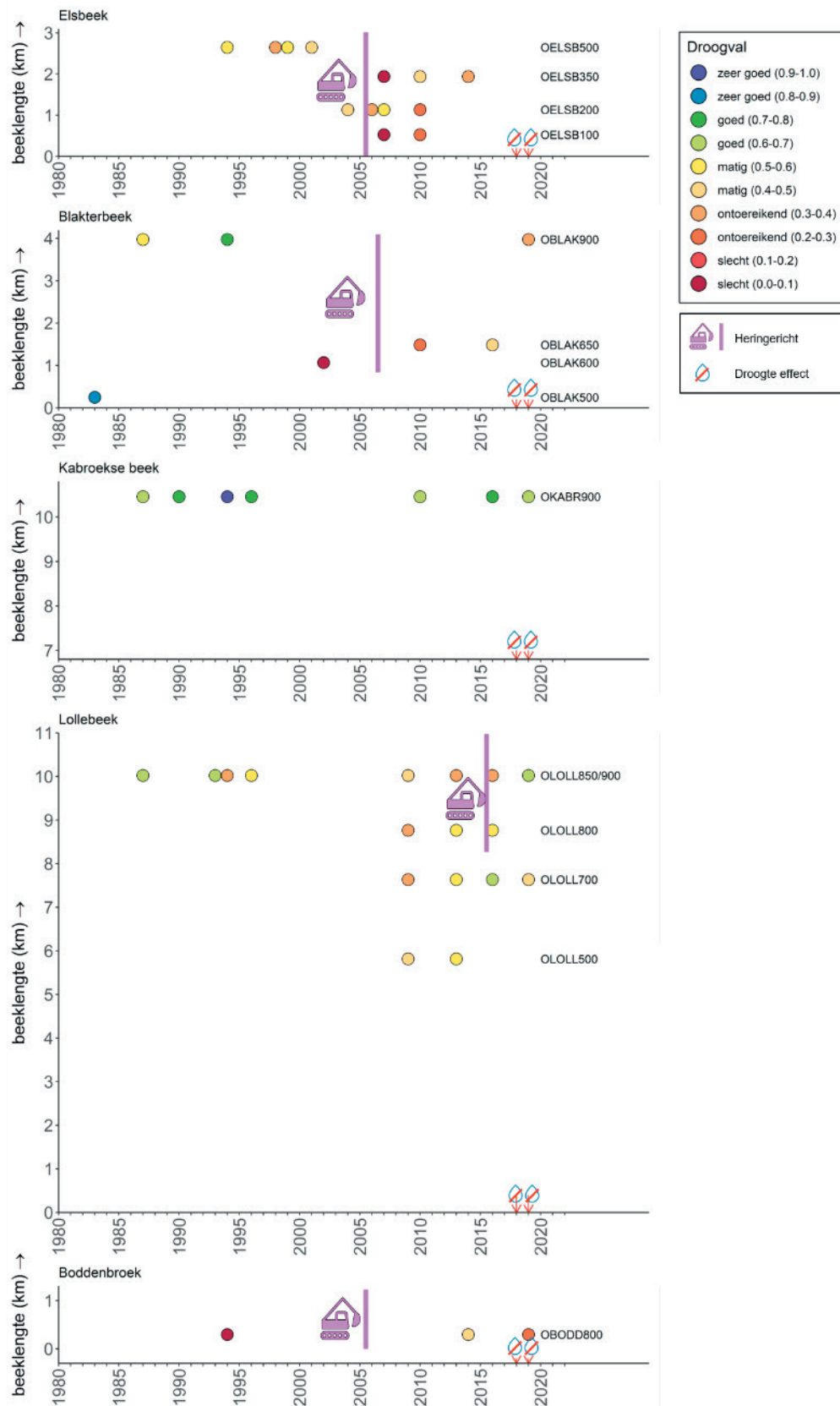
FIGUUR 25

Ruimte-tijd diagram van de Groote Molenbeek met genomen maatregelen en diagnostische stresscores per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor droogval. Details van de maatregelen per traject zijn weergegeven in Tabel 5.



FIGUUR 26

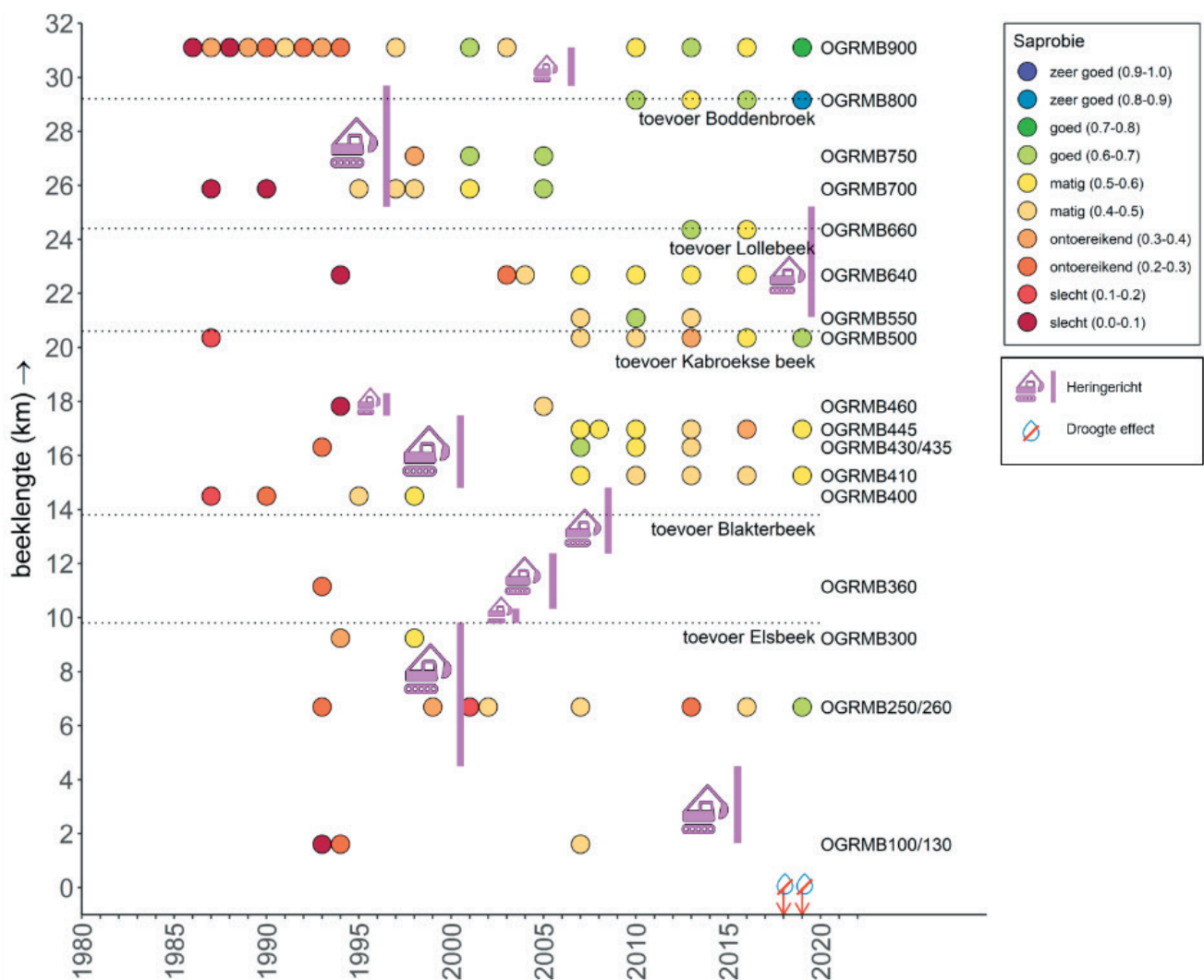
Ruimte-tijd diagram van de zijbeken in het stroomgebied van de Grootte Molenbeek met genomen maatregelen en diagnostische stresscores per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor droogval. Details van de maatregelen per traject zijn weergegeven in Tabel 5.



