Klimaatadaptatie in het Kempen~Broek

Bouwstenen

Els Lommelen en Geert De Blust

INBO.R.2015.6976577

Auteurs:

Els Lommelen & Geert De Blust, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek

Vestiging:

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

e-mail:

els.lommelen@inbo.be
geert.deblust@inbo.be

Wijze van citeren:

Lommelen E. & De Blust G. (2017). Klimaatadaptatie in het Kempen~Broek. Bouwstenen. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO.R.2015.6976577), Instituut voor Natuur-en Bosonderzoek, Brussel.
DOI: doi.org/10.21436/inbor.6976577

Opdrachtgever:

Regionaal Landschap Kempen en Maasland vzw
Projectleider: Erwin Christis

Dankwoord/Voorwoord

We willen de verantwoordelijken van het Regionaal Landschap Kempen en Maasland erg bedanken voor het vertrouwen en de geduldige samenwerking tijdens het project. Verschillende terreinbeheerders bezorgden ons belangrijke informatie over het Kempen~Broek en de problemen die er spelen. Hiermee hebben we ons een goed beeld over het gebied kunnen vormen en waren we in staat om bij de analyse van de toestand en het uitwerken van mogelijke oplossingen, de nodige realiteitszin aan de dag te leggen. We hebben heel veel waardering voor het werk en voor de inzet van deze beheerders en de talrijke vrijwilligers voor het gebied. Aan allen dank. We hopen dat dit rapport nuttig voor het is.

Samenvatting

Door klimaatverandering zullen in Vlaanderen de temperaturen stijgen en de kansen op watertekorten én op overstromingen toenemen.

Een goede strategie om deze klimaatverandering op te vangen is door de veerkracht van ecosystemen te versterken en uit te gaan van de natuurlijke processen: regenwater te laten infiltreren bij de bron zodat het water beschikbaar blijft in droge perioden, het bufferend en bergend vermogen van waterlopen te verhogen door ze meer ruimte te geven in hun vallei en de ruimtelijke samenhang tussen natuurgebieden te verhogen.

Het Belgische deel van het Kempen~Broek, de Vlake van Bocholt, is een zeer vlak en nat gebied waarin waterlopen terechtkomen vanuit het Kempens Plateau. Door ontwatering is er een onnatuurlijk hydrologisch systeem ontstaan dat gericht is op het diep ontwateren en het versneld afvoeren van water. Vooral de natuurwaarden en het ecologisch functioneren worden hierdoor negatief beïnvloed. Nochtans heeft het Kempen~Broek grote potenties om als natuurlijke klimaatbuffer te functioneren. Door herinrichting en natuurontwikkeling kunnen de infiltratiecapaciteit, de sponswerking van moerassen en het bergend vermogen van de waterlopen vergroot worden. Dit, gecombineerd met het herstel van de variatie aan milieucondities en van de interne connectiviteit, versterkt de totale veerkracht van het gebied en daarmee de mogelijkheid om de gevolgen van klimaatverandering voor de verschillende functies ervan, op te vangen.

Uitgaande van de belangrijkste operationele en conditionele processen is een overzicht van de bouwstenen gemaakt die in het Kempen~Broek gebruikt kunnen worden om de natuurlijke veerkracht te reactiveren en een aanpassing aan de gevolgen van klimaatverandering mogelijk te maken. Deze bouwstenen zijn toegepast op de belangrijkste watergebonden knelpunten die zich momenteel voordoen in het gebied.

English abstract

Due to climate change, average temperature in Flanders will rise and the risk of water shortage during dry periods, as well as inundations will increase.

An effective strategy to adapt to the effects of climate change, is to strengthen the resilience of ecosystems and to rely on natural processes. In that sense, it is necessary to increase infiltration of precipitation so that sufficient water supply is ensured during dry periods, to restore the storage capacity of watercourses by preserving ample free space in the river valleys, and by increasing the spatial coherence of nature areas.

The Belgian part of the Kempen~Broek, the 'Plain of Bochelt', is a very flat and wet area, dissected by watercourses coming from the Campine Plateau. Through reclamation and development of the area, the natural hydrological system was changed fundamentally, in order to allow deep drainage and to obtain a fast and increased discharge. The negative impact of this evolution on ecosystem functioning and biodiversity is obvious. However, the Kempen~Boek has good potentials to function as a natural 'climate buffer'. Restructuring and nature development projects may increase the total infiltration capacity of the area, the water retention capacity of marches and rivers. This, together with the restoration of environmental quality and variation and of the internal connectivity, may strengthen the resilience of the ecosystems and hence, the capacity to neutralize the negative effects that climate change can have on the different functions of the area.

Based on the most important ecosystem and hydrological processes, an overview is compiled of 'building blocks' that can reactivate the resilience and may be applied in the Kempen~Broek in order to make the area more adapted to climate change. These building blocks are discussed in relation to the main water related problems of the area.

Inhoudsopgave

Dankwoord/Voorwoord	4
Samenvatting.....	5
English abstract	6
1 Inleiding.....	10
1.1 Te verwachten klimaatverandering	10
1.2 Gevolgen van klimaatverandering voor de waterhuishouding	10
1.3 Gevolgen van klimaatverandering voor natuurbranden	12
1.4 Gevolgen van klimaatverandering voor economie, natuurlijke omgeving en sociaal leven	12
1.4.1 Economie	12
1.4.2 Ecologie	15
1.4.3 Sociale aspecten	18
1.5 Hoe klimaatverandering opvangen?	19
1.5.1 Problemen	22
1.5.2 Principes voor oplossingen in het landelijk gebied	26
2 Uitwerking voor Kempen~Broek	29
2.1 Huidige waterhuishouding in het Kempen~Broek	29
2.2 Klimaatadaptief Kempen~Broek	30
2.3 Bouwstenen	32
2.3.1 Rechtstreekse voordelen voor de mens (landbouw, leefomgeving, veiligheid, ...)	32
2.3.1.1 Infiltratie	32
2.3.1.2 Waterbuffering	33
2.3.1.3 Waterberging	34
2.3.1.4 Droogte.....	38
2.3.1.5 Waterzuivering.....	38
2.3.1.6 Zomerbranden	43
2.3.2 Gunstig voor soortenbiodiversiteit	44
2.3.2.1 Kernpopulaties vergroten	45
2.3.2.2 Populaties verbinden.....	45
2.3.2.3 Negatieve impact van barrières door wegen wegwerken en ontsnippering mogelijk maken	46
2.3.2.4 Negatieve impact van barrières in waterlopen wegwerken en ontsnippering mogelijk maken	48
3 Knelpunten in het Kempen~Broek:.....	50
3.1 Waterkwaliteit.....	50
3.1.1 Lozingspunten en overstorten	50
3.1.2 Diffuse lozingspunten afkomstig van bemesting landbouwgrond	51
3.1.3 Diffuse lozingspunten van andere afkomst.....	51
3.1.4 Opstuwing water in Lechterrietbeek	52
3.1.5 Overvloedige plantengroei in de Abeek.....	52
3.1.6 Overvloedige kruidgroei in de Itterbeek.....	53
3.2 Waterkwantiteit.....	53
3.2.1 Optimalisatie landbouwstuwten	53
3.2.2 Oude Lossing	54
3.2.3 Overstroming bedrijf Scana Noliko.....	54
3.2.4 Versnippering landbouw en natuur.....	56
3.3 Morfologie van waterlichamen	57
3.3.1 Rechtgetrokken beken	57
3.3.2 Zandvang Lozerbroekbeek.....	57

3.4	waterkwantiteit + morfologie waterlichamen.....	58
3.4.1	Overstromingen in Leuerbroek	58
3.5	Waterkwaliteit + waterkwantiteit + morfologie waterlichamen	59
3.5.1	Moerasherstel Smeetshof – Kettingdijk – Wijffelterbroek	59
3.5.2	Overstromingen Opitter.....	61
3.5.3	Herstelplan Abeek	61
3.5.4	Contersloot ten noorden van de Abeek	62
3.5.5	Natuurontwikkeling in de Itterbeekvallei.....	63
3.6	Obstructies.....	64
3.6.1	Vismigratieknelpunten.....	64
3.6.2	Wegen als ontsnipperingsknelpunten	64
Referenties		66

1 Inleiding

1.1 Te verwachten klimaatverandering

Het klimaat op Aarde verandert onder invloed van door de mens uitgestoten broeikasgassen (IPCC, 2014). De gevolgen daarvan kunnen vergaand zijn en grijpen in op alle facetten van ons leven (European Environment Agency, 2012). Ook België en Vlaanderen ontsnappen er niet aan (De Groof et al., 2006; Brouwers et al., 2015). Op basis van een 200-tal mondiale klimaatsimulatiemodellen, zijn voor Vlaanderen drie klimaatscenario's afgeleid; 'hoog', 'midden' en 'laag'. Het hoge en lage scenario komen overeen met de boven- en ondergrens van het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de volledige set beschikbare klimaatmodelprojecties voor België en geven dus de 'uitersten' weer van wat te verwachten is. Het midden klimaatscenario komt overeen met de mediaan van alle klimaatmodelprojecties (Brouwers et al., 2015). Deze drie klimaatscenario's geven voor Vlaanderen voor de volgende honderd jaar een stijging van de jaargemiddelde temperatuur aan, op korte termijn (30 jaar) tussen 0,2 °C en 2,2 °C (resp. laag en hoog scenario) en op lange termijn (100 jaar) tussen 0,7 °C en 7,2 °C (resp. laag en hoog scenario, zie Tabel 1). Voor de wintermaanden alleen kan het dan over 100 jaar gaan om een stijging tussen 0,9 °C en 6,2 °C en voor de zomermaanden tussen 0,2 °C en 8,9 °C. Extreem warme of extreem koude dagen kunnen een belangrijkere impact hebben dan veranderende gemiddelde temperaturen. Bij het lage scenario zouden extremen niet veranderen t.o.v. de huidige situatie. Bij het midden en hoog scenario echter wel, met verschillende tot tientallen dagen meer extreem warme dagen en eveneens en enkele tot opnieuw tientallen dagen minder extreem koude dagen.

1.2 Gevolgen van klimaatverandering voor de waterhuishouding

De algemene temperatuurstijging zal voor gevolg hebben dat er zowel tijdens de winter als de zomer een hogere verdamping (potentiële evapotranspiratie) zal zijn. Maar ook de hoeveelheid neerslag tijdens de winter zal stijgen, terwijl die in de zomer, behalve bij het hoge scenario, eerder zal afnemen. Doordat de verdamping de toenemende hoeveelheid neerslag voor een groot deel compenseert, zal het aantal en de omvang van overstromingen in de winter waarschijnlijk relatief beperkt blijven. De daling van de gemiddelde zomerneerslag met minder regenbuien en kleinere totale neerslaghoeveelheden, gecombineerd met de hogere potentiële evapotranspiratie, zal de laagste rivierdebieten tijdens droge zomers nog doen dalen met meer dan 50%. Hierdoor zullen de kansen op ernstig watertekort stijgen. Daarnaast worden de regenbuien in de zomer wel feller en is er een toename van het aantal zomeronweders en van extremere onweders te verwachten. Een gevolg daarvan is een hogere kans op riooloverstromingen. Het zeeniveau aan de Belgische kust tenslotte, zou kunnen stijgen met 60 tot 200 cm. Tabel 1, overgenomen uit het MIRA Klimaatrapport 2015 (Brouwers et al., 2015) geeft een samenvattend overzicht van de mogelijke klimaatverandering voor Vlaanderen en België, volgens het laag, midden en hoog klimaatscenario over 30, 50 en 100 jaar.

Overzicht van de mogelijke klimaatverandering voor Vlaanderen en België, volgens het laag, midden en hoog klimaatscenario over 30, 50 en 100 jaar

verandering voor	over aantal jaar	klimaatscenario			bijkomende info
		laag	midden	hoog	
jaargemiddelde temperatuur	30	+0,2 °C	+1,1 °C	+2,2 °C	De kust heeft een temperende werking op de opwarming, maar het effect is klein ten opzichte van de verwachte klimaatverandering.
	50	+0,3 °C	+1,8 °C	+3,6 °C	
	100	+0,7 °C	+3,7 °C	+7,2 °C	
gemiddeld aantal extreem warme dagen per jaar	30	0	+5	+19	Het aantal extreem warme dagen neemt het sterkst toe in het centrum van België.
	50	0	+8	+32	
	100	0	+16	+64	
gemiddeld aantal extreem koude dagen per jaar	30	0	-2	-10	Het aantal extreem koude dagen neemt het sterkst af in de Ardennen.
	50	-1	-4	-17	
	100	-1	-7	-33	
totale winter- neerslag	30	-0,4 %	+3 %	+11 %	De winterneerslag neemt sterker toe langs de kust.
	50	-0,6 %	+6 %	+19 %	
	100	-1 %	+12 %	+38 %	
totale zomer- neerslag	30	-16 %	-4 %	+5 %	Extreme zomerneerslagintensiteiten kunnen sterk stijgen. Ruimtelijk tekent zich een noord-zuidpatroon af met een grotere verdroging in het zuiden van het land.
	50	-26 %	-7 %	+9 %	
	100	-52 %	-15 %	+18 %	
aantal natte dagen in winter	30	-1 %	+0,5 %	+2 %	
	50	-2 %	+0,8 %	+4 %	
	100	-5 %	+1,5 %	+8 %	
aantal natte dagen in zomer	30	-12 %	-5 %	+1 %	
	50	-21 %	-8 %	+2 %	
	100	-41 %	-15 %	+4 %	
totale potentiële evapotranspiratie in winter	30	+0,5 %	+3 %	+11 %	
	50	+1 %	+6 %	+18 %	
	100	+2 %	+12 %	+35 %	
totale potentiële evapotranspiratie in zomer	30	+0,5 %	+5 %	+14 %	
	50	+1 %	+8 %	+23 %	
	100	+2 %	+17 %	+47 %	
daggemiddelde windsnelheid in winter	30	-8 %	0 %	+3 %	
	50	-14 %	-0,5 %	+6 %	
	100	-28 %	-1 %	+11 %	

Bron: KU Leuven in MIRA Onderzoeksrapport 'Actualisatie en verfijning klimaatscenario's tot 2100 voor Vlaanderen' (2015).

Tabel 1 Mogelijke klimaatverandering voor Vlaanderen en België, volgens het laag, midden en hoog klimaatscenario

Vooraf voor wat water betreft, zijn de gevolgen van klimaatverandering op lokaal vlak ook afhankelijk van wat er in de naburige regio's gebeurt. Het stroomgebied of hydrografisch bekken is dan de meest aangewezen geografische eenheid om die gevolgen en mogelijke antwoorden erop, te analyseren. Omdat de waterlopen van het Kempen~Broek deel uitmaken van het Maasbekken, is het dus van belang om de veranderingen in Wallonië en Noord-Frankrijk en in Nederland te kennen. Voor het kleine Maasstroomgebied in Noord-Frankrijk is een duidelijke evolutie in debieten als gevolg van klimaatverandering moeilijk te geven. Tegen het einde van de 21^{ste} eeuw zijn een toename van de hele lage debieten en

van verdroging echter waarschijnlijk (François et al., 2011). In Nederland wordt dan weer een toename van het aantal overstromingen waarschijnlijk geacht (KNMI, 2015). De 'positie' van Vlaanderen ligt daar tussenin. De kans op perioden met watertekorten stijgt, maar een eventuele evolutie naar meer overstromingen is nog onduidelijk (Brouwers et al., 2009). Maatregelen ten aanzien van de gevolgen van klimaatverandering op hydrologisch vlak zullen in het Vlaamse deel van het Maasbekken daarom zowel met het beperken van overstromingsrisico's als met het voorkomen en opvangen van watertekorten te maken hebben. In veel gevallen zal dit neerkomen op het principe van 'bergen aan de bron'. Op deze manier kunnen niet enkel de interne problemen aangepakt worden, maar wordt er ook bijgedragen aan het voorkomen of beperken van problemen stroomafwaarts (Nederland: overstromingen) en stroomopwaarts (Wallonië en Frankrijk: verdroging).

1.3 Gevolgen van klimaatverandering voor natuurbranden

Een ander gevolg van klimaatverandering waarmee rekening gehouden moet worden, is de verhoogde kans op natuurbranden. Omdat voor veel plantensoorten de groeiomstandigheden zullen verbeteren, zal ook de productiviteit stijgen, wat betekent dat er meer biomassa, de potentiële brandstof, opstapelt en zo de kans op ongewilde natuurbranden toeneemt.

Aan de andere kant is een gevolg van de mildere winters dat het groeiseizoen vroeger start. In de vroege lente die nu in onze streken een brandgevaarlijke periode is door de combinatie van opgestapeld strooisel en uitdrogende oostenwinden, zal er dan meer fris groen zijn, met als gevolg dat de kans op natuurbranden in die periode kan afnemen.

Tenslotte betekenen de intensere en langere droogteperiodes tijdens de zomer een vergroting van het risico. Algemeen wordt er zo verwacht dat in onze streken door de klimaatverandering vooral het risico op zomerbranden zal toenemen (Albertson et al., 2010).

1.4 Gevolgen van klimaatverandering voor economie, natuurlijke omgeving en sociaal leven

Klimaatverandering zal direct en indirect gevolgen hebben voor de economie, de natuurlijke omgeving en het sociale leven. Dit is uitvoerig beschreven door De Groof et al. (2006). Hier gaan we in op de aspecten die van belang zijn voor het ruimtegebruik in het Kempen~Broek.

1.4.1 Economie

Bewoning. Traditioneel vestigden mensen zich dichtbij waterlopen. Het waren vruchtbare plaatsen voor landbouw, er was voldoende water aanwezig voor het dagelijks leven en de waterlopen konden gebruikt worden om energie op te wekken en voor transport. Bij een toename van overstromingen kunnen deze locaties een risico inhouden en kan het wenselijk zijn om ze te aan te passen aan de nieuwe omstandigheden. In het Kempen~Broek zijn er zo enkele overstromingsgevoelige plaatsen in de directe omgeving van bewoning en waterlopen gelegen (zie figuur 1).

Watertoets - Overstromingsgevoelige gebieden 2014

- Niet overstromingsgevoelig
- Effectief overstromingsgevoelig
- Mogelijk overstromingsgevoelig

Figuur 1 Overstromingsgevoelige gebieden in het Kempen~Broek

Landbouw. De grootste problemen die bij klimaatverandering te verwachten zijn voor de landbouw, zijn de beschikbaarheid van voldoende water tijdens de zomer en de schade door extreme weersomstandigheden. Voor gewassen leiden temperatuurstijgingen vanaf 2°C met het actuele grondgebruik tot een daling van de mogelijke opbrengst en veroorzaken neerslagtekorten gereduceerde groei. Verhoogde CO₂-concentraties kunnen dan weer een positieve invloed hebben op de productiviteit (Gobin et al., 2008). Of de positieve en negatieve effecten elkaar opheffen is afhankelijk van de gewassen. Het langere groeiseizoen en het hogere CO₂-gehalte leveren een voordeel op voor de groei van gewassen (Bresser et al., 2005; Olesen, 2012). Maar watertekorten kunnen dit teniet doen. Voor de meeste huidige gewassen worden oogstverliezen verwacht, die groter zijn bij sterkere klimaatverandering. Diepwortelende gewassen hebben dan voordeel, maar dan nog kan de zaadvorming en rijping door droogtestress tot een lagere productie leiden. De oogstverliezen zijn echter het grootst voor ondiep wortelende planten zoals suikerbiet en kunnen bij het hoog scenario oplopen tot 30%, zeker wanneer deze gewassen op zandige bodem groeien (Gobin et al., 2008). Het vee kan door de minder strenge winters langer buiten grazen, wat theoretisch een licht voordeel oplevert (De Groof et al., 2006). Hittestress bij een toenemend aantal extreem warme dagen kan dan weer afname van voedselopname en dus een lagere productie voor gevolg hebben. Warmte en een veranderd neerslagpatroon kunnen daarenboven tot meer ziektes leiden die ook een negatieve impact op de productie hebben. Met modelberekeningen komen Gobin et al. (2008) zo tot bijvoorbeeld verliezen tot 9% voor schapen en 8% voor runderen.

Bosbouw. Klimaatverandering beïnvloedt houtproductie op verschillende manieren (zie tabel 2; Van der Aa et al., 2015). Sommige processen die in gang gezet worden door klimaatverandering hebben een negatief effect op die groei, andere een positief. De sterkte daarvan, tot zelfs het positieve of negatieve ervan, zijn bij gelijke klimaatbeïnvloeding, afhankelijk van de kenmerken van de standplaats en de geografische locatie, maar ook van de soort en de leeftijd van bomen, van andere belastingen zoals stikstofdepositie die van invloed zijn op de standplaats, van het bosbeheer en de bosexploitatie. Daardoor is het moeilijk om algemeen geldende gevolgen van klimaatverandering op houtproductie te geven (Van der Aa et al., 2015).

Driver	Proces	Effect
CO ₂ -stijging	bemestende functie	meer groei
	beïnvloeden van fysiologie	minder respiratie grotere bladoppervlakte
Stijging gemiddelde temperatuur	langer groeiseizoen	meer groei
	verhoogd vorst risico	schade, minder groei
	gebrek aan koude dormantieperiode	moeilijker verjonging
Warmere zomertemperatuur Minder neerslag in de zomer	droogte	minder groei beschadiging

Tabel 2 De processen en effecten m.b.t. boomgroei als gevolg van klimaatverandering

Stijging van het CO₂-gehalte ('koolstofbemesting') en de temperatuur hebben eerder een positief effect op de boomgroei. Voor naaldbomen gaat het in de eerste plaats om de CO₂-concentratie, voor loofbomen om het langere groeiseizoen. Andere standplaatsfactoren kunnen deze effecten echter tegenwerken. Zomerdroogte, ziektes en aantastingen van bomen kunnen een negatief effect hebben op de boomgroei. Ook de kwaliteit van boomhout, bepaald door het aandeel takken, de houtdensiteit en de vorm van bomen, kan beïnvloed worden door aspecten van klimaatverandering. Bosexploitatie zonder beschadiging van de bosbodem en zo op het gehele bosecosysteem, kan moeilijker worden.

Samenvattend komen Kint et al. (2012) en Van der Aa et al. (2015) tot het besluit dat het patroon van de individuele boomgroei i.f.v. klimaat, zoals die tot nu toe is vastgesteld, voor verschillende soorten verschillend is. Voor zomereik gaat het om een stijgende trend, voor beuk om een dalende, terwijl voor den geen wijziging te zien is. Voor de bestandsaanwas in relatie tot klimaat is het zeer moeilijk om een eenduidig effect vast te stellen. Hiervoor is er te veel interactie met beheer.

Transport. Bij warm weer zijn er problemen te verwachten door congestie van wegen als gevolg van toerismeverkeer naar de kust of de Ardennen. Ook beschadigingen van het wegdek kunnen zorgen voor vertragingen (en bijgevolg economisch verlies). Bij langdurige hitte kan een tekort aan water in kanalen het transport over water verhinderen. Tenslotte hebben maatregelen die ingevoerd worden om broeikasgassen te verminderen ook een rechtstreekse invloed op de economische situatie van de transportbedrijven (De Groof et al., 2006).

Toerisme. Door het warmere klimaat worden vakantiebestemmingen in België aantrekkelijker (De Groof et al., 2006) en zou het aantal toeristen in het Kempen~Broek kunnen toenemen. Door de verkoelende invloed van de bossen en moerassen kan het gebied op zeer warme dagen aangenaam zijn voor een daguitstap. Anderzijds kunnen schadelijke plaaginsecten zoals de processierups in bepaalde periodes van het jaar toeristen afschrikken. Door het warmere klimaat kan ook de behoefte aan nieuwe recreatiegebieden toenemen (Bresser et al., 2005), wat de druk op de open ruimte (landbouwsector, natuursector) en op de rust in het gebied doet toenemen. In de recreatiegebieden stijgt het risico op watergebonden ziektes.

