

# FACTSHEET KIWK

## Droogte



Ralf C.M. Verdonschot & Piet F.M. Verdonschot

**Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research**

November 2020

**Auteurs**

Verdonschot R.C.M. & Verdonschot P.F.M. (correspondentie: [ralf.verdonschot@wur.nl](mailto:ralf.verdonschot@wur.nl))

**Opdrachtgever**

Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK)

**Projectgroep**

Gebruikerscommissie Kennisimpuls waterkwaliteit Systemekennis ecologie en waterkwaliteit

**Leesgroep**

John Lenssen (Waterschap Rijn en IJssel), Gerben van Geest (Deltares), Dorien Roubos (Waterschap Vallei & Veluwe), Peter van Puijenbroek (Planbureau voor de Leefomgeving)

**Wijze van citeren**

Verdonschot R.C.M. & Verdonschot P.F.M. (2020). Factsheet: Droogte. Notitie Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. 10 pp.

**Trefwoorden**

Brongericte maatregelen, bodemheterogeniteit, beddingheterogeniteit, veerkracht, kolonisatie, dispersiebarrière, bronpopulatie

**Beeldmateriaal**

Ralf Verdonschot, Piet Verdonschot

DOI: <https://doi.org/10.18174/534933>

Dit project is uitgevoerd in opdracht van de Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK).

© 2020 Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research

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

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

## Inhoud

Inhoud	1
1 Inleiding	2
2 Effecten van habitatheterogeniteit op het ecosysteem	2
2.1 Belangrijkste habitatstructuren per watertype	3
2.2 Effecten op andere sleutelfactoren in het waterecosysteem	4
2.3 Ecologische responsen	5
3 Maatregelen	5
3.1 Stromende wateren	6
3.2 Stilstaande wateren	7
3.3 Aanpassen van het beheer en onderhoud (stilstaand en stromend)	8
3.4 Eventueel relaties met andere maatregelen	9
4 Conclusies	9
5 Literatuur	9

## 1 Inleiding

Op de hogere zandgronden hebben factoren zoals veranderd landgebruik, het versneld afvoeren van water en een grotere watervraag vanuit landbouw, industrie en drinkwaterwinning tot gevolg dat in droge perioden de grond- en oppervlaktewaterbeschikbaarheid sterk is afgenomen. Hier komt bij dat de gemiddelde hoeveelheid neerslag in de zomer kan afnemen als gevolg van klimaatverandering (KNMI, 2015). Steeds meer oppervlaktewateren lopen hierdoor het risico eerder en sneller droog te vallen tijdens perioden met droog en warm weer.

Om de ecologische effecten van droogte te kunnen inschatten is het belangrijk onderscheid te maken tussen een zich in de tijd herhalend proces met een zekere seizoensgebonden voorspelbaarheid ('*seasonal drought*') en meer extreme droogte die veel onregelmatiger optreedt en daardoor sterk verstorend werkt op het ecosysteem ('*supra-seasonal drought*'; Lake, 2003). Ook werken de effecten van dit laatste type droogte meerdere jaren door.

Het eerste type droogval komt van nature voor in droogvallende bronnen en langzaam stromende bovenlopen, greppels en regenwater- of ondiep grondwater-gevoede poelen en vennen. Het tweede type treft juist normaal gesproken permanente wateren (laaglandbeken, permanente bronnen, vennen, oude armen, broekbossen, zeggenmoerassen en sloten). Voorbeelden van extreme droogtejaren in Nederland zijn bijvoorbeeld 1976 (Van Dam & Van Apeldoorn, 1978) en recenter 2018-2019 (Verdonschot et al., 2020). Deze factsheet richt zich primair op het tweede type droogval en (vooral) op de stromende wateren.