De organische belasting was behalve in de Lollebeek zeer hoog in het gehele stroomgebied van de Groote Molenbeek tot ongeveer halverwege de jaren '90 (Figuur 27). De organische belasting is echter op alle meetpunten (behalve op OKABR900 waar veel overstorten aanwezig zijn; Figuur 28) afgenomen, mogelijk door verminderde af- en uitspoeling van meststoffen vanuit aanliggende percelen en sanering van puntbronnen in de bebouwde gebieden binnen het stroomgebied (overstorten).

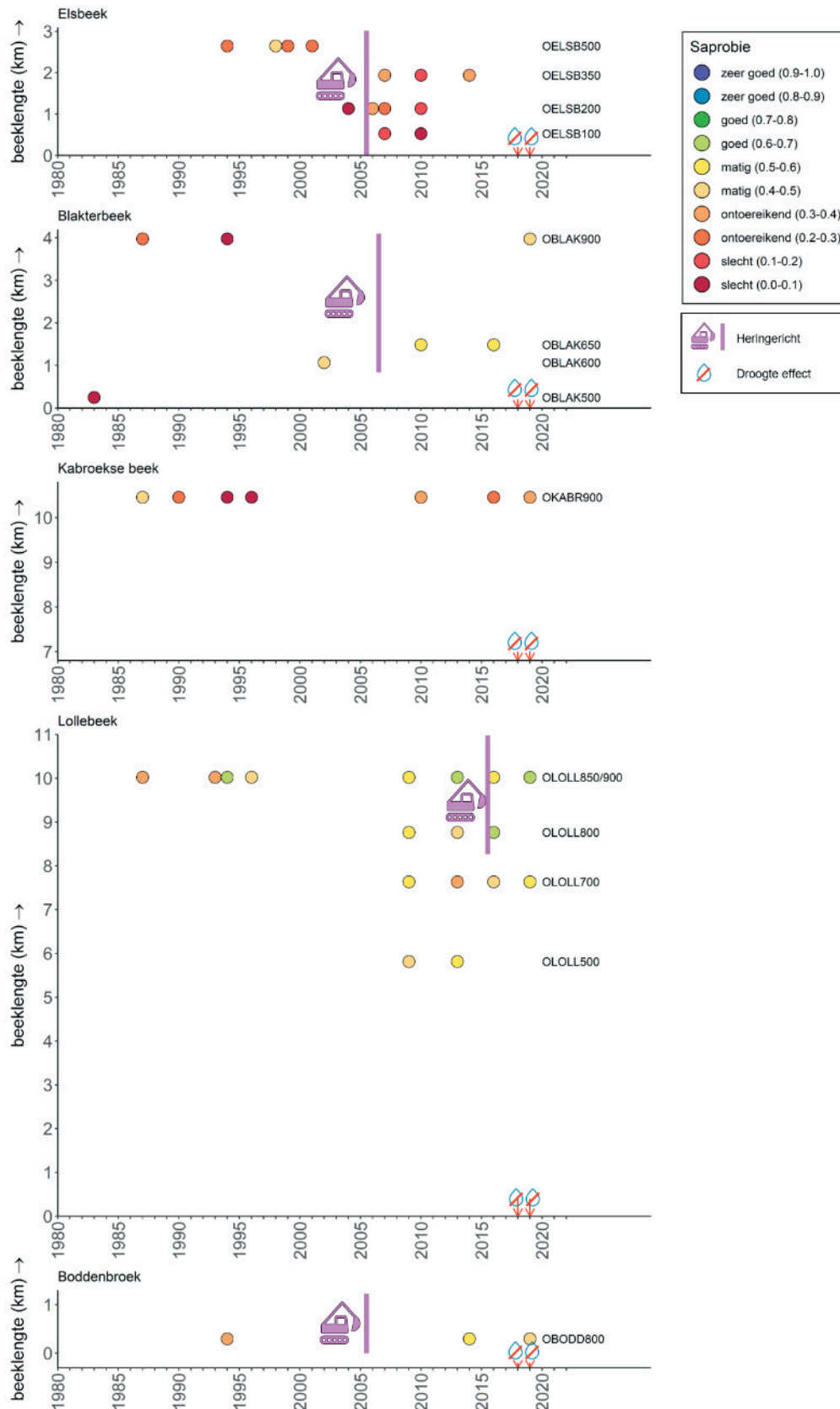
FIGUUR 27

Ruimte-tijd diagram van de Groote Molenbeek met genomen maatregelen en diagnostische stresscores per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor saprobie (organische belasting). Details van de maatregelen per traject zijn weergegeven in Tabel 5.