Algemeen. In de economie speelt water op verschillende manieren een rol. Het wordt gebruikt als drinkwater, als proces- en koelwater, in de landbouw is het onmisbaar voor irrigatie en als drinken voor dieren, als rivier of kanaal is het een belangrijk transportmiddel en voor de recreatie vormt het een belangrijke aantrekkingspool. Tijdens lange, droge periodes kunnen er conflicten optreden tussen deze sectoren en functies en zullen er keuzes gemaakt moeten worden i.v.m. het gebruik van water (De Groof et al., 2006).

1.4.2 Ecologie

Biodiversiteit en het ecologisch functioneren staan al geruime tijd onder druk door vermesting (o.a. stikstofdepositie), verdroging, verzuring, versnippering, e.d. De effecten van klimaatverandering komen hier nog eens bovenop. Hierdoor kan de impact van de 'klassieke' verstoringen nog versterkt worden. Eenduidigheid hierover is er echter niet. Wel staat vast dat bijvoorbeeld de negatieve invloed van toenemende stikstofconcentraties versterkt wordt. Over het algemeen ziet men dat de herstelkansen van een ecosysteem na verstoringen, verder afnemen door de klimaatverandering. Uitgebreide informatie over de gevolgen van klimaatverandering op biodiversiteit en het ecologisch functioneren, wordt gegeven door Van der Aa et al. (2015).

De effecten van klimaatverandering op biodiversiteit en ecosystemen kunnen tot een aantal processen teruggebracht worden.

- De geografische spreiding van soorten: het areaal van soorten wijzigt doordat abiotische omstandigheden niet meer gunstig zijn of net gunstig worden; soorten 'schuiven op'.
- De levenscyclus (fenologie) van sommige soorten: belangrijke processen en gebeurtenissen verschuiven in de tijd en vinden op een ander tijdstip plaats; bijvoorbeeld aankomst in het voortplantingsgebied, bloei, zaadzetting.
- De interacties tussen de organismen: verstoring in relaties tussen soorten door niet-synchrone verschuivingen in activiteitspatronen, locatie en abundantie, prooi-predator verhoudingen, veranderingen in structuur en ontwikkeling van habitat.
- De uitbreiding van invasieve soorten: inname van niches, verdringing van soorten, verstoring van bestaande verhoudingen tussen soorten.
- Het opduiken van schadelijke soorten en ziektes.

Om een antwoord te bieden op de gevolgen van klimaatverandering voor de biodiversiteit en het ecologisch functioneren, zullen de natuurlijke systemen robuuster moeten gemaakt worden door de veerkracht te vergroten en de stressfactoren die op natuur inwerken, weg te nemen. Herstel van de optimale milieucondities voor de verschillende ecosystemen is daarvoor noodzakelijk. Daarnaast is het even belangrijk om leefgebied en geschikt biotoop voor de verschillende soorten te vergroten. Voldoende oppervlakte natuur moet grote en duurzame populaties garanderen, terwijl interne variatie aan milieukeurmerken en gradiënten tijdelijk uitwijken naar meer geschikt habitat moet mogelijk maken. Dit laatste wordt ook bereikt door natuurgebieden met elkaar te verbinden tot functionele netwerken die migratie en het vinden van nieuw geschikt habitat mogelijk maken. Wanneer door klimaatverandering 'eenvoudig' herstel van de optimale milieucondities niet voldoende is, is specifiek effectgericht beheer nodig. Tenslotte is het behoud van een zo hoog mogelijke genetische, soorten- en structuurdiversiteit essentieel (Demey et al., 2015).

Moerassen. Moerassen hebben dikwijls een complexe waterhuishouding met wisselende aandelen water van verschillende oorsprong: oppervlakte-, grond- en neerslagwater. Hun ligging in het landschap en de opbouw van bodem en vegetatie, maken dat het waterbuffers zijn die regenwater kunnen bijhouden in natte periodes en weer afgeven aan de omgeving in droge periodes. Als in moerassen een veenbodem ontwikkeld is, dan kunnen ze bovendien grote hoeveelheden koolstof vastleggen. Over een dikte van één meter kan zo de hoeveelheid opgeslagen koolstof 2 tot 6 maal hoger zijn dan in andere bodems (Jacobs et al., 2010). Moerasontwikkeling zorgt bijgevolg voor een lager CO₂-gehalte in de lucht, terwijl de verdroging en vernietiging of ontginning van moerassen dit gehalte doet stijgen en dus een nadelig gevolg heeft op het broeikas effect (De Groof et al., 2006). De met klimaatverandering gepaard gaande peilwisseling zal uitdroging en inklinking van de bodem tot gevolg hebben. Hogere temperaturen en minder neerslag zullen bovendien leiden tot verzuring en tot interne eutrofiëring door mineralisatie, waardoor successie versneld optreedt en verlanding plaatsvindt. De impact van de toegenomen neerslaghoeveelheden en drogere zomers op het kwelwater en op de moerassen hangt af van de plaatselijke situatie en is moeilijker te voorspellen (Besse-Lototskaya et al., 2011). In tabel 3 zijn de processen en effecten die bij klimaatverandering in moerassen kunnen optreden, samengevat (Van der Aa et al., 2015).

Klimaatfactor	Mogelijke abiotische respons(keten)				Effect
Hogere jaartemperatuur/ Meer warmte dagen in de zomer	verhoogd risico op brand	toename mineralisatie			habitatverlies/versnippering
					eutrofiëring
	verhoogde evapotranspiratie	daling grondwatertafel/ verlaging GLG	toename mineralisatie		verdroging
					eutrofiëring
					verzuring
	toename mineralisatie	verhoogd risico op brand		toename mineralisatie	habitatverlies/versnippering
					eutrofiëring
					verzuring

Nattere winter	stijging grondwatertafel / verhoging GHG			vernatting
	toename kwel			
	verhoogde oppervlakkige afvoer water	verhoogde kans op piekafvoer	toename overstromingsfrequentie, -duur en -diepte	eutrofiëring
				vernatting
			verontreiniging	
Extreme neerslag	verhoogde kans op piekafvoer	toename overstromingsfrequentie, -duur en -diepte	eutrofiëring	
			vernatting	
			verontreiniging	
Zomerdroogte	verhoogd risico op brand	toename mineralisatie		habitatverlies/versnippering
				eutrofiëring
	dalend grondwatertafel/ verlaging GLG	toename mineralisatie		verdrogting
				eutrofiëring
				verzuring
		verhoogd risico op brand	toename mineralisatie	habitatverlies/versnippering
eutrofiëring				

Tabel 3 De processen en effecten m.b.t. moerassen als gevolg van klimaatverandering. Bron: Van der Aa et al. (2015)

Waterlopen. De invloed van klimaatverandering op de ecosystemen van waterlopen en hun oevers of overstromingsvlakten, is complex. De effecten die ecosystemen en biodiversiteit kunnen ondervinden, zijn in de eerste plaats het gevolg van veranderingen in het afvoerregime en dus de debieten en de variatie daarin. Voor onze veelal gereguleerde waterlopen die gekenmerkt zijn door een veel meer gelijkvormige structuur en dynamiek dan onder de natuurlijke omstandigheden, kan een toename van de debietdynamiek betekenen dat ook de variatie in (micro)habitat en structuur in en langs de waterloop toeneemt. Het tijdstip waarop extremere debieten met verhoogde stroomsnelheden optreden en de frequentie ervan, zijn eveneens bepalend. Grote debieten kunnen leiden tot overstroming van delen van de oeverlanden en valleien. Deze inundaties hebben eveneens gevolgen voor de ecosystemen daarvan. Over het algemeen hebben inundaties gedurende de winter kleinere effecten dan tijdens de zomer. Veel is afhankelijk van de zuurstofhuishouding die beïnvloed wordt, van eventuele toxische stoffen en van de nutriëntenvrucht die door het water in het ecosysteem gebracht worden en van de mate waarin interne eutrofiëring optreedt (zie figuur 2; Staes et al., 2011).

Figuur 2 De processen en effecten m.b.t. inundatie op biodiversiteit van oevers en overstromingsgebied. Bron: Staes et al. (2011)

De wisselwerking tussen het tijdstip waarop een overstroming plaatsvindt, de frequentie ervan en de waterdiepte die ontstaan, en de impact die dat heeft op ecosysteemprocessen en –kenmerken, is voorgesteld in figuur 3 (Staes et al., 2011)

Figuur 3 Impact van frequentie, tijdstip en diepte van overstromingen op ecosysteemprocessen. Bron: Staes et al. (2011)

1.4.3 Sociale aspecten

De sociale gevolgen van klimaatverandering zijn immens en zeer verscheiden. De kwetsbaarheid is afhankelijk van de sociale en economische weerbaarheid en de mogelijkheden die men heeft. Door het allesomvattende karakter van deze sociale dimensie, is een integrerend beleid hier de enige optie (zie ook WHO, 2011).

Lokaal en op korte termijn kan voor bepaalde personen, bijvoorbeeld deze die profiteren van toerisme, de klimaatopwarming voordelen opleveren. Voor andere, kwetsbare personen zal het ook in onze streken eerder om nadelen gaan. Er kan immers verwacht worden dat er meer gezondheidsrisico's zullen optreden met een direct effect op de levenskwaliteit, gezondheid en de economie. In onze streken veroorzaken hitteperiodes nu al een toenemend aantal sterfgevallen. In de zomer van 2015 bijvoorbeeld, werden in totaal 32 dagen met een maximumtemperatuur hoger dan 25 °C gemeten. 7 dagen oversteeg de maximumtemperatuur 30 °C, en 6 dagen bleef de minimumtemperatuur boven 18 °C hangen. De meest intense hitteperiode duurde 8 dagen van 30 juni tot 7 juli. Op 5 van die dagen werd ook een gemiddelde ozonconcentratie boven 120 µg/m³ gemeten. Deze hoge temperaturen en ozonconcentraties vielen samen met een significante oversterfte van +20% van 1 tot 5 juli (Vlaamse Milieumaatschappij, 2016). In heel algemene termen, kan door klimaatverandering een toename van de volgende effecten verwacht worden (De Groof et al., 2006; Jarosinska et al., 2012; Centers for Disease Control and Prevention; figuur 4).

- ziektes veroorzaakt door hittegolven
- meer allergieën door o.a. een langer grasgroeiseizoen en het oprukken van schadelijke soorten als de processierups
- voedsel- en watervergiftigingen: salmonella, botulisme, cryptosporidiosis, cyanobacteriën
- ziektes overgebracht door teken en andere vectoren: TBE, Lyme
- natuurrampen kunnen ziekten veroorzaken door gebrek aan eten en de aanwezigheid van vervuild water
- dunnere ozonlaag: meer blootstelling aan licht en UV: kanker, katarakt, e.d.

Figuur 4 Algemene effecten van klimaatverandering op volksgezondheid

1.5 Hoe klimaatverandering opvangen?

Door mitigatie- adaptatiemaatregelen wil men een antwoord bieden aan de problemen die gepaard gaan met klimaatverandering. Bij mitigatie die tot een vermindering van de snelheid en de omvang van klimaatverandering moeten leiden, gaat het om preventie. Dit wordt enerzijds nagestreefd door reductie van de uitstoot van broeikasgassen door de emissie ervan te verminderen en CO₂ op te slaan en anderzijds door het gebruik van duurzame energiebronnen. Bij adaptatie, die de nadelige gevolgen van klimaatverandering moeten beperken, gaat het om aanpassingen aan een veranderende omgeving door een ruime waaier van maatregelen. Beide strategieën moeten uitgewerkt en in praktijk gebracht worden en dit op de verschillende ruimtelijke en beleidsniveaus. Voor Vlaanderen keurde de Vlaamse Regering op 28 juni 2013 het **Vlaams Klimaatbeleidsplan 2013-2020** goed (Vlaamse Regering, 2013) dat bestaat uit het **Vlaams Mitigatieplan 2013-2020** en het **Vlaams Adaptatieplan**. Op 1 december 2016 werd dan het **Vlaams Klimaat- en Energiepact** (Vlaamse Regering, 2016) afgesloten met concrete engagementen voor zowel de overheid als andere maatschappelijke en private actoren. De provincie Limburg heeft een eigen klimaatbeleid uitgewerkt, '**Limburg Klimaatneutraal in 2020**' (Provincie Limburg, 2012), waar gemeenten met eigen plannen verder op inspelen. Het Nederlands gedeelte van het Kempen~Broek tenslotte, maakt deel uit van een van de projecten van de '**coalitie Natuurlijke Klimaatbuffers**'. Deze samenwerking van 8 Nederlandse natuurorganisaties heeft als doel natuurlijke processen letterlijk meer ruimte te geven en te gaan gebruiken om de gevolgen van klimaatverandering op te vangen (zie: <http://www.klimaatbuffers.nl>). Klimaatbuffers zijn dan de gebieden waar die benodigde ruimte gerealiseerd wordt en waar water en natuur meegekoppeld worden met toekomstige waterbeheerplannen. Voor het Nederlandse deel liep dit klimaatproject van 2010 tot 2014 en resulteerde in talrijke acties (Pel & ARK Natuurontwikkeling, 2014). Voor het gehele Kempen~Broek worden in het voorliggend rapport bouwstenen en verder te ondernemen acties voorgesteld.

In het klimaatadaptatiebeleid wordt onderscheid gemaakt tussen maatregelen die uitgaan van een traditioneel - technische aanpak, de '*grey infrastructure approaches*', maatregelen die gebaseerd zijn op natuurlijke processen, de '*green infrastructure approaches*' en

maatregelen die betrekking hebben op governance, adaptief gedrag, sturing naar een duurzaam milieu- en ruimtegebruik, de 'soft approaches' (European Environment Agency, 2012b). De potentiële maatregelen van de klimaatbuffers voor het Kempen~Broek zijn duidelijk allemaal 'green infrastructure approaches'.

Als het gaat om adaptatiemaatregelen voor biodiversiteit en ecosystemen of om maatregelen die gebaseerd zijn op natuurlijke processen, dan zullen die maar effectief zijn wanneer op landschapsschaal de vereiste kenmerken aanwezig zijn of kunnen gegarandeerd worden. Het gaat dan om functionele samenhang (abiotisch en biotisch), voldoende oppervlakte, ligging van deelgebieden ten opzichte van elkaar, geschikte abiotische omstandigheden. Op die manier kan een '**klimaatbestendig landschap**' ontstaan. Dat wordt bereikt als de *landschapskwetsbaarheid* en de *landschapsdegradatie* laag zijn. Landschapskwetsbaarheid is de combinatie van blootstelling aan klimaatverandering en buffering door aanwezige milieugradiënten. Landschapsdegradatie houdt verband met de mate dat een gebied beschermd is, de connectiviteit tussen deze gebieden of natuurlijke systemen en de condities van het tussenliggende gebied. Demey et al. (2015) onderscheiden zo vier landschapstypen (zie figuur 5): *veerkrachtige landschappen* (intact en weinig kwetsbaar), *gevoelige landschappen* (gedegradateerd en kwetsbaar), *vatbare landschappen* (intact maar kwetsbaar) en *resistente landschappen* (gedegradateerd maar weinig kwetsbaar). In het algemeen kunnen we stellen dat het Kempen~Broek tot de resistente landschappen behoort. Het gebied is wel sterk versnipperd, maar er is nog een grote milieuvariatie, zeker in de beekdalen en de contactzones hiermee. Onder die omstandigheden zijn het uitbreiden van de beschermde gebieden en de verbetering van de connectiviteit ertussen en van de kwaliteit van de omgevende gebieden, aangewezen om de resistentie van het geheel te verhogen.

Figuur 5 Indeling van landschappen naar kwetsbaarheid voor klimaatverandering en mate van landschapsdegradatie (Demey et al., 2015)

Algemene groene maatregelen (green infrastructure) om klimaatfactoren aan te pakken.

Ten aanzien van temperatuursverhoging:

Groen en water hebben een verkoelende invloed op de leefomgeving. Beplanting en water onder verschillende vormen en in voldoende mate voorzien, wordt algemeen gezien als een van de belangrijkste strategieën om te hoge temperaturen te voorkomen (Andriess et al., 2007). Zeker in stedelijke gebieden, waar bebouwing de warmte vasthoudt en er veel bijkomende warmte geproduceerd wordt, moet voldoende groen aangeplant worden en open water aanwezig zijn, om deze gebieden leefbaar te houden (European Environment Agency, 2012; Hiemstra et al., 2008).

Ten aanzien van water:

Het algemene principe is, dat ervoor gezorgd moet worden dat het watersysteem extremen kan opvangen en dus veerkrachtig is ten aanzien van overstromingen en droogte.

Doordat de mens jarenlang de natuur naar zijn hand heeft gezet door beken recht te trekken, te ontwateren, dijken aan te leggen, e.d., heeft deze natuur een groot deel van zijn veerkracht verloren. Het is net die veerkracht die de extreme weersomstandigheden die verwacht worden, kan opvangen waardoor er minder schade veroorzaakt wordt. Deze veerkracht kan herwonnen worden door water lokaal vast te houden in perioden van wateroverschot of wateroverlast, zodat dit water daar aanwezig blijft voor tijden van watertekort of droogte. Vanuit dit idee is het Nederlandse klimaatbufferproject ontstaan (Litjens et al., 2006; <http://www.klimaatbuffers.nl/>), een project dat de basis vormt voor klimaatmaatregelen die ook in het Belgische deel van het Kempen~Broek genomen kunnen worden.

Ten aanzien van biodiversiteit:

De belangrijkste strategie bestaat erin om op verschillende ruimtelijke schalen voldoende heterogeniteit in milieucondities en variatie in habitatstructuur te verzekeren. Daardoor kunnen soorten en populaties, al dan niet tijdelijk, uitwijken naar meer geschikte plaatsen wanneer omstandigheden op een bepaalde plek niet optimaal meer zijn. Op dezelfde manier gebeurt er een risicospreiding waardoor de kans vergroot dat het reproductieproces niet overal even sterk verlaagt bij extreme (weers)omstandigheden of veranderingen in het milieu. De noodzakelijke heterogeniteit en variatie kunnen binnen een natuurgebied, maar moet ook tussen natuurgebieden bestaan. Vooral in het laatste geval moeten natuurgebieden dan onderling bereikbaar zijn voor de soorten. Dat betekent dat er echt functionele corridors moeten komen en dat het tussenliggend landschap doorkruisbaar moet zijn. Door de klimaatopwarming schuiven veel soorten in onze streken naar het noorden op (Marx, 2012), waardoor het dus belangrijk is voor weinig mobiele soorten dat er functionele migratieroutes van zuid naar noord aanwezig zijn. De ruimtelijke samenhang tussen natuurgebieden moet dus verhoogd worden (Besse-Lototskaya et al., 2011).

Het vergroten van gebieden en geschikt habitat, is een andere belangrijke opgave. Dat moet garanderen dat populaties voldoende groot kunnen worden en daarmee minder kans lopen op een toevallige afname tot onder een kritisch minimum. Klimaatverandering leidt immers tot minder optimale omstandigheden, waardoor populaties gevoeliger kunnen worden. In die zin is het belangrijk dat soorten altijd toegang hebben tot een voor hen geschikt biotoop.

Demey et al. (2015) beschrijven de volgende algemene adaptatiemaatregelen:

- *Identificeren van klimaatrefugia en verzekeren van het goede beheer ervan.* Het kan hierbij gaan om landschappelijke eenheden zoals valleien met veel kwel die tijdens perioden van droogte refugia kunnen zijn of noordgerichte hellingen gedurende perioden met hoge temperaturen koelte verzekeren. Op kleine schaal betreft het de

- lokale variatie in abiotische omstandigheden met bijvoorbeeld plaatselijke meer permanente natte plekken.
- *Verbindingen doorheen de landschapsmatrix.* Hier gaat het om verschillende maatregelen die doorkruisbaarheid van het landschap en bereikbaarheid van geschikte biotopen, mogelijk maken.
 - *Continuïteit van beheervormen over milieugradiënten heen.* Hiermee wordt bedoeld dat eenzelfde beheervorm over het geheel van een milieugradiënt toegepast wordt. Daarnaast worden geleidelijke overgangen tussen habitattypes nagestreefd.
 - *Waterbuffering en integraal waterbeheer.* Het doel hiervan is om water niet versneld of onnatuurlijk te laten wegvloeien en een optimale aanvulling van de watervoorraad te verzekeren. Water met de geschikte kwaliteit wordt binnen de landschappelijk samenhangende ecosystemen gehouden.
 - *Adaptief beheer.* Het instellen van monitoringvormen die actief de reacties van ecosystemen en soorten op het beheer en de wijzigende omstandigheden opvolgen, waardoor bijsturingen van het beheer tijdig kunnen gebeuren om alsnog de doelen te behalen. Eveneens kan besloten worden om de doelen aan te passen als blijkt dat het onmogelijk is ze te bereiken. Bij klimaatverandering en toenemende onzekerheid over de evolutie van de milieumomstandigheden biedt deze dynamische aanpak veel meer garantie op succes dan de statische aanpak, met strikt vastgelegde doelen per plaats.
 - *Beheer van invasieve soorten.* Speciale aandacht is hiervoor nodig omdat de kans op invasies van exoten die ongewenst veranderingen in ecosystemen kunnen veroorzaken, bij klimaatverandering blijkt toe te nemen.
 - *Geassisteerde migratie.* Waarschijnlijk zal hiermee geëxperimenteerd moeten worden om weinig mobiele soorten voldoende kansen op overleven te bieden wanneer migratie zich opdringt. Het is duidelijk dat dit steeds de laatste optie moet zijn als functionele verbindingen niet op een andere manier kunnen verzekerd worden.
 - *Beheercapaciteit en -flexibiliteit verhogen.* Dit is een beheer dat anticipeert op (tijdelijke) verschuivingen in de ontwikkeling van vegetaties en populaties als gevolg van jaarlijkse klimatologische omstandigheden (zeer nat voorjaar, erg droge zomer, verlengd vegetatie seizoen, e.d.).
 - *Opstellen van rampenplannen.* De kans op rampen, zoals oncontroleerbare natuurbranden of grootschalige overstromingen, kan toenemen bij klimaatverandering. Als men daarop voorbereid is, kan er snel en accuraat gereageerd worden.

1.5.1 Problemen

Overstromingen

In het verleden werd getracht overstromingen te voorkomen door water zo snel mogelijk af te voeren. Waterlopen werden hiervoor rechtgetrokken en bedding en oevers kregen standaardafmetingen; ze werden 'gekanaliseerd'. Als dit niet voldoende was, werden de waterlopen bedijkt. Dijken werden ook gebouwd in waterlopen met sterk wisselende waterstanden en debieten als gevolg van de getijde-inval (stroomafwaartse delen van de Schelde en bijrivieren) of van snelle en hoge piekdebieten na grote neerslag. Meestal ging het dan om één dijk, dichtbij of samenvallend met de oevers. Soms werd een zomer- en een winterdijk aangelegd; de eerste direct naast de waterloop, de tweede er verder vandaan (bijvoorbeeld langs de Grensmaas). Vooral bij waterlopen waar er weinig afstemming gebeurde tussen de afzonderlijke ingrepen, zorgde dat toch nog voor overstromingsproblemen benedenstrooms of daar waar 'flessenhalzen' gecreëerd werden. Tenslotte werden gronden in de valleien opgehoogd zodat ze hoger dan het overstromingsniveau kwamen te liggen.

De toenemende ondoordringbaarheid van de bodem door urbanisatie leidde er echter toe dat een steeds groter deel van de neerslag niet traag infiltreerde naar het grondwater, maar als oppervlakte-afvoer, de 'run off', zeer snel in de hoofdwaterloop van een hydrografisch bekken terecht kwam. De steeds toenemende debieten werden daar nog eens vergroot door water dat versneld afgevoerd werd uit landbouwgebied dat door buisdrainage ontwaterd wordt. Inbuizing van grachten en overstorten van waterzuiveringsinstallaties tenslotte,

deden de piekdebieten verder stijgen. Een rechtgetrokken beek of rivier is echter veel korter dan een natuurlijk slingerende beek en kan daardoor maar een veel kleiner volume water bevatten. Het gevolg is dat de beek sneller zal overstromen als het water benedenstrooms geremd wordt. Rechttrekken en ruimen zullen er plaatselijk wel voor zorgen dat het water er sneller afgevoerd wordt en er minder overstroomt, maar het probleem zelf wordt eerder verschoven naar de stroomafwaartse gebieden. Klimaatverandering blijkt deze situatie verder te verergeren. De klimaatscenario's voor Vlaanderen voorspellen immers, ondanks een daling van de zomerneerslag, een toename in het aantal en de grootte van hevige zomeronweders. Daardoor zal ook het aantal rioleringsoverstromingen toenemen (Brouwers et al., 2015).