## 2 Effecten van droogte op het ecosysteem

### 2.1 Verloop van het droogvalproces

Droogval is een stressor waarbij de negatieve impact op de levensgemeenschap bij aanhoudende droogte steeds verder toeneemt (Lake, 2000). Het verloop van het droogvalproces in een waterlichaam kan worden verdeeld in verschillende stappen (Boulton & Lake, 2008, Stubbington et al. 2017, Figuur 1):

- 1.) Afname van de grond- en/of oppervlaktewateraanvoer met in beken en rivieren een vermindering van de stroomsnelheid.
- 2.) Zo weinig wateraanvoer dat door daling van het waterpeil er geen verbinding meer is tussen het water en de oeverzone (laterale connectie).
- 3.) Verlies connectiviteit binnen het waterlichaam, fragmentatie in restwateren in bijvoorbeeld kuilen of achter kunstwerken. Voor permanente bronnen, beken en rivieren geldt dat de stroomsnelheid compleet wegvalt.
- 4.) Indrogen restwateren, waarbij met het afnemen van de waterbeschikbaarheid een steeds verdere verslechtering van de milieuomstandigheden optreedt.
- 5.) Geen oppervlaktewater meer, maar sediment nog vochtig.
- 6.) Stofdroge bedding; grondwaterpeil zakt steeds verder weg, waardoor de waterbodem tot een grotere diepte uitdroogt.

Of alle stappen doorlopen worden bij droogte is locatie-specifiek en wordt sterk bepaald door de lokale omstandigheden in het traject of waterlichaam. Het watertype is belangrijk, regenwatergevoede vennen in laagtes met een ondoorlatende bodem reageren immers anders op droogte dan door diep grondwater gevoede bovenlopen van beken. Ook spelen de samenstelling en de topografie van de waterbodem een belangrijke rol bij de vorming van restwateren, waarvoor diepere putten of stroomkuilen in de waterbodem aanwezig moeten zijn. Tenslotte bepaalt de hoogte van de drainagebasis of de waterbodem vochtig blijft of compleet uitdroogt.



**Figuur 1:** Toenemende stress voor de levensgemeenschappen van laaglandbeken tijdens langdurige droogteperiodes: verlaagde afvoer en stroomsnelheid (1), afvoer zo laag dat de verbinding met de oeverzone verloren gaat (2), fragmentatie van de loop, alleen nog water in stagnante restpoelen (3) en tenslotte volledige droogval met een stofdroge bedding (4).

## 2.2 Effect op sleutelfactoren ecosysteem

Droogte heeft direct of indirect invloed op verschillende sleutelfactoren (Lake 2003, Larned et al. 2010, Mosely 2015, Verdonschot et al. 2015):

1. Watervolume/stroming. Voor alle wateren geldt dat droogte invloed heeft op de waterbeschikbaarheid (neerslag, verdamping, grond- en oppervlaktewater) en daarmee de permanentie van de hiermee gevoede waterlichamen. In beken en rivieren worden het afvoerregime en de stroomsnelheid sterk beïnvloed. In geïsoleerde en stilstaande wateren loopt de beïnvloeding via ofwel een gebrek aan neerslag (regenwatergevoede systemen) en/of een vermindering van de grondwatertoevoer, waardoor het watervolume en daarmee het waterpeil steeds verder daalt. Uiteindelijk treedt sterke concentratie van organismen en opgeloste stoffen op in de restwateren.
2. Temperatuur. Een kleiner watervolume en verminderen of wegvallen van de toevoer van relatief koud grondwater leiden tot een hogere watertemperatuur en grotere temperatuurfluctuaties, omdat de watertemperatuur sterker de luchttemperatuur gaat volgen.
3. Substraten. In beken en rivieren leidt het wegvallen van stroming vaak tot sedimentatie, waardoor verslibbing optreedt en de aanwezige habitatheterogeniteit verdwijnt, omdat slib andere belangrijke substraten (zand, blad) bedekt.
4. Stoffen. In de steeds verder krimpende restwateren leiden hoge temperaturen en in beken/rivieren het wegvallen van stroming tot een lagere zuurstofbeschikbaarheid. Accumulatie van slib en grof organisch materiaal en sterfte van organismen versterken dit nog eens door een toename van de bacteriële afbraak. Het gevolg is zuurstofarme omstandigheden en een verhoging van de concentraties voedingsstoffen en macro-ionen (organische belasting, eutrofiëring, vrijkomen voor organismen toxische verbindingen). Soms treedt algen- of cyanobacteriënbloei op in de restwateren. Bij volledige droogval, waarbij de waterbodem verandert in een terrestrisch milieu

en zuurstof dieper kan doordringen in de bodem, treden grote veranderingen op in de ecosysteemprocessen die weer consequenties kunnen hebben voor de beschikbaarheid van stoffen (nutriënten). Voorbeelden zijn de afbraak van organisch materiaal en de stikstofcyclus. In droge beekbeddingen verloopt de afbraak van organisch materiaal over het algemeen veel langzamer dan wanneer dit in het water plaatsvindt; dit komt door een verminderde microbiële activiteit. Soms treedt verwijdering op (o.a. nitrificatie, oxidatie koolstofverbindingen), maar tijdens het vernatten kan juist ook weer een piek in beschikbaarheid van nutriënten en macro-ionen optreden.