FIGUUR 28

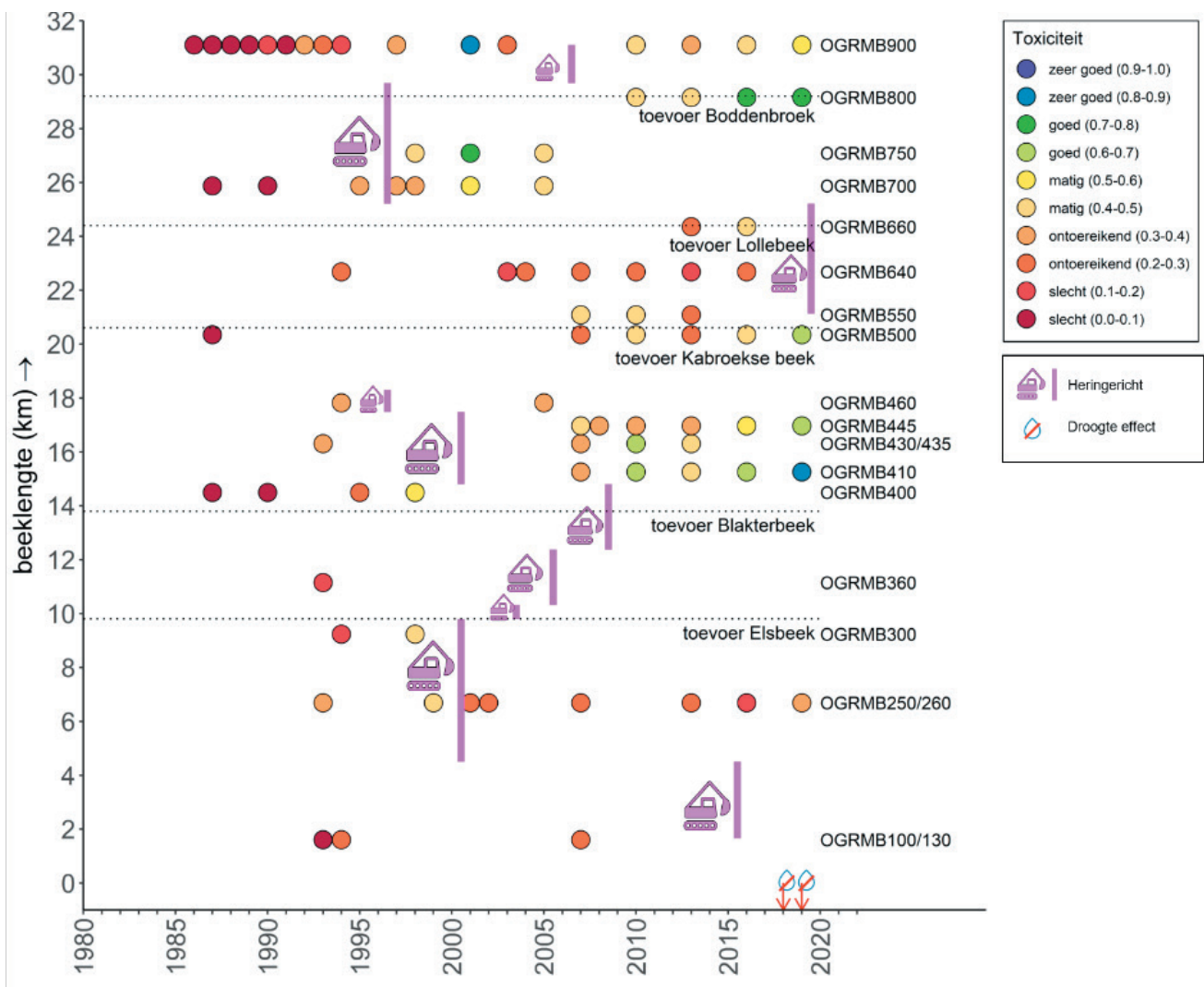
Ruimte-tijd diagram van de zijbeken in het stroomgebied van de Grootte Molenbeek met genomen maatregelen en diagnostische stresscores per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor saprobie (organische belasting). Details van de maatregelen per traject zijn weergegeven in Tabel 5.



De toxische stress indicatie is met name hoog in de zijbeken (behalve de Lollebeek) en de bovenloop van de Groote Molenbeek (Figuur 29 en 30). De toxische stress in de Groote Molenbeek benedenstrooms van de monding met de Blakterbeek is sinds halverwege de jaren '90 afgenomen (met uitzondering van meetpunt OGRMB640 mogelijk door invloed van de Kabroekse beek). De toxische stress lijkt ook op enkele meetpunten in de Groote Molenbeek iets lager te zijn in 2016 en 2019 dan in voorgaande jaren. Het is onduidelijk wat de bronnen van toxicanten zijn, gedacht kan worden aan gewasbeschermingsmiddelen van aanliggende percelen of overstorten.