Slibophoping en excessieve plantengroei zijn verder factoren die door opstopping van beken en rivieren bijdragen tot overstromingen. In een natuurlijke waterloop wordt ook slib afgezet (= sedimentatie), maar is er een evenwicht tussen deze sedimentatie en erosie, waardoor het netto bergingsvermogen van de rivier redelijk gelijk blijft. Door rechttrekking zal erosie veel minder optreden, maar sedimentatie nog wel, waardoor er een onevenwicht ontstaat en slib opgehoopt wordt. Dat is zeker zo waar de stroomsnelheid laag is of waar er met stuwen gewerkt wordt om minimale waterstanden te garanderen en die stroomsnelheid (en daarmee de erosiecapaciteit) te beperken. Door het rechttrekken vergroot het verhang van de waterloop immers. Extreme plantengroei in beken is gewoonlijk een gevolg van het zeer nutriëntrijk water afkomstig van afspoeling van landbouwwater of lozing van afvalwater. Daarnaast maken de veelal toegenomen breedte van de waterloop en de afwezigheid van hoog opgaande begroeiing op de oevers, wat niet gewenst is omdat het hinderlijk is voor het ruimen en de stabiliteit van dijken kan verlagen, dat er haast geen beschaduwing optreedt. Ook wat licht betreft is er dus geen tekort en kan de waterplantenvegetatie steeds opnieuw toenemen.

Verdroging

Tijdens droge periodes kunnen zeer lage waterstanden optreden, zowel in het oppervlakte- als het grondwater. In het Kempen~Broek kan dit in de hand gewerkt worden door de diepe drainagegrachten die er in het verleden gegraven zijn en die als doel hebben om het water zo snel mogelijk af te voeren. Als gevolg daarvan blijft er tijdens droge periodes lokaal weinig water beschikbaar. Het gaat om erg diepe greppels die bij elke slibruiming nog dieper kunnen worden, waardoor ook grondwater onttrokken wordt. Tijdens lange droge periodes zit de grondwatertafel dan zeer diep. Gewassen kunnen er niet meer bij en moeten berekend worden.

In het Kempen~Broek zijn twee waterwinningen gelegen: Vlakenhof in Maaseik-Kinrooi (De Watergroep, vroeger Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening; vergund jaardebiet 3.350.000,00 m³, vergund dagdebiet 12.000,00 m³) en Heerbaan / Opitterkiezel in Bree-Opitter (De Watergroep, vroeger Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening; vergund jaardebiet 3.290.000,00 m³, vergund dagdebiet 9.000,00 m³) (zie figuur 6).

Figuur 6. Waterwinningen (blauw aangeduid) te Maaseik-Kinrooi (boven) en Bree-Opitter (onder). Bron: Databank Ondergrond Vlaanderen

De pompelingen gebeuren op resp. 200 en 230 m diepte. Hierdoor is het weinig waarschijnlijk dat er snel bevoorradingsproblemen optreden bij tijdelijke droogte. Dat kan anders zijn voor de talrijke andere winningen, meestal van landbouwbedrijven, in het gebied. In de Databank Ondergrond Vlaanderen zijn er meer dan 200 opgenomen (zie voor overzicht Figuur 7). Bijna allemaal onttrekken ze het grondwater ondiep. Ongeveer 20% ervan gaat tot maximum 10m diepte; de helft van alle particuliere winningen haalt het water tot 20m en 85% gaat niet dieper dan 40m. Vooral de ondiepe winningen kunnen problemen krijgen bij aanhoudende droogte als het grondwater verder weg zakt en zullen zelf ook bijdragen aan die verdroging omdat er geen afdekkende kleilaag aanwezig is die de invloed van de pompelingen op het freatisch water kan tegengaan. Toenemende droogte in de toekomst kan dus ook voor de landbouw in het Kempen~Broek problematisch worden.

Figuur 7 Ligging van vergunde grondwaterwinningen. Bron: Databank Ondergrond Vlaanderen.

Nochtans maakt de ligging van het Kempen~Broek, tegen de noordostrand van het Kempens plateau, dat het gebied potentieel minder gevoelig voor verdroging is in vergelijking met andere delen van Vlaanderen. De aanvulling van het grondwater is verzekerd. Dit blijkt duidelijk uit de grondwaterstandsveranderingen, onderdeel van de grondwaterstandindicator freatisch grondwater (Databank Ondergrond Vlaanderen 2016). De veranderingen in waterstand die gedurende droge periodes optreden, zijn minder groot dan in de meeste andere gebieden van het gewest. Ter illustratie zijn hier de veranderingen voor augustus en september 2016 (figuur 8 en 9) gegeven, een relatief droge periode. Deze illustratie is indicatief; de periode is geselecteerd op basis van het maandelijks neerslagtotaal van Ukkel, in het Kempen~Broek kan er iets meer of minder neerslag gevallen zijn.

Figuur 8 Maandelijks neerslagtotaal in Ukkel in 2016. Bron: KMI, Klimatologisch jaaroverzicht, 2016
<http://www.meteo.be/meteo/view/nl/1088480-Jaarlijkse+grafieken.html>

Maandelijkse grondwaterstandsveranderingen en relatieve situering van de grondwaterstand in augustus 2016.

Maandelijkse grondwaterstandsveranderingen en relatieve situering van de grondwaterstand in september 2016.

*Figuur 9 Grondwaterstandsveranderingen in Vlaanderen over de periode van een maand.
Bron: Databank Ondergrond Vlaanderen
(<https://dov.vlaanderen.be/dovweb/html/3grondwaterstandindicator.html>)*

In augustus 2016 zijn dalende grondwaterstanden over heel Vlaanderen verspreid, behalve in het uiterste oosten, aan de Maaskant en op het Kempens plateau. Ook in september is de waterstand in het (noord)oosten op de meeste plaatsen eerder hoog of zelfs zeer hoog voor deze maand (Databank Ondergrond Vlaanderen, 2016).

1.5.2 Principes voor oplossingen in het landelijk gebied

Adaptatie aan de veranderende hydrologische omstandigheden kan bereikt worden door de natuurlijke veerkracht te reactiveren. Zoals gesteld, gebeurt dat door ruimte te laten aan en in te spelen op de natuurlijke hydrologische processen (Andriess et al., 2007; Besse-

Lototskaya et al., 2011; Litjens et al., 2006). Hierop steunt ook het **concept klimaatbuffer** in Nederland.

Klimaatbuffers hebben als belangrijkste uitgangspunten dat ze

- ruimtelijke oplossingen herwaarderen en als vertrekbasis nemen; technische maatregelen alleen volstaan niet meer;
- natuurlijke landschapsvormende processen zoals erosie, sedimentatie, duinvorming, veengroei, sponswerking, overstromingen met vruchtbaar slib, moerassen als waterzuivering, e.d., reactiveren of revitaliseren;
- meegroeien in het tempo waarin de klimaatverandering zich voltrekt; het zijn kleine projecten die in de loop van de tijd uitgebreid kunnen worden.
- water ter plaatse vasthouden om benedenstroomse overstromingen te vermijden en lokaal de kans op watertekort tijdens droge periodes verkleinen.

Het herstellen van de moerassen met natuurlijke vegetaties in de valleien en de aanplant van bossen, liggen helemaal in de lijn van deze principes en maken duidelijk hoe het inspelen op en gebruik maken van natuurlijke processen kan bijdragen aan het bereiken van maatschappelijke doelen. In het Europese beleid wordt in deze zin over 'nature-based solutions' gesproken die door de 'blauw-groene infrastructuur gerealiseerd worden (zie ook European Environment Agency, 2015). Bossen kunnen op verschillende manieren de negatieve gevolgen van global change en klimaatverandering mitigeren (zie o.a. Nisbet et al., 2011). Hun groot waterverbruik kan wateroverlast in onbeboste delen van een hydrologisch bekken voorkomen (Nisbet, 2005). Tijdens hete zomers zorgen ze voor een verkoelend effect (Andriessse et al., 2007). Open moerasvegetaties met o.a. veenmossen, kunnen water vasthouden en in drogere perioden langzaam terug afgeven, de zogenaamde sponswerking (Andriessse et al., 2007). Dit kan voor een iets hogere grondwatertafel in droge periodes in de omgeving van de moerassen zorgen. Om een natuurlijke vegetatie met veenmossen te herstellen, is wel een goede waterkwaliteit noodzakelijk.

Om de waterkwaliteit in de valleigebieden te verbeteren en extreme groei van o.a. riet en liesgras, die opstopping van beken kan veroorzaken, te vermijden, wordt het water best gezuiverd vooraleer het in het valleigebied stroomt. Dit kan door een zuiver technische zuiveringsinstallatie te plaatsen, maar ook door de vervuilde beek door enkele stroomopwaarts aangelegde rietvelden, de 'helofytenfilters', te leiden, voor ze verder in de vallei met moeras stroomt. Een bekend proefproject waarbij waterzuivering gecombineerd wordt met waterberging, het tegengaan van verdroging en de productie van biomassa, is het Waterpark Het Lankheet (NL)(de Blaey & Reinhard, 2008).

Natuurlijk meanderende beken waar de beek terug zelf haar loop bepaalt en er opnieuw een evenwicht ontstaat tussen erosie en sedimentatie, horen ook tot de natuurlijke klimaatbuffers. Slib ruimen wordt dan haast overbodig en de beek kan terug op de laagste plaats door de vallei stromen. In dit scenario worden de laaggelegen gronden naast de beken best ingericht als natuurlijke overstromingsgebieden, bv. als deel van een natuurgebied. Bij extreme neerslag kunnen ze dan vrij overstromen zonder schade te veroorzaken aan landbouw, bewoning of industrie. Bovendien kan de beek dan in de voorziene zone vrij meanderen zonder nadeel voor landbouwers, omwonenden of andere grondeigenaars. Sectoren die niet kunnen functioneren met hoge waterstanden of inundaties, worden beter verplaatst naar hoger gelegen, drogere gronden.

Om extreme droogte te vermijden, wordt er beter voor gekozen om drainagegreppels minder diep te graven en het aantal greppels per perceel te vermeerderen (Geertsema, s.d.). Op die manier zakt de grondwatertafel tijdens droge perioden minder diep weg en blijft het water beschikbaar voor de gewassen, terwijl de drainage bij regenweer even vlot verloopt. Een andere strategie is de peilgestuurde drainage (zie o.a. Waterschap Peel en Maasvallei s.d.) waarbij het water vertraagd afgevoerd wordt via regelbare drainage (Figuur 10). Experimenten hiermee lopen in Neerpelt, Bocht, Peer en Hamont-Achel als een

samenwerking tussen watering De Dommelvallei, Agrobeheercentrum Eco² en lokale landbouwers (Leader-project).

Figuur 10 Grondwaterpeilen bij conventionele en peilgestuurde drainage. Bron: Interactief waterbeheer & Stowa s.d.

Ook natuurlijke moerassystemen in de directe omgeving van landbouwgebied kunnen zorgen voor een minder diepe lokale grondwatertafel in droge periodes.

Voor diep drainerende beken kan best gekozen worden om deze te veranderen van 'diep en smal' naar 'ondiep en breed' met een grotere oppervlakte voor inundatie en meer bergend vermogen (ook boven maaiveld). Ze zullen dan minder grondwater onttrekken en beter in staat zijn om piekdebieten af te vlakken (Besse-Lototskaya et al., 2011).

2 Uitwerking voor Kempen~Broek

2.1 Huidige waterhuishouding in het Kempen~Broek

Het Belgische deel van het Kempen~Broek valt min of meer samen met de Vlake van Bocholt, een zeer vlak en overwegend nat gebied waarin de waterlopen vanuit het Kempens plateau terechtkomen. Oorspronkelijk voedden ze er enkele grote moerassen. Kwelwater, afkomstig van het Kempens plateau, stroomt hier ook naartoe. Vanuit de moerassen was er telkens één beek die het overtollige water afvoerde; de Tengelroysebeek uit het Bocholterbroek – Kreielerbroek - Wijffelterbroek, de Abeek uit het Grootbroek en de Itterbeek uit o.a. Jagersborg. Tegenwoordig worden de moerassen ontwaterd door grachtenstelsels. De ontwatering van de voormalige moerassen heeft ertoe geleid dat er nu in het gebied twee soorten waterlopen stromen, elk met eigen kenmerken:

'natuurlijke' beken

- stromen van oost (Kempens plateau) naar west door het Kempen~Broek;
- hebben een relatief hoge waterstand t.o.v. het grondwaterpeil en het maaiveld in de omgeving;
- voeren vooral water af van het stroomopwaarts gelegen Kempens plateau, terwijl de afvoer van streekeigen water vnl. gebeurt door lager gelegen ontwateringgrachten;
- zijn deels rechtgetrokken;
- hebben dikwijls een verstevigde of opgehoogde dijk die hen dwingt om binnen hun vaste bedding te blijven;
- liggen niet noodzakelijk op de laagste plaats in de vallei waardoor het 'grondwater' in lagergelegen weilanden bij piekafvoeren in de beek soms tot boven het maaiveld kan stijgen;
- hebben veel plantengroei door het voedselrijke (afval)water dat ze afvoeren en waardoor weinig ruimen betekent dat opstopping en overstroming kunnen optreden.

artificiële ontwateringsgrachten en de waterlopen die erin uitmonden

- liggen lager dan de 'natuurlijke' beken
- bepalen rechtstreeks het niveau van het grondwater, mede door het onttrekken van opkwellend water uit de bodem;
- ontwateren diep waardoor het grondwater in de zomer zeer diep onder het maaiveld wegzakt;
- zijn recht of in functie van de ligging van percelen gegraven;
- liggen soms niet conform de geomorfologie en het reliëf en doorkruisen bijvoorbeeld heuvelruggen of duiken onder 'natuurlijke' beken.

De voordelen van het huidige complexe watersysteem zijn o.a. dat

- het waterpeil in principe op elk moment geoptimaliseerd kan worden naargelang de behoeften. Het kan verhoogd worden door water af te tappen van 'natuurlijke' beken of kanaalwater en kan verlaagd worden door water af te voeren via de laaggelegen ontwateringsgrachten en dit tot een peil dat veel lager ligt dan de natuurlijke situatie. Waterlopen kunnen aangesloten worden op 'natuurlijke' beken of ontwateringsgrachten naargelang het waterpeil dat erin gewenst is. Opdat dit peilbeheer aan de noden van alle belanghebbende zou tegemoetkomen is een voorwaarde wel dat binnen het overleg, de Watering, al deze belangen gelijkwaardig aan bod komen en behandeld worden.

De nadelen van het huidige systeem zijn o.a. dat

- rechtgetrokken beken een relatief lage bergingscapaciteit hebben;
- de diepe ontwateringsgrachten een sterke verdroging in de zomer of tijdens droge periodes veroorzaken;

- door de diepe ontwateringsgrachten het grondwater sterk schommelt, wat minder gunstig is voor natuurontwikkeling;
- doordat de ontwateringsgrachten veel kwelwater afvangen, hun extra bergingscapaciteit voor afvoer van regenwater niet zo hoog is;
- overmatige plantengroei door voedselrijkdom opstopping en overstromingen veroorzaakt;
- kruid- en slibruiming tot een egalisering van de morfologie van de waterloop leiden, waardoor de ecologische waarde ervan daalt;
- de kostprijs om dit kunstmatige systeem te onderhouden (onderhoud kunstwerken, kruid- en slibruiming, e.d.) hoog is.

2.2 Klimaatadaptief Kempen~Broek

Uit de algemene concepten en strategieën om met klimaatverandering om te gaan, kunnen een aantal uitgangspunten afgeleid worden om het Kempen~Broek aan te passen aan de komende klimaatverandering. Een 'klimaatadaptief Kempen~Broek' heeft de volgende kenmerken die voldaan zouden moeten zijn.

- **Het is groot en samenhangend.** Doordat het een grote interne variatie heeft met talrijke milieu- en beheergradiënten is het veerkrachtig. Omdat het voldoende groot is, kan het grote (kern)populaties bevatten, is het tevens minder afhankelijk van omgevende gebieden en minder gevoelig voor allerlei verstoringen vanuit die omgeving. Het is een veilige haven voor soorten en levensgemeenschappen en kan de functie van soortenpool voor de omgeving opnemen.
- **Het is doorkruisbaar.** Grootte en samenhang maken het Kempen~Broek geschikt voor ruimtebehoevende soorten zoals otter. Door een bereikbare heterogeniteit binnen de kernhabitats, draagt het bij aan de totale veerkracht van een ruimer gebied. Barrières ontbreken nagenoeg, waardoor het geschikt is voor migratie van individuen en areaalverschuiving van soorten als gevolg van de klimaatverandering.
- **Het wordt gestuurd door en is afhankelijk van natuurlijke processen,** voornamelijk met betrekking tot de waterhuishouding. Er wordt gestreefd naar een watersysteem waar
 - o voldoende mogelijkheden zijn voor infiltratie van water aan de bron;
 - o voldoende bergingsvermogen is om een groot deel van het regenwater (tijdelijk) op te vangen met overstroombare valleien, moerassen, bossen, e.d.;
 - o de beken en rivieren op een zo natuurlijk mogelijke wijze kunnen meanderen;
 - o niet diep ontwaterd wordt om verdroging in droge periodes te vermijden, maar waar voldoende ontwateringgrachten liggen om bij extreme neerslag de landbouwgronden te ontwateren;
 - o het water zuiver is waardoor overvloedige plantengroei vermeden wordt.

De mogelijkheden om dit te bereiken, hebben enerzijds betrekking op het vergroten en verbinden van kernpopulaties en het wegwerken van barrières om zo de kansen op een duurzaam behoud van een gebiedspecifieke biodiversiteit te verzekeren. Anderzijds gaat het om het optimaliseren van infiltratie, waterbuffering en waterberging en het gericht aanpakken van droogteproblemen en waterzuivering en dit rechtstreeks ten voordele van bewoners en gebruikers.

De verschillende functies en het ruimtegebruik in het Kempen~Broek zijn sterk met elkaar verweven. De waterhuishouding en de landschappelijke structuur maken er een eenheid van. Om van het Kempen~Broek een natuurlijke klimaatbuffer te maken, gebaseerd op de hoger genoemde principes, zal het gebied als een samenhangend systeem benaderd moeten worden. Dat vraagt om een geïntegreerd beleid en beheer en dus om samenwerking en coördinatie van alle betrokkenen. Momenteel bestaat er een formeel integrerend kader, het **deelbekkenbeheerplan Noordoost Limburg**, onderdeel van het bekkenbeheerplan van het Maasbekken (Secretariaat Maasbekken, 2009; 2012; 2013; 2014; 2015). Een deel van de mogelijke acties om huidige knelpunten aan te pakken en het Kempen~Broek

klimaatneutraal te maken (zie hoofdstuk 3) is daar al in opgenomen. De initiatiefnemers en uitvoerders van de acties zijn verscheiden: de provincie en gemeenten, de Vlaamse Milieumaatschappij, de Vlaamse Landmaatschappij, het Agentschap voor Natuur en Bos, Aquafin, natuurbeherende verenigingen zoals Limburgs Landschap, Natuurpunt, ARK Natuurontwikkeling. Naar organisatievorm en opdracht zijn twee instanties belangrijk om het overleg en de afstemming te organiseren en te faciliteren: het **Regionaal Landschap Kempen en Maasland** en de **Watering Het Grootbroek**. De eerste heeft veel expertise in onderzoek, natuurontwikkeling en -beheer, werkt nauw samen met lokale besturen en diverse landgebruikers en heeft een sterke publiekswerking. De tweede staat in voor het 'onderhoud' van een groot deel van de waterlopen in het gebied. Haar ambtsgebied valt in grote lijnen samen met het Kempen~Broek (Figuur 11).

Figuur 11 Watering het Grootbroek, waterlopen en gewestplan. Bron: <http://wateringgrootbroek.be/geschiedenis.html>

Hierna worden voor elk van de genoemde aspecten een aantal bouwstenen of maatregelen beschreven die in het Kempen~Broek toegepast kunnen worden om de klimaatbestendigheid te verhogen.

2.3 Bouwstenen

2.3.1 Rechtstreekse voordelen voor de mens (landbouw, leefomgeving, veiligheid, ...)

2.3.1.1 Infiltratie

Maatregelen om water vast te houden aan de bron en zo waterafvoer te beperken en de gevolgen van droge periodes tegen te gaan door grondwater aan te vullen (Goosen et al., 2010).

- **Moerasontwikkeling:** een moeras werkt als een spons en kan veel water bergen en vasthouden in natte periodes, waardoor in droge periodes water lokaal beschikbaar blijft en de watertafel in de nabije omgeving minder diep wegzakt. Dit is tijdens droge periodes dan weer voordelig voor landbouw in de omgeving.
- **Herschikking van gebruikspcelen** volgens de activiteit die erop uitgeoefend wordt. Overstromingsgevoelige activiteiten worden best niet gesitueerd op laaggelegen gronden. Gronden langs waterlopen hebben best ook een functie die gecombineerd kan worden met een natuurlijke meandering van de waterloop. Anderzijds worden waterbehoevende activiteiten best niet uitgeoefend op de hoogst gelegen gronden.
Op enkele knelpunten na, zijn bebouwing en industrie in het Kempen~Broek gelegen op hogere gronden. Landbouw en natuur zijn in het gehele gebied met elkaar vervlochten waardoor er plaatselijk wel problemen optreden; voor landbouw door te natte gronden en voor natuur door verdroging en eutrofiëring.
Bij een herschikking van het gebruik van gronden wordt dan uitgegaan van de natuurlijke hydrologie. Laaggelegen gronden die hydrologisch een geheel vormen, kunnen best samen als moeras ontwikkeld worden om verdroging en verrijking tegen te gaan.
- **Meer klimaatrobuuste landbouw** met productiewijzen, soorten en cultivars die aangepast zijn aan het veranderend klimaat met droogte, hitte en/of overstromingen (zie Gobin et al., 2008). Waterconserverende en gereduceerde bodembewerking ('conservation tillage') zijn hierbij belangrijk. Hierbij worden gewasresten van het vorige seizoen geheel of gedeeltelijk aan de oppervlakte gelaten en niet ingeplogd. Dit helpt bij het vasthouden van vocht in de bodem door een vermindering van de verdamping en een toename van de infiltratie. Bij dit laatste spelen diepgravende regenwormen een belangrijke rol. Minimale grondbewerking verlaagt ook de gevoeligheid van bodems voor wind- en watererosie en door het verminderde gebruik van zware machines wordt tevens bodemverdichting vermeden wat opnieuw de infiltratie bevordert.
Om de toenemende nood aan irrigatie te beperken maar de opbrengst te behouden, kunnen cultivars met minder waterbehoefte of een korter groeiseizoen geselecteerd worden en kan er, bij te verwachten zachtere winters, vroeger gezaaid of geplant worden. Het land vroeger bewerken, kan echter alleen maar als de bodem voldoende gedraineerd is, wat bij de ook te verwachten hogere neerslag een probleem zou kunnen zijn. Waar dat dan nodig is, is peilgestuurd draineren aangewezen.
Bij ontwikkelingen die tot hogere waterstanden leiden, kan de landbouw eveneens aangepast worden. Wil men op de heel natte pcelen toch nog een productie realiseren zonder dat er bijkomend gedraineerd moet worden, dan moet er overgeschakeld worden op planten die groeien in die natte omstandigheden. Grienden met wilgen zijn een mogelijkheid; ze kunnen brandstof voor een biogascentrale (Bree, Bocholt) opleveren. Paludicultuur, het gebruik van bodems bij een hoge waterstand, is een andere mogelijkheid (Fritz & Lamers, 2014). Doordat de bodem niet verder ontwaterd wordt, ontsnapt er (vooral bij verdroging van veenbodems) niet verder koolstofdioxide en methaan, wat op zich al erg belangrijk is. De natte gronden kunnen daarentegen wel als waterberging fungeren en leveren verder planten voor allerlei gebruik (bv. riet en lisdodde voor isolatieplaten,

eendenkroos voor groenbemesting, veenmossen voor de tuinbouw). Paludicultuur is nog in volle ontwikkeling; er is nog verder onderzoek nodig om de mogelijkheden ervan voor een gebied als het Kempen~Broek duidelijk te maken. Maar potenties zijn er in elk geval (van de Riet, 2016; Wichtmann et al., 2016).