5. Connectiviteit. In lijnvormige wateren, bijvoorbeeld in een bekenstelsel, wordt bij droogval de connectiviteit binnen het netwerk direct beïnvloed. De positionering van drooggevallen trajecten heeft consequenties voor de mogelijkheden van soorten om zich door het stelsel heen te kunnen bewegen en zo te voorkomen dat ze ingesloten raken in restwateren. Dit geldt ook voor de mogelijkheden tot herkolonisatie. Overigens is er ook een verband tussen connectiviteit en waterkwaliteit in stroomgebieden wanneer bijvoorbeeld bepaalde bovenlopen een grotere invloed hebben op de aanvoer van stoffen dan andere. Voor geïsoleerde wateren, zoals vennen, geldt dat droogval indirect invloed uitoefent op de connectiviteit door veranderingen in de metapopulatiestructuur van organismen. Vallen bepaalde (deel)populaties weg, dan kan dit invloed hebben op de snelheid van of mogelijkheden tot herkolonisatie na droogval.

### 2.3 Ecologische respons

Van nature droogvallende wateren bevatten karakteristieke levensgemeenschappen (Williams, 1987). Macrofaunasoorten die er voorkomen hebben allerlei aanpassingen om de periode van droogte te overleven, welke kunnen worden onderverdeeld in strategieën gebaseerd op de begrippen 'weerstand' en 'veerkracht'. Weerstand omvat aanpassingen om te overleven tijdens de droogteperiode, zoals tolerantie voor uitdroging, een met de droogte gesynchroniseerde levenscyclus en gedragsaanpassingen zoals een zomerdiapauze of migratie. In normaal gesproken permanente wateren komen deze aangepaste soorten minder voor, waardoor de impact van droogte vaak veel groter is. Een ander mechanisme wordt in dat geval belangrijker, namelijk veerkracht. Dit omvat het vermogen tot herkolonisatie op het moment dat de omstandigheden weer verbeteren. Het gaat hier om soorten met bijvoorbeeld een hoge dispersiecapaciteit en grote bronpopulaties.

Hoe een levensgemeenschap herstelt na droogval wordt dus enerzijds gestuurd door het aantal soorten met aanpassingen aan droogte en anderzijds door de mogelijkheden tot kolonisatie. Herstel na droogte wordt gestuurd door de mate van isolatie van het drooggevallen traject ten opzichte van nog watervoerende trajecten met populaties die kolonisten voortbrengen en voldoende diversiteit bevatten om opnieuw een volledige levensgemeenschap te kunnen ontwikkelen (Bogan et al., 2015). Omdat de kolonisationsnelheid tussen soorten verschilt en daarnaast afhankelijk is van het dispersiepotentieel (bronpopulaties, dispersie-barrières) duurt het lang (jaren) voordat een gemeenschap weer een vergelijkbare samenstelling heeft bereikt als de gemeenschap van voor de droogval. Een vergelijking van de impact op de levensgemeenschap tussen stromende wateren (die altijd deel uitmaken van een stelsel van watergangen) en geïsoleerde stilstaande wateren laat zien dat het tweede type kwetsbaarder is omdat de mogelijkheden tot herkolonisatie kleiner zijn (Rosset et al., 2017).