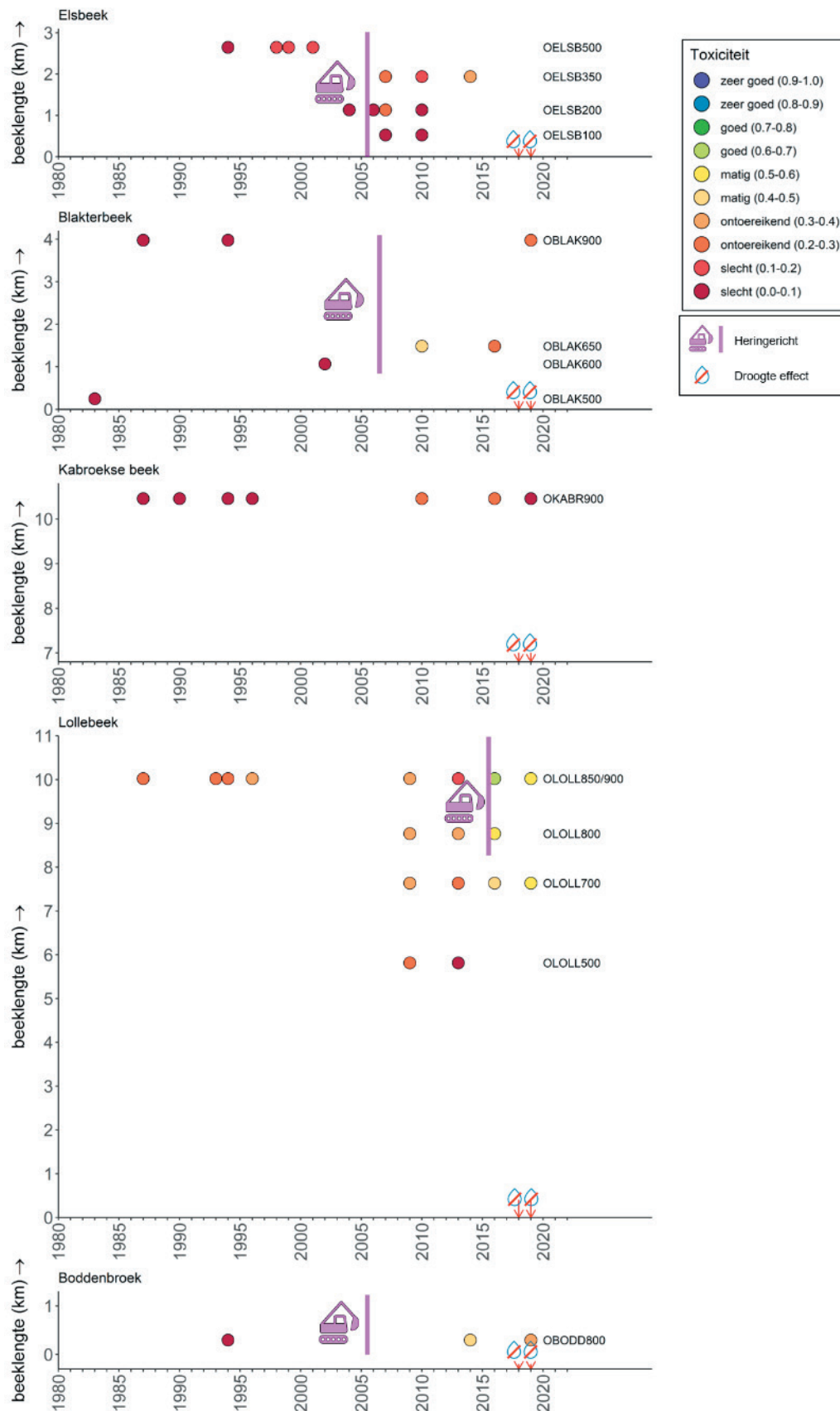
FIGUUR 29

Ruimte-tijd diagram van de Groote Molenbeek met genomen maatregelen en diagnostische stresscores per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor toxiciteit. Details van de maatregelen per traject zijn weergegeven in Tabel 5.



FIGUUR 30

Ruimte-tijd diagram van de zijbeken in het stroomgebied van de Grootte Molenbeek met genomen maatregelen en diagnostische stresscores per meetpunt op basis van de milieupreferenties van macrofauna voor toxiciteit. Details van de maatregelen per traject zijn weergegeven in Tabel 5.



►► 7 DISCUSSIE

Het doel van het onderzoek was inzicht te krijgen in de ecologische effecten van het nemen van meerdere maatregelen die ruimtelijk en in de tijd gespreid waren binnen een stroomgebied en eventueel verschilden in de uitvoering (type, omvang etc.). Het bleek echter moeilijk op stroomgebiedsschaal tijdseries aan meetdata te verkrijgen. Uit de evaluatie op basis van frequentie en verdeling van de metingen van verschillende door de regionale waterbeheerders aangedragen datasets bleek dat er vaak wel veel losse meetpunten verspreid over de tijd (jaren) beschikbaar waren, maar dat slechts een beperkt aantal waterlichamen voldoende consistent gemeten was om een effect-analyse op de schaal van een (deel) stroomgebied of (deel)waterbeheereenheid uit te kunnen voeren. Dit is verklaarbaar omdat de hier gestelde vraag afwijkt van het doel waarvoor de biologische meetnetten zijn ingericht. Toch is kennis van het opschalingseffect van meerdere in ruimte en tijd verspreid genomen maatregelen van groot belang voor het vaststellen van herstelstrategieën.

Ondanks dat voor slechts vier stroomgebieden een voldoende meetdichtheid in ruimte en tijd beschikbaar was om een casusanalyse uit te voeren, leverde dit belangrijke inzichten op in de locatie-specifieke en stroomgebieds-specifieke veranderingen binnen de macrofauna. Hierbij was het inzichtelijk maken van de veranderingen aan de hand van diagnostische soortkenmerken uitgedrukt in stresscores op basis van de soortensamenstelling zeer behulpzaam, omdat dit direct de veranderingen in knelpunten/stressoren in beeld bracht. Er is in deze studie gewerkt met een beperkte selectie van diagnostische soortkenmerken, waarvan al veel informatie voorhanden was. Om de werking van de stressoren nog beter te bepalen kan een verbetering van de taxon-specifieke stressor specifieke scores van toegevoegde waarde zijn, omdat deze indicatiewaarden nog lang niet voor alle soorten en stressoren tot in detail bekend zijn.

FIGUUR 31

De benedenloop van de Tongelreep ter hoogte van Eindhoven.