- **Boslandbouw** (agroforestry) waarbij houtachtige gewassen en landbouwgewassen of -dieren op hetzelfde perceel geteeld of gekweekt worden. In extreem droge of natte omstandigheden zijn deze systemen beter gebufferd; de infiltratiecapaciteit verhoogt en door 'hydraulic lifting' wordt er water 'opgepompt' uit lagen die normaal te diep liggen voor de landbouwgewassen. De specifieke inrichting op de percelen, de plantafstanden en de soort- en gewaskeuzes, zijn bepalend voor de positieve impact, nl. een betere bescherming van de landbouwgewassen en -dieren tegen droogte, stormen en vooral warmte (zie ook het IWT-onderzoeksproject 'Permanent consortium en subsidie bieden nieuwe opportuniteiten voor agroforestry in Vlaanderen' www.ilvo.be en Wervel (Wergroep voor een Rechtvaardige en Verantwoorde landbouw), www.wervel.be).
- **Bossen** aanplanten. Bomen nemen enerzijds zeer veel water op en zorgen anderzijds, door de diepe doorworteling, voor een goede infiltratie. Ook bomen en struiken in kleine landschapselementen zoals houtkanten en bomenrijen, kunnen een verlagend effect hebben op het grondwater, iets wat uiteraard afhankelijk is van de boomsoort. Bossen en houtkanten kunnen beschermen tegen erosie van oevers en valleihelling.
- **Verhardingen in urbane omgeving** kiezen in functie van infiltratie. Bij infiltratie kan er onderscheid gemaakt worden in drie types (Anoniem, 2012):
 - o oppervlakte-infiltratie: hemelwater wordt op straatniveau afgevoerd naar een verlaagde grasstrook of gracht. Deze zone vangt het water op, waarna het in de bodem kan infiltreren. Deze natuurlijke afvoer heeft de voorkeur, maar bij noodzakelijke verhardingen kan ook voor een van de volgende technische oplossingen gekozen worden.
 - o ondergrondse infiltratie: hierbij komt het hemelwater via een leiding in een ondergrondse infiltratievoorziening terecht. Deze voorziening vangt het water op, waarna het infiltreert in de bodem. Een ondergrondse infiltratie kan zowel in de vorm van een bekken worden uitgevoerd als in de vorm van een netwerk van doorlatende leidingen.
 - o doorlatende verharding: dit type verharding bestaat uit 2 delen, een toplaag met een hoge doorlatendheid en een funderingslaag. De funderingslaag neemt de neerslag direct op en vanuit deze berging kan het dan infiltreren in de ondergrond.

2.3.1.2 Waterbuffering

Maatregelen om extremen af te vlakken waardoor overstromingspieken vermeden of verlaagd worden en om droge periodes tegen te gaan door water ter plaatse te conserveren.

- **Ontwateringsgrachten en beken half zo diep maken en 3 keer breder** (Bell & van 't Hullenaar, 2011). Hierdoor zal de waterloop minder kwel afvangen, wat tijdens droge periodes zorgt voor minder verdroging van de omliggende terreinen. Anderzijds zorgen deze grachten er ook voor dat het regenwater op piekmomenten efficiënter afgevoerd kan worden omwille van het kleinere volume aan kwelwater dat aanwezig is in de waterloop.
- **Greppels minder diep maken en dichter bij elkaar leggen** (Geertsema, s.d.). Net zoals de vorige maatregel zorgt dit ervoor dat de verdroging vermindert terwijl de afvoercapaciteit behouden blijft.
- **Regelbare dammetjes en peilgestuurde drainage** zoals de projecten van Eco² in Wuustwezel (García et al., 2012; Regionaal Landschap De Voorkempen, 2013) en in de Dommelvallei (Watering De Dommelvallei & Eco²). In percelen met drainagebuizen kan het grondwaterpeil en dus de mate waarin de drainagebuizen water afvoeren, door de landbouwer afgestemd worden op de noden van het gewas en de bedrijfsvoering. Het niveau wordt lager ingesteld om de grond te bewerken of hoger om de gewassen te laten groeien (Figuur 12). Op die manier kan ook een waterbuffer voor de droge periodes aangelegd worden. Het water in de afvoersloot waar het drainagesysteem in uitkomt wordt dan hoog genoeg gestuwd.

Figuur 12 Regelbaar stuwkje op perceelsgrachten. Bron: Regionaal Landschap De Voorkempen (2013)

2.3.1.3 Waterberging

Maatregelen die specifiek beschermen tegen overstromingen en piekdebieten.

- Zie ook maatregelen hiervoor (waterbuffering).
- **Grachten met een bufferingsfunctie** in combinatie met infiltratie en/of vertraagde afvoer bij normale weersomstandigheden en een afwateringsfunctie bij extreme neerslag. Om de bufferende werking te maximaliseren, is het belangrijk dat grachten zoveel mogelijk horizontaal worden aangelegd en opgedeeld zijn in aparte compartimenten. Elk compartiment kan dan worden behandeld als een infiltratie- of buffervoorziening die vertraagd geleidigd moeten worden (Anoniem, 2012).
- **Doorsnede van de waterloop vergroten** om zo tot een grotere bergingscapaciteit te komen (Lange & Lecher, 1993).
- **Meertrapskanalen** met accoladeprofiel (Figuur 13) of een **afleidingskanaal** aanleggen.

Figuur 13 Accoladeprofiel van de Risschotse loop (Dienst Integraal Waterbeleid Provincie Antwerpen). Bron: <http://www.provincieantwerpen.be/aanbod/dlm/dienst-integraal-waterbeleid/projecten/Meanders/risschotseloop-in-zoersel.html>

Het basisdebiet gaat door de oorspronkelijke meanderende waterloop en piekdebieten worden opgevangen door de extra waterafvoercapaciteit die gecreëerd is. Bij een meertrapskanaal is dit een winterbed dat afgegraven wordt tussen de meanders waarbij de buitenbochten best verstevigd worden, eventueel met een aangepaste beplanting zoals een elzensingel (Figuur 14a & 14b).

Figure 62. Flexible two-stage design devised for the River Roding, England. (Based on Keller and Brookes, 1984. Reproduced by permission of the American Society of Civil Engineers.)

Figuur 14a Selectief afgraven om een 'winterbed' te creëren en belangrijk oeverhabitat (o.a. holle oevers) te sparen

Figuur 14b Aanplant van een elzenrij om een eroderende oever na verloop van tijd te fixeren.

Een afleidingskanaal is een evenwijdig lopend tracé dat afhankelijk van zijn diepte permanent of tijdelijk een deel van het debiet afvoert (Claus, 1994).

- **Enkel een winterdijk aanleggen**, liefst gebruik makend van het natuurlijk reliëf. De valleihelling kan met een bijkomende dijk verder geprofileerd worden. Het winterbed zelf wordt niet uitgediept. In de buitenbochten van de waterloop brengt men een aangepaste beplanting of een natuurtechnische oeversverdediging aan (Claus, 1994). Een rij elzen op enige afstand van de buitenbocht kan de loop daar stabiliseren als de buitenbocht door erosie tot daar uitgesleten is.
- **Wachtbekken of overstromingsgebieden** aanleggen waar water tijdelijk opgeslagen kan worden bij piekdebieten om overstromingen in stroomafwaarts gelegen gebieden te vermijden. Deze laaggelegen gronden kunnen een medegebruik hebben dat verzoenbaar is met de overstromingen, bv. als natuurgebied, park of recreatiezone. Een eenvoudig wachtbekken kan ook deel uitmaken van een groter geheel, zoals gedeeltelijk hoger gelegen weilanden. Er mogen dan wel geen afsluitingen aanwezig zijn, zodat vee veilig naar de hogere delen kan als het wachtbekken zich vult. Voorbeelden zijn de Doode Bemde en het wachtbekken van Egenhovenbos die Leuven beschermen (La Rivière, 2006) en het wachtbekken van Overpelt dat Neerpelt beschermt tegen piekdebieten. In beide gevallen zijn natuur, recreatie (wandelen en fietsen) en weilanden de nevenfuncties. Om wachtbekken harmonieus en doeltreffend met natuur te combineren, zijn de volgende aandachtspunten van belang (Claus, 1994):
 - o aanleggen in delen van de vallei die van nature door water vanuit de waterloop overstromen, vooral langs de benedenloop van de waterloop;
 - o aanleggen met een minimum aan infrastructuur en kunstmatige dijken;
 - o het vullen en ledigen van wachtbekken moet spontaan kunnen gebeuren, zonder treksloten of pompgemalen;
 - o regelmatige overstromingen zijn ecologisch interessanter dan weinig frequente, maar onvoorspelbare overstromingen;
 - o als er voldoende ruimte is, kan er een overstroombaar systeem van uiterwaarden aangelegd worden, dat best beheerd wordt door extensieve begrazing;
 - o waterzuivering mogelijk maken door water- en moerasplanten zoals riet, lisdodde en diverse zeggensoorten aan te brengen en te laten ontwikkelen in het wachtbekken ('helofytenfilter'), met een aangepast maaibeheer dat frequenter uitgevoerd wordt dan wat gebruikelijk is, om er voor te zorgen dat de bergingsfunctie optimaal blijft;
 - o bij een sterk vervuilde waterloop aanvaarden dat de ecologische functie van het overstromingsgebied zeker in het gebied weinig zal voorstellen.

- **Vrij meanderende waterlopen** herstellen waarin erosie en sedimentatie in evenwicht zijn en er geen netto sedimentatie optreedt. De meandering maakt bovendien de bergingscapaciteit van de waterloop groter. Er kan gekozen worden om in een rechtgetrokken beek de meandering zich op een natuurlijke manier te laten ontwikkelen door stroomdeflectoren, ook keerkribben genoemd (Figuur 15), te plaatsen en omgevallen bomen (bevers) te laten liggen. Daardoor veranderen de stroompatronen in de waterloop, waardoor diepere stroomkuilen en ondiepere stroomversnellingen gevormd worden en uitschuring van oevers kan gebeuren. Dit laatste is echter enkel mogelijk wanneer de oevers niet artificieel verstevigd zijn. Is dat wel het geval, dan zal enkel het stroompatroon meanderen zonder dat er zich microhabitat zoals holle oevers, vormt.

Figuur 15 Principeschets van het gebruik van dood hout. Grote, houtige structuren worden geheel of gedeeltelijk over de breedte van de rivierbodem geplaatst of blijven liggen waar ze in het water zijn gevallen. Om te voorkomen dat de boomstronken wegspoelen kunnen deze worden gefixeerd in de oever en/of met grote stenen op hun plaats gehouden. Bron: Kroes et al. (2005).

De nieuwe loop kan ook gegraven worden waarbij de meanders op een zo 'juist' mogelijke plaats en met de meest waarschijnlijke dimensies aangelegd worden. Omdat dit steeds een benadering zal zijn, worden bij de aanleg best geen oeverversterkingen aangebracht. Zo kan zich een natuurlijk en dynamisch evenwicht tussen erosie en sedimentatie instellen en de waterloop de dimensies en vorm krijgen die in overeenstemming zijn met de hydrologische en landschappelijke kenmerken van de plaats.

- **Zand- of slibvang inrichten** om sediment uit water te verwijderen en sedimentatie en dichtslibben stroomafwaarts te vermijden. Dit kan nodig zijn als het natuurlijke evenwicht tussen sedimentatie en erosie, met een stroomafwaartse verplaatsing van het sediment, verstoord of nog niet ingesteld of is. Een slibvang zal ook nodig zijn waar een vrij meanderend en sneller stromend beektraject overgaat in een traject waar de stroomsnelheid lager is, bijvoorbeeld omdat de waterloop er sterk verbreed is. Ook stroomopwaarts van een traject waar niet geruimd kan worden, kan een slibvang aangewezen zijn. Het principe is eenvoudig, een smalle inlaat waarin water snel stroomt, wordt gevolgd door een breed en dieper bassin waarin het water trager stroomt en er sedimentatie optreedt.

2.3.1.4 Droogte

Maatregelen waarmee specifieke problemen m.b.t. droogte tegengegaan kunnen worden.

- Zie ook maatregelen bij infiltratie (grondwater aanvullen) en waterbuffering.
- **Mulchen en geen grondbewerking** uitvoeren tussen teelten (zie ook bij Infiltratie, meer klimaatrobuuste landbouw). Het omwoelen en het plantenvrij maken van de grond tussen de teelten heeft als gevolg dat een deel van het aanwezige vocht uit de bovenste grondlaag verdampt en er bijgevolg meer beregening nodig is (Foley et al., 2011). Grof gehakt plantenmateriaal op de bodem verlaagt de verdamping en verbetert het watervasthoudend vermogen van de bodem.
- **Bodemvallen en stuwen** inrichten, waardoor een minimumwaterpeil kan behouden blijven of piekdebieten afgevlakt kunnen worden. Dit kan bijvoorbeeld voorzien worden bij de in- en uitlaatconstructies van wachtbekkens. Liefst worden ze uitgevoerd in stortsteen of puinbrokken, trapsgewijs geplaatst en passeerbaar voor vissen. Is dit niet mogelijk, dan worden ze aangelegd in combinatie met een vispassage. Andere alternatieven zijn schanskorven of damplanken, gecombineerd met een vistrap (Claus, 1994).
- **Substitutie van gewassen** door over te stappen op de teelt van gewassen die beter aangepast zijn aan de nieuw te verwachten omstandigheden, vnl. hoge temperaturen en droogte. Tarwe is bijvoorbeeld toleranter t.a.v. warmte en droogte dan maïs. Er kunnen ook cultivars ontwikkeld worden met een hogere droogteresistentie.
- **Zuiniger omgaan met water** is een algemeen principe dat overal en door alle ruimtegebruikers toegepast kan worden.

2.3.1.5 Waterzuivering

Maatregelen om een goede kwaliteit van het water te bereiken zodat het voor alle vormen van ruimtegebruik geschikt is.

- **Zelfreinigend vermogen** van een waterloop bevorderen door (Claus, 1994):
 - o het garanderen van een voldoende groot bron- en waterdebiet;
 - o het beperken van sedimentatie van rioolslib;
 - o het beperken van het verschil in viscositeit tussen afvalwater en het ontvangende water
 - o het behouden of herstellen van natuurlijke structuurkenmerken van de waterloop, waardoor de natuurlijke beluchting bevorderd wordt, waterbloei vermindert en bijgevolg het zelfreinigend vermogen verhoogt;
 - o het verhogen van de stroomsnelheid en de turbulentie door het aanbrengen van kleine bodemvallen, stuwen, stroomversnellingen of stroomdeflectoren, waardoor het zuurstofgehalte van het water stijgt;
 - o het vergroten van het bodemoppervlak waar het grootste deel van de zelfzuivering zich afspeelt, door bijvoorbeeld steenbestortingen aan te brengen;
 - o het bevorderen van de groei van waterplanten;
 - o de aanvoer van fosforverbindingen vanuit de omgeving te verminderen en eventueel de door fosfor aangerijkte laag van de onderwaterbodem weg te nemen, waardoor fytoplanktongroei onderdrukt wordt.

- **Een verbeterd gescheiden systeem van rioolstelsels** aanleggen of bestaande stelsels in die zin aanpassen, waarbij enkel nog het afstromend regenwater van daken in verkeersarme woonwijken rechtstreeks op het oppervlaktewater geloosd kan worden. Alle ander afstromend neerslagwater wordt naar een rioolwaterzuiveringsinstallatie afgevoerd (Claus, 1994).
- **Vermindering van de frequentie en het volume van riooloverstorten** door on-site of off-site berging (Claus, 1994).
 - on-site berging door:
 - o het beter benutten van natuurlijke infiltratiegebieden;
 - o het rechtsreeks bergen van regenwater van daken in de grond;
 - o minder verharde ondergrond aan te leggen; grote parkeerterreinen worden aangelegd met poreuze stenen en het wegdek zoveel mogelijk met doorlatende verharding (zie ook infiltratie – verhardingen in urbane omgeving en de Vlaamse Verordening Hemelwater 5 juli 2013);
 - o beplanting oordeelkundig aan te brengen.
 - off-site berging door:
 - o bij voorkeur te werken met afzonderlijke bergings- en bezinkreservoirs i.p.v. te opteren voor grotere riooldiameters;
 - o bergingsreservoirs best afwaarts van een rioolgedeelte met een geringe helling te lokaliseren;
 - o te werken met meerdere kleinere reservoirs in plaats van met één groot reservoir;
 - o ook op het bergingsreservoir of de aanvoerleiding daarvan een overstort te plaatsen;
 - o de bergingsreservoirs regelmatig te reinigen, liefst zelfs na elk gebruik.
- **Vermindering van de vuilvracht in het overstortwater** door (Claus, 1994):
 - o als vorm van bovengrondse maatregel, de straten regelmatig schoon te maken, zonder daarbij gebruik te maken van pesticiden, terwijl het gebruik van kunstmeststoffen steeds beperkt wordt en er algemeen maatregelen genomen worden tegen substraaterosie;
 - o een regelmatig onderhoud van de riolering;
 - o de overstortconstructie aan te passen naar inplantingshoogte, vuilscheidend vermogen en overstorttype;
 - o het verhogen van de overcapaciteit
 - o het zuiveren van overstortwater met infiltratiebedden, helofytenfilters, vloeivelden, stabilisatievijvers of percolatievelden, waarbij steeds afgewogen wordt wat het belangrijkst is; percolatievelden zijn geschikter voor het verwijderen van stikstof en fosfor dan vloeivelden, maar ze zijn minder geschikt voor de zuivering van overstortwater omdat ze een regelmatige aanvoer van zuiver water vereisen;
 - o de meest gunstige inplantingsplaatsen kiezen voor de overstorten.
- **In het landelijk gebied vuil en zuiver water zoveel mogelijk gescheiden afvoeren** door o.a. grachtenstelsels te heroriënteren. Het vervuilde water kan dan naar speciaal ingerichte voorzieningen (op technisch of natuurlijke basis) geleid worden, terwijl het zuivere water beschikbaar blijft voor bijvoorbeeld natuurontwikkeling.
- **Waterzuiveringsinstallaties** zijn een vanzelfsprekendheid en vormen het sluitstuk van de waterzuiveringsketen. Algemene informatie, regelgeving en technische details kunnen gevonden worden bij de verantwoordelijke instantie, Aquafin, www.aquafin.be. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen
 - o zuiver technische zuiveringsinstallaties, RWZI, met achtereenvolgens een mechanische voorzuivering, een biologische zuivering en nabezinking. Het specifieke zuiveringsproces dat gekozen wordt, is afhankelijk van de hoeveelheid te zuiveren afvalwater, de lozingsnormen, de kosten, de benodigde oppervlakte en de landschappelijke inpasbaarheid.
 - o kleinschalige waterzuiveringsinstallaties, KWZI, bedoeld om het afvalwater van afgelegen woonkernen te behandelen. Afhankelijk van de vuilvracht bestaat de biologische zuivering uit een plantenzuivering in open lucht of een

tanksysteem waarbij alle stappen van de zuivering in één tank geconcentreerd zijn.

- **Tertiaire zuivering van afvalwater** waarbij zwevende en colloïdale stoffen na de biologische of secundaire zuivering verwijderd worden. Dit wordt bekomen door (Claus, 1994):
 - o stroming door lagunes en vegetatievelden;
 - o inschakelen van zeven en filters zoals een microzeef, een trommelzeef, een snelle zandfiltratie of een geïnduceerd bed filtratie die doorlopend in bedrijf kan gehouden worden, in tegenstelling tot de zandfiltratie.
- **Verregaande zuivering van afvalwater** waarbij stikstof en fosfor verwijderd worden door respectievelijk (Claus, 1994):
 - o nitrificatie met overwegend obligaat aerobe bacteriën, gevolgd door denitrificatie waarbij de gevormde nitraten gereduceerd worden tot stikstofgas door facultatief anaerobe bacteriën. In de zuiveringsinstallatie wordt gewerkt met voorgeschakelde of nageschakelde denitrificatie;
 - o een bacterieel of een chemisch proces. Bij dit laatste slaan fosfaten neer d.m.v. Fe- of Al-zouten. Als er een combinatie van beide wordt gebruikt, zijn er minder zouten nodig.
- **Helofytenfilters en percolatie(riet)velden** die in verschillende vormen bestaan, afhankelijk van de aard van het te zuiveren water, de te bereiken kwaliteit na zuivering en de doelen die supplementair aan de zuivering, nagestreefd worden (Fonder & Headley, 2013) (zie figuur 16).
 - o Percolatievelden kunnen aangelegd worden bij individuele bedrijven waarvan proceswater opgevangen wordt en daarna over de speciaal aangelegde begroeiing van riet of andere moerasplanten verdeeld wordt. Het water ondergaat een bacteriologische zuivering in het substraat met wortels en stengels van de moerasplanten en wordt dan via een drainagesysteem afgevoerd naar het oppervlaktewater of een reservoir (Figuur 17). In het landinrichtingsproject Noordoost Limburg zijn zo door de VLM voor verspreide melkveebedrijven kleinschalige waterzuivering aangelegd (VLM, 2011).

Prototype van een natuurlijke waterzuivering met rietplanten (bron EVA-Lanxmeer)

Figuur 17 Voorbeeld van een eenvoudig percolatierietveld. Bron: Van de Put & Meysmans, 2008

- o Helofytenfilters worden voor verschillende doelen toegepast, meestal voor de zuivering van afvalwater van gezinswoningen, voor zwembijvers, e.d. (figuur 18). Het veld met moerasplanten kan op verschillende manieren ingeschakeld zijn, als percolatie-, doorstroom- of laguneringsstelsel / cascaderangschikking (figuur 19). Met een goed ontwerp kunnen de landschappelijke inpassing en het verwezenlijken van verschillende functies, zoals het voorzien van een waardevol habitat, verzekerd worden (zie bv. Van de Put & Meysmans, 2008).

Figuur 18 Helofytenfilter als onderdeel van een totale individuele waterzuivering. Bron: <http://terraxy.weebly.com/rietfilter.html>

Figuur 19 Helofytenfilters in cascaderangschikking. Bron: <https://vimeo.com/86501505>

Figuur 16 Classificatie van verschillende moerassystemen / helofytenfilters; rode lijnen= standaardtypes. Bron: Fonder & Headley, 2013.

- **Brede oeverstroken** om drainagewater, oppervlakkige afvoer en afstromend slib uit aangelegen weilanden te filteren; aan te leggen als hoge moerasstrook in de oeverzone. Met een lage richel aan de waterloop- of grachtkant, kan een langere verblijftijd van het water in de moerasstrook verkregen worden. Dit komt de zuivering en slibsedimentatie ten goede. Als de moerasstrook laag in de oeverzone gelegd wordt, kan ze overstromen vanuit de waterloop en zo bijdragen aan de zuivering en slibafzetting. Het drainagesysteem van percelen kan in visgraatpatroon aangelegd worden. Daar waar de hoofddrain in de gracht uitmondt, kan dan een bredere en diepere moeraslagune gemaakt worden die zo gedimensioneerd is dat er een lange verblijftijd gerealiseerd wordt. Bij het ontwerp moet er rekening mee gehouden worden dat deze oeverstroken en ten dele het waterlichaam zelf, onderhouden moeten kunnen worden. Dat onderhoud zal in de meeste gevallen uit periodiek maaien en afvoer van het maaisel, bestaan. Bereikbaarheid moet dus gegarandeerd zijn. Een mogelijkheid hiervoor is om aan een kant de oever wat steiler te maken en daar een onderhoudsstrook aan te leggen (Lange & Lecher, 1993). Dergelijke onderhoudsstroken zijn bijvoorbeeld opgenomen in het ontwerp voor het moerasgebied Kettingdijk-Wijffelterbroek-Smeetshof (Bell & van 't Hullenaar, 2012).