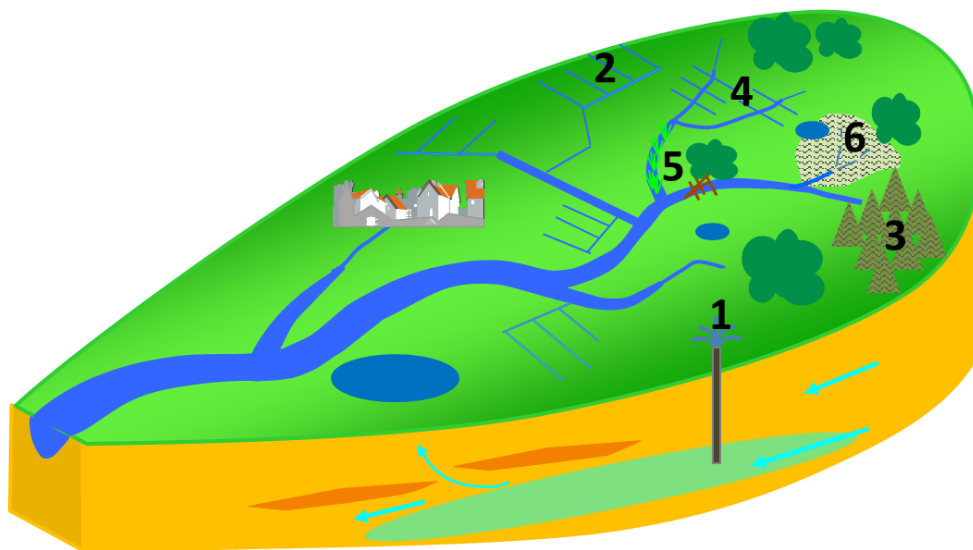
Levensgemeenschappen veranderen vaak na een extreme droogte. Behalve dat dit het gevolg is van het verschil tussen soorten in het vermogen om te herkoloniseren, zijn er ook een aantal andere oorzaken (Hill et al., 2019). Ten eerste treden er veranderingen in biotische interacties op, met name het tijdelijk wegvallen van top-predatoren (vis) en het doorbreken van de dominantie van bepaalde groepen (zoals vlokreeften in beken) waardoor er ruimte komt voor soorten die anders geen kans kregen. Ten tweede veranderen milieufactoren en de beschikbaarheid van microhabitats als gevolg van de droogval, wat mogelijkheden biedt voor nieuwe soorten, vaak pioniers.

## 3 Maatregelen om droogval te voorkomen

Maatregelen om droogte te voorkomen zijn vooral effectief wanneer deze worden toegepast op een groot ruimtelijk schaalniveau, zoals (deel)stroomgebieden, de schaal waarop de meeste hydrologische processen spelen (Verdonschot et al., 2017). Maatregelen op lokale schaal (traject of waterlichaam) moeten dan ook vooral als versterkend bovenop grootschalige maatregelen gezien worden. Als bijvoorbeeld door

grootschalige wateronttrekking onvoldoende water de beek kan bereiken, draagt een lokale maatregel als het stimuleren van een meer gevarieerde beekmorfologie weinig bij aan het voorkomen van de negatieve effecten van de wateronttrekkingen.

Het voorkomen van uitdrogen van grondwater-gevoede oppervlaktewateren tijdens een droogteperiode kan het meest effectief worden gerealiseerd door maatregelen te treffen in het inzigtgebied. Volledig herstel van de oorspronkelijke hydrologie is in de meeste gevallen niet meer mogelijk, omdat van nature veel systemen op de hogere zandgronden gevoed werden door lokale grondwaterstromen vanuit veengebieden (o.a. hoogvenen, beekdalvenen). Deze veensystemen zijn door ontginning en ontwatering vrijwel geheel verdwenen en omgezet in landbouwgrond en/of bos en daarnaast is de grondwaterbeschikbaarheid sterk gedaald. Toch is het zo veel mogelijk verhogen van het grondwaterpeil/de drainagebasis prioriteit nummer één, zodat de toestroom van grondwater zo groot mogelijk wordt en fluctuaties hierin gedempt worden (Figuur 2).



**Figuur 2:** Brongerichte maatregelen in het stroomgebied om de drainagebasis te verhogen en daarmee droogval te voorkomen: 1: verminderen onttrekkingen, 2: bevorderen infiltratie in ondergrond, 3 omvormen naaldbos, 4. Verminderen versnelde afvoer, 5 vertragen afstroming, 6: aanleg bufferzones t.b.v. sponswerking.