In de casussen bleek dat de in termen van beeklengte meest toegepaste maatregel ‘herprofilering van de loop met eventueel hermeandering’ die tot doel had het stromingskarakter van de beek te verbeteren, niet voldoende was om overal verbeteringen in de stromings- en droogvalindicaties van de fauna te bewerkstelligen. Dit was ook niet het geval wanneer dit op grote schaal werd toegepast binnen een stroomgebied. Lokaal was zelfs een toename in stress waarneembaar na herinrichting. Aanvullende maatregelen en de landschappelijke context lijken dan van groot belang te zijn voor de uiteindelijke effectiviteit van deze maatregel. Bijvoorbeeld in de Tongelreep (Figuur 31) lijkt op meetpunten met de combinatie hermeandering, staken van het onderhoud en bos/natuur op de oevers voor de grootste verbeteringen te zorgen. Klein-schalige maatregelen (grind, hout) lijken hierbij ook nog een toegevoegde waarde te hebben, wat ondersteund wordt door specifieke studies naar deze maatregelen (Velthuis *et al.* 2019, Verdonschot *et al.* 2021). Daarbij speelt ook mee dat deze beek een relatief groot verhang heeft met een permanente afvoer, waardoor de stroming voldoende is om aan de eisen van veel laaglandbeeksoorten te voldoen. Het patroon van ecologische kwaliteit in het stroomgebied van de Tungelroyse beek versterkt dit beeld; daar waar natuurlijkere morfologie, voldoende stroming en bos op de oevers aanwezig zijn is de ecologische kwaliteit hoog, een beeld dat ook uit andere onderzoeken naar voren komt (Verdonschot *et al.* 2013, 2016).

Juist onvoldoende afvoer lijkt het effect van de herinrichtingen in andere beken te beperken. Mogelijk ligt hier overdimensionering in termen van een nog steeds te groot dwarsprofiel ten opzichte van de afvoercharacteristiek aan ten grondslag te liggen en had de loop in feite nog kleiner gedimensioneerd moeten zijn om de gewenste effecten te bereiken. Wat hierbij ook mee kan spelen is het continueren van het onderhoud. Het laten dichtgroeien en (deels) verlanden van de loop en het bebost raken van de oever zou een versmalling teweeg kunnen brengen die de stromingscondities zou kunnen verbeteren, maar dan zou onderhoud achterwege moeten blijven omdat het frequent onderhoud dit proces steeds terugzet in de successie. De vraag is echter of dit vanuit andere aspecten dan ecologie, vooral vanuit waterveiligheidsoogpunt, realiseerbaar was en is. Hierbij speelt beschaduwing oftewel bos op de oevers een cruciale rol, omdat onder de huidige voedselrijke situatie de watergang in snel tempo dichtgroeit omdat er geen beperkingen zijn voor massale vegetatieontwikkeling (Verdonschot *et al.* 2017). Bij voldoende beschaduwing treedt massale vegetatieontwikkeling niet op en kan onderhoud sterk worden geëxtensieerd of zelfs achterwege worden gelaten. Dit laatste is zeker het geval wanneer de beek voldoende ruimte in het beekdal heeft en lokale inundaties niet tot overlast kunnen leiden. Echter ontbreekt in de stroomgebieden bos op de oevers nu grotendeels. Een echter meer oorzaak gerichte oplossing is het verminderen van de piekafvoeren waardoor de veiligheid ook gewaarborgd wordt. Dit kan met maatregelen waarbij water wordt vastgehouden, geborgen en vertraagd wordt afgevoerd te beginnen in de haarvaten en de infiltratiegebieden.

Delen van de Vlootbeek, Groote Molenbeek en de bovenloop van de Tungelroyse beek waren oorspronkelijk doorstroommoerassen en moerasbeken en hebben hun huidige vorm gekregen na het sterk ontwateren van de daar aanwezige moerassen en het graven van watergangen. Dit heeft tot gevolg gehad dat de permanent langzaam afwaterende systemen die traag reageerden op bijvoorbeeld neerslag zijn veranderd in hoog dynamische systemen. Deze afvoercharacteristiek maakt deze systemen kwetsbaar voor zowel droogte als hevige neerslag. In de Vlootbeekcasus is duidelijk het overheersende effect te zien van de extreme droge, warme weersomstandigheden in 2018 en 2019. De droogte en hoge temperaturen hebben daar een stroomgebiedsbrede impact gehad op het systeem via verminderde waterbeschikbaarheid en ook een verslechtering van de waterkwaliteit, wat duidelijk op grote schaal terug te zien was in de indicatiewaarden. Dit geeft aan dat een dergelijk systeem op dit moment niet voldoende klimaatrobuust is bij voortschrijdende klimaatverandering en aanvullende maatregelen nodig zijn, waarbij gedacht moet worden aan verbeterd infiltratie in de inzigtgebieden, het vergroten van de retentie en het herstel van de moerassen in de bovenlopen. De mogelijkheden hiervoor worden bijvoorbeeld in de Groote Molenbeek verkend ter hoogte van de Rieterdijk (Figuur 32).

FIGUUR 32

Moerasbeektraject Groote Molenbeek Rieterdijk.



Het meest in het oog springende grootschalige effect binnen de casussen was een waterkwaliteitsverbetering door het in werking stellen van een rioolwaterzuiveringsinstallatie (Tongelreep), daarnaast lieten het saneren van overstorten en veranderingen in diffuse bronnen, zoals de veranderingen in mestgift landbouwpercelen (Groote Molenbeek, Tungelrooyse beek) grootschaligere effecten zien. De impact van deze verbeteringen traden in de onderzochte stroomgebieden op relatief grote landschappelijke schaal op in met name de hoofdbeken. Tegelijkertijd waren er in de zijbeken ook lokale verslechtingen in de tijd zichtbaar, wat kan wijzen op bijvoorbeeld een intensivering van het agrarisch landgebruik (bijv. teeltwisseling) of nieuwe bronnen van belasting. Dit maakt duidelijk dat wanneer lozingen van voedingsstoffen die vervolgens door het beekstelsel worden getransporteerd, worden verminderd dit kan leiden tot positieve effecten over een grotere schaal.