- **Voldoende diepe bedding** voorzien, steeds dieper dan 30cm, om opstopping en overstroming door overmatige plantengroei bij beken met nutriëntenrijk water te voorkomen.
- **Beschaduwing gebruiken** om overmatige waterplantengroei te voorkomen die tot opstopping en overstroming kan leiden. Voedselrijk water in volle licht is immers een milieu zonder beperkingen voor plantengroei. Door de lichtinval te beperken, verkrijgt men dat er niet meer of veel minder frequent kruid geruimd moet worden, een onderhoud dat steeds tot totale verstoring van het ecosysteem leidt. De beschaduwing kan verkregen worden door dichte boom- en struikenrijen langs de zuidrand van de waterloop of gracht aan te planten (Figuur 20).

Figuur 20 Beschaduwing van een waterlichaam om overdadige groei van waterplanten te vermijden.

2.3.1.6 Zomerbranden

Maatregelen om de kans op oncontroleerbare natuurbranden in droge gebieden tijdens de zomer te verkleinen.

- **Risicomonitoring en waarschuwingssystemen** veralgemeend instellen. Meteorologische waarnemingen, gecombineerd met gegevens over opstapeling van biomassa, geven zeer goede indicaties van het brandrisico. Het Agentschap voor Natuur en Bos gebruikt een brandwaarschuwingssysteem, berekend door de Meteowing Luchtmacht (meetapparatuur in Deurne) en een index berekend door een brandgevaar-meetstation op het Klein Schietveld in Kapellen. De gekleurde vlaggen die het risico voor branden aanduiden, zijn, daar waar ze gebruikt worden, goed gekend bij bezoekers van natuurgebieden.
 - o *Groen* staat voor *weinig gevaar*; er worden geen speciale maatregelen genomen.
 - o *Geel* staat voor *gevaar*; natuurgebieden beginnen droger te worden waardoor het risico op brand toeneemt. Beheerders en brandweer zijn extra waakzaam.
 - o *Oranje* staat voor *hoog gevaar*; het is erg droog en brandgevaarlijk in natuurgebieden en bezoekers passen hun gedrag best aan (voorzichtig zijn, niet roken in natuurgebieden en bossen, kinderen niet zonder toezicht). Beheerders en brandweer zijn extra waakzaam; als de brandweer uitrukt, doet ze dit met meer materieel en mankracht. De brandtorens worden overdag bemand.
 - o *Rood* staat voor *extreem hoog gevaar*; het is extreem droog en brandgevaarlijk. Toegang tot het natuurgebied wordt afgeraden en kan zelfs verboden worden. Als het nodig is, rukt de brandweer altijd uit met groot materieel. De brandtorens worden overdag bemand.
- **Hoge grondwaterpeilen en open water** verzekeren, voor zover die overeenkomen met de natuurlijke situatie. Het dempen van drainagegrachten en rabatten of het sluiten van de afwatering van vijvers, hebben voor gevolg dat waterstanden langer

hoog blijven, de bodem en het strooisel minder snel uitdrogen en de brandbaarheid verkleint.

- **Brandgangen aanleggen** in de grotere brandgevoelige natuurgebieden. Dat gebeurt best door bredere stroken (25 à 30m breed) frequent te maaien of kort te laten begrazen, waardoor er geen brandbaar materiaal opstapelt (Figuur 21). Het netwerk dat zo ontstaat kan het natuurgebied **in kleinere compartimenten verdelen**, zonder dat er grote ecologische schade wordt aangericht, bijvoorbeeld door frequent te ploegen.

Figuur 21 Brandgang in de Kalmthoutse Heide

- **Vermijden van opstapeling van brandbaar materiaal** door iets intensiever beheer en afvoer van biomassa. Daarbij moet er wel op gelet worden dat dit niet tot uniformisering leidt, dat er dus niet overal even intensief beheerd wordt. Daarom wordt voor deze maatregel best uitgegaan van een beheerplan met een zonering van risicovolle plaatsen die intensief beheer vragen en minder kwetsbare plaatsen waar een meer ongestoorde vegetatieontwikkeling kan doorgaan. In bossen geen hoog opgestapelde takkenbossen aanleggen waardoor een loopvuur gemakkelijk tot een onbeheersbaar kroonvuur kan ontwikkelen. **Rondom risicovolle plekken**, zoals parkings en picknic-plaatsen, ervoor zorgen dat er **geen brandbaar materiaal** ligt.
- **Aanplanten van of beheren naar een groter aandeel loofhout** in bossen en bosranden en rondom naalddhoutaanplanten. Loofhout is minder brandbaar.

2.3.2 Gunstig voor soortenbiodiversiteit

Uit de probleemanalyse volgt dat de maatregelen die specifiek ten gunste van de biodiversiteit genomen kunnen worden, gericht moeten worden op het versterken van de populaties en het opheffen van interne versnippering en barrièrevorming. Het komt erop neer dat populaties moeten kunnen vergroten, dat deelpopulaties onderling met elkaar in verbinding kunnen staan en dat de verschillende habitattypes met hun soorten, samenhangend met de variatie aan abiotische en structurele verscheidenheid, onderling bereikbaar zijn. Het ecologisch samenhangend landschap dat zo ontstaat en de toenemende heterogeniteit die risicospreiding mogelijk maakt, vergroten zo de veerkracht van het systeem en daarmee het duurzaam behoud van de gebiedspecifieke biodiversiteit van het Kempen~Broek.

2.3.2.1 Kernpopulaties vergroten

- **Oppervlakte van gunstig habitat vergroten tot robuuste natuurkernen** door aangepast beheer, herinrichting en natuurontwikkeling. De meeste winst is hierbij te halen in de centrale noord-zuid zone van het gebied.
- **Heterogeniteit en gradiënten vergroten** in natuurgebieden en omringend landschap, overeenkomend met de natuurlijke omstandigheden. Het natuurbeheer en natuurherstel hierop richten. Het gebied in zijn geheel wordt hierdoor beter bestand tegen weersextremen; soorten kunnen tijdelijk uitwijken en het ecologisch functioneren wordt minder verstoord doordat andere al aanwezige soorten, die beter aangepast zijn, al dan niet tijdelijk een bepaalde functie 'overnemen'.
- **'Standplaats'condities in natuurgebieden verbeteren** waarbij zoveel mogelijk gebruik gemaakt wordt van de natuurlijke landschapsvormende processen om tot optimale omstandigheden te komen.
In waterlopen heeft dit betrekking op het vergroten van de structuurvariatie en hydrodynamiek waardoor verschillend microhabitat ontstaat, belangrijk voor bijvoorbeeld succesvolle reproductie en dus populatieversterking. Verscheidenheid in structuur wordt veroorzaakt door variatie in stroomsnelheid. Hierdoor ontstaan immers diepe en ondiepe plaatsen in de waterloop met daaraan gekoppeld variatie in temperatuur en zuurstofconcentratie, maar ook plekken waar erosie of juist sedimentatie optreedt en zo holle of bolle oevers.
- **Multifunctionele bufferzones** aanleggen rond de natuurkernen om ongewenste randinvloeden op de kernen zoveel mogelijk op te vangen of te vermijden en de natuurkernen functioneel met de ruimere omgeving te verbinden. Een groene dooradering met kleine landschapselementen en een aangepast gebruik en beheer van de randpercelen, dragen hieraan bij.
- **Herintroductie overwegen** van erg bedreigde of verdwenen soorten. Dit kan verantwoord zijn om een te kleine restpopulatie te versterken of om soorten die effectief thuis horen in het gebied waarvan de kwaliteit gegarandeerd goed is en behouden zal blijven, 'een handje te helpen' wanneer hun dispersiecapaciteit niet voldoende is om er op natuurlijke wijze te komen. Uiteraard moet hier zeer omzichtig mee omgesprongen worden; het is een aanpak waar nog veel discussie over bestaat. Genetische verwantschap van de nieuwe individuen met de oorspronkelijke populatie is erg belangrijk. Vissoorten worden regelmatig geherintroduceerd, in het Kempen~Broek bijvoorbeeld kopvoorn en serpeling (Mouton et al., 2011).

2.3.2.2 Populaties verbinden

- **De interne verbinding verbeteren** door de centrale noord-zuid-as te versterken en het oosten en westen met elkaar te verbinden. Een blauwgroene dooradering langs de beken kan hieraan bijdragen.
Het onderling verbinden van natuurgebieden kan voordelen hebben, maar niet altijd. Een nadeel kan zijn dat ook ongewenste soorten zoals exoten, zich sneller verspreiden en eventueel kwetsbare soorten verdringen of door predatie decimeren. Een te lange, smalle verbinding kan voor gevolg hebben dat soorten een gunstig habitat verlaten, maar nooit aankomen in een andere gunstige habitat. Door de vorm van de verbinding kan er veel randwerking optreden en zijn de leefomstandigheden er niet optimaal. Voor individuen van traag verbreidende soorten die een belangrijk deel van hun levenscyclus in de corridor doorbrengen, er zich voortplanten, betekent dit een groot risico. De genetische toestand van populaties is ook bepalend voor het al dan niet gunstig zijn om ze te verbinden. Tenslotte is het heel soortspecifiek wat een functionele verbinding met alle noodzakelijke kenmerken is. Hoe wij als mensen het landschap zien en ervaren, is dan ook zelden een goede leidraad om ecologisch functionele corridors te ontwerpen en aan te leggen.
In het versnipperde Vlaanderen blijft het in veel gevallen voordelig om gebieden met elkaar te verbinden tot een systeem waarin metapopulaties kunnen functioneren. De mogelijkheden om gebieden zo te vergroten dat ze voor kernpopulaties van heel veel soorten geschikt zijn, is immers te beperkt. Er kunnen verschillende types verbindingen onderscheiden worden (Adriaens et al., 2007).
 - o **Stapsteenverbinding** die uit afzonderlijke stapstenen en eventueel sleutelgebieden, leefgebieden, bestaat. Deze verbinding is functioneel voor mobiele soorten die geen speciale (semi)continue landschapsverbindingen

nodig hebben om afstanden te overbruggen. Een aantal voor boomkikker geschikte poelen, op bereikbare afstand van elkaar, is er een voorbeeld van.

- **Corridorverbinding** waarbij stapstenen en sleutelgebieden met elkaar verbonden zijn door een dispersiecorridor. In de corridor primeert structuurkwaliteit boven habitatkwaliteit. Deze verbinding is daarmee eerder geschikt voor de meer mobiele soorten. Afhankelijk van de vereisten van de soorten gaat het om bomenrijen, houtwallen, bermen, oevers, waterlopen, e.d.
- **Leefgebiedverbinding** waarin de milieucondities voor bepaalde soorten optimaal zijn en blijven, waardoor er reproductie mogelijk is. De corridor verbindt sleutelgebieden waarin stabiele populaties zich kunnen vestigen. Deze verbinding is noodzakelijk voor soorten met een gering dispersievermogen, die grote afstanden enkel kunnen overbruggen als de verbinding uit continu en blijvend leefgebied bestaat.
- **Landschapsverbinding** als een mengvorm van de vorige types. In zijn totaliteit is het een brede zone waar dier- en plantensoorten tijdens hun bewegingen door het landschap zo min mogelijk weerstand ondervinden. Stapstenen en kleine landschapselementen maken er vaak deel van uit.

2.3.2.3 Negatieve impact van barrières door wegen wegwerken en ontsnippering mogelijk maken

Bij de maatregelen die genomen kunnen worden om negatieve gevolgen van wegen die leefgebied doorkruisen te vermijden, wordt onderscheid gemaakt tussen deze die mortaliteit reduceren en deze die een verbinding tussen beide zijden van de weg tot stand brengen (zie figuur 22).

Figuur 22 Verschillende maatregelen tegen de negatieve gevolgen van versnippering door wegen.

- **Rasters plaatsen** die verhinderen dat dieren gekwetst of gedood worden bij het oversteken van wegen en dat er ongelukken met weggebruikers gebeuren. De plaatsing van die rasters is niet willekeurig, maar gebeurt
 - daar waar regelmatig dieren als verkeersslachtoffer vallen;
 - best in combinatie met een ecotunnel of ecodeuct;
 - over een voldoende lengte, zodat dieren er niet omheen lopen.

Waar een raster onderbroken wordt voor een zijweg, moet in die zijweg een niet oversteekbaar rooster geplaatst worden dat goed met het raster aansluit. Om dieren die toch aan de andere zijde van het raster geraakt zijn nog een mogelijkheid te geven om terug te keren, kunnen speciale voorzieningen zoals een overstap (zie figuur 23) aangebracht worden.

Figuur 23 Overstapvoorziening bij wildraster. Bron www.haverslag.nl

- **Wildspiegels** weerkaatsen het licht van koplampen van voertuigen in de berm waardoor grotere zoogdieren schrikken en stilstaan tot het voertuig voorbij is. De efficiëntie ervan staat ter discussie; het systeem blijkt vooral nuttig te zijn bij rustige, onverlichte wegen (Janssens & Claus, 1996).
- **Amfibieëntunnels** bestaande uit een buis onder de weg of U-vormige elementen met bovenaan een rooster en een afsluiting, meestal lage platen, langs beide kanten van de weg, leiden amfibieën naar de tunnel en zo naar de overkant. Om effectief te zijn, worden ze geplaatst bij de vaste trekroutes van amfibieën.
- **Faunatunnels** bestaande uit een buis of onderdoorgang met dimensies die aangepast zijn aan de doelsoorten. Wordt vooral voor kleine en gravende zoogdieren gebruikt.
- **Wildtunnels** zijn een onderdoorgang voor grote zoogdieren zoals reeën. Ze bestaan meestal uit betonnen elementen. De optimale hoogte is $\geq 1/10$ van de lengte, minimum 2,5m voor reeën en 1,2m voor everzwijnen. De breedte is best ≥ 2 keer de hoogte, minimum 5m voor reeën en 2,5m voor everzwijnen. De tunnel wordt licht hellend aangelegd om wateroverlast te vermijden. De bodem wordt bedekt met een laagje grond.
Tunnels liggen bij voorkeur in het verlengde van bestaande wissels, op het niveau van het maaiveld. Een goed raster langs de ondertunnelde weg moet zonder onderbreking aansluiten en aangepaste vegetatie moet als een natuurlijke geleiding naar de tunnelmond fungeren. Uiteraard moet er voldoende rust in de omgeving gegarandeerd worden en zijn er dus geen wandel- en fietspaden aanwezig. Voor nachttactieve dieren speelt dit echter minder een rol.
- **Wegverhoging** waarbij de weg op palen staat en het landschap onder de weg doorloopt met een brede onderdoorgang voor fauna (Arts et al., 2007).
- **Ecoducten**, de brede, aangepaste viaducten waarlangs dieren brede wegen kunnen oversteken (Janssens & Claus, 1996). Ze zijn minimaal 50m breed; optimaal $\geq$ dan de helft van de totale lengte van het ecoduct. Er moet voldoende mogelijkheid voor drainage zijn om wateroverlast te beperken. Het oppervlak is bedekt met zand of voedselarme teelaarde; langs de randen worden struiken aanplanten als visueel scherm. Op het ecoduct en in de buurt van de toegangen worden geluidschermen geplaatst om voldoende rust te garanderen.
De toegang en geleiding ernaar zijn naar topografie en landschappelijk ingebed met geleidende vegetaties, een goed aansluitend wildraster en voldoende rust.
- **Hop-over** voor vleermuizen op plaatsen waar een houtkant loodrecht op een grote weg uitkomt. Ter hoogte van de weg moeten vleermuizen gestimuleerd worden om

hoger te vliegen. Dit kan door aan beide kanten de weg een tot 6 meter hoge dichte struikvegetatie of een houten scherm evenwijdig met de weg te plaatsen die geleidelijk overgaan naar hoge bomen zonder ondergroei van struiken waarvan de kronen elkaar over de weg bijna raken. Vleermuizen gebruiken ook rustige bruggen en tunnels (Gyselings & Van der Wijden, 2014; Limpens et al., 2004).

2.3.2.4 Negatieve impact van barrières in waterlopen wegwerken en ontsnippering mogelijk maken

- **Fauna-uitstapplaatsen** die ervoor zorgen dat dieren die in het water terechtgekomen zijn, er terug uitraken ondanks een te gladde of te sterk hellende oever (Claus, 1994). Uiteraard heeft het de voorkeur om overal zacht hellende oevers aan te leggen, maar als dit niet mogelijk is, zijn fauna-uitstapplaatsen een alternatief. Fauna-uitstapplaatsen moeten minstens 50 cm onder het laagste laagwaterpeil beginnen, de helling van de oever aan de fauna-uitstapplaats mag niet steiler zijn dan 8/4 en moet een ruw oppervlak met kleine ribbels (maar niet van hout) hebben en de uitstapplaats moet minstens 5m breed zijn. Op de oever wordt de plaats best afgeschermd door een begroeiing met struiken. Op de kruin van de oever wordt hun aanwezigheid aangeduid voor het wegverkeer. Om de effectiviteit ervan te verzekeren, liggen de uitstapplaatsen maximaal 200m uit elkaar.
- **Faunadoorgangen** of **ecoduikers** zijn bruggen over een waterloop waarbij ook de droge oever onder de brug doorloopt (Arts et al., 2007; Claus, 1994). Het is belangrijk dat er een goede geleiding voorzien wordt en de oevers onder het kunstwerk naadloos aansluiten bij de oevers verderop. Deze voorziening is vooral belangrijk voor watergebonden dieren zoals de otter, die zich in belangrijke mate langs de oever verplaatsen (Figuur 24).

Figuur 24 Een otterloopplank in het Kempen~Broek. Bron: Pel & ARN Natuurontwikkeling (2014)

- **Vistrappen** die het mogelijk maken dat vissen barrières in waterlopen kunnen oversteken (Claus, 1994). Er bestaan verschillende mogelijkheden, die globaal terug te brengen zijn tot twee types, de V-vormige bekkentrap als vervanging van een stuw (Figuur 25) en de semi-natuurlijke doorgangen via een artificiële rivierarm of nevengeul die in een grote boog om de barrière loopt (Figuur 26). De trappen hebben een hoogteverschil van maximum 15 cm met tussen de trappen voldoende schuil- en rustgelegenheid. Het water moet voldoende diep zijn, meestal dieper dan 50 cm zodat ze op elk moment, bij elk debiet, door vissen gebruikt kunnen worden. V-vormige bekkenscheidende wanden bestaan liefst uit grote gestapelde, vastgelegde stenen met een helling van 7/1.

3 Knelpunten in het Kempen~Broek:

In dit hoofdstuk bespreken we een aantal knelpunten in het Kempen~Broek en de manier waarop ze aangepakt kunnen of zullen worden. Daarbij worden de volgende aspecten systematisch behandeld:

- **Het probleem:** de bespreking van het knelpunt en situering van het probleem;
- **De mogelijke oplossingen:** het voorstellen van een aantal mogelijke oplossingen; dikwijls uitgaande van de hiervoor voorgestelde bouwstenen, soms uitgaande van specifieke studies die voor het knelpunt uitgevoerd zijn;
- **De uitwerking van een oplossing:** een bespreking van de manier waarop en het kader waarin het knelpunt aangepakt kan of zal worden;
- **Het klimaatadaptief gehalte:** een inschatting van de mate waarin de voorgestelde oplossing klimaatadaptief is;
- **De prioritering:** een voorstelling van de wenselijke volgorde voor het aanpakken van de knelpunten en/of van de randvoorwaarden waaraan voldaan moet worden voor het oplossen van het besproken knelpunt.

We onderscheiden 7 types knelpunten:

- **Waterkwaliteit**
 - o puntverontreiniging
 - o diffuse verontreiniging
- **Waterkwantiteit**
 - o te hoge of te lage waterpeilen en dit afhankelijk van het seizoen
 - o probleem i.v.m. het debiet en daarmee gerelateerde erosie of sedimentatie
- **Combinatie van waterkwaliteit en waterkwantiteit** waarbij problemen enkel optreden bij een bepaalde samenhang, bijvoorbeeld vervuild water dat enkel een probleem vormt bij overstromingen
- **Morfologie waterlichaam**
 - o rechtgetrokken of onnatuurlijk in relatie tot de lengte van de waterloop
 - o kruid- en slibruiming waardoor de bodem egaliseert en microhabitat verdwijnt
 - o probleem met oeverstructuren en het ontbreken van functioneel microhabitat
- **Complexe problemen** met een combinatie van waterkwaliteit, waterkwantiteit en morfologie
- **Migratieknelpunten** door obstructies
- **Complexe problemen met alle types**

3.1 Waterkwaliteit

3.1.1 Lozingspunten en overstorten

- **Probleem.** Huishoudelijk en industrieel afvalwater komen terecht in de waterlopen. Het gevolg is vervuiling, waardoor planten en dieren afsterven en de biodiversiteit daalt.
- **Mogelijke oplossingen.** Zie bouwstenen waterkwaliteit. Een meer technische uitleg over de goede aanleg van rioleringssystemen is beschreven in Anoniem (2012).
- **Uitwerking oplossing.** De knelpunten worden opgelost in het kader van het deelbekkenbeheerplan Noordoost Limburg (Anoniem, 2009; Secretariaat Maasbekken, 2009).
- **Klimaatadaptief?** De oplossing is klimaatadaptief in de zin dat het beekwater zuiver blijft en gebruikt kan worden voor moerasontwikkeling en natuurherstel.
- **Prioritering.** Het oplossen van de problemen met lozingspunten en overstorten is prioritair en wordt best zo snel mogelijk uitgevoerd. Dit is noodzakelijk om andere knelpunten, zoals de moeilijkheid om tot kwaliteitsvolle moerasontwikkeling te komen, op te lossen. Daarvoor is immers een goede waterkwaliteit noodzakelijk.

3.1.2 Diffuse lozingspunten afkomstig van bemesting landbouwgrond

- **Probleem.** De nutriënten die van landbouwgronden afspoelen, voornamelijk nitraten en fosfaten, zorgen voor een verrijking van het beekwater. Dit veroorzaakt vaak een overvloedige plantengroei, wat dan weer een verminderde en vertraagde waterafvoer tot gevolg heeft waardoor het risico op ongewenste overstromingen toeneemt. Bij deze diffuse verontreiniging is de moeilijkheid dat er geen duidelijke bron van verrijking kan aangepakt worden.
- **Mogelijke oplossingen.** Zie bouwstenen waterkwaliteit. Aan de diffuse bron zelf, meestal landbouwpercelen naast waterlopen, kunnen oeverstroken aangelegd worden die al een deel van de nutriënten zullen wegfilteren. Beken die veel landbouwwater ontvangen en bijgevolg nutriëntenrijk zijn, hebben baat bij een zuivering met methodes die goed werken voor het verwijderen van nitraten en fosfaten (zie bouwstenen waterkwaliteit). Om overvloedige plantengroei te vermijden in het beektraject tussen de bron van de aanrijking en de zuiveringslocatie, kan het beschaduwden van de beek met bomen en struiken een oplossing zijn.
- **Uitwerking oplossing.** In het deelbekkenbeheerplan Noordoost Limburg (Anoniem, 2006, 2009) wordt verwezen naar het mestactieplan. Als de voorschriften van dit plan gevolgd worden waarbij een bemestingsvrije strook van 5 meter langs de waterloop (of 10m in VEN-gebied) gehandhaafd wordt, zou de rechtstreekse input van meststoffen in de waterloop moeten verminderen en de concentratie van nutriënten er moeten verlagen. Volgens dit deelbekkenbeheerplan moeten ook oeverzones langs de ecologisch belangrijke waterlopen afgebakend worden, maar dit project ligt voorlopig stil voor het stroomgebied van de Abeek. De Iitterbeek en Bosbeek worden in dit verband niet genoemd in de vorderingsrapporten (Secretariaat Maasbekken, 2013).
- **Klimaatadaptief?** Deze oplossing is klimaatadaptief omdat er beroep gedaan wordt op een natuurlijke waterzuivering van het ecosysteem.
- **Prioritering.** Oplossing van dit knelpunt is prioritair en wordt best zo snel mogelijk aangepakt. Om andere knelpunten op te lossen, o.a. overstromingen als gevolg van overvloedige plantengroei, de moeilijkheid om tot kwaliteitsvolle moerasontwikkeling te komen, is een goede waterkwaliteit noodzakelijk.