### 3.1 Maatregelen in de inzigtgebieden

Maatregelen in de inzigtgebieden zijn:

1. Verminderen grondwater- en oppervlaktewateronttrekking voor bijvoorbeeld beregning van gewassen, drinkwaterwinning en industrieel proceswater.
2. Bevorderen infiltratie van regenwater naar de ondergrond door het langer vasthouden in haarvaten van het systeem en verwijderen/verminderen drainage van percelen via buizen en greppels
3. Omvormen van naaldbos naar loofbos om verdamping te verminderen (naaldbomen verdampen meer water in hun boomkruin)

Voor beken en riviertjes geldt dat de effectiviteit van de ingrepen lokaal verhoogd kan worden in het beek- of rivierdal en het waterlichaam zelf via het:

4. Voorkomen van versnelde afstroming naar de watergang in het beek- of rivierdal door dempen greppels en andere drainerende elementen.
5. Vertragen afstroming: afvoer vertragen via extensief beheer: vegetatie laten staan. In beken en riviertjes dood hout niet meer verwijderen. Houtpakketten kunnen in deze systemen ook worden ingebracht wanneer er beekbegeleidend bos aanwezig is. Als er geen bos aanwezig is, leidt het inbrengen van houtpakketten vaak tot verstoppingen van de watergang door massale waterplantenontwikkeling in de pakketten. Dit kan weer leiden tot sterke opstuwing en zelfs stagnatie. Essentieel is dat in beken en riviertjes de doorstroming niet compleet wegvalt, zeker in

situaties met voedselrijke slibbodems kan stagnatie sterke negatieve effecten hebben op de levensgemeenschap.

6. Inrichten hydrologische buffer(zone)s in de vorm van natte milieus (moeras, broekbos, overstromingsvlakten) ter bevordering van de lokale sponswerking. Fysiek verkleinen doorstroomprofiel, door herprofilering of zandsuppletie kan helpen deze bufferzone nat te houden. Ook bevers kunnen dit proces aanzienlijk versnellen, omdat ze dammen bouwen in waterlopen en daarmee lokaal de oppervlakte- en grondwaterpeilen kunnen verhogen en de biodiversiteit kunnen verhogen.

### **3.2 Verhogen van de overlevingskansen levensgemeenschappen wanneer droogte optreedt**

Op lokale schaal kan worden gewerkt aan de weerstand van het systeem door het bieden van zo optimaal mogelijke overlevingsomstandigheden voor de levensgemeenschap bij droogte:

1. Het versterken van de habitatheterogeniteit op de bodem, waardoor zich voor het overleven van droogte belangrijke refugia kunnen ontwikkelen.
  - a. Specifieke elementen zoals bladpakketten, vermolmd hout en mos houden lang water vast en kunnen voor verhoogde overleving van organismen zorgen bij droogte.
  - b. Ruimtes tussen de korrels in minerale beddingsstraten (interstitiële ruimtes) die niet gevuld zijn met slib kunnen fungeren als refugium voor eieren en jonge larven. Dit komt vooral voor in grindbedden.
  - c. Beschaduwning dempt de temperatuur van het beddingssubstraat en verlaagt zo de uitdroogsnelheid. Bomen, struiken en in mindere mate opgaande kruiden en grassen en hoge oevers kunnen deze rol vervullen.
2. Een zo groot mogelijk natuurlijk beddingreliëf nastreven. In beken kan dit door het ontstaan van spoelkommen te stimuleren. Bomen langs de beek zijn een belangrijke factor die de ligging hiervan bepaald via stromingsvariatie bij uitstekende wortels en dood hout, vaak in combinatie met bochten in de beekloop. Waar mogelijk moet boomopslag en ingevallen hout zo veel mogelijk gespaard blijven bij onderhoud en actief gestimuleerd of ingebracht worden bij inrichtingsprojecten.