Dit roept tegelijk de vraag op wat er was gebeurd wanneer de beken gekanaliseerd en genormaliseerd waren gebleven, was er dan ook een ecologische verbetering waargenomen? Deze vraag beantwoorden wordt gecompliceerd doordat de veranderingen in de tijd parallel liepen met de uitgevoerde herinrichtingsprojecten en andere maatregelen. Het één op één scheiden van de individuele effecten van maatregelen is hierdoor niet mogelijk. Om de effecten van individuele maatregelen te kunnen scheiden is een Before-After-Control-Impact (BACI) aanpak van maatregel-effect onderzoek noodzakelijk, waarbij een maatregel zowel voor als na de ingreep wordt onderzocht en ook niet aangepakte controlesituaties worden meegenomen in het onderzoek. Deze aanpak is belangrijk om betrouwbare resultaten te verkrijgen over de effectiviteit van een maatregel(pakket).

De indicatie voor toxiciteit (bepaald met de SPEAR-index) scoort relatief slecht in de meeste delen van de onderzochte stroomgebieden. Toxiciteit lijkt diffuus in de stroomgebieden aanwezig te zijn met lokaal een sterkere impact, waarbij er een koppeling zou kunnen zijn met de aanvoer van effluent of meer diffuus vanuit urbane of intensieve agrarische gebieden. Nadere duiding van de mechanismen hierachter is nodig om dit beter in beeld te krijgen.

►► 8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Dit onderzoek laat zien dat grootschalig morfologisch herstel of eutrofiëeringsverlaging alleen niet voldoende is om ecologische verbeteringen te bewerkstelligen. Schaal van de ingreep lijkt hierbij niet de sterkst bepalende factor te zijn. Het gaat erom wat de ingrepen precies hebben bewerkstelligd, oftewel heffen de maatregelen de knelpunten die spelen in het stroomgebied in voldoende mate op zodat aan de abiotische randvoorwaarden van de soorten voldaan wordt?

De Tongelreep laat zien dat binnen het stroomgebied juist een combinatie van maatregelen en een goed uitgangspunt wat betreft randvoorwaarden (voldoende stroming, natuur in beekdal) tot ecologische effecten heeft geleid omdat dit verschillende knelpunten voor bepaalde doelsoorten oplost en zo het streefbeeld steeds dichter benaderd wordt. In de andere casussen remden niet weggenomen knelpunten het herstel, met onder andere een belangrijke rol voor de hydrologie. Er is sprake van een hiërarchie in stressoren waarbij als een dominantie stressor wordt weggenomen een ander dominant wordt en ecologisch herstel verhindert. De doorwerking van één stressor in het stroomgebied kan dus ecologisch herstel blokkeren ondanks dat verschillende maatregelen t.a.v. andere stressoren zijn genomen. Aangezien er in de meeste gevallen in de Nederlandse beken sprake is van multistress-situaties, is een integrale aanpak van de verschillende knelpunten nodig, m.a.w. een gericht pakket aan maatregelen, om ecologisch effectief te zijn (Verdonschot *et al.* 2021).

Bij het nemen van maatregelen is het dus van belang dat eerst gekeken wordt naar de samenhang tussen en hiërarchie in verschillende groepen van factoren in het watersysteem. Een integrale aanpak is nodig, want wanneer er knelpunten liggen op verschillende vlakken, bijvoorbeeld in zowel de hydrologie (te weinig stroming) als in de stoffen (effluentlozing), dan moeten beide aangepakt worden om een substantiële ecologische verbetering te bewerkstelligen. Is er meer stroming, dan moeten ook nog structuren (dood hout) worden aangebracht die zorgen voor substraatvariatie, waarvoor weer bomen op de oever nodig zijn die tegelijk weer temperatuurwisselingen dempen enzovoorts.

Om voldoende inzicht te krijgen in het systeem functioneren is een stroomgebiedsbrede ecologische systeemanalyse een belangrijk hulpmiddel (Verdonschot & Verdonschot 2021c). Hiermee komen de knelpunten voor de ecologie en de schaal waarop ze spelen in beeld en kunnen de meest passende en effectieve combinaties van maatregelen worden bepaald die de stressoren aanpakken, rekening houdend met de lokale context. Tegelijkertijd brengt dit in beeld welke doelen realistisch zijn. Gezien de hiërarchie in stressoren kan het niet kunnen aanpakken van een bepaalde stressor leiden tot een lager doelbereik. Het is belangrijk dit vooraf in beeld te hebben om zo de verwachtingen scherp te krijgen. Daar komt bij dat met het hebben van een integraal beeld van de stressoren ook direct een maatregelpakket kan worden ingezet. In het verleden werden maatregelen vaak verspreid in de tijd uitgevoerd. Mogelijk leidt het direct integreren van alle maatregelen in een traject tot een snellere verbetering dan nu in de tijd is waargenomen.

Tot slot laat de gegevensinzameling zien dat de huidige monitoring van de waterschappen op dit moment onvoldoende toegesneden is op regionale (over grotere schaal) meervoudige maatregel-effect analyse, zoals hele (deel)stroomgebieden of waterbeheereenheden. Wanneer er in de toekomst meer data beschikbaar komt is het zinvol om deze methode ook op andere locaties (bijv. stilstaand wateren) toe te passen om inzicht te krijgen in de effectiviteit van herstelmaatregelen. In het KIWK-kennisdocument monitoring (Van der Lee *et al.* 2021) wordt hier nader op ingegaan. Dergelijke kennis kan de inzet van maatregelen in de toekomst nog effectiever maken. In ieder geval laat dit onderzoek zien dat het belangrijk is meer aandacht te geven aan de kansen die lokale herstelmaatregelen genereren voor het initiëren van grootschaligere verbeteringen.