3.1.3 Diffuse lozingspunten van andere afkomst

- **Probleem.** Op allerlei manieren komen vervuilende stoffen in het milieu en het water terecht:
 - o zware metalen door emissies van nabijgelegen industrie;
 - o koolwaterstoffen (olie en benzine) en strooizouten die afspoelen van verharde oppervlakten zoals wegen en parkings;
 - o bestrijdingsmiddelen afkomstig uit velden en tuinen.Door deze vervuiling kunnen planten en dieren afsterven en neemt de algemene biodiversiteit af. In veel gevallen is de immissie zelf diffuus door de grote afstand tot de bron of omdat het, zoals bij het gebruik van bestrijdingsmiddelen, om immissie gaat die gespreid is over een groot gebied of traject van een waterloop. Bronnen kunnen echter wel duidelijker gelokaliseerd worden en sanering moet dus mogelijk zijn.
- **Mogelijke oplossingen.** Belangrijkst is dat de bronnen aangepakt worden: hoe minder vervuilende stoffen er in het milieu terechtkomen, hoe minder zuivering er achteraf nodig is. Dit kan door (1) het verminderen van het gebruik van de stoffen, (2) door minder vervuilende stoffen te gebruiken, (3) waar mogelijk door de vervuiling in olie- en slibafval op te vangen voor ze in het water terecht komt of (4) door filters te plaatsen die de vervuilende stoffen voor de uitstoot opvangen (bijvoorbeeld met een katalysator in uitlaat of schoorsteen). Waar toch vervuiling van waterlopen optreedt, worden die best zo dicht mogelijk na het vervuilende traject gezuiverd. Dit is vooral belangrijk voor waterlopen die regelmatig overstroomd, of waar natuurontwikkeling of landbouw van afhankelijk zijn. De concrete zuiveringsmaatregelen hangen af van de aard van de vervuilende stof (zie bouwstenen waterkwaliteit).
- **Uitwerking oplossing.** In het deelbekkenbeheerplan Noordoost Limburg wordt verwezen naar beleidsthema's als pesticidenreductieplannen en Code van goede

- landbouwpraktijk, waardoor verontreiniging door pesticiden in de landbouw zal afnemen. Verder wil men inzetten op het sensibiliseren van de bevolking tot milieuverantwoord productgebruik, vooral dan m.b.t. pesticidengebruik.
- **Klimaatadaptief?** Deze oplossing is klimaatadaptief omdat een gezuiverd milieu een grotere natuurlijke draagkracht en veerkracht heeft.
 - **Prioritering.** Het oplossen van dit knelpunt is prioritair en wordt best zo snel mogelijk aangepakt. Om kwaliteitsvol moeras te ontwikkelen, is een goede waterkwaliteit noodzakelijk.

3.1.4 Opstuwing water in Lechterrietbeek

- **Probleem.** De Lechterrietbeek overstroomt stroomopwaarts van het Smeethof. De oorzaak hiervan is een overvloedige plantengroei in het Smeethof die veroorzaakt wordt door een overvloed aan nutriënten in het beekwater (De Becker & Thoonen, 2011).
- **Mogelijke oplossingen.** De meest klimaatadaptieve oplossing om overmatige plantengroei te vermijden, is het beekwater afkomstig uit landbouwgebieden zuiveren (zie knelpunt 3.1.2). Een andere oplossing bestaat erin om een dichte rij bomen en struiken aan te planten langs de zonzijde van de beek, zodat het beektraject in de schaduw komt te liggen en er geen overvloedige plantengroei meer optreedt, ondanks de hoge nutriëntenrijkdom van het water.
- **Uitwerking oplossing.** In het moerasherstelplan Smeethof-Kettingdijk-Wijffelterbroek (zie knelpunt 3.1.14) wordt voorgesteld om het voedselrijke water van onder andere de Lechterrietbeek om te leiden zodat het een kwalitatieve moerasontwikkeling niet in de weg staat (Bell & van 't Hullenaar, 2012). Vermoedelijk zullen opstoppen in de toekomst toch vermeden moeten worden door periodieke kruidruiming.
- **Klimaatadaptief?** Beekwater gescheiden afvoeren en periodieke kruidruiming uitvoeren zijn niet klimaatadaptief. Beschaduw aanbrengen, in afwachting van zuiverder water, is een meer klimaatadaptieve oplossing.
- **Prioritering.** Dit knelpunt wordt best aangepakt in het kader van het moerasherstelplan Smeethof-Kettingdijk-Wijffelterbroek (zie knelpunt 3.1.14).

3.1.5 Overvloedige plantengroei in de Abeek

- **Probleem.** Overvloedige plantengroei in de Abeek, o.a. voorbij grenspaal 160, veroorzaakt opstuwing van het waterpeil tot opwaarts de Zuid-Willemsvaart. De beek niet ruimen, zorgt voor hoge grondwaterstand in aanpalende weilanden en dus wateroverlast voor de landbouw. Het ruimen van de beek is echter ecologisch ongewenst door de verstoring van natuurlijk habitat en de verdroging die ermee gepaard gaan.
- **Mogelijke oplossingen.** De meest klimaatadaptieve oplossing om overmatige plantengroei te vermijden, is het zuiveren van het beekwater dat afkomstig is uit landbouwgebieden (zie knelpunt 3.1.2). Een andere klimaatadaptieve oplossing bestaat uit het planten van een dichte rij bomen en struiken langs de zonzijde van de beek, zodat het beektraject in de schaduw komt te liggen en er geen overvloedige plantengroei meer optreedt.
- **Uitwerking oplossing.** Er zijn afspraken tussen de gemeenten Bocholt en Bree en de VLM dat er jaarlijks een kruidruiming moet gebeuren en, indien nodig, een slibruiming, ongeveer om de 5 jaar (Soresma, 2002). Om het beheer van de Abeek meer af te stemmen op ecologische voorwaarden, werd in 2012 beslist om deze kruidruiming meer in tijd en ruimte te spreiden (Secretariaat Maasbekken, 2013).

- **Klimaatadaptief?** Periodieke kruidruiming en zeker slibruiming hebben een grote invloed op de beekstructuur en hebben voor gevolg dat ze haar veerkracht en zuiverend vermogen verliest. De huidige oplossing is bijgevolg niet klimaatadaptief.
- **Prioritering.** Dit knelpunt wordt best aangepakt in het kader van het globale herstelplan Abeek (zie knelpunt 3.1.16).

3.1.6 Overvloedige kruidgroei in de Itterbeek

- **Probleem.** Door overvloedige kruidgroei in de Itterbeek, stroomafwaarts het verdeelwerk met de Abeek, wordt het water in de Itterbeek opgestuwd. Hierdoor wordt alle water in de zomer afgevoerd via de Abeek. Het verdeelpunt ligt wel net stroomafwaarts het Kempen~Broek, maar de opstuwing kan tot overstromingen leiden in het Kempen~Broek zelf (zie ook knelpunt 3.1.13).
- **Mogelijke oplossingen.** De meest klimaatadaptieve oplossing om overmatige plantengroei te voorkomen, is het zuiveren van beekwater dat afkomstig is uit landbouwgebieden (zie knelpunt 3.1.2). Een andere oplossing bestaat uit het aanplanten van een dichte rij bomen en struiken langs de waterloop, zodat het beektraject beschaduwd wordt en er geen overvloedige plantengroei meer optreedt. Anderzijds zou best ook het kunstmatige verdeelwerk zelf aangepakt worden (zie knelpunt 3.1.13).
- **Uitwerking oplossing.** Een deel van de oorzaak van het probleem, de hoge voedselrijkdom van het beekwater, is in het kader van het deelbekkenbeheerplan aangepakt door het oplossen van overstorten op de Itterbeek in Opitter. Diffuse verrijking vanuit de landbouw blijft helaas bestaan (zie knelpunt 3.1.2).
- **Klimaatadaptief?** De eutrofiëring aanpakken is klimaatadaptief; behoud van het kunstmatige verdeelwerk niet.
- **Prioritering.** Dit knelpunt wordt best aangepakt in het kader van het globale herstelplan Abeek (zie knelpunt 3.1.16).

3.2 Waterkwantiteit

3.2.1 Optimalisatie landbouwstuwtjes

- **Probleem.** In natte periodes wordt regenwater in landbouwgebied doorgaans zo snel mogelijk afgevoerd, terwijl de gewassen in droge periodes beregend moeten worden. Er zijn nochtans een aantal stuwtjes aanwezig waarmee waterpeilen meer in functie van het gehele landbouwgebied geregeld zouden kunnen worden. Dit vraagt om coördinatie. In het deelbekkenbeheerplan Noordoost Limburg (Anoniem, 2006, 2009) wordt opgemerkt dat de stuwtjes beheerd worden door individuele landbouwers zelf, zonder afstemming met bv. de gemeente.
- **Mogelijke oplossingen.** Het gebruik van de stuwtjes wordt best geoptimaliseerd door niet meer water af te voeren dan strikt nodig voor de gewasgroei afhankelijk van seizoen en groeifase, maar integendeel water vast te houden als buffer voor droge periodes. Waterbehoeften van de teelt en de periode van het jaar zijn dus sturend. Het is aangewezen om over het gebruik van de stuwtjes, analoog met de aanpak i.v.m. de landbouwstuwtjes in Wuustwezel (Garcia et al., 2012), actief informatie te verspreiden bij de landbouwers en hen in de mogelijkheid te stellen te leren en ervaringen uit te wisselen.
- **Uitwerking oplossing.** In het deelbekkenbeheerplan Noordoost Limburg (Anoniem, 2006, 2009) is een project 'individueel project optimalisatie landbouwstuwtjes' opgenomen, met als doel een inventaris te maken van de stuwtjes, het gebruik ervan te evalueren en dit gebruik te optimaliseren. Uit de voortgangsrapporten kan

niet afgeleid worden hoe dit project in de omgeving van het Kempen~Broek vordert. In de Dommelvallei is een gelijkaardig project wel al in uitvoering (Secretariaat Maasbekken, 2012).

- **Klimaatadaptief?** Ja, water vasthouden aan de bron zodat het beschikbaar blijft in droge periodes, is een belangrijke klimaatadaptieve maatregel.
- **Prioritering.** Deze kleinschalige en lokale maatregel kan onafhankelijk van het oplossen van andere knelpunten, uitgevoerd worden. Omdat het geen eenmalige ingreep is, maar een verandering van gebruik en beheer inhoudt, ondersteund door sensibilisatie en communicatie, zal dit project over een langere periode moeten lopen. Daarom is het zinvol om niet te lang te wachten met het opstarten van het project.

3.2.2 Oude Lossing

- **Probleem.** Tussen het stroomgebied van de Tungelroysebeek (moerasgebied Smeethof) en de Abeek doorsnijdt een drooggevalen ontwateringssloot een hoge zandrug. Deze sloot, de Oude Lossing, heeft nu zijn functie verloren, maar beïnvloedt door zijn diepe ligging die tot 2 m onder maaiveld reikt, wel het niveau van het grondwater.
- **Mogelijke oplossingen.** De Oude Lossing zou volledig gedempt kunnen worden of deels afgedamd waarbij dan een deel als cultuurhistorisch erfgoed behouden blijft (Bell & van 't Hullenaar, 2012). In het herstelplan voor de Abeek wordt echter de optie voorgesteld om water van laaggelegen landbouwgronden via deze Oude Lossing, de Raam en de Tungelroysebeek af te voeren (zie knelpunt 3.5.3).
- **Uitwerking oplossing.** Zowel het moerasinrichtingsproject Smeethof-Kettingdijk-Wijffelterbroek als het herstelplan voor de Abeek zitten nog voor een groot deel in de planningsfase. In verband met het eventuele gebruik van deze Oude Lossing is afstemming tussen beide plannen nodig.
- **Klimaatadaptief?** Het dempen van de Oude Lossing is het meest klimaatadaptieve voorstel, omdat de hydrologie dan volledig hersteld kan worden. Afdammen zal hoogst waarschijnlijk voor een deel hetzelfde effect hebben en houdt bovendien rekening met cultuurhistorie van het gebied. Het terug in gebruik nemen van de Oude Lossing voor waterafvoer, zoals voorgesteld in het herstelplan voor de Abeek, zal de hydrologische toestand terug complex en minder natuurlijk maken, wat vanuit het standpunt van klimaatadaptatie af te raden is.
- **Prioritering.** Dit probleem kan pas aangepakt worden nadat de plannen voor de projecten Smeethof-Kettingdijk-Wijffelterbroek en het herstel van de Abeek definitief uitgewerkt zijn.

3.2.3 Overstroming bedrijf Scana Noliko

- **Probleem.** Bij hevige neerslag komen de hallen van het bedrijf Scana Noliko in Bree onder water. Dit zou gebeuren door inundatie vanuit de Horstgaterbeek (info gemeente Bree in Soresma, 2002).

Aan de hand van kaarten kan de plaatselijke situatie ingeschat worden. Zo blijkt dat de Hulsbosbeek eigenlijk op de plaats van de bedrijfshallen zou lopen. Ofwel ligt de 'bron' van deze beek dus onder de bedrijfshallen, ofwel is de beek gedempt om de hallen te bouwen. De kans bestaat zo dat het bedrijf bij hoge waterstand overstroomt doordat het water in de Horstgaterbeek en de Hulsbosbeek stijgt en verder stroomopwaarts doordringt en/of het algemene waterpeil in de gehele zone van de historische loop van de Hulsbosbeek verhoogt, waardoor de bedrijfshallen onder water komen.

Op basis van de overstromingskaart met 'van nature overstroombare gebieden' (NOG) en de Hydrografische Atlas 2003 gecombineerd met de topografische kaart door de toenmalige afdeling Water (AMINAL - Vlaamse Gemeenschap), zijn risicozones voor overstroming aangeduid (zie Figuur 27). Overstromingen ter hoogte van Hulsboshof zijn bekend.

Figuur 27. Van nature overstroombare gebieden (bovenaan, grijs) en Risicozones voor overstromingen (AMINAL) (onderaan, blauw) in het gebied van het PRUP Uitbreiding regionaal bedrijventerrein Kanaal-Noord ten zuiden van de N73 te Bree. Bron: Libost-Groep nv., 2006.

- **Mogelijke oplossingen.** Mogelijk kan de waterpeilstijging opgevangen worden door het aanleggen van een bufferbekken langs de Hulsbosbeek tussen Scana Noliko en de uitmonding van de Hulsbosbeek in de Horstgaterbeek.
- **Uitwerking oplossing.** De oplossing van dit probleem wordt voorzien in het kader van het deelbekkenbeheerplan Noordoost Limburg door de aanleg van een buffering wanneer het industrieterrein uitgebreid wordt. In het Gemeentelijk RUP 'Industriezone Kanaal-noord te Bree' worden mogelijkheden voor infiltratie van neerslagwater voorzien langs de wegen (Art. 7). De Horstgaterbeek heeft er een zoveel mogelijk open bedding (Art. 15) die in een bouwvrije zone ligt (Art. 16). De Breeërstadsbeek loopt aan de rand van het gebied in een zone voor landschapsbuffer (Art. 18). Met deze bepalingen hoopt men tot een duurzame ontwatering van het oppervlaktewater in dit deelgebied te komen. In het Provinciaal RUP 'Uitbreiding regionaal bedrijventerrein Kanaal-Noord ten zuiden van de N73(Scana Noliko) te Bree' wordt een bezinkingsbekken voorzien voor de berging van oppervlaktewater, conform de gewestelijke verordening. De plaats waar zo'n buffer zou komen, is echter niet gespecificeerd. Bij de stedenbouwkundige voorschriften wordt enkel in de 'zone voor landschapsbuffer (Art. 8) verwezen naar waterbeheersing die daar moet mogelijk zijn. Voor het afzetten van slib in de koker van de Horstgaterbeek ter hoogte van het industrieterrein, wordt in beide RUP's nog geen oplossing voorzien. Volgens het deelbekkenbeheerplan zou dit op langere termijn gebeuren door middel van een slibvang. Ter compensatie zal de beek stroomopwaarts terug in een open bedding komen (in studiefase in Secretariaat Maasbekken, 2012).

- **Klimaatadaptief?** Maximaal infiltratie van neerslagwater mogelijk maken en meer ruimte voorzien voor de beken om piekdebieten op te kunnen vangen, zijn klimaatadaptief. De beek ondergronds inbuizen onder het industrieterrein is dit strikt genomen niet, al kan dat hier niet onverstandig zijn om zo watervervuiling te vermijden. Het geheel van maatregelen, waarbij de beek meer ruimte krijgt waar mogelijk en de ingebuisde trajecten zo kort mogelijk gehouden worden, zorgt ervoor dat de beek 'zo klimaatadaptief mogelijk' wordt ingericht.
- **Prioriteit.** Om het aantal uit te voeren slibueringen in het ingebuisde gedeelte te verminderen is het uiteraard wenselijk om niet te lang te wachten met het aanleggen van een slibvang. De oplossing van dit knelpunt kan onafhankelijk van andere maatregelen uitgevoerd worden.

3.2.4 Versnippering landbouw en natuur

- **Probleem.** In het Kempen~Broek zijn veel gronden in landbouwgebruik op plaatsen die beleidsmatig niet als landbouwgebied zijn aangeduid. Percelen met hoofdfunctie landbouw of natuur liggen zo met elkaar verweven in het landschap (De Belder et al., 2002). In een aantal gevallen kan dit voor de landbouw gunstig zijn, bijvoorbeeld als daardoor de natuurlijke plaagbestrijding toeneemt. In moerassige gebieden is het echter vaak een nadeel, omdat het op deze manier moeilijk is om bijvoorbeeld overeenstemming te krijgen over het gewenste grondwaterpeil (D'Haene et al., 2010; Geertsema, s.d.). Een ander bekend probleem is dat de bemesting van landbouwgrond ongunstig is voor de natuurontwikkeling die er verondersteld wordt door te gaan. Het Mestactieplan en de VLAREM-wetgeving leggen daarom normen op in gebieden met bestemming natuur. Op haar beurt is dit weer nadelig voor de landbouwbedrijfsvoering in deze gebieden (De Belder et al., 2002).
- **Mogelijke oplossingen.** Een oplossing kan er in de eerste plaats uit bestaan dat gronden geruild worden zodat zowel landbouwpercelen als natuurpercelen op de meest logische plaats meer gegroepeerd kunnen worden. Landbouwpercelen op de drogere gronden en, in het Kempen~Broek, natuurpercelen op de nattere gronden. Daarnaast moeten er maatregelen getroffen worden om te vermijden dat verrijkt water, afkomstig van de landbouwpercelen, ongezuiverd in natuurgebieden terecht komt (zie knelpunt 3.1.2). Voor veeteeltbedrijven zijn er meer mogelijkheden om naast zuivere landbouwproductiedoelen, ook mee natuurdoelen te realiseren. Dieren kunnen voor begrazing van natuurgebieden ingezet worden.
- **Uitwerking oplossing.** Ruilen en groeperen van gronden kan met instrumenten van de ruilverkaveling, landinrichting en natuurinrichting gebeuren. In herbevestigd landbouwgebied zou een ruilverkaveling uitgevoerd worden in het gebied Veldhoven-Kreiel (VLM, 2014), maar dit proces is stilgevallen. Andere initiatieven in dit verband lopen er momenteel niet.
- **Klimaatadaptief?** Deze oplossingen zijn klimaatadaptief omdat de verschillende functies in het gebied gelokaliseerd worden op plaatsen waar het natuurlijke waterpeil gunstig voor ze is. Daardoor zijn er weinig of geen bijkomende ingegrepen in het watersysteem meer nodig.
- **Prioritering.** Het gaat hier om een knelpunt dat prioritair opgelost zou moeten worden. Vermits de lokalisatie van de functies bepaalt waar overstromingen een knelpunt zijn en waar eventueel waterzuivering wenselijk is, is het nodig dat er snel duidelijkheid komt over de verdeling van de gronden tussen landbouw en natuur en dat de percelen dan ook als dusdanig gebruikt worden. Dan kunnen ook andere projecten van start gaan.

3.3 Morfologie van waterlichamen

3.3.1 Rechtgetrokken beken

- **Probleem.** Aan het probleem van rechtgetrokken waterlopen zijn verschillende aspecten gebonden.
 - o Rechtgetrokken beken in het Kempen~Broek zijn onnatuurlijk kort en hebben een steile hellingsgraad. Daardoor hebben ze een laag bergingsvermogen en wordt het water zeer snel afgevoerd.
 - o In de meeste van deze beken wordt vaak kruid en slib geruimd om een snelle waterafvoer te verzekeren. Het beekhabitat wordt hierdoor regelmatig volledig verstoord; de bodem egaliseert en stroomribbels ontbreken.
 - o Tenslotte zijn er vaak harde oeverstructuren aangebracht waardoor de beek geen ruimte heeft om een natuurlijk stromingspatroon te ontwikkelen.

Door dit rechte trekken zijn het bergend vermogen, het zuiverend vermogen, de ecologische waarde, het evenwicht tussen erosie en sedimentatie, sterk verminderd. Of met andere woorden, de beken hebben hun veerkracht verloren en zijn geen optimaal habitat voor de soorten die erin leven.

- **Mogelijke oplossingen.** De belangrijkste maatregel is waterlopen meer ruimte geven zodat de loop daarin, eventueel na de aanleg van meanders of het voorzien van stroomdeflectoren (keerribben) in de bedding, een natuurlijk weg kan volgen. Het waterbergend vermogen kan verzekerd worden door het beeklichaam een accoladeprofiel te geven. Slib- en kruidruiming worden achterwege gelaten, waardoor het dynamisch evenwicht tussen erosie en sedimentatie hersteld wordt en de structuurvariatie van de waterloop toeneemt. Om de habitatdiversiteit te verbeteren, zijn in de Abeek in 2008 keerribben en grindbanken aangelegd (Mouton et al., 2011).
- **Uitwerking oplossing.** In het kader van het deelbekkenbeheerplan Noordoost Limburg worden een aantal projecten opgestart in verband met de verbetering van beekstructuren. Omdat er in woon- en industriegebied dikwijls weinig ruimte is voor waterlopen, focussen de projecten op natuur- en landbouwgebieden. Hier worden locaties gezocht waar oeverstroken gevrijwaard of aangelegd kunnen worden waarbinnen de waterloop dan meer ruimte krijgt. Binnen het Kempen~Broek zijn hiervoor zoekzones afgebakend langs de Horstgaterbeek, de Itterbeek, de Witbeek, de Schaagterziep, de Soerbeek/Zuurbeek en de Veldhoverbeek. Bij het aanleggen van keerribben moet geleerd worden uit de ervaringen in de Abeek. Uit evaluatieonderzoek bleek dat ze niet groot genoeg waren en zo nauwelijks effect hadden op de stroomvariatie en dus geen significante verbetering opleverden voor stroomminnende vissen (Mouton et al., 2011).
- **Klimaatadaptief?** Het gaat hier om een klimaatadaptieve maatregel aangezien door de beken meer ruimte te geven en de structuur, al dan niet actief, te verbeteren, de veerkracht van de waterlopen toeneemt. Ze zullen piekdebieten beter kunnen opvangen en hun zelfreinigend vermogen verhoogt.
- **Prioritering.** Om te vermijden dat er nog een kruid- en slibuiming moet gebeuren nadat de beekstructuur hersteld is, kan er best gewacht worden met het herstel van de natuurlijke beekstructuur tot er geen zware vervuilingen meer optreden in het beekwater en/of tot er stroomopwaarts een zandvang aangelegd is om overtollig slib op te vangen (zie knelpunten 3.1.1 tot 3.1.3).