Wanneer fragmentatie en/of complete uitdroging dreigt kan een beek watervoerend gehouden worden door:

1. In bekenstelsels met meerdere parallelle waterlopen streven naar het handhaven van slechts één waterloop.
2. Water in te laten:
  - a. Gebruik beregenings- of brandputten waaruit grondwater ingelaten kan worden. Aandachtspunt bij grondwaterinlaat is de samenstelling/kwaliteit van het grondwater. Hoge gehalten aan bijvoorbeeld ijzer, kalk, of lage zuurstofgehalten kunnen een versturende of negatieve invloed hebben op de beeklevensgemeenschap of deze anderszins beïnvloeden. Grondwater inlaten betekent wel dat de grondwatervoorraad nog verder wordt uitgeput en moet daarom worden gezien als een uiterste noodmaatregel.
  - b. Inlaten van oppervlaktewater; gebiedseigen water via omleidingen binnen stroomgebied, gebiedsvreemd water uit kanalen of rivier of het inlaten van gezuiverd effluent vanuit RWZI's. Ook hierbij geldt dat de samenstelling van het oppervlaktewater een belangrijk aandachtspunt is. Van Dam en van Apeldoorn (1978) geven aan op basis van de ervaringen in 1976 dat waterinlaat om beken water voerend te houden destijds verstrekkende negatieve gevolgen had voor de levensgemeenschappen. Mechanismen die hieraan ten grondslag liggen zijn onder andere een eutrofiërende en alkaliserende werking. Anno 2020 ligt de nutriëntenbelasting veel lager waardoor de effecten kleiner zullen zijn.

Toen in 2018 restwateren dreigden droog te vallen is op verschillende plekken vis weggevangen en verplaatst naar wateren waar nog voldoende water aanwezig was. De effectiviteit van deze ingreep is niet bekend, maar wordt momenteel (anno 2020) wel onderzocht in de Veluwe beken.



### **3.3 Verhogen van het kolonisatiepotentieel om de veerkracht van ecosystemen te vergroten**

Het opheffen van dispersiebarrières en het versterken van bronpopulaties zijn maatregelen die de veerkracht van wateren kunnen vergroten (Stubbington et al., 2017).

#### Opheffen barrières binnen en tussen wateren.

Voor permanent watergebonden organismen zoals vissen is in stelsels van watergangen connectiviteit essentieel voor hun overleving tijdens droogte. De dieren moeten zich ongehinderd kunnen verplaatsen om zo de meest geschikte plekken op te kunnen zoeken om de droogte te weerstaan en nadien trajecten opnieuw te kunnen bezetten. De snelheid van terugkeer hangt van de dispersiecapaciteit van de soort af. Het verwijderen van kunstwerken die werken als barrières is in wateren die gevoelig zijn voor droogval daarom noodzakelijk om terugkeer te vergemakkelijken.

De terrestrische imago's van veel waterinsecten zijn relatief slechte vliegers en hebben een beperkt dispersievermogen (Sundermann et al., 2011). De ligging van het te koloniseren water ten opzichte van wateren met potentiële bronpopulaties en het seizoen zijn belangrijke factoren die de kolonisationsnelheid bepalen (Westveer et al., 2018): hoe dichterbij, hoe gunstiger. Het omliggende landschap en dan met name de aanwezige begroeiing speelt een belangrijke rol bij het faciliteren van dispersie; voor beken geldt bijvoorbeeld dat natte bossen erg geschikt zijn voor beekinsecten om zich dwars op de beek te verplaatsen en zo andere wateren te bereiken (Collier & Smith, 1998). Dit pleit voor het aanleggen van 'stepping-stones' of corridors met geschikt habitat tussen wateren, bijvoorbeeld bosstroken tussen bovenlopen in een bekenstelsel. De kennis over dispersie van macrofauna is echter beperkt, waardoor meer gedetailleerde handvatten op dit moment niet te geven zijn.

#### Versterken bronpopulaties.

Het versterken van bronpopulaties begint met het lokaliseren hiervan. Kennis over het voorkomen van kenmerkende of zeldzame soorten in het beheergebied is hierbij essentieel, net zoals kennis over de eisen die deze soorten gedurende het doorlopen van hun levenscyclus stellen. Hierop kan vervolgens worden ingezet door maatregelen te nemen die deze eisen optimaal invullen. Groei van de lokale populaties zorgt ervoor dat er meer potentiële kolonisten beschikbaar komen (soms zelfs als respons op hoge populatiedichtheden), waardoor de kans op kolonisatie van andere wateren toeneemt.