►► 9 LITERATUUR

- Dos Reis Oliveira, P.C., Van der Geest, H.G., Kraak, M.H.S., Westveer, J.J., Verdonschot, R.C.M. & Verdonschot P.F.M. (2020) 40 years of stream restoration: lessons learned and future perspectives. *Journal of Environmental Management* 264:110417.
- Impakt! (2021) Zuurstof voor de Dommel en Warmbeek/Tongelreep. Eindrapport. (<https://www.grensregio.eu/bibliotheek/impakt-6>)
- Kail, J., & Hering, D. (2009) The influence of adjacent stream reaches on the local ecological status of Central European mountain streams. *River Research and Applications*, 25(5), 537-550.
- Palmer, M.A., Ambrose, R.F. & Poff, N.L. (1997) Ecological theory and community restoration ecology. *Restoration Ecology* 5: 291-300.
- Soresma (2007) Water- en stoffenbalans voor drie beken in het grensgebied van de Vlaamse en Nederlandse Kempen. Hoofdrapport. Rapport 124950115.
- Van der Lee G.H., Verdonschot R.C.M. en Verdonschot P.F.M. (2021). Advies voor het monitoren van de ecologische waterkwaliteit. Notitie Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. pp. 28.
- Verberk, W.C.E.P., Verdonschot, P.F.M., Van Haaren, T. & Van Maanen, B. (2012) Milieu-en habitatpreferenties van Nederlandse zoetwater-macrofauna. STOWA.
- Velthuis, M., Borst, A., Scheepens, M., Barten, I., Dees, A., Moeleker, M., Brugmans, B. & Verdonschot, R. (2019) De ecologische meerwaarde van het aanbrengen van grindbedden in de Tongelreep. H2O online.
- Verdonschot, P.F.M. & Nijboer, R.C. (2000) Taxonomic adjustment affects data analysis: an often forgotten error. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 27: 2546-2549.
- Verdonschot, R., Penning, E., Berends, K., Schoelynck, J., Reitsema, R. & Verdonschot, P. (2021a) Aangepast beheer en onderhoud en kleinschalige maatregelen in beken. Rapport nummer 2021/OBN243-BE, VBNE, Driebergen
- Verdonschot, R., Verdonschot, P., Moeleker, M., Dees, A., Scheepens, M., Barten, I., Kits, M., de Hoog, J., Bauwens, J., Coenen, D., van Vugt, A., Roovers, S., Stamhuis, M., van Kempen, M. & Brugmans, B. (2021b) Kleinschalige maatregelen in Noord-Brabantse beken: resultaten van de veldexperimenten. Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen.
- Verdonschot P.F.M. & Verdonschot R.C.M. (2021c). Ecologische systeembenadering en ecologische systeemanalyse. Rapport Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. 134 pp.
- Verdonschot, R., Brugmans, B., Barten, I. & Scheepens, M. (2017) De relatie tussen beschaduwing en de groei van waterplanten in twee beken in Noord-Brabant. H2O online 28-8-2017, 12p.
- Verdonschot, R., Brugmans, B., Scheepens, M., Coenen, D. & Verdonschot, P. (2016) Invloed van beekbegeleidende bomen op de ecologische kwaliteit van Noord-Brabantse beken. H2O online 28 juli 2016.
- Verdonschot, R.C.M., van Puijenbroek, P.J.T.M. & Verdonschot, P.F.M. (2013) Bomen en stroming verhogen ecologische kwaliteit. *Herstel Hierdense beek. Landschap* 30: 83-92

►► BIJLAGE 1 LIJST VAN BENODIGDE MILIEUPARAMETERS VOOR DE CASUSSEN

Hoofdgroep	Factor
Systeemvoorwaarden	klimaat schaduw temperatuur neerslag licht wind geomorfologie hoogteverschil geologie bodemtype geohydrologie geochemie stroomgebiedsbegrenzing
Stroming (hydrologie)	waterbalans afstroming/runoff stromingsvariatie stroomsnelheid droogval stagnatie waterbeweging grondwater kwel hydrologie wegzijging natuurlijke afvoer afvoerdynamiek peil(fluctuatie) verblijftijd berging hydraulica stratificatie stuwing waterinlaat
Structuren (morfologie)	breedte bufferzone verval bodemtype beschoeiing connectiviteit/verbinding lengteprofiel dwarsprofiel verlanding

Hoofdgroep	Factor
	oppervlak structuurheterogeniteit (oever)vorm stuw(ing) substraat dikte sliblaag kunstmatige objecten schone bodem schone oever maaibeheer baggeren ecotopen
Stoffen (chemie)	zuurgraad silicium EGV chloride calcium bicarbonaat buffercapaciteit organisch materiaal zuurstof fosfor stikstof sulfaat sulfide kalium Kjeldahl-N helderheid/doorzicht milieuvreemde stoffen landgebruik puntbron zwevende stof
Soorten	algen macrofyten macrofauna vissen zoöplankton flab zoogdieren vogels oeverbegroeiing

BIJLAGE 2 MEETPUNTINFORMATIE VLOOTBEEK

Meetpunten in het stroomgebied van de Vlootbeek waar sinds 1985 macrofauna in het voorjaar is bemonsterd.

Meetpunt	Coördinaten		Afstand vanaf bron (m)
	X	Y	
OVL00100	201585	346534	18
OVL00150	199993	347448	2162
OVL00190	199357	347933	2992
OVL00191	199356	347887	3034
OVL00300	196955	348726	5930
OVL00500	193947	348263	10122
OVL00600	193800	348210	10280
OVL00700	192112	349180	12648
OVL00750	192468	351566	16008
OVL00760	192438	351657	16116
OVL00900	193617	352476	18124
OVL00905	193300	352581	17932
OPUTB200	196710	345692	1431
OPUTB350	195492	345869	3155
OPUTB500	195087	346425	4059
OPUTB900	194060	347250	5784
OPEPI040	192259	342160	124
OPEPI050	192030	342142	489
OPEPI100	191900	342480	1148
OPEPI150	191820	342570	1148
OPEPI300	192187	343089	1910
OPEPI600	193179	344740	4068
OPEPI900	194286	346108	6060

Totaal aantal bemonsteringen per maand en aantalsverdeling van alle monsters over de maanden in het stroomgebied van de Vlootbeek.