3.3.2 Zandvang Lozerbroekbeek

- **Probleem.** Door ingrijpende kruid- en slibuiming of door de rechte beektrajecten waarin wel erosie optreedt maar geen sedimentatie, komt er veel slib in het beekwater terecht. Bij de eerste hindernis waar de stroomsnelheid terug daalt, wordt dat slib massaal afgezet, met opstoppingen tot gevolg en een noodzaak om regelmatig te ruimen. In het Smeethof, aan de grens met Nederland, ligt een zandvang om het sedimenttransport te beperken. Om bij de moerasontwikkeling en

na het volledig herstel slibruiming te kunnen vermijden, maar ook om het opvangen zand gemakkelijk te kunnen wegvoeren, is het wenselijk deze zandvang te verplaatsen naar een plaats stroomopwaarts van het geplande moeras.

- **Mogelijke oplossingen.** Het is aangewezen om een zandvang aan te leggen op de Lozerbroekbeek, stroomopwaarts de geplande moerasinrichting van het Smeethof (zie knelpunt 3.5.1), op een plaats die voldoende toegankelijk is om het zand te kunnen afvoeren.
- **Uitwerking oplossing.** In het kader van het deelbekkenbeheerplan Noordoost Limburg werd een zoekzone voor deze zandvang voorgesteld, stroomopwaarts van het Smeethof. Om tot effectieve realisatie te kunnen overgaan, is de suggestie dat nagegaan wordt of het nog opgenomen kan worden als verdere uitwerking van het natuurinrichtingsproject Smeethof van de VLM (Secretariaat Maasbekken, 2012).
- **Klimaatadaptief?** Het aanleggen van een zandvang op zich, is niet klimaatadaptief, maar steun wel op het principe om de balans tussen sedimentatie en erosie te herstellen). De oplossing zorgt er voor dat het beektraject stroomafwaarts van de zandvang meer natuurlijk kan ontwikkelen zonder teveel sedimentafzetting die ruiming noodzakelijk maakt.
- **Prioritering.** De aanleg van een zandvang gebeurt best vooraleer de beekstructuur stroomafwaarts deze locatie hersteld wordt (zie knelpunt 3.5.1), zodat kruid- en slibruiming hier niet meer nodig zijn. Gelijkaardig aan dit project is er in het kader van het deelbekkenbeheerplan Noordoost Limburg voorzien om een zandvang aan te leggen op de Zuurbeek/Soerbeek stroomopwaarts van waar ze het Kempen~Broek binnenstroomt. Deze actie gebeurt ook best voor de beekstructuur zelf hersteld wordt (zie knelpunt 3.3.1).

3.4 waterkwantiteit + morfologie waterlichamen

3.4.1 Overstromingen in Leuerbroek

- **Probleem.** Om overstromingen in de ambachtelijke zone Leuerbroek te vermijden, is de loop van de Jettenbeek in 1994 verlegd. Waar ze vroeger uitmonde in de Itterbeek, gebeurt dat nu in de Abeek, vlak na het verdeelwerk tussen de Itterbeek en de Abeek, net buiten het Kempen~Broek. Voor deze verlegging was het waterpeil van de Abeek afwaarts het verdeelwerk lager dan dat in de Itterbeek opwaarts het verdeelwerk. Tegenwoordig is er niet veel verschil in waterpeil meer en wordt de situatie bij een hoge waterstand riskant voor de bedrijven (Soresma, 2002). Een mogelijke reden voor deze toestand is dat, stroomafwaarts van het verdeelwerk, de oevers van de Abeek, die enkele jaren voordien verstevigd werden met asfaltbitumen, verzakken, waardoor het water in de Abeek opgestuwd wordt. Het weggezakte oevermateriaal wordt geruimd, maar het probleem zelf wordt niet opgelost (Soresma, 2002). Het is ook mogelijk dat de plantengroei in de Itterbeek een rol speelt bij de verhoging van het waterpeil (zie knelpunt 3.1.6). De slechte afvoer ter hoogte van het verdeelwerk zorgt bovendien voor opstuwing en overstroming van de Itterbeek stroomafwaarts het verdeelwerk, net in het Kempen~Broek.
- **Mogelijke oplossingen.** Om overstromingen tijdens piekdebieten te vermijden, kan best het bufferend en bergend vermogen van de waterlopen verhoogd worden (zie bouwstenen waterbuffering en waterberging, 2.3.1.2; 2.3.1.3). Voor de Itterbeek kan dit door ze meer ruimte te geven om te meanderen en te overstromen op plaatsen waar het gebruik van de aanpalende terreinen dit toelaat. De Abeek (Oude Lossing) is op deze plaats een gegraven loop die de natuurlijke vallei van de Itterbeek quasi loodrecht doorkruist. Daar zullen dus mogelijk kunstmatige ingrepen nodig zijn om voldoende waterberging te voorzien.
- **Uitwerking oplossing.** Dit knelpunt kan opgelost worden in het kader van het herstelplan Abeek (zie knelpunt 3.5.3).

- **Klimaatadaptief?** Het bufferend en bergend vermogen van de waterloop verhogen is klimaatadaptief. Het laten bestaan van een kunstmatig systeem met een gegraven loop die loodrecht op een vallei loopt en een beek gelijkgronds kruist, is niet klimaatadaptief. Omdat het systeem toch al bestaat, wordt er bovendien van geprofiteerd om dieper te ontwateren, waardoor het steeds moeilijker wordt om het ooit nog ongedaan te kunnen maken.
- **Prioritering.** Het bufferend en bergend vermogen van de Itterbeek kan verhoogd worden zolang er rekening gehouden wordt met de plannen voor het natuurherstel en de andere functies in de vallei (zie knelpunt 3.5.5). Een oplossing in verband met het verdeelwerk met de Abeek wordt best gezocht in het kader van het herstelplan Abeek (zie knelpunt 3.5.3), omdat dit probleem zeker op grotere schaal aangepakt moet worden.

3.5 Waterkwaliteit + waterkwantiteit + morfologie waterlichamen

3.5.1 Moerasherstel Smeetshof – Kettingdijk – Wijffelterbroek

- **Probleem.** Het voormalige moerasgebied Bocholterbroek wordt sinds 1868 sterk ontwaterd door de Lossing (Capals et al., 2012) en is sindsdien in landbouwgebruik. Meer dan tien jaar geleden, in 2003-2004, heeft de Vlaamse Landmaatschappij er een natuurinrichtingsproject uitgevoerd. Daarvoor zijn een aantal voorstudies gemaakt (Libost-Group & Witteveen-Bos, 2002; VLM, 2000; Witteveen-Bos & Libost-Group, 2002). De bedoeling was dat er een moeras ontwikkeld werd door het opstuwen van beekwater, terwijl de Lossing zelf behouden bleef. Het gevolg was echter een sterk schommelend waterpeil door de sterke drainage van de Lossing en een verrijking van het gebied door het voedselrijke beekwater. Hierdoor werd de doelstelling om er een mesotroof moeras te ontwikkelen, niet gehaald (De Becker & Thoonen, 2011; Stulens et al., 2008).
- **Mogelijke oplossingen.** Nu alle laaggelegen gronden in beheer zijn bij natuurbeherende verenigingen, kan de Lossing minder diep en breder gemaakt worden, waardoor ze dezelfde afvoer capaciteit behoudt, maar er minder kwelwater afgevangen wordt. Hierdoor kan de kweldruk in het gebied terug stijgen. Om de historische fosfaatverrijking door landbouw te verwijderen en het maaiveld te verlagen, kan een deel van de voedselrijke toplaag in de vallei rond de Lossing afgeplagd worden. Zo kan er een mesotroof moeras ontstaan dat gevoed wordt door kwelwater. Om de dikte van de af te graven laag te bepalen, is een gedetailleerde analyse van de fosfaatconcentraties op verschillende dieptes gebeurd (Demey et al., 2015b). Verder zal het voedselrijke beekwater omgeleid worden rond het gebied. Wat door het gebied stroomt wordt ingedijkt, zodat het gebied niet verder aangerijkt kan worden (Bell & van 't Hullenaar, 2012; Bell Hullenaar, 2014).
- **Uitwerking oplossing.** In 2014 zijn in het Nederlandse gebied Kettingdijk al afgravingen gebeurd in het kader van dit project. Voor het Smeetshof is in 2014 een bijkomend bodemonderzoek gebeurd om de meest gunstige plagdiepte te achterhalen (Demey et al., 2015b). Het herstelscenario dat daaruit voortkomt, geeft aan dat afgraafdieptes tussen 10 en 60 cm nodig zullen zijn om ideale abiotische omstandigheden te verkrijgen voor de nagestreefde natuurdoelen (zie Figuur 28). Buiten de af te graven zones moet er gemaaid of uitgemijnd worden.

Figuur 28 Plaats en diepte van de af te graven zones in Smeethof t.b.v. optimale abiotische omstandigheden voor natuurherstel volgens het 'finaal scenario'. Bron: Demey et al., 2015b)

- **Klimaatadaptief?** Dit project een goed voorbeeld van klimaatadaptief werken; er wordt immers gestreefd naar een meer natuurlijk systeem met minder diepe ontwatering, een reactivering van kwelwater en het herstel van de sponswerking van het moeras. Dit is mogelijk geworden doordat alle laag gelegen gronden een natuurbestemming gekregen hebben. Minder 'natuurlijk' is het om het voedselrijke water gescheiden af te voeren. Dit kan echter gezien worden als een tijdelijke maatregel, noodzakelijk om waardevolle natuur te kunnen ontwikkelen met zuiver kwelwater, ondanks de aanwezigheid van voedselrijk beekwater. Van zodra de waterkwaliteit van het beekwater goed is, wat in principe bereikt zal worden door de uitvoering van het deelbekkenbeheerplan, kunnen nieuwe stappen gezet worden naar een volledig natuurlijk moerassysteem.

- **Prioritering.** Een randvoorwaarde voor de ontwikkeling van een mesotroof moeras is een goede waterkwaliteit. Er wordt dus best gewacht met het opstuwen van de Lossing tot de lozingspunten en overstorten stroomopwaarts opgelost zijn en de waterkwaliteit goed is.

3.5.2 Overstromingen Opitter

- **Probleem.** Het park van Opitter (Bree) overstroomde regelmatig omdat de beken niet goed geruimd werden.
- **Mogelijke oplossingen.** In een natuurlijk systeem is het ruimen van beken in principe niet nodig; overmatige plantengroei kan verhinderd worden door het water te beschaduen en te zuiveren (zie knelpunt 3.1.2), terwijl sedimentatie van slib kan vermeden worden door de beek stroomopwaarts een meer natuurlijke structuur te geven of, als dit niet mogelijk is, een zandvang te plaatsen. Een andere oplossing is het bufferend of bergend vermogen te verhogen door bijvoorbeeld een bufferbekken te plaatsen.
- **Uitwerking oplossing.** In het deelbekkenbeheerplan Noordoost Limburg is het individueel project 'Zoekzone voor het inrichten van een overstromingsgebied stroomopwaarts Opitter' opgenomen, met als doel een overstromingsgebied te creëren stroomopwaarts de Pollismolen. Dit overstromingsgebied is in 2012 aangelegd langs de Wijshagerbeek. In 2011 zijn ook de overstorten op de Itterbeek en Baatsbeek in Opitter geoptimaliseerd (Secretariaat Maasbekken, 2012), wat ook de waterhoeveelheid bij piekdebieten vermindert en er bij eventuele overstromingen voor zorgt dat het water minder vervuild is. Tenslotte wordt er werk gemaakt van een gescheiden rioleringsstelsel en veralgemeende infiltratie (Infrax Infovergadering, 17 november 2016).
- **Klimaatadaptief?** Ja, want de aanpassing zorgt voor een verhoging van het bufferend vermogen van de beek.
- **Prioritering.** Dit knelpunt is intussen opgelost.

3.5.3 Herstelplan Abeek

- **Probleem.** Door ontwatering van voormalige moerasgebieden is ter hoogte van de Abeek een complex watersysteem ontstaan met natuurlijke beken die hoger en ontwateringsgrachten die lager liggen (zie ook 2.1 'Huidige waterhuishouding in het Kempen~Broek'). Beide kruisen elkaar op enkele plaatsen. De bovenloop van de natuurlijke Abeek is aangesloten op de benedenloop van de gegraven Lossing en omgekeerd. Doordat deze gegraven benedenloop geen natuurlijke beekstructuur meer heeft, het is een rechte gracht, zullen veeleisende vissoorten deze waarschijnlijk niet gebruiken voor migratie vanuit de Maas. Andere nadelen van dit onnatuurlijke watersysteem, zoals de geringe bergingscapaciteit, de verdroging die veroorzaakt wordt, het sterk versturend en egaliserend effect van de ruiming en de kosten die aan dit onderhoud verbonden zijn, werden al in hoofdstuk 2.1 besproken.
- **Mogelijke oplossingen.** De meest natuurlijke, maar ook meest ingrijpende oplossing, is de Lossing volledig dempen zodat een natuurlijke situatie met moerassen en overstromingsgebieden hersteld wordt. Op deze manier komen er grote kansen voor natuurherstel. Het nadeel is echter dat het risico op wateroverlast elders verhoogt. Met vrijwillige kavelruil zoals die gebeurt in het Nederlandse deel van het Kempen~Broek of met aankoop en onteigeningen van landbouwpercelen moet hiervoor een oplossing gezocht worden. Afwatering en lozing via de Lossing zal ook niet meer mogelijk zijn, tenzij eventueel via de Oude Lossing en de Tungelroysebeek voor de Contersloot (zie knelpunten 3.2.2 en 3.5.4). Voor de natuur zijn er ook grote gevolgen. Het moerasgebied de Zig zal hoogst waarschijnlijk verdrogen, terwijl het beschermd landschap Stamprooierbroek zal vernatten en evolueren naar een open moeras.

Een tweede mogelijkheid om het probleem aan te pakken, die ook als een eerste stap naar het volledig herstel kan gezien worden, is een soort tussenoplossing. Ze bestaat eruit de Abeek en de Lossing om te wisselen ter hoogte van een van de kruisingen, zodat voor beide beken de bovenloop terug aan de benedenloop aangesloten wordt. Daarna kunnen de beekmorfologie en de mogelijkheden voor vismigratie in de 'natuurlijke' Abeek hersteld worden en kan de gegraven Lossing volledig ingericht worden in functie van het waterbeheer. Hetzelfde geldt voor de zijlopen die kunnen aangesloten worden op de Abeek of Lossing, al naargelang de toegewezen functie. Dit scenario zal voor minder wateroverlast zorgen dan het volledige herstel omdat hier de Lossing als noodopvang voor waterafvoer kan gebruikt worden (Lambrechts et al., 2007). Op enkele landbouwpercelen zullen echter nog overstromingen optreden.

In het kader van deze herinrichtingsplannen merkte de Vlaamse Landmaatschappij op dat natuurlijke meandering als gevolg zal hebben dat molens niet meer langs de beek zullen liggen (Soresma, 2002). Wanneer de herinrichting verder geconcretiseerd wordt, moet deze problematiek eveneens grondig bekeken worden.

- **Uitwerking oplossing.** De gevolgen van de beschreven scenario's zijn enkel gemodelleerd aan de hand van een oppervlaktewatermodel (Soresma, 2002). Dit is een te onnauwkeurige benadering voor dit kwelgevoelige gebied. Er zal voor de Abeekvallei een meer volledige scenariostudie opgemaakt worden door Vlaamse Milieumaatschappij, gemodelleerd volgens het oppervlaktewatermodel, het grondwatermodel en het ecologisch NICHE-model. Deze studie is voorzien maar ligt momenteel stil omdat het oppervlaktewatermodel eerst nog verfijnd moet worden. Het is opgenomen in het lopende wateruitvoeringsprogramma (Secretariaat Maasbekken, 2015).
- **Klimaatadaptief?** Het eerste scenario betekent teruggaan naar het natuurlijke systeem zonder technische hulpmiddelen zoals verdeelwerken en kruisingen en is dus het beste alternatief vanuit het standpunt van klimaatadaptatie. Het impliceert echter een volledige verandering van het landschap waarbij sommige plaatsen aanzienlijk vernatten terwijl andere verdrogen. Hierdoor zal het zeker op korte termijn moeilijk realiseerbaar zijn. In het tweede scenario blijft diepe drainage van het grondwater aanwezig en zijn technische hulpmiddelen, de verdeelwerken, noodzakelijk. Deze oplossing is dus minder klimaatadaptief dan vorige oplossing, maar de impact op de omgeving is minder ingrijpend waardoor deze aanpak meer haalbaar is.
Doordat de Abeek terug haar volledig natuurlijke loop zal volgen, zijn er heel wat mogelijkheden om de natuurlijke beekprocessen te herstellen. Vanuit het standpunt van klimaatadaptatie is deze situatie dan ook beter dan de huidige situatie.
- **Prioritering.** Vermits de overstromingen zullen toenemen, er moerasgebieden zullen ontstaan en overmatige plantengroei vermeden moet worden, is een goede waterkwaliteit een randvoorwaarde om het project aan te vatten. Een andere randvoorwaarde is dat alle potentieel overstroombare terreinen een functie hebben die daarmee te verzoenen is.
Gezien de grote impact van het project op de omgeving, is het wenselijk om de plaatselijke belanghebbenden voldoende te betrekken bij beslissingen en de bevolking te informeren over de concrete veranderingen. Op die manier kan het noodzakelijke draagvlak gecreëerd worden. Dit project zal dus pas over een aantal jaren effectief uitgevoerd kunnen worden, al hangen de mogelijke oplossingen voor sommige andere knelpunten zoals het oplossen van vismigratieknelpunten (knelpunt 3.6.1) en de problematiek van de Oude Lossing (knelpunt 3.2.2) wel af van de beslissingen die voor dit project genomen worden.

3.5.4 Contersloot ten noorden van de Abeek

- **Probleem.** Ter hoogte van de Luysen is ten noorden van de Abeek een Contersloot gegraven op 20 à 50m van de beek en dit om de laaggelegen landbouwgrond te ontwateren. Het voedselrijke landbouwwater van deze sloot komt in de Lossing terecht. Die bevat vooral voedselarmere kwelwater en is daarom belangrijk voor de

beoogde moerasontwikkeling. Als alternatief, de ontwatering in functie van ander grondgebruik via de toch al voedselrijke Abeek laten gebeuren, is niet mogelijk omdat het waterniveau in de Abeek boven het maaiveld ligt.

- **Mogelijke oplossingen.** Om te vermijden dat het voedselrijke water moerasontwikkeling stroomafwaarts zou verhinderen of aanleiding zou geven tot overvloedige plantengroei, kan het water gezuiverd worden via doorstroming van de oeverstroken en eventueel door een bijkomende zuiveringsinstallatie in de sloot en dit voordat het water in de Lossing geloosd wordt (zie knelpunt 3.1.2). In het kader van het herstelplan Abeek is het trouwens belangrijk om rekening te houden met deze laag gelegen ontwateringssloot (zie knelpunt 3.5.3). Voor het scenario waarbij de Lossing ingericht wordt in functie van waterbeheer, kan het huidige systeem behouden worden. Maar in het scenario waar de Lossing verdwijnt, zal er een oplossing gezocht moeten worden om het water van de Contersloot in de veel hoger gelegen Abeek te lozen. Een alternatief is om dit water via de Oude Lossing af te voeren, zoals Lambrechts et al. (2007) voorstellen. Dit moet dan wel passen in de plannen voor moerasherstel in het Smeetshof (zie knelpunt 3.5.1). het hypothekeert daarenboven het dempen van de Oude Lossing (zie knelpunt 3.2.2).
- **Uitwerking oplossing.** In het kader van het deelbekkenbeheerplan Noordoost Limburg, worden inspanningen gedaan om diffuse vervuiling in de Lossing te voorkomen. De Contersloot staat echter nergens vermeld en lijkt aan de aandacht te ontsnappen. In hoeverre deze laaggelegen ontwateringssloot kan blijven bestaan, hangt af van de concrete plannen van het herstelplan Abeek (zie knelpunt 3.5.3). Een andere oplossing kan bestaan uit het aankopen van de oeverzones die volgens de bestemmingsplannen gedeeltelijk in natuurgebied liggen. Hierdoor kan rechtstreekse inspoeling van eutrofiërende stoffen verminderd worden en kan er bijkomend iets aan de steile en instabiele dijk van de Abeek gedaan worden.
- **Klimaatadaptief?** Diffuse vervuiling oplossen met natuurlijke zuivering in de oeverstroken en die oeverstroken een invulling geven die ecologisch aansluit bij de waterloop, zijn klimaatadaptief. De diepe ontwatering door de sloot zelf, is uiteraard niet klimaatadaptief.
- **Prioritering.** Het aanpakken van diffuse verontreiniging is prioritair omdat een goede waterkwaliteit noodzakelijk is om de andere knelpunten op te lossen.

3.5.5 Natuurontwikkeling in de Itterbeekvallei

- **Probleem.** De drainerende werking van de Itterbeek zelf in de winter en de ontwatering door het uitgebreide grachtenstelsel in de vallei van de middenloop van de Itterbeek het hele jaar door, veroorzaken grote schommelingen in het grondwaterpeil. Hierdoor is de ontwikkeling van vegetatietypes die een eerder stabiel grondwaterpeil, dicht aan het maaiveld vereisen, niet mogelijk. In het zuidwesten kunnen vegetatietypes van natte plaatsen die wel geringe waterpeilfluctuaties doorheen het jaar tolereren, zoals natte heide, tot ontwikkeling komen. Op andere plaatsen in de vallei laat het huidige hydrologische systeem het blijvend bestaan van waardevolle watergebonden vegetatietypes echter niet toe (Verbaarschot et al., 2012).
- **Mogelijke oplossingen.** Door de verweving van landbouwpercelen en natuurpercelen in de vallei, is het herstel van de hydrologische situatie voorlopig niet haalbaar. Op plaatsen waar vernatting geen negatieve invloed heeft op landbouw, zouden de grachten minder diep gemaakt en indien mogelijk, volledig gedempt kunnen worden. Als vernatting noodzakelijk is om de natuurdoelstellingen te halen, zal daarom nagegaan moeten worden of grondenruil tussen natuur en landbouw en eventueel recreatie mogelijk is, om zo aaneengesloten gebieden te creëren waarin hydrologisch herstel wel mogelijk is.
- **Uitgewerkte oplossing.** In de ecohydrologische studie van de Itterbeekvallei die ingevoerd werd in het kader van Life+-project Itter en Oeter, wordt het advies gegeven om, voor het inrichten van voornamelijk droge natuurpercelen, de

fosfaatrijke bodemlaag af te graven (Verbaarschot et al., 2012). De mogelijkheden voor de ontwikkeling van natte natuur echter blijven beperkt zolang een aantal gronden in de vallei ontwaterd moeten worden voor diverse andere functies.

- **Klimaatadaptief?** Het behoud van de ontwatering door grachten is niet klimaatadaptief. De sponswerking van de bodem wordt immers niet optimaal gebruikt.
- **Prioritering?** Nu de knelpunten stroomopwaarts in Opitter opgelost zijn (zie knelpunt 3.5.2), kan in dit deel van de Itterbeekvallei natuurontwikkeling plaatsvinden, uiteraard binnen de randvoorwaarden die ten behoeve van andere functies in de vallei gelden. Omwille van het verdeelwerk tussen de Abeek en de Itterbeek net stroomafwaarts het Kempen~Broek (zie knelpunt 3.1.6), zal wel gecoördineerd moeten worden met het project herstelplan Abeek (zie knelpunt 3.5.3). Ook zal voor beide projecten rekening gehouden moeten worden met de afspraak tussen België en Nederland dat het waterdebiet van de Itterbeek aan de grens tussen 300 en 1000 l/s moet bedragen (Soresma, 2002).