## **4 Conclusies**

1. Het structureel voorkomen van droogval vraagt om brongerichte maatregelen op een grote ruimtelijke schaal en met een aanzienlijke impact op de huidige gebruiksfuncties. De waterlichamen kunnen hierbij niet los worden gezien van het omliggende landschap.
2. Om de weerstand van organismen bij droogval te vergroten, moet in wateren zo veel mogelijk worden gestreefd naar het ontstaan van een hoge bodem- of beddingheterogeniteit in termen van substraten en bodemreliëf.
3. Het verhogen van de veerkracht, in de vorm van het stimuleren van herkolonisatie, is een cruciaal proces om herstel na droogval mogelijk te maken. Het opheffen van dispersiebarrières en het versterken van bronpopulaties zijn hierbij essentieel.

## **5 Literatuur**

Bogan MT, Boersma KS, Lytle DA (2015) Resistance and resilience of invertebrate communities to seasonal and suprasedasonal drought in arid-land headwater streams. *Freshwater Biology* 60:2547–2558

Boulton, A.J., Lake, P.S. (2008) Effects of drought on stream insects and its ecological consequences. In: Lancaster, J. & Briers, R.A. (eds.). *Aquatic insects: Challenges to Populations: Proceedings of the Royal Entomological Society's 24<sup>th</sup> symposium*. CAB International P81-102.

- Collier, K.J., Smith, B.J. (1998) Dispersal of adult caddisflies (Trichoptera) into forests alongside three New Zealand streams *Hydrobiologia* 361: 53–65.
- Hill, M.J., Mathers, K. L., Little, S., Worrall, T., Gunn, J., Wood, P.J. (2019) Ecological effects of a supra-seasonal drought on macroinvertebrate communities differ between near-perennial and ephemeral river reaches. *Aquatic Sciences* 81:62
- van Dam., H, van Apeldoorn, R.C. (1978) De droogte van 1976 en de natuur in Nederland. *H2O* 13: 278-281.
- KNMI (2015) KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie, KNMI, De Bilt. 34 p.
- Lake, P.S. (2003) Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters. *Freshwater Biology*, 48, 1161–1172.
- Lake, P.S. (2000) Disturbance, patchiness, and diversity in streams *Journal of the North American Benthological Society* 19: 573–592.
- Larned, S.T., Datry, T., Arscott, D.B., Tockner, K. (2010), Emerging concepts in temporary-river ecology. *Freshwater Biology*, 55: 717-738.
- Mosley, L.M. (2015) Drought impacts on the water quality of freshwater systems; review and integration *Earth-Science Reviews* 140: 203-214
- Rosset, V., Ruhi, A., Bogan, M.T., and Datry, T. (2017) Do lentic and lotic communities respond similarly to drying? *Ecosphere* 8:e01809.
- Stubbington, R., Bogan, M.T., Bonada, N., Boulton, A.J., Datry, T., Leigh, C., Vander Vorste, R. (2017) The biota of intermittent rivers and ephemeral streams: aquatic invertebrates. In: *Intermittent rivers and ephemeral streams*. Elsevier 217-243
- Sundermann, A., Stoll, S., Haase, P. (2011) River restoration success depends on the species pool of the immediate surroundings. *Ecological Applications* 21:1962–1971.
- Verdonschot, R., Verdonschot, P., Knol, B, Schmidt, G., Scheepens, M., Brugmans, B., van Beers, P., Lenssen, J. (2020). Effecten van de droge zomer van 2018 op de macrofauna in laaglandbeken. *H2O online*, 3 juni 2020.
- Verdonschot, P.F.M., Runhaar, H., Hendriks, D., Verdonschot, R.C.M. (2017). Integraal natuurherstel in beekdalen Ontwikkeling van diffuse afvoersystemen, gedempte afvoerdynamiek en beekprofielherstel. Rapport nr. 2017/215-BE. Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren, Driebergen.
- Verdonschot, R.C.M., van Oosten-Siedlecka, A.M., ter Braak, C.J.F., Verdonschot, P.F.M. (2015) Macroinvertebrate survival during cessation of flow and streambed drying in a lowland stream. *Freshwater Biology* 60: 282-296.
- Westveer J.J., van der Geest H.G., van Loon E.E., Verdonschot P.F.M. (2018) Connectivity and seasonality cause rapid taxonomic and functional trait succession within an invertebrate community after stream restoration. *PLoS ONE* 13:e0197182.
- Williams, D.D. (1987) *The Ecology of Temporary Waters*. Croom Helm, London and Sydney. 205 pp.