Maand	Aantal genomen monsters (#)	Relatieve verdeling monsters over maanden (%)
Januari	0	0
Februari	0	0
Maart	0	0
April	8	7
Mei	39	34
Juni	43	38
Juli	4	4
Augustus	0	0
September	5	4
Oktober	12	11
November	3	3
December	0	0

BIJLAGE 3 **MEETPUNTINFORMATIE TONGELREEP**

Meetpunten in het stroomgebied van de Tongelreep (NL) en Warmbeek (BE), waar sinds 1990 macrofauna in het najaar is bemonsterd.

Meetpunt	Coördinaten (RD)		Afstand vanaf bron (m)
	X	Y	
259170	162378	364011	8438
250017	162355	365884	10863
259041	162076	368998	14556
250014	162249	369414	15340
250018	161542	372273	18972
259106	162422	372973	20434
248923	162362	374900	23184
259105	162502	375842	24599
259003	162160	376660	25048
259107	161584	378565	29208
250015	161285	380983	31576

Totaal aantal metingen per maand en aantalsverdeling van alle monsters over de maanden in het stroomgebied van de Tongelreep.

Maand	Aantal genomen monsters (#)	Relatieve verdeling monsters over maanden (%)
Januari	1	1
Februari	0	0
Maart	6	3
April	11	6
Mei	21	12
Juni	17	10
Juli	4	2
Augustus	32	18
September	55	32
Oktober	17	10
November	7	4
December	3	2

BIJLAGE 4 **MEETPUNTINFORMATIE TUNGELROYSEBEEK**

Meetpunten in het stroomgebied van de Tungelroysebeek waar sinds 1980 macrofauna in het voorjaar is bemonsterd.

Meetpunt	Coördinaten (RD)		Afstand vanaf bron (m)
	X	Y	
OTUNG100	171630	360170	851
OTUNG150	172377	359799	1705
OTUNG170	172475	359821	1805
OTUNG180	173290	359333	2891
OTUNG300	175670	357630	6233
OTUNG321	176510	357075	7581
OTUNG330	177263	357152	8452
OTUNG340	177900	357477	9292
OTUNG360	178761	357320	10280
OTUNG400	180490	358320	13041
OTUNG500	182660	359380	16305
OTUNG525	183059	360275	17916
OTUNG600	185200	361450	21092
OTUNG620	185328	361403	21254
OTUNG640	187218	361878	23540
OTUNG770	191822	361423	29449
OTUNG800	192550	361430	30841
OTUNG850	194264	362586	33638
OTUNG900	195140	362580	35069
ONEER770	196932	363395	37711
ONEER900	197360	363290	38214
ORAAM100	172900	356910	85
OVLIE100	179570	355530	462
OVLIE105	179900	356260	1303
OVLIE900	181540	358010	4052
OLEUK300	179920	361180	2292
OLEUK600	179786	361265	2134
OLEUK800	181700	360520	4607
OLEUK805	181780	360520	4690
ORIJD900	191150	361270	9069
OROGG200	190350	370010	440
OROGG400	190760	367429	3288
OROGG500	191230	366000	5661
OROGG760	191941	364115	7932
OROGG770	192068	364111	8073
OROGG780	192371	364067	8412
OROGG790	192537	363743	8788
OROGG900	193280	362880	10288
OROGG910	194040	362935	11445
OROGG920	195050	362750	13134
OUFFE050	181770	353450	0

OUFFE100	182460	353680	734
OUFFE575	185550	355700	5186
OUFFE900	188180	355880	8528
OHAEL650	191120	359510	13806
OHAEL800	194250	360311	17204
OHAEL830	194450	360500	17489
OHAEL900	195430	362180	19627

Totaal aantal metingen per maand en aantalsverdeling van alle monsters over de maanden in het stroomgebied van de Tungelroyse beek.

Maand	Aantal genomen monsters (#)	Relatieve verdeling monsters over maanden (%)
Januari	0	0
Februari	0	0
Maart	0	0
April	15	4
Mei	141	40
Juni	111	31
Juli	25	7
Augustus	3	1
September	31	9
Oktober	27	8
November	3	1
December	0	0

BIJLAGE 5 **MEETPUNTINFORMATIE GROOTE MOLENBEEK**

Meetpunten in het stroomgebied van de Groote Molenbeek waar sinds 1980 macrofauna in het voorjaar is bemonsterd.

Meetpunt	Coördinaten (RD)		Afstand vanaf bron (m)
	X	Y	
OGRMB100	194198	375735	1612
OGRMB130	194600	376000	2085
OGRMB250	198423	377146	6690
OGRMB260	198820	377270	7140
OGRMB300	200200	378300	9240
OGRMB360	201050	378950	11155
OGRMB400	200880	381580	14494
OGRMB410	200838	382312	15256
OGRMB430	201300	383100	16211
OGRMB435	201376	383248	16405
OGRMB445	201754	383433	16968
OGRMB460	202150	384050	17820
OGRMB500	201710	386200	20354
OGRMB550	201500	386900	21088
OGRMB640	201500	388150	22686
OGRMB660	202669	389059	24357
OGRMB700	203710	389780	25873
OGRMB750	203600	390900	27092
OGRMB800	203194	392492	29155
OGRMB900	203000	394300	31101
OELSB100	199349	376596	526
OELSB200	199770	376972	1135
OELSB350	199948	377638	1941
OELSB500	200270	378163	2647
OBLAK500	197950	381050	248
OBLAK600	198700	381200	1068
OBLAK650	199070	381320	1486
OBLAK900	200800	380890	3977
OKABR900	201500	386300	10455
LOLL500	198388	387967	5815
LOLL700	199900	388790	7636
LOLL800	200855	389176	8764
LOLL850	201700	389000	9756
LOLL900	201900	388970	10022
OBODD800	203030	392250	296

Totaal aantal metingen per maand en aantalsverdeling van alle monsters over de maanden in het stroomgebied van de Groote Molenbeek.

Maand	Aantal genomen monsters (#)	Relatieve verdeling monsters over maanden (%)
Januari	0	0
Februari	0	0
Maart	0	0
April	12	6
Mei	40	22
Juni	73	39
Juli	20	11
Augustus	9	5
September	18	10
Oktober	13	7
November	1	1
December	0	0



Kennisimpuls
WATERKWALITEIT