3.6 Obstructies

3.6.1 Vismigratieknelpunten

- **Probleem.** Door een aantal barrières in de waterlopen kunnen vissen en andere waterdieren zich niet stroomop- of stroomafwaarts verplaatsen naar voortplantingshabitat of andere functionele plekken. De fragmentatie kan verhinderen dat er zich voldoende grote, levensvatbare populaties opbouwen.
- **Mogelijke oplossingen.** De migratieknelpunten wegwerken door, indien mogelijk, de hindernissen te verwijderen of anders door vistrappen aan te leggen, ligt voor de hand (zie bouwsteen 2.3.2.4).
- **Uitwerking oplossing.** De grootste knelpunten zijn reeds opgelost, andere worden volgens prioriteit opgelost door de Vlaamse milieumaatschappij (waterlopen 1^{ste} categorie) of de Watering Het Grootbroek (2^{de} categorie). Beleidsmatig wordt er gekozen om vrije vismigratie vanuit de Maas mogelijk te maken via de natuurlijke waterlopen en niet via de gegraven waterlopen. Hierdoor wordt het een onderdeel van een volledig ecologisch beekherstel. Concreet zal vismigratie naar de bovenloop van de Abeek gebeuren via de Nieuwe Lossing, de historische bedding van de Abeek en naar de bovenloop van de Bosbeek via de Witbeek. Door het aantakken van de debieten uit de bovenloop van de Abeek op de Lossing zal de basisafvoer in de Uffelse beek – Haelense beek toenemen en zal de waterkwaliteit er verbeteren. Hierdoor zullen de attractiviteit en de optrekbaarheid vanuit de Maas toenemen (Van den Neucker et al., 2010). Een databank met de knelpunten staat op <https://www.vmm.be/data/vismigratie>.
- **Klimaatadaptief?** Het verwijderen van de hindernissen om zo terug een natuurlijke waterloop te verkrijgen, is klimaatadaptief. Het behouden van onnatuurlijke situaties is in principe niet klimaatadaptief, tenzij met gerichte maatregelen de ecologische werking toch verzekerd wordt zoals dat het geval is met vistrappen en vismigratie.
- **Prioritering.** Beleidsmatig is dit een prioriteit. Als voor de ingreep de waterhuishouding aangepast moet worden, wordt de impact op naastliggend ruimtegebruik nagegaan en wordt afgestemd op lopende plannen in de waterloop en het ermee samenhangend hydrologisch systeem.

3.6.2 Wegen als ontsnipperingsknelpunten

- **Probleem.** Een aantal grote wegen die het Kempen~Broek doorkruisen, vormen een knelpunt voor zich verplaatsende dieren, waardoor isolatie kan toenemen en

populaties mogelijk verzwakken. Migratie als gevolg van klimaatverandering kan er ook door gehinderd worden.

- **Mogelijke oplossingen.** Zie ontsnipperingsbouwstenen wegen 2.3.2.3. In functie van watergebonden dieren zoals de otter, zijn ook de faunadoorgangen of ecoduiders die aangelegd worden, wenselijk (zie 2.3.2.4 barrières in waterlopen wegwerken).
- **Uitwerking oplossing.** In het Nederlandse deel van het Kempen~Broek is een ecoduct aangelegd over de A2 en de spoorweg en wordt er volop werk gemaakt van faunadoorgangen voor de otter (Figuur 29). Een overzicht van de knelpunten en de wenselijke oplossingen in het gehele Kempen~Broek is te vinden in de ontsnipperingsstudie van Arts et al. (2007). In het Belgische deel worden ontsnipperingsknelpunten nog niet op een systematische manier weggewerkt.

Figuur 29 Kempen~Broek Nederland; plaatsen waar ontsnipperingsmaatregelen voor otter zijn genomen. Bron: Pel & ARK Natuurontwikkeling (2014).

- **Klimaatadaptief?** Ja, ontsnipperende maatregelen zorgen ervoor dat soorten zich vrij kunnen verplaatsen en migreren bij veranderingen van de leefomgeving zoals een tijdelijke verdroging, vernatting of temperatuursverandering. Zo kunnen ze actief reageren op een veranderend klimaat.
- **Prioritering.** Ontsnipperingsknelpunten die prioritair opgelost moeten worden, zijn deze van de wegen die de natuurkernen doorsnijden zoals de Bocholterweg - Weerterweg en de Grootbroekstraat. In een eerdere ontsnipperingsstudie kregen ze de hoogste prioriteit (Arts et al., 2007). Minder prioritaire ontsnipperingsknelpunten zijn deze die de verplaatsing tussen verschillende natuurkernen verhinderen, zoals de wegen Hamont-Lozen, Bree-Kinrooi, Kinrooi-Neeroeteren en de Diestersteenweg (prioriteit 3 in Arts et al., 2007).

Referenties

- Adriaens T., Peymen J., Decler K. (2007). Natuurverbindingsgebieden in Vlaanderen: achtergronden, afbakening en mogelijke inrichting. Brussel: Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek,. (INBO.R.2007.14). 160 p.
- Albertson K. , Ayles J., Cavan G. & McMorro J. 2010. Climate change and the future occurrence of moorland wildfires in the Peak District of the UK. CLIMATE RESEARCH. Open Access. Preprint, 2010. doi: 10.3354/cr00926
- Andriesse L.A., Akkerman G.J., van den Broek T., Vos P.G.H., Martens D.C.A.M., Stroeken P.F.A., Speets R. (2007). Natuurlijke klimaatbuffers voor een klimaatbestendiger Nederland. Rotterdam: Royal Haskoning.
- Anoniem. 2006. Deelbekkenbeheerplan. Niet-technische samenvatting. Deelbekken Noordoost-Limburg. Hasselt, Waterschap Noordoost-Limburg, 63p.
- Anoniem. 2009. Deelbekkenbeheerplan. Acties en maatregelen. Deelbekken Noordoost-Limburg. Hasselt, Waterschap Noordoost-Limburg, 137p.
- Anoniem. 2012. Code van goede praktijk voor het ontwerp, de aanleg en het onderhoud van rioleringsystemen. Erembodegem: werkgroep Waterzuivering van de Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid. 56 p.
- Arts J.H.C., Langeveld N., Frissen D.P.E.M., Lommelen E., Van Looy K., Casaer J., Roymans J.A.M. (2007). Bouwstenen voor ontsnippering van Grenspark Kempen~Broek. Heeze. 112 p.
- Bell J., van 't Hullenaar J.W. (2011). Ecologisch herstel grensoverschrijdend natuurgebied Wijffelterbroek-Kettingdijk-Smeetshof. Afdeling van de herstellmogelijkheden op basis van ecohydrologisch vooronderzoek. Zwolle. 52 p.
- Bell J., van 't Hullenaar J.W. (2012). Schetsontwerp grensoverschrijdend natuurgebied Kettingdijk-Wijffelterbroek-Smeetshof. Concept. Zwolle. 52 p.
- Besse-Lototskaya A.A., Geertsema W., Griffioen A., van der Veen M., Verdonschot P.F.M. (2011). Natuurdoelen en klimaatverandering. State-of-the-Art. Wageningen: Alterra. Alterra-rapport 2135. 156 p.
- Bresser A.H.M., Berk M.M., van den Born G.J., van Bree L., van Gaalen F.W., Ligtoet W., van Minnen J.G., Witmer M.C.H. (2005). Effecten van klimaatverandering in Nederland. Bilthoven: Milieu- en Natuurplanbureau. (MNP-rapportnummer: 773001034). 111 p.
- Brouwers J., Peeters B., Willems P., Deckers P., De Maeyer P., De Sutter R., Vanneuville W. (2009). Klimaatverandering en waterhuishouding. In: Van Steertegem M. (editor). Milieuverkenning 2030. Brussel: Vlaamse Milieumaatschappij. p 283-304.
- Brouwers J., Peeters B., Van Steertegem M., van Lipzig N., Wouters H., Beullens J., Demuzere M., Willems P., De Ridder K., Maiheu B., De Troch R., Termonia P., Vansteenkiste Th., Craninx M., Maetens W., Defloor W., Cauwenberghs K. 2015. MIRA Klimaatrapport. 2015, over waargenomen en toekomstige klimaatveranderingen. Vlaamse Milieumaatschappij i.s.m. KU Leuven, VITO en KMI. Aalst, Belgium, 147 p.
- Capals P., Corstjens J., Neyens R., Paredis J., Peeters H. (2012). De Abeek Levensader van beide Limburgen. Genk: Regionaal Landschap Kempen en Maasland.

- Claus K. (1994). Vademecum natuurtechniek: inrichting en beheer van waterlopen. Brussel: Cherretté, M., Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Algemeen Milieu- en Natuurbeleid.
- Centers for Disease Control and Prevention. z.d. Zie <https://www.cdc.gov/climateandhealth/effects/>
- Databank Ondergrond Vlaanderen. 2016. Grondwaterstandindicator Freatisch Grondwater. <https://dov.vlaanderen.be/dovweb/html/3grondwaterstandindicator.html>
- D'Haene K., Laurijssens G., Van Gils B., De Blust G., Turkelboom F. (2010). Agrobiodiversiteit: Een steunpilaar voor de 3de generatie agromilieumaatregelen? Brussel: Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek. 216 p.
- De Becker P., Thoonen M. (2011). Advies betreffende de vernatting buiten de natuurinrichtingsperimeter van het Smeethof; inschatten en remediëren. Brussel. INBO.A.2010.123. 24 p.
- De Belder T., Gellynck X., Viaene J., De Coster F., Van Orshoven J. (2002). Open Ruimtegebied Noord-Limburg. 131 p.
- de Blaeij A., Reinhard S. (2008). Een waterpark als alternatief. Den Haag. 2008-061. 75 p.
- De Groof A., Hecq W., Coninx I., Bachus K., Dewals B., Piroton M., El Kahloun M., Meire P., De Smet L., De Sutter R. (2006). General study and evaluation of potential impacts of climate change in Belgium. Bruxelles. WP1-3. 1-66 p.
- Demey A., Aerts N., De Buysere F., De Schrijver A. & Verheyen K. 2015b. Smeethof: bodemkwaliteit en afgraving als verfijning van de grensoverschrijdende visie. Eindrapport. Opdracht ANB, uitvoering Universiteit Gent & Technum, 171p.
- Demey A., De Frenne P., Verheyen K. 2015. Klimaatadaptatie in natuur- en bosbeheer. ForNaLab, UGent, 41 pp.
- European Environment Agency. 2012. Urban adaptation to climate change in Europe. Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies. European Environment Agency, Copenhagen, ISBN 978-92-9213-308-5; 143 pp
- European Environment Agency. 2012. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. An indicator-based report. Copenhagen, ISBN 978-92-9213-346-7. <http://www.eea.europa.eu/publications/climate-impacts-and-vulnerability-2012>
- European Environment Agency. 2012b. Urban adaptation to climate change in Europe. Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies. Copenhagen, ISBN 978-92-9213-308-5. <http://www.eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-to-climate-change#tab-figures-used>
- European Environment Agency. 2015. Exploring nature-based solutions. The role of green infrastructure in mitigating the impacts of weather- and climate change-related natural hazards. ISBN 978-92-9213-693-2. <http://www.eea.europa.eu/publications/exploring-nature-based-solutions-2014>
- Foley J.A., Ramankutty N., Brauman K.A., Cassidy E.S., Gerber J.S., Johnston M., Mueller N.D., O'Connell C., Ray D.K., West P.C. et al. (2011). Solutions for a cultivated planet. Nature 478(7369):337-342.

- Fonder N. & Headley T. 2013. The taxonomy of treatment wetlands: A proposed classification and nomenclature system. *Ecological Engineering*, 51: 203–211.
- François D., Drogue G. & Commeaux F. 2011. Évolution possible des débits d'étiage de la Meuse en France au cours du XXI^{ème} siècle. *Revue Géographique de l'Est*, 51/3-4.
- Fritz C. & Lamers L. 2014. Paludicultuur – kansen voor natuurontwikkeling en landschappelijke bufferzones op natte gronden. *Vakblad natuur, bos, landschap*, mei 2014:4-9.
- García A.M., Ónega F.J., Crecente R., van Holst F., Abts E., Timmermans W., Stolk M., (editors) (2012). *f:acts! Forms for Adapting to Climate change through Territorial Strategies. The handbook*. Spain: Alva Gráfica. 117 p.
- Garibaldi L.A., Steffan-Dewenter I., Kremen C., Morales J.M., Bommarco R., Cunningham S.A., Carvalheiro L.G., Chacoff N.P., Dudenhoffer J.H., Greenleaf S.S. et al. (2011). Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. *Ecology Letters* 14(10):1062-1072.
- Geertsema W. (s.d.). *Klimaatverandering op de hoge zandgronden: effecten en adaptatie. Betekenis van klimaatverandering voor het landelijk gebied in de provincie Gelderland. Een uitwerking voor de gebiedsontwikkeling in Baakse Beek en Blauwe Bron. Provincie Gelderland.* p 16.
- Gobin A., Van De Vreken P., Van Orshoven J., Keulemans W., Geers R., Diels J., Gulinck H., Hermy M., Raes D., Boon W., Muys B. & Mathijs E. 2008. *Adaptatiemogelijkheden van de Vlaamse landbouw aan klimaatverandering. Studie in opdracht van departement Landbouw en Visserij (afdeling Monitoring en Studie), Klimaatpark Arenberg, Leuven.*
- Goosen H., de Groot M., Koekoek A., van der Sandt K., Masselink L., van Eupen M., van der Gaast J., van Vliet M., Immerzeel W., Jacobs C. et al. (2010). *Klimaat-effectatlas*. 87 p.
- Gyselings R., Van der Wijden B. (2014). *Vleermuizen*. In: Van Uytvanck J., Goethals V. (editors). *Handboek voor beheerders Europese natuurdoelstellingen op het terrein Deel II Soorten*. Leuven: LannooCampus. p 298-320.
- Hiemstra J.A., Schoenmaker- van der Bijl E. & Tonneijck A.E.G. 2008. *Bomen. Een verademing voor de stad. Plant Publicity Holland (PPH), Boskoop en Vereniging van Hoveniers en Groenvoorzieners (VHG).*
- *Interactief waterbeheer & Stowa. s.d. Samengestelde peilgestuurde drainage. Brochure.*
<http://www.interactiefwaterbeheer.eu/assets/Uploads/Documenten/Folder-Peilgestuurde-Drainage.pdf>
- IPCC (2014) *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]*. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Jacobs S., Staes J., De Meulenaer B., Schneiders A., Vrebos D., Stragier F., Vandevenne F., Simoens I., Van Der Biest K., Lettens S., De Vos B., Van der Aa B., Turkelboom F., Van Daele T., Genar O., Van Ballaer B., Temmerman S. & Meire P. 2010. *Ecosysteemdiensten in Vlaanderen: een verkennende inventarisatie van ecosysteemdiensten en potentiële ecosysteemwinsten*. University of Antwerp, Ecosystem Management Research Group, ECOBE 010-R127.

- Janssens L., Claus K. (1996). Vademecum natuurtechniek: inrichting en beheer van wegen. Brussel: Cherretté, M., Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Algemeen Milieu- en Natuurbeleid.
- Jarosinska D., Wolf T., Suk J., Sudre B., Semenza J. (2012). Section 4.4: Human health. In: Füssel H.-M., Jol A., Hildén M. (editors). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012 An indicator-based report. Copenhagen: European Environment Agency. p 183-201.
- Kint V., W. Aertsen M. Campioli D. Vansteenkiste A. Delcloo B., Muys. (2012) Radial growth change of temperate tree species in response to altered regional climate and air quality in the period 1901-2008. Climatic Change (2012)115:343-363.
- Kroes M.J. & Monden S. 2005. Vismigratie. Een handboek voor herstel in Vlaanderen en Nederland. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. AMINAL, Afdeling Water, 114p.
- KMI. 2016. Klimatologisch jaaroverzicht, 2015. www.meteo.be
- KNMI. 2015. 14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie, KNMI, De Bilt, 34 pp.
- Lambrechts J., Martens K., de Glopper A. Globaal herstelplan Abeek: Historische evaluatie als basis voor beekherstel; (2007). p 1-4.
- Lange G., Lecher K. (1993). Gewässerregulierung, Gewässerpflege: naturnaher Ausbau und Unterhaltung von Fließgewässern. 3. Auflage. Hamburg und Berlin: Paul Parey.
- La Rivière J. 2006. De Dijle in Leuven, een vloek en een zegen: een relaas van 115 jaar waterbeheersing 1891-2006. Brussel: VMM – afdeling water. 176 p.
- Libost-Group, Witteveen-Bos. (2002). Natuurinrichtingsproject "het Smeethof" - waterhuishoudkundige maatregelen en effecten - eindrapport.
- Limpens H.J.G.A., Twisk P., Veenbaas G. (2004). Met vleermuizen overweg. Brochure over vleermuizen en de wijze waarop bij planning, aanleg, reconstructie en beheer van wegen praktische invulling kan worden gegeven aan de wettelijke zorgplicht voor vleermuizen In: Zoogdierbescherming U.D.W.-e.W.e.d.V.v.Z.e., (editor). Delft en Arnhem: Uitgave Dienst Weg- en Waterbouwkunde en de Vereniging voor Zoogdierkunde en Zoogdierbescherming. p 24.
- Litjens G., van den Herik K., van Winden A., Braakhekke W. 2006. Natuurlijke Klimaatbuffers. Adaptatie aan klimaatverandering, Wetlands als waarborg. Uitgave Stroming BV voor Vereniging Natuurmonumenten, Vogelbescherming, Waddenvereniging, ARK, Staatsbosbeheer, isbn -13: 978-90-74647-59-5, 54p.
- Marx A. (2012). Section 3.4: Terrestrial ecosystems and biodiversity. In: Füssel H.-M., Jol A., Hildén M. (editors). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012 An indicator-based report. Copenhagen: European Environment Agency. p 127-145.
- Mouton A., Buysse D., Stevens M., Van den Neucker T., Gelaude E., Baeyens R., Martens S., Jacobs Y., Coeck J. 2011. Evaluatie van habitattherstelmaatregelen in de Abeek (Maasbekken) - Evaluatie huidige situatie - afweging toekomstscenario's. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2011 (INBO.R.2011.42). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.
- Nisbet T. 2005. Water use by trees. Forestry Commission Information Note 65, Forestry Commission Edinburgh, UK.

- Nisbet T., Silgram M., Shah N., Morrow K. & Broadmeadow S. 2011. Woodland for Water: Woodland measures for meeting Water Framework Directive objectives. Forest Research Monograph, 4, Forest Research, Surrey, 156pp.
- Olesen J.E. (2012). Section 4.1: Agriculture. In: Füssel H.-M., Jol A., Hildén M. (editors). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012 An indicator-based report. Copenhagen: European Environment Agency. p 158-171.
- Pel M. & ARK Natuurontwikkeling. 2014. Klimaatbuffer Kempen~Broek. resultaten van het Klimaatproject 2010-2014. Rapport, 44p.
- Provincie Limburg. 2012. Hoe Limburg klimaatneutraal maken in 2020? Aanpak van het Limburgs klimaatbeleid. Provincie Limburg, Directie Ruimte - Dienst Milieu en Natuur-Planning een Beleid. ISBN 978-90-746-0551-9.
http://www.limburg.be/webfiles/limburg/leven/klimaatmilieu/klimaatneutraal_2012_aanpak_brochure_nl.pdf
- Regionaal Landschap De Voorkempen. 2013. Waterconservering door agrarisch stuwpeilbeheer. Regionaal Landschap de Voorkempen vzw., Schoten, 12p.
- Secretariaat Maasbekken. 2009. Het bekkenbeheerplan van het Maasbekken. 2008-2013. Integraal waterbeleid in de praktijk. Secretariaat Maasbekken, Hasselt, 512p.
- Secretariaat Maasbekken. (2012). Bekkenvoortgangsrapport 2011 Maasbekken. Hasselt: Integraal Waterbeleid Bekken van de Maas. 45 p.
- Secretariaat Maasbekken. (2013). Bekkenvoortgangsrapport 2012 Maasbekken. Hasselt: Integraal Waterbeleid Bekken van de Maas. 55 p.
- Secretariaat Maasbekken. (2014). Bekkenvoortgangsrapport 2013 Maasbekken. Hasselt: Integraal Waterbeleid Bekken van de Maas. 36 p.
- Secretariaat Maasbekken. 2015. Wateruitvoeringsprogramma 2015. Bekkenspecifiek deel Maasbekken. Bekkenvoortgangsrapport 2014/2015. nv De Scheepvaart, Hasselt, 107p.
- Soresma. (2002). Oppervlaktewaterkwantiteitsmodellering 2002 Stroomgebied van de Abeek. Antwerpen.
- Staes J., Willems P., Marbaix P., Vrebos D., Bal K. & Meire P. 2011. Impact of climate change on river hydrology and ecology: a case study for interdisciplinary policy oriented research SUDEM-CLI. Final Report. Brussels, Belgian Science Policy 2011, Research Programme Science for a Sustainable Development, 112p.
- Stulens H., Heyrman H., Jacques E., Dewyspelaere J. (2008). Smeetshof (Bocholt). In: Decler K. (editor). Ecological Restoration in Flanders (Belgium). Brussel: Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek. p 103-105.
- Van den Neucker T., Buysse D. & Thoonen M. 2010. Advies betreffende vrije vismigratie in de Abeek. INBO.A.2010.86
- Van der Aa B., Vriens L., Van Kerckvoorde A., De Becker P., Ro. outers J., Hoffmann M. (2015). Effecten van klimaatverandering op natuur en bos. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2015 (INBO.R.2015.9952476). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.
- Van de Put G. & Meysmans G. 2008. Landschappelijke inpassing van helofytenfilters. Projectmatig Wetenschappelijke Onderzoek (PWO) naar de haalbaarheid en wenselijkheid van natuurlijke waterzuiveringssystemen 2 om ze in tuin en landschap

in te passen en/of in bestaande groenstructuren te integreren. Erasmushogeschool Brussel campus Jette; Projectteam II Landschaps- en tuinarchitectuur. 77p.

- van de Riet B. 2016. Boekbespreking Paludicultuur. in Landschap 2016/2
- Verbaarschot E., Herr C., Weijters M., de Becker P., Bobbink R. (2012). Ecohydrologische studie "Middenloop Vallei van de Itterbeek" (LIFE09/NAT/B/000416). Nijmegen: B-Ware en Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.
- Vlaamse Milieumaatschappij. 2016. Slachtoffers bij hittegolven in België. Milieurapport, <http://www.milieurapport.be/nl/feitencijfers/milieuthemas/klimaatverandering/gezondheidseffecten-van-klimaatverandering/slachtoffers-bij-hittegolven-in-belgi-euml/>
- Vlaamse Regering. 2013. <http://www.vlaamseklimaatop.be/hoever-staat-de-uitvoering-van-het-vlaams-klimaatbeleidsplan-2013-2020>
- Vlaamse Regering. 2016. <http://www.vlaamseklimaatop.be/vket-01-12-2016-vlaams-klimaat-en-energiepact>
- VLM. (2000). Natuurinrichting: project Smeethof: projectrapport: rapport. [S.l.]. 39 p.
- VLM. (2011). Projectfiche landinrichtingsproject Noordoost-Limburg. <http://www.vlm.be/lijsten/projectfiches/Pages/Noordoost-Limburg.aspx>.
- VLM. (2014). Projectfiche ruilverkaveling Veldhoven-Kreiel. <http://www.vlm.be/algemeen/Projecten/detail/Pages/default.aspx?itemId=154&webId=56d32dc9-29d8-46c9-8224-467b784d49d8>.
- Waterschap Peel en Maasvallei. s.d. Peilgestuurde drainage. <http://www.wpm.nl/artikel/beleid/peilgestuurde-drainage.html>
- WHO, World Health Organization. 2011. The social dimensions of climate change. Discussion draft. <http://www.who.int/globalchange/publications/social-dimensions-climate-change/en/>
- Wichtmann W., Schröder C. & Joosten H. 2016. Paludiculture – cultivation of wet peatlands. Climate protection, biodiversity, regional economic benefits. Schweizerbart Science Publishers? 300p.
- Witteveen-Bos, Libost-Group. (2002). Natuurinrichtingsproject "het Smeethof" - Grondwatermodellering concept 01.